ก. <u>ชื่อโครงการวิจัย</u>

โครงการความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้และพัฒนาองค์ความรู้ด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ปีงบประมาณ 2565

ข. <u>รายชื่อผู้ทำงานวิจัย</u>

รศ.ดร.	ทรงพล จารุวิศิษฏ์	สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (หัวหน้าโครงการ)
รศ.ดร.	ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี	สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.	เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช	สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศ.ดร.	ปิยะ โชติกไกร	สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.	วันชัย ยอดสุดใจ	สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.	สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว	สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค. <u>วิธีการจ้างทำงานวิจัย</u>

พระราชบัญญัติการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ.2560 จ้างที่ปรึกษาโดยวิธีเฉพาะเจาะจง

ง. <u>งบประมาณ</u>

3,570,000 บาท (สามล้านห้าแสนเจ็ดหมื่นบาทถ้วน)

จ. <u>ระยะเวลาดำเนินงาน</u>

วันที่ 15 มีนาคม 2565 – 10 ตุลาคม 2565

การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย
Mass Rapid Transit Authority of Thailand

งานจ้างที่ปรึกษาโครงการความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้และพัฒนาองค์ความรู้ด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ปีงบประมาณ 2565

รายงานฉบับสมบูรณ์
(Final Report)



ตุลาคม 2565

จัดทำโดย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว
เขตจตุจักร กทม. 10900
โทรศัพท์: 0-2797-0999, โทรสาร : 0-2579-7565

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ก. <u>ชื่อโครงการวิจัย</u>

โครงการความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้และพัฒนาองค์ความรู้ด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ปีงบประมาณ 2565

ข. <u>รายชื่อผู้ทำงานวิจัย</u>

รศ.ดร.	ทรงพล จารุวิศิษฏ์	สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (หัวหน้าโครงการ)
รศ.ดร.	ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี	สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รศ.ดร.	เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช	สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศ.ดร.	ปิยะ โชติกไกร	สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร.	วันชัย ยอดสุดใจ	สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผศ.ดร.	สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว	สังกัด	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ค. <u>วิธีการจ้างทำงานวิจัย</u>

พระราชบัญญัติการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ.2560 จ้างที่ปรึกษาโดยวิธีเฉพาะเจาะจง

ง. <u>งบประมาณ</u>

3,570,000 บาท (สามล้านห้าแสนเจ็ดหมื่นบาทถ้วน)

จ. <u>ระยะเวลาดำเนินงาน</u>

วันที่ 15 มีนาคม 2565 – 10 ตุลาคม 2565

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	**i**
สารบัญรูป	**iii**
สารบัญตาราง	**viii**
บทสรุปผู้บริหาร	**xiii**
บทคัดย่อ	**xix**
1. บทนำ	**1-1**
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1-1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	1-3
1.3 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ	1-3
1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน	1-4
1.5 ระเบียบวิธีการวิจัยและการดำเนินงานตามแผนงาน	1-6
2. การศึกษาทบทวน ข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง และทฤษฎีที่ใช้ในงานปัจจัย	**2-1**
2.1 การศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ ปัจจัยด้านงบประมาณ เวลา นโยบาย กฎหมาย สิ่งแวดล้อม	2-1
2.2 การศึกษาทบทวน เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับโครงการรถไฟฟ้า	2-22
2.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย การวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้าง	2-67
3. การคัดเลือกปัจจัยและวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้าง	**3-1**
3.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า	3-1
3.2 การนำปัจจัยที่คัดเลือกมาประยุกต์ใช้ในโครงการด้วยวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น	3-9
3.3 การสำรวจข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดน้ำหนักของปัจจัย	3-11
3.4 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยจากข้อมูลผู้เชี่ยวชาญ	3-12
3.5 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ	3-17
4. การศึกษาทบทวน กรณีศึกษาวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในบริเวณพื้นที่จำกัด	**4-1**
4.1 ช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับแนวทางด่วนใหม่ขั้นที่ 3 ตอน N2 บนถนนประเสริฐมนูกิจ	4-3
4.2 ช่วงบริเวณแยกบางเขน (ถนนวิภาวดีรังสิต – ถนนงามวงศ์วาน)	4-18
4.3 ช่วงบริเวณแยกพงษ์เพชร	4-21
4.4 ทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่จะพิจารณาของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ	4-23
4.5 ทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่จะพิจารณาของกรณีโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ แต่ละกรณี	4-32

5. การวิเคราะห์ทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน **5-1**
5.1 ข้อมูลด้านปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ 5-1
5.2 ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง 5-15
5.3 ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย 5-23
5.4 การคำนวณคะแนนเพื่อเปรียบเทียบทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง 5-30
5.5 ทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษาช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน 5-35
5.6 ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม 5-38

6. การวิเคราะห์ทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาช่วงบริเวณที่แยกบางเขน **6-1**
6.1 ข้อมูลด้านปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ 6-1
6.2 ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง 6-16
6.3 ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย 6-25
6.4 การคำนวณคะแนนเพื่อเปรียบเทียบทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง 6-33
6.5 ทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษาช่วงบริเวณแยกบางเขน 6-38
6.6 ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม 6-41

7. การวิเคราะห์ทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาช่วงบริเวณแยกพงษ์เพชร **7-1**
7.1 ข้อมูลด้านปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ 7-2
7.2 ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง 7-14
7.3 ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย 7-22
7.4 การคำนวณคะแนนเพื่อเปรียบเทียบทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง 7-29
7.5 ทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษาช่วงบริเวณแยกพงษ์เพชร 7-34
7.6 ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม 7-37

8. บทสรุป และ ข้อเสนอแนะ **8-1**
8.1 บทสรุป 8-1
8.2 ข้อเสนอแนะ 8-5

9. เอกสารอ้างอิง **9-1**

ภาคผนวก ก : การจัดกิจกรรม อบรม นำเสนอผลวิจัย ภาพจำลองเสมือนจริง และ หนังสือตำราประกอบงานวิจัย **ก-1**
ภาคผนวก ข : บทความทางวิชาการ **ข-1**
ภาคผนวก ค : การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า **ค-1**
ภาคผนวก ง : แนวคิดวิธีการให้คะแนนเพื่อพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างตามปัจจัยต่างๆ **ง-1**
ภาคผนวก จ : ข้อมูลประกอบในการคิดราคาค่าก่อสร้างต่างๆ **จ-1**

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1-1 แนวซ้อนทับของระบบทางพิเศษ (สีชมพู) และระบบรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ (สีน้ำตาล) 1-2

รูปที่ 1.5-1 ผลการดำเนินงานตามแผนงาน 1-6
รูปที่ 1.5-2 แผนภาพแสดงกรอบแนวคิดการวิจัย 1-7

รูปที่ 2.1-1 ขั้นตอนทั่วไปในการเลือกวิธีการก่อสร้าง 2-2
รูปที่ 2.1-2 การประเมินเกณฑ์ที่ใช้เลือกวิธีการก่อสร้าง 2-3
รูปที่ 2.1-3 Full-span and Pre-cast Launching Method 2-4
รูปที่ 2.1-4 Advancing Shoring Method 2-4
รูปที่ 2.1-5 Balanced Cantilever Method 2-5
รูปที่ 2.1-6 ลำดับชั้นในการเลือกวิธีการก่อสร้างสะพาน 2-5
รูปที่ 2.1-7 ลำดับชั้นในการเลือกวิธีการก่อสร้างงานขุด 2-7
รูปที่ 2.1-8 Elevation of the Single-Family Row House 3D Model Structure 2-10
รูปที่ 2.1-9 ผลการประเมินวงจรชีวิตทางเศรษฐศาสตร์ 2-13
รูปที่ 2.1-10 ผลการประเมินวงจรชีวิตทางสิ่งแวดล้อม 2-13
รูปที่ 2.1-11 ผลการประเมินวงจรชีวิตทางสังคม 2-14
รูปที่ 2.1-12 กรอบและระเบียบวิธีวิจัย 2-16
รูปที่ 2.1-13 AHP Model ของงานวิจัย 2-21
รูปที่ 2.1-14 น้ำหนักรวมของวิธีการก่อสร้างในแต่ละส่วนของโครงการก่อสร้าง 2-22

รูปที่ 2.2-1 ตัวอย่างเสาเข็มตอก, ที่มา: CPAC (2565) 2-25
รูปที่ 2.2-2 การก่อสร้างเสาเข็มเจาะ, ที่มา: บริษัท เจนเนอรัล เอนจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน) 2-25
รูปที่ 2.2-3 การทรุดตัวที่แตกต่างกันบริเวณฐานรากทางยกระดับอุตราภิมุข (โทลล์เวย์) 2-26
รูปที่ 2.2-4 เสาเข็มแบเร็ต 2-26
รูปที่ 2.2-5 การรับน้ำหนักกดของเสาเข็มเกลียว 2-27
รูปที่ 2.2-6 เครื่องจักรสำหรับการก่อสร้างเสาเข็มกด 2-28
รูปที่ 2.2-7 รูปแบบชานชาลาของสถานีใต้ดิน 2-28
รูปที่ 2.2-8 ชีทไพล์สำหรับงานขุดดินลึก 2-29
รูปที่ 2.2-9 กำแพงกันดินเสาเข็มรูปแบบต่างๆ 2-30
รูปที่ 2.2-10 การก่อสร้างกำแพงไดอะแฟรม 2-31
รูปที่ 2.2-11 ลักษณะโครงสร้างหลังคาท่อเหล็ก สถานีสนามไชย 2-31
รูปที่ 2.2-12 โครงสร้างทางวิ่งใต้ดินแบบ Twin Tunnel แนวราบและดิ่ง และแบบอุโมงค์เดี่ยวขนาดใหญ่ 2-32
รูปที่ 2.2-13 อุโมงค์ที่ก่อสร้างโดยการเปิดหน้าดินและฝังกลบ 2-33

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.2-14 การก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีการเจาะและระเบิด 2-33
รูปที่ 2.2-15 Tunnel Boring Machine 2-34
รูปที่ 2.2-16 ลักษณะโครงสร้างช่วง Transition area 2-35
รูปที่ 2.2-17 ลักษณะโครงสร้างแบบตัวยู (U) บนเข็มสำหรับ Transition slab 2-36
รูปที่ 2.2-18 แบบหล่อคอนกรีตรูปแบบต่างๆ 2-40
รูปที่ 2.2-19 รูปแบบโครงสร้างยกระดับ 2-42
รูปที่ 2.2-20 รูปแบบโครงสร้างเสาคอนกรีตหล่อสำเร็จ โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูและสายสีเหลือง 2-42
รูปที่ 2.2-21 การก่อสร้างเสาตอม่อโดยใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู และสายสีเหลือง 2-43
รูปที่ 2.2-22 การก่อสร้างติดตั้งคานขวางโดยการใช้ชิ้นส่วนคานรูปกล่องหล่อสำเร็จ 2-44
รูปที่ 2.2-23 การก่อสร้างติดตั้งคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู และสายสีเหลือง 2-45
รูปที่ 2.2-24 วิธีการก่อสร้างด้วยการติดตั้งชิ้นส่วน Precast Beam 2-48
รูปที่ 2.2-25 ตัวอย่างสะพานที่ใช้รูปแบบ Precast Beam 2-48
รูปที่ 2.2-26 วิธีการก่อสร้างด้วยการติดตั้งชิ้นส่วน Full span Precast 2-49
รูปที่ 2.2-27 ตัวอย่างสะพานที่ใช้รูปแบบ Full span Precast 2-50
รูปที่ 2.2-28 การก่อสร้างสะพานด้วยวิธี Balanced cantilever 2-51
รูปที่ 2.2-29 การก่อสร้างสะพานโดยใช้ Movable Formwork (Form Traveler) 2-51
รูปที่ 2.2-30 การก่อสร้างแบบ Balanced Cantilever โดยใช้ Launching Gantry 2-52
รูปที่ 2.2-31 ตัวอย่างสะพานที่ใช้การก่อสร้างแบบ Balanced Cantilever โดยใช้ Launching Gantry 2-53
รูปที่ 2.2-32 การก่อสร้างวิธี Balanced Cantilever โดยใช้ Lifting Frames 2-53
รูปที่ 2.2-33 การก่อสร้างแบบ Balanced Cantilever โดยใช้ Lifting Frame 2-54
รูปที่ 2.2-34 ตัวอย่างสะพานที่ใช้การก่อสร้างแบบ Balanced Cantilever โดยใช้ Lifting Frame 2-54
รูปที่ 2.2-35 ตัวอย่างสะพานที่ใช้รูปแบบการก่อสร้างแบบ Balanced Cantilever โดยใช้ Crane 2-55
รูปที่ 2.2-36 การก่อสร้างแบบ Balanced Cantilever โดยใช้ Crane 2-55
รูปที่ 2.2-37 Movable Formwork หรือ Form Traveler ในการก่อสร้างแบบ Span-by-span 2-56
รูปที่ 2.2-38 การก่อสร้างแบบ Span-by-span โดยการตั้งนั่งร้าน (Deep Bay Link – Hong Kong, 2005) 2-57
รูปที่ 2.2-39 ตัวอย่างสะพานที่ใช้รูปแบบการก่อสร้างแบบ Span-by-span โดยการใช้โครง Truss หรือนั่งร้าน 2-58
รูปที่ 2.2-40 การก่อสร้างแบบ Span-by-span โดยใช้ Launching Gantry 2-58
รูปที่ 2.2-41 ตัวอย่างสะพานที่ใช้รูปแบบการก่อสร้างแบบ Span-by-span โดยใช้ Launching Gantry 2-59

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.2-42 การก่อสร้างโดยวิธี Incremental Launching 2-60
รูปที่ 2.2-43 ขั้นตอนการก่อสร้างด้วยวิธี Incremental Launching 2-61
รูปที่ 2.2-44 ตัวอย่างสะพานที่ใช้การก่อสร้างวิธี Incremental Launching 2-62
รูปที่ 2.2-45 การใช้ Form Traveler ในการก่อสร้างสะพาน (Taiwan HSR, 2002-2003) 2-62
รูปที่ 2.2-46 การก่อสร้างโดยใช้ Form traveler 2-63
รูปที่ 2.2-47 ตัวอย่างสะพานที่ใช้การก่อสร้างโดยใช้ Form traveler 2-63
รูปที่ 2.2-48 การใช้อุปกรณ์ยกชิ้นส่วนขนาดใหญ่พิเศษ (Bridge at Miraflores, Spain (2005) 2-64
รูปที่ 2.2-49 สถานียกระดับ 2-65
รูปที่ 2.2-50 ตัวอย่างรูปแบบโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้าสายสีชมพูและสีเหลือง 2-66
รูปที่ 2.2-51 การก่อสร้างอาคารสถานีรถไฟฟ้าสายสีชมพูและสายสีเหลือง 2-66

รูปที่ 2.3-1 โครงสร้างลำดับชั้น AHP 2-69
รูปที่ 2.3-2 แผนภูมิขั้นตอนกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น 2-73

รูปที่ 3.2-1 แผนภูมิต้นไม้แสดงปัจจัยหลักและปัจจัยย่อยของการเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้างรถไฟฟ้า 3-9

รูปที่ 3.4-1 การเปรียบเทียบน้ำหนักของปัจจัยหลักของทุกระบบ 3-14

รูปที่ 4-1 โครงข่ายรถไฟฟ้าและระบบทางด่วน 4-2

รูปที่ 4.1-1 เสาตอม่อโครงสร้างทางพิเศษที่ได้มีการก่อสร้างแล้ว 4-3
รูปที่ 4.1-2 ระบบรถไฟฟ้าและระบบทางด่วน บนช่วงถนนประเสริฐมนูกิจ 4-3
รูปที่ 4.1-3 ระยะปลอดภัยโครงสร้างของระบบรถไฟฟ้ารางเดี่ยว 4-4
รูปที่ 4.1-4 ระยะปลอดภัยโครงสร้างบริเวณช่วงทางตรงและช่วงทางโค้ง (R = 100 ม.) 4-4
รูปที่ 4.1-5 รูปแบบโครงสร้างทางวิ่งโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ส่วนที่จะซ้อนทับทางพิเศษ 4-5
รูปที่ 4.1-6 ตัวอย่างรูปแบบตำแหน่งที่ตั้งของอาคารสถานีและชานชาลา โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บนช่วงถนนประเสริฐมนูกิจ 4-8
รูปที่ 4.1-7 ตัวอย่างรูปตัดทางเดินเชื่อมอาคาร 4-9
รูปที่ 4.1-8 รูปแบบสถานีโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บนช่วงถนนประเสริฐมนูกิจ 4-10
รูปที่ 4.1-9 การก่อสร้างโครงสร้างทางวิ่งโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในระยะที่ 1 4-11
รูปที่ 4.1-10 ขั้นตอนการก่อสร้างเสาตอม่อโครงการรถไฟฟ้าและโครงสร้างส่วนล่างและส่วนบนของโครงการทางพิเศษ 4-12

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.1-11	เสาตอม่อโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงถนนประเสริฐมนูกิจที่จะก่อสร้างในระยะที่ 1	4-14
รูปที่ 4.1-12	การก่อสร้างโครงสร้างทางวิ่งโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในระยะที่ 2	4-14
รูปที่ 4.1-13	การติดตั้งคานทางวิ่งบนคานขวาง	4-15
รูปที่ 4.1-14	การก่อสร้างโครงสร้างอาคารสถานีโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในระยะที่ 1	4-16
รูปที่ 4.1-15	การก่อสร้างโครงสร้างอาคารสถานีโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในระยะที่ 2	4-17
รูปที่ 4.2-1	แนวเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงแยกบางเขน	4-18
รูปที่ 4.2-2	ตำแหน่งเสาตอม่อของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณแยกบางเขน	4-19
รูปที่ 4.2-3	การเชื่อมต่อของรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ และสายสีแดง	4-19
รูปที่ 4.2-4	รูปตัดบริเวณแยกบางเขนช่วงลอดทางยกระดับอุตราภิมุข	4-20
รูปที่ 4.2-5	รูปตัดถนนงามวงศ์วานบริเวณแยกบางเขนฝั่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	4-20
รูปที่ 4.2-6	กรณีใช้แนวเส้นทางรถไฟฟ้าที่กึ่งกลางถนนงามวงศ์วานทั้งหมด	4-21
รูปที่ 4.3-1	สะพานข้ามแยกและแนวสายไฟฟ้าแรงสูงบริเวณแยกพงษ์เพชร	4-22
รูปที่ 4.3-2	ความสูงของแนวสายไฟฟ้าแรงสูงบริเวณแยกพงษ์เพชร	4-22
รูปที่ 4.3-3	รูปตัดโครงสร้างรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณแยกพงษ์เพชร	4-23
รูปที่ 4.4-1	ขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม	4-24
รูปที่ 4.4-2	ขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก	4-26
รูปที่ 4.4-3	การปรับแต่ง Modify ปลายรอกเครน เพื่อการยกชิ้นส่วนที่มีระยะความสูงเคลียร์จำกัด	4-29
รูปที่ 4.4-4	การติดตั้งคานทางวิ่งด้วย Launcher	4-30
รูปที่ 4.4-5	การติดตั้งคานทางวิ่งด้วย Heavy Lift	4-31
รูปที่ 4.5-1	แปลนแสดงตำแหน่งเสาตอม่อบริเวณแยกบางเขนช่วงที่ซ้อนทับกับทางยกระดับอุตราภิมุข	4-35
รูปที่ 5.1-1	รูปตัดขวางกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณที่ซ้อนทับกันกับทางด่วน	5-4
รูปที่ 6.1-1	แปลนแสดงตำแหน่งเสาตอม่อบริเวณแยกบางเขนช่วงที่ซ้อนทับกับทางยกระดับอุตราภิมุข	6-2
รูปที่ 6.1-2	รูปตัดขวางกรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขน	6-4
รูปที่ 7-1	รูปตัดโครงสร้างรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณแยกพงษ์เพชรแสดงระยะความสูงจำกัด	7-1

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 7.1-1	รูปแปลนแสดงระยะช่วงความยาวคานบริเวณแยกพงษ์เพชรช่วงที่ลอดผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูง	7-6
รูปที่ 8.1-1	แผนภูมิแสดงปัจจัยที่มีผลในการพิจารณาเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง	8-2
รูปที่ ก.1-1	การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการนำเสนอผลวิจัย วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ.2565	ก-2
รูปที่ ก.2-1	การจัดกิจกรรมนำเสนอผลการวิจัย วันที่ 29 กันยายน พ.ศ.2565	ก-3
รูปที่ ก.3-1	ภาพจำลองเคลื่อนไหวเสมือนจริง 3 มิติ ของกรณีศึกษาช่วงบริเวณซ้อนทับกับทางด่วน	ก-4
รูปที่ ค-1	ประชุมระดมความคิดเห็น วันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2565	ค-6
รูปที่ ค-2	ประชุมระดมความคิดเห็น วันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2565	ค-6
รูปที่ ค-3	ประชุมระดมความคิดเห็น วันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2565	ค-7
รูปที่ ง-1	แผนภูมิแสดงปัจจัยที่มีผลในการพิจารณาเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง	ง-1

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1-1	หลักเกณฑ์การให้คะแนนเปรียบเทียบของ Nang-Fei Pan	2-6
ตารางที่ 2.1-2	ตัวอย่างการประเมินเปรียบเทียบปัจจัยหลักของผู้เชี่ยวชาญ, Nang-Fei Pan	2-6
ตารางที่ 2.1-3	น้ำหนัก-หลักเกณฑ์การตัดสินใจในการประเมินวิธีการก่อสร้างของ Nang-Fei Pan	2-7
ตารางที่ 2.1-4	หลักเกณฑ์การให้คะแนนเปรียบเทียบของ N.F. Pan	2-8
ตารางที่ 2.1-5	ตัวอย่างการประเมินเปรียบเทียบปัจจัยหลักของผู้เชี่ยวชาญ, N.F. Pan	2-8
ตารางที่ 2.1-6	น้ำหนัก หลักเกณฑ์การตัดสินใจในการประเมินวิธีการก่อสร้างฐานรากของ N.F. Pan	2-9
ตารางที่ 2.1-7	หลักเกณฑ์การตัดสินใจในการประเมินวิธีการก่อสร้างสะพานของ Ismail M. Basha	2-10
ตารางที่ 2.1-8	หลักเกณฑ์การตัดสินใจในการประเมินวิธีการก่อสร้าง	2-11
ตารางที่ 2.1-9	เทคนิคการก่อสร้างในงานวิจัยนี้ ศึกษา 4 รูปแบบ ของ Sánchez-Garrido et al.	2-12
ตารางที่ 2.1-10	หลักเกณฑ์การตัดสินใจในการประเมินวิธีการก่อสร้างอาคารคอนกรีตของ Bansal	2-14
ตารางที่ 2.1-11	เกณฑ์ประสิทธิภาพที่ยั่งยืนสำหรับการเลือกวิธีการก่อสร้างในอาคารคอนกรีต ของ Ying Chen	2-16
ตารางที่ 2.1-12	หลักเกณฑ์คัดเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับงานขุดลึกในการก่อสร้างอาคาร Jiarui Qi	2-18
ตารางที่ 2.1-13	เกณฑ์การเลือกวิธีการก่อสร้างที่ยั่งยืนในการก่อสร้างอาคาร M. Reda	2-19
ตารางที่ 2.1-14	เกณฑ์ประสิทธิภาพหลักที่มีอิทธิพลต่อการเลือกวิธีการก่อสร้าง ของ A. Moghayedi	2-21
ตารางที่ 2.2-1	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเสาเข็มเจาะแบบกลมและเหลี่ยม	2-27
ตารางที่ 2.2-2	ทางเลือกวิธีใหม่ในการก่อสร้างและบำรุงรักษาสะพาน	2-46
ตารางที่ 2.3-1	ตัวอย่างในการกำหนดมาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ	2-70
ตารางที่ 2.3-2	Saaty’s scale of Ralative Importance	2-71
ตารางที่ 2.3-3	ตัวอย่างตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบเป็นคู่	2-73
ตารางที่ 2.3-4	Random consistency index (*RI*)	2-75
ตารางที่ 2.3-5	ตัวอย่างการคำนวณหา Eigenvalue	2-75
ตารางที่ 2.3-6	ตัวอย่างตารางสรุปค่า Priorities	2-76
ตารางที่ 2.3-7	ตัวอย่างการทำ Normalized	2-76
ตารางที่ 3.1-1	ปัจจัยที่เสนอแนะจากการทบทวนวรรณกรรม	3-1
ตารางที่ 3.1-2	การเปลี่ยนแปลงรายละเอียดปัจจัย จากการประชุมคัดเลือกปัจจัยในการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า	3-4
ตารางที่ 3.1-3	ความหมายและคำอธิบายเพิ่มเติมของปัจจัยในการเลือกใช้เทคโนโลยี และวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า	3-6

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 3.4-1	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักของปัจจัยหลัก สำหรับรถไฟฟ้ารางหนักยกระดับ	3-12
ตารางที่ 3.4-2	ตัวอย่างผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยหลักของรถไฟฟ้ารางหนักยกระดับ	3-12
ตารางที่ 3.4-3	แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของปัจจัยหลักของปัจจัยหลักสำหรับทุกระบบ	3-14
ตารางที่ 3.4-4	ตัวอย่างการคำนวณค่าน้ำหนักแบบ ROC	3-15
ตารางที่ 3.4-5	ผลค่าน้ำหนักของทุกปัจจัยในส่วนโครงสร้างต่างๆ สำหรับการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าระบบต่างๆ	3-16
ตารางที่ 4.1-1	รูปแบบโครงสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงถนนประเสริฐมนูกิจ	4-6
ตารางที่ 5.1-1	ข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ของวิธีการก่อสร้างกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน	5-14
ตารางที่ 5.2-1	ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างเสาเข็ม**	5-15
ตารางที่ 5.2-2	ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง**	5-16
ตารางที่ 5.2-3	ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง**	5-17
ตารางที่ 5.3-1	ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย ของ **งานก่อสร้างเสาเข็ม**	5-23
ตารางที่ 5.3-2	ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย ของ **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง**	5-24
ตารางที่ 5.3-3	ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย ของ **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง**	5-25
ตารางที่ 5.4-1	คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	5-30
ตารางที่ 5.4-2	คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง	5-31
ตารางที่ 5.4-3	คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย	5-33
ตารางที่ 5.5-1	ค่าน้ำหนักของปัจจัยทั้งหมดสำหรับโครงสร้างของระบบรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail)	5-35
ตารางที่ 5.5-2	ผลคะแนนรวมของทางเลือกวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน	5-37
ตารางที่ 6.1-1	ข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ของวิธีการก่อสร้างกรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขน	6-16

สารบัญตาราง (ต่อ)

		หน้า
ตารางที่ 6.2-1	ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างเสาเข็ม**	6-17
ตารางที่ 6.2-2	ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง**	6-18
ตารางที่ 6.2-3	ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง**	6-18
ตารางที่ 6.3-1	ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย ของ **งานก่อสร้างเสาเข็ม**	6-25
ตารางที่ 6.3-2	ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย ของ **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง**	6-26
ตารางที่ 6.3-3	ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย ของ **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง**	6-26
ตารางที่ 6.4-1	คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	6-33
ตารางที่ 6.4-2	คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง	6-34
ตารางที่ 6.4-3	คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย	6-36
ตารางที่ 6.5-1	ค่าน้ำหนักของปัจจัยทั้งหมดสำหรับโครงสร้างของระบบรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail)	6-38
ตารางที่ 6.5-2	ผลคะแนนรวมของทางเลือกวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาช่วงบริเวณวนแยกบางเขน	6-40
ตารางที่ 7.1-1	ข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ของวิธีการก่อสร้างกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชร	7-13
ตารางที่ 7.2-1	ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างเสาเข็ม**	7-14
ตารางที่ 7.2-2	ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง**	7-15
ตารางที่ 7.2-3	ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง**	7-16
ตารางที่ 7.3-1	ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย ของ **งานก่อสร้างเสาเข็ม**	7-22
ตารางที่ 7.3-2	ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย ของ **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง**	7-23
ตารางที่ 7.3-3	ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย ของ **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง**	7-24
ตารางที่ 7.4-1	คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	7-29
ตารางที่ 7.4-2	คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง	7-31
ตารางที่ 7.4-3	คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย	7-33

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 7.5-1 ค่าน้ำหนักของปัจจัยทั้งหมดสำหรับโครงสร้างของระบบรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) 7-35
ตารางที่ 7.5-2 ผลคะแนนรวมของทางเลือกวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาช่วงบริเวณวนแยกพงษ์เพชร 7-36

ตารางที่ 8.1-1 ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง สำหรับโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ 8-3

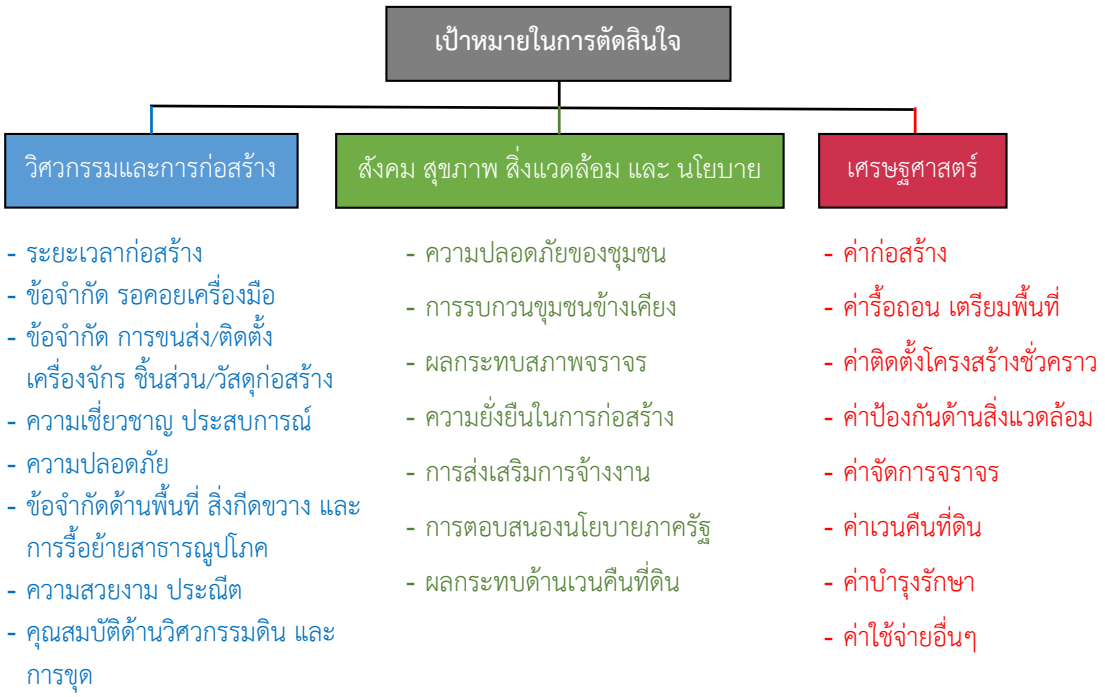
ตารางที่ ค-1 ผลการคัดเลือกปัจจัยในการคัดเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ค-8
ตารางที่ ค-2 รายชื่อและตำแหน่งของผู้เชี่ยวชาญที่ตอบแบบสอบถาม ค-11

ตารางที่ ง.1-1 ปัจจัยที่มีผลในการพิจารณาเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง และเกณฑ์ในการให้คะแนน ทางเลือกและค่าตัวอย่างสมมติของแต่ละปัจจัยจำนวน 3 ทางเลือก เพื่อแสดงวิธีการให้คะแนน ง-2

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

งานวิจัย การศึกษาปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า กรณีศึกษาการก่อสร้างในพื้นที่จำกัดของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า นำไปสู่การสร้างเกณฑ์ในการคัดเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่อยู่ในความรับผิดชอบของ รฟม. ให้มีความเหมาะสม คุ้มค่า มากที่สุด และลดผลกระทบต่างๆ จากการก่อสร้าง เสริมสร้างประสบการณ์ที่ดีและสร้างความพึงพอใจแก่ประชาชนตามแนวสายทางให้ได้มากที่สุด ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์ในการคัดเลือกที่ครอบคลุมปัจจัยในหลายๆ ด้านที่สำคัญ การดำเนินงานได้เริ่มตั้งแต่ช่วง มีนาคม 2565 จนแล้วเสร็จเมื่อปลาย กันยายน 2565 ใช้เวลาทั้งสิ้นประมาณ 7 เดือน โดยสามารถสรุปสาระสำคัญของงานวิจัยดังนี้

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง และ ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อมและนโยบาย ซึ่งในแต่ละปัจจัยหลักยังประกอบด้วยปัจจัยย่อยๆ อีกประมาณ 7-8 ปัจจัย ดังแสดงในแผนภูมิรูปที่ 1



รูปที่ 1 : แผนภูมิแสดงปัจจัยที่มีผลในการพิจารณาเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง

การศึกษาปัจจัยได้พิจารณารูปแบบโครงการรถไฟฟ้าหลายรูปแบบรวมถึงโครงสร้างส่วนต่างๆ ของรูปแบบนั้นๆ ได้แก่

- รูปแบบโครงการรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) โครงสร้างเสาเข็มและฐานราก โครงสร้างเสาตอม่อและคานขวาง โครงสร้างคานทางวิ่ง และ สถานี
- รูปแบบโครงการรถไฟฟ้ารางหนักยกระดับ (Elevated Heavy rail) โครงสร้างเสาเข็มและฐานราก โครงสร้างเสาตอม่อและคานขวาง โครงสร้างคานทางวิ่ง และ สถานี
- รูปแบบโครงการรถไฟฟ้ารางหนักใต้ดิน (Underground Heavy rail) โครงสร้างอุโมงค์ทางวิ่ง และ สถานี
- รูปแบบอาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจร (Depot and Park & Ride)

จากการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยสำหรับโครงการแต่ละรูปแบบและส่วนโครงสร้างต่างๆ ด้วยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) วิธีการจัดลำดับและจัดระดับ (Ranking & Rating method) โดยพิจารณาค่าความสอดคล้อง (Consistency ratio, CR) ไม่เกิน 0.15 ของการวิเคราะห์ผลตอบแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านจำนวน 23 คน ได้ผลค่าน้ำหนักของปัจจัยทุกรูปแบบทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 1

ในภาพรวมแล้วได้ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยไปในทิศทางเดียวกัน คือ ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างมีค่าน้ำหนักสูงที่สุด เฉลี่ยประมาณร้อยละ 48 ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์มีความสำคัญเป็นอันดับสอง มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 28 และปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมและนโยบาย มีความสำคัญน้อยที่สุด มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 24

สำหรับปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย 8 ปัจจัยรอง โดยค่าก่อสร้างมีความสำคัญโดดเด่นสูงที่สุด มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 30 สูงกว่าปัจจัยอันดับสองคือค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ ที่มีน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 16

สำหรับปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง พบว่าปัจจัยรองคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญโดดเด่นสูงสุด แสดงว่าให้ความสำคัญต่องานฐานรากและงานใต้ดินมากที่สุด สำหรับปัจจัยอื่นๆ หรือโครงสร้างส่วนอื่นที่อยู่เหนือดิน ไม่พบปัจจัยที่มีความสำคัญโดดเด่น โดยมี 4 ปัจจัยรองที่มีความสำคัญใกล้เคียงกันคือ ระยะเวลาในการก่อสร้าง ความปลอดภัยในการก่อสร้าง ข้อจำกัดด้านพื้นที่ และ ความเชี่ยวชาญประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง

สำหรับปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมและนโยบาย ประกอบด้วย 7 ปัจจัยรอง โดยความปลอดภัยของชุมชนและผู้สัญจรผ่านมีความสำคัญโดดเด่นสูงที่สุด มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 26 ส่วนปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงมาได้แก่ ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน ผลกระทบด้านจราจร และการรบกวนชุมชนข้างเคียง ซึ่งมีความสำคัญใกล้เคียงกัน มีน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 18

จากผลวิจัยค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ได้นำมาประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในบริเวณพื้นที่จำกัด 3 ตำแหน่ง โดยได้นำเสนอวิธีการก่อสร้างที่เป็นไปได้และได้ผลสรุปวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

ตารางที่ 1 : ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง

ปัจจัย		Monorail					Elevated Heavy Rail					Underground Heavy Rail			Depot and Park & Rail
		เสาเข็ม / ฐานราก	เสาตอม่อ และ คาน	คานทางวิ่ง	สถานี	ค่าเฉลี่ย	เสาเข็ม / ฐานราก	เสาตอม่อ และ คาน	คานทางวิ่ง	สถานี	ค่าเฉลี่ย	อุโมงค์ทางวิ่ง	สถานี	ค่าเฉลี่ย	
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์		0.20					0.34					0.25			0.32
1.1	ค่าก่อสร้าง	0.26	0.30	0.30	0.26	0.28	0.29	0.32	0.32	0.30	0.31	0.30	0.29	0.29	0.31
1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	0.18	0.14	0.13	0.15	0.15	0.19	0.16	0.14	0.16	0.17	0.15	0.13	0.14	0.19
1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	0.16	0.16	0.15	0.12	0.15	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13	0.14	0.16	0.15	0.09
1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	0.12	0.10	0.09	0.11	0.10	0.10	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.10
1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง	0.09	0.10	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07
1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	0.11	0.11	0.11	0.15	0.12	0.12	0.14	0.13	0.14	0.13	0.14	0.17	0.16	0.16
1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05
1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (Miscellaneous Costs)	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.06	0.04	0.05	0.04
ปัจจัยด้านวิศวกรรม และการก่อสร้าง		0.54					0.46					0.51			0.41
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	0.11	0.17	0.15	0.18	0.16	0.15	0.23	0.22	0.25	0.23	0.15	0.15	0.15	0.22
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	0.08	0.07	0.09	0.10	0.09	0.06	0.06	0.06	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.07
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	0.08	0.08	0.10	0.06	0.08	0.08	0.08	0.12	0.06	0.09	0.06	0.06	0.06	0.07
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	0.13	0.17	0.17	0.13	0.16	0.11	0.17	0.16	0.12	0.15	0.19	0.17	0.18	0.13
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	0.18	0.22	0.21	0.19	0.21	0.17	0.19	0.22	0.18	0.20	0.18	0.18	0.18	0.17
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	0.12	0.25	0.24	0.23	0.24	0.13	0.22	0.19	0.21	0.21	0.11	0.12	0.11	0.15
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	0.02	0.05	0.04	0.11	0.07	0.02	0.05	0.05	0.09	0.06	0.03	0.04	0.03	0.04
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	0.27	-	-	-	-	0.26	-	-	-	-	0.23	0.24	0.24	0.16
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย		0.26					0.21					0.24			0.27
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบ และผู้สัญจรผ่านพื้นที่	0.25	0.25	0.27	0.26	0.26	0.25	0.26	0.27	0.26	0.26	0.26	0.27	0.26	0.25
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่น แรงสั่นสะเทือน และ มลภาวะอื่นๆ	0.21	0.21	0.19	0.20	0.20	0.17	0.16	0.15	0.16	0.16	0.19	0.16	0.17	0.19
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	0.18	0.18	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.14
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.09
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (จำนวนแรงงาน)	0.07	0.07	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ (การใช้ผลิตภัณฑ์ผลิตในประเทศ)	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	0.17	0.15	0.14	0.17	0.16	0.19	0.16	0.16	0.18	0.17	0.16	0.20	0.18	0.23

สำหรับกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน

- งานก่อสร้างเสาเข็มและฐานราก : วิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมเหมาะสมที่สุด
- งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง : วิธีก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน มีความเหมาะสมที่สุด
- งานก่อสร้างคานทางวิ่ง : วิธีก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครนมีความเหมาะสมที่สุด

สำหรับกรณีศึกษาบริเวณที่แยกบางเขน

- งานก่อสร้างเสาเข็มและฐานราก : วิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมที่ตำแหน่งเดิมเหมาะสมที่สุด
- งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง : วิธีก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวของทางยกระดับอุตราภิมุขมีความเหมาะสมที่สุด
- งานก่อสร้างคานทางวิ่ง : วิธีก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวของทางยกระดับอุตราภิมุขมีความเหมาะสมที่สุด

สำหรับกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชร

- งานก่อสร้างเสาเข็มและฐานราก : วิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมเหมาะสมที่สุด
- งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง : วิธีก่อสร้างด้วยการเทคอนกรีตหล่อในที่
- งานก่อสร้างคานทางวิ่ง : วิธีก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครนมีความเหมาะสมที่สุด

โดยสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ในภาพรวมดังต่อไปนี้

วิธีการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานก่อสร้างเสาเข็มและฐานรากของโครงสร้างโครงการรถไฟฟ้าเนื่องจากมีน้ำหนักที่ถ่ายลงสู่เสาเข็มสูง ไม่เหมาะกับการใช้เสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile) ที่ใช้สำหรับงานอาคาร เนื่องจากจะทำให้ฐานรากมีขนาดใหญ่และค่าก่อสร้างสูง

สำหรับส่วนโครงสร้างเหนือพื้นดิน การก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast) มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากก่อสร้างได้รวดเร็ว และมีผลกระทบต่อสังคม สิ่งแวดล้อมฯ น้อย ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้การยกติดตั้งด้วยเครน ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่หาได้ง่ายทั่วไป ค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก อย่างไรก็ตามในบางกรณีที่ความสูงจำกัดมากๆ จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านเครนทำการติดตั้งชิ้นส่วนอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษ

นอกจากนั้นทางเลือกวิธีการก่อสร้างอาจพิจารณาเพิ่มเติมนอกเหนือจากทางเทคนิคทางวิศวกรรม เช่น ในเรื่องของการย้ายตำแหน่งโครงสร้างให้พ้นอุปสรรค เป็นต้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ทางเลือกอื่นๆ เหล่านี้ จำเป็นต้องมีข้อมูลอย่างละเอียด อาทิ ค่าก่อสร้างส่วนต่างๆ จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถ ฯลฯ รวมถึงเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง เช่น ความปลอดภัยของชุมชน ความยั่งยืนในการก่อสร้าง ฯลฯ จะช่วยให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งต้องทำการรวบรวมเก็บข้อมูลต่างๆ เหล่านี้ จากประสบการณ์ในโครงการต่างๆ ที่ทาง รฟม. ดำเนินการ

ต่อไป ให้ได้เป็นฐานข้อมูลที่มีความครอบคลุมครบถ้วน จะทำให้สามารถประยุกต์ใช้ผลงานวิจัยนี้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้

การคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยใช้ค่าคะแนนปัจจัยในการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างแบบถ่วงน้ำหนัก

Selection of Appropriate Construction for Mass Rapid Transit Project by AHP and Ranking method

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในบริเวณพื้นที่จำกัดที่มีอุปสรรค ยังไม่มีเกณฑ์ในการคัดเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่ชัดเจน ครอบคลุมปัจจัยในหลายๆ ด้านที่สำคัญ เช่น ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านวิศวกรรม และ ด้านสังคมฯ เป็นต้น โดยวิธีการก่อสร้างที่เลือกใช้ จะมาจากการนำเสนอโดยผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมาก่อสร้าง ซึ่งอาจไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมที่สุด งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปัจจัยและหาค่าน้ำหนักของปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าด้วยการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถามความสำคัญของปัจจัยจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 23 คน โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) สำหรับปัจจัยหลัก 3 ปัจจัยคือ ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง และ ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมและนโยบาย โดยพิจารณาค่าความสอดคล้องของข้อมูล (Consistency ratio) ไม่เกิน 0.15 และใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีจัดลำดับและจัดระดับ (Ranking and Rating method) สำหรับปัจจัยรองจำนวน 7-8 ปัจจัยย่อยสำหรับแต่ละปัจจัยหลัก โดยทำการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ สำหรับรูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ารางเบา โครงการรถไฟฟ้ารางหนักยกระดับ โครงการรถไฟฟ้ารางหนักใต้ดิน และอาคารศูนย์ซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจร และวิเคราะห์แยกตามงานโครงสร้างส่วนต่างๆ ประกอบด้วย งานโครงสร้างเสาเข็มและฐานราก งานเสาตอม่อและคานขวาง งานก่อสร้างคานทางวิ่ง ทางวิ่งยกระดับ ทางวิ่งอุโมงค์ใต้ดิน และ อาคารสถานี โดยพบว่าปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างมีค่าน้ำหนักสูงที่สุดเฉลี่ยของทุกรูปแบบโครงสร้างประมาณร้อยละ 48 ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์มีความสำคัญเป็นอันดับสอง มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 28 และปัจจัยด้านสังคมฯ มีความสำคัญน้อยที่สุด มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 24

ค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในบริเวณพื้นที่จำกัด ได้แก่ บริเวณบนถนนประเสริฐมนูกิจที่มีการซ้อนทับกับทางด่วน บริเวณแยกบางเขนที่แนวเส้นทางต้องลอดใต้ทางยกระดับอุตราภิมุข และ บริเวณแยกพงษ์เพชรที่แนวเส้นทางต้องลอดผ่านสายไฟฟ้าแรงสูงและต้องรื้อสะพานรถยนต์ข้ามแยกแล้วสร้างใหม่พร้อมโครงสร้างโครงการรถไฟฟ้า การให้คะแนนของปัจจัยต่างๆ เชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับค่าก่อสร้าง ใช้การอ้างอิงจากข้อมูลโครงการในอดีต ได้แก่โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม สีม่วง สีเขียว และ สีเหลือง ร่วมกับการประมาณราคาโดยตั้งสมมติฐานบางประการ ส่วนคะแนนของปัจจัยเชิงคุณภาพ จะใช้วิธีสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ ที่มีประสบการณ์งานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ผลจากการประยุกต์ใช้ค่าน้ำหนักของปัจจัยในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างพบว่า ได้คำตอบทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่สอดคล้องกันกับการศึกษาความเหมาะสมของโครงการฯ แสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักที่ได้จากงานวิจัยรวมถึงเกณฑ์การให้คะแนนปัจจัยที่นำเสนอ มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้งานได้จริง ทั้งนี้หากสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีความละเอียดและเกณฑ์ในการให้คะแนนที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น จะช่วยให้สามารถนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นได้

คำสำคัญ : โครงการรถไฟฟ้า, การวิเคราะห์แบบลำดับชั้น, วิธี ROC, MRT, ปัจจัยการก่อสร้าง

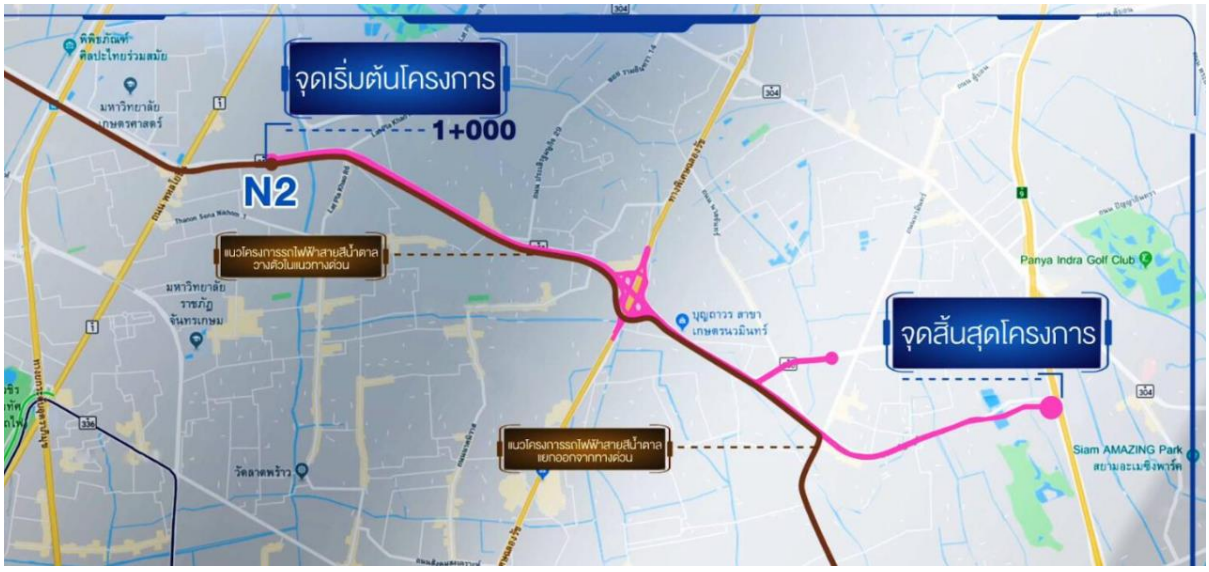
1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.) ได้มีการจัดทำแผนวิสาหกิจประจำปีงบประมาณ 2560 – 2565 โดยกำหนดวิสัยทัศน์ของการดำเนินงานไว้ดังนี้ “เป็นองค์กรที่มีความเป็นเลิศด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ที่สามารถยกระดับคุณภาพชีวิตประชาชนและส่งเสริมการพัฒนาเมืองอย่างยั่งยืน” โดยมีการกำหนดยุทธศาสตร์ที่ 4 พัฒนาศูนย์กลางความรู้ด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนระดับประเทศและเตรียมความพร้อมมุ่งสู่ระดับภูมิภาคอาเซียน ดังนั้น รฟม. จึงได้จัดทำแผนปฏิบัติการ ประจำปีงบประมาณ 2565 “โครงการความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้และพัฒนาองค์ความรู้ด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน” เพื่อใช้เป็นแผนการดำเนินงานให้ รฟม. สามารถบรรลุผลตามแผนวิสาหกิจฯ ดังกล่าว และส่งเสริมบรรยากาศการดำเนินงานวิจัยของ รฟม. โดยมีผลสัมฤทธิ์ที่คาดหวังคือมีการจัดทำงานวิจัยโดยอาจร่วมกับสถาบันทางวิชาการของรัฐ/เอกชน และมีการสร้างเครือข่ายความร่วมมือกับสถาบันทางวิชาการของรัฐ/เอกชน รวมทั้งองค์กรด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนหรืออื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และเพื่อให้งานวิจัยสอดคล้องกับความต้องการนำไปใช้งานและเป็นประโยชน์สูงสุด

รฟม. ได้ดำเนินการสำรวจความต้องการทำวิจัยของส่วนงานต่างๆ ภายใน รฟม. และพบว่า รฟม. มีโครงการที่อยู่ในความรับผิดชอบหลายโครงการ มีทั้งโครงการที่อยู่ในขั้นตอนของการศึกษา ไปจนถึงโครงการที่ดำเนินการเสร็จลุล่วงจนเปิดให้บริการแล้วในปัจจุบัน ซึ่งในขั้นตอนการดำเนินงานให้สำเร็จในแต่ละโครงการนั้น มีหลายขั้นตอนที่สำคัญ หนึ่งในนั้นคือขั้นตอนในช่วงของการก่อสร้างโครงสร้างโครงการรถไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นการก่อสร้างโครงสร้างทางวิ่ง โครงสร้างสถานี หรือโครงสร้างอาคารต่างๆ จำเป็นต้องเลือกวิธีการหรือเทคโนโลยีการก่อสร้างที่มีความเหมาะสมมากที่สุด มีความคุ้มค่า และลดผลกระทบในด้านต่างๆ ให้ได้มากที่สุด ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์ในการคัดเลือกที่ครอบคลุมปัจจัยในหลายๆ ด้านที่สำคัญ อีกทั้งโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย-ลำสาลี (บึงกุ่ม) เป็นโครงการที่มีแนวคิดมาจากการศึกษาทบทวนโครงการระบบทางด่วนขั้นที่ 3 สายเหนือ ที่มีการก่อสร้างเสาตอม่อเตรียมไว้แล้วบนแนวกึ่งกลางของถนนประเสริฐมนูกิจ (ถนนเกษตร-นวมินทร์) ซึ่งการทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) กำหนดให้เป็นเส้นทางเชื่อมกับระบบทางพิเศษระหว่างเมืองด้านตะวันออก-ตะวันตก แต่การพัฒนาของโครงการระบบทางด่วนขั้นที่ 3 สายเหนือได้หยุดชะลอลง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 เนื่องจากมีการคัดค้านโครงการดังกล่าว กระทรวงคมนาคมจึงมีแนวคิดที่จะดำเนินการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ แทน โดยใช้เสาตอม่อโครงการทางด่วนดังกล่าวให้เกิดประโยชน์ และได้มอบหมายให้สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) ศึกษาความเป็นไปได้ในเบื้องต้น จากผลการศึกษาความเหมาะสม ทาง สนข. ได้บรรจุแผนพัฒนาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในแผนแม่บทระบบขนส่งมวลชนทางรางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และกระทรวงคมนาคมได้มอบหมายให้การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.) และการทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) ดำเนินการในส่วนของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ และโครงข่ายระบบทางด่วนขั้นที่ 3 สายเหนือตามลำดับ โดยพิจารณาวางแผนร่วมกันให้เกิดผลกระทบระหว่างการก่อสร้างต่อประชาชนในพื้นที่ก่อสร้างที่ต้องใช้ร่วมกันให้น้อยที่สุด

จากผลการศึกษาความเหมาะสมของ สนข. โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ จะมีส่วนซ้อนทับกับโครงการระบบทางด่วนขั้นที่ 3 สายเหนือ ตอน N2 ของ กทพ. บนถนนประเสริฐมนูกิจ ระยะทางรวมประมาณ 7 กิโลเมตร โดย กทพ. มีแผนในการใช้ประโยชน์จากเสาฐานรากเดิมบนถนนประเสริฐมนูกิจในการพัฒนาโครงการทางด่วน ดังนั้นเพื่อให้ รฟม. สามารถบูรณาการการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในบริเวณที่ซ้อนทับกับโครงการระบบทางด่วนของ กทพ. ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมลดผลกระทบด้านการใช้พื้นที่ก่อสร้างและลดปัญหาการจราจรในระหว่างการก่อสร้าง รฟม. ได้ทบทวนสำรวจ ออกแบบรายละเอียดต่างๆ ของโครงการระบบรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ที่อยู่บนถนนประเสริฐมนูกิจและนำส่งข้อมูลให้แก่ กทพ. เพื่อใช้ในการประกวดราคาก่อสร้างโครงการระบบทางด่วนขั้นที่ 3 สายเหนือ ตอน N2 ซึ่งคาดว่าจะเปิดประมูลโครงการในปี 2565 ตามผลการประชุมคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติช่วงปลาย ธค. 2564 ที่ผ่านมาที่ได้เห็นชอบโครงการระบบทางด่วนขั้นที่ 3 (สายเหนือและสายใต้) เชื่อมต่อไปยังถนนวงแหวนรอบนอกกรุงเทพมหานครด้านตะวันออก



รูปที่ 1.1-1 แนวซ้อนทับของระบบทางพิเศษ (สีชมพู) และระบบรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ (สีน้ำตาล)

จากลักษณะของโครงการก่อสร้างที่มีส่วนซ้อนทับกันระหว่างโครงการระบบทางด่วนขั้นที่ 3 ดังกล่าวกับโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ซึ่งมีแนวคิดที่จะใช้โครงสร้างเสาตอม่อและฐานรากเดียวกันด้วยเหตุผลข้อจำกัดต่างๆ เช่น พื้นที่ก่อสร้างของโครงการที่จำกัด ปัญหาการจราจรในระหว่างการก่อสร้าง ผลกระทบต่อประชาชนในพื้นที่ งบประมาณ ฯลฯ จึงเป็นโอกาสที่จะสามารถนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในการประยุกต์ผลของการศึกษาวิจัยโครงการวิจัยนี้เพื่อสรุปผลการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างสำหรับโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ สำหรับช่วงที่มีอุปสรรคต่างๆ ได้

จากที่มาและความสำคัญที่กล่าวไว้ข้างต้นจึงได้นำมาจัดทำงานวิจัยโครงการนี้คือ การศึกษาปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า กรณีศึกษาการก่อสร้างในพื้นที่จำกัดของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า นำไปสู่การ

สร้างเกณฑ์ในการคัดเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่อยู่ในความรับผิดชอบของทาง รฟม. พร้อมทั้งศึกษา เปรียบเทียบเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในพื้นที่จำกัด สนับสนุนการพัฒนาองค์ความรู้ด้านการบริหารโครงการรถไฟฟ้า และศึกษาเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่ช่วยลดผลกระทบจากการก่อสร้าง เสริมสร้างประสบการณ์ที่ดีและสร้างความพึงพอใจแก่ประชาชนตามแนวสายทาง โดยทาง รฟม. ได้ว่าจ้างทางภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ให้เป็นที่ปรึกษาฯ ดำเนินการร่วมกับคณะเจ้าหน้าที่ของ รฟม. ในการทำงานวิจัยนี้

1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

รฟม. ได้ว่าจ้างที่ปรึกษาฯ ให้ดำเนินการ “โครงการความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้และพัฒนาองค์ความรู้ด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ปีงบประมาณ 2565” เพื่อจัดทำงานวิจัยทางวิชาการในหัวข้อ การศึกษาปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า กรณีศึกษาการก่อสร้างในพื้นที่จำกัดของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม) โดยมีวัตถุประสงค์ ดังนี้

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยี อุปสรรคที่คาดว่าจะเกิดขึ้น และวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ซึ่งนำไปสู่การสร้างหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่อยู่ในความรับผิดชอบของ รฟม.
2. เพื่อศึกษา เปรียบเทียบเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในพื้นที่จำกัด จากกรณีศึกษาของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม)
3. เพื่อศึกษาเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่ช่วยลดผลกระทบจากการก่อสร้าง เสริมสร้างประสบการณ์ที่ดีและสร้างความพึงพอใจแก่ประชาชนตามแนวสายทาง จากกรณีศึกษาของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม)

1.3 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. ทราบถึงข้อดีข้อด้อยของเทคโนโลยีการก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างต่างๆ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้
2. ทราบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยี อุปสรรคที่คาดว่าจะเกิดขึ้น และสามารถสร้างเกณฑ์สำหรับการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างต่างๆ สำหรับโครงการรถไฟฟ้า
3. ได้ผลลัพธ์ของการเลือกเทคโนโลยีการก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม สำหรับกรณีศึกษาการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม) ที่มีบริเวณพื้นที่จำกัด

1.4 ขอบเขตการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของโครงการที่กำหนดไว้ ที่ปรึกษาฯ ได้ดำเนินงานโครงการ โดยมีขอบเขตของการดำเนินงานดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.4.1 กำหนดแผนงานและวิธีการดำเนินงานตลอดโครงการ โดยจัดทำรายงานการเริ่มงาน (Inception Report) ซึ่งประกอบไปด้วย ที่มาและความสำคัญ วัตถุประสงค์ แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง กรอบแนวคิดการวิจัย วิธีการศึกษา แผนการดำเนินงานและระยะเวลาการดำเนินงานในแต่ละกิจกรรม และผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.2 ศึกษา ทบทวนข้อมูล เอกสาร ข้อมูลทุติยภูมิ งานวิจัย และรายงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการก่อสร้าง การบริหารโครงการ และแนวคิด/แนวทางในการใช้เทคโนโลยีเพื่อออกแบบวิธีการก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างโครงสร้างอาคาร การก่อสร้างโครงสร้างถนน/สะพาน และการก่อสร้างโครงสร้างรถไฟฟ้าในลักษณะรูปแบบต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ เป็นต้น พร้อมทั้งส่งมอบหนังสือ/ตำรา/บทความทางวิชาการ ที่เป็นภาษาไทยและ/หรือภาษาต่างประเทศ ที่นำมาใช้ประกอบการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้ จำนวนไม่ต่ำกว่า 10 เรื่อง ที่มีลิขสิทธิ์ถูกต้องตามกฎหมาย เมื่อการดำเนินการวิจัยแล้วเสร็จ ทั้งนี้ต้องนำเสนอรายการหนังสือ/ตำรา/บทความทางวิชาการดังกล่าวให้ รฟม. พิจารณาเห็นชอบ ก่อนส่งมอบหนังสือ/ตำรา/บทความวิชาการ ดังกล่าวให้ รฟม.

1.4.3 ศึกษาทบทวนข้อมูล เอกสาร งานวิจัย และรายงานที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยและค่าน้ำหนักของปัจจัยในการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในด้านต่างๆ เช่น ด้านงบประมาณ เวลา คุณภาพ ข้อจำกัดลักษณะทางกายภาพ ทางนโยบาย ทางกฎหมาย และด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

1.4.4 วิเคราะห์ เสนอแนะปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าแต่ละลักษณะรูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ได้แก่ โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างยกระดับ โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างใต้ดิน โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างระดับดิน เป็นต้น โดยดำเนินการดังนี้

- เสนอแนะปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า โดยจัดแบ่งตามกลุ่มปัจจัยหลัก และปัจจัยย่อยในด้านต่างๆ เช่น ปัจจัยด้านงบประมาณ ปัจจัยด้านระยะเวลา ปัจจัยด้านคุณภาพ รวมถึงข้อจำกัดลักษณะทางกายภาพ ทางนโยบาย ทางกฎหมาย และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ในแต่ละลักษณะ/รูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ได้แก่ โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างยกระดับ โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างใต้ดิน โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างระดับดิน หรือตามข้อมูลที่ รฟม. กำหนด
- พิจารณาสิ่งก่อสร้างในรูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า เช่น การก่อสร้างสถานีใต้ดิน การก่อสร้างทางยกระดับ เป็นต้น เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น (Analytical Hierarchy Process, AHP) หรือวิธีอื่นๆ ที่เหมาะสม โดยทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง กลุ่มปัจจัยหลัก และปัจจัยย่อยในด้านต่างๆ ตามประเภทของสิ่งก่อสร้างในลักษณะรูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้านั้นๆ โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญ และผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของ รฟม. รวมเป็นจำนวนไม่น้อยกว่า 5 คน เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในแต่ละลักษณะ/รูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

- วิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าของรูปแบบที่คัดเลือกมาทำการวิเคราะห์ ในแต่ละสิ่งก่อสร้างในรูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าข้างต้น

1.4.5 เสนอแนะค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักและปัจจัยย่อยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าตามหัวข้อที่ 1.4.4 ซึ่งประกอบไปด้วยปัจจัยหลัก เช่น ค่าก่อสร้าง ระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้าง ความปลอดภัย ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการเชื่อมต่อกับรูปแบบการเดินทางอื่นเป็นต้น

1.4.6 ศึกษาและทบทวนรายละเอียดงานโยธาของโครงสร้างทางวิ่งแนวเส้นทางและสถานีรถไฟฟ้าโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม) ตามผลการศึกษาของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) ที่ได้ดำเนินการไว้เมื่อ พ.ศ. 2560 เช่น ในส่วนพื้นที่ของแนวเส้นทางโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ที่ซ้อนทับกับโครงการพัฒนาระบบทางด่วนของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย เป็นต้น และรายงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องตามที่ รฟม. กำหนด พร้อมทั้งศึกษาเอกสาร ข้อมูล และปัญหาอุปสรรคต่างๆ ทั้งทางด้านเทคนิค มาตรฐานในการออกแบบ กฎหมายที่เกี่ยวข้อง เช่น กฎหมายควบคุมอาคาร กฎหมายผังเมือง กฎหมายสิ่งแวดล้อม กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับคนพิการ เป็นต้น รวมถึงศึกษาทบทวนรายละเอียดโครงการของหน่วยงานอื่นๆ ที่อาจมีผลกระทบต่อการดำเนินโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาคัดเลือกเทคโนโลยีและวิธีการที่ใช้ในการก่อสร้างในพื้นที่จำกัด

1.4.7 เสนอแนะเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่เป็นไปได้ในการก่อสร้างโครงสร้างทางวิ่ง และสถานีรถไฟฟ้า รวมทั้งปัญหาอุปสรรคบริเวณพื้นที่จำกัดนั้นๆ โดยใช้กรณีศึกษาของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม) ตามข้อมูลล่าสุดที่ได้รับจากทาง รฟม. รวมถึงรายงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องตามที่ รฟม. กำหนด และทำการพิจารณาบริเวณพื้นที่จำกัดของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม) ที่มีอุปสรรคในการก่อสร้างจำนวนอย่างน้อย 3 แห่ง เช่น การก่อสร้างในพื้นที่ของแนวเส้นทางโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ที่ซ้อนทับกับโครงการพัฒนาระบบทางด่วนของการทางพิเศษแห่งประเทศไทย การก่อสร้างบริเวณแยกบางเขน ที่มีจุดตัดกับทางยกระดับอุตราภิมุข และระบบรถไฟฟ้าอื่นๆ จำนวนมาก และ การก่อสร้างบริเวณแยกพงษ์เพชรซึ่งเป็นจุดที่ต้องทำการรื้อย้ายสะพานรถยนต์เดิมและอุปสรรคจากแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูง เป็นต้น

1.4.8 เปรียบเทียบเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่ได้เสนอตามข้อ 1.4.7 โดยใช้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่ได้เสนอไว้ในข้อ 1.4.5 ที่เป็นลักษณะ/รูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบเดียวกัน เพื่อหาเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในบริเวณพื้นที่จำกัดนั้นๆ พร้อมทั้งจัดทำภาพจำลองเคลื่อนไหวเสมือนจริง (3D Animation) อย่างน้อย 1 แห่ง เพื่อแสดงแนวทางการก่อสร้างด้วยเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม นั้นๆ

1.4.9 จัดสัมมนาหรือฝึกอบรมให้แก่พนักงาน รฟม. จำนวนไม่น้อยกว่า 30 คน เกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการและนำเสนอรายละเอียดการจัดสัมมนาหรือฝึกอบรมให้แก่ รฟม. พิจารณาเห็นชอบก่อนดำเนินการต่อไป พร้อมทั้งจัดเตรียมอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการจัดสัมมนาหรือฝึกอบรม เอกสารประกอบการอบรม อาหารและเครื่องดื่ม

1.4.10 จัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ (Final Report) ซึ่งประกอบด้วย บทคัดย่อ บทนำ แนวคิด/ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ระเบียบวิธีวิจัย ผลการศึกษา สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

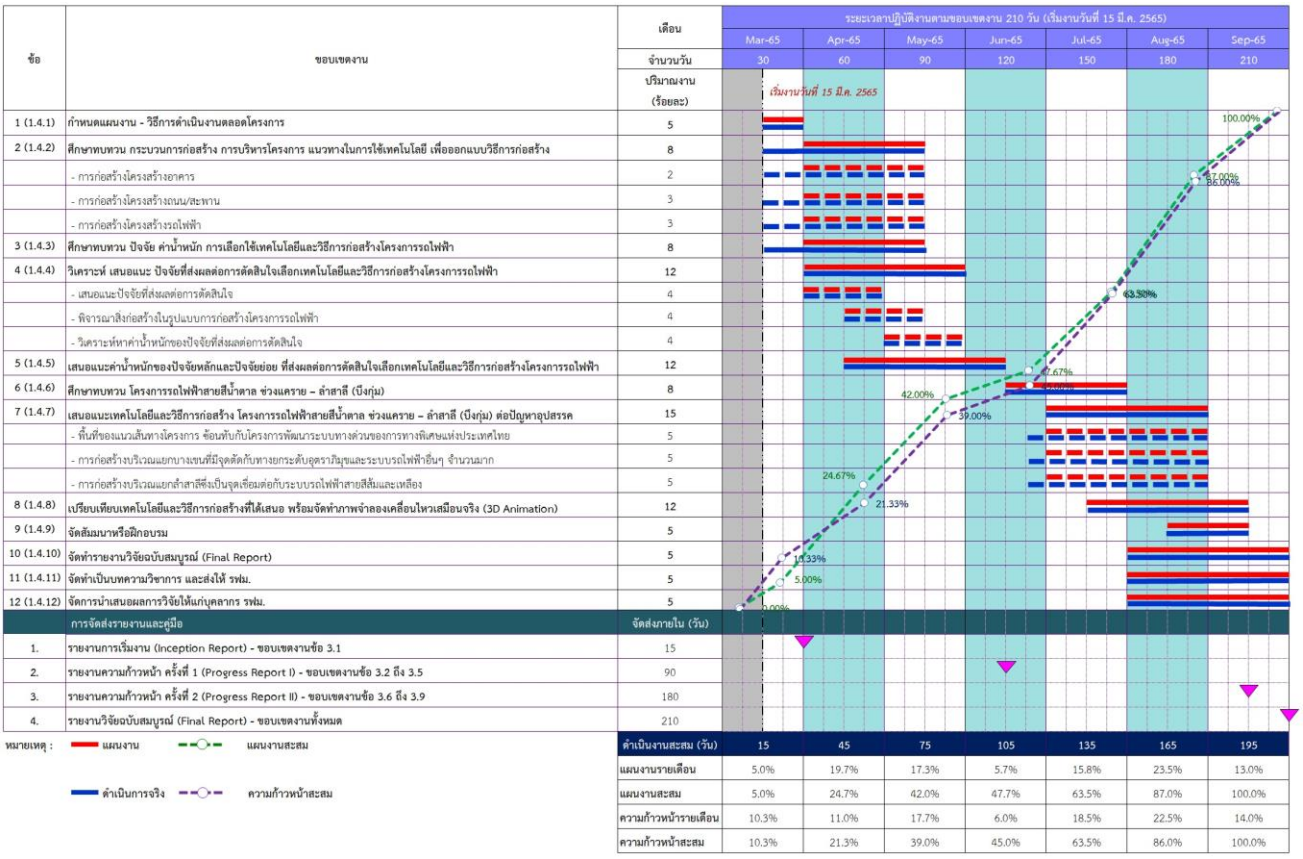
เป็นต้น และจัดส่งให้ รฟม. พิจารณา พร้อมทั้งนำเสนอต่อ รฟม. ทั้งนี้หาก รฟม. มีความเห็นหรือข้อเสนอแนะเพิ่มเติมต่อเนื้อหารายงานที่จัดทำขึ้นในภายหลัง ที่ปรึกษาฯ จะต้องนำความเห็นหรือข้อเสนอแนะดังกล่าว มาพิจารณาปรับปรุงแก้ไขรายงานให้สมบูรณ์ ตามที่ รฟม. เห็นชอบ ต่อไป

1.4.11 จัดทำเป็นบทความวิชาการและจัดส่งให้ รฟม. เพื่อพิจารณา หาก รฟม. มีความเห็นหรือข้อเสนอแนะเพิ่มเติมต่อเนื้อหาบทความทางวิชาการที่จัดทำขึ้นในภายหลัง จะต้องนำความเห็นหรือข้อเสนอแนะ มาพิจารณาปรับปรุงแก้ไขบทความทางวิชาการให้สมบูรณ์ ตามที่ รฟม. เห็นชอบ ต่อไป

1.4.12 จัดการนำเสนอผลการวิจัยให้แก่บุคลากร รฟม. โดยจัดเตรียมสถานที่และอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับการจัดการนำเสนอผลการวิจัย เช่น เอกสารประกอบการบรรยาย เป็นต้น

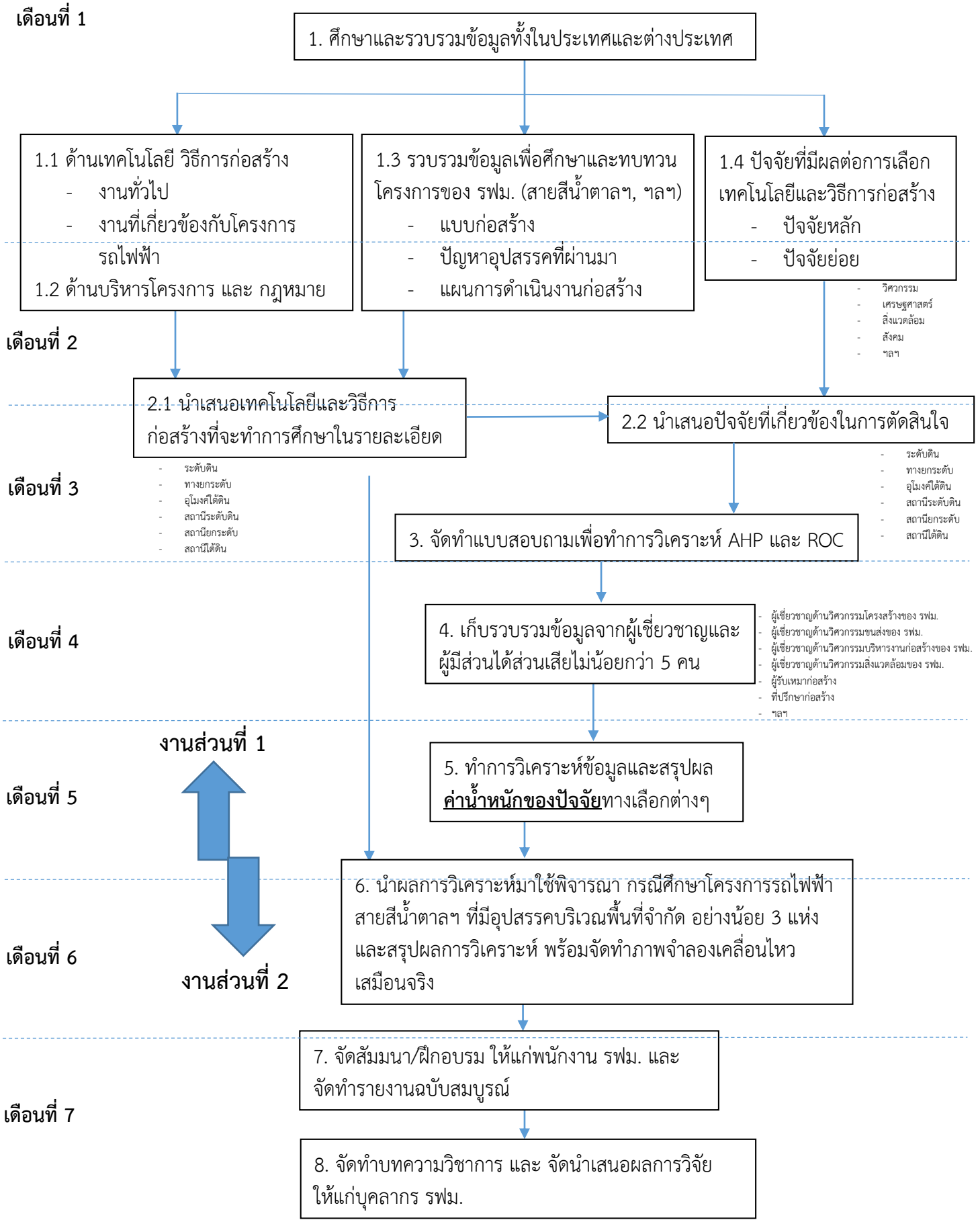
1.5 ระเบียบวิธีการวิจัยและการดำเนินงานตามแผนงาน

เพื่อให้งานบรรลุตามเป้าหมาย ทางที่ปรึกษาฯ ได้จัดทำแผนงานและมีผลการดำเนินงานตามแผนงานดังแสดงในรูปที่ 1.5-1 ที่สอดคล้องกันกับขอบเขตการดำเนินงาน และมีระเบียบวิธีการวิจัยตามที่ได้วางกรอบแนวคิดการวิจัยดังแสดงในรูปที่ 1.5-2 เพื่อเป็นแนวทางการดำเนินงานให้บรรลุตามแผนสำเร็จได้ในที่สุด โดยจากภาพแผนงานจะเห็นได้ว่าทางที่ปรึกษาฯ ได้เร่งดำเนินงานในช่วงต้นได้เร็วกว่าแผนงาน แต่ในช่วงกลางเนื่องด้วยต้องประสานงานหลายส่วนงานในการระดมความคิดเห็นและสรุปผล ทำให้มีความล่าช้ากว่าแผนงานไปบ้าง แต่ก็สามารถเร่งดำเนินการในช่วงท้ายให้สำเร็จทันตามแผนงานได้ในที่สุด



หมายเหตุ : หมายเลขข้อในวงเล็บอ้างอิงตามขอบเขตการดำเนินงานในข้อ 1.4 ที่สอดคล้องตามข้อกำหนดการว่าจ้าง

รูปที่ 1.5-1 ผลการดำเนินงานตามแผนงาน



รูปที่ 1.5-2 แผนภาพแสดงกรอบแนวคิดการวิจัย

แผนภาพแสดงกรอบแนวคิดการวิจัยในรูปที่ 1.5-2 สามารถแบ่งงานออกได้เป็น 2 ส่วนหลักๆ คือ

งานส่วนที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างของรูปแบบโครงสร้างต่างๆ และทำการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยนั้นๆ โดยงานส่วนนี้ใช้ระยะเวลาประมาณ 5 เดือน ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงานในขั้นตอนที่ 1 - 5

งานส่วนที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลการวิจัยค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างจากส่วนที่ 1 มาประยุกต์ใช้วิเคราะห์กรณีศึกษาการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในบริเวณพื้นที่จำกัด โดยพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่ทางที่ปรึกษาฯ ได้คัดเลือกและนำเสนอสรุปผลการวิเคราะห์ ซึ่งคาดว่าจะได้ผลลัพธ์เป็นเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุด รวมถึงการจัดทำภาพจำลองเคลื่อนไหวเสมือนจริง งานในส่วนนี้ใช้ระยะเวลาประมาณ 1 เดือน โดยอยู่ในขั้นตอนการดำเนินงานในขั้นตอนที่ 6

และท้ายสุดใช้เวลาอีกประมาณ 1 เดือนในการจัดสัมมนาฝึกอบรมให้แก่พนักงาน รฟม. การจัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การจัดทำบทความวิชาการ และ จัดการนำเสนอผลการวิจัยให้แก่บุคลากร รฟม.

ขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ สามารถอธิบายในรายละเอียดได้ดังนี้

- <u>ขั้นตอนที่ 1</u> เป็นการศึกษารวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง ซึ่งคาดว่าจะใช้เวลาในขั้นตอนนี้ประมาณ 2 เดือน โดยเป็นการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นและสำคัญทั้งหมดจาก หนังสือ ตำรา วารสาร บทความ วิทยานิพนธ์ เอกสารประกอบการประชุมวิชาการ รายงานผลการวิจัยต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ จำนวนไม่น้อยกว่า 10 เรื่อง โดยข้อมูลที่ทำการรวบรวมประกอบด้วย

  1.1 ข้อมูลด้านเทคโนโลยี และ วิธีการก่อสร้าง โดยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลในเชิงกว้างของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงสร้างชนิดต่างๆ เช่น อาคาร สะพาน ถนน อุโมงค์ โครงการรถไฟฟ้า เพื่อรวบรวมข้อมูลให้มีความหลากหลายในการพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง

  1.2 ข้อมูลด้านบริหารโครงการก่อสร้าง โดยในส่วนนี้จะเน้นถึงข้อมูลเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่มีความเกี่ยวข้องกับการบริหารงานโครงการก่อสร้างที่อาจมีผลทำให้ต้องเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่แตกต่างกันออกไป ข้อมูลในส่วนนี้จะรวมกับข้อมูลในหัวข้อ 1.1 ข้างต้นเพื่อให้ได้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างในภาพกว้าง และนำมาประกอบการพิจารณากับข้อมูลในข้อถัดไป

  1.3 ข้อมูลเพื่อศึกษาทบทวนเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง แผนการดำเนินงานก่อสร้าง ปัญหาและอุปสรรคที่เคยพบ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจกำหนดทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง นอกจากนี้ข้อมูลส่วนนี้ยังรวมถึงข้อมูลของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ที่จะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในการวิเคราะห์เลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างในบริเวณที่มีอุปสรรคพื้นที่จำกัดด้วย

  1.4 ข้อมูลด้านปัจจัยที่มีผลต่อในการตัดสินใจในการเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้าง ซึ่งจะประกอบด้วยปัจจัยหลัก เช่น

    - ปัจจัยทางด้านวิศวกรรม
    - ปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์

- ปัจจัยทางด้านสังคม และ สิ่งแวดล้อม
- ฯลฯ

โดยในแต่ละปัจจัยหลักยังประกอบด้วยปัจจัยย่อยอื่นๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจทางเลือกต่างๆ เช่น ปัจจัยด้านเวลาในการก่อสร้าง, ปัจจัยด้านความปลอดภัย, ปัจจัยด้านข้อจำกัดในการก่อสร้างด้วย สภาพทางกายภาพ, ปัจจัยด้านมลพิษทางเสียง น้ำ อากาศ, ปัจจัยด้านชุมชนประชาชนผู้สัญจร การจราจรที่ได้รับผลกระทบ ฯลฯ เป็นต้น ในส่วนนี้จะเป็นการรวบรวมข้อมูลเพื่อพิจารณาว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง เพื่อมาสรุปปัจจัยที่ต้องการนำไปวิเคราะห์หาความสำคัญ หาค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยต่อไป

- ขั้นตอนที่ 2 เป็นการนำเสนอปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจทางเลือกของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง ซึ่งจะประกอบด้วยปัจจัยหลัก และ ปัจจัยย่อย ดังที่ได้นำเสนอข้างต้น โดยปัจจัยต่างๆ ที่ทาง รฟม. เห็นชอบจะถูกนำมาใช้ในการพิจารณาทางเลือกของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง โดยทางที่ปรึกษาฯ จะจัดทำแบบสอบถามเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสำคัญ (ค่าน้ำหนัก) ของแต่ละปัจจัยที่เลือกมานี้ในขั้นตอนต่อไป

- ขั้นตอนที่ 3 เป็นการจัดทำแบบสอบถามจากข้อมูลก่อนหน้าข้างต้นเพื่อใช้ในการพิจารณาความสำคัญของแต่ละปัจจัยนั้นๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ AHP สำหรับกรณีของปัจจัยหลัก ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด โดยมีหลักการ คือ แบ่งโครงสร้างของปัญหาออกเป็นชั้นๆ ชั้นแรก คือ การกำหนดเป้าหมาย (Goal) แล้วจึงกำหนดเกณฑ์ (Criteria) เกณฑ์ย่อย (Subcriteria) และทางเลือก (Alternatives) ตามลำดับ และใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี ROC สำหรับกรณีของปัจจัยย่อย เนื่องจากมีปัจจัยย่อยจำนวนมากไม่เหมาะสมที่จะใช้วิธีวิเคราะห์ด้วย AHP

  การวิเคราะห์ตามลำดับชั้นมีสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณา 3 ประการ คือ

  - การจัดลำดับชั้นในการวิเคราะห์
  - การหาลำดับความสำคัญ (Priority)
  - การวิเคราะห์ความสมเหตุสมผลของข้อมูล (การวิเคราะห์ Consistency Index)

  การดำเนินงานขั้นตอนที่ 2 และ 3 ต่อเนื่องกันนี้ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน โดยแบบสอบถามที่จัดทำขึ้นจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่เป็นความเห็นในเชิงคุณภาพให้มีค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยในเชิงปริมาณที่เป็นค่าตัวเลขสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ ความซับซ้อนของแบบสอบถามจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการพิจารณา

- ขั้นตอนที่ 4 จะต่อเนื่องจากขั้นตอนที่ 3 เมื่อสรุปจัดทำแบบสอบถามในการพิจารณาความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างแล้ว จะให้ผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียของทาง รฟม. จำนวนไม่น้อยกว่า 5 ท่าน ทำการตอบแบบสอบถามดังกล่าว ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน ในการให้ผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่เกี่ยวข้องตอบแบบสอบถามและทำการรวบรวมกลับคืน ผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียที่จะร่วมในการตอบแบบสอบถามอาทิเช่น

  - ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโครงสร้างของทาง รฟม.
  - ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมขนส่งของทาง รฟม.
  - ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมบริหารงานก่อสร้างของทาง รฟม.

- ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมของทาง รฟม.
- ผู้รับเหมาก่อสร้าง และ ที่ปรึกษาก่อสร้าง
- ฯลฯ

- ขั้นตอนที่ 5 จะนำผลการตอบแบบสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่เกี่ยวข้องที่ได้รวบรวมกลับคืนจากขั้นตอนก่อนหน้า นำมาทำการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลในการเลือกทางเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างว่า แต่ละปัจจัยมีความสำคัญแทนค่าด้วยค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยเท่าใดบ้าง ผลที่ได้ในขั้นตอนนี้จะถือได้ว่าเป็น**ผลลัพธ์หลัก**ของงานวิจัยนี้ ซึ่งจะสรุปเป็นตารางค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการเลือกพิจารณาเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าของทาง รฟม. และจะสามารถใช้เป็นต้นแบบในการวิเคราะห์เลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าของทาง รฟม. ในโครงการอื่นๆ ต่อไปได้ ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน
- ขั้นตอนที่ 6 เป็นการนำผลวิจัยที่ได้ในขั้นตอนก่อนหน้า (ผลลัพธ์หลัก, ค่าน้ำหนักของปัจจัยในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้าง) มาทดลองใช้ในการวิเคราะห์เลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ โดยจะทดลองวิเคราะห์ในบริเวณที่มีอุปสรรคพื้นที่จำกัดในการก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ อย่างน้อยจำนวน 3 แห่ง เช่น บริเวณบนถนนประเสริฐมนูกิจที่แนวเส้นทางของโครงการซ้อนทับกับแนวทางด่วน, บริเวณแยกบางเขนที่มีการเชื่อมต่อกับระบบรถไฟฟ้าสายอื่นและมีอุปสรรคพื้นที่ในการก่อสร้างจำกัด หรือบริเวณแยกพงษ์เพชรที่อุปสรรคจากแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและสะพานรถยนต์ข้ามแยกเดิมที่ต้องทำการรื้อสร้างใหม่ เป็นต้น เพื่อพิจารณาว่าผลการวิจัยค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้จากขั้นตอนก่อนหน้าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้าง ได้ผลมีความเหมาะสมเพียงใด พร้อมทั้งจัดทำภาพจำลองเคลื่อนไหวเสมือนจริงของผลการประยุกต์ใช้ผลงานวิจัยกับโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ จำนวนอย่างน้อย 1 แห่ง ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน
- ขั้นตอนที่ 7 และ 8 จะเป็นการสรุปผลงานวิจัยทั้งหมด จัดทำเป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ ซึ่งประกอบด้วยผลลัพธ์หลักของค่าน้ำหนักของปัจจัยในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง, ผลการนำมาทดลองใช้กับโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในบริเวณพื้นที่จำกัด รวมถึงการนำผลวิจัยทั้งหมดมาจัดอบรมเพื่อถ่ายทอดความรู้ให้แก่พนักงาน รฟม. จัดการนำเสนอผลการวิจัยให้แก่บุคลากรของทาง รฟม. และจัดทำบทความทางวิชาการ ขั้นตอนสุดท้ายนี้ใช้เวลาประมาณ 1 เดือน

2. การศึกษาทบทวน ข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เทคโนโลยี วิธีการก่อสร้าง และ ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

ที่ปรึกษาฯ ได้ทำการศึกษา แนวคิด ทฤษฎี และ ทบทวนข้อมูล เอกสาร ข้อมูลทุติยภูมิ งานวิจัย และรายงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการก่อสร้าง การบริหารโครงการ และแนวคิด/แนวทางในการใช้เทคโนโลยีเพื่อออกแบบวิธีการก่อสร้าง เช่น การก่อสร้างโครงสร้างอาคาร โครงสร้างถนน/สะพาน และการก่อสร้างโครงสร้างรถไฟฟ้าในลักษณะรูปแบบต่างๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ เป็นต้น โดยอ้างอิงหนังสือ/ตำรา/บทความทางวิชาการที่เป็นภาษาไทยและ/หรือภาษาต่างประเทศ ที่นำมาใช้ประกอบการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้ จำนวนไม่ต่ำกว่า 10 เรื่อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ ปัจจัยด้านงบประมาณ เวลา นโยบาย กฎหมาย สิ่งแวดล้อม

ที่ปรึกษาฯ ได้ศึกษา ทบทวนข้อมูล เอกสาร งานวิจัย และรายงานที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยและค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยในการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในด้านต่างๆ เช่น ด้านงบประมาณด้านเวลา ด้านคุณภาพ ด้านข้อจำกัดลักษณะทางกายภาพ ทางนโยบาย ทางกฎหมาย และด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1.1 งานวิจัย Selection of Construction Methods for Construction Projects: A Knowledge Problem โดย Ximena Ferrada และ Alfredo Serpell (2014)

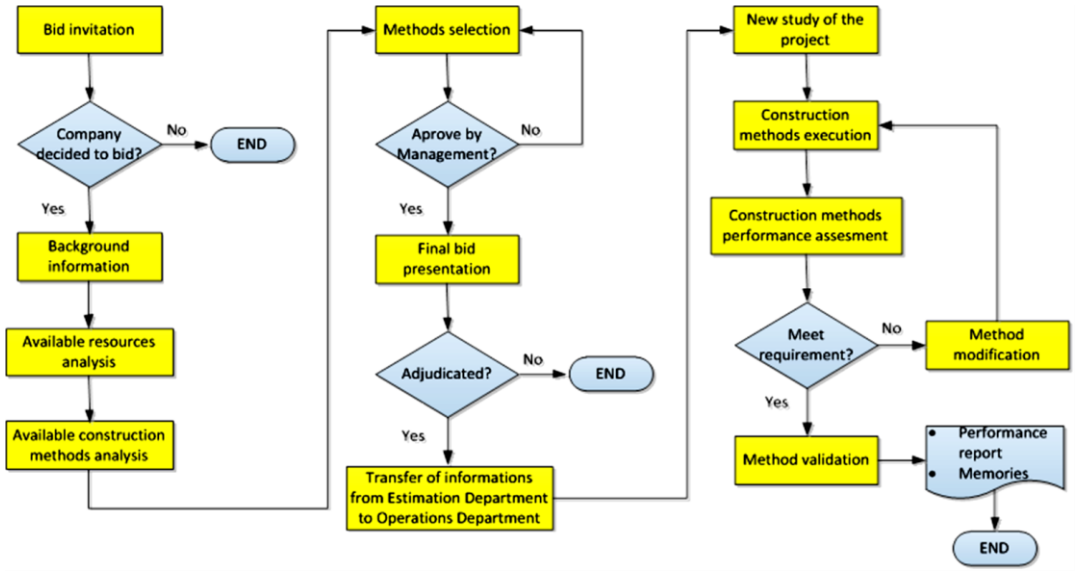
ในปี 2014 Ximen Ferrada และ Alfredo Serpell ได้ทำงานวิจัยศึกษาเรื่อง การคัดเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับโครงการก่อสร้าง ที่ประเทศชิลี มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้าง จากแนวทางปฏิบัติของงานก่อสร้างในปัจจุบัน โดยการสัมภาษณ์บุคลากรในบริษัทก่อสร้าง 7 บริษัท โดยแต่ละบริษัทก่อตั้งในช่วงปี 1960 – 1993 ทั้งบุคลากรที่อยู่ในช่วงยื่นข้อเสนอจากส่วนกลางและบุคลากรที่อยู่หน้างานระหว่างดำเนินการก่อสร้าง ผลลัพธ์ที่ได้ทำให้สามารถระบุแนวทางปฏิบัติของงานก่อสร้างในปัจจุบัน ปัญหาในกระบวนการ และความรู้ที่จำเป็นสำหรับการคัดเลือกวิธีการก่อสร้าง

ขั้นตอนทั่วไปในการเลือกวิธีการก่อสร้างในการศึกษานี้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1-1 เริ่มต้นโดยการเชิญบริษัทเพื่อเข้าร่วมการประมูล เมื่อบริษัทตัดสินใจเข้าร่วมการประมูลจะทำการดูข้อมูลเบื้องหลังของโครงการ วิเคราะห์ความพร้อมของทรัพยากรแต่ละอย่าง วิเคราะห์ความพร้อมของวิธีการก่อสร้างแต่ละวิธี จากนั้นจึงทำการคัดเลือกวิธีการก่อสร้าง ก่อนทำการยื่นข้อเสนอเพื่อประมูลโครงการ เมื่อได้งานจึงเริ่มมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างฝ่ายประมาณราคา และฝ่ายดำเนินงาน มีการศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับโครงการเลือกวิธีการก่อสร้าง มีการประเมินประสิทธิภาพวิธีการก่อสร้างที่เลือก เพื่อตรวจสอบว่า

สามารถใช้งานได้มีข้อกำหนดขั้นต่ำผ่านขอบเขตงานที่กำหนดหรือไม่ หากไม่ผ่านจึงทำการดัดแปลงวิธีการจนผ่านข้อกำหนดที่ต้องการ

จากการทบทวนวรรณกรรมของงานวิจัย การสัมภาษณ์จะถามคำถามบุคลากรในบริษัทก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับหลักเกณฑ์การเลือกวิธีการก่อสร้างจากการศึกษา มี 12 รายการ ดังนี้

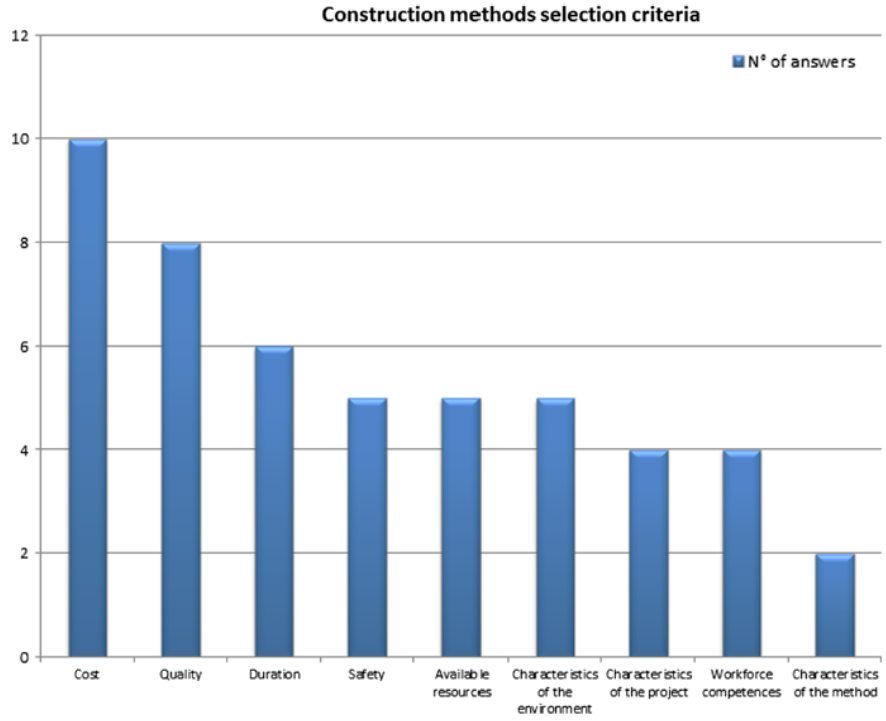
1) ระยะเวลา (Time)
2) ค่าใช้จ่าย (Cost)
3) คุณภาพ (Quality)
4) ความเสี่ยง (Risk)
5) ความพร้อมของทรัพยากร (Resources availability)
6) การซ่อมบำรุง (Maintenance)
7) อัตราการทำงาน (Production rate)
8) ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของงานก่อสร้าง (Physical characteristics of the element to build)
9) ลักษณะเฉพาะของวิธีการก่อสร้าง (Construction method characteristics)
10) สภาพแวดล้อม (Environment)
11) ลักษณะเฉพาะของพื้นที่ก่อสร้าง (Site characteristics)
12) ความปลอดภัย (Safety)



รูปที่ 2.1-1 ขั้นตอนทั่วไปในการเลือกวิธีการก่อสร้าง
(ที่มา: Ximena Ferrada and Alfredo Serpell 2014)

ผู้ตอบแบบสำรวจเกณฑ์ในการเลือกวิธีก่อสร้าง ได้ให้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.1-2 โดยทั้งหมดระบุว่าต้นทุนเป็นปัจจัยสูงสุดในการเลือกวิธีก่อสร้าง รองลงมาคือคุณภาพและระยะเวลาของโครงการ ถัดมาผู้รับเหมาให้ความเห็นว่าวิธีการที่ปลอดภัยสำหรับคนงาน และสามารถดำเนินการได้ด้วยทรัพยากรของบริษัทที่มีอยู่ลักษณะของสภาพแวดล้อมที่จะดำเนินโครงการก็ถือเป็นเกณฑ์สำคัญเช่นกัน ในส่วนของการ

เข้าถึงพื้นที่ ภูมิอากาศ หรือคุณสมบัติทางรูปร่างของวัตถุต่างๆ เงื่อนไขเหล่านี้ก็สามารถเป็นข้อจำกัดในการเลือกวิธีการก่อสร้างได้เช่นกัน และที่ส่งผลน้อยที่สุดคือ ลักษณะของโครงการในด้านการออกแบบและรูปทรง ความสามารถของพนักงาน และลักษณะของวิธีการที่จะใช้



รูปที่ 2.1-2 การประเมินเกณฑ์ที่ใช้เลือกวิธีการก่อสร้าง
(ที่มา: Ximena Ferrada & Alfredo Serpell 2014)

2.1.2 งานวิจัย Fuzzy AHP Approach For Selecting The Suitable Bridge Construction Method โดย Nang-Fei Pan (2008)

ในปี 2008 Nang-Fei Pan ได้ทำงานวิจัยศึกษาเรื่อง การคัดเลือกวิธีการก่อสร้างสะพานที่เหมาะสม โดยกระบวนการ Fuzzy AHP ที่ประเทศไต้หวัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาหลักเกณฑ์การเลือกวิธีการก่อสร้างสะพานที่เหมาะสม โดยใช้กระบวนการ Fuzzy AHP เพื่อจัดการกับความไม่แน่นอนและความคลุมเครือที่เกี่ยวข้องกับหลักเกณฑ์การตัดสินใจ โดยเกณฑ์หรือเงื่อนไขแบบฟัซซีเซต (Fuzzy) ใช้แทนฟังก์ชันที่มีความซับซ้อนไม่เป็นเชิงเส้น α = 0 , 0.5 , 1 หมายถึง ทัศนคติในการตัดสินใจ แง่ร้าย ปานกลาง และแง่ดี จากนั้นจึงใช้แบบสอบถามถามคำถามผู้เชี่ยวชาญ 8 คน เพื่อเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างวิธีการก่อสร้าง 3 รูปแบบ และปัจจัยในการเลือกวิธีการก่อสร้าง 11 ปัจจัยย่อย

กรณีศึกษาโครงการ “National Taiwan Secondary Freeway” เจ้าของโครงการ “Taiwan National Expressway Engineering Bureau” วิธีการก่อสร้างสะพานใช้เป็นกรณีศึกษามี 3 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.1-3 ถึงรูปที่ 2.1-5 ได้แก่

1) Full-span and Pre-cast Launching Method

2) Advancing Shoring Method
3) Balanced Cantilever Method



รูปที่ 2.1-3 Full-span and Pre-cast Launching Method (ที่มา: Nang-Fei Pan 2008)

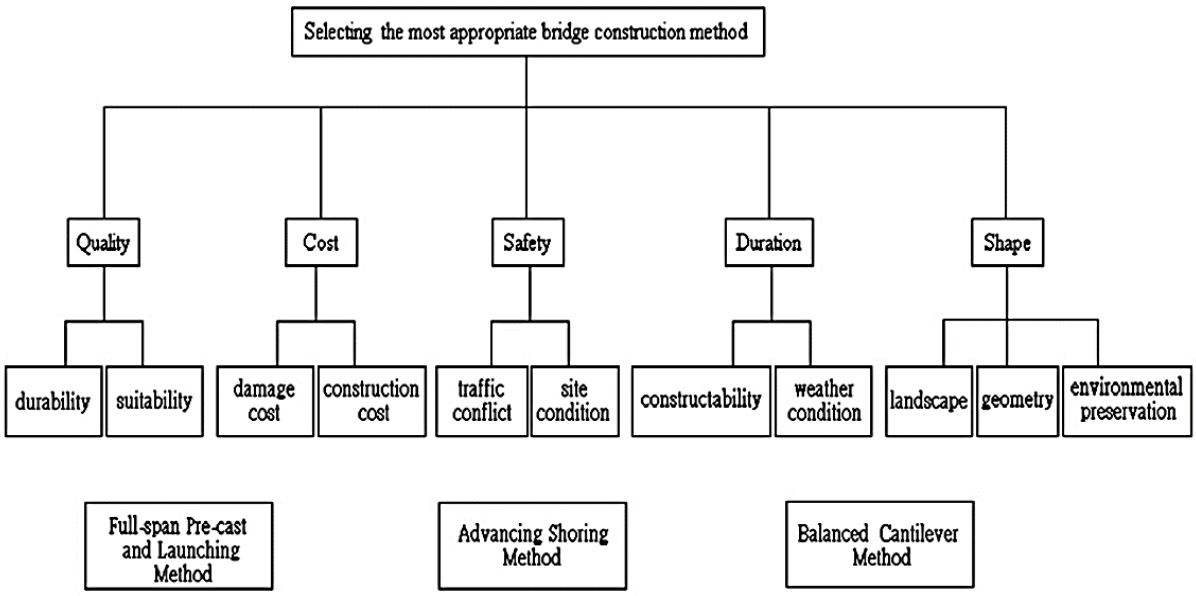


รูปที่ 2.1-4 Advancing Shoring Method (ที่มา: Nang-Fei Pan 2008)



รูปที่ 2.1-5 Balanced Cantilever Method (ที่มา: Nang-Fei Pan 2008)

ปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างสะพานทั้ง 3 วิธี โดยแบ่งออกเป็น 5 ปัจจัยหลัก 11 ปัจจัยย่อย ดังแสดงในรูปที่ 2.1-6



รูปที่ 2.1-6 ลำดับชั้นในการเลือกวิธีการก่อสร้างสะพาน

(ที่มา: Nang-Fei Pan 2008)

ขั้นตอนการประเมินโดยสรุป คือ ผู้วิจัยหรือผู้เชี่ยวชาญทำการคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วจึงนำไปออกแบบแบบสอบถามเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัย ซึ่งรูปแบบคำถามมีลักษณะในเชิงการถามเพื่อเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยหลักหรือปัจจัยย่อยทีละคู่ เช่น ปัจจัยความทนทาน สำคัญแค่ไหนเมื่อเปรียบกับ ปัจจัยความเหมาะสม เป็นต้น ซึ่งระดับความสำคัญในการประเมินน้อยไปมากดังแสดงในตารางที่ 2.1.1 โดยตัวอย่างการประเมินเปรียบเทียบปัจจัยหลักของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 8 คน ดังแสดงในตารางที่ 2.1-2 หลังจากนั้นจึงนำผลที่ได้จากการประเมินไปคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญซึ่งผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญในการเลือกวิธีการก่อสร้าง สำหรับงานก่อสร้างฐานรากกรณีศึกษาดังแสดงในตารางที่ 2.1-3 สุดท้ายจึงนำค่าน้ำหนักที่ได้ไปประเมินเปรียบเทียบในทำนองเดียวกันกับวิธีข้างต้นระหว่างปัจจัยและวิธีการก่อสร้างสะพานทั้ง 3 ตัวเลือก เพื่อหาวิธีการก่อสร้างที่ได้คะแนนมากที่สุดและคัดเลือกวิธีการก่อสร้างดังกล่าวสำหรับการก่อสร้างกรณีศึกษา

ตารางที่ 2.1-1 หลักเกณฑ์การให้คะแนนเปรียบเทียบของ Nang-Fei Pan (2008)

คำตัดสิน	ตัวย่อ	คำอธิบาย
ไม่สำคัญ (Very Unimportant)	VU	เกณฑ์ต่ำกว่าเกณฑ์อื่นอย่างมาก
สำคัญน้อย (Less Important)	LI	เกณฑ์ต่ำกว่าเกณฑ์อื่นเล็กน้อย
สำคัญ (Equally Important)	EI	เกณฑ์สองข้อมีส่วนเท่าเทียมกัน
สำคัญมาก (More Important)	MI	การประเมินชอบเกณฑ์หนึ่งมากกว่าเกณฑ์อื่นเล็กน้อย
สำคัญมากที่สุด (Very Important)	VI	การประเมินผลสนับสนุนเกณฑ์หนึ่งมากกว่าเกณฑ์อื่น

ตารางที่ 2.1-2 ตัวอย่างการประเมินเปรียบเทียบปัจจัยหลักของผู้เชี่ยวชาญ, Nang-Fei Pan (2008)

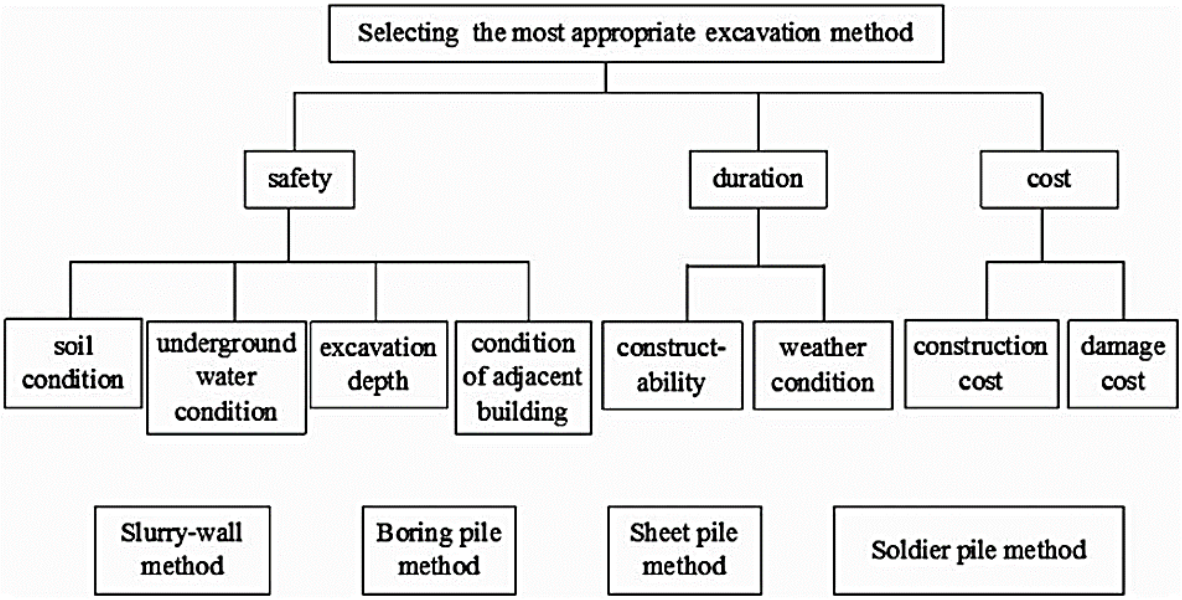
รายละเอียด	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7	คนที่ 8
Durability Vs. Suitability	EI	MI	EI	MI	MI	EI	EI	EI
Damage Cost Vs. Construction Cost	EI	LI	EI	LI	EI	EI	EI	EI
Traffic Conflict Vs. Site Condition	MI	EI	EI	EI	EI	VI	MI	EI
Constructability Vs.Weather Condition	VI	EI	EI	VI	MI	MI	MI	MI
Landscape Vs.Geometry	VI	EI	EI	MI	MI	EI	MI	MI
Landscape Vs. Environmental	LI	EI	EI	EI	EI	EI	MI	EI
Preservation Geometry Vs. Environmental Preservation	VU	LI	EI	LI	LI	EI	LI	EI

ตารางที่ 2.1-3 น้ำหนัก-หลักเกณฑ์การตัดสินใจในการประเมินวิธีการก่อสร้างของ Nang-Fei Pan (2008)

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย	น้ำหนัก
คุณภาพ (Quality)	ความทนทาน (Durability)	0.186
	ความเหมาะสม (Suitability)	0.111
ค่าใช้จ่าย (Cost)	ค่าความเสียหาย (Damage cost)	0.059
	ค่าก่อสร้าง (Construction cost)	0.098
ความปลอดภัย (Safety)	การจราจรติดขัด (Traffic conflict)	0.193
	สภาพพื้นที่ก่อสร้าง (Site condition)	0.101
ระยะเวลา (Duration)	ความสามารถในการก่อสร้าง (Constructability)	0.073
	สภาวะอากาศ (Weather condition)	0.069
รูปร่าง (Shape)	ภูมิประเทศ (Landscape)	0.036
	รูปทรง (Geometry)	0.029
	การรักษาด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental preservation)	0.074

2.1.3 งานวิจัย Selecting An Appropriate Excavation Construction Method Based On Qualitative Assessments โดย N.F. Pan (2009)

ในปี 2009 N.F. Pan ได้ทำงานวิจัยศึกษาเรื่อง การเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับงานขุดที่เหมาะสมตามการประเมินคุณภาพ ประเทศไต้หวัน การศึกษาได้คัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษาเป็นงานก่อสร้างฐานรากที่ดำเนินการในพื้นที่เกาสง ประเทศไต้หวัน ใช้วิธีการประเมินคือกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) เป็นเครื่องมือในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม ปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างสะพานทั้ง 3 วิธี โดยแบ่งออกเป็น 3 ปัจจัยหลัก 8 ปัจจัยย่อย ดังแสดงในรูปที่ 2.1-7



รูปที่ 2.1-7 ลำดับชั้นในการเลือกวิธีการก่อสร้างงานขุด (ที่มา: Nang-Fei Pan 2009)

โดยมีผู้เชี่ยวชาญ 7 คนในการประเมินเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้าง โดยประยุกต์ใช้วิธีการ FUZZY ซึ่งเป็นการประเมิน โดยจำลองสถานการณ์ในหลายกรณี เช่น ดี ทั่วไป เลวร้าย เป็นต้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในแต่ละสถานการณ์ วิธีการก่อสร้างงานฐานรากในงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 4 ตัวเลือก ได้แก่

1) วิธีการ Slurry Wall
2) วิธีการ Sheet Pile
3) วิธีการ Bored Pile
4) วิธีการ Soldier Pile

ขั้นตอนการประเมินโดยสรุป คือ ผู้วิจัยหรือผู้เชี่ยวชาญทำการคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วจึงนำไปออกแบบแบบสอบถามเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัย ซึ่งรูปแบบคำถามมีลักษณะในเชิงการถามเพื่อเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยหลักหรือปัจจัยย่อยทีละคู่ เช่น ปัจจัยข้อจำกัดทางด้านปฐพี สำคัญแค่ไหนเมื่อเปรียบกับ ปัจจัยข้อจำกัดระดับน้ำใต้ดิน เป็นต้น ซึ่งระดับความสำคัญในการประเมินน้อยไปมากดังแสดงในตารางที่ 2.1-4 โดยตัวอย่างการประเมินเปรียบเทียบปัจจัยหลักของผู้เชี่ยวชาญทั้ง 7 คน ดังแสดงในตารางที่ 2.1-5 หลังจากนั้นจึงนำผลที่ได้จากการประเมินไปคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญ ซึ่งผลการประเมินน้ำหนักความสำคัญในการเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับงานก่อสร้างฐานรากกรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 2.1-6 สุดท้ายจึงนำค่าน้ำหนักที่ได้ ไปประเมินเปรียบเทียบในทำนองเดียวกันกับวิธีข้างต้นระหว่างปัจจัยและวิธีการก่อสร้างงานฐานราก ทั้ง 4 ตัวเลือก เพื่อหาวิธีการก่อสร้างที่ได้คะแนนมากที่สุด และคัดเลือกวิธีการก่อสร้างดังกล่าวสำหรับการก่อสร้างกรณีศึกษา

ตารางที่ 2.1-4 หลักเกณฑ์การให้คะแนนเปรียบเทียบของ N.F. Pan (2009)

คำตัดสิน	คำอธิบาย	เลขระดับ	เลข FUZZY
ไม่สำคัญ	เกณฑ์ต่ำกว่าเกณฑ์อื่นอย่างมาก	1	(0,0,1,2)
สำคัญน้อย	เกณฑ์ต่ำกว่าเกณฑ์อื่นเล็กน้อย	2	(1,2,5,4)
สำคัญ	เกณฑ์สองข้อมีส่วนเท่าเทียมกัน	3	(3,5,7)
สำคัญมาก	การประเมินชอบเกณฑ์หนึ่งมากกว่าเกณฑ์อื่นเล็กน้อย	4	(6,7,5,9)
สำคัญมากที่สุด	การประเมินผลสนับสนุนเกณฑ์หนึ่งมากกว่าเกณฑ์อื่น	5	(8,9,10,10)

ตารางที่ 2.1-5 ตัวอย่างการประเมินเปรียบเทียบปัจจัยหลักของผู้เชี่ยวชาญ, N.F. Pan (2009)

รายละเอียด	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6	คนที่ 7
Safety Vs. Duration	5	5	3	3	5	4	4
Safety Vs. Cost	3	4	3	4	5	3	4
Duration Vs. Cost	4	3	3	5	5	3	3

ตารางที่ 2.1-6 น้ำหนัก หลักเกณฑ์การตัดสินใจในการประเมินวิธีการก่อสร้างฐานรากของ N.F. Pan (2009)

ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย	น้ำหนัก
ความปลอดภัย (Safety)	ข้อจำกัดทางด้านปฐพี (Soil Condition)	0.290
	ข้อจำกัดระดับน้ำใต้ดิน (Underground-Water Condition)	0.312
	ระดับความลึกการขุด (Excavation Depth)	0.209
	ข้อจำกัดอาคารข้างเคียง (Neighboring Building Condition)	0.188
ระยะเวลา (Duration)	ความสามารถในการก่อสร้าง (Constructability)	0.606
	สภาวะอากาศ (Weather Condition)	0.394
ค่าใช้จ่าย (Cost)	ค่าก่อสร้าง (Construction Cost)	0.563
	ค่าความเสียหาย (Damage Cost)	0.437

2.1.4 งานวิจัย Value Engineering In Egyptian Bridge Construction โดย Ismail M. Basha และ Ahmed A. Gab-Allah (1991)

ในปี 1991 Ismail M. Basha และ Ahmed A. Gab-Allah ได้ทำงานวิจัยเรื่อง วิศวกรรมความคุ้มค่าในการก่อสร้างสะพานของชาวอียิปต์ โดยงานวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับการใช้หลักการวิศวกรรมความคุ้มค่า เพื่อประเมินการเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับโครงการสะพานที่สำคัญในอียิปต์ การศึกษานี้ทำการเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม สำหรับโครงการสะพาน 14 โครงการ โดยมีการจำแนกสถานการณ์ของแต่ละโครงการ ได้แก่ การก่อสร้างภายใต้สภาพการจราจรปกติ การก่อสร้างข้ามทางน้ำที่สามารถเดินเรือได้ และการก่อสร้างในพื้นที่ที่เข้าถึงได้ปกติ

โดยในแต่ละโครงการกรณีศึกษา จะทำการประเมินให้คะแนนหลักเกณฑ์แต่ละด้าน โดยผู้เชี่ยวชาญ ตามวิธีการก่อสร้าง ระหว่าง 1 (แย่) ถึง 5 (ยอดเยี่ยม) คะแนน หลังจากนั้นจึงนำคะแนนไปคำนวณกับค่าน้ำหนักเพื่อหาผลการประเมินต่อไป

วิธีการก่อสร้างสะพานในงานศึกษามีทั้งหมด 8 รูปแบบ ได้แก่

1) วิธี Precast Concrete Girders
2) วิธี Incremental Launching
3) วิธี Prefabricated Steel Construction
4) วิธี Cast-In-Place, Free Cantilever
5) วิธี Precast Segmental, Free Cantilever
6) วิธี Precast Segmental, On Falsework
7) วิธี Cast-In-Place, Reinforced Concrete On Falsework
8) วิธี Cast-In-Place, Prestressed Concrete On Falsework

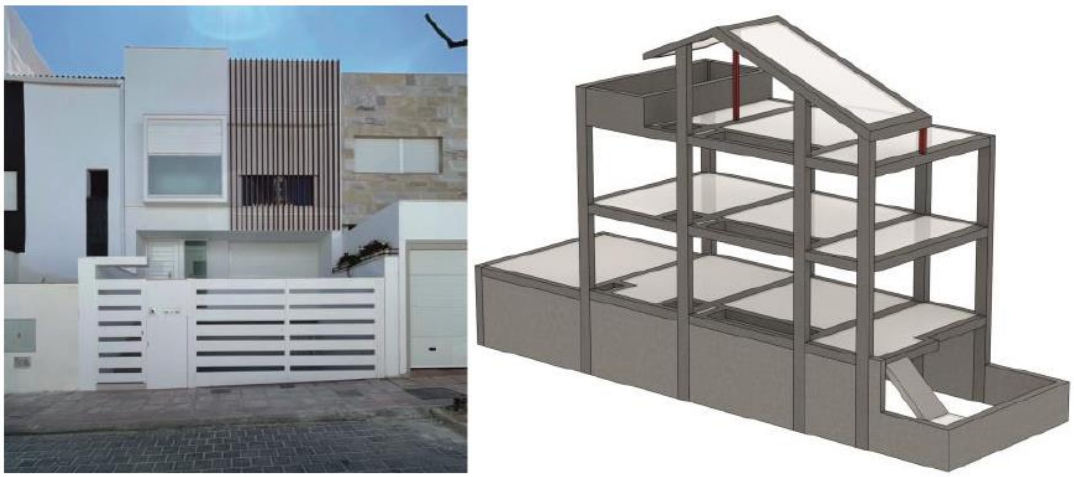
โดยหลักเกณฑ์ ตัวชี้วัด น้ำหนักความสำคัญ ที่ใช้ในการประเมินวิธีการการก่อสร้าง สำหรับงานก่อสร้างสะพานกรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 2.1-7

ตารางที่ 2.1-7 หลักเกณฑ์การตัดสินใจในการประเมินวิธีการก่อสร้างสะพานของ Ismail M. Basha (1991)

ลำดับ	หลักเกณฑ์	น้ำหนัก
1	ค่าก่อสร้าง (Construction cost)	0.24
2	ค่าซ่อมบำรุง (Maintenance)	0.05
3	ความทนทาน (Durability)	0.12
4	อายุการใช้งาน (Service life)	0.10
5	ความพร้อมของทรัพยากร (Resource availability)	0.16
6	ความยากง่ายในการก่อสร้าง (Ease of construction)	0.14
7	อัตราคืบหน้าในการก่อสร้าง (Construction progress rate)	0.12
8	ประสิทธิภาพในการออกแบบ (Design efficiency)	0.07

2.1.5 งานวิจัย Multi-Criteria Decision-Making Applied To The Sustainability Of Building Structures Based On Modern Methods Of Construction โดย Sánchez-Garrido, Antonio & Navarro, Ignacio & Yepes, Victor. (2022)

ในปี 2022 โดย Sánchez-Garrido, Antonio & Navarro, Ignacio & Yepes, Victor ได้ทำงานวิจัยศึกษาเรื่อง การตัดสินใจหลายเกณฑ์ที่ใช้กับความยั่งยืนของโครงสร้างอาคารตามวิธีการก่อสร้างสมัยใหม่ ประเทศสเปน โดยทำการประเมินเทคนิคการก่อสร้าง ร่วมกับความยั่งยืน ประสิทธิภาพของวงจรชีวิตในแง่ของความยั่งยืน ซึ่งกรณีศึกษาเป็นการก่อสร้างอาคารดังแสดงในรูปที่ 2.1-8 ซึ่งใช้วิธีการก่อสร้างที่แตกต่างกันออกไป 4 แบบ ได้แก่ แบบทั่วไป แบบสำเร็จรูป แบบแผ่นพื้นน้ำหนักเบาพร้อมแผ่นกลวงแรงดัน และแบบโครงสร้างผนังสองชั้น



รูปที่ 2.1-8 Elevation of the Single-Family Row House 3D Model Structure

(ที่มา: Sánchez-Garrido et al. 2022)

เมื่อดำเนินการออกแบบเสร็จ จึงนำหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินมาคำนวณ และทำการเปรียบเทียบความสำคัญ ข้อได้เปรียบ-เสียเปรียบของแต่ละวิธีการก่อสร้าง โดยผู้เชี่ยวชาญ 7 คน ซึ่งมีการประเมินคุณสมบัติและความเชี่ยวชาญของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคน ได้แก่

1) ประสบการณ์การทำงานด้านวิศวกรรม
2) ประสบการณ์การทำงานด้านความยั่งยืน
3) ระดับการศึกษา
4) ความรู้เฉพาะทาง เช่น วิศวกรรมการก่อสร้าง การออกแบบโครงสร้าง ปัญหาเศรษฐกิจ ปัญหาสิ่งแวดล้อม ปัญหาสังคม และข้อดีอื่นๆ

โดยหลักเกณฑ์ ตัวชี้วัด น้ำหนักความสำคัญ ในการประเมินเทคนิคการก่อสร้าง ร่วมกับความยั่งยืน ดังแสดงในตารางที่ 2.1-8

ตารางที่ 2.1-8 หลักเกณฑ์การตัดสินใจในการประเมินวิธีการก่อสร้าง

เรื่อง	ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย	ตัวชี้วัด	น้ำหนัก
ด้านเศรษฐกิจ (Economy)	ค่าก่อสร้าง (Construction Cost)	อัตราการทำงาน (Production)	ค่าออกแบบ และบริหารโครงการ (ต่อตร.ม.)	0.128
			ค่าบริหารการก่อสร้าง (ต่อตร.ม.)	
			ค่าสัญญา และภาษี (ต่อตร.ม.)	
		ความเป็นไปได้ (Materialization)	ค่าก่อสร้าง และ BOQ (ต่อตร.ม.)	
		การจัดการของเสีย (Waste Management)	ค่าขนส่งโดยรถบรรทุก (ต่อตร.ม.)	
			ค่าขออนุญาตถมวัสดุ (ต่อตร.ม.)	
			ค่าขนของเสียไปทิ้งโดยรถบรรทุก (ต่อตร.ม.)	
			ค่าขนของเสียไปทิ้ง (ต่อตร.ม.)	
	ค่าบำรุงรักษา (Service Life Cost)	ค่าการป้องกัน (Prevention)	การป้องกันการกัดกร่อน (ต่อตร.ม.)	0.087
			การป้องกันการเกิดสนิม (ต่อตร.ม.)	
			การป้องกันน้ำสำหรับคอนกรีต (ต่อตร.ม.)	
			การกันซึม (ต่อตร.ม.)	
			การกันไฟ (ต่อตร.ม.)	
		การใช้งานและการบำรุงรักษา (Use And Maintenance)	การบำรุงรักษาสิบปี (ต่อตร.ม. คิดแค่ 10 ปีแรก)	
	ค่าจัดการ เมื่อสิ้นอายุการใช้ (End Of Life Cost)	การรื้อถอน (Demolitions)	การรื้อถอนอาคารทั้งหลัง (ต่อตร.ม.)	0.025
		ค่าจัดการขยะก่อนทิ้ง (Pre-Treatment Of Waste)	การจำแนกประเภทขยะจากการก่อสร้างและรื้อถอน (/ตร.ม.)	
			การบดเศษหิน (ต่อตร.ม.)	
		ค่าจัดการขยะ (Inert Waste Management)	การขนส่งของเสียโดยรถบรรทุก (ต่อตร.ม.)	
			ค่าขนส่งของเสีย (ต่อตร.ม.)	
ด้านสิ่งแวดล้อม	ต้นแบบทางสิ่งแวดล้อม ระยะสั้น (Envir. Footprint (Short Term)	ผลกระทบเมื่อสิ้นสุดการก่อสร้าง (Endpoint Impacts (Construction))	คุณภาพระบบนิเวศ (สิ้นสุดการก่อสร้าง) (คะแนน)	0.173
			สุขภาพของมนุษย์ (สิ้นสุดการก่อสร้าง) (คะแนน)	
			ทรัพยากร (สิ้นสุดการก่อสร้าง) (คะแนน)	

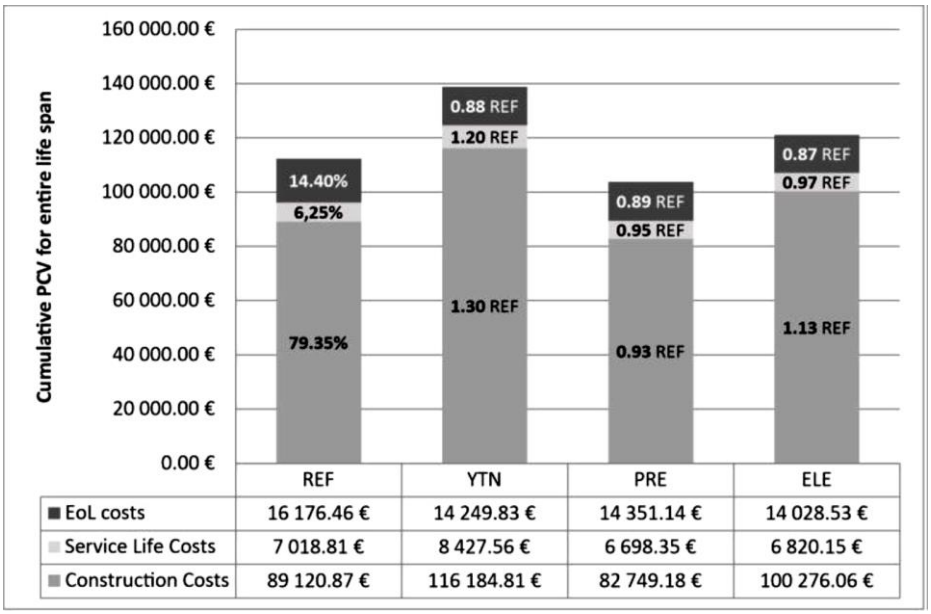
เรื่อง	ปัจจัยหลัก	ปัจจัยย่อย	ตัวชี้วัด	น้ำหนัก
	ต้นแบบทางสิ่งแวดล้อมระยะยาว (Envir. Footprint (Long Term)	คะแนนเมื่อเสื่อมสภาพ (Endpoint Scores (EoL))	คุณภาพระบบนิเวศ (เมื่อเสื่อมสภาพ) (คะแนน)	0.155
			สุขภาพของมนุษย์ (เมื่อเสื่อมสภาพ) (คะแนน)	
			ทรัพยากร (เมื่อเสื่อมสภาพ) (คะแนน)	
ด้านสังคม (Society)	ชุมชนท้องถิ่น (Local Community)	การจ้างงานในท้องถิ่น (Local Employment)	การสร้างการจ้างงานในท้องถิ่นระยะสั้น (ชั่วโมงก่อสร้าง)	0.066
			การสร้างการจ้างงานในท้องถิ่นระยะยาว (ชั่วโมงการรื้อถอน)	
		การเข้าถึงทรัพยากร (Access To Material Resources)	การเข้าถึงวัสดุและอุปกรณ์ (ช่วง 1-100)	
	ผู้บริโภค (Consumer)	ความปลอดภัยของผู้ใช้ (User Safety)	ความน่าจะเป็นของกระบวนการทางพยาธิวิทยา (%)	0.237
		สุขภาพของผู้ใช้ (User's Health)	ฉนวนกันความร้อนที่หลังคา (U=W/m^2°k)	
			ฉนวนกันความร้อนในอาคาร (U=W/m^2°k)	
			ฉนวนกันเสียง (rate (dba)	
	คนงาน (Workers)	อาชีวอนามัยและความปลอดภัย (Occupational Health And Safety)	อุบัติเหตุระยะสั้น (การก่อสร้าง) (% อุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้น)	0.071
			อุบัติเหตุระยะยาว (การรื้อถอน) (% อุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้น)	
		ค่าจ้างที่ยุติธรรม (Fair Wage)	คุณภาพค่าจ้างระยะสั้น (ก่อสร้าง) (เพิ่มขึ้นตามค่าแรงขั้นต่ำ)	
			คุณภาพค่าจ้างในระยะยาว (การรื้อถอน)	
	สังคม (Society)	การพัฒนาเทคโนโลยี (Technology Development)	การปรับเปลี่ยนและความยืดหยุ่นในการทำงาน (ช่วง 1-100)	0.058
		ความมุ่งมั่นของสาธารณชนต่อความยั่งยืน (Public Commitment To Sustainability Issues)	ประโยชน์ของแต่ละวิธีการก่อสร้าง (ช่วง 1-100)	

โดยเทคนิคการก่อสร้างในงานวิจัยนี้ ศึกษา 4 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 2.1-9

ตารางที่ 2.1-9 เทคนิคการก่อสร้างในงานวิจัยนี้ ศึกษา 4 รูปแบบ ของ Sánchez-Garrido et al. (2021)

ลำดับ	เทคนิค	รายละเอียด
1	REF (Conventional)	Reference: แผ่นพื้นแข็ง เสา และผนังกั้นด้วยอิฐ
2	YTN (Prefabricated)	YTONG: ผลิตแผ่นอุตสาหกรรมและบล็อกสำเร็จรูปของคอนกรีตมวลเบา
3	PRE (Lightweight)	PRENOVA: แผ่นพื้นคอนกรีตแบน (มวลรวมรีไซเคิล 20%) ลดน้ำหนักด้วยแผ่นกลวง เสา และผนังอิฐอัดแรงดัน
4	ELE (Technology)	ELESDOPA: ส่วนประกอบโครงสร้างผนังสองชั้นทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กพ่น (มวลรวมรีไซเคิล 20%)

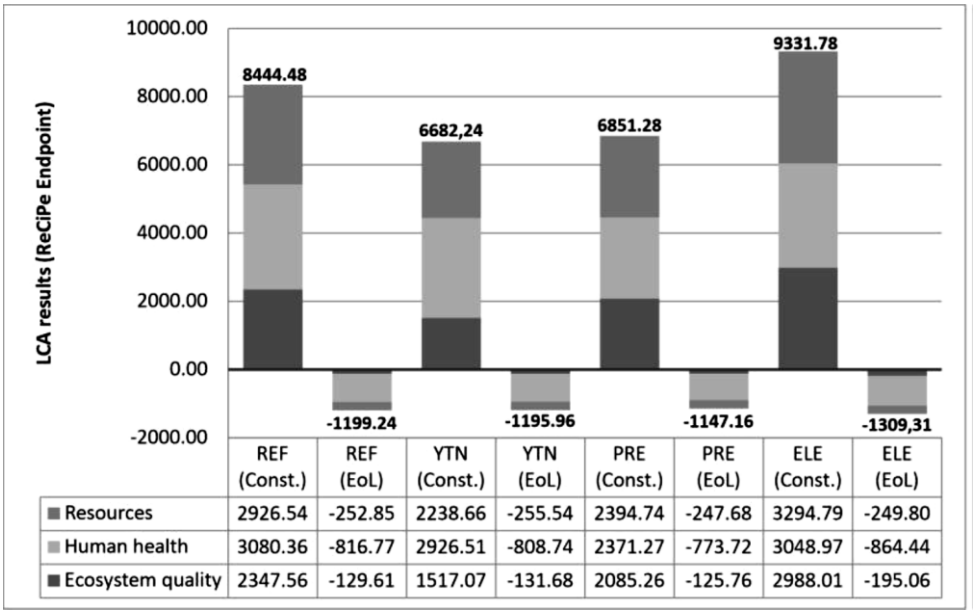
ผลการประเมินหลักเกณฑ์ตามตัวชี้วัด และน้ำหนักความสำคัญในการประเมินเทคนิคการก่อสร้าง 4 รูปแบบ ร่วมกับความยั่งยืน โดยการประเมินจะคำนวณทั้งวงจรชีวิตของสิ่งก่อสร้างในด้านเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และสังคม ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.1-9 ถึงรูปที่ 2.1-11



	REF	YTN	PRE	ELE
EoL costs	16 176.46 €	14 249.83 €	14 351.14 €	14 028.53 €
Service Life Costs	7 018.81 €	8 427.56 €	6 698.35 €	6 820.15 €
Construction Costs	89 120.87 €	116 184.81 €	82 749.18 €	100 276.06 €

รูปที่ 2.1-9 ผลการประเมินวงจรชีวิตทางเศรษฐศาสตร์

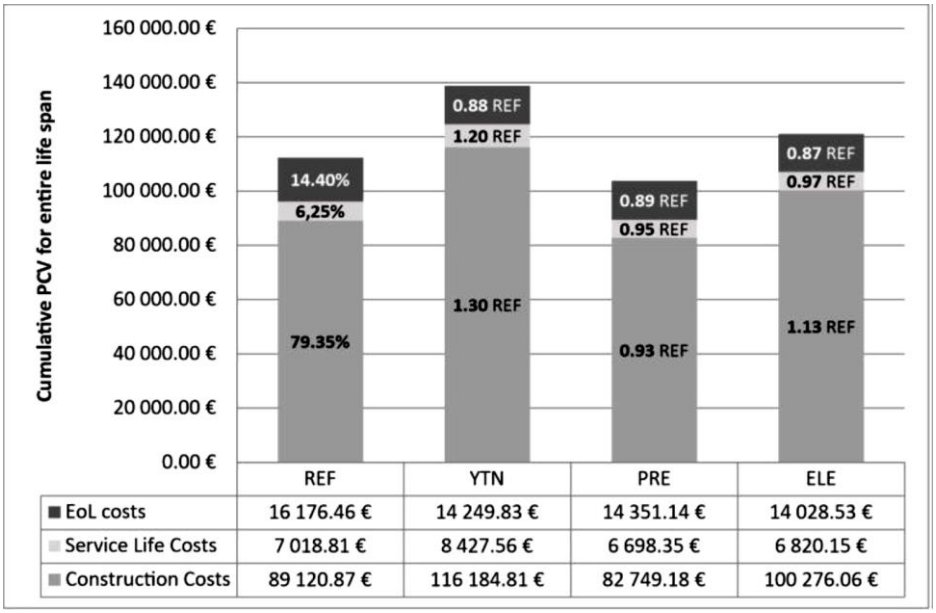
(ที่มา: Sánchez-Garrido et al. 2021)



	REF (Const.)	REF (EoL)	YTN (Const.)	YTN (EoL)	PRE (Const.)	PRE (EoL)	ELE (Const.)	ELE (EoL)
Resources	2926.54	-252.85	2238.66	-255.54	2394.74	-247.68	3294.79	-249.80
Human health	3080.36	-816.77	2926.51	-808.74	2371.27	-773.72	3048.97	-864.44
Ecosystem quality	2347.56	-129.61	1517.07	-131.68	2085.26	-125.76	2988.01	-195.06

รูปที่ 2.1-10 ผลการประเมินวงจรชีวิตทางสิ่งแวดล้อม

(ที่มา: Sánchez-Garrido et al. 2021)



รูปที่ 2.1-11 ผลการประเมินวงจรชีวิตทางสังคม

(ที่มา: Sánchez-Garrido et al. 2021)

2.1.6 งานวิจัย Fuzzy decision approach for selection of most suitable construction method of Green Buildings โดย Bansal, Sunita and Biswas, Srijit และ Singh, S. (2017)

ในปี 2017 Bansal, Sunita and Biswas, Srijit และ Singh, S. ได้ทำงานวิจัยเรื่องแนวทางการตัดสินใจแบบ Fuzzy สำหรับการเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารเขียว ประเทศอินเดีย โดยงานวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม โดยพิจารณาถึงหลักการของอาคารเขียว วิธีการก่อสร้างในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบระหว่าง 2 แบบ คือ ก่อสร้างแบบหล่อในที่ (Cast in Situ) และ ก่อสร้างแบบใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) วิเคราะห์ด้วยวิธี AHP โดยหลักเกณฑ์ ตัวชี้วัด ที่ใช้ในการประเมินวิธีการก่อสร้าง ร่วมกับหลักการอาคารเขียว สำหรับงานก่อสร้างอาคารคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 2.1-10 เริ่มต้นโดยสัมภาษณ์ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียในโครงการเพื่อคัดกรองหลักเกณฑ์ที่ส่งผลต่อการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับอาคารเขียว เพื่อนำไปออกแบบแบบสอบถาม หลังจากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินจัดกลุ่มหลักเกณฑ์ต่อไป โดยแบบสอบถามเป็นการให้กรอกคะแนนความสำคัญ 1 ถึง 9 คะแนน เพื่อประเมินเปรียบเทียบหลักเกณฑ์ของแต่ละวิธีการก่อสร้าง

ตารางที่ 2.1-10 หลักเกณฑ์การตัดสินใจในการประเมินวิธีการก่อสร้างอาคารคอนกรีตของ Bansal (2017)

หลักเกณฑ์หลัก	หลักเกณฑ์ย่อย
ด้านเศรษฐกิจ (Economic criteria: E)	ระยะเวลาการก่อสร้าง (E1: Construction time)
	ต้นทุนการก่อสร้าง (E2: Initial construction costs)
	ค่าซ่อมบำรุง (E3: Maintenance costs)

หลักเกณฑ์หลัก	หลักเกณฑ์ย่อย
	ค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมื่อหมดอายุ (E4: Disposal costs)
	ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (E5: Life cycle costs)
	ข้อบกพร่องและความเสียหาย (E6: Defects and damages)
	ความทนทาน (E7: Durability)
	ความรวดเร็วของผลตอบแทนการลงทุน (E8: The speed of return on investment)
	ความจุในการใช้งาน (E10: Loading capacity)
	การบูรณาการบริการอาคาร (E11: Integration of building services)
	ระยะเวลารอคอย (E12: Lead times)
	ค่าวัสดุ (E13: Material costs)
	ค่าแรงงาน (E14: Labor costs)
	ความสามารถในการก่อสร้าง (E15: Constructability(buildability))
	การบูรณาการห่วงโซ่อุปทานด้านการขนส่ง (E16: Integration of supply chains (logistics))
ด้านสังคม (Social criteria: S)	สุขภาพของผู้อยู่อาศัย (คุณภาพอากาศภายในอาคาร) (S1: Health of occupants (Indoor Air Quality))
	อิทธิพลต่อตลาดงาน (S2: Influence on job market)
	พื้นที่ทางกายภาพ (S3: Physical space)
	ตัวเลือกด้านความสวยงาม (S4: Aesthetic options)
	สุขภาพและความปลอดภัยของคนงาน (S5: Workers' health and safety)
	ความพร้อมใช้งานของแรงงาน (S6: Labor availability)
	ความวุ่นวายในชุมชน (S7: Community disturbance)
	ความแออัดของการจราจร (S8: Traffic congestion)
ด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental criteria: P)	การหยุดชะงักของพื้นที่ (P1: Site disruption)
	การรีไซเคิลหรือหมุนเวียนใช้งานได้ของวัสดุ(P2:Recyclable/Renewable contents)
	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร (มวลความร้อน) (P3: Energy Efficiency in building use (thermal mass))
	การใช้ซ้ำ หรือรีไซเคิลได้ขององค์ประกอบ (P4: Reusable/Recyclable elements)
	การใช้วัสดุ (P5: Material consumption)
	การใช้พลังงานในการออกแบบและก่อสร้าง (P6: Energy consumption in design and construction)
	ของเสีย (P7: Waste)
	การสร้างมลพิษ (P8: Pollution generation)
	ปริมาณการใช้น้ำ (P9: Water consumption)

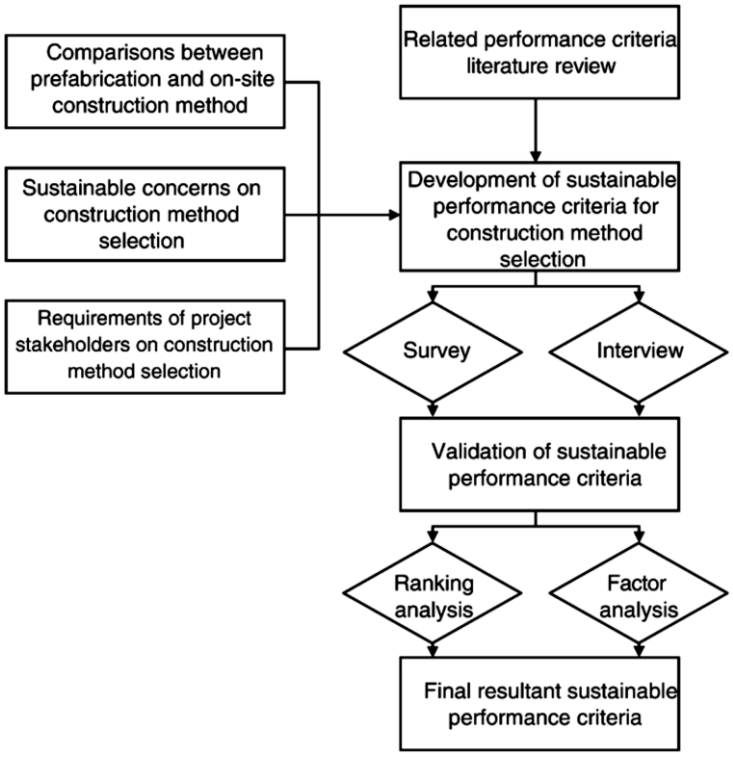
2.1.7 งานวิจัย Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings โดย Ying Chen, Gül E. Okudan และ David R. Riley (2010)

ในปี 2010 Ying Chen, Gül E. Okudan และ David R. Riley ได้ทำงานวิจัยเรื่องเกณฑ์ประสิทธิภาพที่ยั่งยืนสำหรับการเลือกวิธีก่อสร้างในอาคารคอนกรีต ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยงานวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกวิธีก่อสร้างที่เหมาะสม โดยพิจารณาถึงเกณฑ์ประสิทธิภาพที่ยั่งยืน (Sustainable

Performance Criteria) วิธีการก่อสร้างในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบระหว่างวิธีการก่อสร้าง 2 แบบ คือ ก่อสร้างแบบทำในที่ (On-Site Construction) และก่อสร้างแบบใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Prefabrication)

วิธีการวิจัยโดยสรุปดังแสดงในรูปที่ 2.1-12 เริ่มต้นโดยทบทวนวรรณกรรมเพื่อรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดปัจจัยในการคัดเลือก หลังจากนั้นจึงนำปัจจัยดังกล่าวไปออกแบบแบบสอบถาม แล้วจึงนำไปสำรวจและสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงานที่มีประสบการณ์และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในอุตสาหกรรมก่อสร้างประเทศสหรัฐอเมริกา 412 ราย ได้แก่ ลูกค้า/นักพัฒนาในงานก่อสร้าง 84 ราย วิศวกร 71 ราย ผู้รับเหมา 145 ราย และผู้ผลิตคอนกรีตสำเร็จรูป 112 ราย โดยแบบสอบถามเป็นการให้กรอกคะแนนความสำคัญ 1 ถึง 5 คะแนน เพื่อประเมินเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์

หลังจากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยและทำการจัดลำดับความสำคัญปัจจัยต่อไป โดยหลักเกณฑ์ ตัวชี้วัด ที่ใช้เป็นเกณฑ์ประสิทธิภาพที่ยั่งยืนสำหรับการเลือกวิธีการก่อสร้างในอาคารคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ 2.1-11



รูปที่ 2.1-12 กรอบและระเบียบวิธีวิจัย (ที่มา: Ying Chen et al. 2010)

ตารางที่ 2.1-11 เกณฑ์ประสิทธิภาพที่ยั่งยืนในการเลือกวิธีก่อสร้างในอาคารคอนกรีต ของ Ying Chen (2010)

ลำดับ	หลักเกณฑ์	Severity Index	Overall ranking
ด้านเศรษฐกิจ (Economic Criteria)			
E1	ระยะเวลาการก่อสร้าง (E1: Construction Time)	0.852	1
E2	ต้นทุนการก่อสร้าง (E2: Initial Construction Costs)	0.835	2

ลำดับ	หลักเกณฑ์	Severity Index	Overall ranking
E15	ความสามารถในการก่อสร้าง (E15: Constructability)	0.834	3
E13	ค่าวัสดุ (E13: Material Costs)	0.833	4
E12	ระยะเวลารอคอย (E12: Lead Times)	0.810	5
E10	ความจุในการใช้งาน (E10: Loading Capacity)	0.793	6
E7	ความทนทาน (E7: Durability)	0.773	8
E14	ค่าแรงงาน (E14: Labor Costs)	0.732	9
E8	ความรวดเร็วของผลตอบแทนการลงทุน (E8: The Speed Of Return On Investment)	0.726	11
E11	การบูรณาการบริการอาคาร (E11: Integration Of Building Services)	0.722	13
E5	ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (E5: Life Cycle Costs)	0.705	16
E6	ข้อบกพร่องและความเสียหาย (E6: Defects And Damages)	0.699	17
E3	ค่าซ่อมบำรุง (E3: Maintenance Costs)	0.688	18
E16	การบูรณาการห่วงโซ่อุปทานด้านการขนส่ง (E16: Integration Of Supply Chains (Logistics))	0.655	21
E9	ความยืดหยุ่นในการทำงาน (E9: Flexibility (Adaptability))	0.625	24
E4	ค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมื่อหมดอายุ (E4: Disposal Costs)	0.474	33
ด้านสังคม (Social Criteria)			
S5	สุขภาพและความปลอดภัยของคนงาน (S5: Workers' Health And Safety)	0.787	7
S4	ตัวเลือกด้านความสวยงาม (S4: Aesthetic Options)	0.726	10
S1	สุขภาพของผู้อยู่อาศัย (คุณภาพอากาศภายในอาคาร) (S1: Health Of Occupants (Indoor Air Quality))	0.722	14
S3	พื้นที่ทางกายภาพ (S3: Physical Space)	0.710	15
S6	ความพร้อมใช้งานของแรงงาน (S6: Labor Availability)	0.672	19
S7	ความวุ่นวายในชุมชน (S7: Community Disturbance)	0.646	23
S8	ความแออัดของการจราจร (S8: Traffic Congestion)	0.613	26
S2	อิทธิพลต่อตลาดงาน (S2: Influence On Job Market)	0.598	30
ด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Criteria)			
P3	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร (มวลความร้อน) (P3: Energy Efficiency In Building Use (Thermal Mass))	0.724	12
P2	การรีไซเคิล หรือหมุนเวียนใช้งานได้ของวัสดุ (P2: Recyclable/Renewable Contents)	0.663	20
P1	การหยุดชะงักของพื้นที่ (P1: Site Disruption)	0.646	22
P7	ของเสีย (P7: Waste)	0.617	25
P6	การใช้พลังงานในการออกแบบและก่อสร้าง (P6: Energy Consumption In Design And Construction)	0.611	27
P4	การใช้ซ้ำ หรือรีไซเคิลได้ขององค์ประกอบ (P4: Reusable/Recyclable Elements)	0.611	28
P5	การใช้วัสดุ (P5: Material Consumption)	0.609	29

ลำดับ	หลักเกณฑ์	Severity Index	Overall ranking
P8	การสร้างมลพิษ (P8: Pollution Generation)	0.596	31
P9	ปริมาณการใช้น้ำ (P9: Water Consumption)	0.537	32

2.1.8 งานวิจัย Selection of Deep Excavation Construction Methods in Building Construction โดย Jiarui Qi, Xiangli Zhao และ Hsi-Chi Yang (2020)

ในปี 2020 Jiarui Qi, Xiangli Zhao และ Hsi-Chi Yang ได้ทำงานวิจัยเรื่องการเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับงานขุดแบบลึกในการก่อสร้างอาคาร ประเทศจีน โดยงานวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนากรอบการประเมินคัดเลือกวิธีการขุดเจาะแบบลึกที่เหมาะสมในการก่อสร้างอาคารเพื่อให้แน่ใจว่ามีการขุดค้นที่ปลอดภัย รวดเร็ว และประหยัด วิธีการก่อสร้างในงานวิจัยนี้ เปรียบเทียบระหว่างวิธีการก่อสร้าง 5 แบบ ได้แก่ (1) Top-Down Method (2) Down-Up Method (3) Double Down-Up Method (4) Island Method (5) Open Cut Method เริ่มต้นโดยทบทวนวรรณกรรมเพื่อรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องและสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเพื่อกำหนดปัจจัยในการคัดเลือก หลังจากนั้นจึงนำปัจจัยดังกล่าวไปประเมินวิธีการก่อสร้างที่สนใจร่วมกับกรณีศึกษา โดยหลักเกณฑ์และน้ำหนักที่ใช้ในเป็นเกณฑ์คัดเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับงานขุดแบบลึกในการก่อสร้างอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1-12

ตารางที่ 2.1-12 หลักเกณฑ์คัดเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับงานขุดแบบลึกในการก่อสร้างอาคาร Jiarui Qi (2020)

A	ปัจจัย (น้ำหนักสัมพัทธ์)	ปัจจัยย่อย	น้ำหนักสัมพัทธ์	น้ำหนักสัมบูรณ์	ระดับ (Rank)
Selection of Deep Excavation Construction Method	B1: ความปลอดภัย Safety (0.227)	โครงสร้างทางธรณีวิทยา (Geological Structure)	0.277	0.063	3
		ระดับน้ำใต้ดิน (Underground Water)	0.127	0.049	6
		วิธีการขุด (Excavation Method)	0.290	0.066	2
		วิธีการค้ำยัน (Retaining Method)	0.172	0.039	15
		วิธีการอัดฉีด (Grouting Method)	0.031	0.007	24
		อุปสรรค (Obstacle)	0.013	0.003	25
	B2: สิ่งแวดล้อม Environment (0.178)	มลภาวะและเสียงรบกวน (Pollution & Noise)	0.242	0.043	11
		โครงสร้างข้างเคียง (Neighboring Structures)	0.215	0.038	18
		แนวการเคลื่อนย้ายสถานที่ก่อสร้าง (Construction Site Moving Line)	0.186	0.033	20
		(Water Stop Measures)	0.188	0.033	21
		การจัดการจราจร (Traffic Maintenance)	0.169	0.030	23
	B3: เวลา Time (0.195)	ผลผลิตการก่อสร้าง (Construction Productivity)	0.196	0.038	16
		การทำงานของเครื่องจักร (Machine Operation)	0.221	0.043	10
		ภูมิอากาศ (Climate)	0.203	0.040	14
		ความคืบหน้ากำหนดเวลา (Scheduled Progress)	0.185	0.036	19
		วิธีการก่อสร้าง (Construction Method)	0.196	0.038	17

A	ปัจจัย (น้ำหนักสัมพัทธ์)	ปัจจัยย่อย	น้ำหนักสัมพัทธ์	น้ำหนักสัมบูรณ์	ระดับ (Rank)
Selection of Deep Excavation Construction Method	B4: ค่าใช้จ่าย Cost (0.218)	ค่าใช้จ่ายงานก่อสร้าง (Construction Cost)	0.190	0.041	12
		ต้นทุนประสิทธิภาพ (Efficiency Cost)	0.202	0.044	9
		ค่าใช้จ่ายที่ซ่อนอยู่ (Hidden Cost)	0.215	0.047	7
		ค่าเสียหาย (Loss Cost)	0.182	0.040	13
		ค่าใช้จ่ายจากความแม่นยำในการคาดคะเนงบประมาณ (Budget Precision Cost)	0.206	0.045	8
		ค่าใช้จ่ายจากนโยบาย (Policy Loss Cost)	0.138	0.030	22
	B5: คุณภาพ Quality (0.182)	ปัจจัยการวางแผน (Planning Factors)	0.288	0.052	5
		ปัจจัยการออกแบบ (Design Factors)	0.379	0.069	1
		ปัจจัยการก่อสร้าง (Construction Factors)	0.333	0.061	4

2.1.9 งานวิจัย Selection of Sustainable Construction Method Using Analytical Hierarchy Process (AHP) โดย M. Reda, M. Y. Elshikh และ M. Dawood (2017)

ในปี 2017 M. Reda, M. Y. Elshikh และ M. Dawood ได้ทำงานวิจัยเรื่องการเลือกวิธีการก่อสร้างที่ยั่งยืนโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ประเทศอียิปต์ โดยงานวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม โดยพิจารณาถึงเกณฑ์วิธีการก่อสร้างที่ยั่งยืน วิธีการก่อสร้างในงานวิจัยนี้เปรียบเทียบระหว่างวิธีการก่อสร้าง 3 แบบ คือ การก่อสร้างแบบเทหรือทำในที่ (On-Site Construction) คอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete) และการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Prefabrication)

เริ่มต้นโดยทบทวนวรรณกรรมเพื่อรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องและสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญเพื่อกำหนดปัจจัยในการคัดเลือก หลังจากนั้นจึงนำปัจจัยดังกล่าวไปประเมินวิธีการก่อสร้างที่สนใจร่วมกับกรณีศึกษาโดยหลักเกณฑ์ และ น้ำหนัก ที่ใช้เป็นเกณฑ์การเลือกวิธีการก่อสร้างที่ยั่งยืนในการก่อสร้างอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1-13

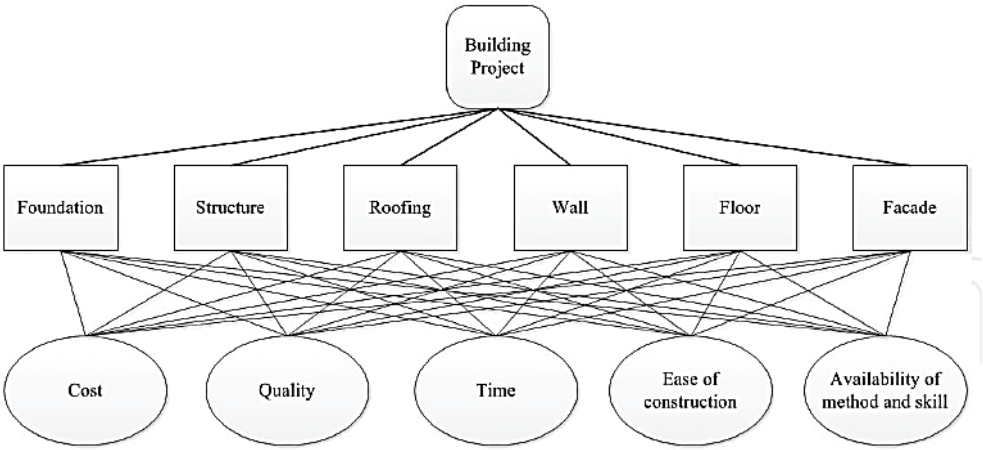
ตารางที่ 2.1-13 เกณฑ์การเลือกวิธีการก่อสร้างที่ยั่งยืนในการก่อสร้างอาคาร M. Reda (2017)

ปัจจัยหลักความยั่งยืน	น้ำหนัก	ปัจจัยย่อย	น้ำหนัก	ปัจจัย	น้ำหนัก	น้ำหนักสัมบูรณ์
เศรษฐศาสตร์ (Economic)	0.584	ค่าใช้จ่ายระยะยาว (Long Term Cost)	0.107	ความเร็วของผลตอบแทนจากการลงทุน (The Speed Of Return On Investment)	0.112	0.007
				ความยืดหยุ่นในการทำงาน (Flexibility)	0.048	0.003
				ต้นทุนตลอดอายุการใช้งาน (Life Cycle Costs)	0.080	0.005
				ความจุในการใช้งาน (Loading Capacity)	0.496	0.031
				ความทนทาน (Durability)	0.208	0.013
				ค่าบำรุงรักษา (Maintenance Costs)	0.064	0.004
			0.458	ระยะเวลารอคอย (Lead-Times)	0.140	0.037
				ความสามารถในการก่อสร้าง (Buildability)	0.236	0.063

ปัจจัยหลักความยั่งยืน	น้ำหนัก	ปัจจัยย่อย	น้ำหนัก	ปัจจัย	น้ำหนัก	น้ำหนักสัมบูรณ์
		ความสามารถในการก่อสร้าง (Construct ability)		การบูรณาการบริการอาคาร (Integration Of Building Services)	0.095	0.025
				ระยะเวลาการก่อสร้าง (Construction Time)	0.489	0.131
				การบูรณาการห่วงโซ่อุปทานด้านการขนส่ง (Integration Of Supply Chains)	0.390	0.104
		คุณภาพ (Quality)	0.760	ค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมื่อหมดอายุ (Disposal Costs)	0.357	0.158
				ข้อบกพร่องและความเสียหาย (Defects And Damages)	0.643	0.285
		ค่าใช้จ่ายการก่อสร้าง (First Cost)	0.360	ค่าวัสดุก่อสร้าง (Material Costs)	0.259	0.054
				ค่าแรงงานการก่อสร้าง (Labor Costs)	0.325	0.068
				ค่าลงทุนก่อสร้าง (Initial Construction Costs)	0.416	0.087
สิ่งแวดล้อม (Environmental)	0.135	สิ่งแวดล้อม (Environmental Criteria)	1	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร (Energy Efficiency In Building Use)	0.313	0.042
				การใช้ซ้ำ หรือรีไซเคิลได้ขององค์ประกอบ (Recyclable& Renewable Contents)	0.228	0.031
				การหยุดชะงักของพื้นที่ (Site Disruption)	0.133	0.018
				ของเสีย (Waste)	0.117	0.016
				การบริโภคพลังงาน (Energy Consumption)	0.107	0.014
				การบริโภควัสดุ (Material Consumption)	0.042	0.006
				การสร้างมลพิษ (Pollution Generation)	0.033	0.004
				การบริโภคน้ำ (Water Consumption)	0.027	0.004
สังคม (Social)	0.281	ผลกระทบต่อสุขภาพและชุมชน (Impact On Health And Community)	0.569	สุขภาพและความปลอดภัยของคนงาน (Workers' Health And Safety)	0.301	0.048
				ความแออัดของจราจร (Traffic Congestion)	0.103	0.016
				ความพร้อมใช้งานของแรงงาน (Labor Availability)	0.216	0.035
				การรบกวนชุมชน (Community Disturbance)	0.129	0.021
				สุขภาพของผู้อยู่อาศัย (Health Of Occupants)	0.251	0.040
		ผลกระทบต่อทัศนียภาพ (Architectural Impact)	0.430	ตัวเลือกด้านความสวยงาม (Aesthetic Options)	0.456	0.055
				อิทธิพลต่อตลาดงาน (Influence On Job Market)	0.378	0.046
				พื้นที่ทางกายภาพ (Physical Space)	0.166	0.020

2.1.10 งานวิจัย Key Performance Criteria Influencing the Selection of Construction Methods Used for the Fabrication of Building Components in the Middle East โดย A. Moghayedi และ A. Windapo (2017)

ในปี 2018 A. Moghayedi และ A. Windapo ได้ทำงานวิจัยเรื่องเกณฑ์ประสิทธิภาพหลักที่มีอิทธิพลต่อการเลือกวิธีการก่อสร้างที่ใช้สำหรับแต่ละส่วนประกอบอาคารในตะวันออกกลาง 5 ประเทศ ได้แก่ อิหร่าน สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ตุรกี อียิปต์ และกาตาร์ โดยงานวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับการเลือกวิธีการก่อสร้างที่ใช้สำหรับการผลิตส่วนประกอบอาคาร ซึ่งใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) ในการตัดสินใจคัดเลือก โดยโครงสร้าง AHP ในงานวิจัยดังแสดงในรูปที่ 2.1-11



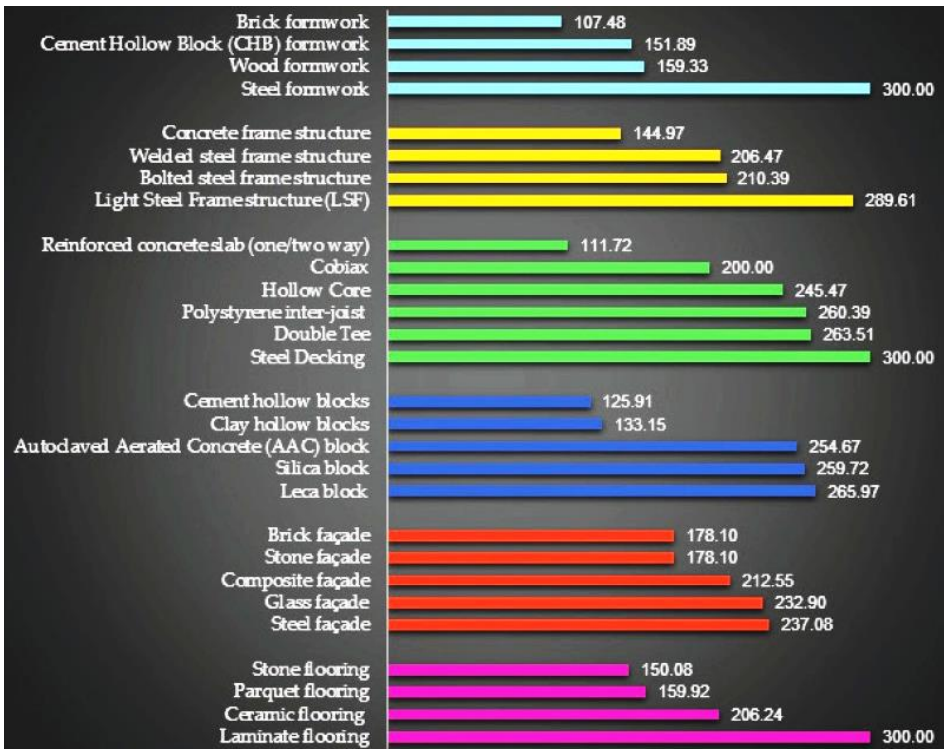
รูปที่ 2.1-13 AHP Model ของงานวิจัย
(ที่มา: A. Moghayedi 2017)

การศึกษาใช้การทบทวนวรรณกรรมเพื่อรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และสัมภาษณ์ผู้จัดการการก่อสร้างโครงการก่อสร้าง รวมถึงการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญในตะวันออกกลางรวม 200 โครงการใน 5 ประเทศ ได้แก่ อิหร่าน สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ตุรกี อียิปต์ และกาตาร์ เพื่อระบุและประเมินเกณฑ์ประสิทธิภาพหลักในการเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับโครงการก่อสร้าง โดยแบบสอบถามเป็นการให้กรอกคะแนนความสำคัญ 1 ถึง 3 คะแนน เพื่อประเมินเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์โดยหลักเกณฑ์และน้ำหนักของประสิทธิภาพหลักที่มีอิทธิพลต่อการเลือกวิธีการก่อสร้างที่ใช้สำหรับการผลิตส่วนประกอบอาคาร ดังแสดงในตารางที่ 2.1-14 และผลประเมินในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างแยกตามองค์ประกอบของอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 2.1-14 โดยค่าที่มากสุดในแต่ละวิธีก่อสร้างหมายถึงมีความเหมาะสมที่สุดตามหลักเกณฑ์

ตารางที่ 2.1-14 เกณฑ์ประสิทธิภาพหลักที่มีอิทธิพลต่อการเลือกวิธีการก่อสร้าง ของ A. Moghayedi (2017)

ระดับ (Rank)	ภาพรวม	เกณฑ์	ฐานราก (Foundation)	โครงสร้าง (Structure)	หลังคา (Roof)	กำแพง (Wall)	ผิวอาคาร (Façade)	พื้น (Floor)
1	0.252	ค่าใช้จ่าย (Cost)	0.270	0.255	0.268	0.226	0.246	0.248
3	0.230	ระยะเวลา (Time)	0.257	0.250	0.229	0.241	0.179	0.221

ระดับ (Rank)	ภาพรวม	เกณฑ์	ฐานราก (Foundation)	โครงสร้าง (Structure)	หลังคา (Roof)	กำแพง (Wall)	ผิวอาคาร (Façade)	พื้น (Floor)
2	0.239	คุณภาพ (Quality)	0.166	0.229	0.238	0.248	0.272	0.283
4	0.172	ความง่ายในการก่อสร้าง (Ease of Construction)	0.199	0.170	0.141	0.179	0.194	0.142
5	0.108	ความพร้อมของวิธีการและทักษะ (Availability Of Method And Skill)	0.108	0.095	0.124	0.107	0.109	0.106



รูปที่ 2.1-14 น้ำหนักรวมของวิธีก่อสร้างในแต่ละส่วนของงานก่อสร้าง (ที่มา: A. Moghayedi 2017)

2.2 การศึกษาทบทวน เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับโครงการรถไฟฟ้า

เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ามีรูปแบบได้หลายประเภทซึ่งขึ้นกับลักษณะการแบ่งประเภทหรือรูปแบบการก่อสร้าง เช่น

แบ่งตามชนิดของวัสดุจะสามารถแบ่งได้เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กหรือโครงสร้างเหล็กซึ่งสามารถพิจารณาเป็นทางเลือกสำหรับการก่อสร้างสถานีที่อยู่ระดับดินหรือสถานียกระดับ หรืออาจใช้โครงสร้างแบบผสมผสาน ซึ่งมีการออกแบบและการก่อสร้างที่แตกต่างกัน มีความเหมาะสมแตกต่างกัน

- โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นรูปแบบโครงสร้างที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานาน และยังคงความนิยมในปัจจุบันเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีกำลังสูงราคาถูกและสามารถหล่อให้มีหน้าตัดและรูปร่างตามที่ต้องการได้ นอกจากนี้ในส่วนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กยังสามารถประยุกต์เทคโนโลยีทำการอัดแรงในโครงสร้างเป็นโครงสร้างประเภทคอนกรีตอัดแรง

โดยคอนกรีตอยู่ในสภาพความเค้นอัด ส่วนเหล็กอยู่ในสภาพความเค้นดึง ซึ่งส่งผลให้พฤติกรรมของเหล็กและคอนกรีตในการใช้งานดีขึ้น สามารถออกแบบไม่ให้เกิดการแตกร้าวในคอนกรีตภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานได้ ซึ่งทำให้หน้าตัดโครงสร้างมีสติฟเนสสูงกว่าคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปที่จะเกิดการแตกร้าวขณะรับน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

- โครงสร้างเหล็กเป็นโครงสร้างที่ได้จากการนำท่อนเหล็กรูปพรรณหรือเหล็กแผ่นกล้าที่มีรูปตัดและขนาดต่างๆ มาประกอบยึดรวมกันด้วยการขันยึดหรือเชื่อมเพื่อให้รับน้ำหนักบรรทุกตามต้องการ ปัจจุบันจะพบเห็นในการก่อสร้างทั่วไปมากขึ้น เช่น อาคาร สะพาน โครงหลังคา โครงเปลือกบาง โครงแขวนหรือขึง มีข้อดีที่สามารถก่อสร้างได้รวดเร็ว ใช้แรงงานในการก่อสร้างน้อย น้ำหนักเบาก่อสร้างได้สูง และการควบคุมคุณภาพของงานก่อสร้างทำได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือต้านทานไฟได้น้อย หากเกิดอัคคีภัยจนอุณหภูมิเหล็กขึ้นสูงมากจะสูญเสียคุณสมบัติในการรับแรงและเสียหายวิบัติได้ อีกทั้งเหล็กมีราคาค่อนข้างสูง ราคาแปรผันตามภาวะเศรษฐกิจของประเทศและของโลก ทำให้มีข้อจำกัดในด้านราคาต้นทุนค่าก่อสร้าง แต่หากเทียบกับเวลา ดอกเบี้ย การคืนทุนเชิงธุรกิจ ก็อาจมีความคุ้มค่า แล้วแต่กรณีไป

แบ่งตามรูปแบบการก่อสร้าง โครงสร้างอุโมงค์ช่วง Transition สามารถแบ่งเป็นก่อสร้างด้วยวิธี Top down หรือ Bottom up ซึ่งแตกต่างกันในขั้นตอนการก่อสร้าง มีความยากง่ายและส่งผลกระทบต่อการจราจรในพื้นที่บริเวณก่อสร้างมากน้อยแตกต่างกัน

ระบบป้องกันการพังทลายของดินในระหว่างการก่อสร้างอุโมงค์ช่วง Transition หรือบริเวณสถานีใต้ดินหรือระดับดิน ที่อาจใช้รูปแบบทั่วไปของ Sheet Pile หรือการใช้รูปแบบ Diaphragm wall ที่ยากง่ายและมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่แตกต่างกัน

การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินด้วยการใช้หัวเจาะอุโมงค์แบบ Earth Pressure Balance (EPB) ชนิด Tunnel Boring Machine (TBM) ซึ่งมีความเหมาะสมกับลักษณะของชั้นดินในกรุงเทพมหานคร

การก่อสร้างทางยกระดับด้วยโครงสร้างแบบเสาเดี่ยว (Single Pier) หรือแบบเสาคู่ (Portal frame) ซึ่งขึ้นกับข้อจำกัดของพื้นที่การก่อสร้างและรูปแบบของแนวเส้นทางรถไฟฟ้า ซึ่งมีความจำเป็นเหมาะสมแตกต่างกัน ในช่วงทางวิ่งรถไฟฟ้าแนวเส้นตรงอาจเหมาะที่จะใช้โครงสร้างแบบเสาเดี่ยว แต่หากมีการรวมหรือแยกแนวเส้นทางอาจจำเป็นต้องใช้รูปแบบเสา Portal frame เข้าช่วยเป็นต้น

หรือทางเลือกระหว่างรูปแบบโครงสร้างแบบคอนกรีตเทในที่ (Cast-in-situ) และคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast) ซึ่งมีความแตกต่างกันทั้งในด้านการออกแบบ รอยต่อโครงสร้าง ค่าก่อสร้าง วิธีการก่อสร้างและติดตั้ง ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และระยะเวลาการก่อสร้าง ซึ่งสามารถใช้แบบผสมผสานกันก็ได้ตามความเหมาะสม

<u>สำหรับการก่อสร้างในพื้นที่จำกัด</u> อาจมีเทคโนโลยีหรือรูปแบบวิธีการก่อสร้างทางเลือกอื่นๆ อีกเช่น

การใช้วัสดุคอนกรีตหรือมอร์ต้าร์ประเภท Shotcrete ในบริเวณที่มีข้อจำกัดด้านแบบหล่อหรือพื้นที่ก่อสร้างที่จำกัด เพื่อพ่นทำผนังอาคารหรือผนังอุโมงค์ รวมถึงการใช้วัสดุเหล็กเสริมชั้นคุณภาพพิเศษ เช่น SD70 ก็เป็นการพิจารณาเลือกใช้เทคโนโลยีด้านวัสดุก่อสร้างให้มีความเหมาะสมกับแต่ละส่วนของโครงการ

ระบบแบบหล่อคอนกรีตชนิด Moving formwork ที่สามารถขยับเลื่อนได้ตามความต้องการ ซึ่งช่วยลดงานประเภทการถอดประกอบและสามารถใช้งานในพื้นที่จำกัดได้ดี

ระบบป้องกันดินพังทลายแบบ Sliding rail system หรือ Steel box ที่ออกแบบให้สามารถใส่แผ่นผนังกันดินพังแบบหล่อสำเร็จคล้ายกับ Sheet pile เพื่อช่วยในงานก่อสร้างที่ต้องมีการขุดดินในบริเวณพื้นที่จำกัดให้สามารถขุดดินลงไปได้ทีละระดับความลึกที่ต้องการได้ซึ่งแตกต่างกันในด้านของปัจจัยค่าก่อสร้าง นอกจากนี้ยังมีระบบป้องกันดินพังทลายแบบ MSE Wall (Mechanical Stabilized Earth Wall) ที่ใช้วัสดุผสมผสานแบบ composite structure ระหว่างผนังกันดินและดินถม เสริมกำลังให้ยึดกัน

การบริหารจัดการโครงการก่อสร้างก็เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาการก่อสร้างในพื้นที่จำกัดได้ เช่น ปัญหาในเรื่องของการจัดเก็บและขนส่งวัสดุก่อสร้าง หากสามารถบริหารจัดการให้มีสถานที่ใกล้เคียงกับบริเวณที่ทำการก่อสร้างได้ก็จะช่วยลดระยะเวลาขนส่ง ลดความยากในการเข้าพื้นที่ก่อสร้าง ลดปัญหาการจราจรติดขัด เป็นต้น โดยอาจลองพิจารณาสอบถามความร่วมมือหรือการเช่าบริเวณพื้นที่ข้างเคียงบางส่วน (Coordinate or Collaborate) เช่น การประยุกต์ใช้หลังคาอาคารข้างเคียง หรืออาคารจอดรถ มาเป็นพื้นที่กองเก็บวัสดุชิ้นส่วนที่จำเป็นในการก่อสร้าง ก็อาจช่วยลดปัญหาลงได้

ดังนั้นในส่วนของทางเลือกเทคโนโลยีและและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า สามารถพิจารณาได้ทั้งจากส่วนของด้านวัสดุ ด้านวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้าง ขั้นตอนการก่อสร้าง การบริหารจัดการ ฯลฯ ซึ่งสามารถนำเสนอในรายละเอียดของแต่ละรูปแบบการก่อสร้างรถไฟฟ้าได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 โครงสร้างใต้ดิน

โครงสร้างใต้ดินในงานก่อสร้างรถไฟฟ้านั้นมักประกอบด้วย เสาเข็ม (สำหรับรับน้ำหนักโครงสร้างสถานี และ/หรือ ทางยกระดับ) สถานีใต้ดิน และอุโมงค์ตามแนวเส้นทาง ซึ่งเทคนิคการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินมีความหลากหลายขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น การวางตัวและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมดินในพื้นที่ ระดับน้ำใต้ดิน ข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้าง งบประมาณการก่อสร้าง หรือแม้แต่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและพื้นที่ข้างเคียง ซึ่งด้วยปัจจัยที่แตกต่างกันเหล่านี้ส่งผลให้การพิจารณารูปแบบการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน ในที่นี้ขอสรุปรูปแบบการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินต่างๆ พอสังเขปดังนี้

2.2.1.1 โครงสร้างเสาเข็ม

การใช้โครงสร้างเสาเข็มนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายแรงจากโครงสร้างลงไปสู่ชั้นดินที่มีความแข็งแรงเพียงพอในการรับน้ำหนัก อย่างไรก็ตามโครงสร้างเสาเข็มนั้นมีหลากหลาย แตกต่างกันทั้งรูปแบบความยากง่ายในการก่อสร้าง ข้อดีข้อเสีย ข้อจำกัด หรือแม้แต่ราคา การเลือกใช้เสาเข็มให้เหมาะสมกับงานก่อสร้างนั้นๆจึงนับว่ามีความสำคัญ ทั้งนี้สามารถสรุปรูปแบบโครงสร้างเสาเข็มต่างๆ ไว้พอสังเขปดังนี้

เสาเข็มตอก (Driven Pile)

ในอดีตเสาเข็มที่นิยมใช้กันมากในการก่อสร้างทั่วไปได้แก่เสาเข็มตอก (Driven Pile) ดังแสดงในรูปที่ 2.2-1 เนื่องจากเป็นเสาเข็มสำเร็จรูปที่มีการควบคุมคุณภาพจากโรงงาน ทำการติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็วโดยใช้การตอกกระแทกให้เสาเข็มจมลึกลงในชั้นดิน อย่างไรก็ตามมักมีปัญหาในการติดตั้งเสาเข็มเนื่องจากต้องทำการตอกกระแทกเสาเข็ม ทำให้เกิดมลพิษทางเสียงและการสั่นสะเทือนแก่ผู้ใช้พื้นที่

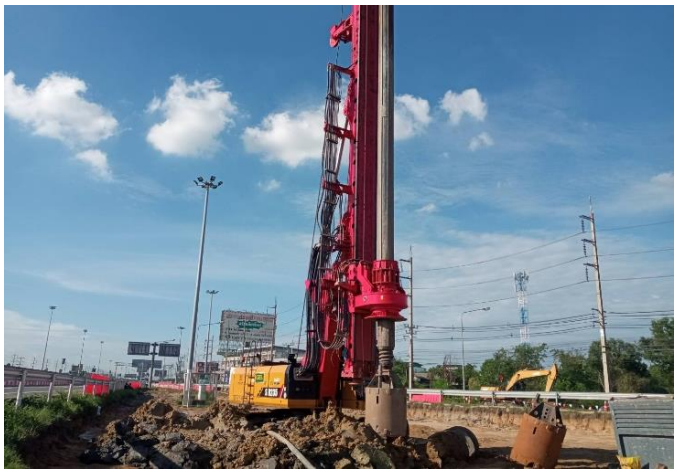
โดยรอบ หรือแม้แต่ปัญหาจากการขนส่งในกรณีที่ต้องใช้เสาเข็มที่มีความยาวมาก ดังนั้นในงานก่อสร้างที่มีพื้นที่จำกัด จึงไม่นิยมใช้เสาเข็มตอก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีเสาเข็มตอกประเภท ไมโครไพล์ (Micro Pile) ซึ่งเป็นเสาเข็มท่อนสั้นมาเชื่อมต่อกัน ใช้ในงานก่อสร้างอาคาร งานต่อเติมหรือซ่อมแซม (อภิชัยและคณะ, 2564) เนื่องจากเครื่องจักรมีขนาดเล็ก สามารถลดผลกระทบจากเสียงและแรงสั่นสะเทือนได้



รูปที่ 2.2-1 ตัวอย่างเสาเข็มตอก, ที่มา: CPAC (2565)

เสาเข็มเจาะ (Bored Pile)

เสาเข็มเจาะเป็นโครงสร้างเสาเข็มแบบหล่อในที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.2-2 ซึ่งการก่อสร้างมีความยุ่งยากมากกว่าการก่อสร้างเสาเข็มตอก ทั้งยังต้องใช้วัสดุที่เหมาะสมต่อการก่อสร้าง (ณรงค์และคณะ, 2546; ธยานันท์ บุณยรักษ์, 2544) โดยต้องเริ่มจากขุดดินในพื้นที่ออก ทำการวางเหล็กเสริมและเทคอนกรีตเพื่อให้ได้เสาเข็มเจาะตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยการก่อสร้างเสาเข็มเจาะสามารถทำได้ทั้งแบบระบบแห้ง (Dry Process) และระบบเปียก (Wet Process) ซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน เสาเข็มเจาะระบบแห้งเป็นที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างโครงสร้างขนาดเล็ก เนื่องจากสามารถทำงานได้ง่าย อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องระวังเรื่องระดับน้ำใต้ดินซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นในปัจจุบันที่อาจส่งผลต่อเสถียรภาพและกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม ส่วนเสาเข็มเจาะระบบเปียกสามารถใช้ได้ทั้งกับโครงสร้างขนาดเล็กและใหญ่ เนื่องจากมีการใช้สารละลายป้องกันการพังของหลุมเจาะ ทำให้สามารถก่อสร้างเสาเข็มขนาดใหญ่และมีความลึกได้มาก ในปัจจุบันสามารถก่อสร้างเสาเข็มเจาะให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร และมีความยาวได้ถึง 100 เมตร (บริษัท ซีฟโก้ จำกัด (มหาชน), 2564)



รูปที่ 2.2-2 การก่อสร้างเสาเข็มเจาะ, ที่มา: บริษัท เจนเนอรัล เอนจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน)

เสาเข็มแบเร็ต (Barrette Pile)

ในการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) ขนาดใหญ่ ไม่ว่าจะเป็นทางด่วน หรือทางรถไฟฟ้านั้น จำเป็นจะต้องใช้ฐานรากที่มีขนาดใหญ่ เพื่อให้สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มาก ซึ่งการก่อสร้างฐานรากประเภทเสาเข็มกลุ่มอาจทำให้เกิดการซ้อนทับกันของค่าความเค้นส่งผลให้เกิดกระเปาะความเค้น (Stress Bulb) ซึ่งอาจส่งผลต่อค่าการทรุดตัวที่มากขึ้น และการก่อสร้างฐานรากขนาดใหญ่มักก่อให้เกิดปัญหาต่อผิวทางจราจร เช่น การเกิดการทรุดตัวที่แตกต่างกันของดินบริเวณฐานรากและดินโดยรอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.2-3 เป็นต้น ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำเสาเข็มแบเร็ต (Barrette Pile) มาใช้ซึ่งเป็นเสาเข็มเจาะรูปเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 2.2-4 มาทดแทนเสาเข็มเจาะแบบวงกลม เพื่อให้สามารถออกแบบเสาเข็มให้มีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกได้มาก และสามารถจัดวางรูปแบบในพื้นที่จำกัดได้ (ชาญชัย 2542) ส่งผลให้สามารถลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อพื้นที่ข้างเคียงได้ นอกจากนี้ในพื้นที่ที่มีความสูงในการก่อสร้างจำกัด ไม่สามารถนำเครื่องเจาะเสาเข็มขนาดใหญ่เข้าไปได้นั้น อาจพิจารณาใช้การก่อสร้างเสาเข็มแบเร็ตทดแทนได้เช่นกัน โดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเสาเข็มเจาะทั้งสองชนิดแสดงไว้ดังตารางที่ 2.2-1



รูปที่ 2.2-3 การทรุดตัวที่แตกต่างกันบริเวณฐานรากทางยกระดับอุตราภิมุข (โทลล์เวย์)



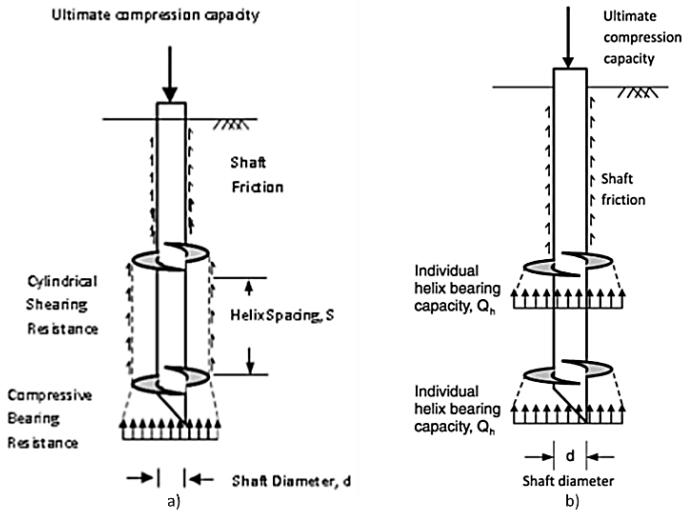
รูปที่ 2.2-4 เสาเข็มแบเร็ต a) รูปตัวที และ b) รูปกากบาท (X-shape), ที่มา: ณรงค์และคณะ (2561)

ตารางที่ 2.2-1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเสาเข็มเจาะแบบกลมและเหลี่ยม (ณรงค์และธยานนท์, 2565)

รายการ	เสาเข็มเจาะแบบกลม	เสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยม
ความสามารถในการรับน้ำหนักต่อต้น (เมื่อใช้คอนกรีตเท่ากัน)	ต่ำกว่า	สูงกว่า
ความสามารถในการรับแรงด้านข้าง	เท่ากันทุกทิศทาบง	แกนหลัก > แกนรองหลายเท่า
ขนาดของฐานรากรองรับเสาเข็ม	ขนาดใหญ่กว่า	ขนาดเล็กกว่า
ระยะเวลาในการก่อสร้าง	น้อยกว่า	มากกว่า
ราคาต่อกำลังรับน้ำหนัก	ใกล้เคียงกัน	ใกล้เคียงกัน

เสาเข็มเกลียว (Helical Pile/Screw Pile)

เสาเข็มเกลียว เป็นเสาเข็มที่ถูกติดตั้งลงในชั้นดินโดยแรงบิดเช่นเดียวกับการไขสกรูลงไปในเนื้อวัสดุ อาศัยแรงแบกทานจากแผ่นเหล็กเกลียว และ แรงเสียดทานจากแกนเสาเข็มในการรับน้ำหนัก (Mohajerani et al., 2016; จักรพันธ์และคณะ 2563) ตัวอย่างการวิเคราะห์กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบเกลียวแสดงไว้ดังรูปที่ 2.2-5 โดยในปัจจุบันนั้นมีการใช้งานเสาเข็มเกลียวเพิ่มมากขึ้นสำหรับงานอาคารหรืองานโครงสร้างเบา เนื่องจากความสะดวกรวดเร็วในการก่อสร้าง ไม่จำเป็นต้องมีการขุดดิน การสั่นสะเทือนน้อย อย่างไรก็ตามการก่อสร้างเสาเข็มดังกล่าวจำเป็นจะต้องใช้เครื่องจักรที่มีกำลังบิดสูงเพื่อให้สามารถก่อสร้างเสาเข็มในระดับลึกได้



รูปที่ 2.2-5 การรับน้ำหนักกดของเสาเข็มเกลียวโดยวิธี a) Cylindrical Shear b) Individual Bearing

ที่มา: Mohajerani et al. (2016)

เสาเข็มกด (Press-in Pile/Jack-in Pile)

เสาเข็มกดเป็นการใช้เสาเข็มสำเร็จรูปที่ผลิตจากโรงงานเช่นเดียวกับเสาเข็มตอก แต่ใช้กำลังจากเครื่องจักรไฮดรอลิก (รูปที่ 2.2-6) เพื่อกดเสาเข็มให้จมลงในชั้นดินแทนการใช้ลูกตุ้ม ในส่วนของกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม ขึ้นกับกำลังแบกทานและแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็มเช่นเดียวกับเสาเข็มตอก

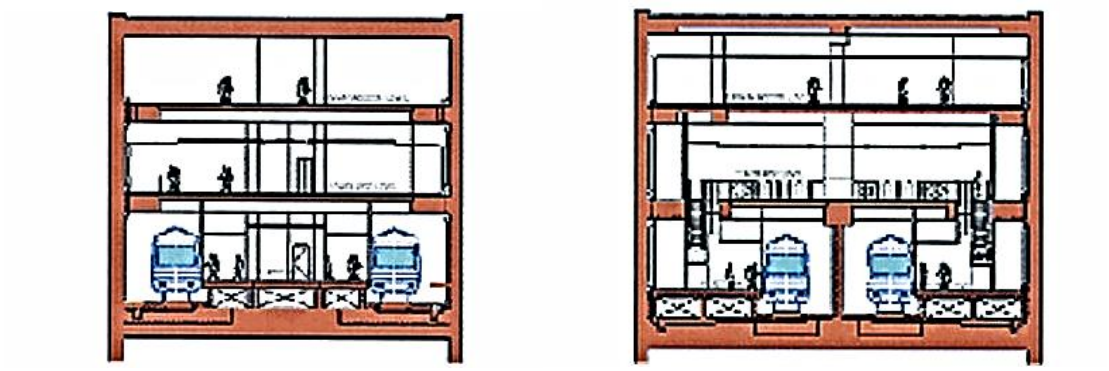
ซึ่งในกรณีที่เสาเข็มวางตัวอยู่ในระดับความลึกและดินชนิดเดียวกัน เสาเข็มที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าจะสามารถรับน้ำหนักได้สูงกว่า (Wang et al., 2021) ซึ่งการก่อสร้างเสาเข็มประเภทนี้สามารถก่อสร้างได้อย่างแม่นยำ ลดการสั่นสะเทือนได้ประมาณ 10-50 เท่าเมื่อเทียบกับเสาเข็มตอก (White et al., 2002) ทั้งยังสามารถทราบกำลังรับน้ำหนักเสาเข็มได้โดยตรงจากการติดตั้ง อย่างไรก็ตามในการก่อสร้างเสาเข็มที่มีความลึกมาก ต้องใช้เครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่และมีกำลังสูงเพื่อกดเสาเข็มให้จมลึกลงไป



รูปที่ 2.2-6 เครื่องจักรสำหรับการก่อสร้างเสาเข็มกด, ที่มา: บริษัท ปทุมธานีคอนกรีต จำกัด (2565)

2.2.1.2 รูปแบบการก่อสร้างสถานีใต้ดิน การขุดดินลึก

การก่อสร้างสถานีใต้ดินโดยทั่วไปจะใช้วิธีขุดและปิดกลับ (Cut and Cover) เนื่องจากสถานีจะต่อเนื่องจากระดับดิน มีรูปร่างเป็นกล่องสี่เหลี่ยม สามารถขุดโดยทำกำแพง Diaphragm Wall ซึ่งจะลึกประมาณ 25-30 เมตร แล้วจึงขุดดินถึงระดับชั้นล่างสุดจึงค่อยก่อสร้างส่วนพื้นล่าง (Base Slab) พื้นรองรับชานชาลา ชั้นขายตั๋วและหลังคา ด้วยคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อในที่ รูปแบบของสถานีอาจจัดชานชาลาไว้แนวกลาง (Central Platform) เพื่อให้ใช้ชานชาลาร่วมกันทั้งขาไปและกลับ เป็นรูปแบบที่นิยมใช้เนื่องจากจะสอดคล้องกับแนวเส้นทางของอุโมงค์ที่มีระยะเว้นช่วงว่างตรงกลางระหว่างอุโมงค์จัดเป็นแนวชานชาลาได้ กับรูปแบบชานชาลาด้านข้าง (Side Platform) ซึ่งใช้ในกรณีที่พื้นที่ก่อสร้างอุโมงค์บริเวณก่อนเข้าหรือออกจากสถานีมีจำกัด โดยจะแยกชานชาลาขาไปและกลับออกจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.2-7



รูปที่ 2.2-7 รูปแบบชานชาลาของสถานีใต้ดิน (ซ้าย : ชานชาลาแนวกลาง, ขวา : ชานชาลาริม)

ปัจจุบันในกรุงเทพมหานครมีการขุดดินลึกเพื่อก่อสร้างชั้นใต้ดินเป็นจำนวนมาก ซึ่งการขุดดินลึกนั้นมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการก่อสร้างรวมถึงระบบกำแพงกันดินที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการใช้กำแพงกันดินแบบยืดหยุ่น (Flexible Wall) เช่น เข็มพืด (Sheet Pile) หรือการใช้กำแพงกันดินแบบแข็ง (Rigid Wall) เช่น กำแพงเสาเข็ม (Pile Wall) การใช้กำแพงไดอะแฟรม (Diaphragm Wall, D-Wall) ฯลฯ ขึ้นกับปัจจัยหลากหลายทั้งการวางตัวและคุณสมบัติของชั้นดิน ระดับความลึกในการขุด หรือแม้แต่การออกแบบระยะห่างค้ำยัน เป็นต้น ทั้งนี้สามารถสรุปเทคนิคและรูปแบบการขุดดินลึกไว้พอสังเขปดังนี้

ชีทไพล์ (Sheet pile)

ชีทไพล์เป็นแผ่นวัสดุแผ่นทำจากคอนกรีต เหล็ก พลาสติกหรือวัสดุอื่นๆ ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นลอน มักใช้เป็นโครงสร้างป้องกันดินถล่มแบบยืดหยุ่น ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นโครงสร้างชั่วคราวหรือโครงสร้างถาวรได้ โดยจะทำการติดตั้งแผ่นชีทไพล์ลงไปในชั้นดินจนถึงระดับความลึกที่กำหนด และอาจมีการติดตั้งระบบค้ำยันหรือสมอยึดเพื่อป้องกันการเคลื่อนตัวของดินด้านข้าง ดังแสดงในรูปที่ 2.2-8 ทั้งนี้การพิจารณาติดตั้งระบบค้ำยันหรือไม่นั้นสามารถพิจารณาได้จากค่าความปลอดภัยของโครงสร้าง ค่าการเคลื่อนตัวที่อาจเกิดขึ้น หรือจากการใช้ความสัมพันธ์เชิงประจักษ์ (Keawsawasvong et al., 2022) สำหรับงานขุดดินในพื้นที่กรุงเทพฯนั้น มีการใช้ระบบชีทไพล์เป็นระบบค้ำยันชั่วคราวในกรณีระดับความลึกที่ขุดไม่ลึกมากนัก เนื่องจากการติดตั้งสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างถูก

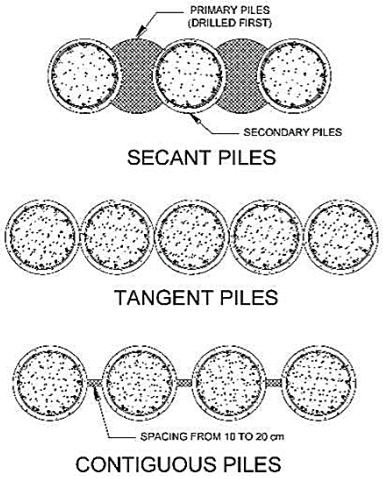


รูปที่ 2.2-8 ชีทไพล์สำหรับงานขุดดินลึก, ที่มา: บริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด (2565)

กำแพงกันดินเสาเข็ม (Pile Wall)

กำแพงกันดินเสาเข็มคือกำแพงกันดินที่ก่อสร้างโดยใช้เสาเข็มเจาะมาเรียงต่อกันในลักษณะต่างๆ เพื่อสร้างเสถียรภาพและป้องกันการเคลื่อนตัวของดินในงานขุดดินลึก โดยสามารถแยกได้เป็น Secant Pile Wall (เสาเข็มมีการขบกัน) Tangent Pile Wall (เสาเข็มเรียงชิดกัน) และ Contiguous Pile Wall (มีช่องว่างระหว่างเสาเข็ม) ดังแสดงในรูปที่ 2.2-9 ซึ่งรูปแบบที่นิยมใช้ในงานขุดดินลึกในพื้นที่กรุงเทพฯ ในปัจจุบัน ได้แก่ Contiguous Pile Wall ซึ่งอาศัย Arching Effect ในการต้านแรง (วินิต, 2553) เนื่องจาก

สามารถทำการก่อสร้างได้ง่าย และด้วยคุณสมบัติด้านความซึมน้ำของดินเหนียวกรุงเทพค่อนข้างต่ำทำให้ไม่ค่อยพบปัญหาการรั่วซึมและดินไหล โดยทั่วไปกำแพงกันดินเสาเข็มนั้นมักจะมีราคาสูงกว่าระบบชีทไพล์ (กรณีที่มีการถอนชีทไพล์) และมีราคาต่ำกว่ากำแพงไดอะแฟรม



รูปที่ 2.2-9 กำแพงกันดินเสาเข็มรูปแบบต่างๆ, ที่มา: Martinez et al. (2019)

กำแพงกันดินไดอะแฟรม (Diaphragm Wall)

ในการก่อสร้างชั้นใต้ดินลึกที่ต้องการจำกัดการเคลื่อนตัวของดินโดยรอบ จะนิยมใช้กำแพงกันดินไดอะแฟรม (รูปที่ 2.2-10) เนื่องจากกำแพงมีค่าความแข็ง (Stiffness) ค่อนข้างสูง สามารถต้านทานการดัดได้ ช่วยลดการเคลื่อนตัวของดินได้เป็นอย่างดี โดยโครงสร้างกำแพงกันดินประเภทนี้มักจะนิยมใช้เป็นกำแพงถาวร อย่างไรก็ตามการก่อสร้างกำแพงไดอะแฟรมนั้นจำเป็นต้องพิจารณาให้ครอบคลุมทั้ง การออกแบบตัวกำแพง การออกแบบระบบค้ำยัน และการออกแบบขั้นตอนการขุดดินเพื่อควบคุมการเคลื่อนตัวให้มีประสิทธิภาพ (ธีรพงศ์ 2548) ซึ่งโดยทั่วไปการควบคุมการก่อสร้างงานขุดดินลึกมักจะมีการกำหนดความปลอดภัยด้วยระบบ Trigger Levels ประกอบไปด้วย Alert Level, Alarm Level และ Action Level เมื่อการเคลื่อนตัวที่ตรวจวัดได้มีค่าร้อยละ 70, 80 และ 90 ของค่าการเคลื่อนตัวที่ออกแบบไว้ตามลำดับ ซึ่งการก่อสร้างโครงสร้างใต้ดินด้วยกำแพงกันดินไดอะแฟรมที่มีการออกแบบวางแผนการก่อสร้างอย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งยังมีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอย่างเหมาะสม นับว่าเป็นวิธีการก่อสร้างที่รวดเร็ว มีความปลอดภัย และไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างใกล้เคียง โดยมีหลายโครงการที่ประสบความสำเร็จในการก่อสร้างโดยใช้กำแพงกันดินประเภทนี้ (ภัทราวุธ, 2551; ชาญชัยและคณะ 2547)



รูปที่ 2.2-10 การก่อสร้างกำแพงไดอะแฟรม, ที่มา: บริษัท ซีฟโก้ จำกัด (มหาชน) (2565)

การประยุกต์ใช้เทคนิคการก่อสร้างสำหรับงานขุดดินลึก

การขุดดินลึกในบางพื้นที่นั้นอาจมีข้อจำกัดหรือเงื่อนไขในการก่อสร้างที่ซับซ้อนแตกต่างกัน เช่น การก่อสร้างบริเวณสถานีสนามไชยนั้นเป็นการก่อสร้างบริเวณเกาะกรุงรัตนโกสินทร์ซึ่งนับว่าเป็นพื้นที่อนุรักษ์ จึงมีข้อจำกัดทางด้านมาตรการก่อสร้างในพื้นที่ส่งผลให้ไม่สามารถขุดเปิดหน้าดินตามธรรมดาด้วยเหตุผลดังกล่าว การก่อสร้างสถานีสนามไชยจึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคการก่อสร้างแบบพิเศษด้วยหลังคาท่อเหล็ก (Pipe roof) ดังแสดงในรูปที่ 2.2-11 เพื่อให้การก่อสร้างนั้นเป็นไปตามข้อกำหนดและไม่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่สำคัญโดยรอบ (ชุมพล, 2558) ในขณะที่บางพื้นที่เช่น บริเวณสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินสีลม ต้องทำการก่อสร้างสถานีใต้โครงสร้างสะพานเดิมจึงมีความจำเป็นต้องมีการถ่ายเทกำลังรับน้ำหนักของโครงสร้างด้วยเทคนิคอันเดอร์พินนิ่ง (Underpinning) หรือในบางกรณีอาจจำเป็นต้องทำการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อลดผลกระทบต่างๆที่อาจเกิดขึ้น เช่น การใช้เสาเข็มดินซีเมนต์ (Soil Cement Column) เพื่อเพิ่มกำลังรับแรงของดินและเพื่อจำกัดการเคลื่อนตัวของดินให้เป็นไปตามข้อกำหนด (ณรงค์และคณะ, 2550) หรือการผสมสารเคมี (Chemical Grout) เพื่อป้องกันการไหลซึมของน้ำใต้ดินซึ่งอาจส่งผลต่อเสถียรภาพของโครงสร้างใต้ดิน เป็นต้น

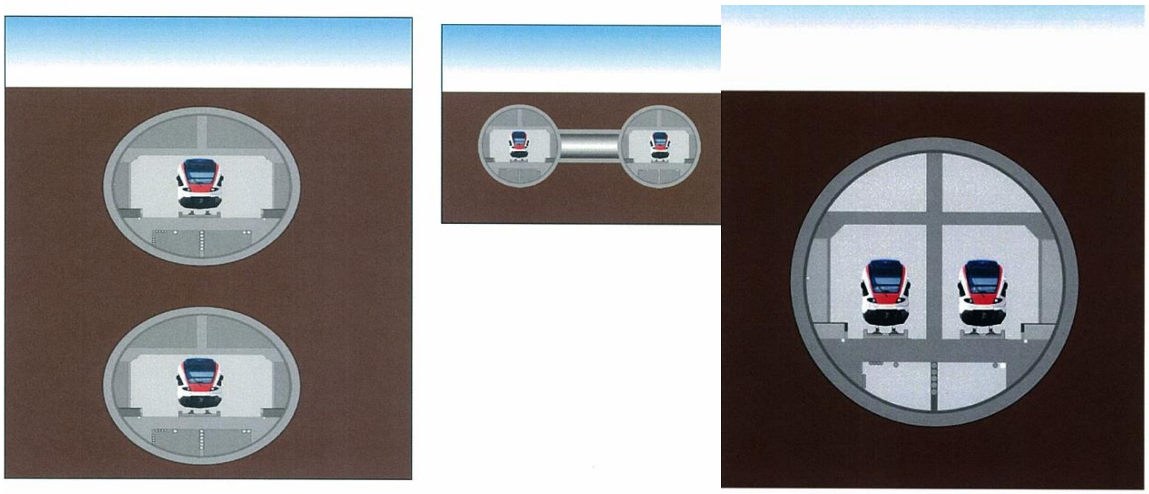


รูปที่ 2.2-11 ลักษณะโครงสร้างหลังคาท่อเหล็ก สถานีสนามไชย, ที่มา: ชุมพล (2558)

2.2.1.3 การขุดเจาะอุโมงค์

รูปแบบโครงสร้างทางวิ่งใต้ดินจะเป็นการเจาะอุโมงค์ใต้ดิน ซึ่งขึ้นกับรูปแบบของอุโมงค์แบ่งเป็น

อุโมงค์รางเดี่ยว (Single Track Based Tunnels) ซึ่งจะมีขนาดไม่ใหญ่มากให้สำหรับรถไฟฟ้าวิ่งทิศทางเดียว การก่อสร้างจึงจะทำเป็นอุโมงค์รางเดี่ยวเจาะคู่ขนานกันเพื่อให้การวิ่งรถไฟฟ้ามี 2 ทิศทาง กับรูปแบบอุโมงค์รางคู่อุโมงค์เดียวที่มีขนาดใหญ่ (Double Track Based Tunnels) เป็นการรวมรถไฟฟ้าทั้ง 2 ทิศทางภายในอุโมงค์เดียว รูปแบบนี้จะมีความเสี่ยงในการเกิดปัญหาด้าน Differential Settlement และผลกระทบต่อผิวทาง/ผิวระดับดิน (Surface Disturbance) ได้มาก นอกจากนี้การวางตัวของแนวอุโมงค์อาจอยู่ในแนวราบหรือแนวดิ่ง โดยทั่วไปหากไม่มีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่มักจะวางอุโมงค์อยู่ในแนวราบ แต่หากพื้นที่จำกัดจะวางแนวอุโมงค์ซ้อนกันในแนวดิ่ง (Stack) ดังแสดงในรูปที่ 2.2-12



รูปที่ 2.2-12 โครงสร้างทางวิ่งใต้ดินแบบ Twin Tunnel แนวราบและดิ่ง และ แบบอุโมงค์เดี่ยวขนาดใหญ่

วิธีการก่อสร้างอุโมงค์โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น การขุดเปิดและถมกลับ (Cut and Cover) การก่อสร้างอุโมงค์โดยใช้ระเบิด (Drill and Blast) และการก่อสร้างอุโมงค์โดยใช้หัวเจาะ (Tunnel Boring Machine, TBM) ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสีย และข้อจำกัดในการก่อสร้างที่แตกต่างกัน จำเป็นต้องทำการพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ อย่างเหมาะสมไม่ว่าจะเป็นเรื่องสภาพชั้นดินชั้นหินในพื้นที่ ขนาดและความยาวอุโมงค์ ระยะเวลาการก่อสร้าง รวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและพื้นที่ข้างเคียง เช่นการทรุดตัวที่อาจเกิดขึ้น เป็นต้น ทั้งนี้สามารถสรุปการก่อสร้างอุโมงค์รูปแบบต่างๆ ไว้พอสังเขปดังนี้

การเปิดหน้าดินและฝังกลบ (Cut and Cover)

การก่อสร้างอุโมงค์โดยการเปิดหน้าดินและฝังกลบเป็นวิธีการก่อสร้างที่ค่อนข้างง่าย มักจะนิยมใช้สำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ที่วางตัวอยู่ในระดับตื้นหรือในตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนระดับจากอุโมงค์ใต้ดินลึกมาเป็นทางวิ่งระดับดินหรือบริเวณปากอุโมงค์ ส่วนใหญ่นิยมทำเป็นทรงเหลี่ยม ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.2-13 ซึ่งการเปิดหน้าดินนั้นจำเป็นจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลากหลาย เช่น คุณสมบัติของดินและระดับ

น้ำบริเวณก่อสร้าง การออกแบบระบบค้ำยันหรือโครงสร้างรับแรง หรือแม้แต่ลักษณะและความสำคัญของการใช้พื้นที่รวมถึงสิ่งก่อสร้างใกล้เคียง



รูปที่ 2.2-13 อุโมงค์ที่ก่อสร้างโดยการเปิดหน้าดินและฝังกลบ, ที่มา: Earth Mechanics, Inc. (2022)

การเจาะและระเบิด (Drill and Blast)

การก่อสร้างอุโมงค์โดยการเจาะและระเบิดนิยมใช้สำหรับการก่อสร้างอุโมงค์ในชั้นหินที่มีความยาวไม่มากนัก โดยสามารถใช้เครื่องเจาะให้หินแตกหรือใช้การเจาะหินเป็นรูเล็กๆ และทำการฝังและจุดระเบิดเพื่อให้หินแตกก็ได้ ซึ่งการดำเนินการนั้นมักกระทำเป็นรอบได้แก่ การเจาะ การระเบิด การระบายอากาศ การดำเนินการติดตั้งค้ำยัน โดยกระบวนการที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ The New Austrian Tunneling Method (NATM) ทั้งนี้ต้องมีการคำนวณพลังงานและรูปแบบการเจาะระเบิด ขึ้นกับข้อมูลทางด้านธรณีวิทยา ขนาด การสั่นสะเทือน ฯลฯ ทั้งยังต้องดำเนินการในแต่ละขั้นตอนด้วยความระมัดระวังและเป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและต่อสิ่งแวดล้อม โดยตัวอย่างการเจาะระเบิดแสดงดังรูปที่ 2.2-14



รูปที่ 2.2-14 การก่อสร้างอุโมงค์โดยวิธีการเจาะและระเบิด, ที่มา: TBM News (2018)

เครื่องเจาะอุโมงค์ (Tunnel Boring Machine, TBM)

วิธีการขุดเจาะอุโมงค์ หัวเจาะ (Tunnel Boring Machine, TBM) จำเป็นต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆอย่างเหมาะสม ไม่ว่าจะเป็นเรื่องสภาพชั้นดินชั้นน้ำในพื้นที่ ขนาดและความยาวอุโมงค์ ระยะเวลาการก่อสร้าง รวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและพื้นที่ข้างเคียง เช่นการทรุดตัวที่อาจเกิดขึ้น เป็นต้น ซึ่งการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินด้วยเครื่องเจาะอุโมงค์ (รูปที่ 2.2-15) ในพื้นที่กรุงเทพมหานครนั้นมักจะใช้การขุดเจาะโดยการใช้หัวเจาะระบบแรงดันดินสมดุล (Earth Pressure Balance Shield) ซึ่งการขุดเจาะดินนั้นจะมีการรักษาเสถียรภาพด้านหน้าของอุโมงค์โดยอาศัยแรงดัน Face Pressure เพื่อต้านทานแรงดันดินและน้ำ โดยอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในปัจจุบันมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 5.70 เมตร และมีผนังหนา 0.30 เมตร ข้อกังวลหนึ่งในการก่อสร้างอุโมงค์คือ ปัญหาเรื่องการเคลื่อนตัวของดินซึ่งอาจส่งผลต่อเสถียรภาพของอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างใกล้เคียง ดังนั้นการควบคุมค่า Face Pressure และ Grouting Pressure นับว่ามีความสำคัญ โดยพบว่าการใช้ค่าความดันทั้งสองอย่างเหมาะสมนั้นส่งผลให้ช่วยลดค่าการทรุดตัวของดินได้อย่างมีนัยสำคัญ (กีรติ, 2544) และเพิ่มเติมไปกว่านั้น ข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ก่อสร้างอาจส่งผลต่อรูปแบบการก่อสร้างอุโมงค์ได้ เช่น การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าสายสีน้ำเงินช่วงสถานีบ่อนไก่ถึงสถานีสามย่านนั้นจำเป็นต้องก่อสร้างเป็นอุโมงค์คู่วางตัวในแนวดิ่งซึ่งส่งผลต่อการออกแบบและการขุดดินก่อสร้างสถานีในช่วงนี้ โดยถ้าหากมีความจำเป็นต้องทำการขุดเจาะอุโมงค์ผ่านอุปสรรคต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอุโมงค์เดิม สะพาน ฯลฯ ก็จำเป็นจะต้องทำการออกแบบก่อสร้างที่สามารถจำกัดและลดผลกระทบจากการเคลื่อนตัวของโครงสร้างเหล่านี้ด้วย



รูปที่ 2.2-15 Tunnel Boring Machine, ที่มา: MRTA Thailand (2020)

2.2.2 โครงสร้างระดับดิน

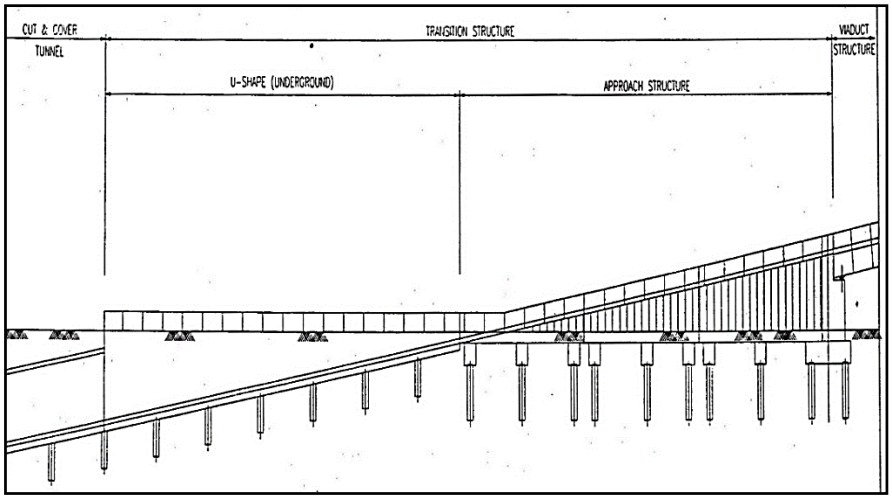
ในส่วนของโครงสร้างระดับดิน สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบหลักๆ คือ รูปแบบส่วนที่ต่อเนื่องกับโครงสร้างใต้ดิน (อุโมงค์รถใต้ดิน) ซึ่งมีแนวเส้นทางจากระดับอุโมงค์เดิมที่อยู่ลึกใต้ดิน ค่อยๆ ไต่ระดับความสูงขึ้นมาอยู่บนดินเพื่อที่แนวเส้นทางจะต่อเนื่องไปเป็นโครงสร้างทางยกระดับต่อไป หรือในทิศทางที่กลับกัน เรียกโครงสร้างระดับดินส่วนนี้ว่า โครงสร้างบริเวณช่วงเปลี่ยนระดับ (Transition structure)

และอีกรูปแบบคือ โครงสร้างที่อยู่ระดับดินเลยแต่ต้น เช่น อาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจร เป็นต้น ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบสามารถสรุปรายละเอียดเทคนิควิธีการก่อสร้างได้ดังนี้

2.2.2.1 โครงสร้างระดับดินช่วงเปลี่ยนระดับ (Transition structure)

วิธีก่อสร้างแบบเปิดหน้าดิน (Cut and Cover)

โครงสร้างที่มีการเปลี่ยนระดับจากใต้ดินเป็นยกระดับหรือจากยกระดับเป็นใต้ดิน (รูปที่ 2.2-16) ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่อยู่ใต้ดิน การก่อสร้างมักใช้วิธีเปิดหน้าดินแล้วฝังกลบ (Cut and cover method) ในบางครั้งเรียกว่าวิธีขุดแล้วกลบ หรือแม้แต่กระทั่งการก่อสร้างสถานีใต้ดินที่มีความลึกไม่มาก ก็สามารถใช้วิธีขุดเปิดหน้าดินแล้วกลบได้เช่นกัน ดังที่ได้นำเสนอไว้ในส่วนของโครงสร้างใต้ดินข้างต้น ซึ่งเป็นวิธีที่ประหยัดค่าก่อสร้างมากที่สุด จึงเป็นวิธีก่อสร้างโครงสร้างสถานีระดับดินและใต้ดินที่ใช้กันมาก ถ้าลักษณะพื้นที่หน้างานอำนวย โดยทั่วไปแล้วการก่อสร้างแบบเปิดหน้าดิน จะถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างสถานีระดับดิน/ใต้ดิน และส่วนงานอื่นๆ เช่น Grade Transition Areas งานทางรถไฟที่เปลี่ยนสาย (Crossover) งาน Pocket Tracks และงานทางเข้าโรงซ่อม (Depot Approaches) เป็นต้น และส่วนที่เป็นโครงสร้างลอยฟ้า จะใช้วิธีการก่อสร้างแบบวางโครงสร้าง (Place method) ทั้งนี้โครงสร้างมักได้รับการออกแบบเป็นโครงสร้างสำเร็จรูป เนื่องจากประหยัดพื้นที่ในการก่อสร้าง เหมาะสำหรับโครงการฯ ที่อยู่ในเขตเมืองที่มีพื้นที่ในการก่อสร้างจำกัด



รูปที่ 2.2-16 ลักษณะโครงสร้างช่วง Transition area

อย่างไรก็ตามวิธีการก่อสร้างแบบเปิดหน้าดิน (Cut and cover) มีข้อจำกัดด้านความแคบและความลึกที่สามารถขุดเปิดได้โดยอาศัยเทคนิคงานขุดเจาะต่างๆ เช่น

- การขุดเจาะโดยวิธีการใช้ Diaphragm Wall ได้รับการยอมรับและมีการใช้ในงานก่อสร้างในหลายๆ โครงการ มีความแม่นยำเที่ยงตรงสูง
- การขุดเจาะแบบ Sheet Piling เป็นการขุดเปิดและใช้ระบบค้ำยัน ซึ่งมีความเที่ยงตรงที่ต่ำกว่าระบบ Diaphragm wall และอาจมีผลกระทบต่อโครงสร้างใต้ดินได้

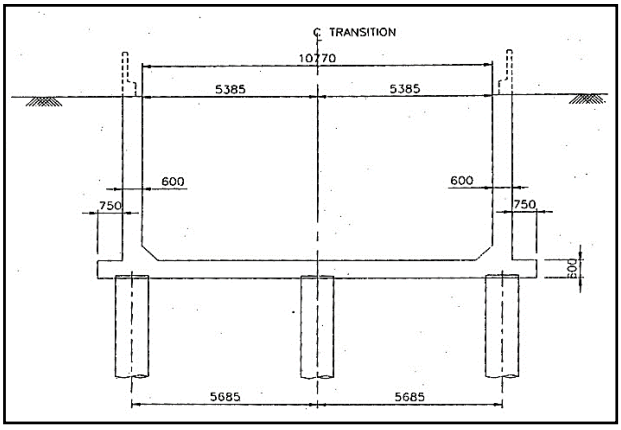
สิ่งที่ควรคำนึงถึง

- การลดการเคลื่อนตัวของโครงสร้างใต้ดินที่เกิดจากแรงสั่นสะเทือนของการก่อสร้าง และการทรุดตัวของดินในขณะก่อสร้าง
- ลดระยะเวลาการขุดเจาะและก่อสร้างเพื่อลดผลกระทบต่อการจราจรบนถนน
- การลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมขณะก่อสร้าง เช่น ฝุ่น เสียง การจราจร เป็นต้น
- ความมั่นใจด้านการป้องกันการรั่วซึมของน้ำ (Watertight)

การออกแบบโครงสร้างช่วงเปลี่ยนระดับ จะใช้วิธีการออกแบบให้แรงในแนวดิ่งจะกระจายแรงลงมาที่ด้านล่างทั้งหมด โดยที่ไม่มีการดูดซับหรือกระจายไปในแนวอื่นเลย ทำให้มีการรับแรงที่ฐานรากสูงที่สุด ในกรณีของโครงการรถไฟฟ้าในกรุงเทพฯ เนื่องจากชั้นดินบนสุดเป็นดินอ่อน โครงสร้างเปลี่ยนระดับแบบ U-Shape on Pile เป็นแบบที่เหมาะสมที่สุดดังแสดงดังรูปที่ 2.2-17

การก่อสร้างโครงสร้างเปลี่ยนระดับมีขั้นตอน คือการขุดจากพื้นดินและวางโครงสร้างเข้าไปภายในหรือเรียกวิธีนี้ว่า Bottom-up โดยวิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโครงสร้างที่ตื้น อย่างไรก็ตามวิธีก่อสร้างดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อพื้นดินที่เป็นพื้นที่จราจร และสาธารณูปโภคต่างๆ ทั้งนี้อาจลดผลกระทบดังกล่าวโดยการใช้ Deck slab ชั่วคราววางเหนือดินที่ถูกขุดออกเพื่อเป็นการค้ำยันเสมือนโครงสร้างในภาพรวม

แต่หากมีปัญหาเรื่องการจำกัดของพื้นที่อย่างมาก จำเป็นที่จะต้องคงสภาพผิวดิน หรือคงสภาพการใช้งานจราจรระดับดิน ลดผลกระทบต่อการจราจรให้น้อยที่สุด อาจเปลี่ยนไปใช้วิธีก่อสร้างแบบ Top down ได้ โดยทำพื้น Slab ด้านบนก่อน แล้วจึงดำเนินการขุดเข้าไปใต้ Slab แต่วิธีนี้ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน และต้องมีการค้ำยัน Slab ด้านบนให้แข็งแรงปลอดภัย ค่าใช้จ่ายการก่อสร้างค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.2-17 ลักษณะโครงสร้างแบบตัวยู (U) บนเข็มสำหรับ Transition slab

2.2.2.2 โครงสร้างระดับดิน (อาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจร)

สำหรับรูปแบบโครงสร้างระดับดินในลักษณะของอาคาร เช่น อาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจร ฯลฯ สามารถใช้เทคนิควิธีการก่อสร้างเช่นเดียวกับการก่อสร้างอาคารทั่วไป ประกอบด้วยเทคนิคต่างๆ ดังนี้

วิธีการก่อสร้างด้วยโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบธรรมดา (Concrete structure)

วิธีนี้คือวิธีการก่อสร้างที่ใช้กันทั่วไป เป็นรูปแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กปกติที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมาเป็นเวลานาน และยังคงความนิยมในปัจจุบันเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีกำลังสูงราคาถูกและสามารถหล่อให้มีหน้าตัดและรูปร่างตามที่ต้องการได้ ใช้การก่อสร้างเทคอนกรีตในที่ เหมาะสำหรับโครงสร้างอาคารแบบโครงเฟรมเสาคาน ข้อดีของการก่อสร้างวิธีนี้คือ ประหยัด วัสดุหาได้ง่าย มีคุณสมบัติทนไฟได้ดี แรงงานฝีมือสามารถหาได้ง่าย คนงานก่อสร้างมีความชำนาญสูง และ ไม่ต้องการเทคโนโลยีที่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือ โครงสร้างมีน้ำหนักมาก ใช้เวลาในการก่อสร้าง การก่อสร้างขึ้นกับสภาพอากาศและสภาพแวดล้อม ใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนมาก การควบคุมคุณภาพทำได้ยากต้องอาศัยความระมัดระวังสูง

สามารถใช้สารผสมเพิ่ม (Admixture) ต่างๆ เพื่อช่วยให้คอนกรีตมีคุณสมบัติตามที่ต้องการได้ จัดเป็นเทคนิคการก่อสร้างวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยให้การก่อสร้างรูปแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งสารผสมเพิ่มมีหลากหลายชนิด เช่น สารเร่งการก่อตัว (Accelerator), สารหน่วงการก่อตัว (Retarder), สารลดปริมาณน้ำ (Water reducing / Plasticizing), สารกักกระจายฟองอากาศ (Air-entraining) และสารลดปริมาณน้ำจำนวนมาก (Super plasticizer) ซึ่งสารต่างๆ เหล่านี้จะไปช่วยปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ในคอนกรีตให้เป็นไปตามที่ต้องการ เช่น มีความเหลวมากขึ้น เทไหลเข้าแบบได้ง่าย เร่งระยะเวลาการก่อตัวให้เร็วขึ้นหรือหน่วงให้ช้าลง เพื่อให้เหมาะสมสอดคล้องกับการก่อสร้างได้

วิธีการก่อสร้างด้วยโครงสร้างเหล็ก (Steel structure)

โครงสร้างเหล็กเป็นโครงสร้างที่ได้จากการนำท่อนเหล็กรูปพรรณหรือเหล็กแผ่นกล้าที่มีรูปตัดและขนาดต่างๆ มาประกอบยึดรวมกันด้วยการขันยึดหรือเชื่อมเพื่อให้รับน้ำหนักบรรทุกตามต้องการ สามารถพบเห็นโครงสร้างเหล็กในการก่อสร้างทั่วไป เช่น อาคาร สะพาน โครงหลังคา โครงเปลือกบาง โครงแขวนหรือขึง อาคารโครงสร้างเหล็กมักใช้รูปแบบโครงสร้างชนิดเสาคาน (Moment frame) เหล็กโครงสร้างที่ใช้จะมีรูปร่างหน้าตัดรูปตัว H (Wide flange), ตัวไอ (I), ตัว T, เหล็กกล่อง, เหล็กฉาก, เหล็กท่อ และแผ่นเหล็ก นำมาประกอบเข้าด้วยกันด้วยวิธีต่อเชื่อม (Welding) หรือ วิธีต่อแบบสลักเกลียว (Bolting)

ระบบพื้นแบบ Steel deck เป็นระบบที่ใช้แบบหล่อพื้นถาวรแบบเหล็ก เมื่อเทคอนกรีตพื้นบนแบบหล่อเหล็กแล้วจะเป็นโครงสร้างผสมแบบ Composite ระหว่างแบบหล่อเหล็กกับคอนกรีต นิยมใช้คู่กับระบบโครงสร้างเหล็กแบบเสาคาน

นอกจากนี้เมื่อประกอบเหล็กแต่ละท่อนเป็นโครงถัก (Truss) ที่มีความลึก (Truss depth) จะสามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงได้อย่างมาก ซึ่งโครงถักอาจเกิดจากการนำเหล็กหน้าตัดต่างๆ มาประกอบเป็นโครงถัก หรือใช้แผ่นเหล็กมาตัดขึ้นรูปประกอบเสมือนคานลึก (Castellated beam) ตามแบบ ก็สามารถช่วยลดน้ำหนักโครงสร้างได้

โครงสร้างเหล็กมีข้อดีที่สามารถก่อสร้างได้รวดเร็ว ใช้แรงงานในการก่อสร้างน้อยกว่าโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กปกติ โครงสร้างเหล็กมีน้ำหนักเบา ประหยัดพื้นที่ก่อสร้าง สามารถก่อสร้างได้สูง ตัดประกอบเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ และสามารถควบคุมคุณภาพของงานก่อสร้างได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือต้านทานไฟได้น้อย หากเกิดอัคคีภัยจนอุณหภูมิเหล็กขึ้นสูงมากจะสูญเสียคุณสมบัติในการรับแรงและเกิดการ

เสียหายวิบัติได้ อีกทั้งเหล็กมีราคาค่อนข้างสูง แปรผันตามภาวะเศรษฐกิจ ทำให้มีข้อจำกัดในด้านราคาต้นทุนค่าก่อสร้าง แต่หากเทียบกับเวลา ดอกเบี้ย การคืนทุนเชิงธุรกิจ ก็อาจมีความคุ้มค่า แล้วแต่กรณีไป

วิธีการก่อสร้างด้วยโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast and Prefabrication construction)

เป็นวิธีการก่อสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูปมาประกอบกันขึ้นเป็นโครงสร้าง ทดแทนการก่อสร้างแบบหล่อในที่ โครงสร้างที่แล้วเสร็จมีลักษณะเหมือนกับโครงสร้างแบบคอนกรีตเสริมเหล็กแต่เปลี่ยนจากการก่อสร้างด้วยการเทคอนกรีตในที่ที่หน้างานก่อสร้าง มาเป็นการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ จากโรงงานผลิตชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ เตรียมไว้ก่อน แล้วนำมาประกอบกันที่หน้างานก่อสร้าง

การก่อสร้างวิธีนี้มีข้อดีคือ ก่อสร้างได้เร็ว สามารถเตรียมชิ้นส่วนโครงสร้างไว้ล่วงหน้า สามารถวางแผนติดตั้ง การประกอบชิ้นงาน และดำเนินการให้แล้วเสร็จตามแผนงานได้ ชิ้นส่วนโครงสร้างได้รับการผลิตที่โรงงานจึงสามารถควบคุมคุณภาพได้เป็นอย่างดี ชิ้นงานมีขนาดตามที่ต้องการและสวยงามกว่ารูปแบบคอนกรีตเทในที่ ใช้คนงานก่อสร้างจำนวนน้อย เนื่องจากใช้เพียงคนงานก่อสร้างในการติดตั้งและประกอบชิ้นส่วนเป็นหลัก ไม่ต้องกังวลต่อสภาพอากาศในระหว่างการก่อสร้าง แต่ก็มีข้อเสียคือ ต้องมีการวางแผนการก่อสร้างที่ดีซึ่งประกอบด้วย การออกแบบ (ต้องออกแบบสภาวะโครงสร้างที่แล้วเสร็จ และออกแบบสำหรับความแข็งแรงของแต่ละชิ้นส่วน) การผลิต (สามารถผลิตได้ง่าย ไม่ซับซ้อน ไม่เสียหาย) การกองเก็บ (ต้องวางแผนสำหรับพื้นที่กองเก็บและรูปแบบการเก็บ เพื่อให้ชิ้นงานปลอดภัยและติดตั้งได้ง่าย) การขนส่ง (อาจต้องใช้รถขนส่งขนาดใหญ่ แนวเส้นทางที่มีผลต่อการขนส่ง การติดเวลาห้ามขนส่ง) และ การติดตั้ง (การใช้เครนขนาดใหญ่ให้สอดคล้องกับน้ำหนักของชิ้นส่วน ระยะเวลาทำงานของเครน) มีการใช้เทคโนโลยี วัสดุ อุปกรณ์ ต่างๆ เพิ่มเติมกว่าการก่อสร้างวิธีปกติ ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง ในทางเศรษฐศาสตร์การก่อสร้างด้วยวิธีนี้จึงต้องพยายามวางแผน ออกแบบให้ชิ้นส่วนมีลักษณะซ้ำเพื่อให้สามารถผลิตได้ง่ายและจำนวนมากด้วยต้นทุนที่ประหยัด และทำการติดตั้งประกอบโครงสร้างให้รวดเร็วเพื่อลดต้นทุนให้สามารถแข่งขันได้กับวิธีการก่อสร้างแบบปกติ การปรับเปลี่ยนรูปแบบอาคารไม่ยืดหยุ่นทำได้ยากเนื่องจากกระทบต่อชิ้นส่วนต่างๆ ที่ต่อเนื่องกัน

ส่วนที่สำคัญของการก่อสร้างด้วยวิธีนี้คือจุดต่อโครงสร้าง ที่ต้องแข็งแรงเพียงพอ ซึ่งต้องคำนึงถึงแต่ต้นในขั้นตอนการออกแบบเป็นพิเศษ ในกรณีที่เป็นโครงสร้างผนังอาคาร รอยต่อจะต้องสามารถป้องกันความชื้นหรือน้ำที่จะซึมผ่านรอยต่อเข้าไปในอาคารได้ ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จสามารถใช้ได้กับทุกส่วนขององค์อาคาร เช่น เสาเข็มรูปตัวไอ ชิ้นเสาคาน หรืออาจใช้การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จร่วมกับการก่อสร้างระบบคอนกรีตเสริมเหล็กแบบปกติได้ เช่น ฐานรากสำเร็จรูปแบบกล่องแล้วเทคอนกรีตในที่ลงในฐานรากให้เต็ม หรือ การใช้พื้นสำเร็จรูป (Plank หรือ Hollow core) และเทคอนกรีตทับหน้าในที่

วิธีการก่อสร้างด้วยโครงสร้างคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete structure)

คอนกรีตอัดแรงเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้ส่วนของโครงสร้างเกิดแรงภายในเกิดขึ้นเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มกำลังรับแรงของโครงสร้างในสภาวะใช้งาน ซึ่งทำโดยการให้คอนกรีตที่มีความสามารถรับแรงอัดได้ดี รับแรงอัดเพิ่มเติมภายในโครงสร้างอยู่ในสภาพความเค้นอัดไว้ก่อนจากการดึงลวดอัดแรง เพื่อชดเชยกับแรงดึงที่จะเกิดขึ้นกับคอนกรีตจากแรงภายนอกในระหว่างการใช้งานโครงสร้าง เช่น จากน้ำหนักบรรทุกจรส่วนเหล็กอยู่ในสภาพความเค้นดึง ซึ่งส่งผลให้พฤติกรรมของเหล็กและคอนกรีตในการใช้งานดีขึ้น มักนิยม

ใช้รูปแบบคอนกรีตอัดแรงในโครงสร้างที่มีช่วง Span ยาวมากกว่าปกติ หรือในโครงสร้างคานขนาดใหญ่ที่ต้องการกำลังรับแรงดัดสูงๆ

วิธีการก่อสร้างด้วยคอนกรีตอัดแรงนี้มีข้อดี คือ มีประสิทธิภาพทั้งในส่วนของกำลังรับน้ำหนักและมีความทนทานดีกว่าคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา ใช้คุณสมบัติของวัสดุอย่างเต็มประสิทธิภาพ ใช้กับโครงสร้างที่มีช่วง (Span) ยาวๆ ได้ ทำให้ลดจำนวนคานและเสาให้น้อยลง สามารถออกแบบไม่ให้เกิดการแตกร้าวในคอนกรีตภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานได้ ซึ่งทำให้หน้าตัดโครงสร้างมีสติฟเนสสูงกว่าคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไปที่จะเกิดการแตกร้าวในขณะรับน้ำหนักบรรทุกสภาวะใช้งาน แต่ก็มีข้อเสียคือ มีต้นทุนการก่อสร้างที่สูงกว่า ต้องมีอุปกรณ์พิเศษเฉพาะทาง (อุปกรณ์สำหรับทำการอัดแรง, ปลายยึด Anchorage) ต้องการความรู้ด้านเทคโนโลยี และต้องการช่างและวิศวกรที่มีความชำนาญ โครงสร้างต้องได้รับการออกแบบเป็นพิเศษโดยเฉพาะ

คอนกรีตอัดแรงสามารถแบ่งตามเทคนิคการก่อสร้างได้อีก 2 รูปแบบ คือ วิธีอัดแรงก่อน (Pre-tensioning หรือ Presterssed) และ วิธีอัดแรงภายหลัง (Post-tensioning)

- รูปแบบวิธีอัดแรงก่อน (Pre-tensioning หรือ Presterssed) จะเป็นการดึงลวดอัดแรงภายในส่วนของโครงสร้างเตรียมไว้ก่อนการเทคอนกรีตโครงสร้างนั้นๆ เมื่อเทคอนกรีตและรอจนคอนกรีตมีกำลังเพียงพอแล้ว จึงค่อยตัดลวดอัดแรงออกให้เกิดการถ่ายแรงระหว่างลวดอัดแรงสู่เนื้อคอนกรีต วิธีนี้ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนโครงสร้างในโรงงาน เนื่องจากมีความคุ้มทุนมากกว่า สามารถจัดเตรียมแบบหล่อคอนกรีตขนาดยาวเพื่อความคุ้มค่ากับการดึงลวดอัดแรงในคราวเดียว แล้วหล่อชิ้นส่วนคอนกรีตตัดออกเป็นท่อนๆ ในภายหลัง เช่น แผ่นพื้นอัดแรง
- รูปแบบวิธีอัดแรงภายหลัง (Post-tensioning) มักนิยมทำที่หน้างานก่อสร้าง โดยทำการอัดแรงภายหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวได้กำลังตามที่ต้องการแล้ว ลวดอัดแรงจะร้อยอยู่ภายในท่อที่จัดวางแนวท่อตามที่ได้รับการออกแบบไว้โดยสามารถร้อยลวดไว้ก่อนล่วงหน้าการเทคอนกรีตหรือจะร้อยลวดในภายหลังเทคอนกรีตแล้วเสร็จก็ได้ การร้อยลวดจะยึดลวดไว้ที่ปลายสุดที่หัวยึด Anchorage และทำการดึงลวดอัดแรงจากปลายอีกด้านหนึ่ง ภายหลังการดึงลวดแล้วเสร็จ จะทำการเกร๊าท์ท่อให้เต็มเพื่อเป็นการป้องกันลวดอัดแรงภายในและเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (Bond) ระหว่างลวดอัดแรงกับคอนกรีตผ่านทางท่อร้อยลวด

เทคนิคการก่อสร้างโดยใช้แบบหล่อคอนกรีตรูปแบบต่างๆ (Type of Formwork)

การใช้แบบหล่อที่มีความเหมาะสมกับงานสามารถช่วยให้การก่อสร้างมีความรวดเร็วและประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างได้ ซึ่งแบบหล่อมีหลายชนิดดังแสดงในรูปที่ 2.2-18 เช่น

- แบบหล่อเสา (Column Form)
- แบบหล่อผนังคอนกรีต (Wall Form) ทั่วไป
- แบบหล่อผนังชนิด Slip form
- แบบหล่อผนังชนิด Jump form
- แบบหล่อผนังชนิด Climbing form
- แบบหล่อพื้นชนิด Flying form
- แบบหล่อพื้นชนิด Tunnel form



(ก) แบบหล่อเสา



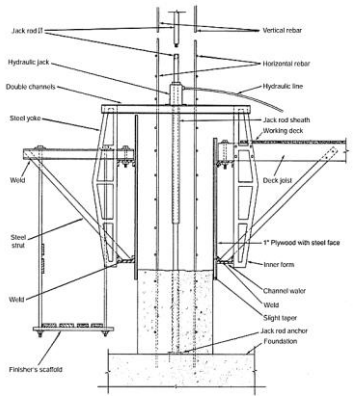
(ข) แบบหล่อผนังทั่วไป



(ค) แบบหล่อผนังชนิด Jump form



(ง) แบบหล่อผนังชนิด Flying form



(จ) แบบหล่อผนังชนิด Slip form



(ฉ) แบบหล่อผนังชนิด Climbing form



(ช) แบบหล่อผนังชนิด Tunnel form

รูปที่ 2.2-18 แบบหล่อคอนกรีตรูปแบบต่างๆ

2.2.3 โครงสร้างทางยกระดับและสถานี

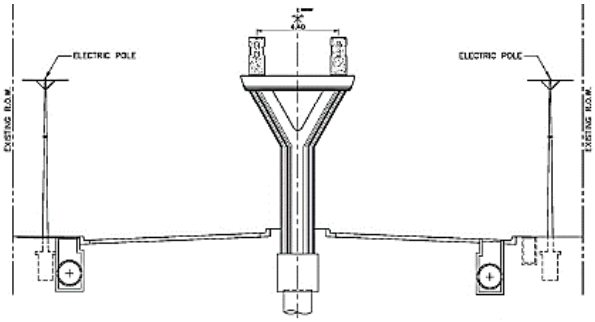
ลักษณะโครงสร้างทางยกระดับของรถไฟฟ้ามีความคล้ายคลึงกับโครงสร้างสะพานทางหลวง (highway bridge) ซึ่งประกอบด้วยส่วนของฐานรากและเสาตอม่อในโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) และคานและพื้นสำหรับรองรับยานพาหนะหรือรางรถไฟฟ้าในโครงสร้างส่วนบน (Superstructure) ปัจจุบันเทคโนโลยีการก่อสร้างสะพานได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทั้งในด้านคุณสมบัติวัสดุ เทคนิควิธีการและเครื่องมือการก่อสร้าง เพื่อให้การก่อสร้างโครงสร้างสะพานสามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว และมีผลกระทบในด้านต่างๆ ระหว่างการก่อสร้างน้อยลง

2.2.3.1 โครงสร้างทางยกระดับของรถไฟฟ้า

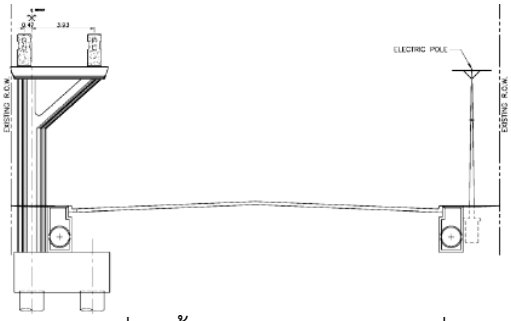
โครงสร้างทางวิ่งยกระดับมีลักษณะเป็นสะพานยกระดับสำหรับวางรางรถไฟฟ้า โดยปกติมีเสารองรับคานสะพานทุกระยะ 25 – 30 ม. ในบางช่วงที่ต้องข้ามทางแยกถนนอาจมีช่วงระยะห่างระหว่างเสา 40 – 60 ม. โครงสร้างประกอบด้วยโครงสร้างส่วนล่าง (Substructure) ซึ่งประกอบด้วยส่วนของฐานรากและเสาตอม่อ และโครงสร้างส่วนบน (Superstructure) ซึ่งเป็นส่วนของโครงสร้างที่อยู่เหนือแผ่นรองรับคาน (Bearing)

ลักษณะโครงสร้างส่วนล่างอาจมีรูปแบบเป็นเสาตอม่อเดี่ยวรองรับคานทางวิ่ง 2 ทิศทาง ซึ่งมักมีตำแหน่งอยู่บริเวณเกาะกลางถนน หรือเป็นโครงสร้างที่มีเสาตอม่อจำนวนมากกว่า 1 ต้น อยู่ในพื้นที่บริเวณด้านข้างถนนและอาศัยคานขวางในการรองรับคานทางวิ่ง (รูปที่ 2.2-19) การพิจารณาตำแหน่งและรูปแบบของโครงสร้างเสาตอม่อมักขึ้นอยู่กับจำนวนคานทางวิ่งที่โครงสร้างต้องรองรับ ข้อจำกัดของขนาดพื้นที่บริเวณเกาะกลางถนนและบริเวณข้างเคียง และโครงสร้างสาธารณูปโภค เช่น ท่อประปา ที่มีอยู่เดิมตามแนวเส้นทางของโครงการ

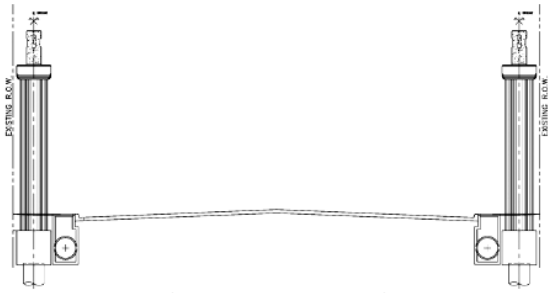
การก่อสร้างโครงสร้างส่วนล่างของในส่วนของเสาเข็มจะใช้เสาเข็มเจาะ โดยอาจเป็นเสาเข็มเจาะแบบกลมหรือแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) เนื่องจากสามารถลดผลกระทบและการสั่นสะเทือนที่มีต่อพื้นที่บริเวณข้างเคียงได้ระหว่างการก่อสร้าง อีกทั้งยังสามารถออกแบบให้มีกำลังรับน้ำหนักต่อต้นที่สูง ทำให้สามารถลดจำนวนเสาเข็มที่ต้องการต่อฐานราก และลดขนาดโครงสร้างฐานรากที่อาจมีการล้ำเข้าไปในพื้นที่ถนนได้ โดยเสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยมจะมีกำลังรับน้ำหนักที่สูงกว่าเสาเข็มเจาะแบบกลม และสามารถปรับเปลี่ยนขนาดให้เหมาะสมกับลักษณะของแรงกระทำได้ การก่อสร้างโครงสร้างฐานรากปกติเป็นรูปแบบหล่อในที่ จึงต้องใช้ระยะเวลาในการก่อสร้างโครงสร้างส่วนนี้ค่อนข้างนาน การบริหารโครงการระหว่างการก่อสร้างจะต้องพิจารณาถึงผลกระทบจากการทำงานของเครื่องจักร การขุดดิน การเคลื่อนย้ายดิน และการเทคอนกรีตที่อาจส่งผลต่อการจราจรและพื้นที่บริเวณข้างเคียง ในส่วนของโครงสร้างเสาตอม่ออาจใช้วิธีการหล่อในที่หรือหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปแล้วนำมาประกอบที่สถานที่ก่อสร้าง (รูปที่ 2.2-20 และ 2.2-21) สำหรับการก่อสร้างเสาตอม่อด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จรูปจะใช้วิธีการดึงลวดอัดแรงภายหลัง (Post-tension) ในการเพิ่มกำลังรับน้ำหนักให้กับเสาโดยเฉพาะที่รอยต่อระหว่างชิ้นส่วน



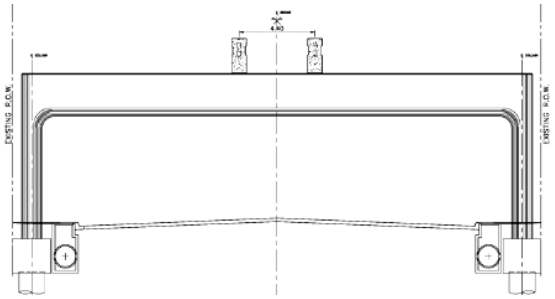
ก) เสาเดี่ยวรองรับคานทางวิ่ง 2 ทิศทาง



ข) เสาเดี่ยวเยื้องศูนย์รองรับคานทางวิ่ง 2 ทิศทาง

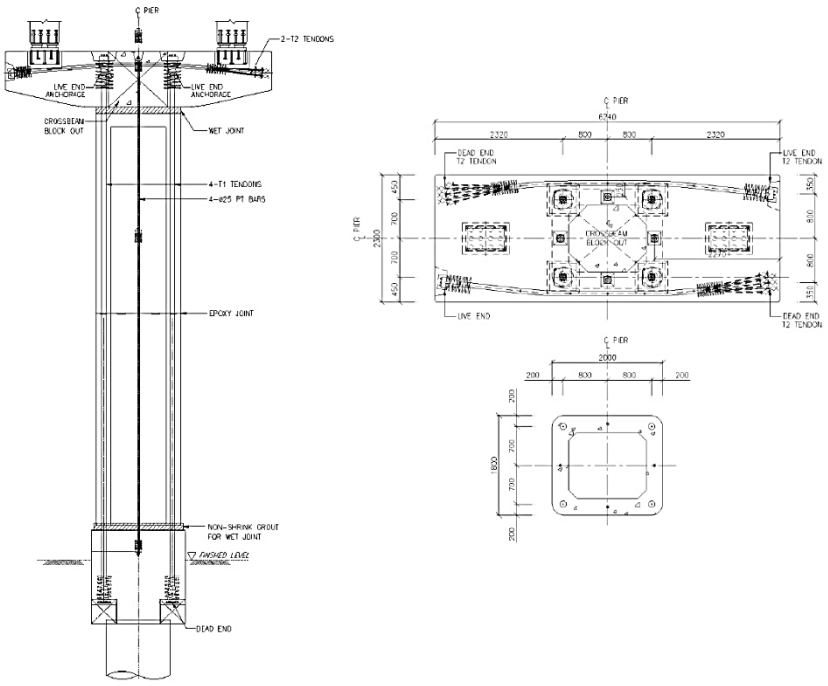


ค) เสาเดี่ยวรองรับคานทางวิ่ง 1 ทิศทาง



ง) โครงเสาคู่หรือ Portal Frame

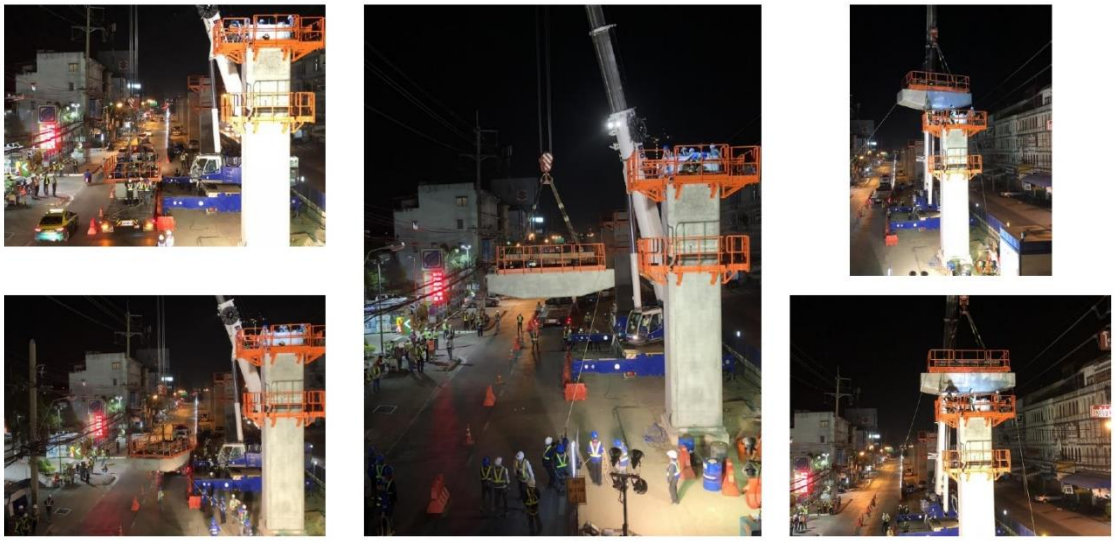
รูปที่ 2.2-19 รูปแบบโครงสร้างยกระดับ
(https://mrta-yellowline.com/wp/3-project-design-th/)



รูปที่ 2.2-20 รูปแบบโครงสร้างเสาคอนกรีตหล่อสำเร็จ โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูและสายสีเหลือง
(สุรเชษฐ์ เหล่าพูลสุข, 2563)



ก) การก่อสร้างเสาโดยการใช้ชิ้นส่วนเสาหล่อสำเร็จ



ข) ก่อสร้างคานขวางโดยใช้ชิ้นส่วนคานขวางหล่อสำเร็จ

รูปที่ 2.2-21 การก่อสร้างเสาตอม่อโดยการใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูและสายสีเหลือง (สุรเชษฐ์ เหล่าพูลสุข, 2563)

รูปแบบของคานคอนกรีตที่ใช้เป็นโครงสร้างทางวิ่งอาจเป็นคานคอนกรีตรูปตัวไอหรือคานคอนกรีตรูปกล่อง ขึ้นอยู่กับรูปแบบของระบบรถไฟฟ้าที่เลือกใช้ รถไฟฟ้าระบบ MRT มีความสามารถในการขนส่งมวลชนได้ในปริมาณสูง โดยระบบต้องการพื้นที่บนทางวิ่งสำหรับการติดตั้งราง คานทางวิ่งของรถไฟฟ้าระบบ MRT จึงมักเลือกใช้คานคอนกรีตรูปกล่อง เนื่องจากมีส่วนของแผ่นพื้นด้านบนที่สะดวกในการติดตั้งราง ทำให้สามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว สำหรับรถไฟฟ้าระบบรางเบา (Monorail) มีความสามารถในการขนส่งมวลชลได้ในปริมาณที่น้อยกว่า MRT ตัวรถใช้ล้อยางในการวิ่งไปตามคาน Guideway คานทางวิ่งของระบบรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) จึงสามารถใช้คานคอนกรีตรูปตัวไอ ซึ่งทำ

หน้าที่เป็นคาน Guideway และเป็นโครงสร้างรองรับน้ำหนักบรรทุกจากขบวนรถไฟฟ้า โครงสร้างทางวิ่งยกระดับของระบบรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) จึงมีความโปร่งกว่าระบบรถไฟฟ้า MRT แต่จะมีข้อจำกัดในกรณีที่ต้องมีการอพยพผู้โดยสารในช่วงระหว่างสถานี

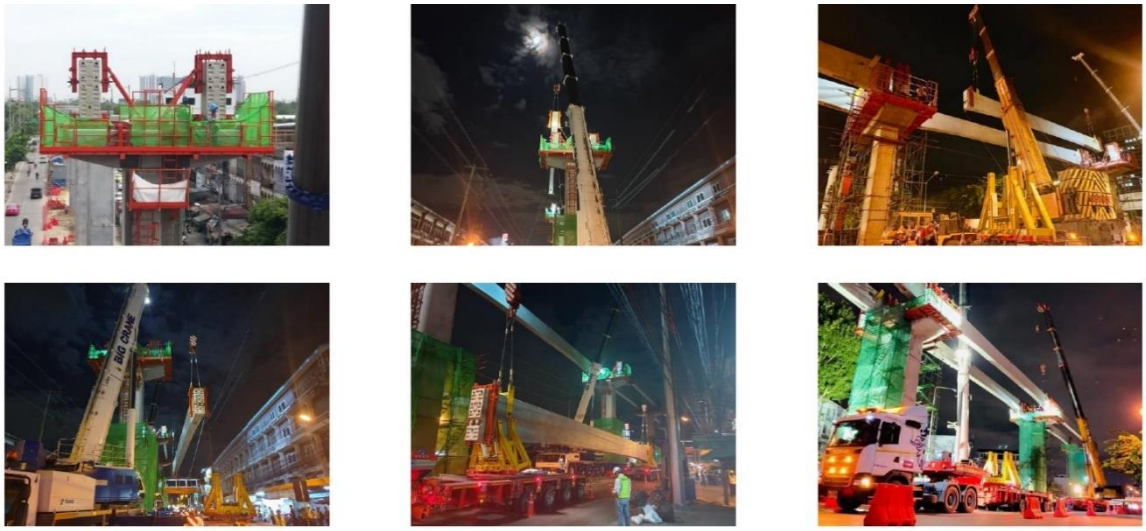
การก่อสร้างโครงสร้างส่วนบนอาจใช้วิธีการหล่อในที่ หรือการหล่อชิ้นส่วนสำเร็จรูปที่โรงงานแล้วนำมาประกอบติดตั้งบนเสาตอม่อที่หน้างาน การก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าส่วนใหญ่จะใช้ชิ้นส่วนคานหล่อสำเร็จในการก่อสร้าง ยกเว้นส่วนต่อขยายสายสีลมช่วงสะพานตากสินถึงบางหว้า (ราชพฤกษ์-เพชรเกษม) ก่อสร้างทางยกระดับด้วยวิธีการหล่อในที่ (Cast-in –situ) (www.bts.co.th) การหล่อชิ้นส่วนคานสำเร็จรูปจากโรงงานจะช่วยให้สามารถดำเนินการก่อสร้างโครงสร้างส่วนบนได้อย่างรวดเร็ว

ก) คานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่องหล่อสำเร็จรูป (Segmental Box Girder) เป็นรูปแบบโครงสร้างที่ใช้ในโครงการรถไฟฟ้ายกระดับส่วนใหญ่และใช้ในโครงการทางพิเศษ โครงสร้างทางวิ่งมีความกว้างประมาณ 9 ม. และอยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 12 ม. (www.bts.co.th) การก่อสร้างอาศัยการหล่อชิ้นส่วนคานคอนกรีตอัดแรงรูปกล่องจากโรงงาน และนำแต่ละชิ้นส่วนมาประกอบที่สถานที่ก่อสร้าง โดยใช้ Launching Girder (รูปที่ 2.2-22) ในการยกชิ้นส่วนคานเข้าติดตั้งและยึดชิ้นส่วนคานด้วยวิธีการดึงลวดอัดแรงที่หลัง (Post-tension)

ข) คานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ (I-Girder) ใช้ในโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูและสายสีเหลือง ซึ่งเป็นระบบรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) การก่อสร้างโครงสร้างทางวิ่งคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอใช้วิธีหล่อคานรูปตัวไอจากที่โรงงาน จากนั้นทำการขนส่งคานมายังสถานที่ก่อสร้างและยกติดตั้งบนคานหัวเสา (รูปที่ 2.2-23) โดยปกติจะใช้ Mobile Crane ช่วยในการติดตั้ง คานทางวิ่งอาจติดตั้งในรูปแบบคานอย่างง่าย ซึ่งสะดวกในการก่อสร้างแต่โครงสร้างจะมีข้อจำกัดในการรับแรงกระทำด้านข้างและน้ำหนักบรรทุกจากแรงแผ่นดินไหว ดังนั้น จึงอาจมีการใช้การดึงลวดอัดแรงระหว่างช่วงคานเพื่อให้คานทางวิ่งที่ได้รับการติดตั้งมีพฤติกรรมเป็นคานต่อเนื่อง ซึ่งจะมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกกระทำจากแรงแผ่นดินไหวได้ดีขึ้น อีกทั้งยังสามารถช่วยลดขนาดมิติของโครงสร้างเสาและคานทางวิ่งได้



รูปที่ 2.2-22 การก่อสร้างติดตั้งคานขวางโดยการใช้ชิ้นส่วนคานรูปกล่องหล่อสำเร็จ (Leung et al., 2008)



รูปที่ 2.2-23 การก่อสร้างติดตั้งคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพูและสายสีเหลือง (สุรเชษฐ์ เหล่าพูลสุข, 2563)

2.2.3.2 เทคนิคและเทคโนโลยีการก่อสร้างสะพาน

วิศวกรรมสะพานจำเป็นต้องใช้วิศวกรรมหลายสาขาทำงานร่วมกันในขั้นตอนการก่อสร้างและการดำเนินงาน ประกอบด้วยวิศวกรรมจราจรวิเคราะห์ปริมาณจราจรและออกแบบป้ายสัญญาณจราจร วิศวกรรมปฐพีในการสำรวจดิน วิศวกรรมบริหารงานก่อสร้างในการบริหารโครงการและบุคลากร วิศวกรรมเครื่องกลในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับปั้นจั่นและเครื่องมือก่อสร้าง วิศวกรรมไฟฟ้าในการออกแบบระบบแสงสว่างและอุปกรณ์ตรวจวัด และผู้เชี่ยวชาญด้านอื่นๆ เช่น วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ในการดูแลระบบอมพิวเตอร์ ในปัจจุบันการก่อสร้างสะพานได้นำเทคโนโลยีและนวัตกรรมด้านวัสดุ การประกอบติดตั้ง และการใช้อุปกรณ์ที่ทันสมัยประยุกต์ใช้ร่วมกัน เพื่อให้สามารถสร้างสะพานได้อย่างรวดเร็ว

การก่อสร้างสะพานอย่างรวดเร็ว (accelerated bridge construction)

การก่อสร้างสะพานต้องคำนึงถึงอายุการใช้งานสะพาน ความคงทน และนวัตกรรมด้านต่างๆ การก่อสร้างจะต้องมีความรวดเร็ว เพื่อลดผลกระทบที่มีต่อผู้ใช้เส้นทางและผู้ที่อยู่ข้างเคียง ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพและความปลอดภัยระหว่างการทำงานและการใช้งานโครงสร้าง เพื่อให้การก่อสร้างสะพานสามารถทำได้อย่างรวดเร็วจำเป็นต้องอาศัยกลไกต่างๆ ร่วมกัน ตัวอย่างเช่น

- ระหว่างการออกแบบอาจให้ผู้รับเหมาสามารถเสนอทางเลือกในการออกแบบและก่อสร้างได้ ซึ่งจะเป็นการช่วยลดเวลาและค่าใช้จ่าย
- การพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะแตกต่างกันสำหรับแต่ละโครงการ เช่น อาจจะต้องพิจารณาผลกระทบของการทำงานและการใช้งานสะพานที่มีต่อสัตว์ใกล้สูญพันธ์
- การออกแบบสะพานจำเป็นต้องคำนึงถึงเรขาคณิตของจุดตัดและทางแยก เพื่อลดโอกาสการตัดกันของช่องจราจรสำหรับผู้ขับขี่มอเตอร์ไซค์ คนเดินเท้า และจักรยานที่ใช้สะพานร่วมกัน
- ใช้สะพานเหล็กเป็นสะพานชั่วคราวบริเวณทางเบี่ยง เนื่องจากติดตั้งและรื้อถอนได้รวดเร็ว

- การใช้สะพานไม้ สะพานคอนกรีตหล่อสำเร็จ คอนกรีตมวลเบา และเหล็กกำลังสูง เพื่อลดน้ำหนักและเพิ่มความสะดวกในการขนส่งและติดตั้ง
- รายละเอียดรอยต่อสำหรับต้านทานแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว โดยการใช้ชิ้นส่วนที่สามารถถอดประกอบหรือใช้ซ้ำในโครงการหรือหน่วยก่อสร้างอื่นได้
- การใช้พื้นผิวที่ให้ความเสียดทานสูงโดยเฉพาะบริเวณทางโค้ง เพื่อลดความสูญเสียจากอุบัติเหตุ
- ปูผิวทางโดยการกดขอบผิวทางทำมุมเอียง 30 องศา แทนที่จะเป็น 90 องศา เนื่องจากผลการศึกษาในอดีตแสดงให้เห็นว่าขอบมุม 90 องศาเพิ่มโอกาสของการเกิดอุบัติเหตุได้ถึง 20%

FHWA (Federal Highway Administration) ได้ให้ความสนใจกับเทคนิคการก่อสร้างและการบำรุงสะพานที่รวดเร็วและทันสมัย (ตารางที่ 2.2-2) เช่น การใช้ชิ้นส่วนสะพานสำเร็จ (PBES) ในฐานราก เสา คาน และพื้นสำหรับการก่อสร้างและซ่อมแซมสะพาน การก่อสร้างสะพานแบบ slide-in การเสริมกำลังดินด้วย geo-synthetic การดูแลรักษาสะพานระยะไกลด้วย remote health monitoring การใช้เครื่องมือก่อสร้างและเทคนิคที่ทันสมัย การใช้วัสดุชนิดใหม่ การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการตรวจสอบหาความผิดปกติของสะพานจากรูปถ่าย การใช้หุ่นยนต์ในการตรวจสอบรายละเอียดสะพานที่มีความซับซ้อน การใช้ระบบ Health monitoring ที่สามารถตรวจสอบสะพานได้อย่างต่อเนื่องโดยอาศัยการสั่นสะเทือนของสะพานหรือแรงลม

ตารางที่ 2.2-2 ทางเลือกวิธีใหม่ในการก่อสร้างและบำรุงรักษาสะพาน (Khan, 2015)

เทคโนโลยีสะพานปัจจุบัน		
Type	**Latest Methods**	**Older Methods**
Construction method	ABC method with prefabrication; partial ABC	Conventional site construction
Conventional labor-material contract	Design-build or design-build-operate contract	Separate contracts for consultant and contractor
Complex bridge or on water	Hybrid girders; trusses	Tunnels; culverts
ทางเลือกโครงสร้างส่วนบน		
Type	**Latest Methods**	**Older Methods**
Deck slab	Effideck, exodermic; precast panels, reinforced or prestressed; FRP/LWC etc.	Reinforced concrete deck slab; open steel grid deck or filled with concrete
Concrete girders	Precast prestressed; box girders; segmental	Reinforced or prestressed girders
Steel girders	HPS 70W; 100W; 50W	Grade A36; cast iron girders
Bearings	Multirotational; elastomeric pads; seismic isolation	Rocker and roller type
ทางเลือกโครงสร้างส่วนล่าง		
Type	**Latest Methods**	**Older Methods**
Piers	Frames; column bents; pie bents.	Reinforced concrete walls; steel frames
Abutments	Spill through; integral; semi-integral; MSE walls;	Gravity type reinforced concrete; full height; cantilever wall
Wing walls and retaining walls	Reinforced concrete; tie-back walls; splayed or at 90° return	Masonry or reinforced concrete walls
ทางหลวงและระบบระบายน้ำ		
Structures	**Latest Methods**	**Older Methods**
Sign structure	Variable message electronic boards	Bridge mounted; cantilever or overhead
Deck drainage	Scuppers	Holes in parapets
Deck overlays	LMC; CIA; asphalt concrete	Bitumen; asphalt layer

การเลือกใช้การก่อสร้างสะพานที่มีความรวดเร็วจะมีความจำเป็นในเขตเมืองหรือบริเวณที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นมากกว่าในพื้นที่ชนบท เนื่องจากการก่อสร้างในเขตเมืองจะมีผลกระทบกับผู้ใช้เส้นทางและประชาชนในพื้นที่มากกว่า นอกจากนี้ สะพานในเขตเมืองที่มีพื้นที่จำกัดจะมีขนาดของช่องจราจรที่แคบกว่าและมีความหนาแน่นของประชาชนที่มากกว่า เสียงจากการจราจรจะส่งผลกระทบต่อผู้พักอาศัย การลดผลกระทบจากการก่อสร้างอาจอาศัยการประชาสัมพันธ์ เพื่อให้ข้อมูลทางเลือกในการเลี่ยงการจราจร การจัดทำทางเบี่ยงอาจทำได้โดยการก่อสร้างสะพานชั่วคราวข้างสะพานที่กำลังซ่อมแซม อาจจะมีการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรชั่วคราว ซึ่งการดำเนินการต่างๆ เหล่านี้จะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายกับโครงการและควรได้รับการพิจารณาตั้งแต่เริ่มโครงการ นอกจากนี้ การก่อสร้างสะพานด้วยวิธีที่รวดเร็วอาจจะเลือกใช้ในสะพานที่มีความสำคัญ เช่น สะพานในเขตพื้นที่ทหาร สะพานที่เป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางไปโรงพยาบาลและโรงเรียน สะพานที่มีค่าก่อสร้างสูงหรือลำบากในการก่อสร้างสะพานใหม่ทดแทน สะพานอนุรักษ์ สะพานที่ใช้ประชาสัมพันธ์การท่องเที่ยว และสะพานที่รองรับปริมาณจราจรสูง

เทคนิคและเทคโนโลยีในการติดตั้งชิ้นส่วนสะพาน

ปัจจุบันการก่อสร้างสะพานโดยการติดตั้งชิ้นส่วนของสะพานส่วนต่างๆ ได้พัฒนามาจนมีอยู่หลายวิธีมากกมาย ทั้งนี้แต่ละวิธีมีข้อดีข้อด้อยต่างๆ กัน การเลือกใช้วิธีการก่อสร้างต่างๆ นั้นก็ขึ้นอยู่กับขนาดของสะพานนั้นๆ สภาพสถานที่ตั้ง สิ่งแวดล้อม การลำเลียงขนส่งอุปกรณ์ก่อสร้างต่างๆ โดยหลักๆ หากพิจารณาตามขนาดของความยาวสะพานในการเลือกรูปแบบสะพานนั้นการก่อสร้างอาจแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือการก่อสร้างตัวสะพาน Bridge Deck ตลอดความยาวช่วงเป็นชิ้นส่วนเดียวซึ่งเหมาะสำหรับสะพานที่มีช่วงความยาวสั้นๆ และการก่อสร้างโดยการแบ่งช่วงสะพานออกเป็นชิ้น ส่วน Segment ย่อยๆ ซึ่งสามารถใช้กับสะพานที่มีช่วงความยาวมากๆ ได้

1. การก่อสร้างตัวสะพาน Bridge Deck ตลอดความยาวช่วงเป็นชิ้นส่วนเดียว

สามารถที่จะเลือกเป็นการเทคอนกรีตในที่หรือการใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จก็ได้ แต่ในปัจจุบันเนื่องจากงานชิ้นส่วนสำเร็จสามารถควบคุมคุณภาพได้ดีและกรณีที่ช่วงความยาวสะพานไม่มากนัก การขนส่งลำเลียงชิ้นส่วนคานสำเร็จหรือชิ้นส่วนสะพาน Bridge deck สามารถทำได้ไม่ยาก การใช้ Precast จึงเป็นที่นิยมมากกว่าการเทคอนกรีตในที่

1.1 การใช้ชิ้นส่วน Precast Beam

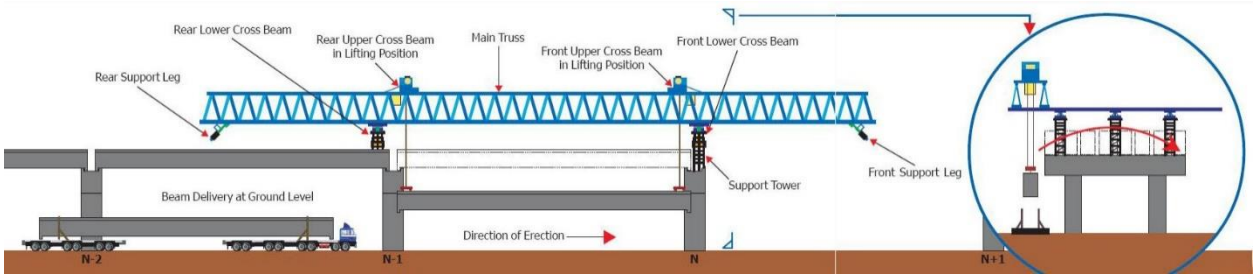
โดยปกติแล้วสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงสำหรับกรณีการใช้วิธีก่อสร้างโดยการติดตั้งชิ้นส่วน Precast Beam นี้คือการขนส่งชิ้นส่วนไปยังตำแหน่งที่ต้องการติดตั้ง ซึ่งสามารถใช้ระบบ Launching girder, Beam launcher หรือ Lifting Frame ก็ได้โดยจะสามารถยกชิ้น Precast Beam มาจากทางด้านหลังสะพานช่วงที่ก่อสร้างแล้วหรือยกจากทางด้านล่างหรือด้านข้างเข้าสู่ระบบการติดตั้ง ซึ่งประกอบด้วยระบบรอกและลวดสลิงต่างๆ ทำให้การติดตั้งมีความแม่นยำและปลอดภัย นอกจากนี้สามารถที่จะยกชิ้นส่วนขนาดใหญ่ๆ ยาวกว่า 40 เมตรและหนักมากกว่า 100 ตันได้อย่างสบาย

ข้อดีของการติดตั้งด้วยวิธีนี้

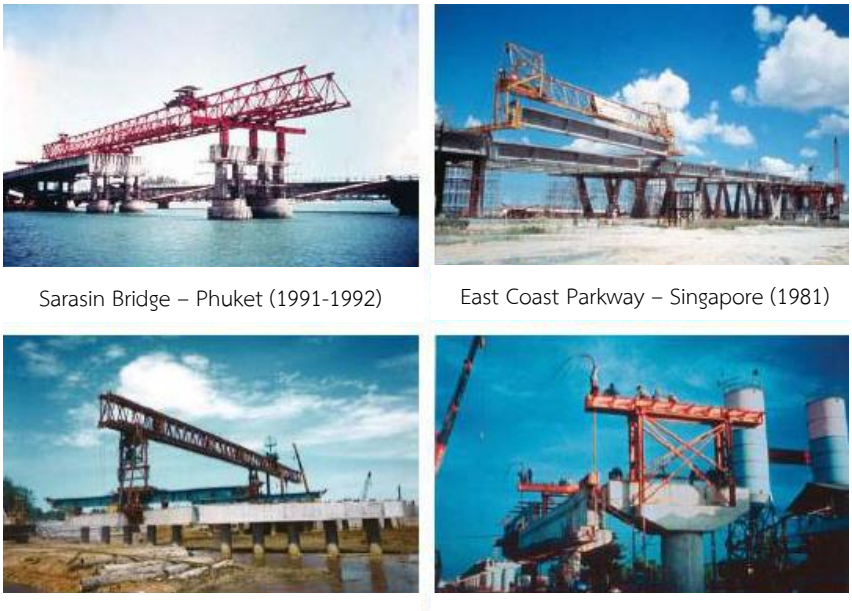
- สามารถติดตั้งได้รวดเร็ว ใช้ระบบ Gantry หรือเครนที่ง่ายไม่ซับซ้อน
- สามารถขนส่งชิ้นส่วน Precast Beam มาสู่ด้านหลังตัว Gantry ได้โดยขนส่งบนช่วงสะพานที่ติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำให้รบกวนการจราจรเบื้องล่างน้อยที่สุด
- ใช้จำนวนคนงานก่อสร้างน้อย
- ต้องการการควบคุมงานด้านตำแหน่งและแนวสะพานน้อย
- การหล่อชิ้นส่วน Precast Beam สามารถทำได้ง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน

ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วน

- ยกติดตั้งชิ้นส่วนคานตัวแรก (ตัวริมสุด) พร้อมกับแผ่นพื้นสำเร็จ (precast plank) ด้านบน
- ยกติดตั้งชิ้นส่วนคานตัวที่ 2 พร้อมกับแผ่นพื้นสำเร็จ (precast plank) ด้านบน
- ยกติดตั้งชิ้นส่วนคานตัวถัดๆ ไป พร้อมกับแผ่นพื้นสำเร็จ (precast plank) ด้านบน
- จัดวางตำแหน่งแผ่นพื้นสำเร็จให้ถูกต้อง
- ย้าย Gantry เข้าแนวกลางเพื่อย้ายสู่ช่วง span ถัดไป



รูปที่ 2.2-24 วิธีการก่อสร้างด้วยการติดตั้งชิ้นส่วน Precast Beam



Sarasin Bridge – Phuket (1991-1992)

East Coast Parkway – Singapore (1981)

Tutong Lumut Highway – Brunei (2003)

Saraburi – Thailand (1994-1995)

รูปที่ 2.2-25 ตัวอย่างสะพานที่ใช้รูปแบบ Precast Beam

1.2 การใช้ชิ้นส่วน Full Span Precast

วิธีนี้เหมาะสำหรับสะพานที่มีขนาดช่วงความยาว span เท่าๆ กันหลายๆ ช่วงและมีรัศมีความโค้งในแนวราบ(แนวเส้นทาง) น้อยเช่น ช่วงความยาวที่เท่าๆ กันของรางรถไฟลอยฟ้าเป็นต้น

การหล่อชิ้นส่วน Full span Precast นี้สามารถหล่อได้จากโรงงานหรือจากโรงหล่อที่สามารถควบคุมการผลิตให้มีคุณภาพ ถูกต้อง ปลอดภัย และใช้คนงานน้อยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

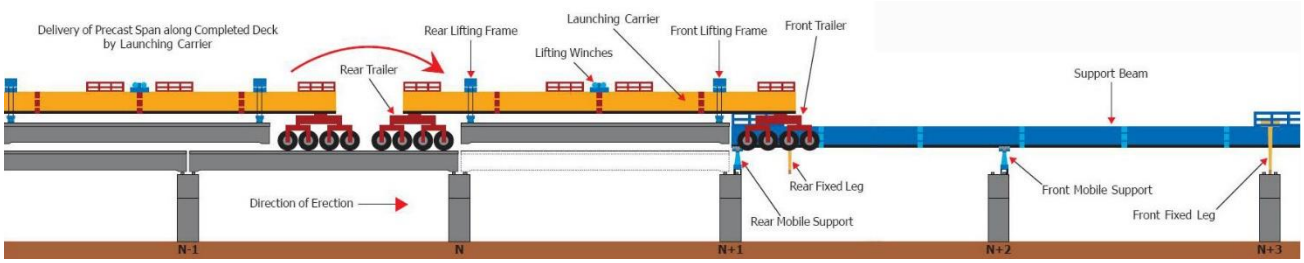
การขนส่งชิ้นส่วนสะพาน Full Span Precast นี้จะทำการขนส่งมาบนสะพานช่วงที่ก่อสร้างเสร็จแล้วซึ่งทำให้รบกวนพื้นผิวจราจร และระบบจราจร เบื้องล่างน้อยที่สุดมิฉะนั้นจะต้องขนส่งทางผิวจราจรปกติซึ่งจะก่อปัญหาในการขนส่งได้มาก

ข้อดีของการติดตั้งด้วยวิธีนี้

- ติดตั้งได้อย่างรวดเร็วมากและมีคุณภาพสูง
- มีงานเก็บน้อย
- การหล่อชิ้นส่วนสำเร็จจากโรงงานทำให้ควบคุมคุณภาพได้ดีและสามารถปรับปรุงให้ดียิ่งๆ ขึ้นได้
- ลดงานก่อสร้างที่หน้างาน ทำให้ลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุและกระทบสิ่งแวดล้อมน้อย
- ต้องการงานโครงสร้างชั่วคราวน้อยกว่าการก่อสร้างด้วยวิธีอื่น

ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วน

- ขนส่งชิ้นส่วนสะพานมาจากโรงงาน
- ติดตั้งชิ้นส่วนสะพาน
- รถขนชิ้นส่วนสะพานกลับไปโรงงานเพื่อยกขนส่งชิ้นส่วนถัดไป (โดยระหว่างการขนส่งชิ้นส่วนนั้นที่หน้างานสามารถเตรียมงานส่วน Bearing และ Grout permanent Bearing ได้)





รูปที่ 2.2-26 วิธีการก่อสร้างด้วยการติดตั้งชิ้นส่วน Full span Precast




Taiwan HSR C215 – Taiwan (2000-2004) MRT – Singapore (1985-1989)




Taiwan HSR C215 – Taiwan (2000-2004) MRT – Singapore (1985-1989)

รูปที่ 2.2-27 ตัวอย่างสะพานที่ใช้รูปแบบ Full span Precast

2. การก่อสร้างสะพานโดยการแบ่งออกเป็นชิ้นส่วน Segment ย่อยๆ

วิธีนี้ช่วยให้สามารถสร้างสะพานคอนกรีตที่มีช่วงความยาวเพิ่มขึ้นได้ เนื่องจากเดิมที่การผลิตและขนส่งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จคานรูปตัวไอ มีขีดจำกัดประมาณความยาว 50 เมตร เมื่อต้องการสะพานที่มีช่วงความยาวมากขึ้นรูปแบบโครงสร้างที่เป็นไปได้เดิมจึงมีเพียงการเท Box girder คอนกรีตในที่ ดึงลวดอัดแรงและต้องใช้นั่งร้านเท่านั้น ซึ่งในบางกรณีการตั้งนั่งร้านไม่สามารถทำได้เช่นการสร้างสะพานข้ามหุบเขาหรือทางน้ำใหญ่ๆ วิธีการก่อสร้างโดยการแบ่งออกเป็นชิ้นส่วน Segment นี้จึงสามารถแก้ปัญหาได้

ข้อดีของการก่อสร้างด้วยการแบ่งออกเป็นชิ้นส่วน Segment

- ไม่มีความจำเป็นต้องใช้นั่งร้านก่อสร้างในบริเวณที่การก่อสร้างหรือการติดตั้งชิ้นส่วนสามารถทำได้จากส่วนโครงสร้างก่อหน้าที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว ซึ่งเป็นข้อดีอย่างยิ่งในกรณีที่โครงสร้างสะพานอยู่สูงมากๆ หรือเบื้องใต้สะพานมีข้อจำกัดในการก่อสร้างหรือมีการจราจรหนาแน่นที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้
- สามารถออกแบบโครงสร้างให้มีความโค้งในแนวราบและดิ่งได้
- มีผลกระทบจากการคืบและหดตัวของคอนกรีตน้อยเนื่องจากสามารถควบคุมคุณภาพชิ้นส่วนสะพานในขณะหล่อคอนกรีตได้ดี
- มีผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมและสภาพอากาศในการก่อสร้างน้อย
- โครงสร้างสะพาน Bridge Deck มีความทนทานสูงและสามารถควบคุมรอยแตกร้าว Crack ได้ด้วยการใช้ วิธีดึงลวดอัดแรงและสามารถใช้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติสูงๆ ได้

ข้อด้อย

- การผลิตและติดตั้งชิ้นส่วนต้องการความแม่นยำและความละเอียดสูง
- ในกรณีที่สภาวะแวดล้อมและสภาพอากาศเปลี่ยนแปลงกะทันหันหรือกรณีพิเศษอาจมีผลกระทบต่อรอยต่อชิ้นส่วนโครงสร้างได้

การก่อสร้างสะพานโดยการแบ่งออกเป็นชิ้นส่วน Segment สามารถแยกย่อยได้เป็น

2.1 วิธี Balanced cantilever

วิธีนี้เป็นการก่อสร้างตัวสะพานออกจากส่วนเสา Pier ของสะพานโดยค่อยๆ ก่อสร้างให้มีน้ำหนักสมดุลเมื่อยื่นออกจากเสาทั้งสองข้างไปจนถึงส่วนกึ่งกลางของช่วงสะพานซึ่งจะไปบรรจบกันกับส่วนยื่นที่ก่อสร้างออกมาจากเสาสะพานต้นข้างเคียง ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ในเสาสะพานทีละต้นจนครบทั้งสะพาน หากมีชิ้นส่วนใดที่ไม่สมมาตรกันอาจต้องออกแบบส่วนยึดรั้งชั่วคราวเพิ่มเติม



รูปที่ 2.2-28 การก่อสร้างสะพานด้วยวิธี Balanced cantilever



รูปที่ 2.2-29 การก่อสร้างสะพานโดยใช้ Movable Formwork (Form Traveler)

การก่อสร้างจะเป็นการติดตั้งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จหรือจะเป็นการเทคอนกรีตในที่ก็ได้ สำหรับการเทคอนกรีตในที่จะต้องมีแบบหล่อที่สามารถเคลื่อนตัวตามส่วนยื่นของตัวสะพานที่สร้างออกไป (Movable Formwork or Form Traveler) ดังตัวอย่างการใช้ Moving Travelers สองตัวแยกจากกันเพื่อติดตั้งตัวคาน Stiffening girder และโครงโค้ง Arch ribs ทำให้การก่อสร้างส่วนสะพาน (ส่วนแนวตรงด้านบน), ส่วนโครงโค้ง และ ส่วนยึดในโครงโค้งกับส่วนสะพานที่อยู่ในแนวตั้งฉาก สามารถทำไปได้พร้อมๆ กันในลักษณะเหมือนเป็นโครงถัก (Truss)

การก่อสร้างด้วยวิธี Balanced cantilever นี้ยังแยกย่อยออกได้ตามอุปกรณ์ที่ใช้ยกติดตั้ง Segment ต่างๆ ได้แก่การใช้ Launching gantry, Lifting frame และ Mobile crane

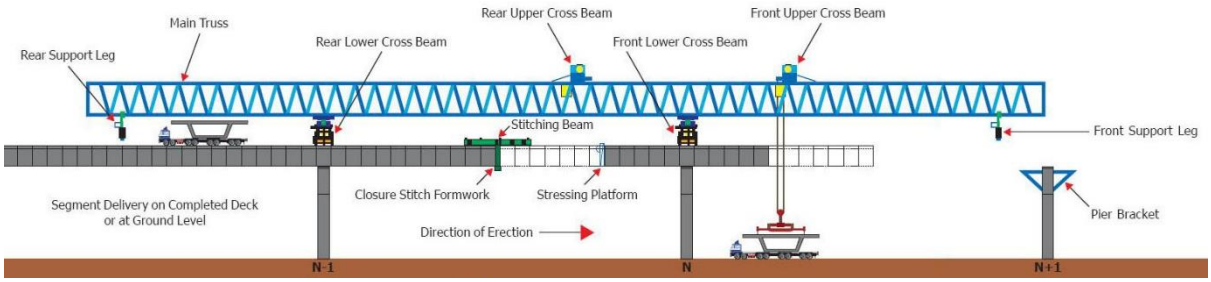
2.1.1 วิธี Balanced Cantilever โดยใช้ Launching Gantry

ข้อดีของการติดตั้งด้วยวิธีนี้

- สามารถขนส่งชิ้นส่วนต่างๆ มาสู่ด้านหลังตัว Gantry ได้โดยขนส่งบนช่วงสะพานที่ติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำให้รบกวนการจราจรเบื้องล่างน้อยที่สุด
- ต้องการงานโครงสร้างชั่วคราวบริเวณใต้สะพานน้อยและโดยมากจะเป็นโครงสร้างที่ยกระดับอยู่เหนือพื้น ทำให้รบกวนผิวจราจรเบื้องล่างน้อยและไม่ต้องปรับปรุงพื้นดินหรือผิวทางด้านล่างมาก ส่งผลดีต่อทั้งระบบการจราจรและโครงสร้างผิวทาง
- ใช้งานเครนน้อยลงเนื่องจากสามารถใช้ Gantry แทนในงานต่างๆได้
- การเข้าสู่หน้างานสะดวกและไม่ติดขัดหรือถูกกีดขวางเนื่องจากการใช้ Gantry
- สามารถเปิดงานได้หลายตำแหน่งภายใน Gantry เช่นการติดตั้งชิ้นส่วน Pier พร้อมกับการก่อสร้างส่วนยื่น Cantilever และงานเทคอนกรีต
- น้ำหนักของโครงสร้างชั่วคราวสามารถถ่ายลงสู่ส่วน Pier ได้โดยตรง
- สามารถก่อสร้างได้รวดเร็วเนื่องจากสามารถติดตั้งได้หลายชิ้นส่วนในเวลาเดียวกัน

ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วน

1. ช่วง Span N-1: บ่มคอนกรีตรอยต่อสะพาน (กลางคืน), ดึงลวดอัดแรงเพิ่มความต่อเนื่องโครงสร้าง
2. ช่วง Span N: ย้ายโครง Gantry จากช่วง Span N-1 ไปยัง Span N แล้วติดตั้งชิ้นส่วนสะพานของ Span N นี้ แล้วเทคอนกรีตเก็บรอยต่อชิ้นส่วนของ Span N กับชิ้นส่วนของ Span N-1 ก่อนหน้า
3. ช่วง Span N+1: ในขณะที่ติดตั้งชิ้นส่วนสะพานของช่วง Span N สามารถทำงานติดตั้งชิ้นส่วนเสา Pier ของช่วง Span N+1 ได้โดยทำการจัดตำแหน่ง Pier ให้ถูกต้อง, จัดวางตำแหน่งเหล็กเสริมและไม้แบบต่างๆ, งานคอนกรีตที่เกี่ยวข้องและยึดรอยต่อเสา Pier จนเรียบร้อยพร้อมวนขั้นตอนการทำงานบ่มคอนกรีตรอยต่อชิ้นส่วนสะพานของช่วง Span N เหมือนขั้นตอนแรกไปเรื่อยๆ จนเสร็จทั้งสะพาน



รูปที่ 2.2-30 การก่อสร้างแบบ Balanced Cantilever โดยใช้ Launching Gantry



Taiwan C310 (1999-2001)



Lai Chi Kok – Hong Kong (2004-2006)



Shenzhen Western Corridor, Hong Kong (2005)



Bayan Baru – Malaysia (2001-2003)

รูปที่ 2.2-31 ตัวอย่างสะพานที่ใช้การก่อสร้างแบบ Balanced Cantilever โดยใช้ Launching Gantry

2.1.2 การติดตั้งด้วยวิธี Balanced Cantilever โดยใช้ Lifting Frames

การใช้ระบบ Lifting Frames ในการติดตั้งชิ้นส่วนสะพานสามารถทำให้งานติดตั้งชิ้นส่วนต่างๆ และการจัดตำแหน่งให้ถูกต้องมีความแม่นยำสูง นอกจากนั้นตัว Platform มีระบบการยก (Lifting) และเคลื่อนย้ายได้ด้วยตนเองในตัว (Self-Launching) อีกทั้ง Platform สามารถตั้งอยู่ได้ด้วยตนเองจึงไม่กีดขวางการทำงานและการใช้งานเครนเพิ่มเติมในส่วนที่เหมาะสมจะช่วยให้ระบบสามารถทำงานเป็นอิสระจากส่วนงานอื่นๆ ได้

ข้อดีของการติดตั้งด้วยวิธีนี้

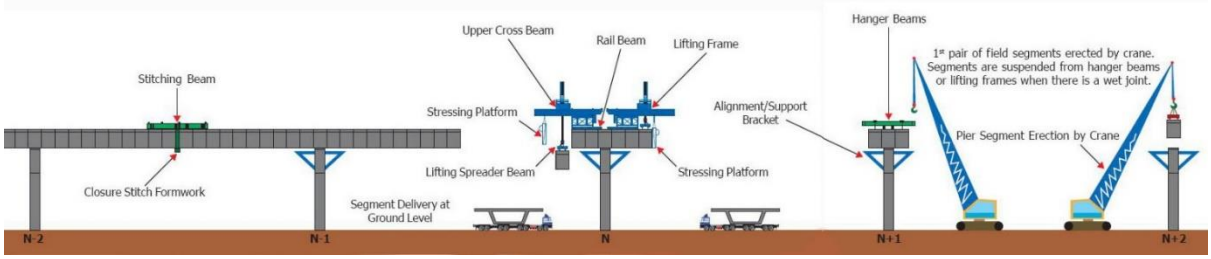
- งานชั่วคราวต่างๆ มีความง่ายกว่าการก่อสร้างในระบบอื่น
- สามารถติดตั้งชิ้นส่วนต่างๆ ได้รวดเร็วและทำให้มีรอบกะเวลาทำงานคนงานมีประสิทธิภาพ
- สามารถติดตั้งชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ได้
- สามารถติดตั้งและปรับระดับและตำแหน่งชิ้นส่วนต่างระดับกันได้
- สามารถประยุกต์และปรับเปลี่ยนการทำงานของระบบการยกได้หลายรูปแบบ
-



รูปที่ 2.2-32 การก่อสร้างวิธี Balanced Cantilever โดยใช้ Lifting Frames

ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วน

1. ประกอบและติดตั้ง Lifting Frame บนส่วนหัว Pier ที่ต้องการติดตั้ง
2. ติดตั้งชิ้นส่วนสะพานคู่แรก (โดยเครน)
3. ทำงานรอยต่อเปียกของโครงสร้าง (Wet joint construction) เนื่องจากชิ้นส่วนสะพานคู่แรกถูกติดตั้งด้วยเครนและยื่นออกไปจากตัว Hanger beam และมีรอยต่อโครงสร้างอยู่
4. บ่มรอยต่อเปียกนี้
5. ติดตั้งชิ้นส่วนสะพานคู่ที่ 2-3, 4-5, 6-7, ..., 12-13
6. ย้าย Lifting Frame ออก



รูปที่ 2.2-33 การก่อสร้างแบบ Balanced Cantilever โดยใช้ Lifting Frame



Kisosansen Bridge – Japan (1998-2001)



Shenzhen Western Corridor, Hong Kong (2005)

รูปที่ 2.2-34 ตัวอย่างสะพานที่ใช้รูปแบบการก่อสร้างแบบ Balanced Cantilever โดยใช้ Lifting Frame

2.1.3 การติดตั้งด้วยวิธี Balanced Cantilever โดยใช้ Cranes

เป็นการก่อสร้างด้วยวิธี Balanced Cantilever โดยใช้ Mobile crane ร่วม, วิธีนี้เหมาะกับกรณีที่สภาพหน้างานและสภาพพื้นดินเหมาะสมสามารถให้รถเครนเข้าออกได้ การใช้วิธีนี้จะต้องมีการจัดระบบการจราจรในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างให้เหมาะสมด้วย

ข้อดีของการติดตั้งด้วยวิธีนี้

- งานชั่วคราวต่างๆ มีน้อยกว่าการก่อสร้างในระบบอื่น
- สามารถติดตั้งชิ้นส่วนได้รวดเร็ว
- สามารถเปิดงานพร้อมกันได้หลายส่วน
- ใช้จำนวนคนงานก่อสร้างไม่มาก

- งานทางด้านวิศวกรรมไม่ยาก
- รถเครนมีอยู่ทั่วไปหาได้ไม่ยาก
- สามารถใช้ประโยชน์งานเครนอย่างอื่นได้นอกจากการติดตั้งชิ้นส่วนสะพาน

<u>ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วน</u>

1. ติดตั้งชิ้นส่วน Pier และ Support Bracket
2. ติดตั้งชิ้นส่วนสะพานเป็นคู่ๆ โดยใช้รถเครน



West Link – Australia (2004-2005)

Lai Chi Kok - Hong Kong (2004-2006)

West Rail - Hong Kong (1999-2002)

รูปที่ 2.2-35 ตัวอย่างสะพานที่ใช้รูปแบบการก่อสร้างแบบ Balanced Cantilever โดยใช้ Crane



รูปที่ 2.2-36 การก่อสร้างแบบ Balanced Cantilever โดยใช้ Crane

การก่อสร้างโดยวิธีนี้ใช้ได้กับการก่อสร้างสะพานขึง (Cable-stayed bridge) และเหมาะสำหรับสะพานที่มีช่วง Span ยาวและไม่ต้องใช้นั่งร้านมาก

<u>2.2 วิธีการก่อสร้างแบบ Progressive placement</u>

โดยหลักการแล้วเป็นการก่อสร้างออกไปในทิศทางเดียวจนเสร็จทีละช่วงสะพาน แต่จะเป็นการก่อสร้างยื่นออกไปจากเสา Pier เพียงด้านเดียวต่างจากวิธี Balanced cantilever ที่จะยื่นออกไปสองข้างเพื่อสร้างสมดุลซึ่งกันและกัน วิธีนี้เหมาะกับสะพานในช่วงความยาวประมาณ 30-100 เมตร และเนื่องจากต้องก่อสร้างยื่นออกไปจากเสาจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงโมเมนต์ที่เกิดขึ้นด้วย ทำให้อาจต้องมีส่วนโครงสร้างชั่วคราวเพื่อยึดรั้งชิ้นส่วนในขณะติดตั้งเช่นการตั้งเสาชั่วคราวเพื่อติดสายเคเบิ้ลเพื่อขึงยึดชิ้นส่วน

Segment ไว้จนกว่าจะก่อสร้างในแต่ละช่วงความยาวเสร็จเรียบร้อย การก่อสร้างวิธีนี้สามารถแบ่งออกได้ตามการใช้อุปกรณ์ในการก่อสร้างเช่น

2.2.1 วิธี Span-by-span โดยใช้โครง Truss หรือนั่งร้าน Falsework

เหมาะสำหรับสะพานที่มีช่วงความยาวสั้นกว่าที่จะใช้วิธี Balanced cantilever โดยวิธีนี้จะเป็นการก่อสร้างออกไปในทิศทางเดียวทีละช่วงความยาวสะพานซึ่งใช้ Form Traveler เช่นกัน โดยสามารถยึดเข้ากับตัวสะพานที่ก่อสร้างเสร็จแล้วหรือส่วนเสา Pier ของสะพานก็ได้ เดิมทีเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นสำหรับการเทคอนกรีตในที่เพื่อหล่อตัวสะพานแต่วิธีนี้ก็สามารถประยุกต์เข้ากับการติดตั้งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จก็ได้ โดยอาจใช้การติดตั้งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จบนโครง Truss ชั่วคราวที่ยึดระหว่างช่วงความยาว Span จนติดตั้งชิ้นส่วนครบตลอดช่วงความยาว ใช้การดึงลวดอัดแรงเสริมเพื่อยึดชิ้นส่วนให้ติดกันและเป็นโครงสร้างต่อเนื่องกันกับช่วงความยาวสะพานข้างเคียง



รูปที่ 2.2-37 Movable Formwork หรือ Form Traveler ในการก่อสร้างแบบ Span-by-span

สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือขนาดและชนิดของนั่งร้านเนื่องจากความสูงของนั่งร้านและน้ำหนักที่ต้องรับอาจเป็นนั่งร้านธรรมดาหรืออาจต้องเป็นชนิดใช้งานหนักซึ่งสามารถรับน้ำหนักมากเป็นพิเศษ

มีการใช้ระบบไฮโดรลิกในการรองรับชิ้นส่วนสะพานเป็นการชั่วคราว, ปรับตำแหน่งชิ้นส่วนสะพาน และถ่ายน้ำหนักชิ้นส่วนเข้าสู่ Pier

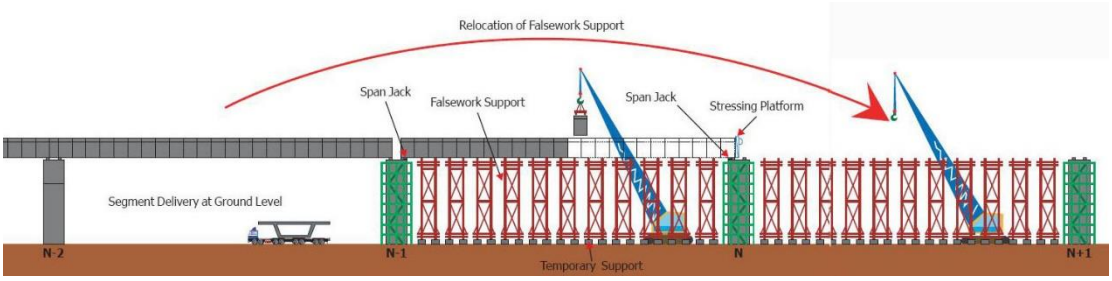
โดยทั่วไปชิ้นส่วนสะพานจะถูกยกวางบนนั่งร้านด้วยเครนแต่หากสภาพเหมาะสมและมีการออกแบบและจัดการที่ดีก็สามารถที่จะทำระบบรองรับต่างๆ ให้เป็นโมดูล (Modular support system) ทำให้ลดเวลาในการเคลื่อนย้ายจัดตำแหน่งต่างๆ และก่อสร้างได้เร็วขึ้น เช่นการทำโครงสร้างรองรับที่มีช่วงยาวๆ เพื่อใช้ในการก่อสร้างช่วงที่ต้องสร้างข้ามถนนหรือทางรถไฟเบื้องล่าง

ข้อดีของการติดตั้งด้วยวิธีนี้

- มีความซับซ้อนทางวิศวกรรมน้อย ไม่ยุ่งยาก
- สามารถทำระบบ Modular support system เพื่อให้งานทำได้รวดเร็วและง่ายขึ้น
- สามารถเปิดงานได้หลายงานพร้อมๆ กัน

ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วน

- ติดตั้งนั่งร้านและส่วนที่เกี่ยวข้องต่างๆ
- ติดตั้งชิ้นส่วนสะพาน
- จัดวางตำแหน่งให้ถูกต้องและยึดชิ้นส่วนต่างๆ
- งานดึงลวด Post tensioning
- ถ่ายน้ำหนักลงบนส่วนรองรับถาวร (Permanent Bearing)





รูปที่ 2.2-38 การก่อสร้างแบบ Span-by-span โดยการตั้งนั่งร้าน
(Deep Bay Link – Hong Kong, 2005)



Deep Bay Link – Hong Kong (2004-2005)



Penny's Bay – Hong Kong (2003-2004)



West Link – Australia (2004-2005)



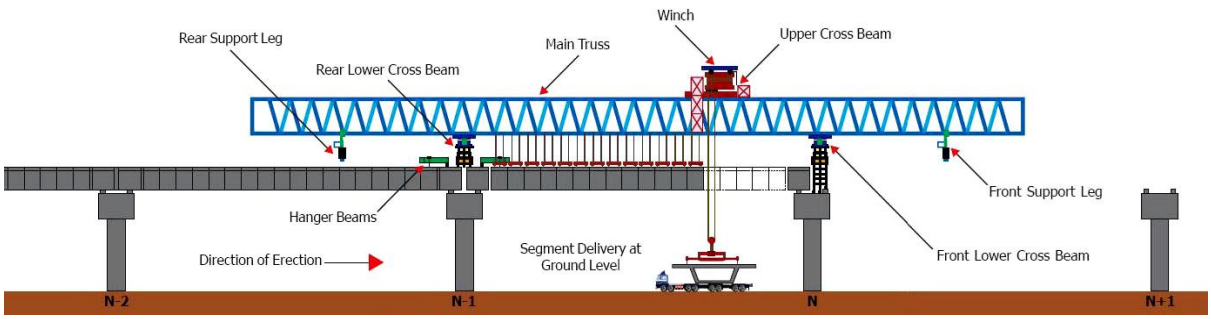
East Rail – Hong Kong (2000-2003)

รูปที่ 2.2-39 ตัวอย่างสะพานที่ใช้รูปแบบการก่อสร้างแบบ Span-by-span โดยใช้โครง Truss หรือนั่งร้าน

2.2.2 การติดตั้ง Span by Span โดยใช้ Launching Gantry

ข้อดีของการติดตั้งด้วยวิธีนี้

- สามารถเลือกใช้ Gantry แบบติดด้านบน (Overhead gantry) หรือแบบแขวนติดด้านล่าง (Underslung gantry) ก็ได้
- สามารถก่อสร้างได้รวดเร็วเนื่องจากการใช้ระบบดึงลวดอัดแรงภายนอก (External Post-tensioning)
- สามารถขนส่งชิ้นส่วนต่างๆ สู่ด้านหลังตัว Gantry ได้โดยขนส่งบนช่วงสะพานที่ติดตั้งแล้วเสร็จ ทำให้รบกวนการจราจรเบื้องล่างน้อยที่สุด หรือจะขนส่งชิ้นส่วนทางพื้นด้านล่างก็ได้
- ใช้จำนวนคนงานก่อสร้างน้อยกว่าการก่อสร้างด้วนระบบ Balanced cantilever
- การเข้าสู่หน้างานสะดวกและไม่ติดขัดหรือถูกกีดขวางเนื่องจากการใช้ Gantry



รูปที่ 2.2-40 การก่อสร้างแบบ Span-by-span โดยใช้ Launching Gantry



รูปที่ 2.2-41 ตัวอย่างสะพานที่ใช้รูปแบบการก่อสร้างแบบ Span-by-span โดยใช้ Launching Gantry

ขั้นตอนการติดตั้งชิ้นส่วนในแต่ละ Span

1. เลื่อนระบบ Gantry ไปยังตำแหน่ง Span ที่จะติดตั้งชิ้นส่วนสะพาน
2. ติดตั้งชิ้นส่วนสะพาน
3. จัดตำแหน่งชิ้นส่วนสะพานให้ถูกต้องและยึดชิ้นส่วนเข้าด้วยกัน
4. ทำงานคอนกรีตเชื่อมรอยต่อเปียกต่างๆ (Wet joint casting)
5. บ่มคอนกรีตรอยต่อในช่วงเวลากลางคืน
6. ติดตั้งระบบลวดอัดแรงภายนอก (External Post-tensioning)
7. ดึงลวดอัดแรง (External Post-tensioning) และงานลวดอัดแรงที่เกี่ยวข้อง

2.3 วิธี Incremental launching

มีอีกชื่อหนึ่งคือเรียกว่าวิธี Push-out construction หลักการของวิธีนี้คือการหล่อชิ้นส่วนสะพานทีละชิ้นต่อกันที่โรงหล่อหน้างานบริเวณปลายสุดของสะพานด้านหนึ่งโดยการหล่อแต่ละชิ้นส่วนจะหล่อให้มีขนาดที่เข้ากันได้กับชิ้นส่วนที่หล่อก่อนหน้าหนึ่งชิ้นและเมื่อหล่อเสร็จจะทำการดึงลวดอัดแรงเข้ากับชิ้นส่วนสะพานที่หล่อก่อนหน้า จากนั้นชิ้นส่วนที่หล่อเสร็จและยึดกันทั้งหมดก็จะถูกดันออกไปทางตำแหน่ง Pier ในแนวสะพานเป็นระยะความยาวเท่ากับชิ้นส่วนที่หล่อขึ้นทีละชิ้น ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ (หล่อชิ้นส่วน 1 ชิ้น, ดึงลวดยึดชิ้นส่วน, ดันสะพาน แล้วหล่อชิ้นส่วนใหม่ วนไปเรื่อยๆ) จนหล่อครบและดันสะพานเสร็จเรียบร้อยไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง จากนั้นจึงดึงลวดอัดแรงเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มความต่อเนื่องของตัวสะพานและให้ยึดติดกันทั้งหมด สุดท้ายจึงทำการเปลี่ยนส่วนรองรับ (Bearings) จากส่วนรองรับชั่วคราวให้เป็นส่วนรองรับถาวร (Permanent Bearings)

เพื่อให้ชิ้นส่วนโครงสร้าง Superstructure สามารถถูกดันออกไปได้จะต้องมีส่วนรองรับที่บริเวณหัวเสา Pier สะพานที่มีความเสียดทานน้อยมากเป็นพิเศษเพื่อชนะแรงเสียดทานเนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้างและสามารถให้โครงสร้างเลื่อนออกไปได้ตลอดทุกชิ้นส่วนและทุกครั้งที่มีการดันชิ้นส่วน

การก่อสร้างด้วยวิธีนี้ใช้ได้กับกรณีที่สะพานมีรูปแบบขนาดหน้าตัดเหมือนกันตลอดความยาวสะพานและสะพานจะต้องเป็นเส้นตรงหรือมีความโค้งทั้งในแนวราบและแนวดิ่งคงที่

งานก่อสร้างเกือบทั้งหมดทำขึ้นในส่วนหล่อชิ้นส่วนสะพาน (ที่ปลายสะพาน) ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพการทำงานได้ดีเสมือนโรงงานหล่อชิ้นส่วนสำเร็จ

อย่างไรก็ตามวิธีนี้ทำให้งานดึงลวด Post tension ในการดันตัวสะพานออกไปยังตำแหน่งจริงมีจำนวนมากกว่าการก่อสร้างด้วยวิธีอื่น และจำเป็นต้องมีอุปกรณ์พิเศษต่างๆ ที่ต้องลงทุนสูงเช่น Launching Nose, Launching jacks, Launching bearings and guides



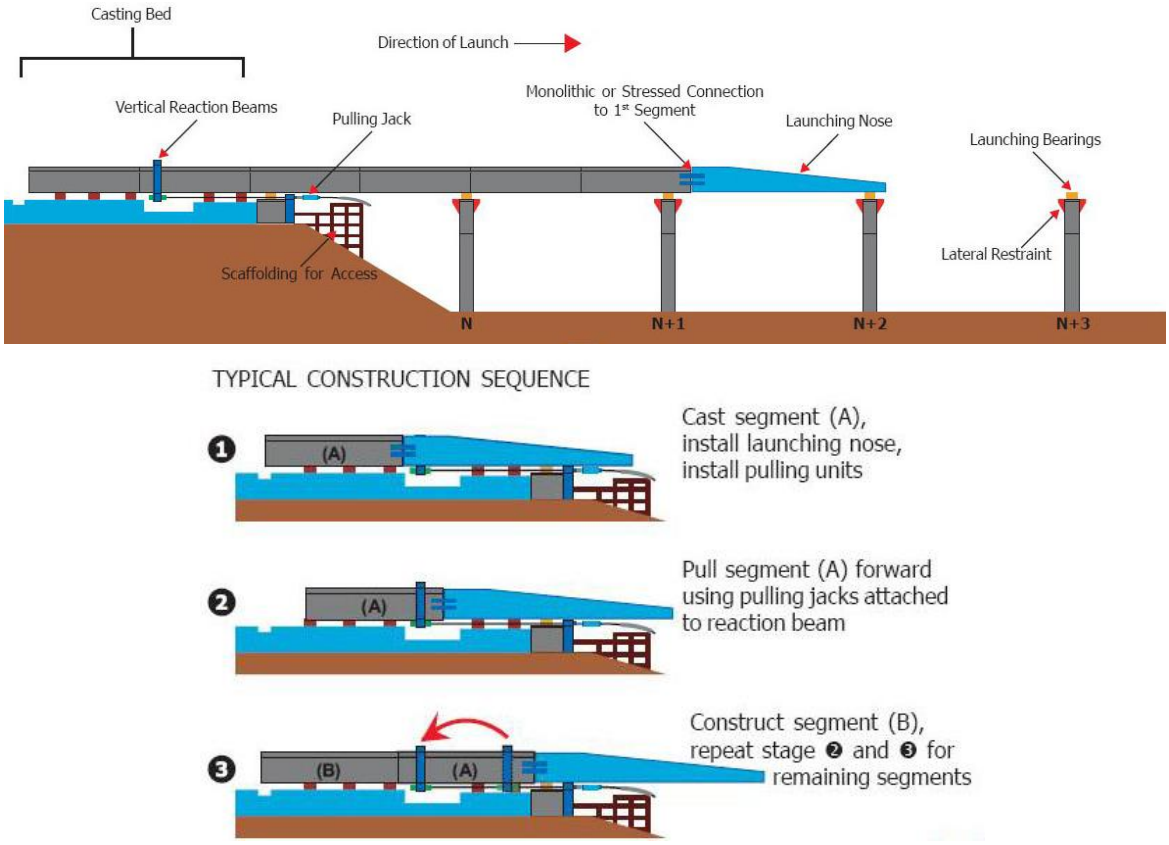
รูปที่ 2.2-42 การก่อสร้างโดยวิธี Incremental Launching

<u>ข้อดีของการติดตั้งด้วยวิธีนี้</u>

- ไม่ต้องใช้นั่งร้านเพื่อรองรับโครงสร้าง (มีประโยชน์ในกรณีที่สะพานอยู่ในบริเวณที่ห่างไกลเข้าถึงยากเช่น Pier ที่มีความสูงมากๆ, สะพานข้ามแม่น้ำที่ลึกมากๆ, สะพานข้ามถนน ทางรถไฟ หรือช่องเขาที่สูงมากๆ
- แก้ปัญหาการก่อสร้างในบริเวณที่เข้าถึงได้ยากหรือสภาพแวดล้อมไม่อำนวย
- มีงานโครงสร้างชั่วคราวน้อย

ขั้นตอนการทำงาน

1. ดันชิ้นส่วนสะพาน
2. ถอดแบบและทำความสะอาด
3. จัดเรียงเหล็กในส่วนฐานและตัวแกนของชิ้นส่วนสะพาน
4. ติดตั้งแบบของตัวแกน
5. หล่อคอนกรีตส่วนฐานและตัวแกนของชิ้นส่วนสะพาน
6. ติดตั้งแบบภายใน
7. จัดเรียงเหล็กเสริมส่วนบนของพื้นสะพาน
8. หล่อคอนกรีตส่วนพื้นสะพาน
9. บ่มคอนกรีต
10. ดึงลวดอัดแรง



รูปที่ 2.2-43 ขั้นตอนการก่อสร้างด้วยวิธี Incremental Launching



Rybny Potok – Czech Republic (2005)



Brides Glens Bridge – Ireland (2003-2004)



Caguanas River Bridge – Puerto Rico (1981)

รูปที่ 2.2-44 ตัวอย่างสะพานที่ใช้การก่อสร้างวิธี Incremental Launching

2.4 การใช้ Form Traveler

เป็นระบบที่มีความยืดหยุ่นสูงสามารถใช้กับสะพานที่มีหน้าตัดต่างๆ กัน และสามารถหล่อคอนกรีตสำหรับความยาวช่วงต่างๆ กันได้ตามที่การออกแบบต้องการ, สามารถใช้การบ่มด้วยไอน้ำภายในตัว Form Traveler ได้ทำให้การก่อสร้างทำได้เร็วขึ้น



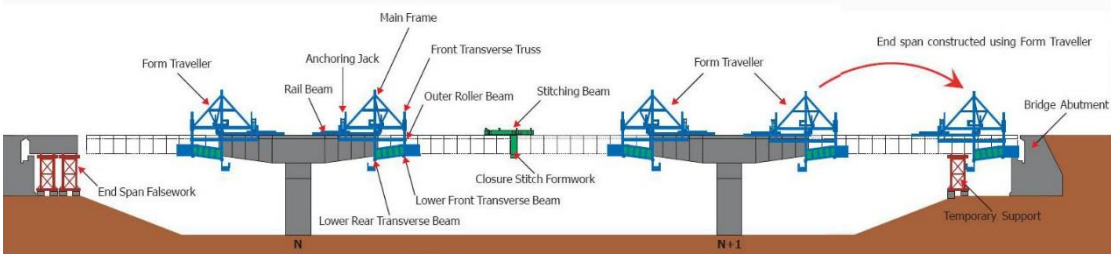
รูปที่ 2.2-45 การใช้ Form Traveler ในการก่อสร้างสะพาน (Taiwan HSR, 2002-2003)

ข้อดีของการติดตั้งด้วยวิธีนี้

- สามารถใช้กับการก่อสร้างสะพานที่มี span ยาวๆ การเข้าถึงทำได้ยาก
- สามารถใช้กับรูปแบบสะพานที่มีหน้าตัดต่างๆ กัน

ขั้นตอนการทำงาน

1. ถอดแบบส่วนปลายและอุปกรณ์ยึดแบบ
2. ติดตั้งลวดอัดแรง และ ดึงลวดอัดแรงในชิ้นส่วนยื่น
3. ถอดแบบด้านข้างภายนอก, ภายในและด้านล่าง
4. เลื่อนและติดตั้งส่วนคานและเฟรมยึดต่างๆ
5. ทำความสะอาดแบบ
6. เข้าแบบส่วนต่างๆ
7. วางแนวลวดอัดแรงและเหล็กเสริม
8. ตรวจสอบระดับ, ตำแหน่งต่างๆ
9. เทคอนกรีตชิ้นส่วนสะพานแล้วจึงบ่มคอนกรีต



รูปที่ 2.2-46 การก่อสร้างโดยใช้ Form traveler



Deep Bay Link – Hong Kong (2004-2005)



H-3 North Halawa Valley Viaduct – Hawaii (1992)



Sinu Bridge – Columbia (2005)



Ma Wan – Hong Kong (1999)

รูปที่ 2.2-47 ตัวอย่างสะพานที่ใช้การก่อสร้างโดยใช้ Form traveler

2.5 การใช้อุปกรณ์ยกสำหรับชิ้นส่วนขนาดใหญ่พิเศษ

ด้วยเหตุผลทางเทคนิคต่างๆ มีบางสะพานทำให้ต้องใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จที่มีขนาดใหญ่พิเศษและน้ำหนักมากทำให้ไม่สามารถใช้อุปกรณ์ยกเคลื่อนย้ายขนส่งธรรมดาได้ จึงต้องมีการออกแบบอุปกรณ์พิเศษเพื่อเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนขนาดใหญ่ดังกล่าว รวมถึงการออกแบบโครงสร้างชั่วคราวที่ต้องใช้และให้สอดคล้องกันรวมถึงต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการก่อสร้างด้วย



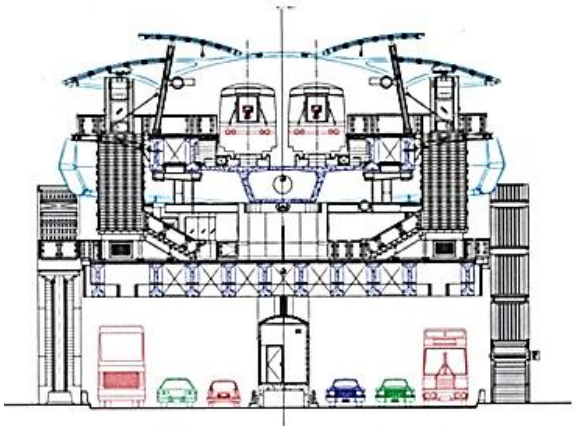
รูปที่ 2.2-48 การใช้อุปกรณ์ยกชิ้นส่วนขนาดใหญ่พิเศษ (Bridge at Miraflores, Spain (2005)

2.2.3.3 โครงสร้างบริเวณสถานี (Station Structure)

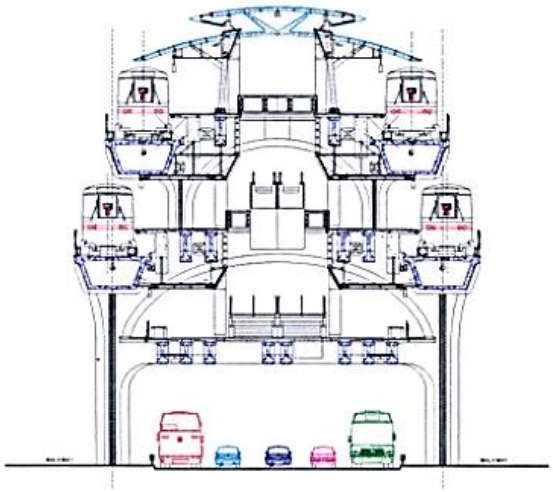
โครงสร้างบริเวณสถานีสามารถก่อสร้างโดยใช้เทคนิคในลักษณะเดียวกันกับการก่อสร้างสะพานหรือทางยกระดับ แต่จะมีขนาดและความต่อเนื่องของโครงสร้างมากกว่า อาคารสถานีมีส่วนของพื้นที่หลักประกอบด้วยพื้นที่ชั้นจำหน่ายตั๋วโดยสารและพื้นที่ชั้นชานชาลา โดยมีระดับความสูงของชานชาลาเท่ากับระดับความสูงของขบวนรถไฟ ชั้นจำหน่ายตั๋วโดยสายและชั้นชานชาลาอาจจะอยู่ระดับเดียวกันหรือคนละระดับขึ้นอยู่กับข้อจำกัดด้านพื้นที่ ชานชาลาอาจเป็นแบบชานชาลาข้าง (Side Platform) ซึ่งผู้โดยสารสามารถเข้าถึงทางวิ่งได้เพียงข้างเดียวของชานชาลา หรือชานชาลากลาง (Centre Platform) ซึ่งผู้โดยสารสามารถเข้าถึงทางวิ่งที่ขนาบอยู่สองข้างของชานชาลา

สถานียกระดับส่วนใหญ่มีพื้นที่อาคารสถานีอยู่บริเวณเกาะกลางถนน โดยมีทางเข้าถึงสถานีจากทั้ง 2 ฝั่งถนน อาคารสถานีส่วนใหญ่มีระดับของชั้นจำหน่ายตั๋วและชั้นชานชาลาอยู่แยกกัน โดยชั้น

จำหน่ายตั๋วอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 8 ม. จากระดับถนน และชั้นชานชาลาอยู่ที่ระดับความสูง 15 ม. จากระดับถนน (http://www.mrta-orangelineeast.com/th/structure) สถานีมีความยาวประมาณ 150 ม. และมีความกว้างประมาณ 25 ม. ชานชาลาส่วนใหญ่เป็นรูปแบบชานชาลาข้าง ยกเว้นสถานีสยามและสถานีสำโรงที่มีลักษณะเป็นแบบชานชาลากลาง ซึ่งจะให้ความสะดวกกับผู้โดยสารในการเปลี่ยนเส้นทางขบวนรถโดยสาร โครงสร้างของสถานียกระดับส่วนใหญ่ประกอบด้วยเสาโครงสร้างตั้งอยู่ในเกาะกลางถนน มีช่วงเสาห่างกัน 25 – 27 ม. ตามความเหมาะสมของแต่ละสถานี (https://mrta-yellowline.com/wp/3-project-design-th/) เสาของอาคารสถานีมีคานขวางยื่นออกไปรองรับคานหล่อสำเร็จรูปรูปตัวไอหรือรูปตัวยู เททับด้วยพื้นหล่อในที่ (รูปที่ 2.2-49) อย่างไรก็ดี ในบริเวณพื้นที่จำกัดหรือกรณีที่ไม่สามารถก่อสร้างเสาอาคารสถานีบริเวณเกาะกลางถนนได้ โครงสร้างอาคารสถานีอาจมีลักษณะเป็น Portal Frame ที่มีเสาตั้งอยู่ 2 ฝั่งถนน และมีคานขวางของ Portal Frame ทำหน้าที่รองรับคานคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอและพื้นของอาคารสถานี



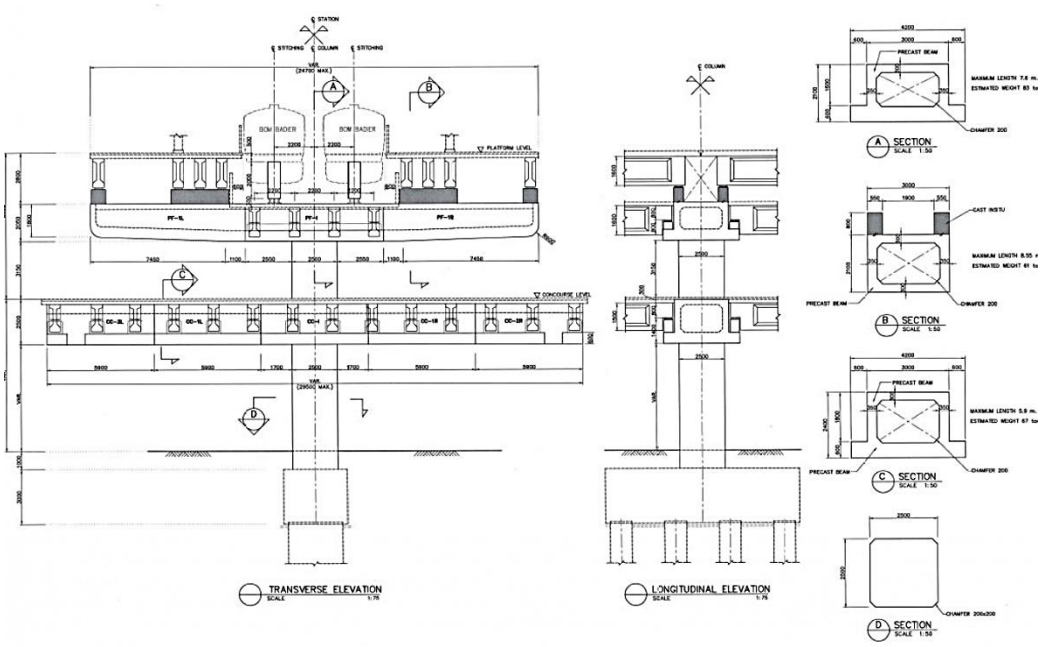
ก) สถานีรถไฟฟ้ายกระดับแบบมาตรฐาน



ข) สถานีสยามหรือสถานีร่วม

รูปที่ 2.2-49 สถานียกระดับ (https://www.bts.co.th/library/system-design.html)

เสาเข็มของโครงสร้างสถานีอาจใช้เสาเข็มเจาะแบบกลมหรือแบบเหลี่ยม การก่อสร้าง Pile Cap ใช้วิธีการหล่อในที่ ในส่วนของโครงสร้างเสาของอาคารสถานีอาจใช้วิธีการหล่อในที่หรือการใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จรูปเช่นเดียวกับการก่อสร้างเสาตอม่อของโครงสร้างทางวิ่ง คานขวางที่ยื่นออกไปจากเสากลางมักก่อสร้างโดยใช้ชิ้นส่วนคานหล่อสำเร็จรูป และใช้การดึงลวดอัดแรงในการประกอบติดตั้งคานขวางที่สถานที่ก่อสร้าง จากนั้นจึงทำการติดตั้งคานคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ (I-Girder) บนคานขวางโดยการใช้ Mobile Crane ช่วยในการติดตั้ง (รูปที่ 2.2-50)



รูปที่ 2.2-50 ตัวอย่างรูปแบบโครงสร้างสถานีรถไฟฟ้าสายสีชมพูและสีเหลือง
(สุรเชษฐ์ เหล่าพูลสุข, 2563)



รูปที่ 2.2-51 การก่อสร้างอาคารสถานีรถไฟฟ้าสายสีชมพูและสายสีเหลือง (สุรเชษฐ์ เหล่าพูลสุข, 2563)

2.3 ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย การวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้าง

ดังที่เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ามีหลายรูปแบบ การที่จะเลือกใช้รูปแบบใดหรือวิธีใดนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักและปัจจัยย่อยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้าง เช่น ปัจจัยด้านงบประมาณ ด้านระยะเวลา ด้านคุณภาพ ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านนโยบาย ด้านกฎหมาย เป็นต้น ซึ่งแต่ละปัจจัยมีผลต่อการพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่แตกต่างกัน การที่จะเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างให้เหมาะสมได้นั้น จึงต้องพิจารณาวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ โดยทำการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

2.3.1 วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process, AHP)

กระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) เป็นกระบวนการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multiple Criteria Decision Making) ที่ใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ในการวินิจฉัยเปรียบเทียบหาลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือกในกระบวนการตัดสินใจ ซึ่งได้รับการคิดค้นเมื่อปลายทศวรรษที่ 1970 โดยศาสตราจารย์ Thomas L. Saaty แห่งมหาวิทยาลัยเพนซิลวาเนีย กระบวนการวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นวิธีการหนึ่งที่ได้รับการเชื่อถือยอมรับและใช้อย่างแพร่หลายในกระบวนการตัดสินใจกรณีที่มีหลายปัจจัยเข้ามามีอิทธิพลเกี่ยวข้องกับแต่ละทางเลือกและต้องได้รับการพิจารณา เนื่องจากสามารถวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพล เกี่ยวข้อง หรือมีผลต่อการตัดสินใจเลือกทางเลือกของปัญหานั้นๆโดยการหาลำดับความสำคัญก่อนการตัดสินใจ ซึ่งวิธีนี้จะช่วยปรับปรุงกระบวนการตัดสินใจให้มีความถูกต้องและมีความสอดคล้องกันของเหตุผลมากขึ้น

ปัจจุบัน AHP ได้ถูกนำมาใช้ในการคัดเลือกที่มีความซับซ้อนในการตัดสินใจร่วมกับผู้อื่นเนื่องจากการรับรู้และการตัดสินใจที่อาจมีอคติ โดยรูปแบบที่ใช้ในการพิจารณามี 2 รูปแบบคือ Relative mode สำหรับการวิเคราะห์ค่าลำดับในขั้นต้น และ Rating mode เพื่อนำไปใช้ร่วมกับการทำแบบสอบถาม

กระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) เป็นกระบวนการที่ช่วยเหลือในการแยกแยะองค์ประกอบที่เป็นนามธรรมและรูปธรรมของปัญหาออกมาเป็นส่วนๆ แล้วนำองค์ประกอบต่างๆ เหล่านั้นมาแบ่งเป็นระดับชั้นจากบนลงมาสู่ล่างตามลำดับความสำคัญและผลกระทบที่มีต่อปัญหา ผู้ใช้ AHP สามารถทำการเชื่อมโยงองค์ประกอบต่างๆ เข้าด้วยกันโดยวินิจฉัยเปรียบเทียบหาลำดับความสำคัญและใช้เหตุผลที่ถูกต้องอันเกิดจากประสบการณ์และความชำนาญในปัญหานั้นๆ เป็นพื้นฐาน นอกจากนี้เพื่อความถูกต้อง AHP ได้กำหนดมาตรฐานความสอดคล้องขึ้นมาเพื่อวัดความมีเหตุผลของการวินิจฉัย เพื่อให้มั่นใจว่าการตัดสินใจนั้นมีเหตุผลที่ยอมรับได้

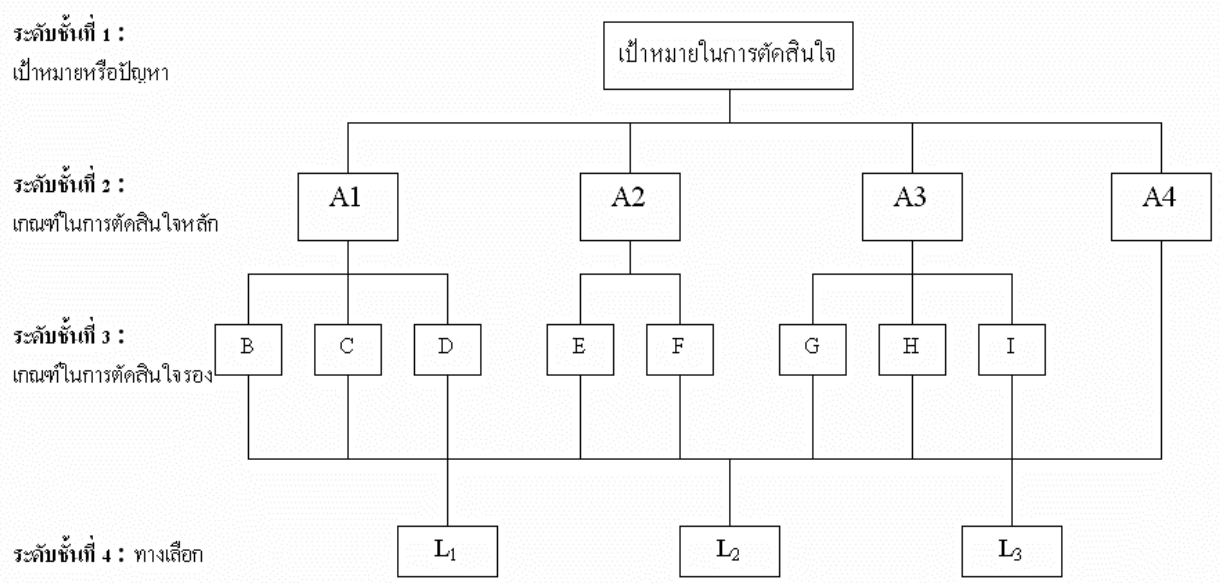
การวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้นเพื่อการตัดสินใจคัดเลือกทางเลือกของปัญหานั้นๆ จะทำการเปรียบเทียบปัจจัยเป็นคู่ๆ โดยใช้วิธีการวัดแบบอัตราส่วน (Ratio Scaling Method) เพื่อกำหนดค่าระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัย ซึ่งการเปรียบเทียบทีละคู่ปัจจัยทำให้การตัดสินใจทำได้ง่ายขึ้น มากกว่าการวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยหลายๆ ปัจจัยพร้อมกัน ซึ่งอาจมีความพึงพอใจในปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งมากเกินไป จุดเด่นของกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

- ง่ายในการสร้างและสามารถนำเอาปัจจัยที่เป็นทั้งนามธรรมและรูปธรรมมาวินิจฉัยได้อย่างมีความสอดคล้องกันของเหตุผล
- ให้ผลการสำรวจน่าเชื่อถือกว่าวิธีอื่นๆเนื่องจากใช้วิธีการเปรียบเทียบเชิงคู่ในการตัดสินใจก่อนที่จะลงมือตอบคำถาม
- มีโครงสร้างที่เป็นแผนภูมิลำดับขั้น เลียนแบบกระบวนความคิดของมนุษย์ ทำให้ง่ายต่อการใช้และการทำความเข้าใจ
- ผลลัพธ์ที่ได้เป็นปริมาณตัวเลขทำให้ง่ายต่อการจัดลำดับความสำคัญและยังสามารถนำผลลัพธ์ ดังกล่าวไปเปรียบเทียบ (Benchmarking) กับหน่วยงานอื่นๆ ได้
- สามารถขจัดการตัดสินใจแบบมีอคติหรือลำเอียงออกไปได้
- ใช้ได้ทั้งกับการตัดสินใจแบบคนเดียวและแบบที่เป็นกลุ่มหรือหมู่คณะ
- ก่อให้เกิดการประนีประนอมและการสร้างประชามติ
- ไม่ต้องการผู้เชี่ยวชาญพิเศษมาคอยควบคุมชี้นำดังเช่นที่เกิดขึ้นกับการตัดสินใจโดยวิธีปกติธรรมดาทั่วไป

การประยุกต์ใช้ AHP นั้นจะเริ่มต้นโดยการทำในส่วนของ Relative mode ก่อนโดยการกำหนดเป้าหมายในการวิเคราะห์ ว่าการวิเคราะห์นี้จะนำไปสู่การตัดสินใจในเรื่องใดและสร้างตารางลำดับขั้น (Hierarchy) โดยทำการกำหนดทางเลือก (Alternatives) เมื่อกำหนดเป้าหมายแล้วทำการแยกย่อยปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญเพื่อพิจารณา โดยสามารถกำหนดให้มีปัจจัยย่อย (Sub-criteria) แยกลงไปในแต่ละปัจจัยหลัก (Criteria) เพื่อเพิ่มความละเอียดของการพิจารณาได้ โดยไม่ควรกำหนดให้มีปัจจัยหลักมากเกินไป เนื่องจากจะทำให้เกิดความซับซ้อนในการคำนวณมาก

ขั้นตอนการตัดสินใจ โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น AHP สามรถแบ่งขั้นตอนกระบวนการดำเนินการได้ 4 ขั้นตอนหลักคือ

1. การจัดลำดับชั้นในการวิเคราะห์ (Structuring the Hierarchy) เป็นการสลายปัญหาที่ซับซ้อน (Decompositions) โดยการระบุวางกรอบประเด็นของปัญหาให้ชัดเจน แล้วจึงกำหนดหลักเกณฑ์องค์ประกอบหรือปัจจัยในการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับปัญหาและทางเลือกที่เหมาะสมทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม ออกเป็นหมวดหมู่ จากนั้นจึงแบ่งกลุ่มหลักเกณฑ์องค์ประกอบหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา จัดให้อยู่ในรูปของแผนภูมิโครงสร้างเป็นลำดับชั้น (Hierarchy Structure) แต่ละลำดับชั้นประกอบไปด้วยเกณฑ์ในการตัดสินใจหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่มีผลกับปัญหานั้น โดยแผนภูมิจะแบ่งออกเป็นหลายลำดับชั้นขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหาและลำดับชั้นแต่ละลำดับจะประกอบด้วยกลุ่มของปัจจัยต่างๆ ลำดับชั้นบนสุดเรียกว่าเป้าหมายในการตัดสินใจโดยรวม (Goal) ซึ่งมีเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น ลำดับชั้นที่ 2 (Criteria) อาจมีหลายปัจจัยหรือหลายเกณฑ์ขึ้นอยู่กับแผนภูมินั้นๆ ปัจจัยต่างๆ ในลำดับชั้นเดียวกันต้องมีความสำคัญทัดเทียมกัน ถ้ามีความสำคัญแตกต่างกันมากควรแยกเอาปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยกว่าลงไปอยู่ลำดับชั้นที่อยู่ถัดลงไป (Sub criteria) และชั้นล่างสุด คือ ชั้นของทางเลือก (Alternatives) ตัวอย่างแผนภูมิลำดับชั้นโครงสร้าง AHP แสดงดังรูปที่ 2.3-1



รูปที่ 2.3-1 โครงสร้างลำดับชั้น AHP

แผนภูมิโครงสร้างลำดับชั้น AHP ตามรูปข้างต้น เป็นการแสดงแบบจำลองหรือแผนภูมิลำดับชั้นของ “กระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น” โครงสร้างของแผนภูมิประกอบไปด้วย “องค์ประกอบ” หรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจต่างๆ จัดแบ่งเป็นหมวดหมู่มีลักษณะเป็นระดับชั้น จำนวนของลำดับชั้นจะขึ้นอยู่กับความ ซับซ้อนของการตัดสินใจ ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

ระดับชั้นที่ 1 หรือระดับบนสุด แสดงจุดโฟกัสหรือเป้าหมายของการตัดสินใจ

ระดับชั้นที่ 2 แสดงถึงเกณฑ์การตัดสินใจหลัก ที่มีผลต่อเป้าหมายในการตัดสินใจนั้น

ระดับชั้นที่ 3 ลงมา แสดงถึงเกณฑ์ย่อยของการตัดสินใจ ซึ่งจะมีจำนวนเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับความชัดเจนของเกณฑ์หลัก (อาจไม่จำเป็นต้องมี ถ้าเกณฑ์หลักมีความชัดเจนเพียงพอ) ส่วนระดับชั้นล่างสุด หรือระดับชั้นสุดท้าย คือทางเลือกที่เราจะนำมาพิจารณาผ่านเกณฑ์การตัดสินใจตามที่เรากำหนดไว้

หลังจากวางลำดับปัจจัยแล้วจะทำการเปรียบเทียบกับทางเลือกโดยการทำการเปรียบเทียบเชิงคู่ (Pairwise comparison) ซึ่งเป็นการศึกษาเปรียบเทียบในเชิงจิตวิทยาใช้เปรียบเทียบระหว่างสองสิ่ง ว่าของสิ่งใดมีคุณค่าหรือน้ำหนักความสำคัญมากกว่ากันในคุณสมบัติเชิงปริมาณ โดยในการเปรียบเทียบนี้สามารถเลือกใช้ข้อมูลที่เป็นรูปธรรมมีความชัดเจน เช่น ตัวเลขราคาหรือข้อมูลจริงของทางเลือกต่างๆ มาประกอบ หรือการตัดสินใจด้วยมนุษย์เพื่อเปลี่ยนข้อมูลที่ได้รับ หรือองค์ความรู้ที่มีอยู่มาเป็นข้อมูลตัวเลขเพื่อใช้ในกระบวนการวิเคราะห์ต่อไป การเปรียบเทียบเชิงคู่นั้นถูกนำไปใช้เพื่อศึกษาวิจัยในหลายหัวข้อทั้งทัศนคติ ทางเลือกทางสังคมและทางเลือกชุมชน

2. การจัดลำดับความสำคัญ (Prioritization or Calculation of Relative Priority) โดยการเปรียบเทียบวินิจฉัยความสัมพันธ์ของปัจจัยแต่ละปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเกณฑ์การตัดสินใจในแต่ละลำดับชั้นโครงสร้าง ทีละคู่ (Pairwise comparisons) โดยเริ่มจากชั้นบนลงสู่ชั้นล่าง ใช้ตรรกะและเหตุผลร่วมกับความชำนาญและประสบการณ์ของผู้วินิจฉัยอย่างมีสติ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความลำเอียง ตาม

เกณฑ์การตัดสินใจตามความสำคัญที่มีต่อปัจจัยร่วมกันที่อยู่ในลำดับชั้นถัดขึ้นไป ผลที่ได้จากการวินิจฉัยก็คือ เหตุผลที่เกิดขึ้นจากการพิจารณาทุกปัจจัย การวินิจฉัยจะแสดงในรูปของมาตราส่วนของระดับความพึงพอใจที่เป็นตัวเลข 1 ถึง 9 ลงในตารางเมตริกซ์ โดยใส่ผลการวินิจฉัยในพื้นที่เหนือเส้นทแยงมุม ส่วนพื้นที่ใต้เส้นทแยงมุม เป็นค่าต่างตอบแทนของค่าที่อยู่เหนือเส้นทแยงมุม เนื่องจากตารางเมตริกซ์คือเครื่องมือที่เหมาะสมที่สุดในการเปรียบเทียบในลักษณะเป็นคู่ๆ หรือจับคู่นอกจากจะช่วยอธิบายเกี่ยวกับการเปรียบเทียบแล้วตารางเมตริกซ์ยังสามารถทดสอบความสอดคล้องกันของการวินิจฉัย และสามารถวิเคราะห์ถึงความอ่อนไหวของลำดับความสำคัญเมื่อการวินิจฉัยเปลี่ยนแปลงไปได้อีกด้วย

ขั้นตอนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยแต่ละปัจจัยนั้นจะเริ่มต้นจากระดับชั้นบนสุดของแผนภูมิเพื่อที่จะเลือกเกณฑ์ในการตัดสินใจ AHP โดยผู้วินิจฉัยจะกำหนดมาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบเพื่อวัดระดับความแตกต่างระหว่าง 2 ปัจจัยที่ถูกเปรียบเทียบในแง่ของความพึงพอใจอันเกิดจากความชำนาญและประสบการณ์ภายใต้กรอบของเหตุผล โดยมีสติคอยกำกับเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความลำเอียง โดยวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นระดับความเข้มข้นของความสำคัญด้วยตัวเลข 1 ถึง 9 โดยตัวอย่างความหมายของตัวเลขที่แสดงระดับความเข้มข้นของความสำคัญดังแสดงในตารางที่ 2.3-1 ซึ่งจะใช้แทนวลีของการเปรียบเทียบมาตราส่วนวัดระดับความเข้มข้นของความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่พิจารณา

ตารางที่ 2.3-1 ตัวอย่างในการกำหนดมาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ

ค่าระดับความเข้มข้นความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน	ทั้งสองปัจจัยส่งผลกระทบต่อวัตถุประสงค์เท่าๆ กัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง	ประสบการณ์และการวินิจฉัยแสดงถึงความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก	ประสบการณ์และการวินิจฉัยแสดงถึงความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งมาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด	ปัจจัยหนึ่งได้รับความพึงพอใจมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีกปัจจัยหนึ่งในทางปฏิบัติปัจจัยนั้นได้มีอิทธิพลเหนือกว่าอย่างเห็นได้ชัด
9	สำคัญกว่าสูงสุด	มีหลักฐานยืนยันความพึงพอใจในอีกปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งในระดับที่สูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้
2, 4, 6, 8	กรณีประนีประนอมเพื่อลดช่องว่างระหว่างระดับความรู้สึกปัจจัยที่เสมอกัน	บางครั้งต้องการวินิจฉัยในลักษณะที่ก้ำกึ่งกันแต่ไม่สามารถอธิบายด้วยคำพูดที่เหมาะสมได้
1.1 – 1.9	ปัจจัยที่เสมอกัน	เมื่อปัจจัยที่ถูกเลือกขึ้นมานั้นมีความสำคัญใกล้เคียงกันและเกือบหาความแตกต่างไม่ได้เลย (1.3 คือระดับกลางๆ ส่วน 1.9 คือระดับสูงสุด)

ที่มา : วิฑูรย์ ตันศิริคงคล, 2542

3. การสังเคราะห์ (Synthesis) โดยการพิจารณาจากลำดับความสำคัญทั้งหมด จากการเปรียบเทียบว่าทางเลือกใดควรได้รับเลือก เพื่อให้ได้ลำดับความสำคัญรวมของทางเลือกซึ่งเป็นลำดับชั้นล่างสุดของแผนภูมิ ซึ่งเกิดจากการนำเอาผลการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ ของทุกๆ ปัจจัยในตารางเมตริกซ์มาสังเคราะห์ ในอีกความหมายหนึ่งก็คือผู้ตัดสินใจต้องให้น้ำหนักกับปัจจัยในระดับล่างที่มีผลต่อลำดับความสำคัญของปัจจัยที่อยู่ในลำดับถัดขึ้นไปแล้วรวมน้ำหนักเข้าด้วยกัน เพื่อทำให้เกิดตัวเลขหลักเดียวที่แสดงถึงลำดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยโดยใช้ Principle of Hierarchic Composition

หลังจากที่ทราบความเห็นที่ผู้บริหารหรือผู้เชี่ยวชาญหรือผู้เกี่ยวข้องในรูปของคะแนนความสำคัญหรือความชอบจากการเปรียบเทียบของเป็นคู่ในชั้นนั้นแล้ว จะทำการคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญ (Weight) หรือลำดับความสำคัญสัมพัทธ์ (Relative Priority) ของในชั้นนั้น ทำการวิเคราะห์ในทำนองเดียวกันทีละชั้นจากชั้นบนลงสู่ชั้นล่างจนครบทุกชั้น การวิเคราะห์ด้วย AHP จะทำการเปลี่ยนข้อมูลซึ่งส่วนใหญ่เป็นข้อมูลที่ได้มาจากแบบสอบถาม เป็นค่าตัวเลขเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ โดยค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่พิจารณาจะถูกประเมินถึงปัจจัยภายในออกมาเป็นลำดับชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 2.3-2 ทั้งนี้ความสามารถในการเปลี่ยนข้อมูลจากแบบสอบถามเป็นข้อมูลทางคณิตศาสตร์นั้นคือลักษณะเด่นของการทำ AHP เมื่อเทียบกับวิธีวิเคราะห์ทางเลือกแบบอื่น

ตารางที่ 2.3-2 Saaty's scale of Relative Importance (Saaty, 2005)

Scale	Numerical rating	Reciprocal
Extremely preferred	9	1/9
Very strong to extremely	8	1/8
Very strong preferred	7	1/7
Strongly to very strongly	6	1/6
Strongly preferred	5	1/5
Moderately to strongly	4	1/4
Moderately preferred	3	1/3
Equally to moderately	2	1/2
Equally preferred	1	1

น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์หรือทางเลือกในแต่ละชั้นจะคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$A.\underline{w} = \lambda_{max} .\underline{w} \quad \text{..... (2.1)}$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdot & \cdot & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdot & \cdot & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdot & \cdot & a_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{..... (2.2)}$$

$$\underline{w} = \lim_{k \to \infty} \frac{A^k \underline{e}}{\underline{e}^T A^k \underline{e}} \quad \text{..... (2.3)}$$

โดย

A คือ สแควร์เมตริกแสดงความเห็นของผู้บริหารหรือผู้เชี่ยวชาญหรือผู้เกี่ยวข้องในรูปของคะแนนความสำคัญซึ่งปรับค่าให้เป็น 1 แล้ว (Normalized)

$\underline{w}$ คือ Eigenvector แสดงน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์ของของซึ่งอยู่ในลำดับชั้นเดียวกัน หรือกลุ่มของที่อยู่ภายใต้ของในลำดับชั้นที่สูงกว่า

λ_{max} คือ Maximum eigenvalue

$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ คือ คะแนนความสำคัญของสิ่งที่เปรียบเทียบเทียบทีละคู่ มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1

k คือ การคำนวณครั้งที่ k

$\underline{e}$ คือ Unit Vector

4. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของทางเลือกที่มีต่อปัจจัยในการวินิจฉัย (Sensitivity Analysis) เป็นการคำนวณหาค่าความสอดคล้อง เพื่อทดสอบว่าการวินิจฉัยทั่วทั้งแผนภูมิสมเหตุสมผลหรือไม่ จะทำการทดสอบหลังจากเสร็จกระบวนการทั้งหมด เป็นการพิจารณาว่าเมื่อข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเกณฑ์การตัดสินใจหรือปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับ 0-1 แล้วจะมีผลทำให้ลำดับความสำคัญของทางเลือกมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ โดยค่าความสอดคล้องของแผนภูมิกรณีทั่วไปไม่ควรเกินประมาณ 10% หากเกิน แสดงว่าคุณภาพของข้อมูลมีน้อย ต้องแก้ไขโดยทบทวนกรอบคำถามที่ใช้ในการทำการเปรียบเทียบ

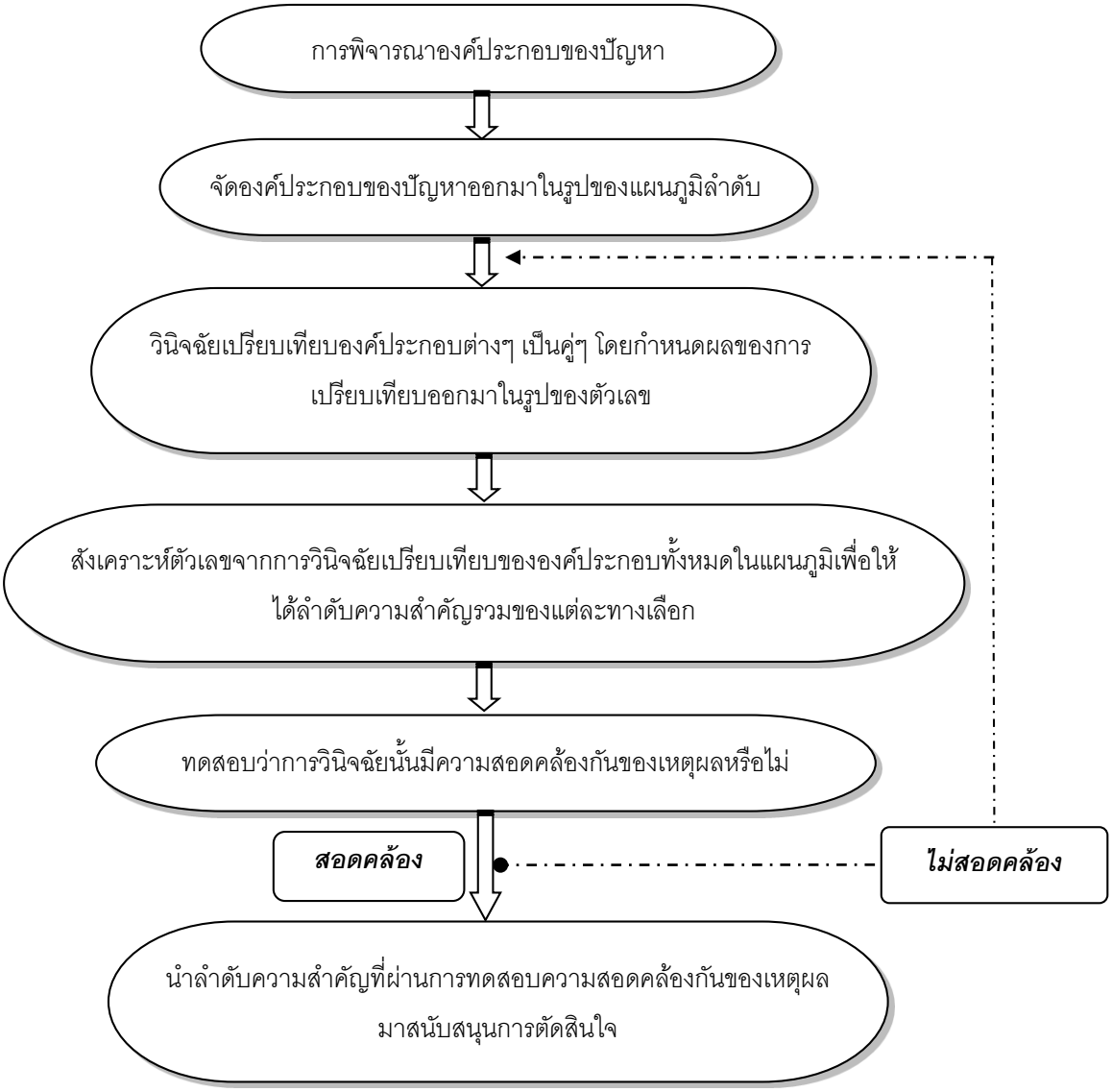
ขั้นตอนการดำเนินการตามกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) สามารถสรุปเป็นแผนภูมิขั้นตอนได้ดังรูปที่ 2.3-2 ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ที่ถูกนำมาใช้ในการทำการเปรียบเทียบเชิงคู่ คือ เมทริกซ์ ซึ่งจะทำการพิจารณาทีละคู่ปัจจัย โดยเลือกใช้ค่า Relative importance ตามลำดับความสำคัญจากตารางที่ 2.3-2 โดยทำการเปรียบเทียบดังนี้

1. เปรียบเทียบเป้าหมายและปัจจัยหลัก
2. เปรียบเทียบปัจจัยหลักและปัจจัยย่อยต่างๆ ในปัจจัยหลักนั้น (หากมีปัจจัยย่อย)
3. เปรียบเทียบทางเลือกกับปัจจัยย่อยต่างๆ โดยไม่นำปัจจัยหลักมาพิจารณากับทางเลือก
4. เปรียบเทียบทางเลือกกับปัจจัยหลักที่ไม่มีปัจจัยย่อย

ในการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น AHP มีลำดับขั้นตอนในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ดังนี้

1. จัดองค์ประกอบของปัญหา (ปัจจัยที่ต้องการเปรียบเทียบ) ในรูปของแผนภูมิลำดับชั้นแล้ววินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ โดยกำหนดผลการเปรียบเทียบออกมาเป็นรูปแบบของตัวเลข ตามความเข้มข้นของความสำคัญตามระดับความพึงพอใจของผู้วินิจฉัยที่มีค่า 1 – 9 จากนั้นนำผลการวินิจฉัยเปรียบเทียบจัดให้อยู่ในรูปแบบของตารางเมตริกซ์ โดยผลการวินิจฉัยจะถูกใส่ไว้เหนือแนวเส้นทแยงมุม แนวเส้นทแยงมุมจะเท่ากับ 1.00 เสมอเนื่องจากปัจจัยนั้นถูกเปรียบเทียบกับตัวเอง ส่วนใต้แนวเส้นทแยงมุมเป็นส่วน

กลับของผลการวินิจฉัยเปรียบเทียบ ซึ่งวิธีการสร้างตารางเมตริกซ์เพื่อเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจเป็นคู่ มีลักษณะรายละเอียด ดังตารางที่ 2.3-3



รูปที่ 2.3-2 แผนภูมิขั้นตอนกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (ที่มา : วิฑูรย์ ตันศิริคงคล, 2542)

ตารางที่ 2.3-3 ตัวอย่างตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบเป็นคู่

เกณฑ์ตัดสินใจ		ปัจจัย			
		A1	A2	A3	A4
ปัจจัย	A1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}
	A2	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}
	A3	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}
	A4	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}

โดยที่ a_{ij} คือสมาชิกในแถวที่ i หลักที่ j ของเมตริกซ์ แสดงผลการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัย A_i และ A_j

การกำหนดมาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบ เช่น

ถ้า a_{ij} =1 หมายถึง ปัจจัย A_i และ A_j มีความสำคัญเท่ากัน

ถ้า a_{ij} =3 หมายถึง ปัจจัย A_i มีความสำคัญมากกว่า A_j เล็กน้อย

ถ้า a_{ij} =5 หมายถึง ปัจจัย A_i มีความสำคัญมากกว่า A_j ปานกลาง

ถ้า a_{ij} =7 หมายถึง ปัจจัย A_i มีความสำคัญมากกว่า A_j มาก

จำนวนระดับของมาตราส่วนในการเปรียบเทียบนี้ ขึ้นอยู่กับตัวผู้ทำการวิเคราะห์เองว่าต้องการรายละเอียดในการเปรียบเทียบมากแค่ไหน ถ้าต้องการรายละเอียดมากขึ้นก็อาจจะกำหนดระดับการเปรียบเทียบหลายระดับมากขึ้น เช่น อาจจะเพิ่มจานวนระดับขึ้นไปอีก คือ ถ้า a_{ij} = 9 หมายถึง ปัจจัย A_i มีความสำคัญมากกว่า A_j อย่างยิ่งยวด หรือถ้าคิดว่าระดับของมาตราส่วนดังกล่าวมีความแตกต่างเกินไป ก็อาจจะกำหนดใหม่ ให้มาตราส่วนในการเปรียบเทียบมีความแตกต่างกันน้อยลงก็ได้ เช่น ให้ a_{ij} =2 หมายถึง ปัจจัย A_i มีความสำคัญมากกว่า A_j เล็กน้อย และ a_{ij} =3 หมายถึง ปัจจัย A_i มีความสำคัญมากกว่า A_j ปานกลาง เป็นต้น

2. หาผลรวมของตัวเลขค่าการวินิจฉัยเปรียบเทียบในแถวตั้งแต่ละแถวของตารางเมตริกซ์
3. Weighting matrix คำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย Weight (w_i) ดังนี้

   - นำผลการวินิจฉัยเปรียบเทียบแต่ละคู่ปัจจัยในแถวตั้งในตารางเมตริกซ์แต่ละแถวหารด้วยผลรวมค่าการวินิจฉัยเปรียบเทียบในแถวตั้งนั้นเพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยแสดงในรูปแบบตารางเมตริกซ์ซึ่งจะเป็นนัยสำคัญที่ใช้เปรียบเทียบระหว่างปัจจัยต่าง
   - หาค่าเฉลี่ยของตัวเลขในแถวนอนแต่ละแถว โดยนำเอาผลรวมของตัวเลขทั้งหมดในแต่ละแถวนำมาหารด้วยจำนวนตัวเลขที่มีอยู่ในแต่ละแถวนอนนั้น (เรียกค่านี้ว่าผลรวมของลำดับความสำคัญโดยรวม, Priorities)
   - หากการคำนวณถูกต้อง ผลรวมค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยจะต้องเท่ากับหรือมีค่าใกล้เคียง 1 โดยจะใช้ตัวเลขทศนิยมสามตำแหน่งไม่ปัดค่า เพื่อนำไปใช้พิจารณาในการจัดลำดับต่อไป

4. ในการเปรียบเทียบแต่ละครั้ง ต้องทำการเช็คค่าความสมเหตุสมผลและความสอดคล้องในทุกครั้งด้วยการทำ Consistency analysis เพื่อทดสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล โดยนำผลรวมของค่าวินิจฉัยของแต่ละปัจจัยในแถวตั้งแต่ละแถวคูณด้วยค่าเฉลี่ยในแถวนอนแต่ละแถว (ผลของลำดับความสำคัญโดยรวม, Priorities) ซึ่งหาได้ก่อนหน้า แล้วนำผลคูณที่ได้มารวมกัน ผลลัพธ์จะเท่ากับจำนวนปัจจัยทั้งหมดที่ถูกนำมาเปรียบเทียบ ซึ่งผลรวมที่ได้นี้เรียกว่า Eigen Values (λ_{max}) นำไปใช้คำนวณทดสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล

5. คำนวณค่าการเบี่ยงเบนความไม่สอดคล้องกันของเหตุผลการตัดสินใจที่สามารถยอมรับได้ โดยพิจารณานำค่า Eigen Values (λ_{max}) มาเปรียบเทียบตัวเลขที่สุ่มตัวอย่างจากตารางเมตริกซ์ (ตารางที่ 2.2-4) เพื่อคำนวณหาดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index, CI) และอัตราส่วนความสอดคล้อง

(Consistency Ratio, CR) ตามสมการ หากพบว่าค่า CR มีค่ามากกว่า 0.1 แปลว่าการพิจารณาค่านั้นเป็นไปอย่างมีอคติ หรือมีข้อผิดพลาดบางอย่างที่จำเป็นจะต้องพิจารณาหรือตรวจสอบค่าตัวเลขใหม่

$$A\,w = \lambda_{max} w \tag{2.4}$$

เมื่อ λ_{max} คือ Eigenvalue ของ A
w คือ เมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก (Weighting matrix)
A คือ Pairwise comparison matrix

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \tag{2.5}$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{2.6}$$

การหา Eigenvalue (λ_{max}) ทำได้โดยการนำผลรวมในแต่ละแถวคูณกับเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก (Weighting matrix) ดังแสดงในตัวอย่างการคำนวณ โดยค่า n คือจำนวนปัจจัยที่พิจารณา และสัมพันธ์กับค่า RI ดังตารางที่ 2.3-4

ตารางที่ 2.3-4 Random consistency index (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

ตารางที่ 2.3-5 ตัวอย่างการคำนวณหา Eigenvalue

Criteria	A	B	C	Priorities vector
A	1	0.33	7	0.296
B	3	1	9	0.648
C	0.14	0.11	1	0.056
Sum	**4.14**	**1.44**	**17**	**1**

λ_{max} = (4.14x0.296) + (1.44x0.648) + (17x0.056) = 3.114

$CI = \frac{3.114 - 3}{3 - 1}$ = 0.057

N = 3, RI = 0.58

CR = 0.057/0.058 = 0.098 < *0.1 (ยอมรับได้)*

หลังจากทำการเปรียบเทียบต่างๆ จนได้ข้อมูลตัวเลขครบถ้วนแล้วสร้างตารางสรุปค่า Priorities จากข้อมูลที่ได้ทำการเปรียบเทียบเชิงคู่ มาทั้งหมดเพื่อจัดลำดับหาทางเลือกที่ดีที่สุด จากนั้นจึงทำการปรับการจัดลำดับความสำคัญ (Idealised Priorities) โดยนำค่าที่มากที่สุดหารตลอดทุกค่าเพื่อให้ง่ายและชัดเจนต่อการจัดลำดับดังแสดงในตารางที่ 2.3-6 – 2.3-7

ตารางที่ 2.3-6 ตัวอย่างตารางสรุปค่า Priorities

Criteria Subcriteria Global weights (criteria x subcriteria)	V			W			X	Y	Z	Overall priority
		0.115			0.095		0.480	0.035	0.273	
	A	B	C	D	E	F				
	0.296	0.648	0.056	0.073	0.643	0.282				
Alternative01	0.069	0.200	0.588	0.054	0.046	0.049	0.557	0.056	0.041	0.080
Alternative02	0.069	0.200	0.147	0.054	0.113	0.104	0.267	0.263	0.133	0.173
Alternative03	0.286	0.138	0.184	0.306	0.274	0.243	0.133	0.557	0.557	0.471

ตารางที่ 2.3-7 ตัวอย่างการทำ Normalized

Alternatives	Normalised priorities	Idealised priorities
Alternative 01	0.080	0.169
Alternative 02	0.173	0.367
Alternative 03	0.471	1.000

6. เนื่องจากการศึกษานี้จะใช้การตัดสินใจโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ดังนั้นจึงต้องหาค่าเฉลี่ยทางเรขาคณิต (Geometric Mean Method, V_i) ของการวินิจฉัยเปรียบเทียบในแต่ละคู่ปัจจัยของผู้เชี่ยวชาญแต่ละราย มาคูณกัน แล้วนำเอาผลคูณนั้นมาถอดรากตามจำนวนผู้เชี่ยวชาญ เมื่อได้ค่าเฉลี่ยดังกล่าวแล้วสามารถนำมาคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย และตรวจสอบค่าความสอดคล้องได้ตามกระบวนการข้างต้น ข้อ 2. ถึง ข้อ 5. ได้

2.3.2 วิธีการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight of criteria)

1. วิธีการจัดลำดับ (Ranking Method) เป็นวิธีที่ใช้งานง่าย การประเมินความสำคัญของค่าถ่วงน้ำหนักถูกจัดอยู่ในรูปลำดับภายใต้การพิจารณาของผู้ตัดสินใจ โดยปัจจัยที่สำคัญที่สุดถูกกำหนดให้เป็นลำดับ = 1, สำคัญลำดับสอง = 2 และอื่นๆ การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักใช้หลักการ Rank-order Centroid (ROC) โดยให้ผู้ตัดสินใจจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยตามสูตรการคำนวณของ Barron and Barret (1996) ดังต่อไปนี้

$$w_j = \frac{1}{n}\sum_{k=j}^{n}\frac{1}{r_k} \tag{2.7}$$

โดยที่ w_j = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่พิจารณา j
n = จำนวนปัจจัยทั้งหมด
r_k = อันดับความสำคัญของปัจจัยที่ k

2. วิธีการจัดระดับ (Rating Method) เป็นวิธีที่ผู้ตัดสินใจประเมินค่าถ่วงน้ำหนักด้วยการกำหนดคะแนนไว้ล่วงหน้า เช่นคะแนนอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 หรือ 0 ถึง 100 ปัจจัยที่ได้รับคะแนนมากจะมีความสำคัญมาก เช่น มีปัจจัยที่พิจารณาจำนวน 3 ปัจจัย ได้คะแนน 30, 50 และ 20 ตามลำดับ ผลรวมคะแนนทั้งหมดเท่ากับ 100 ดังนั้นจะได้ค่าน้ำหนักที่กำหนดให้สำหรับแต่ละปัจจัยคือ 0.3, 0.5 และ 0.2 ตามลำดับ โดยวิธีการจัดระดับให้คะแนน Rating นี้จะนำมาใช้ในกรณีที่ปัจจัยที่พิจารณามีค่าลำดับความสำคัญ (Ranking) ใกล้เคียงกัน

2.3.3 การคำนวณคะแนนทางเลือก (Score of Alternatives)

การคำนวณคะแนนทางเลือก (Score) เพื่อใช้ในการเรียงลำดับความสำคัญของเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่เลือกใช้สามารถคำนวณได้จาก

$$Score(a_k) = \sum_{i=1}^{m}\left[w_i^{AHP} \cdot \sum_{j=1}^{n} w_{ij}^{ROC} \cdot f_{ij}(a_k) \right] \tag{2.8}$$

โดยที่ w_i^{AHP} = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยหลักที่พิจารณา i (วิธี AHP)
w_{ij}^{ROC} = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยย่อย j สำหรับปัจจัยหลัก i (วิธี ROC)
n = จำนวนปัจจัยย่อยทั้งหมดภายใต้ปัจจัยหลัก i
m = จำนวนปัจจัยหลักทั้งหมด
$f_{ij}(a_k)$ = คะแนนมาตรฐานของทางเลือก a_k สำหรับปัจจัยย่อย j ภายใต้ปัจจัยหลัก i

คะแนนทางเลือก (Score, a_k) ที่คำนวณได้จะสามารถนำไปเปรียบเทียบกันระหว่างเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่เลือกใช้ว่าวิธีการใดมีความเหมาะสมมากที่สุด โดยจะเห็นได้ว่าคะแนนทางเลือก (Score) จะต้องคำนวณเริ่มต้นจาก คะแนนมาตรฐาน $f_{ij}(a_k)$ ของทางเลือกสำหรับปัจจัยย่อยต่างๆ นำไปคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก (w_{ij}) ของปัจจัยย่อยต่างๆ และค่าถ่วงน้ำหนัก (w_i) ของปัจจัยหลักตามที่ได้ทำการวิจัย แล้วคำนวณเป็นคะแนนรวมทั้งหมดของทางเลือกในท้ายที่สุด การให้คะแนนมาตรฐานของปัจจัยย่อยต่างๆ มีแนวคิดและเกณฑ์การให้คะแนนดังแสดงในภาคผนวก ง.

3. การคัดเลือกปัจจัยและวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้าง

ที่ปรึกษาฯ ได้ทบทวนวรรณกรรมพร้อมเสนอแนะปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าของโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบการก่อสร้างต่างๆ ได้แก่ โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างยกระดับ โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างใต้ดิน โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างระดับดิน เป็นต้น และได้จัดการประชุมระดมความคิดเห็นจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง เพื่อ เพิ่ม ลด ปรับปรุง และประเมินความเกี่ยวข้องของปัจจัย เพื่อนำไปออกแบบแบบสอบถาม เก็บข้อมูลแบบสอบถาม วิเคราะห์หาค่าน้ำหนัก และเปรียบเทียบลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า เพื่อสรุปผลและนำเกณฑ์ที่ได้ไปใช้คัดเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมกับกรณีศึกษา โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม)

3.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

ที่ปรึกษาฯ ได้เสนอแนะปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม โดยจัดแบ่งตามกลุ่มปัจจัยหลัก และปัจจัยย่อยในด้านต่างๆ เช่น ปัจจัยด้านงบประมาณ ปัจจัยด้านระยะเวลา ปัจจัยด้านคุณภาพ รวมถึงข้อจำกัดลักษณะทางกายภาพ ทางนโยบาย ทางกฎหมาย และสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ในแต่ละลักษณะ/รูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ได้แก่ โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างยกระดับ โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างใต้ดิน โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างระดับดิน หรือตามข้อมูลที่ รฟม. กำหนด ดังแสดงในตารางที่ 3.1-1

ตารางที่ 3.1-1 ปัจจัยที่เสนอแนะจากการทบทวนวรรณกรรม

ลำดับ	ปัจจัย	Factor	รายละเอียด
1	**ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์**	**Cost**	
1.1	ค่าวัสดุก่อสร้าง	Material Costs	ค่าใช้จ่ายวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง (Construction Material)
1.2	ค่าแรงงานการก่อสร้าง	Labor Costs	ค่าแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (Construction Worker)
1.3	ค่าเครื่องมือ/เครื่องจักรในการก่อสร้าง	Equipment Costs	ค่าเครื่องมือเครื่องจักร (Construction Equipment)
1.4	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	Site Clearance and Preparation Cost	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค เช่น การรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างเก่า การถางป่าขุดตอ เป็นต้น
1.5	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	Temporary Structure Costs	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง เช่น ค่าติดตั้งนั่งร้าน กำแพงกันดิน ถนนชั่วคราว อุปกรณ์/โครงสร้างช่วยเพิ่มความปลอดภัยระหว่างการก่อสร้าง เป็นต้น
1.6	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	Social, Health and Environment Protection Costs	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม เช่น ค่าใช้จ่ายในการป้องกันและจัดการฝุ่นละออง เสียง แรงสั่นสะเทือน น้ำเสีย ขยะ กลิ่น และมลภาวะอื่นๆ

ลำดับ	ปัจจัย	Factor	รายละเอียด
1.7	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรในระหว่างการก่อสร้าง	Traffic Management Costs	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรในระหว่างการก่อสร้าง เช่น การเบี่ยงทิศทางจราจร การก่อสร้างทางชั่วคราว ป้ายเตือนงานก่อสร้าง แบริเออร์คอนกรีต ไฟเตือน เป็นต้น
1.8	ค่าใช้จ่ายในการชดเชย/แก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง	Damage and Compensation Costs	ค่าใช้จ่ายในการชดเชย/แก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง เช่น การซ่อมแซมหรือชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสิ่งก่อสร้างข้างเคียง เป็นต้น
1.9	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	Maintenance Costs	กำหนดเวลา ความถี่ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ซ่อมแซมและบูรณะสิ่งก่อสร้างตลอดอายุการใช้งาน (Routine Maintenance, Repair, Rehabilitation)
1.10	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	Miscellaneous Costs	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าประกันภัยการก่อสร้าง ค่าเผื่อความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นในการก่อสร้าง (Contingency) เป็นต้น
2	**ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง**	**Engineering and Constructability**	
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	Construction Time	ระยะเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นก่อสร้างจนแล้วเสร็จ
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	Lead Time	ระยะเวลาที่ต้องสั่งของล่วงหน้า เช่น ถ้า Lead Time ของการสั่งวัสดุเท่ากับ 7 วัน หมายความว่าจะต้องสั่งวัสดุล่วงหน้า 7 วันก่อนที่จะถึงวันที่จะใช้งานจริง เป็นต้น
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้งเครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	Transportation and Installation	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ เช่น ระยะทางการขนส่ง ขนาดของเครื่องมือ เครื่องจักร หรือชิ้นส่วนที่ต้องจัดส่งหรือติดตั้ง ช่วงเวลาที่สามารถจัดส่งหรือติดตั้งได้ พื้นที่ในการจัดส่งและติดตั้ง เป็นต้น
2.4	ความสะดวกในการก่อสร้าง	Buildability	ความสะดวกและความง่ายของขั้นตอนหรือวิธีการก่อสร้าง
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง	Safety	ความปลอดภัยจากการเลือกใช้เทคโนโลยี วิธีการก่อสร้าง และเครื่องมือเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้าง สิ่งกีดขวางหรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	Obstacle and External Constraints	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง เช่น ความกว้าง/ยาว/สูง/ลึกของพื้นที่การก่อสร้าง แรงกระทบโครงสร้างใต้ดินของอาคารข้างเคียง เป็นต้น
2.7	ข้อจำกัดในการติดตั้ง/ใช้งาน/บำรุงรักษางานระบบที่เกี่ยวข้อง	Installation and Integration of Building Services	ข้อจำกัดในการติดตั้ง/ใช้งาน/บำรุงรักษางานระบบที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบไฟฟ้า ปรับอากาศ สุขาภิบาล ระบบอัตโนมัติ ระบบอาณัติสัญญาณ สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับผู้พิการ เป็นต้น
2.8	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	Aesthetic Options	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้างเมื่องานก่อสร้างแล้วเสร็จ
2.9	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินและข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน	Soil and Groundwater Condition	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินและข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน เช่น ประเภทของดิน ความสามารถในการรับน้ำหนักได้ของดิน เป็นต้น
2.10	ข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง	Excavation Depth & Location Constraints	ข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง
3	**ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย**	**Social, Health, Environment and Policy**	
3.1	สุขภาพและความปลอดภัยของคนงาน	Workers' Health And Safety	ความเสี่ยงด้านสุขภาพหรือความปลอดภัยของคนงานก่อสร้าง ความเสี่ยงของการบาดเจ็บ เสียชีวิต รวมไปถึงความเสี่ยงด้านสุขภาพเรื้อรังสำหรับผู้ปฏิบัติงานภาคสนามในสภาวะอันตราย

ลำดับ	ปัจจัย	Factor	รายละเอียด
3.2	สุขภาพและความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	Public Health And Safety	ความเสี่ยงและความปลอดภัยในการก่อสร้างของผู้ที่อยู่อาศัยในชุมชนโดยรอบพื้นที่โครงการหรือผู้สัญจรผ่านพื้นที่โครงการในระหว่างการก่อสร้าง เช่น สิ่งของตกจากที่สูง ไฟดูด ไฟไหม้ ก๊าซพิษ หรืออุบัติเหตุจากเครื่องมือเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น
3.3	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	Community Disturbance	ผลกระทบจากการก่อสร้าง อันก่อให้เกิดการรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่นละออง แรงสั่นสะเทือน น้ำเสีย ขยะ กลิ่น ถนนชำรุด และมลภาวะอื่นๆ
3.4	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	Traffic Congestion	ผลกระทบต่อสภาพจราจรที่มาจากการก่อสร้าง เช่น การปิดใช้งานถนน สะพาน หรืออุโมงค์ ในระหว่างการก่อสร้าง เป็นต้น
3.5	ขยะ ของเสีย และมลพิษจากการก่อสร้าง	Waste and Pollution	ปริมาณ ระดับความเป็นพิษ ระดับความรุนแรงของมลพิษจากการก่อสร้าง
3.6	ปริมาณและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	Energy Consumption	ปริมาณและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของวิธีการก่อสร้าง
3.7	ปริมาณและประสิทธิภาพการใช้น้ำ	Water Consumption	ปริมาณและประสิทธิภาพการใช้น้ำของวิธีการก่อสร้าง
3.8	การใช้ซ้ำของส่วนประกอบจากการก่อสร้าง	Recyclable & Renewable Content	การใช้ซ้ำ (Reuse/Recycle and Renewable) ของวัสดุและโครงสร้างชั่วคราวในการก่อสร้าง เช่น ยาง ดิน หิน เหล็ก ไม้ ฯลฯ
3.9	การเพิ่มการจ้างงาน	Influence on Job Market	การเพิ่มการจ้างงานและสร้างรายได้ให้กับแรงงานในพื้นที่และชุมชนโดยรอบ
3.10	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	Government Policy	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ เช่น นโยบายส่งเสริมให้ใช้สินค้าที่ผลิตในประเทศไทย (MiT) นโยบายส่งเสริมและสนับสนุนผู้ประกอบการ SME เป็นต้น

หลังจากนั้นที่ปรึกษาฯ ได้ทำการออกแบบแบบสำรวจ เพื่อคัดเลือกปัจจัยในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในแต่ละลักษณะ/รูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ดังรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ค. โดยประกอบด้วยรูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

- โครงสร้างรถไฟฟ้ายกระดับ
  - รถไฟฟ้ารางหนัก (Heavy Rail) : ฐานราก เสา คานทางวิ่ง สถานี
  - รถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) : ฐานราก เสา คานทางวิ่ง สถานี
- โครงสร้างรถไฟฟ้าใต้ดิน
  - รถไฟฟ้ารางหนัก (Heavy Rail): ทางวิ่ง สถานี
- โครงสร้างรถไฟฟ้าระดับดิน
  - รถไฟฟ้ารางเบา (Light Rail/Tram) : ทางวิ่ง สถานี
  - ศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดรถ

และจากการประชุมระดมความคิดเห็นของผู้ที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ทำการคัดเลือกปัจจัยในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในแต่ละลักษณะ/รูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าจากปัจจัยที่ได้นำเสนอ ได้ผลการระดมความคิดเห็นแสดงดังตารางที่ 3.1-2 โดยมีนิยามของสรุปปัจจัยภายหลังการคัดเลือก ดังแสดงในตารางที่ 3.1-3

ตารางที่ 3.1-2 การเปลี่ยนแปลงรายละเอียดปัจจัย จากการประชุมคัดเลือกปัจจัยในการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

ลำดับ	ปัจจัย (ก่อนการประชุม)	การเปลี่ยนแปลงจากการประชุม
1	**ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ (Cost)**	
1.1	ค่าวัสดุก่อสร้าง (Material Costs)	รวมปัจจัย 1.1) ค่าวัสดุก่อสร้าง 1.2) ค่าแรงงานการก่อสร้าง และ 1.3) ค่าเครื่องมือ/เครื่องจักรในการก่อสร้าง เป็นปัจจัยเดียว ชื่อว่า “ปัจจัยค่าก่อสร้าง (Construction Costs)”
1.2	ค่าแรงงานการก่อสร้าง (Labor Costs)	
1.3	ค่าเครื่องมือ/เครื่องจักรในการก่อสร้าง (Equipment Costs)	
1.4	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค (Site Clearance and Preparation Cost)	
1.5	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง (Temporary Structure Costs)	
1.6	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม (Social, Health and Environmental Protection Costs)	
1.7	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรในระหว่างการก่อสร้าง (Traffic Management Costs)	เปลี่ยนชื่อเป็น “ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง (Traffic Management Costs)”
1.8	ค่าใช้จ่ายในการชดเชย/แก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง (Damage and Compensation Costs)	ย้ายปัจจัยไปอยู่ในปัจจัย 1.10) ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (Miscellaneous Costs)
1.9	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (Maintenance Costs)	
1.10	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าประกันภัย ค่าเผื่อความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นในการก่อสร้าง เป็นต้น (Miscellaneous Costs)	เพิ่มเติมรายละเอียดจากปัจจัยที่ 1.8)
		เพิ่มปัจจัย “ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน (Land Expropriation Costs)”
2	**ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง (Engineering and Constructability)**	
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง (Construction Time)	
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (Lead Time)	
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (Transportation and Installation)	
2.4	ความสะดวกในการก่อสร้าง (Buildability)	เปลี่ยนชื่อเป็น “ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง (Expertise and Experience)”
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง (Safety)	เปลี่ยนชื่อเป็น “ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ (Construction Safety and Risk)”
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง (Obstacle and External Constraints)	เพิ่มเติมรายละเอียดจากปัจจัยที่ 2.10)

ลำดับ	ปัจจัย (ก่อนการประชุม)	การเปลี่ยนแปลงจากการประชุม
2.7	ข้อจำกัดในการติดตั้ง/ใช้งาน/บำรุงรักษางานระบบที่เกี่ยวข้อง (Installation and Integration of Building Services)	ตัดปัจจัยออก
2.8	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง (Aesthetic Options)	
2.9	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินและข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน (Soil and Groundwater Condition)	เพิ่มเติมรายละเอียดจากปัจจัยที่ 2.10)
2.10	ข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง (Excavation Depth and Location Constraints)	• ย้ายรายละเอียดในส่วนของ “ข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด” ไปอยู่ในปัจจัย 2.9) “คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินและข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน (Soil and Groundwater Condition)” • ย้ายรายละเอียดในส่วนของ “ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง” ไปอยู่ในปัจจัย 2.6) “ข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง (Obstacle and External Constraints)”
3	**ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย (Social, Health, Environment and Policy)**	
3.1	สุขภาพและความปลอดภัยของคนงาน (Workers’ Health And Safety)	ตัดปัจจัยออก
3.2	สุขภาพและความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่ (Public Health And Safety)	เปลี่ยนชื่อเป็น “ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่ (Public Safety)”
3.3	การรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่น แรงสั่นสะเทือน และมลภาวะอื่นๆ (Community Disturbance)	
3.4	ผลกระทบต่อสภาพจราจร (Traffic Congestion)	
3.5	ขยะ ของเสีย และมลพิษจากการก่อสร้าง (Waste and Pollution)	รวมปัจจัย 3.5) ขยะ ของเสีย และมลพิษจากการก่อสร้าง (Waste and Pollution) 3.6) ปริมาณและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Consumption) 3.7) ปริมาณและประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water Consumption) 3.8) การใช้ซ้ำของส่วนประกอบจากการก่อสร้าง เช่น ยาง ดิน หิน เหล็ก ไม้ เป็นต้น (Recyclable & Renewable Contents) เป็นปัจจัยเดียว ชื่อว่า “ความยั่งยืนในการก่อสร้าง (Sustainable)”
3.6	ปริมาณและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Consumption)	
3.7	ปริมาณและประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water Consumption)	
3.8	การใช้ซ้ำของส่วนประกอบจากการก่อสร้าง เช่น ยาง ดิน หิน เหล็ก ไม้ เป็นต้น (Recyclable & Renewable Contents)	
3.9	การเพิ่มการจ้างงาน (Influence on Job Market)	เปลี่ยนชื่อเป็น “การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (Influence on Job Market)”
3.10	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ เช่น นโยบายส่งเสริมให้ใช้สินค้าที่ผลิตในประเทศไทย (MiT) นโยบายส่งเสริมและสนับสนุนผู้ประกอบการ SME เป็นต้น	
		เพิ่มปัจจัย “ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน (Land Expropriation)”

ตารางที่ 3.1-3 ความหมายและคำอธิบายเพิ่มเติมของปัจจัยในการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

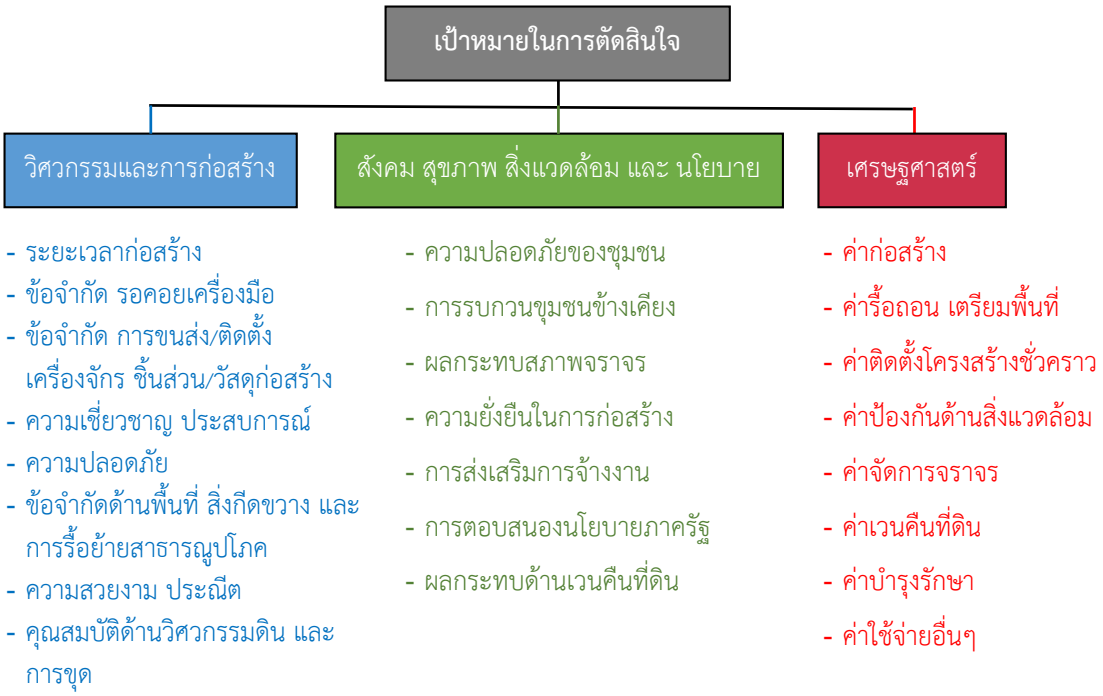
ลำดับ	ปัจจัย	Factor	รายละเอียด
1	**ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์**	**Cost**	
1.1	ค่าก่อสร้าง	Construction Costs	ค่าใช้จ่ายทางตรงในการก่อสร้าง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง (Construction Material) ค่าแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (Construction Worker) และค่าเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง (Construction Equipment)
1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	Site Clearance and Preparation Cost	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค เช่น การรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างเก่า การถางป่าขุดตอ เป็นต้น
1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	Temporary Structure Costs	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง เช่น ค่าติดตั้งนั่งร้าน กำแพงกันดิน ถนนชั่วคราว อุปกรณ์/โครงสร้างช่วยเพิ่มความปลอดภัยระหว่างการก่อสร้าง เป็นต้น
1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	Social, Health and Environment Protection Costs	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม เช่น ค่าใช้จ่ายในการป้องกันและจัดการฝุ่นละออง เสียงดัง แรงสั่นสะเทือน น้ำเสีย ขยะ กลิ่น และมลภาวะอื่นๆ เป็นต้น
1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง	Traffic Management Costs	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง เช่น การเบี่ยงทิศทางจราจร การก่อสร้างทางชั่วคราว ป้ายเตือนงานก่อสร้าง แบริเออร์คอนกรีต ไฟเตือน เป็นต้น
1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	Land Expropriation Costs	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน โดยภาครัฐหรือหน่วยงานราชการทำการบังคับขอซื้อที่ดินคืนจากประชาชนที่เป็นเจ้าของที่ดิน เพื่อนำไปใช้ในกิจการที่เป็นสาธารณประโยชน์ พัฒนาระบบสาธารณูปโภคของประเทศ เช่น สร้างถนน สร้างทางพิเศษหรือทางด่วน สร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ สร้างสถานีรถไฟฟ้าหรือสร้างรางรถไฟฟ้า เป็นต้น
1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	Maintenance Costs	กำหนดเวลา ความถี่ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ซ่อมแซม และบูรณะสิ่งก่อสร้างตลอดอายุการใช้งาน (Routine Maintenance, Repair, Rehabilitation)
1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	Miscellaneous Costs	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าประกันภัยการก่อสร้าง ค่าเผื่อความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นในการก่อสร้าง (Contingency) ค่าใช้จ่ายในการชดเชย/แก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง เช่น การซ่อมแซมหรือชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสิ่งก่อสร้างข้างเคียง เป็นต้น

ลำดับ	ปัจจัย	Factor	รายละเอียด
2	**ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง**	**Engineering and Constructability**	
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	Construction Time	ระยะเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นก่อสร้างจนแล้วเสร็จ
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	Lead Time	ระยะเวลาที่ต้องสั่งของล่วงหน้า เช่น ถ้า Lead Time ของการสั่งวัสดุเท่ากับ 7 วัน หมายความว่าจะต้องสั่งวัสดุล่วงหน้า 7 วันก่อนที่จะถึงวันที่จะใช้งานจริง เป็นต้น
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	Transportation and Installation	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ เช่น ระยะทางการขนส่ง ขนาดของเครื่องมือ เครื่องจักร หรือชิ้นส่วนที่ต้องจัดส่งหรือติดตั้ง ช่วงเวลาที่สามารถจัดส่งหรือติดตั้งได้ พื้นที่ในการจัดส่งและติดตั้ง เป็นต้น
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	Expertise and Experience	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้างในการใช้เทคโนโลยีหรือวิธีการก่อสร้างที่กำหนด
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	Construction Safety and Risk	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการเลือกใช้เทคโนโลยีหรือวิธีการก่อสร้างและเครื่องมือเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง โดยหมายรวมทั้งความถี่และความรุนแรงของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	Location Constraints, Obstacle and External Constraint	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้าง ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง สาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง เช่น ความกว้าง/ยาว/สูง/ลึกของพื้นที่ก่อสร้าง แรงกระทบโครงสร้างใต้ดินต่ออาคารข้างเคียง รวมไปถึงความต่อเนื่องกันของโครงการ เป็นต้น
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	Aesthetic Options	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้างเมื่องานก่อสร้างแล้วเสร็จ เช่น กรณีที่ก่อสร้างในพื้นที่อ่อนไหว (Sensitive area) อาจมีความจำเป็นต้องพิจารณาถึงความสวยงามและวิธีการก่อสร้างเป็นพิเศษ เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับพื้นที่ดังกล่าว
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	Soil , Groundwater Condition and Excavation Depth	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และระดับความลึกในการขุด เช่น ประเภทของดิน ความสามารถในการรับน้ำหนักได้ของดิน เป็นต้น

ลำดับ	ปัจจัย	Factor	รายละเอียด
3	**ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย**	**Social, Health, Environment and Policy**	
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบ และผู้สัญจรผ่านพื้นที่	Public Safety	ความเสี่ยงและความปลอดภัยในการก่อสร้างของผู้ที่อยู่อาศัยในชุมชนโดยรอบพื้นที่โครงการหรือผู้สัญจรผ่านพื้นที่โครงการในระหว่างการก่อสร้าง เช่น สิ่งของตกจากที่สูง ไฟดูด ไฟไหม้ ก๊าซพิษ หรืออุบัติเหตุจากเครื่องมือเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	Community Disturbance	ผลกระทบจากการก่อสร้าง อันก่อให้เกิดการรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่นละออง แรงสั่นสะเทือน น้ำเสีย ขยะ กลิ่น ถนนชำรุด และมลภาวะอื่นๆ
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	Traffic Congestion	ผลกระทบต่อสภาพจราจรที่มาจากการก่อสร้าง เช่น การปิดใช้งานถนน สะพาน หรืออุโมงค์ในระหว่างการก่อสร้าง เป็นต้น
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	Sustainable	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง ประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรในงานก่อสร้าง เช่น ปริมาณการเกิดขยะ ของเสียและมลพิษจากการก่อสร้าง ระดับความเป็นพิษ ระดับความรุนแรงของมลพิษจากการก่อสร้าง ปริมาณประสิทธิภาพการใช้น้ำและพลังงานของวิธีการก่อสร้าง การใช้ซ้ำ (Reuse, Recycle and Renewable) ของวัสดุและโครงสร้างชั่วคราวที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น ยาง ดิน หิน เหล็ก ไม้ เป็นต้น
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	Influence on Job Market	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ให้กับแรงงานในพื้นที่และชุมชนโดยรอบ
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	Government Policy	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ เช่น นโยบายส่งเสริมให้ใช้สินค้าที่ผลิตในประเทศไทย (MiT) นโยบายส่งเสริมและสนับสนุนผู้ประกอบการ SME เป็นต้น
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	Land Expropriation	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดินต่อประชาชนรอบโครงการ โดยภาครัฐหรือหน่วยงานราชการทำการบังคับขอซื้อที่ดินคืนจากประชาชนที่เป็นเจ้าของที่ดิน เพื่อนำไปใช้ในกิจการที่เป็นสาธารณประโยชน์ พัฒนาระบบสาธารณูปโภคของประเทศ เช่น สร้างถนน สร้างทางพิเศษหรือทางด่วน สร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ สร้างสถานีรถไฟฟ้าหรือสร้างรางรถไฟฟ้า เป็นต้น

3.2 การนำปัจจัยที่คัดเลือกมาประยุกต์ใช้ในโครงการด้วยวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

การวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาเปรียบเทียบเทคนิควิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าตามรูปแบบที่ทาง รฟม. กำหนด โดยวิเคราะห์จากปัจจัยที่มีผลในการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างซึ่งได้ทำการคัดเลือกในหัวข้อก่อนหน้า โดยสามารถสรุปปัจจัยสำคัญที่จะนำมาใช้เปรียบเทียบเพื่อประเมินวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้านำเสนอในรูปแบบแผนภูมิต้นไม้ ดังแสดงในรูปที่ 3.2-1



รูปที่ 3.2-1 แผนภูมิต้นไม้แสดงปัจจัยหลักและปัจจัยย่อยของการเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้างรถไฟฟ้า

ทางที่ปรึกษาฯ ขอนำเสนอใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process, AHP) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด โดยมีหลักการ คือ แบ่งโครงสร้างของปัญหาออกเป็นชั้นๆ ชั้นแรก คือ การกำหนดเป้าหมาย (Goal) แล้วจึงกำหนดเกณฑ์ (Criteria) เกณฑ์ย่อย (Sub criteria) และทางเลือก (Alternatives) ตามลำดับ หลังจากนั้นจึงวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยวิธี AHP มีวิธีการดำเนินการศึกษาประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. การคัดเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้าง
2. การระบุปัจจัยที่ใช้ในการเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้าง
3. การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์และใช้แบบสอบถาม
4. การเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม
5. การวิเคราะห์ข้อมูล AHP

1. การคัดเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้าง

ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดเทคนิควิธีการก่อสร้างเป้าหมายซึ่งเป็นการคัดเลือกโดยใช้ดุลพินิจของผู้วิจัยเองว่ามีลักษณะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา ในงานวิจัยนี้จะเป็นการคัดเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่ทาง รฟม. ได้กำหนดรูปแบบเอาไว้แล้ว ดังนั้นในขั้นตอนการดำเนินงานจริงจะต้องทำการกำหนดรูปแบบและกรณีวิธีการก่อสร้างที่ต้องการพิจารณาไว้ก่อน เช่น กรณีวิธีการก่อสร้างโครงสร้างเสาเข็มและฐานรากของโครงการรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) ที่ทาง รฟม. กำหนด อาจพิจารณาเทคนิควิธีการก่อสร้างระหว่าง วิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) เปรียบเทียบกับวิธีก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile) เป็นต้น

2. การวิเคราะห์ปัจจัยในการจัดลำดับ

ขั้นตอนที่สองเป็นการกำหนดปัจจัยหลักที่สำคัญในการจัดลำดับรูปแบบการก่อสร้างโดยสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญและผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในหน่วยงาน รฟม. โดยมีปัจจัยหลักในการวิเคราะห์ 3 ปัจจัย ดังนี้

1. เศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย ค่าก่อสร้าง ค่าบำรุงรักษา และค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ฯลฯ
2. วิศวกรรม ประกอบด้วย ระยะเวลาก่อสร้าง ความปลอดภัย ข้อจำกัดด้านกายภาพ ฯลฯ
3. สิ่งแวดล้อม สังคมและสุขภาพ คือ ผลกระทบด้านอากาศ เสียง การระบายน้ำ การเวนคืนที่ดิน ฯลฯ

ตัวอย่างรูปแบบการก่อสร้างที่เป็นทางเลือกในการเปรียบเทียบได้แก่ โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างยกระดับ โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างใต้ดิน โครงการรถไฟฟ้าที่มีโครงสร้างระดับดิน เป็นต้น ซึ่งแบบสอบถามจะถูกใช้ในการวัดความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในสาขาและรูปแบบการก่อสร้างที่เกี่ยวข้องเพื่อเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างคู่ปัจจัยหลักด้านต่างๆ โดยใช้การวัดแบบสัมพัทธ์ 5 ระดับดังนี้

- ทั้งสองปัจจัยเหมาะสมพอกัน โดยให้ค่าน้ำหนัก 1
- ปัจจัย A สำคัญกว่าเล็กน้อย โดยให้ค่าน้ำหนัก 3
- ปัจจัย A สำคัญกว่าพอประมาณ โดยให้ค่าน้ำหนัก 5
- ปัจจัย A สำคัญกว่ามาก โดยให้ค่าน้ำหนัก 7
- ปัจจัย A สำคัญกว่ามากที่สุด โดยให้ค่าน้ำหนัก 9

โดยจะถามถึงการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยหลัก คือ ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านวิศวกรรมฯ และด้านสิ่งแวดล้อมฯ โดยใช้การวัดแบบสัมพัทธ์ 5 ระดับข้างต้น และในลำดับสุดท้ายจะสอบถามถึงความสำคัญของปัจจัยย่อยในแต่ละปัจจัยหลัก ของกรณีการก่อสร้างส่วนโครงสร้างต่างๆ ในแต่ละรูปแบบของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้า ด้วยค่าสัมพัทธ์ในการจัดลำดับและจัดระดับอีกทีหนึ่ง

3. แบบสอบถาม

แบบสอบถามจะประกอบไปด้วยคำถามที่ให้ผู้ตอบเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยหลักระหว่างวิธีการก่อสร้างทั้งสาม และการเปรียบเทียบความสำคัญให้ค่าน้ำหนักของปัจจัยรองภายในแต่ละปัจจัยย่อยดังแสดงในรูปที่ 3.2-1 โดยสามารถดูรายละเอียดของแบบสอบถามได้ในภาคผนวก ค.

4. การเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม

ที่ปรึกษาฯ ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียกับโครงการของ รฟม.ครอบคลุมทั้งผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโครงสร้าง ปฐพี บริหารงานก่อสร้าง เศรษฐศาสตร์และ

สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญของ รฟม. วิศวกรที่ปรึกษา ผู้รับเหมา และอาจารย์มหาวิทยาลัย ทั้งนี้เพื่อให้ได้ความคิดเห็นที่ครอบคลุมของทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องอย่างเท่าเทียม โดยผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนจะตอบแบบสอบถามเฉพาะส่วนที่ตรงกับประสบการณ์การทำงานของตน และในแต่ละกรณีของส่วนโครงสร้างในแต่ละรูปแบบการก่อสร้างจะมีผู้เชี่ยวชาญให้ข้อมูลมากกว่า 10 คน ดังมีรายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ได้อนุเคราะห์ตอบแบบสอบถามครั้งนี้มีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ค. ซึ่งเป็นจำนวนที่มากเพียงพอสำหรับการนำไปหาค่าเฉลี่ยทางสถิติ จากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่าน้ำหนักของปัจจัยย่อย ปัจจัยหลัก และทางเลือกต่างๆ ตามลำดับ เพื่อให้ได้ค่าความสำคัญ (Priority) ของเทคนิควิธีการก่อสร้าง โดยใช้แบบสอบถามข้างต้น ทั้งนี้หากคำตอบของผู้เชี่ยวชาญในข้อใดมีความไม่สอดคล้องกันมากจนไม่ผ่านเกณฑ์จะต้องทำการแก้คำตอบเพื่อให้ได้ค่าที่สอดคล้องจึงจะสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ผลต่อได้

5. การวิเคราะห์ข้อมูล AHP

เมื่อได้ข้อมูลจากแบบสอบถามแล้ว ที่ปรึกษาฯ จะนำข้อมูลที่ได้ไปใช้วิเคราะห์ปัจจัยและลำดับของทางเลือก โดยจะได้ผลลัพธ์เป็นค่าน้ำหนักของปัจจัยย่อยและปัจจัยหลัก รวมทั้งลำดับความสำคัญของทางเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้าง ซึ่งจะนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการช่วยตัดสินใจวิเคราะห์เลือกเทคนิควิธีการก่อสร้างในกรณีของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ต่อไป

3.3 การสำรวจข้อมูลเพื่อใช้ในการกำหนดน้ำหนักของปัจจัย

ที่ปรึกษาฯ ได้ทำการเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์สอบถามผู้เชี่ยวชาญโดยให้ทำแบบสอบถาม (รายชื่อผู้เชี่ยวชาญที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลและตัวอย่างแบบสอบถามดังแสดงไว้ในภาคผนวก ค.) แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ใช้ในการเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ซึ่งทางที่ปรึกษาฯ ได้พิจารณาใช้เทคนิคการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่เหมาะสมกับจำนวนปัจจัย โดยเลือกใช้วิธี AHP ในการหาน้ำหนักของปัจจัยหลัก ซึ่งมีเพียง 3 ปัจจัย ในขณะที่การหาน้ำหนักของปัจจัยย่อยที่มีจำนวนมากถึง 7-8 ปัจจัย ทำให้ไม่เหมาะสมต่อการใช้เทคนิค AHP ที่ปรึกษาจึงใช้เทคนิค Ratio method แทน คือการคำนวณค่าน้ำหนักจาก weight ที่ผู้เชี่ยวชาญให้กับแต่ละปัจจัย

น้ำหนักของปัจจัยในการตัดสินใจเลือกเทคนิคการก่อสร้างอาจจะแตกต่างกันตามรูปแบบระบบรถไฟฟ้าและโครงสร้างที่พิจารณา ดังนั้นในที่นี้จึงเลือกใช้แบบสอบถามที่แบ่งออกเป็น 11 กรณีดังนี้

- รูปแบบโครงการรถไฟฟ้ารางเบา จำแนกตามโครงสร้างออกเป็น 4 ส่วนคือ ฐานราก เสาตอม่อและคานขวาง คานทางวิ่ง และ สถานี
- รูปแบบโครงการรถไฟฟ้ารางหนักยกระดับ จำแนกตามโครงสร้างออกเป็น 4 ส่วนคือ ฐานราก เสาตอม่อและคาน คานทางวิ่ง และ สถานี
- รูปแบบโครงการรถไฟฟ้ารางหนักใต้ดิน จำแนกตามโครงสร้างออกเป็น 2 ส่วนคือ อุโมงค์ทางวิ่ง และ สถานี
- รูปแบบอาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจร

ในแต่ละกรณีจะมีแบบสอบถาม 2 ส่วนคือแบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยหลัก และแบบสอบถามเกี่ยวกับปัจจัยรอง ทั้งนี้แบบสอบถามจะประกอบไปด้วยคำถาม 2 ส่วนหลักคือ

1. การเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างคู่ปัจจัยหลัก เช่น การเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ เทียบกับปัจจัยด้านวิศวกรรม เป็นต้น
2. การจัดลำดับและให้น้ำหนักความสำคัญแก่ปัจจัยย่อยของปัจจัยหลักทั้ง 3 ด้าน

3.4 ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยจากข้อมูลผู้เชี่ยวชาญ

3.4.1 การหาค่าน้ำหนักของปัจจัยหลัก

เมื่อได้ข้อมูลจากแบบสอบถามแล้ว ที่ปรึกษาจะทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้การหาค่าเฉลี่ยจากน้ำหนักที่ผู้เชี่ยวชาญกำหนด โดยในกรณีของปัจจัยหลักที่ใช้วิธี AHP ค่าเฉลี่ยจะเป็นแบบเรขาคณิตหรือแสดงดังสมการ

$$\bar{x} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^{n} x_i}$$

ตารางที่ 3.4-1 แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยของการเปรียบเทียบน้ำหนักของปัจจัยหลักสำหรับรถไฟฟ้ารางหนักแบบยกระดับ ที่ได้จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญ เมื่อได้ค่าเฉลี่ยแล้วในลำดับถัดไปจึงทำการหาผลรวมการเปรียบเทียบในแต่ละคอลัมน์ของตารางดังแสดงในตารางที่ 3.4-1 เช่น 1.0+1.23+0.66 = 2.89

ค่าในตารางที่ 3.4.1 จะถูกนำไปคำนวณหาค่าน้ำหนักแบบ Normalized ดังแสดงในตารางที่ 3.4-2 ค่าที่แสดงในตารางที่ 3.4-2 ถูกคำนวณด้วยขั้นตอนดังแสดงตัวอย่างต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4-1 ค่าเฉลี่ยการเปรียบเทียบน้ำหนักของปัจจัยหลัก สำหรับรถไฟฟ้ารางหนักยกระดับ

ปัจจัย	เศรษฐศาสตร์	วิศวกรรมและการก่อสร้าง	สังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย
เศรษฐศาสตร์	1.00	0.81	1.52
วิศวกรรมและการก่อสร้าง	1.23	1.00	2.43
สังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย	0.66	0.41	1.00
รวม	2.89	2.23	4.95

ตารางที่ 3.4-2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์น้ำหนักแบบ Normalized ของปัจจัยหลักของรถไฟฟ้ารางหนัก ยกระดับ

ปัจจัย	เศรษฐศาสตร์	วิศวกรรมและการก่อสร้าง	สังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย	น้ำหนักของปัจจัย
เศรษฐศาสตร์	0.346	0.366	0.306	0.340
วิศวกรรมและการก่อสร้าง	0.425	0.449	0.491	0.455
สังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย	0.229	0.185	0.202	0.205

ค่าน้ำหนักปัจจัยในคอลัมน์ที่ 1 ของตารางที่ 3.4-2 ได้จากการนำค่าในคอลัมน์ที่ 1 ของตารางที่ 3.4-1 หารด้วยผลรวมของคอลัมน์ที่ 1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.89 ยกตัวอย่างเช่น 1/2.89 = 0.346

เมื่อคำนวณค่าในตารางที่ 3.4-2 ครบถ้วนแล้ว ให้นำค่าในแต่ละแถวมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักของปัจจัยนั้น ยกตัวอย่างเช่น ค่าน้ำหนักของปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยในแถวที่ 1 ของตาราง 3.4-2 หรือเท่ากับ (0.346+0.366+0.306)/3 = 0.340

ทั้งนี้ก่อนที่จะนำค่าจากการสำรวจของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนไปใช้งาน จะต้องผ่านการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio) ด้วย ซึ่งมีกระบวนการดังต่อไปนี้ นำค่าเปรียบเทียบน้ำหนักของปัจจัยในตารางที่ 3.4-1 (Matrix A) มาคูณกับค่าเฉลี่ยน้ำหนักของปัจจัยที่หาได้ในตารางที่ 3.4-2 (Matrix B) จะได้ผลลัพธ์คือ Matrix C

$$\begin{matrix} & A & & & B & & C \end{matrix}$$
$$\begin{bmatrix} 1 & 0.81 & 1.52 \\ 1.23 & 1 & 2.43 \\ 0.66 & 0.41 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.34 \\ 0.455 \\ 0.205 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.02 \\ 1.371 \\ 0.616 \end{bmatrix}$$

หารตัวเลขใน Matrix C ด้วย Matrix B จะได้ Matrix D

$$D = \begin{bmatrix} 1.02/0.34 \\ 1.371/0.455 \\ 0.616/0.205 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.00 \\ 3.014 \\ 3.005 \end{bmatrix}$$

หาค่าเฉลี่ยของ Matrix D จะได้ค่า λ_{max} = (3.00+3.014+3.005)/3 = 3.006

หาค่า Consistency index (***CI***) โดยใช้สูตร $CI = \frac{\lambda_{max} - N}{N-1} = \frac{3.006-3}{3-1} = 0.002$

หาค่า Random Index (***RI***) จากตารางต่อไปนี้ โดยที่ ***N*** คือจำนวนปัจจัย ดังนั้นในการศึกษานี้ค่า ***RI*** จึงมีค่าเท่ากับ 0.58

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

ค่าอัตราส่วนความสอดคล้องหรือ ***CR*** จะมีค่าเท่ากับ $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.002}{0.58} = 0.0034$

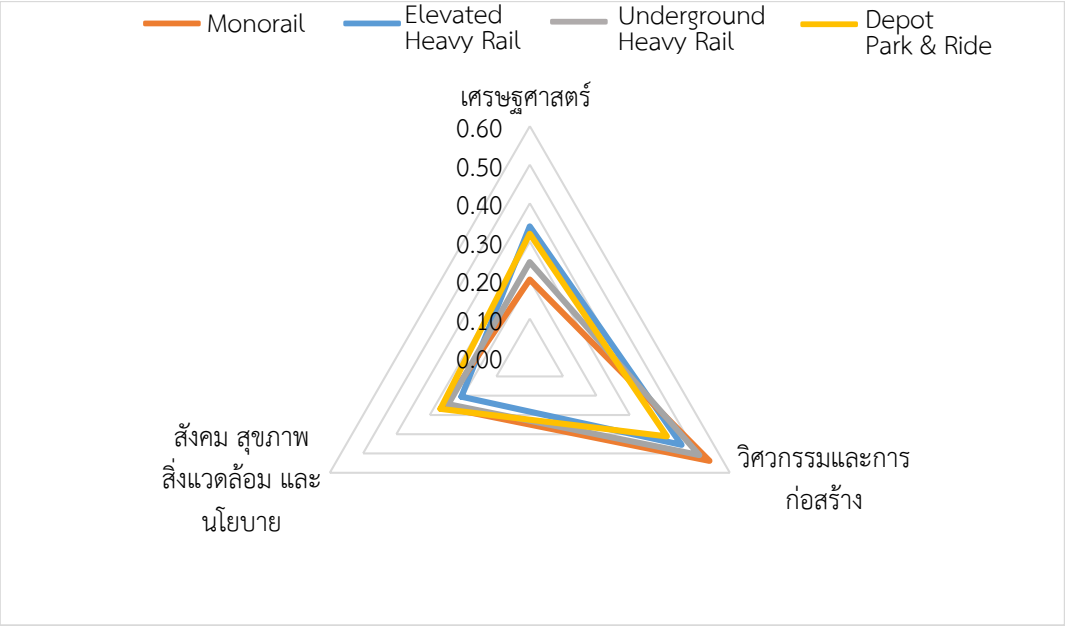
โดยทั่วไปหาก ***CR*** มีค่าต่ำกว่า 0.1 จะถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เนื่องด้วยใช้การให้คะแนน 5 ระดับ ทำให้ค่า ***CR*** สูงขึ้นมากกว่าการให้คะแนนที่มีความละเอียด จึงพิจารณาใช้ค่า ***CR*** ที่ยอมรับได้เท่ากับ 0.15 ของแต่ละแบบสอบถาม

ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักพบว่า ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง มีค่าน้ำหนักสูงที่สุดเท่ากับ 0.455 ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์มีน้ำหนักเท่ากับ 0.340 และปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อมและนโยบาย มีค่าน้ำหนักเท่ากับ 0.205

ตารางที่ 3.4-3 แสดงผลสรุปค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักของทุกระบบ และรูปที่ 3.4-1 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักของทุกระบบ จะเห็นได้ว่าปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของทุกระบบรถไฟฟ้า โดยมีน้ำหนักอยู่ที่ร้อยละ 41-54 ทั้งนี้ในกรณีของอาคารศูนย์ซ่อมบำรุงความสำคัญของปัจจัยด้านวิศวกรรมจะลดลงมาที่ระดับใกล้เคียงกับปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ในขณะที่ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อมและนโยบาย มีความสำคัญต่ำที่สุดในทุกกรณี โดยมีน้ำหนักอยู่ที่ร้อยละ 21-27

ตารางที่ 3.4-3 แสดงผลการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของปัจจัยหลักของปัจจัยหลักสำหรับทุกระบบ

ปัจจัย	Monorail	Elevated Heavy Rail	Underground Heavy Rail	Depot and Park & Ride
เศรษฐศาสตร์	0.20	0.34	0.25	0.32
วิศวกรรมและการก่อสร้าง	0.54	0.46	0.51	0.41
สังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย	0.26	0.21	0.24	0.27



รูปที่ 3.4-1 การเปรียบเทียบน้ำหนักของปัจจัยหลักของทุกระบบ

3.4.2 การหาค่าน้ำหนักของปัจจัยรอง

เนื่องจากปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างอาจมีจำนวนมากหลายปัจจัย อีกทั้งรูปแบบของงานก่อสร้างที่ต้องคำนึงถึงมีหลายกรณี อาทิ การก่อสร้างทางรถไฟฟ้ายกระดับ การก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน การก่อสร้างโครงสร้างสถานี การก่อสร้างอาคารทั่วไป อาคารจอดและจรฯลฯ ซึ่งแต่ละรูปแบบของการก่อสร้างต้องทำการพิจารณาหาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างของกรณีการก่อสร้างนั้นๆ การใช้การวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (Analytic Hierarchy Process, AHP) ตามที่ได้นำเสนอข้างต้นซึ่งจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากการทำแบบสอบถามของ

ผู้เชี่ยวชาญจำนวนหลายท่านด้วยวิธีการเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัย (Pairwise comparison) จะมีผลทำให้ต้องทำแบบสอบถามจำนวนมาก ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการตอบแบบสอบถามก็มีจำนวนมาก แต่การทำแบบสอบถามจำนวนมากภายในกรอบเวลาที่จำกัด อาจได้ผลที่ขาดความสอดคล้องและเกิดการผิดพลาดขึ้นได้ง่าย ดังนั้นเพื่อลดปัญหาดังกล่าวและพยายามให้ข้อมูลที่ได้จากการทำแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญมีความถูกต้อง ทางที่ปรึกษาจึงประยุกต์ใช้เทคนิคการคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักเป็นการให้คะแนนของแต่ละปัจจัยต่างๆ หลายปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้าง การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์หรือหลายปัจจัยเพื่อวิเคราะห์ทางเลือกที่เหมาะสม เป็นการนำทางเลือกปัจจัยต่างๆ ที่พิจารณา นำมาเรียงลำดับเลือกปัจจัยที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งปัจจัยต่างๆ นั้นมีความสำคัญไม่เท่ากัน จึงต้องมีการให้ค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัย โดยในโครงการวิจัยนี้ได้เลือกประยุกต์ใช้การคำนวณด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking method) และ วิธีการจัดระดับ (Rating method)

ในกรณีของปัจจัยรอง ค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่ได้จากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญจะถูกคำนวณด้วยวิธี Rank Ordered Centroid (ROC) ดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 3.4-4

ตารางที่ 3.4-4 ตัวอย่างการคำนวณค่าน้ำหนักแบบ ROC

ลำดับ	ปัจจัย	ค่าส่วนกลับ	ผลรวม	ค่าน้ำหนัก
1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่าน	1	2.593	0.370
2	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	0.50	1.593	0.228
3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	0.333	1.093	0.156
4	การรบกวนชุมชน	0.25	0.760	0.109
5	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	0.20	0.510	0.073
6	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	0.167	0.310	0.044
7	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	0.143	0.143	0.020

การหาค่าน้ำหนักแบบ ROC จะเริ่มต้นจากการหาค่าส่วนกลับของปัจจัยในแต่ละลำดับ เช่น ปัจจัยอันดับที่ 1 จะมีค่าส่วนกลับ 1/1 = 1 หรือปัจจัยลำดับที่สองจะมีค่าส่วนกลับเท่ากับ ½ = 0.5 เป็นต้น ค่าน้ำหนักของปัจจัยแต่ละลำดับจะคำนวณจากค่าผลรวมของแต่ละลำดับหารด้วยจำนวนปัจจัยทั้งหมด เช่น ในกรณีของปัจจัยลำดับที่ 1 ค่าผลรวมคำนวณจากค่าส่วนกลับของลำดับที่ 1 ถึงลำดับสุดท้าย นั่นคือ (1+0.5+0.33+0.25+0.2+0.167+0.143) = 2.593 จากนั้นจึงนำค่าผลรวมไปหารด้วยจำนวนปัจจัยคือ 2.593/7 = 0.37 เป็นค่าน้ำหนักของลำดับที่ 1 และทำเช่นเดียวกันกับปัจจัยแต่ละลำดับเพื่อหาค่าน้ำหนักของปัจจัยนั้นๆ

ตารางที่ 3.4-5 แสดงผลการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักทั้งหมดของทุกส่วนโครงสร้างที่ทำการศึกษา (เสาเข็มและฐานราก เสาและคานขวาง คานทางวิ่ง อุโมงค์ทางวิ่ง สถานี และ อาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจร) รวมถึงแสดงค่าน้ำหนักเฉลี่ยของทุกๆ ปัจจัยที่ได้คัดเลือก ทั้งปัจจัยหลัก (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยด้านวิศวกรรม และ ปัจจัยด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม) และปัจจัยรองในทุกๆ ด้าน สำหรับโครงสร้างของทุกระบบรถไฟฟ้าที่พิจารณา ซึ่งประกอบด้วย รถไฟฟ้ารางเบา รถไฟฟ้ารางหนักยกระดับ รถไฟฟ้ารางหนักใต้ดิน และ อาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจร

ตารางที่ 3.4-5 ผลค่าน้ำหนักของทุกปัจจัยในส่วนโครงสร้างต่างๆ สำหรับการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าระบบต่างๆ

ปัจจัย		Monorail					Elevated Heavy Rail					Underground Heavy Rail			Depot and Park & Ride
		เสาเข็ม / ฐานราก	เสาตอม่อ และ คาน	คานทางวิ่ง	สถานี	ค่าเฉลี่ย	เสาเข็ม / ฐานราก	เสาตอม่อ และ คาน	คานทางวิ่ง	สถานี	ค่าเฉลี่ย	อุโมงค์ทางวิ่ง	สถานี	ค่าเฉลี่ย	
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์		0.20					0.34					0.25			0.32
1.1	ค่าก่อสร้าง	0.26	0.30	0.30	0.26	0.28	0.29	0.32	0.32	0.30	0.31	0.30	0.29	0.29	0.31
1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	0.18	0.14	0.13	0.15	0.15	0.19	0.16	0.14	0.16	0.17	0.15	0.13	0.14	0.19
1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	0.16	0.16	0.15	0.12	0.15	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13	0.14	0.16	0.15	0.09
1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	0.12	0.10	0.09	0.11	0.10	0.10	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.10
1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง	0.09	0.10	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07
1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	0.11	0.11	0.11	0.15	0.12	0.12	0.14	0.13	0.14	0.13	0.14	0.17	0.16	0.16
1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05
1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (Miscellaneous Costs)	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.06	0.04	0.05	0.04
ปัจจัยด้านวิศวกรรม และการก่อสร้าง		0.54					0.46					0.51			0.41
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	0.11	0.17	0.15	0.18	0.16	0.15	0.23	0.22	0.25	0.23	0.15	0.15	0.15	0.22
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	0.08	0.07	0.09	0.10	0.09	0.06	0.06	0.06	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.07
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	0.08	0.08	0.10	0.06	0.08	0.08	0.08	0.12	0.06	0.09	0.06	0.06	0.06	0.07
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	0.13	0.17	0.17	0.13	0.16	0.11	0.17	0.16	0.12	0.15	0.19	0.17	0.18	0.13
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	0.18	0.22	0.21	0.19	0.21	0.17	0.19	0.22	0.18	0.20	0.18	0.18	0.18	0.17
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	0.12	0.25	0.24	0.23	0.24	0.13	0.22	0.19	0.21	0.21	0.11	0.12	0.11	0.15
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	0.02	0.05	0.04	0.11	0.07	0.02	0.05	0.05	0.09	0.06	0.03	0.04	0.03	0.04
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	0.27	-	-	-	-	0.26	-	-	-	-	0.23	0.24	0.24	0.16
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย		0.26					0.21					0.24			0.27
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบ และผู้สัญจรผ่านพื้นที่	0.25	0.25	0.27	0.26	0.26	0.25	0.26	0.27	0.26	0.26	0.26	0.27	0.26	0.25
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่น แรงสั่นสะเทือน และ มลภาวะอื่นๆ	0.21	0.21	0.19	0.20	0.20	0.17	0.16	0.15	0.16	0.16	0.19	0.16	0.17	0.19
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	0.18	0.18	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.14
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.09
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (จำนวนแรงงาน)	0.07	0.07	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ (การใช้ผลิตภัณฑ์ผลิตในประเทศ)	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	0.17	0.15	0.14	0.17	0.16	0.19	0.16	0.16	0.18	0.17	0.16	0.20	0.18	0.23

ผลการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักของปัจจัยรองของทุกระบบ พบว่า ค่าน้ำหนักของระบบรถไฟฟ้าทุกระบบจะมีทิศทางใกล้เคียงกัน กล่าวคือปัจจัยรองที่สำคัญที่สุดในด้านเศรษฐศาสตร์ก็คือค่าก่อสร้าง ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณร้อยละ 30 ปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงมาก็คือค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค ซึ่งมีน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณร้อยละ 17 และปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยที่สุดก็คือค่าใช้จ่ายอื่นๆ มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่ประมาณร้อยละ 4

สำหรับปัจจัยด้านวิศวกรรมพบว่า ปัจจัยรองที่สำคัญที่สุดคือคุณสมบัติทางดิน มีความสำคัญเฉลี่ยประมาณร้อยละ 20 ส่วนปัจจัยที่สำคัญรองลงมาประกอบด้วย ความปลอดภัยในการก่อสร้าง ระยะเวลาก่อสร้าง และข้อจำกัดด้านพื้นที่ มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยประมาณร้อยละ 18-19 และปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยที่สุดก็คือความสวยงามประณีต มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่ประมาณร้อยละ 5

ปัจจัยด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดก็คือความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่ มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยประมาณร้อยละ 26 ปัจจัยที่สำคัญรองลงมาที่มีค่าน้ำหนักใกล้เคียงกันคือ ผลกระทบจราจร การรบกวนชุมชนข้างเคียงและผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่ประมาณร้อยละ 18 และปัจจัยที่มีความสำคัญน้อยที่สุดก็คือการตอบสนองนโยบายภาครัฐ มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่ประมาณร้อยละ 4

ในขณะที่การก่อสร้างอาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจร จะมีความแตกต่างจากระบบอื่นในหลายประเด็น เช่น

- ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน และค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค มีความสำคัญเพิ่มขึ้นมากกว่ากรณีอื่น ทั้งนี้เนื่องจากการก่อสร้างอาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจรเป็นงานที่ต้องใช้พื้นที่ก่อสร้างมากจึงมีความจำเป็นในการเวนคืนที่ดินมากกว่างานก่อสร้างส่วนอื่น
- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวมีความสำคัญต่ำกว่ากรณีอื่น น่าจะเกิดจากการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวสำหรับงานอาคารมีความยุ่งยากน้อยกว่า
- ความเชี่ยวชาญของผู้ก่อสร้างมีความสำคัญไม่มาก เนื่องจากงานก่อสร้างอาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจร เป็นการก่อสร้างในพื้นที่เวนคืนและไม่กระทบต่อสภาพการจราจรและประชาชนข้างเคียงมากนัก
- ผลกระทบต่อสภาพจราจรมีความสำคัญต่ำกว่ากรณีอื่น เนื่องจากเป็นการก่อสร้างในพื้นที่เวนคืน
  ไม่กระทบพื้นที่สาธารณะ จึงไม่กระทบต่อสภาพการจราจรและประชาชนค้างเคียงมากนัก
- ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดินมีความสำคัญสูงกว่ากรณีอื่น เนื่องจากการเข้าพื้นที่ดังกล่าวจะมีผลต่อระยะเวลา ความก้าวหน้า และการเบิกจ่ายของโครงการ

3.5 สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยหลักและปัจจัยรองของการตัดสินใจเลือกเทคนิคในการก่อสร้างรถไฟฟ้า สามารถสรุปได้ดังนี้

- ปัจจัยหลักในการตัดสินใจประกอบไปด้วย ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ วิศวกรรมและการก่อสร้าง และด้านสังคม สิ่งแวดล้อมและนโยบาย ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AHP พบว่าปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง มีค่าน้ำหนักสูงที่สุดในทุกระบบ โดยมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 48 ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์มีความสำคัญเป็นอันดับสอง โดยมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 28 และปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมและนโยบาย มีความสำคัญน้อยที่สุด โดยมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 24
- ปัจจัยรองด้านเศรษฐศาสตร์ ประกอบไปด้วย 8 ปัจจัยย่อย ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักด้วยวิธี Rank Ordered Centroid (ROC) พบว่าค่าก่อสร้างมีความสำคัญโดดเด่นสูงที่สุด โดยมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 30 ซึ่งสูงกว่าปัจจัยอันดับสองคือค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ ที่มีน้ำหนักร้อยละ 16 มาก
- ปัจจัยรองด้านวิศวกรรม ประกอบไปด้วย 8 ปัจจัยย่อย พบว่าปัจจัยคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญโดดเด่นสูงสุด แสดงว่าสำหรับงานด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างให้ความสำคัญต่องานฐานรากมากที่สุด สำหรับปัจจัยอื่นๆ หรือโครงสร้างส่วนอื่นที่อยู่เหนือดินขึ้นมา ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักไม่พบปัจจัยที่มีความสำคัญโดดเด่น แต่จะมีปัจจัย 4 ด้านที่มีความสำคัญใกล้เคียงกันคือ ระยะเวลาในการก่อสร้าง ความปลอดภัยในการก่อสร้าง ข้อจำกัดด้านพื้นที่ และ ความเชี่ยวชาญประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง
- ปัจจัยรองด้านสังคม สิ่งแวดล้อมและนโยบาย ประกอบไปด้วย 7 ปัจจัยย่อย ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักพบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญโดดเด่นก็คือความปลอดภัยของชุมชนและผู้สัญจรผ่าน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่ร้อยละ 26 นอกจากนี้ปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงมาและมีความสำคัญใกล้เคียงกัน ประกอบไปด้วย ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน ผลกระทบด้านจราจร และการรบกวนชุมชนข้างเคียง ซึ่งมีน้ำหนักร้อยละ 18
- การคัดเลือกเทคโนโลยีการก่อสร้างรถไฟฟ้ารางหนักยกระดับในอนาคต อาจต้องหันมาพิจารณาปัจจัยในด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระยะเวลาก่อสร้าง ให้มากขึ้น เนื่องจากการผลการวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าน้ำหนักของปัจจัยดังกล่าวมีน้ำหนักมากที่สุด และหากเลือกเทคโนโลยีที่เน้นพิจารณาข้อได้เปรียบในปัจจัยด้านระยะเวลาก่อสร้าง ข้อจำกัดด้านพื้นที่ และค่าก่อสร้าง จะส่งผลให้ทางเลือกของเทคโนโลยีนั้นมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้มากกว่าทางเลือกอื่น
- การคัดเลือกเทคโนโลยีการก่อสร้างรถไฟฟ้ารางเบาในอนาคต อาจต้องหันมาพิจารณาปัจจัยในด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อจำกัดด้านพื้นที่ให้มากขึ้น เนื่องจากการผลการวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าน้ำหนักของปัจจัยดังกล่าวมีน้ำหนักมากที่สุด และหากเลือกเทคโนโลยีที่เน้นพิจารณาถึงข้อได้เปรียบในปัจจัยด้าน ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และ ระยะเวลาก่อสร้าง จะส่งผลให้ทางเลือกของเทคโนโลยีนั้นมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้มากกว่าทางเลือกอื่น
- การคัดเลือกเทคโนโลยีการก่อสร้างรถไฟฟ้ารูปแบบรางหนักในส่วนของโครงสร้างใต้ดินในอนาคต อาจต้องหันมาพิจารณาปัจจัยในด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินให้มากขึ้น เนื่องจากการผลการวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่า

ค่าน้ำหนักของปัจจัยดังกล่าวมีน้ำหนักมากที่สุด และหากเลือกเทคโนโลยีที่เน้นพิจารณาถึงข้อได้เปรียบในปัจจัยด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน ความปลอดภัยในการก่อสร้างและความเชี่ยวชาญของผู้ก่อสร้าง จะส่งผลให้ทางเลือกของเทคโนโลยีนั้นมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้มากกว่าทางเลือกอื่น

- การคัดเลือกเทคโนโลยีการก่อสร้างอาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจรในอนาคต อาจต้องหันมาพิจารณาปัจจัยในด้านด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างควบคู่กับปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าก่อสร้างและระยะเวลาก่อสร้างให้มากขึ้น เนื่องจากการผลการวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าน้ำหนักของทั้ง 2 ปัจจัยดังกล่าวมีน้ำหนักมากที่สุด และหากเลือกเทคโนโลยีที่เน้นพิจารณาถึงข้อได้เปรียบในปัจจัยด้านค่าก่อสร้าง ระยะเวลาก่อสร้างและความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่ จะส่งผลให้ทางเลือกของเทคโนโลยีนั้นมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้มากกว่าทางเลือกอื่น

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดจะเห็นได้ว่างานก่อสร้างในแต่ละส่วนแต่ละรูปแบบ ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างบางรูปแบบในปัจจัยเดียวกันมีค่าแนวโน้มไปทางเดียวกันและบางรูปแบบมีแนวโน้มไปคนละทิศทาง ทั้งนี้ก็เพราะคุณลักษณะพื้นที่ข้อจำกัด ความยากง่ายของการก่อสร้าง และเงื่อนไขต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่าน้ำหนักปัจจัย

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ได้ศึกษาในบทที่ 2 พบว่าค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักมีความแตกต่างจากการศึกษาของ Sánchez-Garrido et. al (2022) ซึ่งให้ค่าน้ำหนักแก่ปัจจัยด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม มากกว่าปัจจัยด้านเศรษฐกิจ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการศึกษาในประเทศสเปนซึ่งมีที่ตั้งอยู่ในทวีปยุโรป ที่ให้ความใส่ใจด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมมากเป็นพิเศษ ในขณะที่การศึกษาของ Ying Chen (2010) ซึ่งเป็นการศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกาจะให้ความสำคัญด้านเศรษฐกิจ มากกว่าด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม

ค่าน้ำหนักของปัจจัยย่อยที่ได้มีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Jiarui Qi, Xiangli Zhao และ Hsi-Chi Yang (2020) และการศึกษาของ N.F. Pan (2009) โดยพบว่าความปลอดภัย ค่าใช้จ่ายและระยะเวลาก่อสร้าง มีน้ำหนักสูงที่สุด เนื่องจากเป็นการเปรียบเทียบวิธีการก่อสร้างที่เหมือนกันกับการศึกษานี้

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคตคือ การสำรวจข้อมูลแบบสอบถามที่มีความซับซ้อนเช่น การวิเคราะห์ AHP ควรใช้การสำรวจแบบสัมภาษณ์ เพื่อให้ผู้ตอบแบบสอบถามสามารถให้ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ไม่เกิดความสับสนในการให้ค่าน้ำหนัก และสามารถแก้ไขข้อมูลได้ทันทีเมื่อเกิดความผิดพลาด เช่น เมื่อดัชนีค่าความสอดคล้องหรือ ***CR*** มีค่าเกินกว่าที่กำหนด

ในส่วนของการสำรวจค่าน้ำหนักของปัจจัยรองนั้น แม้จะไม่ซับซ้อนเท่ากับกรณีของปัจจัยหลัก แต่ก็พบความผิดพลาดบ้างเช่นกัน ซึ่งพบในกรณีที่ผู้ตอบแบบสอบถามเรียงลำดับและน้ำหนักของปัจจัยสลับไปมา การสำรวจด้วยวิธีการสัมภาษณ์จะช่วยให้พบข้อผิดพลาดเหล่านี้และสามารถแก้ไขได้ทันทีเช่นเดียวกัน

ข้อจำกัดของ AHP

1) ในการพิจารณาจัดสำดับความสำคัญอาจกำหนดเกณฑ์หรือปัจจัยมาใช้พิจารณาในการตัดสินใจโดยไม่ได้มองประเด็นอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้รอบคอบซึ่งทำให้ได้ผลการจัดลำดับความสำคัญไม่ถูกต้องดังนั้นในการพิจารณาควรนำเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องมาร่วมในการพิจารณาให้ครบถ้วนและเรียงลำดับชั้นให้ถูกต้องจะทำให้ได้ผลการตัดสินใจที่ดีที่สุด และเกิดประโยชน์มากที่สุดตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

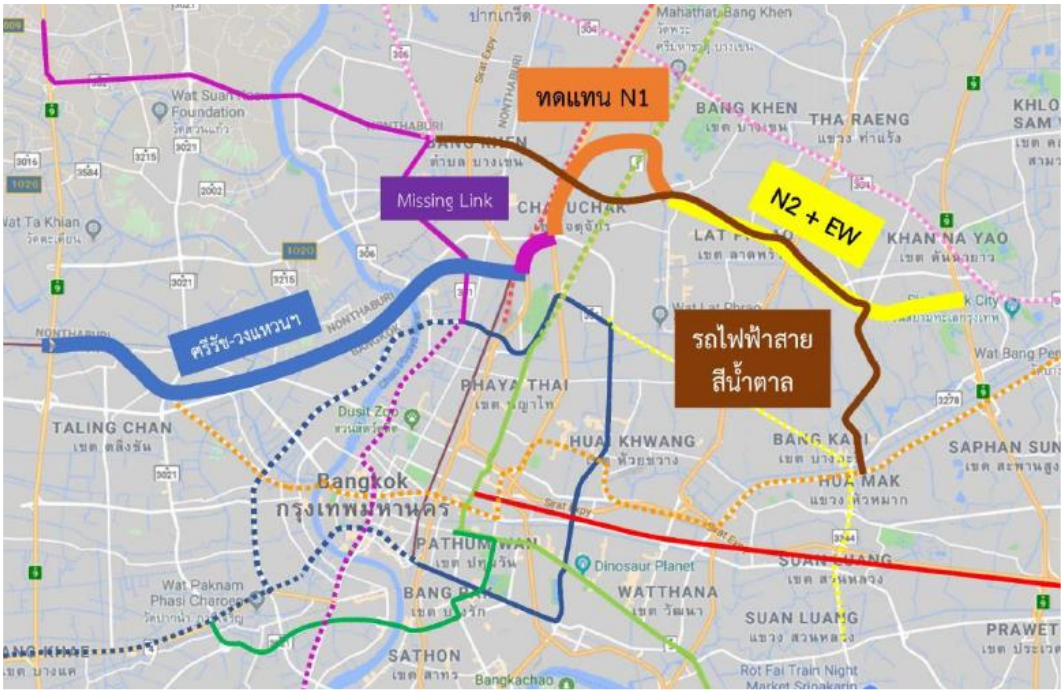
2) การกำหนดองค์ประกอบในโครงสร้างลำดับชั้นจำเป็นต้องมีความชัดเจน ถูกต้องในแต่ละลำดับชั้นซึ่งจะส่งผลต่อการจัดลำดับความสำคัญที่ถูกต้อง

3) การจัดลำดับความสำคัญโดยวิธีการ AHP ผู้ดำเนินการเปรียบเทียบวินิจฉัยปัจจัยที่กำหนดจำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจในกระบวนการวิเคราะห์จึงจะทำให้การวินิจฉัยเปรียบเทียบ มีความสอดคล้องกันของเหตุผล และผ่านเกณฑ์การวิเคราะห์ความสอดคล้อง ดังนั้นจึงเหมาะสมกับการประยุกต์ใช้กับองค์กรที่มีความพร้อมในการให้ความร่วมมือกรณีต้องการที่จะใช้ตัดสินใจแบบเป็นกลุ่ม

4. การศึกษาทบทวน กรณีศึกษาวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในบริเวณพื้นที่จำกัด

ระบบรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ เป็นระบบรถไฟรางเดี่ยวโดยมีแนวเส้นทางเริ่มต้นจากบริเวณแยกแครายมุ่งหน้าไปทางทิศตะวันออกตามแนวถนนงามวงศ์วาน ถนนประเสริฐมนูกิจ แล้วเลี้ยวไปทางทิศใต้ตามแนวถนนนวมินทร์ ไปสิ้นสุดที่จุดตัดถนนพ่วงศิริกับถนนรามคำแหง เชื่อมต่อเสริมกับเครือข่ายรถไฟฟ้าสายอื่นๆ อาทิ สายสีม่วง สายสีชมพู สายสีแดง สายสีเขียว สายสีเทา และสายสีส้ม และเชื่อมโยงกับระบบทางด่วน ดังแสดงในรูปที่ 4-1 ตามรายงานการศึกษาความเหมาะสมของสำนักนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) ได้ออกแบบไว้เป็นทางยกระดับ ทางวิ่งคู่สองทิศทาง วางโครงสร้างเสาส่วนใหญ่เป็นเสาเดี่ยวในแนวกลางถนนตลอดแนวเส้นทาง ซึ่งโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ จะมีช่วงที่มีอุปสรรคในการก่อสร้างหลักๆ อยู่ประมาณ 6 แห่ง ได้แก่

- ช่วงบริเวณแยกแคราย ที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นและติดขัดและมีสะพานข้ามแยกซึ่งจะทำให้กีดขวางการก่อสร้างและแนวเส้นทาง,
- ช่วงบริเวณแยกพงษ์เพชร ซึ่งมีแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและสะพานข้ามแยกโครงสร้างเหล็ก,
- ช่วงบริเวณแยกบางเขน ซึ่งมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ มีการเกี่ยวพันเชื่อมโยงกับโครงสร้างอื่นๆ ที่มีอยู่หนาแน่น ได้แก่ ทางยกระดับอุตราภิมุข ระบบรถไฟฟ้าสายสีแดง ระบบรถไฟฟ้าเชื่อมสนามบิน ระบบรถไฟความเร็วสูงและสะพานข้ามแยกคอนกรีตเสริมเหล็ก,
- ช่วงบริเวณแยกเกษตร ซึ่งมีทางเท้าค่อนข้างแคบ มีทางลอดทางแยกขนาด 4 ช่องจราจร มีระบบรถไฟฟ้าสายสีเขียวและสาพานข้ามแยกเกษตรในแนวถนนพหลโยธิน,
- ช่วงบริเวณที่จะซ้อนทับกับแนวทางด่วนใหม่ขั้นที่ 3 ตอน N2 บนถนนประเสริฐมนูกิจ ซึ่งทางด่วนขั้นที่ 3 จะใช้ฐานรากและเสาโครงสร้างเดิมบางส่วน และปรับปรุงโครงสร้างฐานราก ส่งผลเป็นอุปสรรคในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ที่ต้องพิจารณาแนวทางการออกแบบโครงสร้างที่มีพื้นที่จำกัด,
- ช่วงบริเวณแยกถนนประเสริฐมนูกิจตัดกับถนนประดิษฐ์มนูธรรม ซึ่งมีจุดเชื่อมต่อระบบรถไฟฟ้าสายสีเทา และทางพิเศษฉลองรัช และ
- ช่วงบริเวณแยกลำสาลี ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบรถไฟฟ้าสายสีส้ม และมีการจราจรที่หนาแน่น



รูปที่ 4-1 โครงข่ายรถไฟฟ้าและระบบทางด่วน

ช่วงบริเวณที่มีอุปสรรคในการก่อสร้างดังกล่าว ทางที่ปรึกษาฯ ได้เลือกมา 3 บริเวณเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาในการเสนอแนะเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับบริเวณนั้นๆ ตามที่ได้ทำการศึกษาปัจจัยและหาค่าน้ำหนักในการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ไว้แล้ว ซึ่งประกอบด้วย

- **ช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับแนวทางด่วนใหม่ขั้นที่ 3 ตอน N2 บนถนนประเสริฐมนูกิจ** เนื่องจากเป็นบริเวณที่โครงการทางพิเศษมีแผนที่จะก่อสร้างแล้วเสร็จก่อน จึงค่อยก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในภายหลัง ทำให้ต้องแบ่งการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าออกเป็น 2 ระยะ และติดข้อจำกัดด้านความสูงใต้ทางพิเศษในการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ จึงเป็นกรณีศึกษาอันดับแรกที่ให้ความสำคัญในการพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม
- **ช่วงบริเวณแยกบางเขน (ถนนวิภาวดีรังสิต – ถนนงามวงศ์วาน)** เป็นบริเวณที่มีการตัดกันของแนวเส้นทางและเกี่ยวพันเชื่อมโยงกับโครงสร้างอื่นๆ ที่มีอยู่หนาแน่น ได้แก่ ทางยกระดับอุตราภิมุข ระบบรถไฟฟ้าสายสีแดง ระบบรถไฟฟ้าเชื่อมสนามบิน ระบบรถไฟความเร็วสูงและสะพานข้ามแยก ขนาด 4 ช่องจราจร ทำให้บริเวณนี้มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้าง และเนื่องจากโครงการรถไฟฟ้าถูกจัดให้ลอดใต้โครงสร้างอื่น จึงทำให้เสาในบางตำแหน่งอาจติดอุปสรรคด้านความสูงในการก่อสร้าง
- **ช่วงบริเวณแยกพงษ์เพชร** เป็นบริเวณที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้างที่มีสะพานข้ามแยกเดิมในปัจจุบันซึ่งอาจต้องทำการรื้อย้ายสร้างใหม่ อีกทั้งยังมีข้อจำกัดด้วนความสูงที่ต้องลอดผ่านแนวสายไฟฟ้าแรงสูง จึงเป็นอีกหนึ่งตำแหน่งที่เลือกมาใช้เป็นกรณีศึกษาในการเลือกพิจารณาเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสม

โดยมีรายละเอียดรูปแบบการก่อสร้างของทั้ง 3 บริเวณ ตามข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาทบทวนดังต่อไปนี้

4.1 ช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับแนวทางด่วนใหม่ขั้นที่ 3 ตอน N2 บนถนนประเสริฐมนูกิจ

โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ จะมีรูปแบบของระบบขนส่งมวลชลเป็นระบบรถไฟฟ้ารางเบายกระดับ (Monorail) โดยมีจุดเริ่มต้นโครงการบริเวณแยกแคราย มุ่งหน้าไปทางทิศตะวันออกตามแนวถนนงามวงศ์วาน ต่อเนื่องไปตามแนวถนนประเสริฐมนูกิจ ก่อนมุงหน้าลงทิศใต้ไปตามแนวถนนนวมินทร์ และสิ้นสุดแนวเส้นทางบริเวณจุดตัดถนนพ่วงศิริกับถนนรามคำแหง โดยแนวเส้นทางของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ จะมีส่วนที่ซ้อนทับกับโครงการระบบทางด่วนขั้นที่ 3 สายเหนือ ตอน N2 ของ กทพ. บนถนนประเสริฐมนูกิจ ตั้งแต่บริเวณคลองบางบัวจนถึงบริเวณถนนนวมินทร์ ระยะทางรวม 7.2 กิโลเมตร โดยโครงการระบบทางด่วนจะใช้เสาและฐานรากเดิมที่ได้ก่อสร้างไว้แล้วบนถนนประเสริฐมนูกิจ (รูปที่ 4.1-1) ในขณะที่โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ จะดำเนินการก่อสร้างฐานรากใหม่ระหว่างเสาตอม่อของทางพิเศษ (รูปที่ 4.1-2)



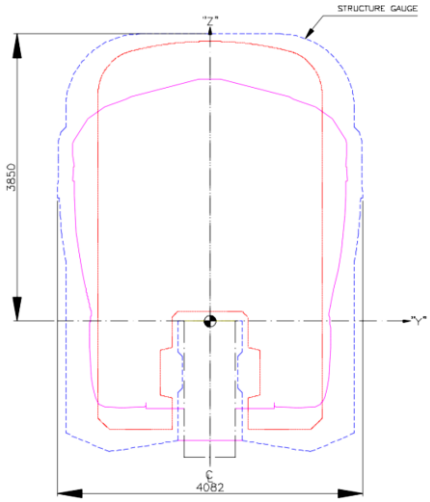
รูปที่ 4.1-1 เสาตอม่อโครงสร้างทางพิเศษที่ได้มีการก่อสร้างแล้ว (สนข., 2561)



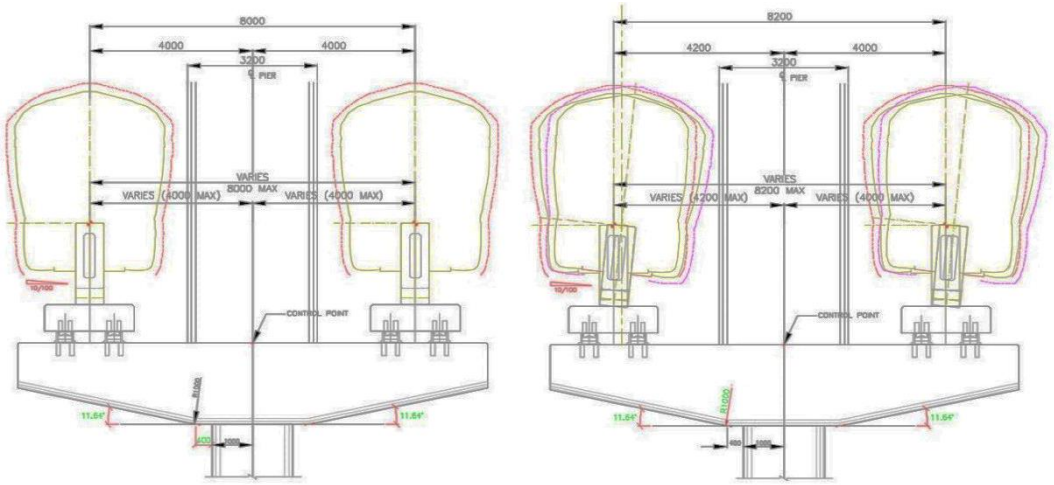
รูปที่ 4.1-2 ระบบรถไฟฟ้าและระบบทางด่วน บนช่วงถนนประเสริฐมนูกิจ (สนข., 2561)

4.1.1 โครงสร้างทางวิ่ง

การออกแบบโครงสร้างทางวิ่งจำเป็นต้องพิจารณาขนาดพื้นที่ที่ต้องการสำหรับระบบรถไฟฟ้าและข้อจำกัดด้านพื้นที่ในการก่อสร้าง โดยโครงสร้างทางวิ่งได้รับการออกแบบให้สามารถรองรับระบบรถไฟฟ้ารางเดี่ยวของผู้ผลิตที่สำคัญต่างๆ ได้แก่ บริษัท Hitachi ของประเทศญี่ปุ่น บริษัท Bombardier ของประเทศแคนาดา และบริษัท Scomi ของประเทศมาเลเซีย โดยมีระยะปลอดภัยที่ต้องการของระบบรถไฟฟ้ารางเดี่ยวดังแสดงในรูปที่ 4.1-3 สำหรับช่วงทางโค้งต้องคำนึงถึงการเอียงของตัวรถดังแสดงในรูปที่ 4.1-4 จะมีระยะปลอดภัยที่ต้องการเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาถึงขนาดพื้นที่ที่ต้องการสำหรับระบบรถไฟฟ้าและข้อจำกัดด้านพื้นที่ในการก่อสร้างที่มีเสาตอม่อของโครงการพิเศษอยู่ในแนวเดียวกับโครงการรถไฟฟ้า โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในช่วงถนนประเสริฐมนูกิจจะมีระยะ Track Distance อย่างน้อย 8 ม. สำหรับช่วงทางตรงหรือโค้งที่มีรัศมีมากกว่า 1,500 ม. และมีระยะ Track Distance 8.2 ม. ในช่วงโค้งที่มีรัศมี 100 ม.

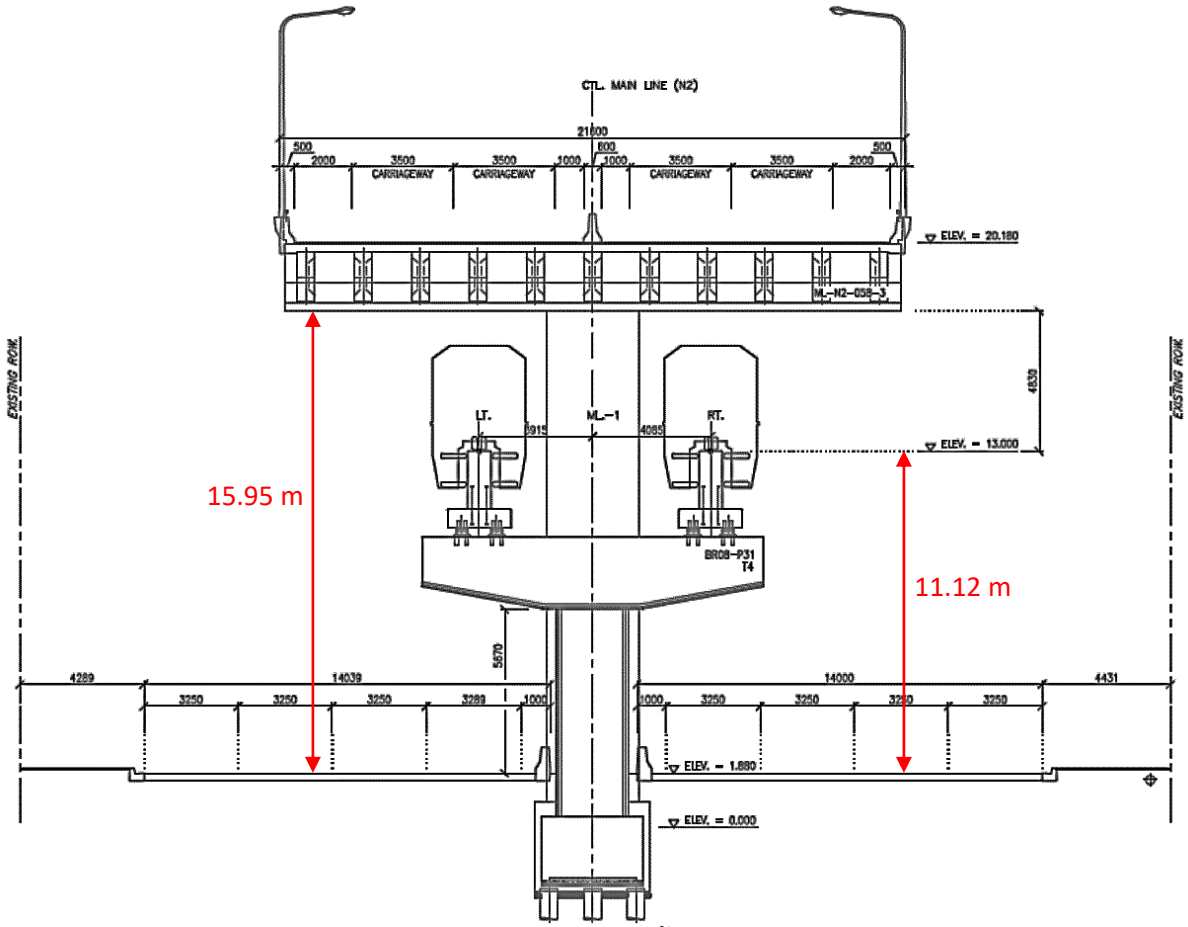


รูปที่ 4.1-3 ระยะปลอดภัยโครงสร้างของระบบรถไฟฟ้ารางเดี่ยว (รฟม., 2563)



รูปที่ 4.1-4 ระยะปลอดภัยโครงสร้างบริเวณช่วงทางตรงและทางโค้ง (R = 100 ม.) (รฟม., 2563)

โครงสร้างทางวิ่งของรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ จะมีลักษณะเป็นโครงสร้างคานคอนกรีตที่วางบนคานขวาง โดยมีเสาตอม่อแทรกระหว่างเสาตอม่อของโครงการทางพิเศษที่ก่อสร้างไว้แล้ว คานทางวิ่งในช่วงถนนประเสริฐมนูกิจมีระยะห่าง 8 ม. เพื่อให้มีระยะห่างที่เพียงพอระหว่างตัวรถและเสาตอม่อของโครงการทางพิเศษ ความสูงของคานทางวิ่งรถไฟฟ้าจะมีระดับความสูงเหนือผิวจราจรประมาณ 11.12 ม. (รูปที่ 4.1-5) และที่สำคัญคือมีระยะความสูงจากพื้นถนนถึงท้องพื้นทางด่วนประมาณ 15.95 ม. ซึ่งเป็นระยะจำกัดที่ต้องพิจารณาในการทำงานก่อสร้างของเครื่องจักร (อ้างอิงจากเอกสารร่างแบบเบื้องต้นโครงการ, รฟม., 2565)



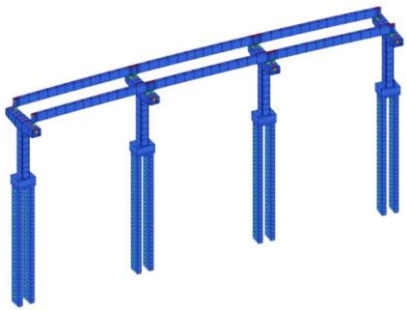
รูปที่ 4.1-5 รูปแบบโครงสร้างทางวิ่งโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ส่วนที่ซ้อนทับทางพิเศษ (รฟม.,2565)

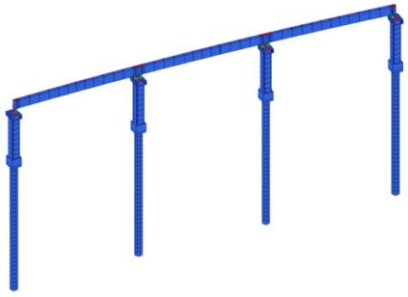
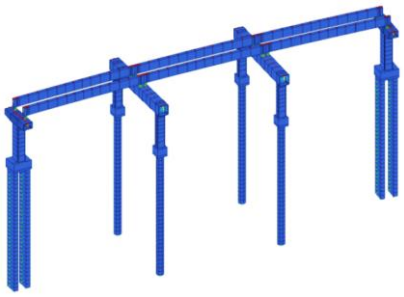
เสาตอม่อของโครงสร้างรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงถนนประเสริฐมนูกิจจะมีตำแหน่งอยู่ระหว่างเสาตอม่อเดิมของโครงการทางพิเศษที่ได้มีการก่อสร้างไว้แล้ว โดยเสาตอม่อของโครงการทางพิเศษมีระยะห่างทั่วไป 25 -35 ม. ฐานรากของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ก่อสร้างโดยใช้เสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยม โดยเสาเข็มแบบเหลี่ยมจะมีกำลังรับน้ำหนักที่สูง ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการล้ำส่วนของฐานรากของโครงการรถไฟฟ้าไปในพื้นที่ถนน ซึ่งช่วยป้องกันปัญหาการทรุดตัวไม่เท่ากันของฐานรากและถนนที่จะทำให้ถนนขาดความราบเรียบและลดความรู้สึกสบายในการใช้เส้นทางของผู้ขับขี่ได้

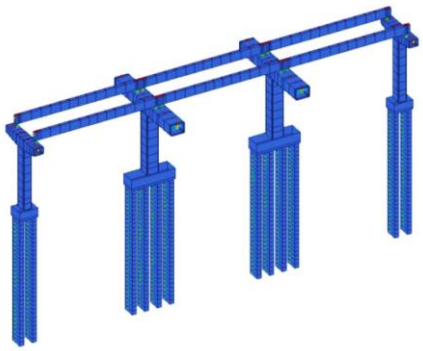
รูปแบบโครงสร้างทางวิ่งในเบื้องต้นได้รับการศึกษาทบทวนไว้โดยที่ปรึกษาฯ (บริษัท เอพซิลอน จำกัด และบริษัท เอ็ม เอ เอ คอนซัลแต้นท์ จำกัด) (รฟม., 2563) โดยมีรูปแบบคานทางวิ่งเป็นคานช่วง

เดี่ยวธรรมดา (Simple Span) วางบนคานขวาง (Cross Beam) และอยู่บนเสาซึ่งมีรูปแบบเป็นเสาเดี่ยว (Single Column) หรือโครงข้อแข็ง (Portal Frame) ตามลักษณะพื้นที่ที่เหมาะสม สำหรับทางวิ่งทั่วไป ความยาวช่วงไม่เกิน 30 เมตร คานทางวิ่งเป็นคานคอนกรีตอัดแรงขนาด 0.8 x 2.0 ม. ส่วนโครงสร้างทางวิ่งที่เป็นช่วงยาวมากกว่า 30 ม. เมตร แต่ไม่เกิน 60 เมตร คานทางวิ่งเป็นคานเหล็กขนาด 0.8 x 4.0 ม. ดังแสดงในตารางที่ 4.1-1

ตารางที่ 4.1-1 รูปแบบโครงสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงถนนประเสริฐมนูกิจ (รฟม, 2563)

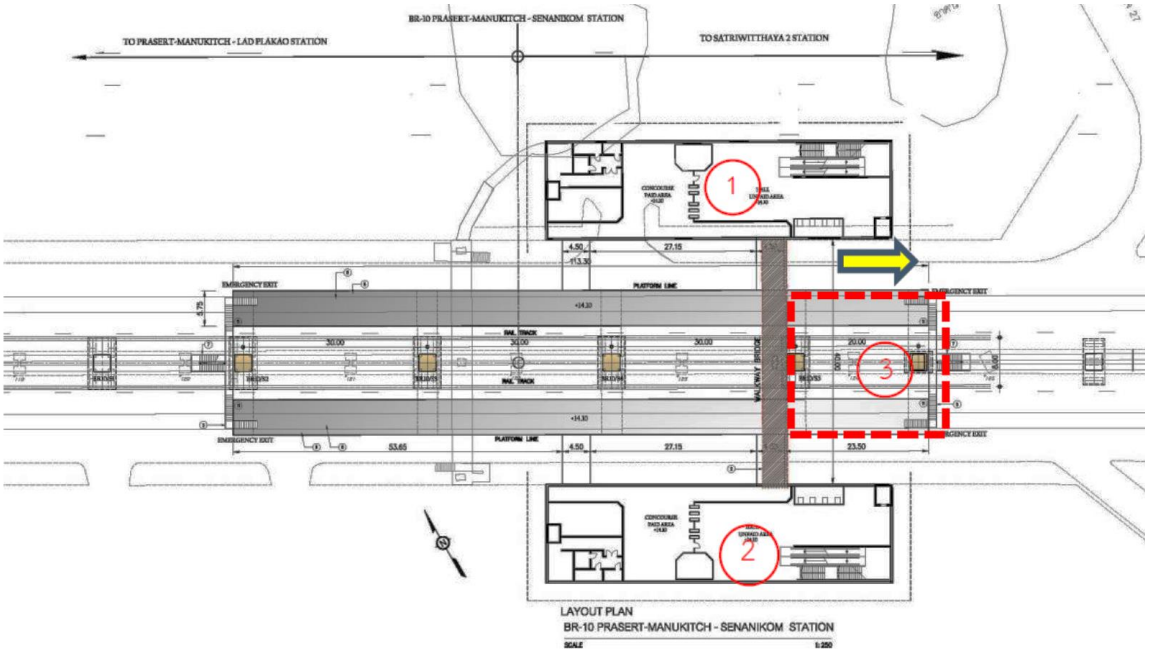
รูปแบบ	รายละเอียด	รูปการจำลองโครงสร้าง
T3	ช่วงทางวิ่งทั่วไป ความยาวช่วงไม่เกิน 30 ม. ตอม่อสูงไม่เกิน 22.55 ม. - คานทางวิ่งคอนกรีตอัดแรงขนาด 0.80x2.00 ม. - คานขวางคอนกรีตอัดแรงขนาด 2.30x2.00x8.20 ม. - เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2.50x2.00 ม. - ฐานรากขนาด 3.20x4.10x2.20 ม. - เสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยมจำนวน 2 ต้นขนาด 2.70x0.80 ม. รับน้ำหนัก 800 ตันต่อต้น	
T4	ช่วงทางวิ่ง ที่แทรกระหว่างเสาตอม่อทางด่วน ความยาวช่วงไม่เกิน 30 ม. - คานทางวิ่งคอนกรีตอัดแรงขนาด 0.80x2.00 ม. - คานขวางคอนกรีตอัดแรงขนาด 2.30x2.50x11.80 ม. - เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2.50x2.00 ม. - ฐานรากขนาด 3.20x4.10x2.20 ม. - เสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยมจำนวน 2 ต้นขนาด 2.70x0.80 ม. รับน้ำหนัก 800 ตันต่อต้น	
LN1	ช่วงทางวิ่ง ที่แทรกระหว่างเสาตอม่อทางด่วน ความยาวช่วงระหว่าง 30 ถึง 60 ม. - คานทางวิ่งเหล็กขึ้นรูปขนาด 0.80x4.00 ม. - คานขวางคอนกรีตอัดแรงขนาด 2.80x2.50x11.80 ม. - เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2.50x2.50 ม. - ฐานรากขนาด 3.50x7.50x2.50 ม. - เสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยมจำนวน 3 ต้นขนาด 3.00x1.00 ม. รับน้ำหนัก 800 ตันต่อต้น	
LN2	ช่วงทางวิ่ง มีคานทางวิ่งแบบคานยื่น 1 คาน ที่แทรกระหว่างเสาตอม่อทางด่วน ความยาวช่วงระหว่าง 30 ถึง 60 ม. - คานทางวิ่งเหล็กขึ้นรูปขนาด 0.80x4.00 ม. - คานขวางคอนกรีตอัดแรงขนาด 2.80x2.50xVaries ม. - เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2.50x2.50 ม. - ฐานรากขนาด 3.50x7.50x2.50 ม. - เสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยมจำนวน 3 ต้นขนาด 3.00x1.00 ม. รับน้ำหนัก 800 ตันต่อต้น	

รูปแบบ	รายละเอียด	รูปการจำลองโครงสร้าง
EC1	ช่วงทางวิ่ง มีคานทางวิ่งแบบคานยื่น 1 คาน ที่แทรกระหว่างเสาตอม่อทางด่วน ความยาวช่วงไม่เกิน 30 ม. - คานทางวิ่งคอนกรีตอัดแรงขนาด 0.80x2.00 ม. - คานขวางคอนกรีตอัดแรงขนาด 2.30x2.50xVaries ม. - เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2.50x2.00 ม. - ฐานรากขนาด 3.50x4.50x2.20 ม. - เสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยมจำนวน 2 ต้นขนาด 3.00x1.00 ม. รับน้ำหนัก 1000 ตันต่อต้น	
S1	ช่วงทางวิ่ง มีคานทางวิ่ง 1 คาน ความยาวช่วงไม่เกิน 30 ม. - คานทางวิ่งคอนกรีตอัดแรงขนาด 0.80x2.00 ม. - แป้นหัวเสาคอนกรีตขนาด 2.30x1.00x3.00 ม. - เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2.00x1.80 ม. - ฐานรากขนาด 2.40x2.40x2.20 ม. - เสาเข็มเจาะแบบกลมจำนวน 1 ต้นขนาด Dia. 1.80 ม. รับน้ำหนัก 700 ตันต่อต้น	
PT1	ช่วงที่เป็นโครงสร้าง Portal Frame ความยาวช่วงไม่เกิน 30 ม. - คานทางวิ่งคอนกรีตอัดแรงขนาด 0.80x2.00 ม. - คานขวางคอนกรีตอัดแรงขนาด 2.30x2.50xVaries ม. - เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 1.20x2.00 ม. - ฐานรากขนาด 2.40x2.40x2.20 ม. - เสาเข็มเจาะแบบกลมจำนวน 1 ต้นต่อฐาน ขนาด Dia. 1.80 ม. รับน้ำหนัก 700 ตันต่อต้น	
PT2	ช่วงที่เป็นโครงสร้าง Portal Frame รับคานทางวิ่ง 2 คานเยื้องไปด้านนอก Frame ความยาวช่วงไม่เกิน 30 ม. - คานทางวิ่งคอนกรีตอัดแรงขนาด 0.80x2.00 ม. - คานขวางคอนกรีตอัดแรงขนาด 2.30x2.50xVaries ม. - เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2.50x2.00 ม. และ 1.20x2.00 ม. - ฐานรากขนาด 3.50x4.50x2.20 ม. และ 2.40x2.40x2.20 ม. - เสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยมจำนวน 2 ต้นต่อฐาน ขนาด 3.00x1.00 ม. และเสาเข็มเจาะแบบกลมจำนวน 1 ต้นต่อฐาน ขนาด Dia. 1.80 ม. รับน้ำหนัก 700 ตันต่อต้น	

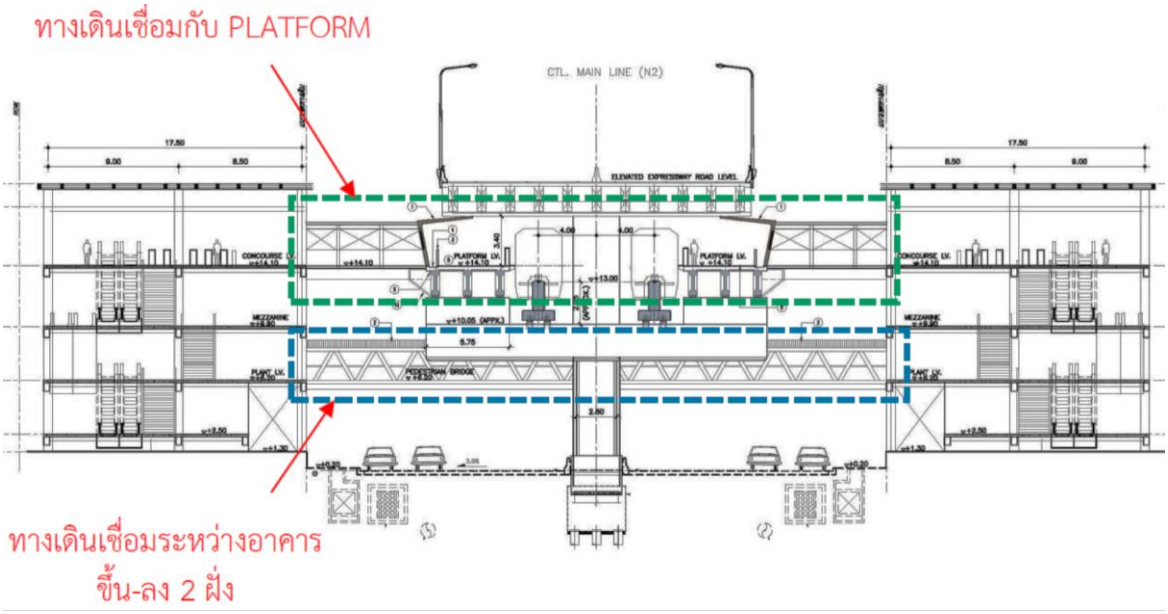
รูปแบบ	รายละเอียด	รูปการจำลองโครงสร้าง
ST1	ช่วงที่เป็นโครงสร้างบริเวณสถานีรองรับคานทางวิ่ง 2 คาน และชานชาลา ที่แทรกระหว่างเสาตอม่อทางด่วน ความยาวช่วงไม่เกิน 30 ม. - คานทางวิ่งคอนกรีตอัดแรงขนาด 0.80x2.00 ม. - คานขวางคอนกรีตอัดแรงขนาด 3.30x2.50x23.50 ม. - เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2.80x2.80 ม. - ฐานรากขนาด 3.50x10.50x2.50 ม. หรือฐานรากขนาด 4.50x8.50x2.50 ม. - เสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยมจำนวน 4 ต้น ขนาด 3.00x1.00 ม. รับน้ำหนัก 1250 ตันต่อต้น	

4.1.2 โครงสร้างสถานี

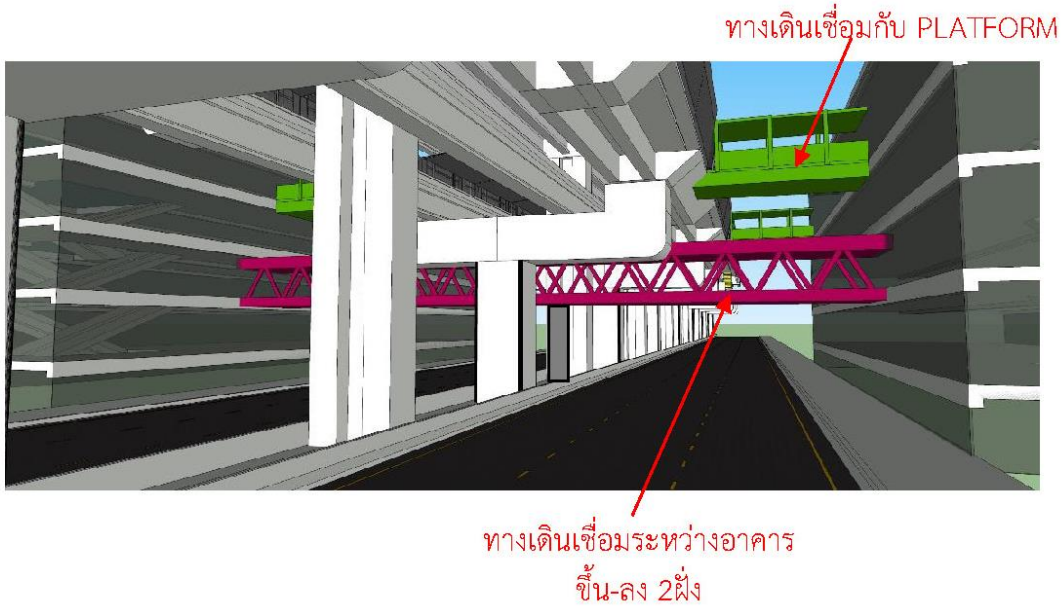
รูปแบบสถานีของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในช่วงถนนประเสริฐมนูกิจที่มีโครงสร้างทางวิ่งอยู่ใต้โครงสร้างทางพิเศษจะมีการจัดรูปแบบให้ส่วนจำหน่ายบัตรโดยสารและห้องเครื่องต่างๆ อยู่บริเวณพื้นที่ด้านข้างทั้งหมด (รูปที่ 4.1-6) เพื่อลดการใช้พื้นที่บริเวณเกาะกลางถนนที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยจะมีทางเดินเชื่อมยกระดับเชื่อมระหว่างอาคารสถานีที่อยู่ทั้งสองฝั่งของถนนเข้าไปยังส่วนของชานชาลาที่อยู่บริเวณเกาะกลางถนน (รูปที่ 4.1-7 และ 4.1-8) ชานชาลาเป็นลักษณะ Side Platform Station โดยมีชานชาลาอยู่สองข้างของทางวิ่งรถไฟฟ้าซึ่งอยู่ตรงกลาง มีระยะห่างระหว่างทางวิ่ง 8.0 ม. ชานชาลามีความกว้าง 5.75 ม. และมีความยาวของชานชาลาสถานีระหว่าง 113.3 ม. ถึง 120.0 ม.



รูปที่ 4.1-6 ตัวอย่างรูปแบบตำแหน่งที่ตั้งของอาคารสถานีและชานชาลา โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บนช่วงถนนประเสริฐมนูกิจ (รฟม., 2563)



ก) รูปตัดทางเดิมเชื่อมระหว่างอาคาร



ข) รูปสะพานทางเดิมเชื่อมสถานีกับชานชาลาและทางเดินเชื่อมระหว่างอาคาร 2 ฝั่ง

รูปที่ 4.1-7 ตัวอย่างรูปตัดทางเดินเชื่อมอาคาร (รฟม., 2563)



รูปที่ 4.1-8 รูปแบบสถานีโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บนช่วงถนนประเสริฐมนูกิจ (รฟม., 2563)

4.1.3 การก่อสร้าง

4.1.3.1 การก่อสร้างโครงสร้างทางวิ่ง

การดำเนินการโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ที่อยู่บนถนนประเสริฐมนูกิจจะมีการก่อสร้างฐานรากไปพร้อมกับการก่อสร้างโครงการทางพิเศษ ซึ่งเป็นการก่อสร้างระยะที่ 1 โดยทำการก่อสร้างฐานรากของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ให้แล้วเสร็จก่อนแล้วจึงทำการก่อสร้างโครงสร้างทางพิเศษ ในระยะที่ 2 จะเป็นการดำเนินการการก่อสร้างโครงสร้างส่วนบนของโครงการรถไฟฟ้า โดยโครงสร้างทางวิ่งของรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ มีส่วนประกอบของโครงสร้างต่าง ๆ ดังนี้

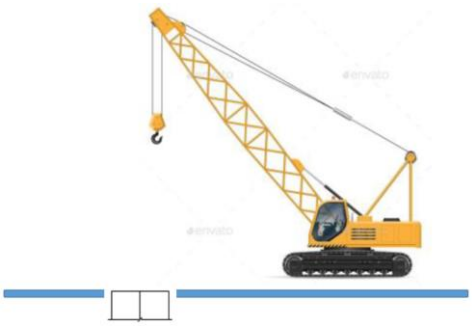
- เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2-0.8x2.70 ม.
- ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 3.2x4.1x2.2 ม.
- เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2.5x2.0 ม.
- คานขวางคอนกรีตอัดแรงขนาด 2.0x2.50 (max) ม.
- คานทางวิ่งคอนกรีตอัดแรงขนาด 0.8x2.0 ม.

รูปที่ 4.1-9 แสดงขั้นตอนการก่อสร้างในระยะที่ 1 ที่จะมีการก่อสร้างไปพร้อมกับโครงสร้างทางพิเศษ การก่อสร้างเริ่มจากการก่อสร้างเสาเข็มสี่เหลี่ยมคอนกรีตเสริมเหล็ก ก่อสร้างฐานรากระหว่างเสาตอม่อ ก่อสร้างเสาและโครงสร้างส่วนบน (Superstructure) โครงการทางพิเศษ (รูปที่ 4.1-10) โดยเสาตอม่อที่ก่อสร้างระยะที่ 1 (รูปที่ 4.1-11) จะทำการทิ้งเหล็กเสริมเสาส่วนล่างไว้เพื่อทำการต่อทาบ และ

ป้องกันการเกิดสนิมที่เหล็กเสริมด้วยการใช้คอนกรีตกำลังต่ำห่อหุ้มไว้ เพื่อให้สามารถสกัดออกได้โดยง่ายในการก่อสร้างในระยะที่ 2

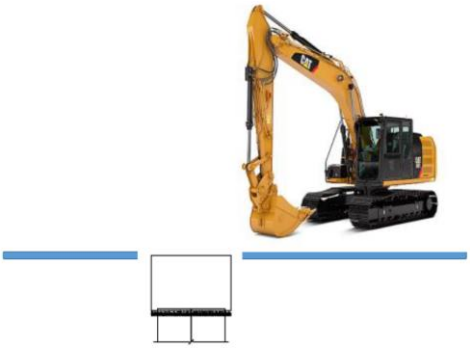
ก่อสร้าง Barrette Pile

- ขุดหลุมสำหรับ Barrette Pile
- รักษาเสถียรภาพของหลุมด้วยสารละลาย Polymer
- ผูกโครงเหล็กเสริม และหย่อนลงในหลุม
- เทคอนกรีต Barrette Pile



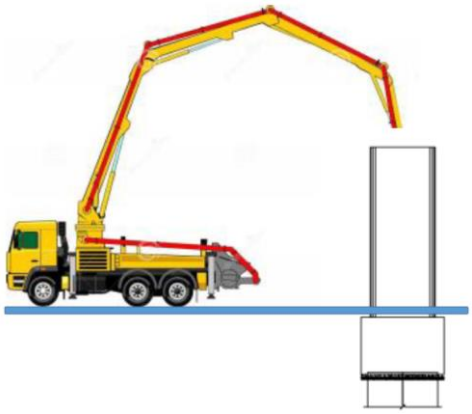
ก่อสร้าง Pile cap

- ขุดดินโดยรอบเสาเข็มออก
- ตัดหัวเสาเข็ม Barrette Pile
- เท Lean Concrete
- วางเหล็กเสริม Pile cap
- ติดตั้ง Column Starter Bar
- เข้าแบบและเทคอนกรีต Pile cap

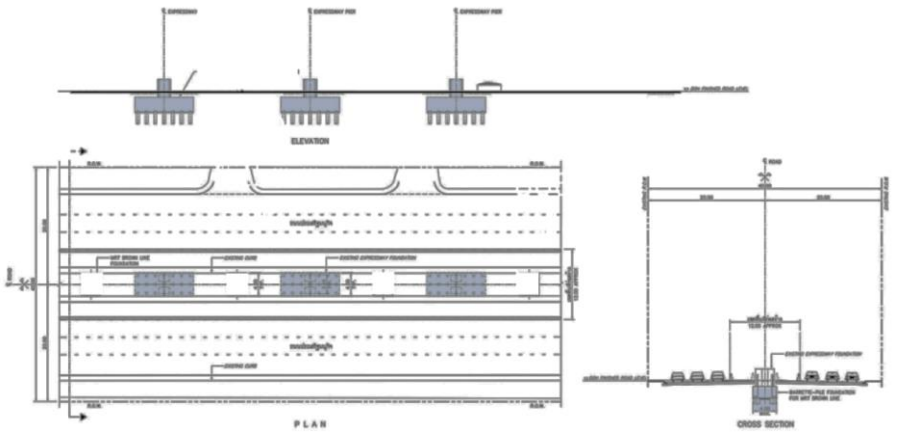
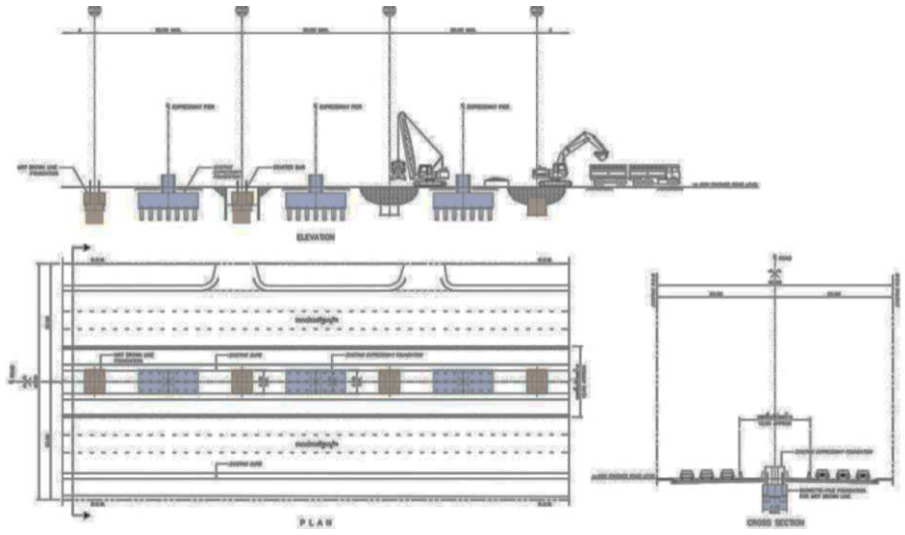
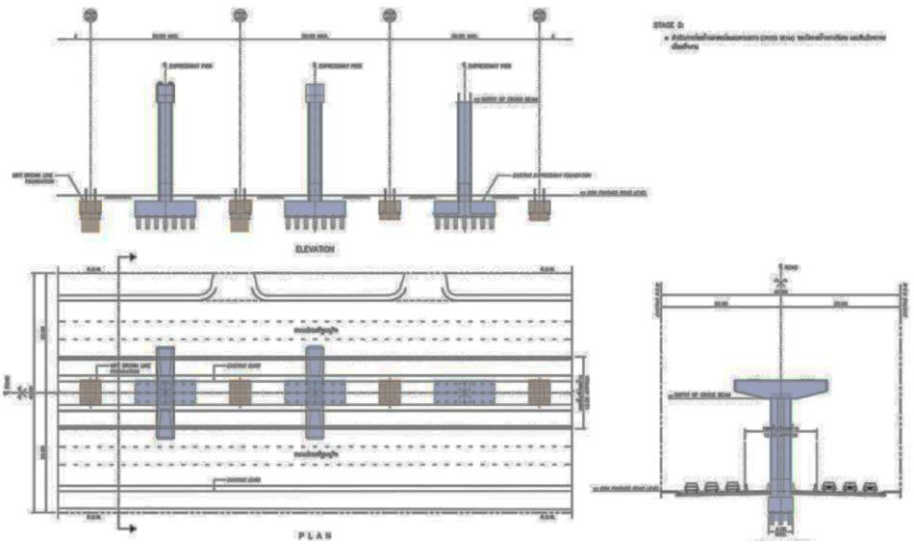


ก่อสร้างเสา

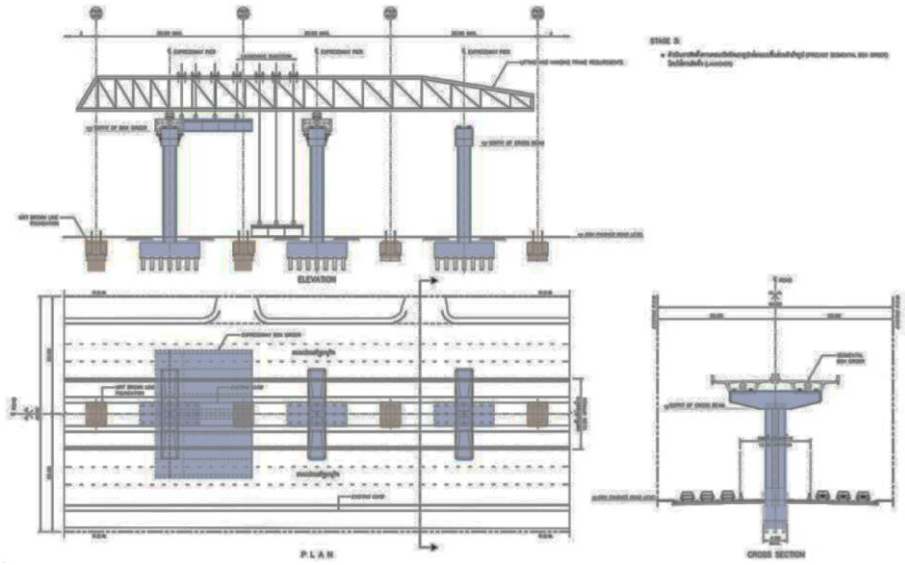
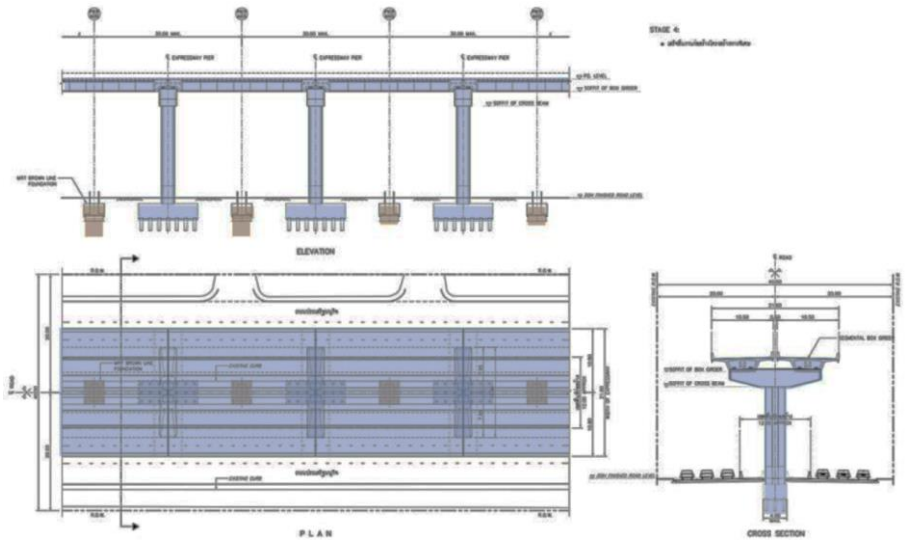
- เข้าแบบเสา
- ค้ำยันแบบเสา
- เทคอนกรีตเสา



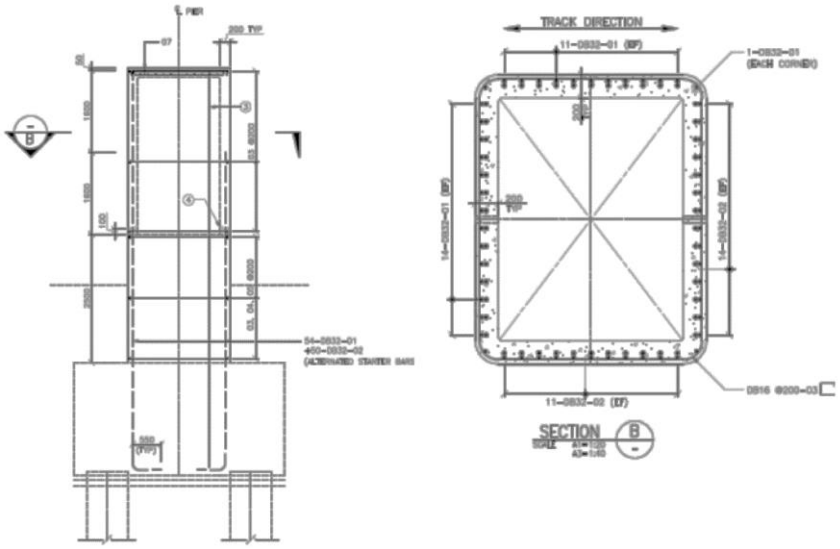
รูปที่ 4.1-9 การก่อสร้างโครงสร้างทางวิ่งโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในระยะที่ 1 (รฟม., 2563)

	1. สภาพปัจจุบัน
	2. ก่อสร้างฐานรากรถไฟฟ้าแทรกระหว่างเสาตอม่อทางพิเศษ
	3. ก่อสร้างเสาทางพิเศษ

รูปที่ 4.1-10 ขั้นตอนการก่อสร้างเสาตอม่อโครงการรถไฟฟ้าและโครงสร้างส่วนล่างและส่วนบนของโครงการทางพิเศษ (สนข., 2561)

	4. ก่อสร้างคานทางวิ่งของทางพิเศษ
	5. ทางพิเศษเปิดให้บริการ

รูปที่ 4.1-10 (ต่อ) ขั้นตอนการก่อสร้างเสาตอม่อโครงการรถไฟฟ้าและโครงสร้างส่วนล่างและโครงสร้างส่วนบนของโครงการทางพิเศษ (สนข., 2561)



รูปที่ 4.1-11 เสาตอม่อโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงถนนประเสริฐมนูกิจที่จะก่อสร้างในระยะที่ 1 (รฟม., 2563)

การก่อสร้างในระยะที่ 2 จะมีข้อจำกัดด้านพื้นที่จากการที่มีโครงสร้างทางพิเศษที่ก่อสร้างไว้แล้ว การก่อสร้างในระยะที่สองจะประกอบด้วยการก่อสร้างคานขวาง (Cross beam) การติดตั้งคานทางวิ่ง (Guide way beam) และการติดตั้ง Emergency Walkway ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.1-12

ก่อสร้างคานขวาง

- ปรับปรุงกำลังของดินรอบๆ Pile cap เพื่อรับน้ำหนักแบบหล่อและคอนกรีตของคานขวาง
- ติดตั้งค้ำยันและนั่งร้านรับแบบหล่อ
- ติดตั้งแบบหล่อคานขวาง
- เทคอนกรีตคานขวาง



ติดตั้งคานทางวิ่ง

- ติดตั้งฐานรับ Bearing
- รถบรรทุกคานทางวิ่ง เข้าจอดที่ตำแหน่งใต้คานทางวิ่ง
- ยกคานทางวิ่งด้วย Launching Girder
- วางคานทางวิ่งบน Bearing



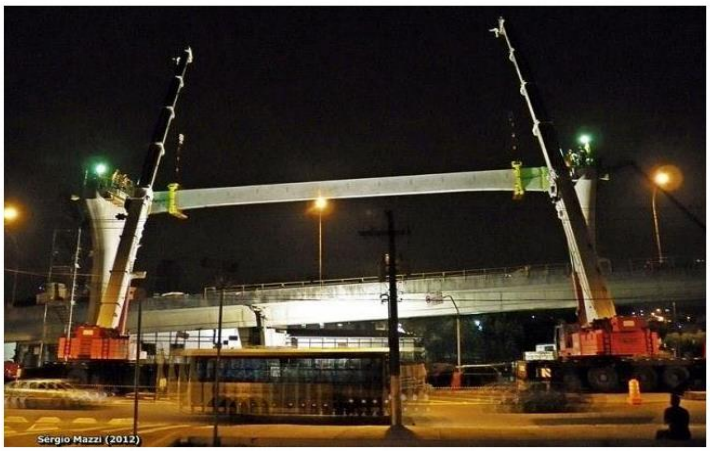
ติดตั้ง Emergency Walkway

- ติดตั้งคานเหล็กยึดระหว่างคานทางวิ่ง
- ติดตั้ง Cable Tray
- ติดตั้งตะแกรงเหล็ก เป็นพื้น Walkway



รูปที่ 4.1-12 การก่อสร้างโครงสร้างทางวิ่งโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในระยะที่ 2 (รฟม., 2563)

การติดตั้งคานทางวิ่งในการก่อสร้างในระยะที่ 2 จะมีข้อจำกัดด้านพื้นที่และความสูงในการทำงาน การติดตั้งคานทางวิ่งสามารถดำเนินการก่อสร้างในเวลากลางคืนเพื่อลดผลกระทบต่อการจราจรและความปลอดภัยของผู้ใช้ถนน เนื่องจากการก่อสร้างจำเป็นต้องใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่และพื้นที่บางส่วนของถนนในการปฏิบัติงาน การติดตั้งคานทางวิ่งสามารถทำได้โดยการใช้ Mobile Crane หรือ Launching Girder (รูปที่ 4.1-13) การติดตั้งด้วย Mobile Crane จะมีความเหมาะสมในกรณีที่ Mobile Crane สามารถเข้าถึงตำแหน่งการติดตั้งคานทางวิ่งได้ ซึ่งจะมีความจำเป็นต้องใช้บริเวณพื้นที่ถนนข้างเคียงในระหว่างการทำงาน โดยจะต้องการระยะ Clear Height ระหว่างผิวบนของคานขวางของรถไฟฟ้าและผิวล่างของคานขวางของทางพิเศษอย่างน้อย 9.0 ม. สำหรับกรณีบริเวณที่มีพื้นที่จำกัดอาจพิจารณาวิธีการติดตั้งคานทางวิ่งด้วย Launching Girder ซึ่งจะต้องการระยะ Clear Height ระหว่างผิวบนของคานขวางของรถไฟฟ้าและผิวล่างของคานขวางของทางพิเศษประมาณ 4.0 ม. หรือในกรณีที่มีระยะความสูงจำกัดมากๆ อาจพิจารณาวิธีการติดตั้งด้วยระบบ Heave Lift ซึ่งเป็นการติดตั้งชุดโครงสร้างชั่วคราวบริเวณหัวเสาเพื่อติดตั้งระบบยกชิ้นส่วนคานทางวิ่งด้วยอุปกรณ์ Hydraulic เฉพาะจุด ทั้งนี้การเลือกใช้วิธีการก่อสร้างแบบใดที่เหมาะสมที่สุดนั้น ขึ้นอยู่กับข้อจำกัด ปัจจัยที่พิจารณา และข้อมูลการก่อสร้างที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะนำเสนอในรายละเอียดถัดไป



ก) Mobile Crane



ข) Launching Girder

รูปที่ 4.1-13 การติดตั้งคานทางวิ่งบนคานขวาง (รฟม., 2563)

4.1.3.2 การก่อสร้างโครงสร้างสถานี

อาคารสถานีมีส่วนประกอบของโครงสร้างต่าง ๆ ดังนี้

- เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 4-1.0x3.0 ม.
- ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 3.5x10.5x2.5 ม.
- เสาคอนกรีตเสริมเหล็กขนาด 2.8x2.8 ม.
- คานขวางคอนกรีตอัดแรงขนาด 3.3x2.5 ม.
- คานสถานีคอนกรีตอัดแรงขนาด 0.6x1.7 ม.
- คานทางวิ่งคอนกรีตอัดแรงขนาด 0.8x2.0 ม.

การก่อสร้างโครงสร้างสถานีจะดำเนินการก่อสร้างในระยะที่ 1 (รูปที่ 4.1-14) จะประกอบด้วยการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมและการก่อสร้าง Pile Cap ในส่วนของเสาตอม่อ คานขวาง คานทางวิ่ง และคานสถานีจะดำเนินการก่อสร้างในระยะที่ 2 (รูปที่ 4.1-15)

ก่อสร้าง Barrette Pile

- ขุดหลุมสำหรับ Barrette Pile
- รักษาเสถียรภาพของหลุมด้วยสารละลาย Polymer
- ผูกโครงเหล็กเสริม และหย่อนลงในหลุม
- เทคอนกรีต Barrette Pile



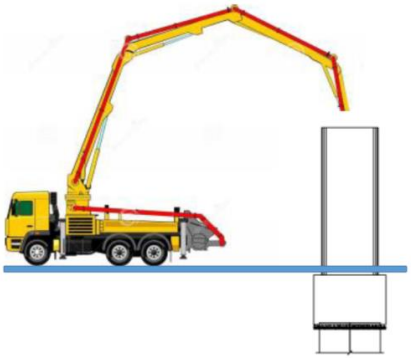
ก่อสร้าง Pile cap

- ขุดดินโดยรอบเสาเข็มออก
- ตัดหัวเสาเข็ม Barrette Pile
- เท Lean Concrete
- วางเหล็กเสริม Pile cap
- ติดตั้ง Column Starter Bar
- เข้าแบบและเทคอนกรีต Pile cap



ก่อสร้างเสา

- เข้าแบบเสา
- ค้ำยันแบบเสา
- เทคอนกรีตเสา



รูปที่ 4.1-14 การก่อสร้างโครงสร้างอาคารสถานีโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในระยะที่ 1 (รฟม., 2563)

ก่อสร้างคานขวาง (หล่อในที่)

- ปรับปรุงกำลังของดินรอบๆ Pile cap เพื่อรับน้ำหนักแบบหล่อและคอนกรีตของคานขวาง
- ติดตั้งค้ำยันและนั่งร้านรับแบบหล่อ
- ติดตั้งแบบหล่อคานขวาง
- เทคอนกรีตคานขวาง



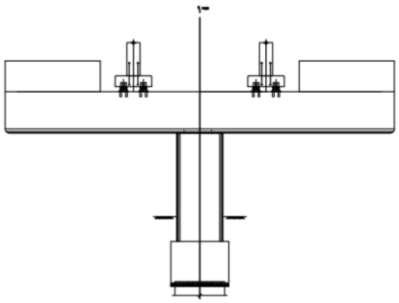
ก่อสร้างคานขวาง (หล่อสำเร็จรูป)

- ติดตั้ง Pier Head เหนือหัวเสา
- ติดตั้ง U-Segment สลับซ้าย/ขวา พร้อมดึงลวดอัดแรง
- เทคอนกรีตสดในช่องว่างรูปตัว U
- เทคอนกรีตฐานรับ I-Girder ชั้น Platform



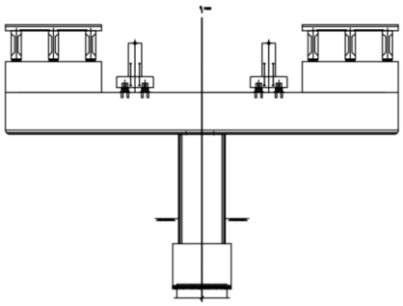
ติดตั้งคานทางวิ่ง

- ติดตั้งฐานรับ Bearing
- รถบรรทุกคานทางวิ่ง เข้าจอดที่ตำแหน่งใต้คานทางวิ่ง
- ยกคานทางวิ่งด้วย Launching Girder หรือ Mobile Crane
- วางคานทางวิ่งบน Bearing



ติดตั้งคาน I-Girder

- ติดตั้ง Elastomeric Bearing เพื่อเป็นฐานรอง I-Girder
- รถบรรทุกคาน I-Girder เข้าจอดที่ตำแหน่งใต้คาน
- ยกคาน I-Girder ขึ้นติดตั้งโดย Mobile Crane
- เทคอนกรีตพื้นชั้น Platform

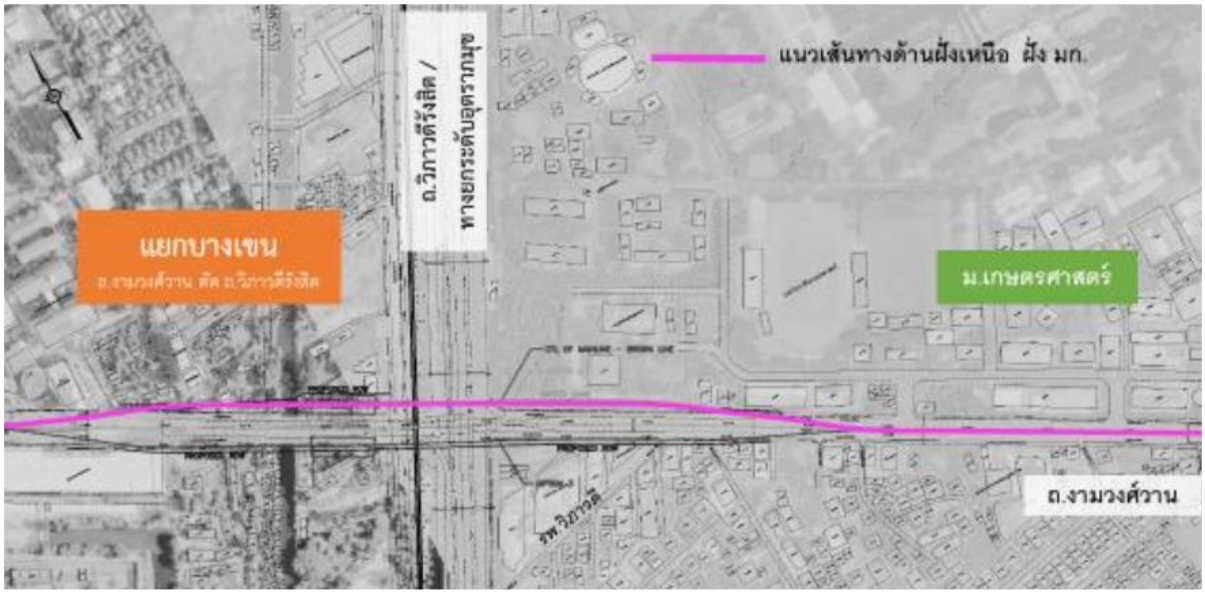


รูปที่ 4.1-15 การก่อสร้างโครงสร้างอาคารสถานีโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในระยะที่ 2 (รฟม., 2563)

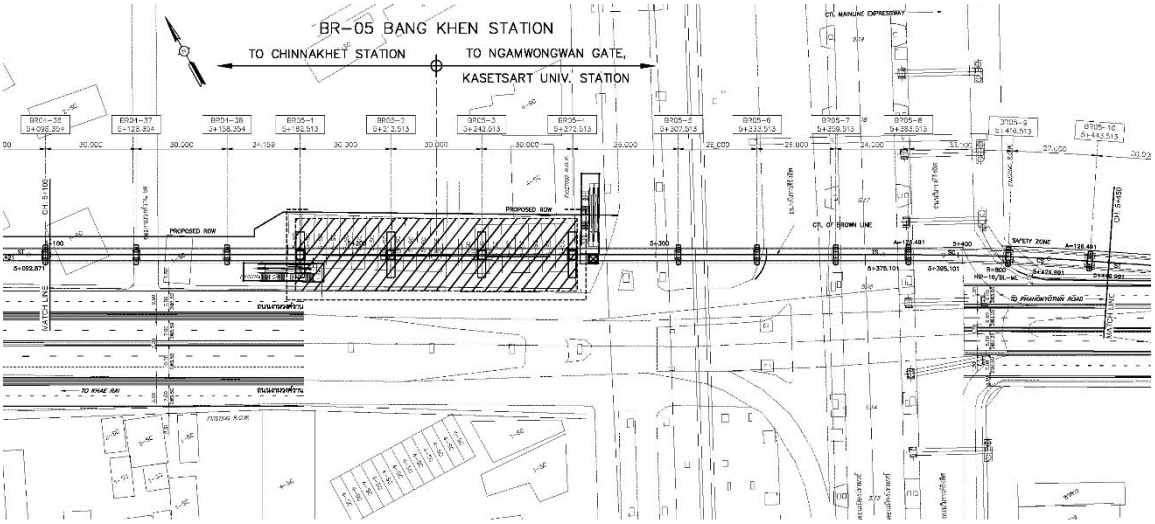
4.2 ช่วงบริเวณแยกบางเขน (ถนนวิภาวดีรังสิต – ถนนงามวงศ์วาน)

บริเวณช่วงแยกบางเขน แนวเส้นทางรถไฟฟ้ามีการเกี่ยวพันเชื่อมโยงกับโครงสร้างอื่นๆ ที่มีอยู่หนาแน่น ได้แก่ ทางยกระดับอุตราภิมุข ระบบรถไฟฟ้าสายสีแดง ระบบรถไฟฟ้าเชื่อมสนามบิน ระบบรถไฟความเร็วสูงและสะพานข้ามแยกคอนกรีตเสริมเหล็กโครงสร้างเสาเดี่ยว ขนาด 4 ช่องจราจร (2 ช่องจราจรในแต่ละทิศทาง)

การศึกษาเบื้องต้นได้ออกแบบแนวเส้นทางให้เบี่ยงแนวไปด้านข้างสะพานข้ามแยกมุ่งหน้าไปแยกเกษตร โดยต้องเวนคืนพื้นที่กลุ่มอาคารพาณิชย์ริมถนน เพื่อใช้เป็นพื้นที่สำหรับก่อสร้างสถานีบางเขนของรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ และเพื่อเชื่อมต่อกับสถานีของรถไฟฟ้าสายสีแดง แนวเส้นทางถูกจัดให้อยู่ที่ระดับ 2 ลอดโครงสร้างของระบบรถไฟฟ้าสายสีแดง และลอดทางยกระดับอุตราภิมุข ไปใช้พื้นที่ในส่วนของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อวางโครงสร้างฐานรากและเสา แล้วจึงเบี่ยงแนวเข้ากึ่งกลางถนนเมื่อพ้นโครงสร้างเชิงลาดสะพานข้ามแยก ดังแสดงในรูปที่ 4.2-1 ถึง 4.2-4 การก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณที่ตัดกับถนนวิภาวดีรังสิตและทางยกระดับอุตราภิมุขจะมีข้อจำกัดด้านพื้นที่และความสูงในการก่อสร้างเสาตอม่อและคานทางวิ่ง เนื่องจากถนนวิภาวดีรังสิตเป็นถนนที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่น และระยะช่องว่างระหว่างคานทางวิ่งของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ และคานทางยกระดับอุตราภิมุขมีระยะอยู่อย่างจำกัด ซึ่งอาจเป็นอุปสรรคในการดำเนินการก่อสร้างโครงสร้างรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ โดยโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ มีระดับ Top of rail อยู่ที่ 10.0 ม. และท้องคานสะพานทางยกระดับอุตราภิมุขมีความสูงที่ระดับ 13.45 ม. จากระดับถนนปัจจุบัน



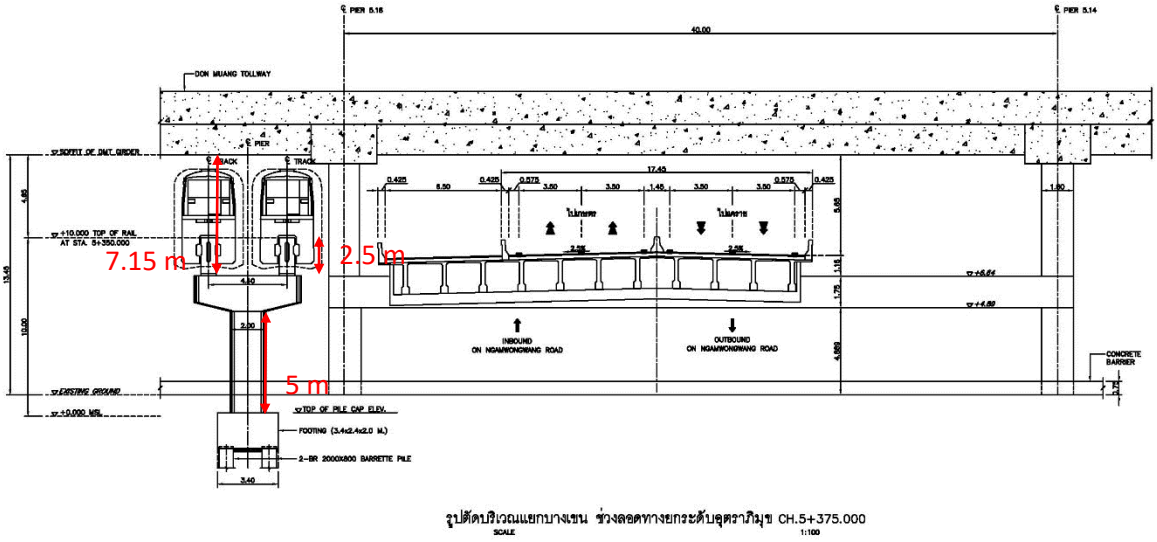
รูปที่ 4.2-1 แนวเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงแยกบางเขน



รูปที่ 4.2-2 ตำแหน่งเสาตอม่อของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณแยกบางเขน

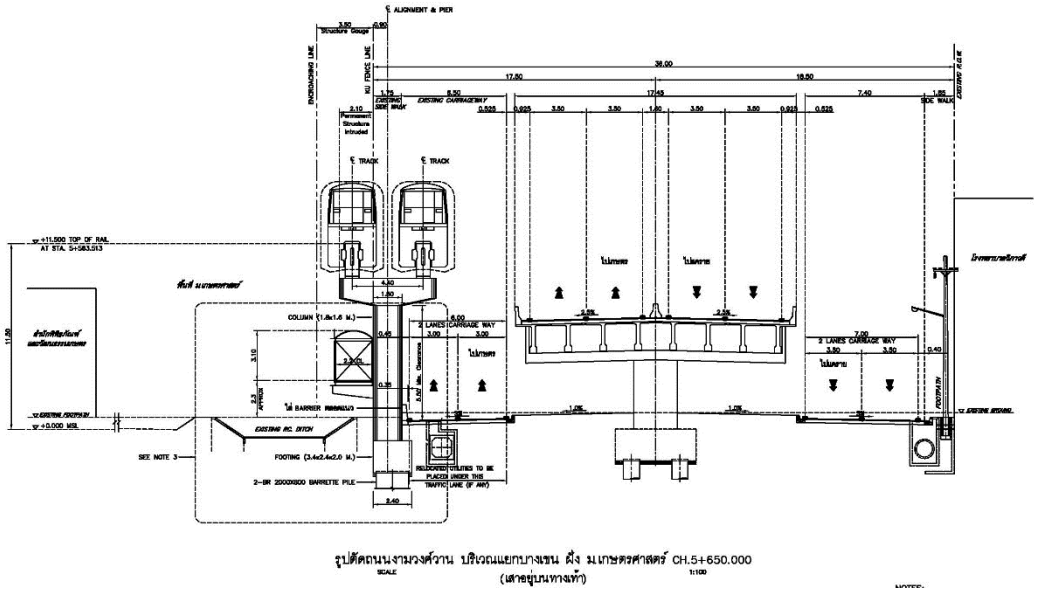


รูปที่ 4.2-3 การเชื่อมต่อของรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ และสายสีแดง



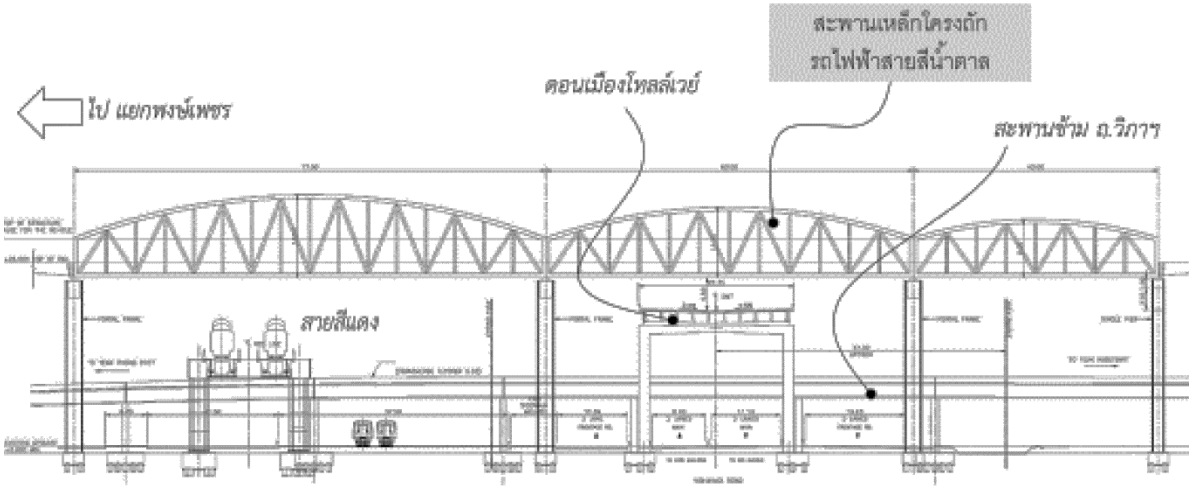
รูปที่ 4.2-4 รูปตัดบริเวณแยกบางเขนช่วงลอดทางยกระดับอุตราภิมุข

ในส่วนบริเวณที่ผ่านหน้ามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เนื่องด้วยข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ก่อสร้างตามแนวถนนงามวงศ์วานมีน้อย รูปแบบแนวเส้นทางรถไฟฟ้าในตำแหน่งนี้อาจมีการออกแบบให้โครงสร้างฐานรากอยู่ในแนวทางเท้าริมรั้วด้านนอกมหาวิทยาลัย และออกแบบให้มีทางเดินเชื่อม (skywalk) ยึดเกาะตามเสารถไฟฟ้าเพื่อทดแทนพื้นที่ทางเท้าที่ถูกใช้เป็นพื้นที่ในการวางฐานรากและเสารถไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.2-5



รูปที่ 4.2-5 รูปตัดถนนงามวงศ์วานบริเวณแยกบางเขนฝั่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ในกรณีที่ต้องหลีกเลี่ยงการใช้พื้นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จะต้องเลี่ยงแนวเส้นทางรถไฟฟ้าไปใช้แนวกึ่งกลางถนนงามวงศ์วาน โดยที่ช่วงแยกบางเขน แนวทางวิ่งจะต้องยกข้ามทางยกระดับอุตราภิมุขโดยใช้โครงสร้างเหล็กถัก และจำเป็นต้องให้สถานีบางเขนสูงขึ้น และจะต้องเจาะสะพานข้ามถนนวิภาวดีรังสิตในแนวกึ่งกลางสะพานเพื่อให้มีพื้นที่ก่อสร้างฐานรากและเสาของรถไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4.2-6

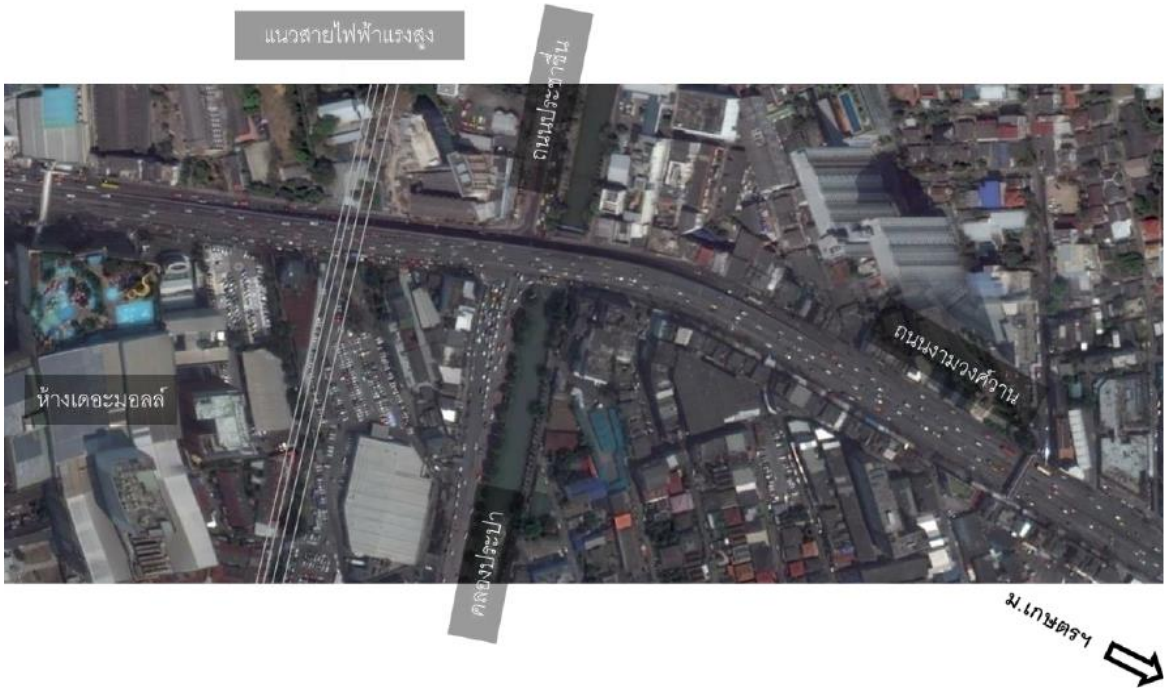


รูปที่ 4.2-6 กรณีใช้แนวเส้นทางรถไฟฟ้าที่กึ่งกลางถนนงามวงศ์วานทั้งหมด

อุปสรรคในการก่อสร้างและแนวทางเลือกต่างๆ เหล่านี้ มีผลต่อรูปแบบโครงสร้างและวิธีการก่อสร้างที่จะใช้สำหรับรูปแบบนั้นๆ ดังนั้นการที่จะสรุปเลือกใช้วิธีการก่อสร้างแบบใดจึงจำเป็นต้องมีข้อสรุปในระดับนโยบายเพื่อจำกัดรูปแบบในการพิจารณาด้วย

4.3 ช่วงบริเวณแยกพงษ์เพชร

การก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณแยกพงษ์เพชรอาจจะมีปัญหาและอุปสรรคในการก่อสร้างจากข้อจำกัดด้านพื้นที่ที่มีสะพานข้ามแยกอยู่แล้วในปัจจุบัน ซึ่งอาจทำให้มีความจำเป็นต้องทำการรื้อสะพานเดิมที่เป็นโครงสร้างเหล็กขนาด 4 ช่องจราจรและสร้างใหม่ และข้อจำกัดด้านความสูงที่โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ จะต้องลอดผ่านแนวสายไฟฟ้าแรงสูงที่บริเวณตำแหน่งนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3-1 และ 4.3-2 โดยแนวสายไฟฟ้าแรงสูงมีความสูงจากพื้นสะพานข้ามแยกถึงสายไฟฟ้าช่วงที่ต่ำที่สุดประมาณ 15.5 ม



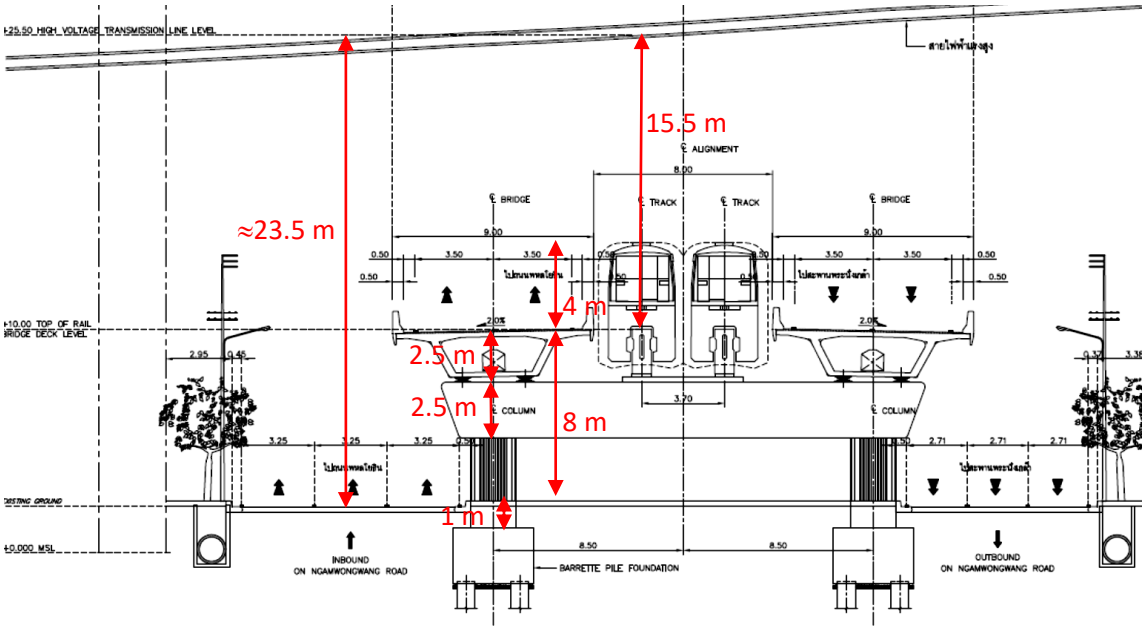
รูปที่ 4.3-1 สะพานข้ามแยกและแนวสายไฟฟ้าแรงสูงบริเวณแยกพงษ์เพชร



รูปที่ 4.3-2 ความสูงของแนวสายไฟฟ้าแรงสูงบริเวณแยกพงษ์เพชร

แนวทางการก่อสร้างโครงสร้างทางวิ่งของรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ อาจจะดำเนินการรื้อสะพานโครงสร้างเหล็กเดิมที่มีขนาด 4 ช่องจราจรออก แล้วสร้างสะพานใหม่เป็นแบบเสาคู่ (Portal Frame) พร้อมโครงสร้างทางวิ่งรถไฟฟ้า โดยแหวกช่องระหว่างกลางสะพานออก เพื่อให้มีพื้นที่สำหรับก่อสร้างโครงสร้างเสารองรับระบบรถไฟฟ้าในแนวกลางได้ นอกจากนี้ โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ อาจจะมีระดับความสูงของรถไฟฟ้าอยู่ระดับเดียวกับสะพานที่ความสูงประมาณ 8 ม. จากระดับถนน ดังแสดงในรูปที่ 4.3-3 เมื่อพิจารณาความสูงของรถไฟฟ้า (Structure Gauge) ประมาณ 4 ม. จะทำให้เหลือระยะห่าง

จากสายไฟฟ้าแรงสูงประมาณ 11.5 ม. ซึ่งมีค่ามากกว่าระยะห่างปลอดภัย 9 ม. และมีระยะเพียงพอในการดำเนินการก่อสร้างและใช้งานรถไฟฟ้า



รูปที่ 4.3-3 รูปตัดโครงสร้างรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณแยกพงษ์เพชร

4.4 ทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่จะพิจารณาของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ

จากข้อมูลโครงการสายสีน้ำตาลฯ ที่ได้ทำการศึกษาทบทวนข้างต้น ทางที่ปรึกษาฯ ได้สรุปและนำเสนอทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่มีความเป็นไปได้ของส่วนงานก่อสร้างแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

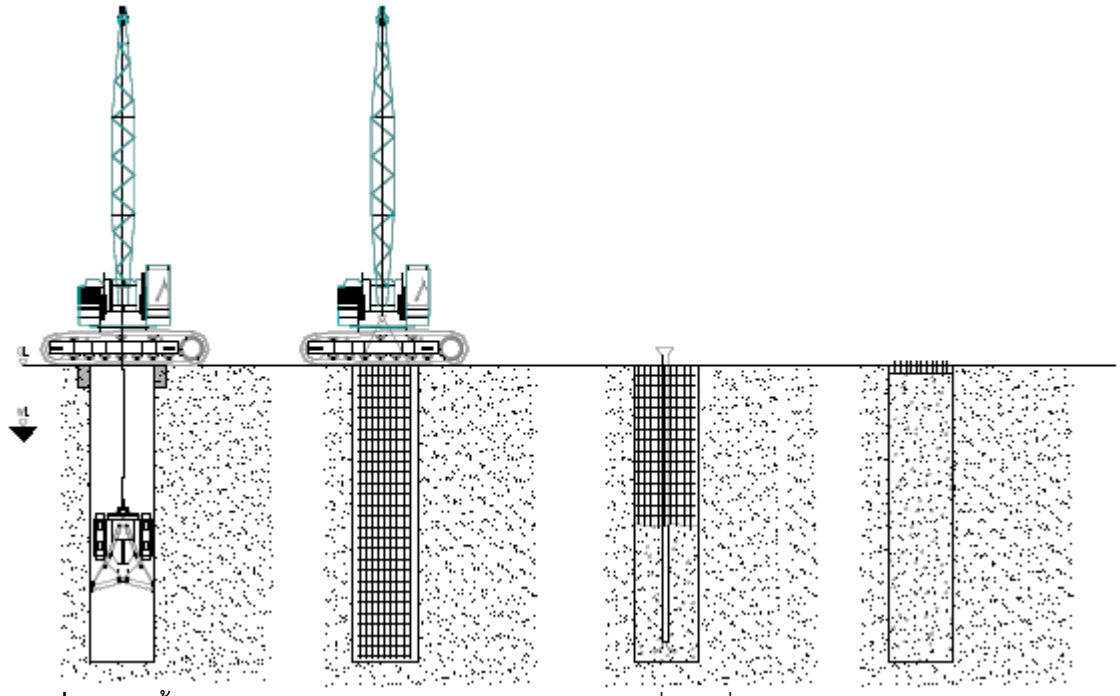
4.4.1 งานเสาเข็มและฐานราก

วิธีการก่อสร้างเสาเข็มที่สามารถดำเนินการได้มีด้วยกัน 2 วิธีคือรูปแบบเสาเข็มเจาะ (Bored Pile) และ เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) โดยสามารถสรุปขั้นตอนการก่อสร้างและข้อดีข้อเสียหลักของทั้งสองวิธีเพื่อใช้ในการวิเคราะห์คัดเลือกทางเลือกวิธีการสร้างในลำดับถัดไปได้ดังต่อไปนี้

- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile)**

สำหรับการก่อสร้างโครงสร้างของโครงการรถไฟฟ้านั้นมักจะพบปัญหาคือ เสาเข็มต้องรับน้ำหนักได้สูงมากและอาจไม่สามารถจัดกลุ่มเสาเข็มเจาะกลมได้ เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้เสาเข็มแบเร็ตซึ่งมีรูปร่างเหลี่ยม มีขนาดเส้นรอบรูปรวมถึงพื้นที่หน้าตัดที่มากกว่า ส่งผลให้สามารถรับน้ำหนักได้สูง ทั้งยังสามารถก่อสร้างเป็นรูปลักษณะต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น สี่เหลี่ยม ตัวที กากบาท เป็นต้น นอกเหนือจากนี้ในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านความสูง ยังสามารถประยุกต์ใช้เครื่องเจาะแบบก้านสั้นได้ โดยขั้นตอนดำเนินการก่อสร้างเสาเข็มแบเร็ต สามารถสรุปได้พอสังเขปดังนี้ (รูปที่ 4.4-1)

- ทำการก่อสร้างกำแพงนำร่อง (Guided Wall) สำหรับกำหนดตำแหน่งของเสาเข็ม ใช้สารละลายเบนโทไนท์ (ความหนาแน่นมากกว่าโพลีเมอร์) เพื่อรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะ
- ทำการขุดเจาะจนถึงระดับความลึกที่ต้องการ ทำความสะอาดหลุมและสารเบนโทไนท์ที่ปนเปื้อนในหลุมเจาะ
- ติดตั้งเหล็กเสริมตามที่กำหนด
- เทคอนกรีตผ่านท่อ Tremie จนถึงระดับที่ต้องการ



รูปที่ 4.4-1 ขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม (ที่มา : บริษัท ซีฟโก้ จำกัด (มหาชน))

ข้อดีและข้อเสียหลักของระบบเสาเข็มเจาะแบบเหลี่ยม (Barrette Pile)

- สามารถรับน้ำหนักได้สูงเมื่อเปรียบเทียบขนาดที่ใกล้เคียงกันกับเสาเข็มเจาะแบบกลมปกติที่นิยมใช้กัน เสาเข็มแบบเหลี่ยมจะมีขนาดเล็กกว่า หรือสามารถลดจำนวนเสาเข็มให้น้อยลงได้ ส่งผลให้ฐานรากมีขนาดเล็ก ลดปัญหาการจัดวางตำแหน่งฐานรากที่ขนาดของฐานรากอาจไปซ้อนทับกับช่องทางจราจรเหมือนกรณีของฐานรากเสาเข็มเจาะแบบกลมที่เมื่อเวลาผ่านไปนานๆ ถนนเกิดการทรุดตัวมากกว่าฐานราก หากฐานรากซ้อนทับอยู่ในแนวช่องทางจราจรจะทำให้มีสภาพถนนปูดโปนตามตำแหน่งฐานรากเป็นระยะๆ สร้างความลำบากในการขับขี่และเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้ ต้องทำการบำรุงรักษาลอกปรับผิวถนนตามตำแหน่งฐานรากที่ปูดโปนอยู่เสมอ
- จากเหตุผลข้างต้น เสาเข็มแบบเหลี่ยมจึงเหมาะกับฐานรากที่ต้องรับน้ำหนักมากๆ และต้องระวังเรื่องการจัดวางตำแหน่งฐานราก เช่น โครงสร้างทางยกระดับ โครงสร้างโครงการรถไฟฟ้า เป็นต้น
- เนื่องจากไม่มีการใช้ปลอกเหล็กชั่วคราว (Casing) เหมือนเสาเข็มเจาะ จึงต้องมีการก่อสร้างกำแพงนำร่อง (Guide wall) ความลึกประมาณ 2 ม. ด้วยคนงานก่อสร้างจำนวนหลายคน

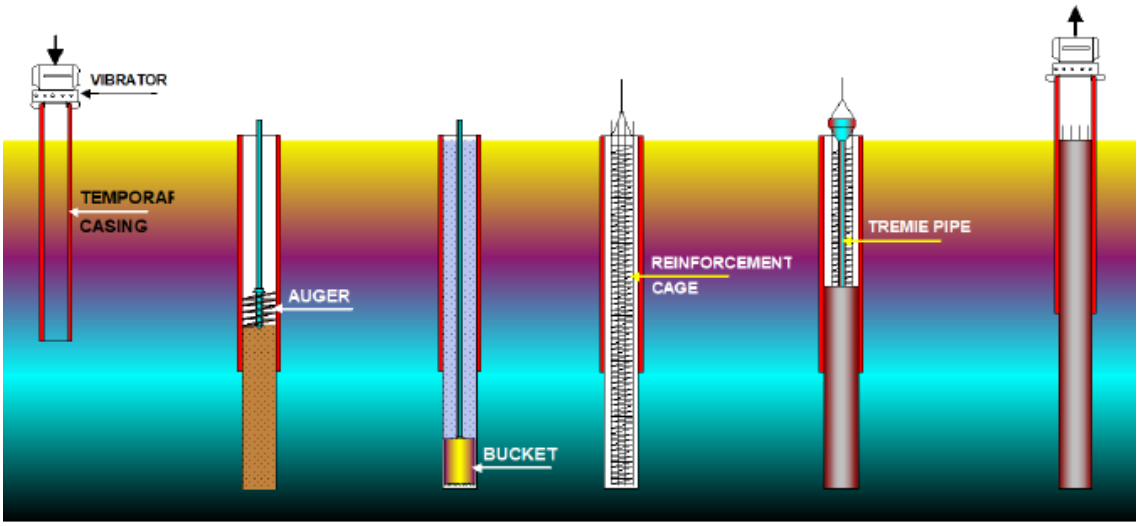
โดยใช้เวลาก่อสร้างประมาณ 2-4 วัน เพื่อกำหนดตำแหน่งของเสาเข็มเหลี่ยม ในระหว่างการขุดเจาะจะมีการเติมสารละลายขุดเจาะ (Support Fluid) เพื่อป้องกันการพังทลายของหลุมเจาะ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้สารละลายเบนโทไนท์เนื่องจากมีความหนาแน่นมากกว่าสารละลายโพลีเมอร์ เนื่องจากกำแพงนำร่องมีความลึกไม่มากนัก ในบางกรณีหากชั้นดินมีความอ่อนแอหรือมีผลกระทบจากระดับน้ำใต้ดิน และ/หรือ มีน้ำหนักกดทับจากเครื่องจักรขนาดใหญ่ข้างเคียงตำแหน่งหลุมเจาะ อาจทำให้เกิดการพังทลายของดินในหลุมเจาะได้ ซึ่งบางครั้งต้องทำการเสริมกำลังของดินด้วย Cement Column เข้าช่วย

- หลังขุดเจาะเสร็จ จะทำความสะอาดสารละลายเบนโทไนท์ที่ปนเปื้อนในหลุมเจาะโดยการใช้เครื่องกรองทราย (De-sanding Equipment) จนสารละลายเบนโทไนท์มีคุณสมบัติตามที่กำหนด ในระหว่างการเทคอนกรีตสารละลายเบนโทไนท์ที่เอ่อล้นจากหลุมเจาะจะถูกดูดกลับไปยังถังเก็บและทำการบำบัดสำหรับใช้ในการขุดเจาะต่อไป
- สามารถก่อสร้างได้ในพื้นที่ที่มีระยะความสูงจำกัดได้ (ระยะความสูงเคลียร์ที่ต้องการในการทำงานประมาณ 6-10 ม.) แต่ค่อนข้างใช้เวลาในการก่อสร้างนานกว่าเสาเข็มเจาะกลม
- ในอดีตประมาณกว่า 10 ปีที่ผ่านมา ยังไม่ค่อยเป็นที่แพร่หลายเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีใหม่ในยุคนั้น มีผู้รับเหมาที่สามารถทำได้จำนวนน้อยราย อย่างไรก็ตามในปัจจุบันผู้รับเหมาของโครงการรถไฟฟ้าสามารถทำได้แล้วทุกรายไม่แตกต่างจากความชำนาญในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะกลม
- เครื่องจักรที่ใช้ในการทำงานมีเพียงเครนและหัวขุดดิน ทำให้การทำงานมีเสียงไม่ดังมาก เมื่อเทียบกับระบบเสาเข็มเจาะแบบกลมที่ต้องมีการกระแทกปลอกเหล็กทำให้เกิดเสียงดังและการสั่นสะเทือนอย่างมากจนอาจเกิดการร้องเรียนจากประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณข้างเคียงได้ในบางครั้ง นอกจากนี้เนื่องด้วยใช้อุปกรณ์เครื่องจักรที่มีขนาดเล็กกว่า จึงมีความเสี่ยงในการเกิดอันตรายน้อยกว่ากรณีของระบบเสาเข็มเจาะแบบกลมที่มีการใช้ปลอกเหล็กขนาดใหญ่และ เครนที่มีขนาดใหญ่กว่า

- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile)**

ในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะที่ต้องการรับน้ำหนักได้มากนั้น จำเป็นจะต้องใช้เสาเข็มเจาะระบบเปียก เนื่องจากสามารถเจาะลงไปได้ลึกมากกว่า 60 เมตร จากพื้นผิวดิน สามารถก่อสร้างให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางได้มากกว่า 2 เมตร ทำให้สามารถออกแบบกำลังรับน้ำหนักได้ขึ้นกับขนาดและความลึกของเสาเข็ม โดยขั้นตอนดำเนินการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกสามารถสรุปได้พอสังเขปดังนี้ (รูปที่ 4.4-2)

- ติดตั้งปลอกเหล็กชั่วคราวเพื่อป้องกันชั้นดินเหนียวอ่อนหรือชั้นทรายหลวมพังทลายโดยทั่วไปในพื้นที่กรุงเทพฯ มักจะใช้ปอกเหล็กชั่วคราวยาวประมาณ 10 - 15 เมตร
- ขุดเจาะดินจนกระทั่งถึงระดับบริเวณปลายปลอกเหล็กชั่วคราว
- ใส่สารละลายเบนโทไนท์หรือโพลิเมอร์เพื่อรักษาเสถียรภาพหลุมเจาะ
- ขุดเจาะดินต่อจะกระทั่งถึงระดับความลึกที่ต้องการ ทำความสะอาดก้นหลุม
- ติดตั้งเหล็กเสริมตามที่กำหนด
- เทคอนกรีตผ่านท่อ Tremie จนถึงระดับที่ต้องการ
- ถอนปลอกเหล็กชั่วคราวออก



รูปที่ 4.4-2 ขั้นตอนการดำเนินการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก (ที่มา : บริษัท ซีฟโก้ จำกัด (มหาชน))

ข้อดีและข้อเสียหลักของระบบเสาเข็มเจาะแบบกลม

- โดยทั่วไปมีระยะความสูงในการทำงานประมาณ 20 ม. เนื่องจากติดระยะความยาวของปลอกเหล็กชั่วคราวและระยะในการยกปลอก ซึ่งระยะความสูงดังกล่าวทำให้จำเป็นต้องใช้เครนปกติที่มีความสูงประมาณ 20-24 ม. แต่หากมีระยะความสูงจำกัดอาจทำการปรับแต่งเครน (Modify crane) เข้าช่วยได้ เช่น การปรับระยะรอกของเครน และการปรับชนิดปลายบูมของเครน ซึ่งการปรับแต่งเครนดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยผู้ชำนาญเครนโดยเฉพาะ
- กรณีปกติสามารถก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาในการเจาะเสาเข็มขนาดใหญ่ที่มีความลึกมากๆ ได้ภายใน 2-3 วันต่อต้น ทำการเจาะเสาเข็มได้ทันทีโดยการกระแทกปลอกเหล็กชั่วคราว (Casing) ลงในดิน ปลอกเหล็กชั่วคราวนี้มีความยาวกว่า 10 ม. หรือมากกว่านั้นได้ ทำให้สามารถช่วยป้องกันการพังทลายของดินที่ระดับความลึกในระยะปลอกเหล็กดังกล่าวได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อพ้นระยะปลอกเหล็กดังกล่าว ยังคงใช้หลักการเดียวกับเสาเข็มแบบเหลี่ยมคือการเติมสารละลายขุดเจาะ เช่นสารละลายเบนโทไนท์ เพื่อป้องกันการพังทลายของหลุมเช่นเดียวกัน
- ข้อด้อยสำคัญของการใช้เข็มเจาะแบบกลม คือ เข็มเจาะกลมมีกำลังรับน้ำหนักน้อยกว่าเสาเข็มแบบเหลี่ยมเนื่องจากสำหรับขนาดพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มสองชนิดนี้ที่ใกล้เคียงกัน เสาเข็มเจาะกลมจะมีเส้นรอบรูปที่น้อยกว่าเสาเข็มแบบเหลี่ยม ส่งผลให้เมื่อเทียบกันฐานต่อฐาน ในบางกรณีของการใช้เสาเข็มเจาะกลม ต้องใช้จำนวนเสาเข็มมากกว่า และ/หรือ ใช้ฐานรากที่มีขนาดใหญ่กว่าเสาเข็มแบบเหลี่ยม ใช้ปริมาณวัสดุที่มากกว่า และ กินพื้นที่บนผิวจราจรของถนนบางส่วน ซึ่งในระยะยาวเมื่อถนนเกิดการทรุดตัว จะทำให้ผิวจราจรที่อยู่บนบริเวณหลังฐานรากของเสาเข็มเจาะกลมปูดขึ้นมากกว่าผิวจราจรส่วนอื่น ส่งผลกระทบต่อผู้ขับขี่ยานพาหนะเมื่อผ่านบริเวณดังกล่าว อาจเกิดอันตรายขึ้นได้ ทำให้ต้องคอยทำการซ่อมแซมลอกถนนส่วนที่ปูดออกดังกล่าวเป็นระยะๆ

- จากเหตุผลข้างต้น ระบบเสาเข็มเจาะแบบกลม จึงไม่เหมาะกับฐานรากที่ต้องรับน้ำหนักสูงที่ต้องระวังเรื่องการจัดวางตำแหน่งฐานราก แต่จะเหมาะกับฐานรากที่ไม่ต้องกังวลในการจัดตำแหน่ง และ ฐานรากที่รับน้ำหนักไม่สูงมาก เช่น ฐานรากอาคารทั่วไป
- การกระแทกปลอกเหล็กชั่วคราวทำให้เกิดเสียงดังและการสั่นสะเทือน หากทำงานในช่วงเวลากลางคืนที่ไปรบกวนชุมชนที่อาศัยอยู่ข้างเคียงอาจถูกร้องเรียนได้
- มีความเสี่ยงในการเกิดอันตรายต่อชุมชนข้างเคียงได้ เนื่องจากเครนที่ใช้และปลอกเหล็กชั่วคราวมีขนาดใหญ่ ในการทำงานมีการเหวี่ยงสวิงของตัวเครนและการลากขนย้ายปลอกเหล็ก เครนอาจเกิดการพลิกคว่ำ หรือปลอกเหล็กหล่นจากที่สูงเป็นอันตรายได้

4.4.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง (Column & Cross Beam)

วิธีการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางที่สามารถดำเนินการได้มีด้วยกัน 2 วิธีคือ การก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ (Cast in situ) และการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast) โดยสามารถสรุปข้อดีข้อเสียหลักของทั้งสองวิธีเพื่อใช้ในการวิเคราะห์คัดเลือกทางเลือกวิธีการสร้างในลำดับถัดไปได้ดังต่อไปนี้

- **การก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ (Cast in situ)**
  - เป็นวิธีการก่อสร้างแบบปกติทั่วไป (Conventional) ซึ่งผู้รับเหมาก่อสร้างทุกรายสามารถทำได้ ไม่ซับซ้อน แต่ใช้คนงานก่อสร้างค่อนข้างมากเนื่องจากต้องทำการเข้าแบบหล่อขนาดใหญ่ ผูกเหล็ก และ เทคอนกรีต จึงต้องมีการสร้างโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่เพื่อการทำงานตามไปด้วย ทำให้มีผลกระทบด้านความเสี่ยงในระหว่างก่อสร้างจากโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่
  - การใช้คนงานก่อสร้างจำนวนมาก ทำให้ปริมาณขยะจากการทำงานประจำวันมากตามไปด้วย
  - สามารถใช้ในการก่อสร้างเสาตอม่อที่มีความสูงไม่เกิน 10 ม. เนื่องจากหากมีความสูงเพิ่มขึ้นจะทำงานได้ยาก ต้องมีระบบค้ำยันขนาดใหญ่ที่แข็งแรง รับแรงดันคอนกรีตในระหว่างการเทคอนกรีต มีความเสี่ยงอันตรายสูง ดังนั้นหากเสาตอม่อสูงเกินกว่า 10 ม. มักนิยมเปลี่ยนไปใช้รูปแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จมากกว่า
  - เสาที่ก่อสร้างจะมีลักษณะเป็นเสาตันมีน้ำหนักมาก ใช้เวลาก่อสร้างประมาณ 3-5 วันต่อเสาหนึ่งต้น ในกรณีที่เสามีขนาดใหญ่อาจต้องแบ่งหล่อคอนกรีต 2 ครั้ง ทำให้ใช้เวลาก่อสร้างนานมากขึ้นเนื่องจากต้องเสียเวลาในการรอกำลังคอนกรีตของส่วนที่หล่อไปแล้วก่อนหน้า โดยทั่วไปการก่อสร้างเสา 1 ต้น ใช้เวลาประมาณ 60 วันในบริเวณทั่วๆ ไปที่ไม่มีการกีดขวางหรือที่การจราจรไม่หนาแน่น แต่หากทำการก่อสร้างในบริเวณที่มีการจราจรคับคั่ง มีประชาชนสัญจรผ่านบริเวณก่อสร้างมาก จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 80 วันต่อเสา 1 ต้นได้ ทำให้สำหรับโครงการรถไฟฟ้าที่มีสายทางระยะยาวไม่เป็นที่นิยม
  - สามารถทำงานได้ตลอดเวลาทั้งวัน เนื่องจากเป็นการก่อสร้างที่ตำแหน่งเสา การขนส่งวัสดุมีเพียงคอนกรีตและเหล็กเส้น ซึ่งสามารถขนส่งด้วยรถปูนปกติหรือรถเทรลเลอร์ทั่วไปได้ เว้นแต่ในกรณีที่ต้องเทคอนกรีตในปริมาณมาก ต้องใช้รถปูนจำนวนหลายคัน อาจต้องทำการจัดคิวรถปูนให้มีความต่อเนื่อง

- ในระหว่างการเทคอนกรีตจะเกิดเสียงดังจากหินที่กระทบกัน การจี้คอนกรีต และ เกิดฝุ่นก่อสร้างจำนวนมาก รวมถึงเมื่อคอนกรีตเซ็ตตัวแห้งแล้ว ยังเกิดฝุ่นปูนและเศษปูนอีกด้วย จึงก่อให้เกิดขยะในการก่อสร้างที่มากกว่า อาจเกิดการร้องเรียนของชุมชนที่อาศัยอยู่ข้างเคียงได้

- **การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast)**

  - เป็นวิธีการก่อสร้างที่รวดเร็ว ในส่วนของการยกชิ้นส่วนติดตั้งแต่ละชิ้นส่วนใช้เวลาภายใน 1 คืน สามารถติดตั้งแล้วเสร็จ นอกจากนั้นเป็นเวลาในการเตรียมงาน สำหรับเสา 1 ต้น โดยทั่วไปใช้เวลาก่อสร้างประมาณ 20 วันในบริเวณทั่วๆ ไปที่ไม่มีการกีดขวาง หรือที่การจราจรไม่หนาแน่น แต่หากทำการก่อสร้างในบริเวณที่มีการจราจรคับคั่ง มีประชาชนสัญจรผ่านบริเวณก่อสร้างมาก การก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จจะใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 30 วันต่อเสา 1 ต้นได้

  - เสามีลักษณะเป็นเสากลวง ทำให้น้ำหนักเบา ใช้ปริมาณวัสดุคอนกรีตน้อยกว่าวิธีก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ แต่มีค่าใช้จ่ายในด้านการขนส่งชิ้นส่วนและลวดเหล็กอัดแรงในโครงสร้าง ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จมีความสวยงาม ผิวคอนกรีตเรียบ ขอบคม การซ่อมแซมชิ้นงานมีน้อยเพราะสามารถควบคุมคุณภาพในการผลิตจากโรงงานได้ดีกว่าการเทคอนกรีตหน้างานในที่ซึ่งต้องมีการซ่อมแซมผิวชิ้นงาน

  - การติดตั้งต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญด้านชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จและคอนกรีตอัดแรง ต้องตรวจวัดค่าระดับในการติดตั้งที่แม่นยำ จึงต้องมีความเชี่ยวชาญงานเทคนิคก่อสร้างเป็นพิเศษ

  - การติดตั้งต้องขนส่งชิ้นส่วนมาที่บริเวณก่อสร้างด้วยรถขนาดใหญ่ และการติดตั้งต้องใช้เครนขนาดใหญ่ จึงต้องทำงานในเวลากลางคืนเท่านั้น เนื่องจากต้องปิดจราจรในบางส่วนเพื่อใช้ในการขนส่งและติดตั้ง โดยทั่วไปมักปิดจราจรทำงานในช่วงเวลา 22:00 น. ถึง 3:00 น. (ประมาณ 5 ชั่วโมง) ซึ่งอาจเป็นการปิดจราจรเพิ่มอีก 1 ช่องจราจร หรือปิดเส้นทางจราจรบริเวณที่ก่อสร้างโดยให้ประชาชนเบี่ยงไปใช้ถนนอื่นแทนชั่วคราว

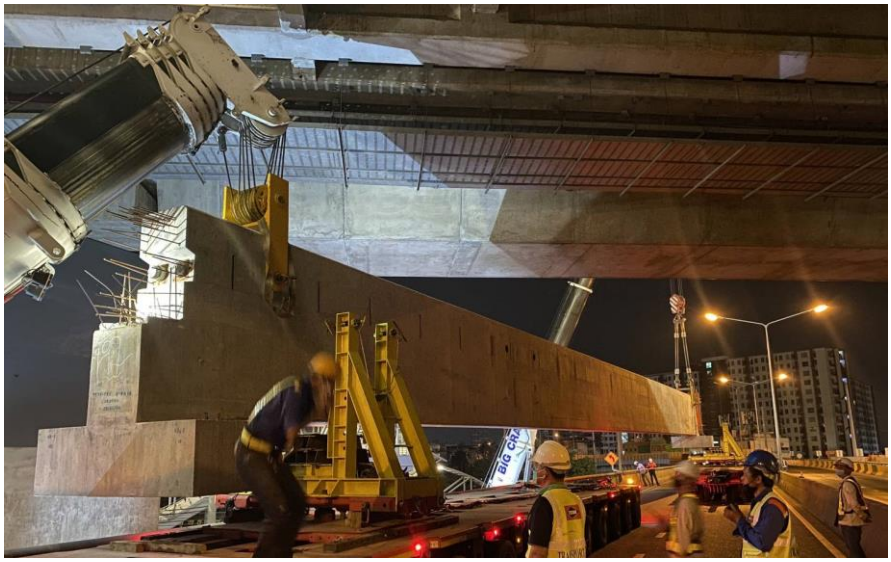
  - เนื่องจากใช้เครนในการยกติดตั้ง โครงสร้างที่สูงๆ จึงไม่มีปัญหาในการติดตั้ง ในทางตรงกันข้ามหากความสูงมีจำกัดจะทำให้การทำงานของเครนมีอุปสรรคได้ ความสูงระยะเคลียร์จำกัดที่เครนสามารถทำงานได้อยู่ที่ประมาณ 6 ม. ดังที่ได้อธิบายเพิ่มเติมไว้ในหัวข้อถัดไป

4.4.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง (Guide Way Beam)

สำหรับการก่อสร้างคานทางวิ่ง จะใช้เป็นรูปแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast) จากโรงงานแล้วนำมาติดตั้ง เนื่องจากการเทคอนกรีตในที่ไม่มีความเหมาะสม สาเหตุมาจากการก่อสร้างด้วยวิธีเทคอนกรีตในที่ใช้เวลาในการก่อสร้างนาน ความยาวช่วงคานของการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าโดยทั่วไป (Typical Span) ที่มีระยะความยาวช่วงประมาณ 20-30 ม. ซึ่งค่อนข้างยาว จำเป็นต้องตั้งนั่งร้านและค้ำยันจำนวนมาก อีกทั้งต้องทำการดึงลวดอัดแรงในภายหลัง (ความยาวช่วงคานเกินกว่าที่จะใช้รูปแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดาเพราะจะมีขนาดคานที่ลึกมากเกินไป) การก่อสร้างที่มีสายทางยาวเป็นหลายกิโลเมตร จึงเป็นไปไม่ได้ที่จะใช้วิธีก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ ดังนั้นเมื่อใช้คานทางวิ่ง

เป็นระบบโครงสร้างชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ ทางเลือกในการก่อสร้างจึงเป็นวิธีในการยกติดตั้งคาน ซึ่งสามารถพิจารณาทางเลือกวิธีการยกติดตั้งคานทางวิ่งได้ 3 วิธี ดังต่อไปนี้

- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน (Crane)**
  - เป็นวิธีการก่อสร้างที่ทำได้ง่าย ไม่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราวพิเศษ หรือ หากจำเป็นอาจมีเพียงจุดรองรับชั่วคราว (Temporary support) เพื่อวางชิ้นส่วนคานทางวิ่งแล้วจึงเคลื่อนคาน (สไลด์คาน) เข้าสู่ตำแหน่งติดตั้งอีกที ในกรณียกติดตั้งแบบปกติผู้รับเหมาทุกรายมีความสามารถทำได้ ใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนน้อยประมาณ 8-10 คน
  - รถเครนเป็นเครื่องจักรที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ อย่างไรก็ตามมีการใช้รถเครนในงานต่างๆ อย่างกว้างขวางจำนวนมาก การจัดหารถเครนใช้ในงานก่อสร้างจึงเป็นเรื่องปกติ สามารถหาได้ทั่วไป ในกรณีที่ใช้งานรถเครนเป็นครั้งคราวไม่ได้ใช้งานตลอดเวลา อาจไม่คุ้มค่าในการซื้อรถเครนไว้เป็นของตนเอง ดังนั้นผู้รับเหมาก่อสร้างจึงมักใช้ลักษณะการเช่าหารายวันหรือรายเดือน จะเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมกว่า
  - เครนมีไว้เพื่อยกของขึ้นขึ้นที่สูง เครนจึงมีความยาวแขนเครนตั้งต้นพอสมควรเพื่อให้สามารถยกของขึ้นที่สูงมากๆ ได้ เมื่อต้องการจะยกของขึ้นที่สูงมากขึ้น ก็จะยืดแขนเครนให้ยาวออกไปอีก ดังนั้นในทางตรงกันข้าม หากมีความสูงที่จำกัด กลับเป็นอุปสรรคต่อการทำงานของเครน ไม่สามารถยืดแขนเครนให้ยาวได้ หรือต้องยืนเครนในตำแหน่งที่ห่างจากจุดที่ต้องการยกของออกให้ไกลมากขึ้น เพื่อเป็นการชดเชยกับความยาวแขนเครนตั้งต้นที่ไม่สามารถหดให้สั้นลงได้ตามต้องการ ความสูงต่ำที่สุดที่เครนสามารถทำงานได้อยู่ที่ระยะประมาณ 6 ม. โดยหากมีระยะความสูงที่จำกัดมากๆ เช่น ระยะเคลียร์ที่ต่ำกว่า 6 ม. การจัดตำแหน่งเครนให้ห่างเพิ่มขึ้นอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ อาจต้องทำการปรับแต่งเครน (Modify crane) เช่น การปรับชนิดปลายบูมของเครน การปรับระยะรอกของเครน ดังแสดงตัวอย่างในการปรับแต่งเครนในรูปที่ 4.4-3 เพื่อให้สามารถทำงานในระยะความสูงจำกัดได้ ซึ่งการปรับแต่งเครนดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยผู้ชำนาญเครนพิเศษโดยเฉพาะ



รูปที่ 4.4-3 การปรับแต่ง Modify ปลายรอกเครน เพื่อการยกชิ้นส่วนที่มีระยะความสูงเคลียร์จำกัด

- การยกติดตั้งคานทางวิ่ง จะใช้เครนจำนวน 2 ตัวในการยกชิ้นส่วน โดยยกที่ตำแหน่งหัวและท้ายของชิ้นส่วนคานทางวิ่ง ทำการยกติดตั้งชิ้นส่วนในเวลากลางคืนในระหว่างปิดการจราจร เหมือนการติดตั้งชิ้นส่วนอื่นๆ ตามปกติ ใช้เวลา 1 คืน เครนจำนวน 2 ตัวจะสามารถติดตั้งคานทางวิ่งได้ประมาณ 1 คาน โดยหากเพิ่มเครนอีก 1 ตัว (รวมเป็นเครนจำนวน 3 ตัว) ยืนในตำแหน่งสลับด้านของฝั่งถนน จะสามารถช่วยให้การติดตั้งคานทางวิ่งตัวข้างเคียงอีก 1 คาน ทำได้ไวขึ้น ทำให้สามารถติดตั้งคานทางวิ่งได้ 2 ตัว ภายในระยะเวลา 1 คืนได้
- ในระหว่างการติดตั้งชิ้นส่วน การทำงานด้วยเครนจะมีการสวิงหมุนเครนที่มีความสูง ซึ่งอาจมีผลต่อความปลอดภัยของชุมชนที่อาศัยอยู่ข้างเคียงหรือผู้สัญจรผ่านไปมาได้

- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วย Launcher**
  - เป็นวิธีการก่อสร้างที่ต้องการระยะความสูงเคลียร์ประมาณ 4 ม. ในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (Launching Truss) ที่บริเวณหัวเสา (โดยอาจต้องมีจุดรองรับโครงสร้างชั่วคราว Support เพิ่มเติม) จากเสาต้นหนึ่งไปยังเสาอีกต้นหนึ่งในช่วงความยาวที่ต้องการติดตั้งคานทางวิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.4-4 การยกติดตั้งคานทางวิ่งจะอาศัยระบบ Hydraulic ในการยกชิ้นส่วนที่ตำแหน่งปลายคานทางวิ่งขึ้นอย่างช้าๆ ทำให้ในระหว่างการยกติดตั้งชิ้นส่วนดูมีความมั่นคงแข็งแรงปลอดภัย และใช้พื้นที่ในการทำงานก่อสร้างน้อยเพียงให้รถขนส่งชิ้นส่วนคานทางวิ่งสามารถนำชิ้นส่วนมาส่งถึงตำแหน่งช่วง Span ที่ต้องการติดตั้งได้เท่านั้น



รูปที่ 4.4-4 การติดตั้งคานทางวิ่งด้วย Launcher

- การใช้ระบบ Hydraulic ในการยกติดตั้งชิ้นส่วน ต้องการผู้ชำนาญการพิเศษของระบบ Hydraulic และอุปกรณ์ต่างๆ อาทิ เครื่องกว้าน (Winch) ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

- เมื่อยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่งในช่วง Span หนึ่งเสร็จ จะค่อยๆ เคลื่อนตัว Launching Truss ไปยังช่วง Span ถัดไปเพื่อยกคานทางวิ่งในช่วงถัดไป ดังนั้นหากช่วงระยะ Span มีระยะเปลี่ยนไม่เท่ากัน หรือเจอบริเวณที่มีสิ่งก่อสร้างขวางเช่นสะพาน อาจเกิดข้อจำกัดเป็นปัญหาในการติดตั้งด้วยวิธีนี้ได้
- โครงสร้างชั่วคราว (Launching Truss) ที่ใช้ในการยกมีขนาดใหญ่ ต้องทำการผลิตขึ้นรูปจากโรงงานไว้ก่อนแล้วจึงนำมาประกอบติดตั้งที่หน้างานก่อสร้าง มีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูงมาก ใช้เวลานานในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว การติดตั้งครั้งแรกอาจใช้เวลาเป็นเดือน และต้องใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนมากกว่าวิธียกติดตั้งด้วยเครน

- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วย Heavy Lift**
  - เป็นวิธีการก่อสร้างที่คล้ายกับระบบการยกชิ้นส่วนด้วย Launcher แต่มีความแตกต่างตรงที่เปลี่ยนโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ (Launching Truss) ที่พาดช่วงยาวระหว่างเสาถึงเสามาเป็นโครงสร้างจุดรองรับชั่วคราวเดี่ยวติดตั้งบนแต่ละหัวเสาแทน ดังแสดงในรูปที่ 4.4-5 จึงต้องการระยะเคลียร์เฉพาะที่เพียงพอสำหรับการติดตั้งชุดโครงสร้างชั่วคราวดังกล่าว ซึ่งโดยปกติจะมีระยะจำกัดที่น้อยกว่ารูปแบบของ Launching Truss



รูปที่ 4.4-5 การติดตั้งคานทางวิ่งด้วย Heavy Lift

- โครงสร้างจุดรองรับชั่วคราวที่หัวเสา ต้องทำการผลิตขึ้นรูปจากโรงงานแล้วนำมาประกอบติดตั้งที่หน้างานก่อสร้าง เช่นเดียวกันกับรูปแบบของ Launching Truss มีต้นทุนในการผลิตสูงเช่นเดียวกัน เพียงอาจมีขนาดที่เล็กกว่าซึ่งอาจทำให้ต้นทุนต่ำกว่าระบบ Launcher
- วิธียกด้วย Heavy Lift นี้ใช้เวลาในการติดตั้งอุปกรณ์และระบบ Hydraulic ประมาณ 2 สัปดาห์ แต่ต้องทำการติดตั้งใหม่ทุกครั้งที่ย้ายตำแหน่งเสา ทำให้เสียเวลาไปกับการติดตั้งระบบโดยรวมนานกว่าวิธีการยกด้วย Launcher

- การยกชิ้นส่วนคานทางวิ่งใช้ระบบ Hydraulic ยกชิ้นส่วนขึ้นช้าๆ เป็นระยะๆ (Stroke) ในลักษณะเดียวกันกับวิธีการยกชิ้นส่วนด้วย Launcher จึงมีความมั่นคงแข็งแรงปลอดภัย แต่ใช้เวลานานหลายวันในการยกติดตั้งคานทางวิ่งจนแล้วเสร็จได้ 1 คาน การติดตั้งระบบและการยกคานต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญด้านระบบ Hydraulic โดยเฉพาะ และอุปกรณ์ต่างๆ ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ
- ใช้พื้นที่ในการทำงานก่อสร้างน้อย ลักษณะเดียวกันกับการยกด้วยวิธี Launcher

4.5 ทางเลือกวิธีการก่อสร้างของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ แต่ละกรณี

4.5.1 กรณีศึกษาช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับแนวทางด่วนบนถนนประเสริฐมนูกิจ

4.5.1.1 งานเสาเข็มและฐานราก

กรณีศึกษานี้เป็นบริเวณที่มีข้อจำกัดด้านความสูงในการก่อสร้าง คือ มีระยะความสูงของหลังคานทางวิ่งอยู่ที่ระดับ +13.0 ม. ซึ่งสูง 11.12 ม. จากผิวถนน (ระดับ +1.88 ม.) และระดับใต้ท้องพื้นทางพิเศษมีความสูง 15.95 ม. จากผิวถนน ดังแสดงระยะความสูงไว้ในรูปที่ 4.1-5 ก่อนหน้าข้างต้น ทำให้มีระยะความสูงเคลียร์สำหรับงานก่อสร้างเสาเข็มอยู่ที่ 15.95 ม. ซึ่งระยะความสูงนี้สามารถใช้วิธีการก่อสร้างได้ทั้งแบบเสาเข็มเหลี่ยมและเสาเข็มเจาะแบบกลม ดังนั้นจึงนำเสนอวิธีการก่อสร้างเสาเข็มที่บริเวณนี้ 2 ทางเลือกคือ

- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile)**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.1 สามารถใช้การก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมในกรณีที่มีความสูงจำกัดได้ประมาณ 6-10 ม. ดังนั้นความสูงที่มีสำหรับกรณีศึกษาบริเวณนี้คือ 15.95 ม. จึงสามารถก่อสร้างได้ตามปกติ ไม่มีปัญหา
- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile)**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.1 โดยทั่วไประยะความสูงในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมต้องการระยะประมาณ 20 ม. เนื่องจากติดระยะความยาวของปลอกเหล็กชั่วคราว (Casing สูงประมาณ 10 ม.) และระยะในการยกปลอก สำหรับกรณีศึกษานี้ที่มีระยะความสูงเคลียร์อยู่ที่ 15.95 ม. จึงถือได้ว่าเป็นอุปสรรคสำหรับวิธีก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม อย่างไรก็ตามระยะความสูงนี้ยังอยู่ในวิสัยที่สามารถทำงานได้ เนื่องจากยังพอมีระยะความสูงเหลืออีกประมาณ 5.95 ม. ที่ให้เครนสามารถทำงานได้ แต่ต้องต้องทำงานอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษและทำงานอย่างค่อยเป็นค่อยไป หรืออาจเลือกใช้ปลอกเหล็กที่สั้นลงช่วยได้

4.5.1.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง (Column & Cross Beam)

วิธีการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางในบริเวณนี้มีข้อจำกัดด้านความสูงเช่นเดียวกัน ดังแสดงระยะความสูงในรูปที่ 4.1-5 ก่อนหน้าข้างต้น โดยวิธีการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางที่สามารถดำเนินการได้ในบริเวณนี้นำเสนอทางเลือกเป็น 2 วิธีคือ การก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ (Cast in situ) และการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast)

- **การก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ (Cast in situ)**

  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.2 การก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางแบบเทคอนกรีตในที่ สามารถใช้กับเสาตอม่อที่มีความสูงโดยทั่วไปประมาณไม่เกิน 10 ม. ในกรณีนี้ ความสูงของตอม่อและคานขวางอยู่ที่ระดับ +10.5 ม. ซึ่งสูง 8.62 ม. จากผิวถนน (ระดับหลังคานทางวิ่งอยู่ที่ +13.0 ม. คานทางวิ่งลึก 2.5 ม. และพื้นถนนอยู่ที่ระดับ +1.88 ม.) จึงยังอยู่ในวิสัยที่สามารถใช้วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ได้ อย่างไรก็ตาม ด้วยความสูงเริ่มเข้าใกล้ขีดจำกัดในการก่อสร้างที่ 10 ม. ทำให้ควรต้องระมัดระวังในการก่อสร้าง ทั้งในส่วนของแบบหล่อคอนกรีตที่ต้องรับแรงดันในขณะเทคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัว และส่วนของความปลอดภัยของโครงสร้างชั่วคราวที่มีความสูง

- **การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast)**

  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.2 ซึ่งเป็นวิธีการก่อสร้างที่นิยมใช้สำหรับโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) เนื่องจากขนาดของโครงสร้างไม่ใหญ่มากจนเกินกำลังของการขนส่งด้วยรถเทรเลอร์และยกติดตั้งด้วยเครน

  - สำหรับกรณีศึกษานี้ ระยะความสูงจากผิวถนนถึงระดับท้องคานทางด่วนอยู่ที่ 15.95 ม. และมีระยะเคลียร์สำหรับการติดตั้งเสาตอม่อและคานขวางอยู่ที่ประมาณ 7.33 ม. (ระยะเคลียร์ช่วงว่างจากหลังคานทางวิ่งถึงท้องคานทางด่วน = 4.83 ม. และคานทางวิ่งลึก 2.5 ม.) เป็นระยะความสูงที่เครนยังสามารถทำงานได้ตามปกติโดยไม่มีอุปสรรค

4.5.1.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง (Guide Way Beam)

การก่อสร้างคานทางวิ่ง ใช้เป็นรูปแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast) จากโรงงานแล้วนำมาติดตั้ง ในที่นี้มีข้อจำกัดในการก่อสร้างคือระยะความสูงจากระดับหลังคานทางวิ่ง (อยู่ที่ระดับ +13.0 ม.) จนถึงระดับใต้ท้องพื้นทางด่วน มีระยะเคลียร์อยู่ประมาณ 4.83 ม. จึงพิจารณาทางเลือกวิธีการก่อสร้างในการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่งคอนกรีตหล่อสำเร็จ ซึ่งมีแนวทางที่พอเป็นไปได้อยู่ 3 วิธีคือ การยกติดตั้งด้วยเครน (Crane), การยกติดตั้งด้วย Launcher และการยกติดตั้งด้วยระบบ Heavy Lift ดังต่อไปนี้

- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน (Crane)**

  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.3 สำหรับกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนนี้มีระยะความสูงเคลียร์อยู่ประมาณ 4.83 ม. ต่ำกว่าระยะที่ต้องการในการใช้งานเครนตามปกติ (6 ม.) แต่ยังเป็นความสูงที่มีความเป็นไปได้ในการยกติดตั้งชิ้นส่วนด้วยเครน ซึ่งจะทำงานยากขึ้น ต้องจัดเครนให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสม โดยใช้เครนจำนวน 2 ตัวในการยกชิ้นส่วน ยกที่ตำแหน่งหัวและท้ายของชิ้นส่วนคานทางวิ่ง การจัดตำแหน่งเครนอาจต้องใช้เวลาเป็นวัน และต้องให้เครนยืนเตี้ยอยู่ในตำแหน่งที่ถ่างออกมาจากจุดติดตั้งเพิ่มขึ้นกว่าปกติ เพื่อให้แขนของเครนรักษาระยะบูมโดยสามารถกวาดอยู่ใต้ท้องพื้นทางด่วนในระหว่างการติดตั้งได้ ซึ่งหมายถึงการใช้พื้นที่ในการปฏิบัติงานมาก ต้องทำการปิดจราจรเพิ่มเติมอีก 1-2 ช่องจราจรเป็นเวลาเต็มวันหรือสองวันเพื่อติดตั้งชิ้นส่วน นอกจากนั้นยังต้อง

มีกระบวนการทำงานพิเศษในการปรับแต่งเครน (Modify crane) เข้าช่วย เช่น การปรับระยะรอกเครน การปรับชนิดปลายบูมเครน ตัวหูจับ อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้สามารถทำงานในระยะความสูงจำกัดได้ ซึ่งการปรับแต่งเครนดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยผู้ชำนาญเครนเฉพาะทางพิเศษเท่านั้น ผู้รับเหมาที่ใช้เครนโดยทั่วไปปกติไม่สามารถทำได้ และจะต้องทำงานอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษและทำงานอย่างค่อยเป็นค่อยไปช้าๆ

- ในกรณีที่ผู้รับเหมาก่อสร้างมีแผนในการติดตั้งคานทางวิ่ง 2 ตัวในคืนเดียวกัน สามารถใช้เครนเพิ่มอีกเพียง 1 ตัว ยืนสลับฝั่งกันเพื่อช่วยยกปลายคานทางวิ่งตัวที่ 2 ที่จะติดตั้งหลังจากติดตั้งคานตัวแรกแล้วเสร็จได้ โดยเครนเดิม 1 คันที่ยกติดตั้งคานตัวแรกต้องจัดตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถยื่นปลายบูมเครนลอดใต้ท้องคานทางด่วนและข้ามคานทางวิ่งตัวแรกที่ติดตั้งไปแล้วก่อนหน้า มาเพื่อยกปลายคานทางวิ่งตัวที่ 2 พร้อมกันกับเครนที่ยืนอยู่อีกฝั่งในการติดตั้งคานตัวที่ 2

- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วย Launcher**

  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.3 การใช้อุปกรณ์ชุด Launcher สามารถใช้ได้กับระยะความสูงจำกัดที่เตี้ยกว่าการทำงานด้วยเครน ดังนั้นในกรณีที่เครนสามารถทำงานได้ การใช้ Launcher ยกติดตั้งชิ้นส่วนจึงเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ อย่างไรก็ตามควรต้องพิจารณาการใช้งาน Launcher ในช่วงระยะความยาวคานข้างเคียงด้วย เนื่องจากเมื่อ Launcher ทำงานติดตั้งคานทางวิ่งในช่วงคาน span แรกแล้ว ต้องเคลื่อนตัว Launcher ไปที่ span ถัดไปซึ่งควรมีระยะช่วงคานที่เท่ากัน และไม่มีอุปสรรคกีดขวางในการเคลื่อนตัว Launcher

- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วย Heavy Lift**

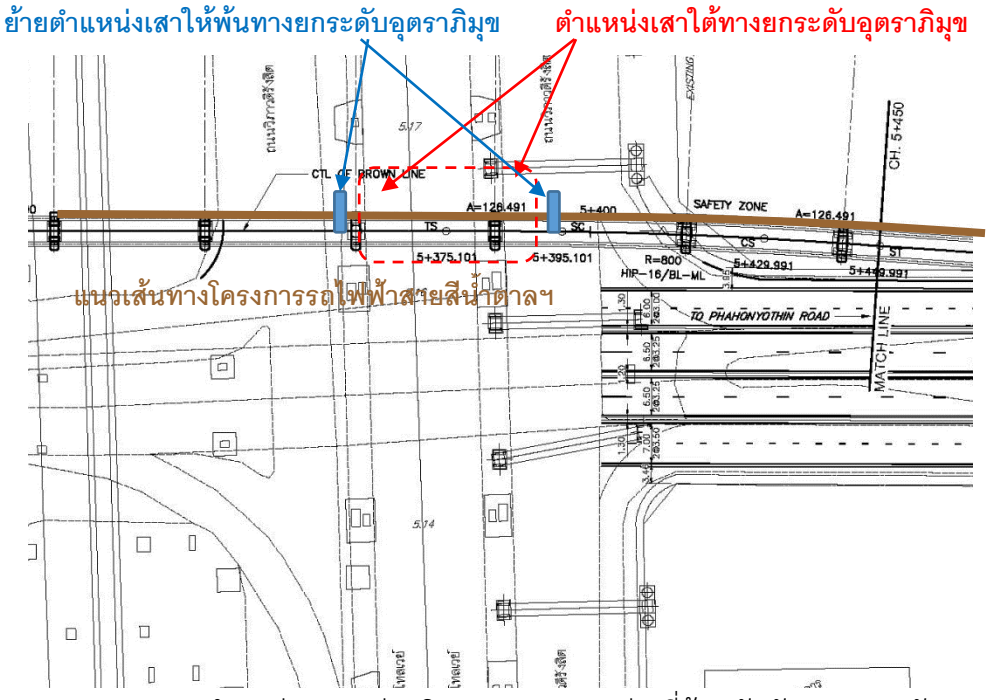
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.3 การใช้อุปกรณ์ชุด Heavy Lift สามารถใช้ได้กับระยะความสูงจำกัดที่เตี้ยกว่าการทำงานด้วยเครนหรือ Launcher ดังนั้นในกรณีที่เครนหรือ Launcher สามารถทำงานได้ ก็สามารถพิจารณาอุปกรณ์ชุด Heavy Lift เป็นทางเลือกหนึ่งของวิธีการก่อสร้างได้ แต่วิธีนี้ใช้เวลาในการติดตั้งชุดอุปกรณ์ค่อนข้างนานมากทำให้เสียเวลาในการก่อสร้าง ไม่เหมาะกับการต้องทำงานซ้ำๆ กันในหลายๆ ช่วงคาน

4.5.2 กรณีศึกษาช่วงบริเวณแยกบางเขน (ถนนวิภาวดีรังสิต – ถนนงามวงศ์วาน)

4.5.2.1 งานเสาเข็มและฐานราก

การก่อสร้างที่บริเวณนี้มีข้อจำกัดด้านความสูงคล้ายคลึงกับช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกันกับทางด่วน โดยมีข้อจำกัดด้านความสูงอยู่ที่ระดับท้องคานสะพานทางยกระดับอุตราภิมุขที่มีความสูง 13.45 ม. ซึ่งเป็นข้อจำกัดความสูงที่ต่ำกว่ากรณีของการก่อสร้างช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน (มีความสูงจำกัดที่ 15.95 ม.) ซึ่งเป็นข้อจำกัดความสูงที่สามารถก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) เท่านั้น ทำให้การก่อสร้างเสาเข็มในตำแหน่งที่อยู่ใต้ทางยกระดับอุตราภิมุขไม่มีทางเลือกอื่นนอกจากเสาเข็มแบบเหลี่ยม อย่างไรก็ตามหากพิจารณาขยับย้ายตำแหน่งของเสาเข็มให้พ้นออกจากแนวใต้ทางยกระดับอุตราภิมุข ซึ่งจะทำให้ช่วงระยะห่างระหว่างเสาตอม่อเพิ่มขึ้นจากเดิม 24 ม. เป็นประมาณ 32 ม. ดังแสดง

ในรูปที่ 4.5-1 ก็จะสามารถก่อสร้างด้วยระบบเสาเข็มเจาะกลมได้ แต่จะมีผลกระทบต่อค่าโครงสร้างที่ความยาวช่วงคานเพิ่มขึ้นและผลกระทบด้านจราจรที่จะทำให้ถนนวิภาวดีรังสิตบริเวณดังกล่าวต้องมีการเบี่ยงหลบเสาตอม่อของโครงการรถไฟฟ้า ดังนั้นทางเลือกวิธีก่อสร้างเสาเข็มที่บริเวณแยกบางเขนนี้จึงเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมและเสาเข็มเจาะแบบกลม แต่เนื่องด้วยได้นำเสนอย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวทางยกระดับ จึงทำให้มีทางเลือกวิธีก่อสร้างทั้งหมด 3 ทางเลือกคือ



รูปที่ 4.5-1แปลนแสดงตำแหน่งเสาตอม่อบริเวณแยกบางเขนช่วงที่ซ้อนทับกับทางยกระดับอุตราภิมุข

- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.1 สามารถใช้การก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมในกรณีที่มีความสูงจำกัดได้ประมาณ 6-10 ม. ดังนั้นความสูงที่มีสำหรับกรณีศึกษาบริเวณนี้คือ 13.45 ม. จึงสามารถก่อสร้างได้ตามปกติ ไม่มีปัญหา
- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข
  - ทางเลือกวิธีก่อสร้างนี้เพื่อใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบกับทางเลือกวิธีก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลมที่ต้องย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวของทางยกระดับ (มิฉะนั้นจะไม่สามารถก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมได้) จึงต้องพิจารณาวิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมที่ย้ายตำแหน่งเสาตอม่อด้วยเช่นกัน ซึ่งเมื่อย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวของทางยกระดับแล้วยิ่งทำให้ไม่มีข้อจำกัดด้านความสูงในการก่อสร้าง สามารถก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมหรือเสาเข็มเจาะแบบกลมได้
- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข

- ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.1 โดยทั่วไประยะความสูงในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมต้องการระยะประมาณ 20 ม. เนื่องจากติดระยะความยาวของปลอกเหล็กชั่วคราว (Casing สูงประมาณ 10 ม.) และระยะในการยกปลอก สำหรับกรณีศึกษานี้ที่มีระยะความสูงเคลียร์อยู่ที่ 13.45 ม. จึงไม่สามารถใช้เสาเข็มเจาะแบบกลมได้ ทำให้ต้องเสนอทางเลือกในการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นจากแนวของทางยกระดับ เพื่อให้ตำแหน่งเสาเข็มพ้นจากแนวทางยกระดับเช่นกัน จะได้ไม่มีข้อจำกัดความสูงในการก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลม
- การย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อให้พ้นจากแนวเส้นทางของทางยกระดับแม้จะช่วยให้ลดข้อจำกัดด้านความสูงในการทำงานก่อสร้างไปได้ แต่ก็เป็นการสร้างผลกระทบต่อการจราจรบนถนนวิภาวดีรังสิตที่ตำแหน่งเสาตอม่อย้ายมา ทำให้ต้องพิจารณาการเบี่ยงจราจรต่างๆ ให้มีความเหมาะสมด้วย ในส่วนนี้ทางที่ปรึกษาฯ ได้ตั้งสมมติฐานและพิจารณาผลกระทบเพิ่มเติมแล้วในรายละเอียดนำเสนอไว้ในการวิเคราะห์ทางเลือกในบทถัดๆ ไป

4.5.2.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง (Column & Cross Beam)

วิธีการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางในบริเวณนี้มีข้อจำกัดด้านความสูงเช่นเดียวกัน ดังแสดงระยะความสูงในรูปที่ 4.2-4 ก่อนหน้า โดยวิธีการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางที่สามารถดำเนินการได้ในบริเวณนี้ยังคงมี 2 วิธีโดยทั่วไปคือ การก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ (Cast in situ) และการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast) แต่เนื่องด้วยสำหรับกรณีศึกษาแยกบางเขนนี้ได้นำเสนอให้ย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวทางยกระดับ จึงทำให้มีทางเลือกวิธีก่อสร้างทั้งหมด 3 ทางเลือกที่นำเสนอคือ

- **การก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ (Cast in situ) โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.2 การก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางแบบเทคอนกรีตในที่ สามารถใช้กับเสาตอม่อที่มีความสูงโดยทั่วไปประมาณไม่เกิน 10 ม. ในกรณีนี้ ความสูงของตอม่อและคานขวางอยู่ที่ระยะ 6.30 ม. จากผิวถนน (ท้องคานทางยกระดับสูง 13.45 ม. จากผิวถนน และสูง 4.65 ม. จากหลังคานทางวิ่งที่ลึก 2.5 ม.) จึงสามารถใช้วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ได้อย่างสบาย จึงเป็นทางเลือกวิธีการก่อสร้างโดยทั่วไปที่ควรคำนึงถึงก่อนอันดับแรก
- **การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast) โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.2 ซึ่งเป็นวิธีการก่อสร้างที่นิยมใช้สำหรับโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) โดยมีข้อจำกัดระยะความสูงถึงระดับใต้ท้องคานสะพานทางยกระดับอุตราภิมุขที่ 13.45 ม. และระยะความสูงเคลียร์จากหลังคานขวางถึงท้องคานทางยกระดับที่ 7.15 ม. ซึ่งยังไม่น้อยกว่าระยะ 6 ม. ดังนั้นจึงสามารถใช้เครนในการยกติดตั้งชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางได้ตามปกติ แต่เนื่องจากระยะความสูงช่วงว่างที่มีค่อนข้างจำกัด จะต้องใช้ระยะเวลาในการปรับระยะตำแหน่งของเครนให้มีความเหมาะสม
  - ทางเลือกวิธีก่อสร้างวิธีนี้ยังใช้เพื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกวิธีก่อสร้างที่ย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุขด้วย เพื่อพิจารณาว่าการย้ายหรือไม่ย้ายตำแหน่งเสาตอม่อ แบบใดมีความเหมาะสมกว่ากัน

- **การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข
    - มีรายละเอียดเช่นเดียวกันกับทางเลือกวิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จโดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิมก่อนหน้า แต่ทางเลือกนี้ย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับเพื่อให้สอดคล้องกับทางเลือกวิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม โดยเมื่อย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวของทางยกระดับแล้วทำให้ไม่มีข้อจำกัดด้านความสูงในการก่อสร้าง สามารถใช้เครนในการยกติดตั้งชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางได้อย่างเต็มที่ ไม่ต้องเสียเวลาในการจัดตำแหน่งระยะเครนอย่างละเอียดมากนัก สามารถใช้งานเครนได้ตามปกติ
    - อย่างไรก็ตาม การย้ายตำแหน่งเสาตอม่อจากตำแหน่งเดิมมีผลกระทบให้ระยะความยาวช่วงคานข้างเคียงเปลี่ยนไป มีทั้งช่วงคานที่ยาวเพิ่มขึ้นและช่วงคานที่ลดลงจากเดิม โดยช่วงคานที่ลอดผ่านใต้ท้องทางยกระดับจะถูกขยายออกให้เสาตอม่อห่างกันมากขึ้นเพื่อให้พ้นจากแนวเส้นทางของทางยกระดับได้ ทำให้น้ำหนักที่ถ่ายจากส่วนบนสู่เสาตอม่อและคานขวางที่ขยับห่างออกนี้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้คำนึงถึงผลของการเปลี่ยนระยะช่วงคานที่ทำให้เปลี่ยนแปลงน้ำหนักสูงขึ้นดังกล่าว นำมาคิดสัดส่วนประมาณกำลังของส่วนโครงสร้างและขนาดของโครงสร้างที่ต้องเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามความเหมาะสมด้วย
    - เช่นเดียวกันกับที่ได้นำเสนอไว้ในทางเลือกวิธีก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมที่มีการย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อให้พ้นจากแนวเส้นทางของทางยกระดับก่อนหน้าข้างต้น การย้ายตำแหน่งเสาแม้จะช่วยลดข้อจำกัดด้านความสูงในการทำงานก่อสร้างได้ แต่ก็เป็นการสร้างผลกระทบต่อการจราจรบนถนนวิภาวดีรังสิตที่ตำแหน่งเสาตอม่อย้ายมา ทำให้ต้องพิจารณาการเบี่ยงจราจรต่างๆ ให้มีความเหมาะสมด้วย ในส่วนนี้ทางที่ปรึกษาฯ ได้ตั้งสมมติฐานและพิจารณาผลกระทบเพิ่มเติมแล้วในรายละเอียดนำเสนอไว้ในการวิเคราะห์ทางเลือกในบทถัดๆ ไป

4.5.2.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง (Guide Way Beam)

การก่อสร้างคานทางวิ่ง ใช้เป็นรูปแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast) จากโรงงานแล้วนำมาติดตั้ง เช่นเดียวกันกับการก่อสร้างคานทางวิ่งช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนดังที่ได้นำเสนอไปแล้วในหัวข้อที่ 4.5.1.3 โดยพิจารณาข้อจำกัดระยะความสูงที่มีถึงระดับใต้ท้องคานสะพานทางยกระดับอุตราภิมุขที่ 13.45 ม. และระดับความสูงถึงหลังคานทางวิ่งอยู่ที่ 8.80 ม. ทำให้มีระยะช่วงว่างเคลียร์จากท้องคานทางยกระดับถึงหลังคานทางวิ่งอยู่ที่ 4.65 ม. ซึ่งแนวทางในการติดตั้งคานทางวิ่งที่สามารถเป็นไปได้ยังคงเป็นวิธีการยกติดตั้งด้วยเครน (Crane) แต่อาจยุ่งยากซับซ้อน ต้องมีกระบวนการทำงานพิเศษเพราะระยะความสูงเคลียร์น้อยกว่าระยะที่เครนสามารถทำงานได้ปกติ (6 ม.) หรือวิธีการยกติดตั้งด้วย Launcher และการยกติดตั้งด้วยระบบ Heavy Lift แต่อย่างไรก็ตาม ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการติดตั้งคานทางวิ่งทั้ง 3 วิธีนี้ไว้แล้วก่อนหน้าในส่วนของกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับทางด่วน ดังนั้นในกรณีของแยกบางเขนที่มีการนำเสนอปรับย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อให้พ้นจากแนวเส้นทางยกระดับอุตราภิมุขเพื่อลดข้อจำกัดด้านความสูงในการทำงานนี้ จะนำเสนอเพียงทางเลือกวิธีการก่อสร้างยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่งด้วยการใช้เครนเพียงอย่างเดียว แต่จะทำการเปรียบเทียบระหว่าง 2 ทางเลือก คือ การยกติดตั้งด้วย

การใช้เครนโดยตำแหน่งเสาตอม่ออยู่ที่เดิม และการยกติดตั้งด้วยการใช้เครนโดยย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับ ดังนี้

- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน (Crane) โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.3 แต่ด้วยข้อจำกัดด้านความสูงที่เหลือระยะเคลียร์ประมาณ 4.65 ม. ซึ่งค่อนข้างน้อย ต่ำกว่าระยะที่ต้องการในการใช้งานเครนตามปกติ (6 ม.) การจัดตำแหน่งเครนอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ ดังนั้นนอกจากจะต้องจัดเครนให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสมซึ่งต้องใช้เวลาในการจัดตำแหน่งเครนเป็นวันๆ โดยต้องให้เครนยืนเตี้ยอยู่ในตำแหน่งที่ถ่างออกมาจากจุดติดตั้งเพิ่มขึ้นกว่าปกติ เพื่อให้แขนของเครนรักษาระยะบูมโดยสามารถกวาดอยู่ใต้ท้องพื้นทางยกระดับในระหว่างการติดตั้งได้เหมือนในกรณีที่มีระยะความสูงจำกัดแล้ว จำเป็นต้องมีการปรับแต่ง (Modify crane) เข้าช่วย เช่น การปรับระยะรอกของเครน การปรับชนิดปลายบูมของเครน ตัวหูจับ อุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้สามารถทำงานในระยะความสูงจำกัดได้ ซึ่งการปรับแต่งเครนดังกล่าวจำเป็นต้องอาศัยผู้ชำนาญเครนเฉพาะทางพิเศษเท่านั้น ผู้รับเหมาที่ใช้เครนโดยทั่วไปปกติไม่สามารถทำได้ และจะต้องทำงานอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษและทำงานอย่างค่อยเป็นค่อยไปช้าๆ
  - การจัดตำแหน่งเครนต้องละเอียดเป็นพิเศษ และใช้เวลาค่อนข้างนานถึง 1-2 วัน และเนื่องด้วยการจัดตำแหน่งเครนให้ยืนต่ำ จึงต้องการระยะยืนเพิ่ม ต้องการพื้นที่ในการทำงานเพิ่ม ต้องทำการปิดจราจรเพิ่มอีก 2 ช่องจราจร (รวมเป็นปิด 3 ช่องจราจร) และการทำงานของเครนที่ระยะความสูงต่ำต้องควบคุมให้มีการสวิงเครนน้อยที่สุด
  - และในกรณีที่ผู้รับเหมาก่อสร้างมีแผนในการติดตั้งคานทางวิ่ง 2 ตัวในคืนเดียวกัน สามารถใช้เครนเพิ่มอีกเพียง 1 ตัว ยืนสลับฝั่งกันเพื่อช่วยยกปลายคานทางวิ่งตัวที่ 2 ที่จะติดตั้งหลังจากติดตั้งคานตัวแรกแล้วเสร็จได้ โดยเครนเดิม 1 คันที่ยกติดตั้งคานตัวแรกต้องจัดตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถยื่นปลายบูมเครนลอดใต้ท้องคานทางด่วนและข้ามคานทางวิ่งตัวแรกที่ติดตั้งไปแล้วก่อนหน้า มาเพื่อยกปลายคานทางวิ่งตัวที่ 2 พร้อมกันกับเครนที่ยืนอยู่อีกฝั่งในการติดตั้งคานตัวที่ 2
- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน (Crane) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข
  - มีรายละเอียดเช่นเดียวกันกับทางเลือกวิธีการยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครนโดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิมก่อนหน้า แต่ทางเลือกนี้พิจารณาการย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับเพื่อให้สอดคล้องกับทางเลือกวิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมและการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางที่มีการย้ายตำแหน่ง โดยเมื่อย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวของทางยกระดับแล้ว จะทำให้ไม่มีข้อจำกัดด้านความสูงในการก่อสร้าง สามารถใช้เครนในการยกติดตั้งชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางได้อย่างเต็มที่ ไม่ต้องเสียเวลาในการจัดตำแหน่งระยะเครนอย่างละเอียดมากนัก สามารถใช้งานเครนได้ตามปกติ
  - อย่างไรก็ตาม การย้ายตำแหน่งเสาตอม่อจากตำแหน่งเดิมมีผลกระทบให้ระยะความยาวช่วงคานข้างเคียงเปลี่ยนไป มีทั้งช่วงคานที่ยาวเพิ่มขึ้นและช่วงคานที่ยาวลดลงจากเดิม คานที่ยาวเพิ่มขึ้นคือคานบริเวณที่ระยะห่างเสาตอม่อถูกขยายออกเพื่อให้ตำแหน่งเสาตอม่อพ้นจาก

แนวทางยกระดับ จะต้องรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นจึงต้องทำการเสริมเหล็กเพิ่มขึ้น ส่วนคานข้างเคียงจะมีความยาวคานสั้นลงและรับน้ำหนักลดลงซึ่งสามารถลดปริมาณเหล็กเสริมในคานลงได้ ในงานวิจัยนี้ได้คำนึงถึงผลของการเปลี่ยนระยะช่วงคานดังกล่าว โดยได้พิจารณากำลังรับแรงดัดของคานและปริมาณเหล็กเสริมที่ควรเพิ่มลดให้มีความสอดคล้องกับความยาวคานที่เปลี่ยนแปลงไปตามความเหมาะสมด้วย

- เช่นเดียวกันกับที่ได้นำเสนอไว้ในทางเลือกวิธีก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม และการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง ที่มีการย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อให้พ้นจากแนวเส้นทางของทางยกระดับก่อนหน้าข้างต้น การย้ายตำแหน่งเสาแม้จะช่วยลดข้อจำกัดด้านความสูงในการทำงานก่อสร้างได้ แต่ก็เป็นการสร้างผลกระทบต่อการจราจรบนถนนวิภาวดีรังสิตที่ตำแหน่งเสาตอม่อได้ย้ายมา ทำให้ต้องพิจารณาการเบี่ยงจราจรต่างๆ ให้มีความเหมาะสมด้วย ในส่วนนี้ทางที่ปรึกษาฯ ได้ตั้งสมมติฐานและพิจารณาผลกระทบเพิ่มเติมแล้วในรายละเอียดนำเสนอไว้ในการวิเคราะห์ทางเลือกในบทถัดๆ ไป

4.5.3 กรณีศึกษาช่วงบริเวณแยกพงษ์เพชร

การก่อสร้างที่บริเวณนี้มีข้อจำกัดด้านความสูงคล้ายคลึงกับช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกันกับทางด่วนและที่บริเวณแยกบางเขน โดยที่บริเวณแยกพงษ์เพชรนี้มีข้อจำกัดด้านความสูงอยู่ที่แนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงขนาด 230 kV และมีสะพานข้ามแยกโครงสร้างเหล็กเสาเดี่ยวที่จะทำการรื้อย้ายแล้วสร้างใหม่ทดแทน โดยมีความสูงจากพื้นสะพานข้ามแยก ซึ่งถูกออกแบบให้เป็นระดับเดียวกันกับรถไฟฟ้า (พื้นสะพานข้ามแยกอยู่สูงประมาณ 8 ม. จากผิวถนนด้านล่าง) ถึงสายส่งไฟฟ้าเส้นล่างสุดที่ช่วงต่ำสุดประมาณ 15.5 ม. ดังแสดงระยะความสูงไว้ในรูปที่ 4.3-3 ก่อนหน้าข้างต้น ความสูงรถไฟฟ้า (Structure Gauge) ประมาณ 4 ม. ทำให้เหลือระยะห่างจากสายไฟฟ้าประมาณ 11.5 ม. ซึ่งเป็นระยะที่พอเพียงและอยู่ในระยะปลอดภัยของสายไฟฟ้า ที่ 9 ม. โดยช่วงก่อนและหลังลอดสายไฟฟ้า รถไฟฟ้ามีความสูงอยู่ที่ระดับ 3

สำหรับกรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรนี้ เนื่องด้วยมีสะพานรถยนต์ข้ามแยกโครงสร้างเหล็กขนาด 4 ช่องจราจรที่ต้องทำการรื้อสร้างใหม่พร้อมโครงสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ฯ ค่าใช้จ่ายในการรื้อย้ายสะพานนี้จะต้องนำมาพิจารณาคำนวณร่วมในค่าก่อสร้างด้วย ซึ่งทางที่ปรึกษาฯ ได้หาข้อมูลค่ารื้อย้ายสะพานโครงการใกล้เคียงนำมาคำนวณเทียบสัดส่วนเพื่อประมาณการค่ารื้อย้ายสะพานแยกพงษ์เพชรนี้ดังรายละเอียดนำเสนอไว้ในการวิเคราะห์ทางเลือกในบทถัดๆ ไป

4.5.3.1 งานเสาเข็มและฐานราก

เนื่องจากแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงอยู่ในแนวที่ตัดกันกับแนวเส้นทางของโครงการรถไฟฟ้า แนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงมีขนาดความกว้างตามขนาดของสายส่ง การทำงานของเครื่องจักรนอกแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงจึง สามารถยกสูงได้ตามความต้องการ ดังนั้นคาดว่าข้อจำกัดด้านความสูงในบริเวณนี้จะมีผลกระทบค่อนข้างน้อยต่อทางเลือกวิธีการก่อสร้าง จึงนำเสนอวิธีการก่อสร้างเสาเข็มที่บริเวณนี้ 2 ทางเลือกคือ

- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile)**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.1 สามารถใช้การก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมในกรณีที่มีความสูงจำกัดได้ประมาณ 6-10 ม. ซึ่งความสูงที่มีสำหรับงานก่อสร้างเสาเข็มกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชรนี้คือ 23.5 ม. (พื้นสะพานข้ามแยกสูง 6 ม. จากผิวถนนด้านล่าง และห่างจากช่วงที่ต่ำสุดของสายไฟฟ้าแรงสูงเส้นล่างสุด 15.5 ม.) จึงสามารถก่อสร้างได้ตามปกติ ไม่มีปัญหา

- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile)**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.1 โดยทั่วไประยะความสูงในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมต้องการระยะประมาณ 20 ม. เนื่องจากติดระยะความยาวของปลอกเหล็กชั่วคราว (Casing สูงประมาณ 10 ม.) และระยะในการยกปลอก สำหรับกรณีศึกษานี้ที่มีระยะความสูงเคลียร์อยู่ที่ 23.5 ม. จึงไม่มีปัญหาเช่นกัน สามารถใช้วิธีก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลมได้ อย่างไรก็ตามเสาเข็มเจาะแบบกลมจะรับกำลังได้ต่ำกว่าเสาเข็มแบบเหลี่ยมในขนาดพื้นที่หน้าตัดที่เท่ากัน ดังนั้นในการเปรียบเทียบจึงต้องพิจารณาขนาดเสาเข็มเจาะแบบกลมที่ใหญ่ขึ้นเพื่อให้ได้กำลังรับแรงเท่ากันกับเสาเข็มแบบเหลี่ยม

4.5.3.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง (Column & Cross Beam)

วิธีการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางที่สามารถดำเนินการได้ในบริเวณนี้นำเสนอทางเลือกเป็น 2 วิธีเช่นเดิมคือ การก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ (Cast in situ) และการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast)

- **การก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ (Cast in situ)**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.2 การก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางแบบเทคอนกรีตในที่ สามารถใช้กับเสาตอม่อที่มีความสูงโดยทั่วไปประมาณไม่เกิน 10 ม. ในกรณีนี้ ความสูงของตอม่อและคานขวางอยู่ที่ระดับ 5.5 ม. จากผิวถนน (ระดับหลังคานทางวิ่งอยู่ที่ระดับเดียวกับพื้นสะพานรถยนต์ที่จะสร้างใหม่เท่ากับ 8.0 ม. จากผิวถนนด้านล่างและคานทางวิ่งลึก 2.5 ม.) จึงสามารถใช้วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ได้

- **การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast)**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.2 ซึ่งเป็นวิธีการก่อสร้างที่นิยมใช้สำหรับโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) เนื่องจากขนาดของโครงสร้างไม่ใหญ่มากจนเกินกำลังของการขนส่งด้วยรถเทรเลอร์และยกติดตั้งด้วยเครน
  - สำหรับกรณีศึกษานี้ ระยะความสูงจากผิวถนนถึงสายส่งไฟฟ้าแรงสูงเส้นล่างสุดช่วงที่ต่ำที่สุดคือ 23.5 ม. และมีระยะเคลียร์สำหรับการติดตั้งเสาตอม่อและคานขวางอยู่ที่ประมาณ 18.0 ม. เป็นระยะความสูงที่เครนยังสามารถทำงานได้ตามปกติโดยไม่มีอุปสรรค

4.5.3.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง (Guide Way Beam)

การก่อสร้างคานทางวิ่ง ใช้เป็นรูปแบบชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ (Precast) จากโรงงานแล้วนำมาติดตั้ง เช่นเดียวกันกับการก่อสร้างคานทางวิ่งช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนและบริเวณแยกบางเขน ในที่นี้มีข้อจำกัดในการก่อสร้างคือระยะความสูงจากระดับหลังคานทางวิ่งถึงสายส่งไฟฟ้าแรงสูงเส้นล่างสุดช่วงที่ต่ำที่สุด โดยมีระยะดังกล่าวอยู่ที่ 15.5 ม. จึงพิจารณาทางเลือกวิธีการก่อสร้างในการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่งคอนกรีตหล่อสำเร็จ ซึ่งมีแนวทางที่พอเป็นไปได้อยู่ 3 วิธีดังที่ได้นำเสนอไปแล้วในหัวข้อที่ 4.4.3 คือ การยกติดตั้งด้วยเครน (Crane), การยกติดตั้งด้วย Launcher และการยกติดตั้งด้วยระบบ Heavy Lift ดังต่อไปนี้

- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน (Crane)**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.3 สำหรับกรณีศึกษาของบริเวณแยกพงษ์เพชรนี้ที่มีระยะความสูงเคลียร์อยู่ประมาณ 15.5 ม. ยังเป็นความสูงที่เครนสามารถทำงานได้อย่างปกติ จัดตำแหน่งเครนตามปกติทั่วไป กรณีนี้สามารถติดตั้งคานทางวิ่งได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาโดยทั่วไปประมาณ 5 ชั่วโมงในการปิดจราจรช่วงเวลากลางคืนที่ทำการติดตั้ง (เวลา 22:00 น. – 03:00 น.)
  - ในกรณีที่ผู้รับเหมาก่อสร้างมีแผนในการติดตั้งคานทางวิ่ง 2 ตัวในคืนเดียวกัน สามารถใช้เครนเพิ่มอีกเพียง 1 ตัว ยืนสลับฝั่งกันเพื่อช่วยยกปลายคานทางวิ่งตัวที่ 2 ที่จะติดตั้งหลังจากติดตั้งคานตัวแรกแล้วเสร็จได้ โดยเครนเดิม 1 คันที่ยกติดตั้งคานตัวแรกต้องจัดตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถยื่นปลายบูมเครนลอดใต้ท้องคานทางด่วนและข้ามคานทางวิ่งตัวแรกที่ติดตั้งไปแล้วก่อนหน้า มาเพื่อยกปลายคานทางวิ่งตัวที่ 2 พร้อมกันกับเครนที่ยืนอยู่อีกฝั่งในการติดตั้งคานตัวที่ 2
- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วย Launcher**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.3 การใช้อุปกรณ์ชุด Launcher สามารถใช้ได้กับระยะความสูงจำกัดที่เตี้ยกว่าการทำงานด้วยเครน ดังนั้นในกรณีที่เครนสามารถทำงานได้ การใช้ Launcher ยกติดตั้งชิ้นส่วนจึงเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ อย่างไรก็ตามควรต้องพิจารณาการใช้งาน Launcher ในช่วงระยะความยาวคานข้างเคียงด้วย เนื่องจากเมื่อ Launcher ทำงานติดตั้งคานทางวิ่งในช่วงคาน span แรกแล้ว ต้องเคลื่อนตัว Launcher ไปที่ span ถัดไปซึ่งควรมีระยะช่วงคานที่เท่ากัน และไม่มีอุปสรรคกีดขวางในการเคลื่อนตัว Launcher
- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วย Heavy Lift**
  - ดังรายละเอียดวิธีการก่อสร้างที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.4.3 การใช้อุปกรณ์ชุด Heavy Lift สามารถใช้ได้กับระยะความสูงจำกัดที่เตี้ยกว่าการทำงานด้วยเครนหรือ Launcher ดังนั้นในกรณีที่เครนหรือ Launcher สามารถทำงานได้ ก็สามารถพิจารณาอุปกรณ์ชุด Heavy Lift เป็นทางเลือกหนึ่งของวิธีการก่อสร้างได้ แต่วิธีนี้ใช้เวลาในการติดตั้งชุดอุปกรณ์ค่อนข้างนานมากทำให้เสียเวลาในการก่อสร้าง ไม่เหมาะกับการต้องทำงานซ้ำๆ กันในหลายๆ ช่วงคาน

5. การวิเคราะห์ทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการให้คะแนนของแต่ละทางเลือกในแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างของโครงสร้างในส่วนต่างๆ ได้แก่การก่อสร้างเสาเข็ม, การก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง และ การก่อสร้างคานทางวิ่ง ตามที่ได้นำเสนอไว้ในเนื้อหาบทก่อนหน้า โดยอ้างอิงวิธีและเกณฑ์การให้คะแนนดังในภาคผนวก ง. ซึ่งการที่จะให้คะแนนของแต่ละทางเลือกได้ จะต้องมีข้อมูลของทางเลือกในแต่ละปัจจัยนั้นๆ เช่น สำหรับปัจจัยด้านค่าก่อสร้าง ก็จะต้องมีข้อมูลค่าก่อสร้างของทางเลือก A และทางเลือก B จึงจะสามารถนำมาให้คะแนนเปรียบเทียบกันระหว่างทางเลือกได้ ข้อมูลของทางเลือกในแต่ละปัจจัยจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง หากทราบค่าข้อมูลที่ละเอียด ก็จะสามารถเปรียบเทียบทางเลือกได้อย่างถูกต้อง แต่หากข้อมูลไม่ครบถ้วน การเปรียบเทียบกันระหว่างทางเลือกก็อาจคลาดเคลื่อนได้

ข้อมูลของทางเลือกจะอ้างอิงตามปัจจัยที่ที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง ซึ่งประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก คือ ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง และ ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อมและนโยบาย โดยข้อมูลของทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างเดียวกันอาจมีข้อมูลที่แตกต่างกันได้ในแต่ละกรณีศึกษาเนื่องด้วยสภาพแวดล้อมและข้อจำกัดต่างๆ ที่มีความแตกต่างกัน เช่น บริเวณหนึ่งอาจมีข้อจำกัดจากสิ่งก่อสร้างเดิม ในขณะที่อีกบริเวณหนึ่งไม่มี แต่มีข้อจำกัดในด้านระบบสาธารณูปโภคเป็นต้น ดังนั้นในแต่ละกรณีศึกษาจึงต้องพิจารณาข้อมูลเป็นกรณีๆ ไป ในงานวิจัยนี้ได้สืบค้นข้อมูลของทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่นำเสนอในแต่ละปัจจัยจากฐานข้อมูลด้านราคาของทาง รฟม. และจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วยที่ปรึกษาควบคุมงานก่อสร้างและผู้รับเหมาก่อสร้างที่มีประสบการณ์ โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละปัจจัยดังต่อไปนี้

5.1. ข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์

ข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วยข้อมูลด้านราคาค่าก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างเป็นหลัก สำหรับงานวิจัยนี้ทางที่ปรึกษาฯ ได้สืบค้นข้อมูลตามฐานข้อมูลประกาศราคากลางของทาง รฟม. ซึ่งจะมีข้อมูลงบประมาณที่ได้รับจัดสรรและราคากลางในงานจ้างก่อสร้าง โดยได้อ้างอิงข้อมูลของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีม่วง (ช่วงเตาปูน – ราษฎร์บูรณะ (วงแหวนกาญจนาภิเษก) และโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ช่วงคลองบ้านม้า – สุวินทวงศ์) เป็นหลัก ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวเป็นของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้ารางหนัก (Heavy rail) ซึ่งแตกต่างจากชนิดของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ที่เป็นรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) แต่เนื่องด้วยข้อมูลราคากลางของโครงการรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) ระบุราคาค่าก่อสร้างเป็นแบบเหมารวมเท่านั้น ไม่มีการแสดงราคาแยกรายละเอียด ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้คำนวณในที่นี้ได้ จึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลของโครงการรถไฟฟ้ารางหนัก (Heavy rail) ที่พอมีรายละเอียดสามารถนำมาคำนวณแยกราคาค่าก่อสร้างตามปัจจัยต่างๆ ได้ อย่างไรก็ตามในบางปัจจัยข้อมูลราคาค่าก่อสร้างที่มี ไม่สามารถนำมาแยกรายละเอียดได้ จะใช้วิธีสมมติ

ประมาณเป็นสัดส่วนของค่าก่อสร้างแทน โดยมีรายละเอียดข้อมูลด้านปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์ในการคำนวณราคาค่าก่อสร้างต่างๆ ดังต่อไปนี้

5.1.1 ข้อมูลค่าก่อสร้าง (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.1)

มีรายละเอียดค่าก่อสร้างแยกตามชนิดของโครงสร้างดังนี้

5.1.1.1 งานก่อสร้างเสาเข็ม

สำหรับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ตามข้อมูลการศึกษาความเหมาะสมของโครงการ กำหนดใช้เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) ขนาด 2.7x0.8 ม. ซึ่งมีขนาดแตกต่างจากราคากลางค่าก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วงและสายสีส้ม จึงใช้วิธีการคำนวณราคากลางเทียบต่อพื้นที่หน้าตัดเสาเข็มแล้วจึงค่อยคำนวณเป็นราคาค่าก่อสร้างของขนาดเสาเข็มที่ต้องการ ในกรณีของทางเลือกวิธีการก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะ จะใช้วิธีการคำนวณเทียบพื้นที่หน้าตัดเสาเข็มที่เท่ากันกับเสาเข็มชนิดแบบเหลี่ยม ดังนั้นสำหรับเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) ขนาด 2.7x0.8 ม. จะเทียบเท่าเสาเข็มเจาะกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง dia.1.66 ม. แต่เสาเข็มเจาะกลมขนาด dia. 1.66 ม. ไม่มีในท้องตลาด จะเลือกใช้ขนาดที่เหมาะสมใกล้เคียงกันคือขนาด dia. 1.8 ม.

การคำนวณค่าก่อสร้างงานเสาเข็มมีรายละเอียดดังนี้

ค่าก่อสร้างเสาเข็ม						
วิธีการก่อสร้าง	เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile)			เสาเข็มเจาะ (Bored Pile)		
	ขนาดเสาเข็ม	ราคากลาง (B/m)	ราคากลาง (B/m3)	ขนาดเสาเข็ม	ราคากลาง (B/m)	ราคากลาง (B/m3)
ข้อมูลสายสีส้ม	1x3 ม.	23,080.00	7,693.33	dia. 2 ม.	28,490.00	9,068.65
	1.2x3 ม.	27,080.00	7,522.22	dia. 1.5 ม.	15,770.00	8,923.99
ข้อมูลสายสีม่วง	1x4 ม.	40,196.86	10,049.22	dia. 2 ม.	35,721.78	11,370.60
	1x3 ม.	38,052.23	12,684.08	dia. 1.8 ม.	28,900.11	11,357.03
	ราคาเฉลี่ย (B/m3)		9,487.21	ราคาเฉลี่ย (B/m3)		10,180.07
กรณีศึกษา	2.7x0.8 ม.	**20,492.38**		dia. 1.8 ม.	**25,905.11**	

ราคาค่าก่อสร้างงานเสาเข็มยังต้องบวกด้วยส่วนของค่าทดสอบเสาเข็ม ซึ่งในราคากลางระบุเป็นค่าทดสอบแบบเหมารวม ในที่นี้จึงใช้วิธีคำนวณโดยใช้ราคากลางดังกล่าวเป็นค่าก่อสร้างแบบเหมารวมของกรณีศึกษาเช่นกัน แล้วคำนวณกลับด้วยจำนวนเสาเข็มที่พิจารณาเป็นราคาต่อหน่วยสำหรับกรณีศึกษานั้นๆ โดยราคากลางจากฐานข้อมูลโครงการรถไฟฟ้ารางหนัก (Heavy rail) จะใช้เสาเข็มที่มีความยาวประมาณ 60 ม. ดังนั้นจะสามารถคำนวณเป็นราคาค่าทดสอบเสาเข็มรวมต่อเมตรได้ดังนี้

ค่าทดสอบเสาเข็ม						
วิธีการก่อสร้าง	**เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile)**			**เสาเข็มเจาะ (Bored Pile)**		
	Pilot pile (B)	**Static load test (B)**	**รวมค่าทดสอบ (B)**	**Pilot pile (B)**	**Static load test (B)**	**รวมค่าทดสอบ (B)**
ข้อมูลสายสีส้ม	8,082,000.00	750,000.00	8,832,000.00	7,013,000.00	650,000.00	7,663,000.00
	9,350,000.00	900,000.00	10,250,000.00	3,355,000.00	500,000.00	3,855,000.00
ข้อมูลสายสีม่วง	10,949,730.95	800,000.00	11,749,730.95	9,616,584.99	600,000.00	10,216,584.99
	9,132,534.79	1,111,250.00	10,243,784.79	7,789,433.88	500,000.00	8,289,433.88
ราคาเฉลี่ย	ราคาเฉลี่ย (B/m) ต่อโครงการ (คิดเข็มยาว 60 ม.)		**171,147.98**	ราคาเฉลี่ย (B/m) ต่อโครงการ (คิดเข็มยาว 60 ม.)		**125,100.08**

และสำหรับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงบริเวณที่มีการซ้อนทับกับทางด่วนนั้นจะมีจำนวนตอม่ออยู่ประมาณ 200 ต้น แต่ละต้นใช้เสาเข็มจำนวน 2 ต้น รวมจึงมีจำนวนเสาเข็มที่จะเปรียบเทียบทางเลือกวิธีก่อสร้างในบริเวณนี้ทั้งหมด = 400 ต้น จะสามารถคำนวณค่าทดสอบของเสาเข็มของทั้ง 2 ทางเลือกต่อต้นต่อเมตร เพื่อรวมกับค่าก่อสร้างเสาเข็ม ได้เป็นค่าก่อสร้างรวมของเสาเข็มได้ดังนี้

กรณีศึกษา พิจารณาเสาเข็มจำนวน 400 ต้น (ประมาณจำนวนจากแบบในช่วงแนวเส้นทางที่ซ้อนทับกับทางด่วน						
วิธีการก่อสร้าง	**เสาเข็มแบบเหลี่ยม**			**เสาเข็มเจาะ**		
	ค่าเสาเข็ม (B/m)	**ค่าทดสอบ (B/m)**	**ค่าก่อสร้างรวม (B/m)**	**ค่าเสาเข็ม (B/m)**	**ค่าทดสอบ (B/m)**	**ค่าก่อสร้างรวม (B/m)**
กรณีศึกษา	20,492.38	427.87	**20,920.25***	25,905.11	312.75	**26,217.86***

* ค่าก่อสร้างที่นำไปกรอกในตารางข้อมูลเพื่อคำนวณคะแนนปัจจัยเปรียบเทียบทางเลือกตามปัจจัยต่างๆ ในลำดับต่อไป

ทั้งนี้ยังไม่รวมค่าทดสอบทำ Dynamic load test อีก = (100,000+90,000)/2 = 95,000 บ. ต่อต้น เนื่องจากอ้างอิงตามฐานข้อมูลราคากลาง ค่าทดสอบดังกล่าวสำหรับเสาเข็มแบบเหลี่ยมและเสาเข็มเจาะมีค่าทดสอบเท่ากัน

5.1.1.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง

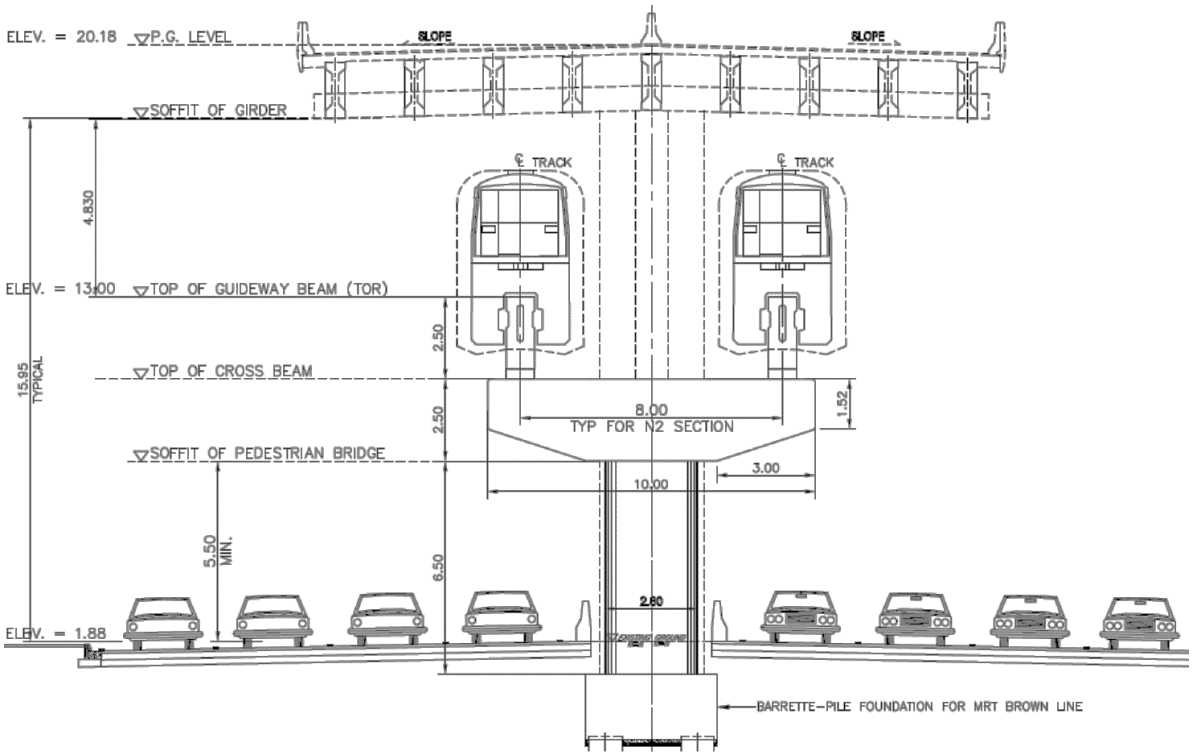
ทางเลือกในการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง และ การคำนวณราคาค่าก่อสร้าง มีดังนี้

- **วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่**

เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่มีแบบรายละเอียดของโครงสร้างส่วนบนของกรณีศึกษา ซึ่งสำหรับโครงสร้างส่วนบนนั้น ปริมาณคอนกรีตและเหล็กเสริมในโครงสร้างมีส่วนสัมพันธ์กันแล้วแต่ลักษณะการออกแบบ ซึ่งจะทำให้การคิดราคาค่าก่อสร้างจากปริมาณวัสดุคอนกรีต เหล็กเสริม ลวดอัดแรง การผูกเหล็ก มีความแตกต่างกันในแต่ละโครงการ ประกอบกับงานวิจัยนี้สามารถสืบค้นข้อมูลแบบโครงสร้างของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม จึงพิจารณาแล้วเห็นว่าควรอ้างอิงราคากลางจากข้อมูลของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้มเป็นหลัก

ค่าก่อสร้างวัสดุคอนกรีตของทางเลือกการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่จะอ้างอิงจากค่าก่อสร้างของส่วนงานฐานรากและเสา ของข้อมูลโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้มและสีม่วง

ค่าก่อสร้างวัสดุเหล็กเสริม จะคำนวณเริ่มจากปริมาตรส่วนโครงสร้างของเสาและคานขวางจากข้อมูลกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ที่ได้รับจากทาง รฟม. ดังแสดงในรูปที่ 5.1-1 และอ้างอิงสัดส่วนปริมาณวัสดุเหล็กเสริมต่อคอนกรีตจากแบบโครงสร้างเสาตอม่อของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม โดนอนุมานว่าใช้สัดส่วนปริมาณเหล็กเสริมต่อคอนกรีตของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ฯ เท่ากับ 80% ของโครงสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม เนื่องจากเหตุผลความแตกต่างของรถไฟฟ้ารางหนัก (Heavy rail) และรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) ที่น้ำหนักโครงสร้างน้อยกว่า



รูปที่ 5.1-1 : รูปตัดขวางกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณที่ซ้อนทับกันกับทางด่วน (ขนาดโครงสร้างอ้างอิงตาม สนข.2561, 2563, ระยะความสูงจำกัดท้องทางด่วนอ้างอิงตาม รฟม.2565)

การคำนวณค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางของวิธีก่อสร้างแบบเทในที่มีรายละเอียดดังนี้

ค่าวัสดุคอนกรีต (C35) (B/m3)				
โครงสร้าง	**ฐานรากทางยกระดับ**	**เสาทางยกระดับ**	**ฐานรากสถานี**	**เสาสถานี**
ข้อมูลสายสีส้ม	3,688.00	4,690.00	3,826.00	4,334.00
ข้อมูลสายสีม่วง	4,280.34	7,662.92	4,82780	5,864.65
			ราคาค่าคอนกรีตเฉลี่ย (B/m3)	**4,896.71**

กรณีศึกษาสายสีน้ำตาลฯ

เสามีขนาดหน้าตัดประมาณ 2x2.8 ม. สูง 6.5 ม. มีปริมาตร 36.4 ม.^{3}

คานขวางมีพ.ท.รูปด้านข้างประมาณ 22.07 ตร.ม. ลึก 2 ม. เท่าความหนาเสา จะมีปริมาตร = 44.14 ม.^{3}

ปริมาณสัดส่วนของเหล็กเสริมต่อคอนกรีตที่ใช้ในเสาตอม่อโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม เท่ากับ 301.79 กก./ลบ.ม. (รายละเอียดเหล็กเสริมในเสาตอม่อของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้มดูได้ที่ภาคผนวก จ.) มีค่าวัสดุเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD40 เท่ากับ 31,500 บ./ตัน ของน้ำหนักเหล็กเสริมที่ใช้

สำหรับเสาตอม่อรถไฟฟ้ารางเบา ที่น้ำหนักเบากว่าคิดลดเป็นอัตราส่วน 80% ของรูปแบบรถไฟฟ้ารางหนัก ดังนั้นจึงคิดปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ในเสาตอม่อและคานขวางเหลือ = 241.43 กก./ม.^{3}

ค่าก่อสร้างเสาและคานขวางของทางเลือกวิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่จะเท่ากับ

- คอนกรีตเสา 36.4 ม.^{3} x 4,896.71 บ./ลบ.ม. = 178,240.38 บ.
- คอนกรีตคานขวาง 44.14 ม.^{3} x 4,896.71 บ./ลบ.ม. = 216,146.82 บ.
- ปริมาณเหล็กเสริม 241.43 กก./ม.^{3} x (36.4+44.14) ม.^{3} x 31.5 บ./กก.= 612,525.30 บ.
- รวมเป็นราคากลางค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางทั้งหมด = 1,006,912.51บ.

ค่าก่อสร้างนี้เป็นราคากลางที่น่าจะรวมค่าโครงสร้างชั่วคราว ไม้แบบและอื่นๆ ไว้แล้วเนื่องจากไม่ระบุในรายละเอียด ดังนั้นในที่นี้จึงคิดค่าก่อสร้างดังกล่าวไว้ในปัจจัยของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ปัจจัยย่อยที่ 1.3) ที่ **10%** ของราคากลางรวม จะได้ว่า

- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว = **100,691.25 บ.**
- ค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางของวิธีก่อสร้างแบบเทในที่ = **906,221.26 บ.**

- **วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast)**

การก่อสร้างเสาและคานขวางด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ มีข้อพิจารณาเพิ่มเติมคือ ชิ้นส่วนโครงสร้างจะมีลักษณะกลวง เพื่อลดน้ำหนักในการขนส่งและติดตั้ง และใช้วิธีการประกอบชิ้นส่วนเข้าด้วยกันด้วยการใช้ระบบลวดอัดแรง (Prestressed) ในที่นี้สำหรับกรณีศึกษาสายสีน้ำตาลฯ จึงพิจารณา

ความหนาคอนกรีตของชิ้นส่วนเสาเท่ากับ 0.30 ม. ซึ่งเท่ากับความหนาของชิ้นส่วนเสาที่ใช้ในโครงการรถไฟฟ้าสายสีเหลือง (ดูภาคผนวก จ.) ที่เป็นรูปแบบรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) เช่นเดียวกัน โดยพบว่าปริมาณเนื้อคอนกรีตจะเหลือ 45% ของเสาแบบคอนกรีตตัน และในชิ้นส่วนคานขวาง จะคิดปริมาตรช่องว่างบริเวณกึ่งกลางคานเท่ากับอัตราส่วนช่องว่างของคานขวางที่ใช้ในโครงการรถไฟฟ้าสายสีเหลือง โดยพบว่าช่องว่างในคานขวางมีขนาดประมาณ 13.6% ของขนาดคาน ทั้งหมดนี้เพื่อคำนวณปริมาณคอนกรีตของโครงสร้างเสาและคานขวางตามลำดับ

สำหรับราคาต่อหน่วยของคอนกรีตที่ใช้ในงานชิ้นส่วนหล่อสำเร็จจะอ้างอิงจากการถอดปริมาณคอนกรีตของชิ้นส่วนคานคอนกรีตหล่อสำเร็จของสถานีโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (รายละเอียดแบบชิ้นส่วนคานคอนกรีตหล่อสำเร็จดูได้ที่ภาคผนวก จ.) สามารถดูรายละเอียดการคิดคำนวณได้ที่หัวข้อที่ 5.1.1.3 เนื่องจากเป็นส่วนของงานก่อสร้างคานทางวิ่ง โดยราคาวัสดุคอนกรีตของชิ้นส่วนหล่อสำเร็จเท่ากับ 7,090.60 บ./ลบ.ม.

ปริมาณเหล็กเสริมและลวดอัดแรงที่ใช้ในโครงสร้างชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ จะอ้างอิงปริมาณสัดส่วนการเสริมเหล็กต่อปริมาณคอนกรีต (= 116.13 กก./ลบ.ม.) และ สัดส่วนปริมาณการเสริมลวดอัดแรงต่อปริมาณคอนกรีต (= 37.43 กก./ลบ.ม.) ที่ได้จากการถอดแบบโครงสร้างชิ้นส่วนคานคอนกรีตหล่อสำเร็จ (คาน G1, G2, G3) ของสถานีโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (รายละเอียดการเสริมเหล็กชิ้นส่วนคานคอนกรีตหล่อสำเร็จดูได้ที่ภาคผนวก จ.) และมีค่าวัสดุเหล็กเสริมเกรด SD40 และค่าวัสดุลวดอัดแรง = 31,600 และ 102,000 บ./ตัน ของน้ำหนักเหล็กเสริมหรือลวดอัดแรงที่ใช้ในคานคอนกรีตหล่อสำเร็จตามลำดับ

สามารถสรุปค่าก่อสร้างของวิธีการก่อสร้างตอม่อและคานขวางด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปดังนี้

- คอนกรีตเสา = 36.4 ม.^{3} x 45% (เสาแบบกลวง) = 16.38 ม.^{3}
  คิดเป็นราคา = 16.38 ม.^{3} x 7,090.60 บ./ลบ.ม. = 116,144.03 บ.
- คอนกรีตคานขวาง = 44.14 ม.^{3} x 86.4% (คิดลดช่องว่างกลางคาน) = 38.14 ม.^{3}
  คิดเป็นราคา = 38.14 ม.^{3} x 7,090.60 บ./ลบ.ม. = 270,462.10 บ.
- ปริมาณเหล็กเสริม 116.13 กก./ม.^{3} x(16.38+38.14) ม.^{3} x 31.6 บ./กก. = 200,083.79 บ.
- ปริมาณลวดอัดแรง 37.43 กก./ม.^{3} x(16.38+38.14) ม.^{3} x 102 บ./กก. = 208,184.23 บ.
- รวมเป็นราคากลางค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางทั้งหมด = 794,874.15 บ.

ค่าก่อสร้างนี้เป็นราคากลางที่น่าจะรวมค่าแบบในการผลิต ค่าขนส่ง ค่าติดตั้งและอื่นๆ ไว้แล้ว เนื่องจากไม่มีระบุในรายละเอียด ดังนั้นในที่นี้จึงคิดค่าแบบ ค่าขนส่ง ค่าติดตั้งและอื่นๆ ไว้ในปัจจัยของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.3) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับทางเลือกวิธีการก่อสร้างแบบเทในที่ได้ โดยคิดที่ **5%** ของราคากลางรวม จะได้ว่า

- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว = **39,743.71 บ.**
- ค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางของวิธีก่อสร้างแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ = **755,130.44 บ.**

5.1.1.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง (Guide Way Beam)

การก่อสร้างคานทางวิ่งของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ฯ ใช้เป็นรูปแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยมีทางเลือกวิธีการก่อสร้างแตกต่างกันในรูปแบบของการยกติดตั้งคานทางวิ่ง

ดังนั้นในส่วนของค่าก่อสร้างตัวคานจึงเท่ากันในทุกทางเลือก แต่จะแตกต่างกันในค่าติดตั้งซึ่งในที่นี้จัดอยู่ในหมวดปัจจัยของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.3) โดยสามารถคิดค่าก่อสร้างของตัวคานทางวิ่งอ้างอิงจากราคากลางของโครงสร้างชิ้นส่วนคานหล่อสำเร็จสถานีโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (คาน G1, G2 และ G3) โดยมีค่าวัสดุเหล็กเสริมชั้นคุณภาพ SD40 และค่าวัสดุลวดอัดแรง เท่ากับ 31,600 และ 102,000 บ./ตัน ของน้ำหนักเหล็กเสริมหรือลวดอัดแรงที่ใช้ในคานคอนกรีตหล่อสำเร็จตามลำดับ สำหรับค่าวัสดุคอนกรีตของชิ้นส่วนคานหล่อสำเร็จนั้น เนื่องด้วยราคากลางของโครงสร้างชิ้นส่วนคานหล่อสำเร็จที่มีระบุไว้เป็นราคาของคานแต่ละตัวโดยไม่ได้ระบุแยกรายละเอียด อีกทั้งไม่มีข้อมูลค่าวัสดุคอนกรีตของคานหล่อสำเร็จซึ่งใช้คอนกรีตชั้นคุณภาพ C45 แต่มีเพียงค่าวัสดุคอนกรีตของโครงสร้างคานขวางหล่อในที่ (คอนกรีตชั้นคุณภาพ C35) = 6,446 บ./ม.^{3} จึงจำเป็นต้องทำการถอดแบบโครงสร้างและประมาณราคาย้อนกลับของค่าวัสดุแต่ละประเภทดังนี้ (เนื่องด้วยราคากลางค่าก่อสร้างไม่ได้แยกแจกแจงรายละเอียดไว้)

- ค่าวัสดุคอนกรีตของคานประเภทหล่อในที่ = 6,446 บ./ม.^{3}
  คิดเพิ่ม 10% สำหรับคอนกรีตชั้นคุณภาพ C45 = 6,446 x 1.1 = 7,090.60 บ./ลบ.ม.
- ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ต่อปริมาณคอนกรีตในชิ้นส่วนคานหล่อสำเร็จ = 116.13 กก./ลบ.ม.
- ปริมาณลวดอัดแรงที่ใช้ต่อปริมาณคอนกรีตในชิ้นส่วนคานหล่อสำเร็จ = 37.43 กก./ลบ.ม.

กรณีศึกษาสายสีน้ำตาลฯ

คานทางวิ่งมีขนาดหน้าตัดประมาณ 0.8x2.0 ม. ยาว 30 ม. มีปริมาตร 48 ม.^{3}

- ค่าวัสดุคอนกรีตของคานทางวิ่ง = 48x7,090.60 = 340,348.80 บ.
- ค่าวัสดุเหล็กเสริม = 48x116.13x31.6 = 176,143.81 บ.
- ค่าวัสดุเหล็กลวดอัดแรง = 48x37.43x102 = 183,275.03 บ.

รวมค่าก่อสร้างของคานทางวิ่ง (รวมค่ายกติดตั้งและค่าบริหารจัดการจราจร) = 699,767.64 บ.

ค่าก่อสร้างนี้คำนวณจากราคากลางที่คาดว่ารวมค่าติดตั้งด้วยเครนและค่าบริหารจัดการจราจรไว้แล้วเนื่องจากไม่มีระบุในรายละเอียดของราคากลาง และเป็นการก่อสร้างปกติทั่วไปจึงตั้งสมมติฐานว่าเป็นการก่อสร้างโดยใช้เครนในการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานสถานี ดังนั้นเพื่อให้ได้เฉพาะค่าก่อสร้างของคานทางวิ่งจึงต้องแยกค่าติดตั้งและค่าบริหารจัดการจราจรออกจากค่าก่อสร้างรวมดังกล่าว เพื่อจะได้นำส่วนของค่ายกชิ้นส่วนติดตั้งไปเปรียบเทียบกันระหว่างทางเลือกวิธีก่อสร้างที่แตกต่างกัน ดังนี้

- อ้างอิงค่าเช่าเครนขนาด 130 ตัน (ข้อมูลสมาคมผู้ประกอบการรถเครน) = 65,000 บ./คัน/วัน
- ใช้เครน 2 คันในยกติดตั้งคาน 1 ตัว ในเวลา 1 วัน คิดเป็นค่าเช่า = 130,000 บ.
- สมมติว่าติดข้อจำกัดด้านความสูงในการใช้เครน ต้องทำการ Modify crane มีค่าใช้จ่ายเพิ่มอีก 35,000 บ./คัน ดังนั้น คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วน = **200,000 บ.**

สำหรับค่าบริหารจัดการจราจรนั้น ใช้วิธีพิจารณาจากค่าก่อสร้างเหมาในหมวดของค่าบริหารจัดการจราจร (Traffic Management) ของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ใช้ข้อมูลจากโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้มเนื่องจากมีข้อมูลที่มีรายละเอียดมากกว่าของโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง) = 63.12 ล้านบาท ซึ่งมีระยะทางโครงการในส่วนของการก่อสร้างทางยกระดับ 8.8 กิโลเมตร สมมติใช้เวลาก่อสร้างในส่วนของโครงสร้างพื้นทางยกระดับ (Viaduct) ประมาณ 3 ปี (= 36 เดือน) ดังนั้นคิดเป็นค่าบริหารจัดการจราจร

= 63.12 mB/8.8/(3x365x24) = **272.94 บาท/ชั่วโมง/กิโลเมตร** ซึ่งจะใช้คิดเป็นอัตราค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.5)

- การติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัวใช้เวลาประมาณ **5** วัน สำหรับการติดตั้งคานแบบปกติที่ไม่มีข้อจำกัด (อ้างอิงข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ ของงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) ดังนั้นต้องทำการปิดจราจรในช่องทางริมเกาะกลางตามปกติ 1 ช่องจราจรตลอดเวลา
- สมมติในการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัว ต้องปิดการจราจรเป็นระยะทางรวม 500 ม.
- ในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านความสูงอย่างเช่นในกรณีศึกษาบริเวณช่วงที่ซ้อนทับกับทางด่วนนี้ อาจต้องปิดจราจรเพิ่มอีก 1 ช่องจราจรเป็นเวลา **1** วัน เฉพาะวันที่ทำการติดตั้งคานทางวิ่ง

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = 272.94x**5**x24x0.5 + 272.94x**1**x24x0.5
= 16,376.09 + 3,275.22 = **19,651.31 บ.**

สรุปได้ว่าค่าก่อสร้างในส่วนของชิ้นส่วนคานทางวิ่ง (ไม่รวมค่าติดตั้งและค่าบริหารจัดการจราจร) คิดหักเฉพาะค่าก่อสร้างในส่วนของการยกชิ้นส่วนด้วยเครนตามปกติ จะได้ค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนคานทางวิ่งเท่ากับ = 699,767.64 – 130,000.00 – 16,376.09 = **553,391.56 บ.**

หมายเหตุ : ค่าก่อสร้างชิ้นส่วนคานทางวิ่งนี้จะมีค่าเท่ากันในทุกทางเลือกวิธีการก่อสร้าง

- **วิธีการยกติดตั้งด้วยเครน**

ค่าก่อสร้างคานทางวิ่งด้วยการยกติดตั้งด้วยเครนจะประกอบด้วย

- ค่าชิ้นส่วนคานทางวิ่ง = **553,391.56** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.1)
- ค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วน (มีการ Modify crane)
= **200,000.00** บ./คาน 1 ตัว
(จัดอยู่ในกลุ่มของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว, ข้อมูลปัจจัยที่ 1.3)
- ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = **19,651.31** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.5)

- **วิธีการยกติดตั้งด้วย Launcher**

ในการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่งด้วย Launcher จะมีค่าใช้จ่ายหลักคือค่าอุปกรณ์ชุด Launcher มีลักษณะเป็นคานเหล็กขนาดใหญ่หรือโครงถักที่มีราคาต้นทุนสูง ต้องผลิตในโรงงานแล้วจึงนำมาประกอบติดตั้งที่หน้างานก่อสร้าง ทั้งนี้เนื่องจากไม่มีข้อมูลแบบของตัว Launcher จึงค่อนข้างยากที่จะสมมติค่าใช้จ่ายให้ใกล้เคียงความจริงได้ อย่างไรก็ตามอาจสามารถใช้การอ้างอิงราคากลางจากการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้มในส่วนของการติดตั้งชิ้นส่วนพื้นสะพานยกระดับ (Viaduct) รูปแบบกล่อง (Segmental Box girder) ซึ่งใช้วิธีการติดตั้งชิ้นส่วนด้วยการใช้ Launcher เช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายของตัวอุปกรณ์ชุด Launcher ได้ดังนี้

- ชิ้นส่วน Precast Segmental Box girder ของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้มมีขนาดพื้นที่หน้าตัดประมาณ 3.56 ตร.ม. (ดูแบบรายละเอียดชิ้นส่วนได้ในภาคผนวก จ.)
- ราคากลางค่าก่อสร้างชิ้นส่วน Precast Segmental Box girder = 100,000.00 บ./ม.

ดังนั้นอนุมานคิดเป็นราคาค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนหล่อสำเร็จแบบยกติดตั้งด้วยอุปกรณ์ชุด Launcher เท่ากับ 100,000.00 / 3.56 = 28,099.52 บ./ลบ.ม.

- สำหรับชิ้นส่วนคานทางวิ่งของกรณีศึกษาที่มีปริมาตร = 48 ม.^{3}
- คิดเป็นค่าก่อสร้างคานทางวิ่งโดยยกติดตั้งด้วยอุปกรณ์ชุด Launcher = 1,348,776.83 บ.

ค่าก่อสร้างนี้คำนวณจากราคากลางที่อนุมานว่ารวมค่าติดตั้งด้วยชุดอุปกรณ์ Launcher และค่าบริหารจัดการจราจรไว้แล้ว

สำหรับค่าบริหารจัดการจราจร สามารถคำนวณจากอัตราค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้างที่คิดไว้แล้วในทางเลือกวิธีการยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน ซึ่งเท่ากับ **272.94 บาท/ชั่วโมง/กิโลเมตร** โดย

- สมมติการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัวด้วย Launcher ใช้เวลาประมาณ **10** วัน (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ ของงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) และมีการปิดจราจรในช่องทางริมเกาะกลางตามปกติ 1 ช่องจราจรตลอดเวลา
- สมมติในการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัว ต้องปิดการจราจรเป็นระยะทางรวม 500 ม.

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = 272.94x10x24x0.5 = **32,752.18 บ.**

จะสามารถคำนวณกลับได้ว่าค่าอุปกรณ์ชุด Launcher ซึ่งในที่นี้จัดเป็นค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.3) = 1,348,776.83 – 553,391.56 – 32,752.18 = **762,633.09 บ.**

ค่าก่อสร้างคานทางวิ่งด้วยการยกติดตั้งด้วย Launcher สามารถสรุปค่าใช้จ่ายประกอบด้วย

- ค่าชิ้นส่วนคานทางวิ่ง = **553,391.56** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.1)
- ค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วน = **762,633.09** บ./คาน 1 ตัว (จัดอยู่ในกลุ่มของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว, ข้อมูลปัจจัยที่ 1.3)
- ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = **32,752.18** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.5)

- **วิธีการยกติดตั้งด้วย Heavy Lift**

ในการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่งด้วย Heavy Lift จะมีค่าใช้จ่ายหลักคือค่าอุปกรณ์ชุด Heavy Lift มีลักษณะเป็นโครงสร้างเหล็กชั่วคราวใช้ติดตั้งเป็นจุดรองรับ (Support) บนหัวเสา ผลิตจากโรงงานแล้วจึงนำมาประกอบติดตั้งที่หน้างานก่อสร้าง (ในลักษณะที่คล้ายคลังกันกับอุปกรณ์ Launcher) อย่างไรก็ตามข้อมูลของการก่อสร้างด้วยวิธีนี้มีน้อยมาก ไม่สามารถสืบค้นได้ อีกทั้งไม่มีแบบของชุดอุปกรณ์ดังกล่าวที่จะใช้ในการถอดประมาณราคาได้ ในที่นี้จึงอ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นผู้รับเหมาของงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีเหลืองที่มีประสบการณ์ในการก่อสร้างด้วยวิธีนี้ว่าค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ชุด Heavy Lift ค่อนข้างสูง แต่ก็ยังต่ำกว่าค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ชุด Launcher ดังนั้นในที่นี้จึงสมมติค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ชุด Heavy Lift เป็นครึ่งหนึ่งของค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ชุด Launcher = 762,633.09/2 = **381,316.55 บ.**

สำหรับค่าบริหารจัดการจราจร สามารถคำนวณเหมือนวิธีการยกด้วยอุปกรณ์ชุด Launcher ดังนี้

- อัตราค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = 272.94 บาท/ชั่วโมง/กิโลเมตร
- สมมติการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัวด้วย Heavy Lift ใช้เวลาประมาณ **15** วัน (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นผู้รับเหมาของงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีเหลืองว่าการติดตั้งด้วยอุปกรณ์ชุด Heavy Lift ใช้เวลานานกว่าการทำงานด้วยอุปกรณ์ชุด Launcher) และมีการปิดจราจรในช่องทางริมเกาะกลางตามปกติ 1 ช่องจราจรตลอดเวลา
- สมมติในการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัว ต้องปิดการจราจรเป็นระยะทางรวม 500 ม.

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = 272.94x15x24x0.5 = **49,128.27 บ.**

ค่าก่อสร้างคานทางวิ่งด้วยการยกติดตั้งด้วย Heavy Lift สามารถสรุปค่าใช้จ่ายประกอบด้วย

- ค่าชิ้นส่วนคานทางวิ่ง = **553,391.56** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.1)
- ค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วน = **381,316.55** บ./คาน 1 ตัว (จัดอยู่ในกลุ่มของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว, ข้อมูลปัจจัยที่ 1.3)
- ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = **49,128.27** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.5)

5.1.2 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.2)

สำหรับค่าใช้จ่ายของปัจจัยนี้ในแต่ละทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่นำเสนอจะไม่แตกต่างกัน เนื่องจากวิธีการก่อสร้างโครงสร้างส่วนต่างๆ ในบริเวณที่พิจารณา มีลักษณะการทำงานที่คล้ายคลึงกัน อาทิ การก่อสร้างเสาเข็มก็ใช้การขุดเจาะดินบริเวณเดียวกัน การรื้อย้ายสาธารณูปโภคใต้ดินก็ต้องทำเช่นเดียวกัน พื้นที่ที่ใช้ในการก่อสร้างใช้พื้นที่ที่ได้จัดเตรียมไว้แต่แรกตามปกติเหมือนกัน การยกชิ้นส่วนโครงสร้างต่างๆ ติดเพียงข้อจำกัดความสูงของโครงสร้างทางด่วนเพียงอย่างเดียวซึ่งไม่สามารถรื้อย้ายได้ ส่วนอื่นๆ ไม่มีอุปสรรคที่ต้องรื้อย้ายออก ดังนั้นค่าใช้จ่ายของปัจจัยนี้จึงเท่ากันในแต่ละทางเลือกวิธีการก่อสร้าง โดยในที่นี้คิดเป็นค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อระยะทางจากข้อมูลราคากลางของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ระยะทางก่อสร้าง 8.8 กม.) และสายสีม่วง (ระยะทางก่อสร้าง 9.3 กม.) ซึ่งมีค่าเท่ากับ **63,432** บาท/ม.

5.1.3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.3)

ในส่วนงานก่อสร้างใต้ดิน (เสาเข็ม) ไม่ต้องติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวใดๆ มีเพียงการขุดดิน ลงเหล็กเสริม เทคอนกรีต และ การทดสอบ เท่านั้น ซึ่งได้คิดรวมไปในค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างแล้ว แต่สำหรับการก่อสร้างโครงสร้างบนดิน ได้แก่ ส่วนของเสาตอม่อและคานขวาง และ ส่วนของคานทางวิ่ง จะมีค่าใช้จ่ายของปัจจัยนี้ที่มีความแตกต่างกัน วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ ในขณะที่วิธีการสร้างแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จไม่ต้องมี แต่จะเป็นค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วนแทน โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1.3.1 งานก่อสร้างเสาเข็ม

ไม่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว

5.1.3.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง

- **วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่**

งานเทคอนกรีตในที่จะต้องมีการเข้าไม้แบบสำหรับหล่อคอนกรีต และในที่มีความสูงจะต้องติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวนั่งร้านและค้ำยันขนาดใหญ่ตามความสูงของเสาตอม่อ ในที่นี้จึงใช้วิธีประมาณค่าใช้จ่ายโดยคิดเป็นสัดส่วน **10%** ของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.1.1.2 โดยมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ **100,691.25** บ./เสาตอม่อ 1 ต้น

- **วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast)**

เป็นการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแทนการเทคอนกรีตในที่ ทำให้วิธีนี้ไม่ต้องใช้โครงสร้างชั่วคราว เพราะไม่ต้องเข้าแบบเพื่อเทคอนกรีต อย่างไรก็ตามต้องใช้เครนในการยกและติดตั้งชิ้นส่วนของเสาและคานขวาง และใช้แบบหล่อในการผลิตชิ้นส่วนที่โรงงาน ซึ่งค่าใช้จ่ายต่างๆ เหล่านี้จะรวมอยู่ในราคาค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นๆ ซึ่งดังที่ได้นำเสนออธิบายไว้ก่อนหน้าในหัวข้อที่ 5.1.1.2 ได้ประมาณค่าใช้จ่ายส่วนนี้ไว้เท่ากับ **5%** ของราคาค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนเสาและตอม่อ ซึ่งมีค่าเท่ากับ **39,743.71** บ./เสาตอม่อ 1 ต้น

5.1.3.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง

การก่อสร้างคานทางวิ่งใช้รูปแบบของโครงสร้างชิ้นส่วนหล่อสำเร็จนำมาติดตั้ง ดังนั้นจึงไม่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราว อย่างไรก็ตามต้องใช้เครนในการยกและติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่ง ในที่นี้จึงพิจารณาค่าใช้จ่ายของการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่งอยู่ในหมวดของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว โดยมีรายละเอียดดังที่ได้อธิบายไว้แล้วก่อนหน้าในหัวข้อที่ 5.1.1.3 สรุปค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

- **วิธีการยกด้วยเครน** มีค่าใช้จ่าย = **200,000.00** บาท/คาน 1 ตัว
- **วิธีการยกด้วย Launcher** มีค่าใช้จ่าย = **762,633.09** บาท/คาน 1 ตัว
- **วิธีการยกด้วย Heavy Lift** มีค่าใช้จ่าย = **381,316.55** บาท/คาน 1 ตัว

5.1.4 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และ สิ่งแวดล้อม (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.4)

สำหรับทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่นำเสนอของกรณีศึกษาสำหรับการก่อสร้างในส่วนงานโครงสร้างต่างๆ นั้น ในส่วนของการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางด้วยวิธีเทคอนกรีตในที่อาจมีผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และ สิ่งแวดล้อม บ้างเล็กน้อย เนื่องจากการก่อสร้างอาจมีเสียงดังจากหินกระทบกันในระหว่างการเทและจี้คอนกรีต ฝุ่นปูนเมื่อคอนกรีตแข็งตัว เป็นต้น อย่างไรก็ตามผลกระทบดังกล่าวอาจพิจารณาว่าไม่มีนัยสำคัญ เพราะวิธีการเทคอนกรีตในที่เป็นวิธีก่อสร้างแบบพื้นฐานทั่วไป (Conventional method) ซึ่งมีมาตรการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และ สิ่งแวดล้อม อยู่แล้วตามปกติ ส่วนในงานการก่อสร้างเสาเข็ม และ การก่อสร้างคานทางวิ่ง ถือได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องของการป้องกัน

ผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และ สิ่งแวดล้อม ดังนั้นในที่นี้จึงพิจารณาค่าใช้จ่ายของปัจจัยนี้อ้างอิงเท่ากันหมดในทุกทางเลือกวิธีการก่อสร้าง โดยอ้างอิงจากราคากลางเฉลี่ยของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้มและสายสีม่วง (ดูราคากลางได้ในภาคผนวก จ.) ซึ่งมีค่าเท่ากับ **8,179.04** บ./ม. ของระยะทางโครงการ

5.1.5 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.5)

ค่าใช้จ่ายในการในการบริหารการจราจรจะแปรผันตามระยะเวลาในการก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างที่ใช้ว่ามีผลกระทบต่อการจราจรมากน้อยเพียงใด โดยใช้อัตราค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการจราจรตามที่ได้คำนวณไว้แล้วในหัวข้อที่ 5.1.1.3 เท่ากับ **272.94** บาท/ชั่วโมง/กิโลเมตร ของระยะทางโครงการที่ทำการปิดจราจร เท่ากันในทุกทางเลือกของวิธีการก่อสร้าง ซึ่งสรุปได้ดังนี้

5.1.5.1 งานก่อสร้างเสาเข็ม

ทางเลือกในการก่อสร้างเสาเข็มได้แก่การใช้เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) และเสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile) ซึ่งทั้ง 2 วิธี ใช้พื้นที่ก่อสร้างที่เตรียมไว้สำหรับโครงการตามปกติเหมือนกัน ไม่ต้องมีการปิดจราจรเพิ่มเติม ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบริหารการจัดจราจรของวิธีก่อสร้างทั้ง 2 แบบนี้จึงขึ้นอยู่กับระยะเวลาการก่อสร้างดังนี้

- **เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette)** ใช้เวลาก่อสร้าง **15** วันต่อฐาน (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ งานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) สมมติระยะทางที่เกี่ยวข้องในการทำงานเสาเข็มฐานรากแต่ละฐานเท่ากับ 500 ม. ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่าย = 272.94x15x24x0.5 = **49,128.27** บ./ฐาน
- **เสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile)** ใช้เวลาก่อสร้างประมาณ **12** วันต่อฐาน (จากข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ ให้ระยะเวลาการก่อสร้างเสาเข็มเจาะเท่ากันกับกรณีของเสาเข็มแบบเหลี่ยม อย่างไรก็ตามทางที่ปรึกษาฯ พิจารณาแล้วมีความเห็นว่า การใช้เสาเข็มเจาะน่าจะก่อสร้างได้เร็วกว่าเล็กน้อย จึงคิดระยะเวลาก่อสร้างเสาเข็มเจาะที่เร็วขึ้นจาก 15 วันเป็น 12 วัน) ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่าย = 272.94x12x24x0.5 = **39,302.62** บ./ฐาน

5.1.5.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง

ทางเลือกในการก่อสร้างเสาและคานขวางได้แก่ การก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ และ การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ซึ่งการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ใช้เพียงพื้นที่ก่อสร้างที่เตรียมไว้สำหรับโครงการตามปกติ ไม่ต้องมีการปิดจราจรเพิ่มเติม โดยใช้เวลาก่อสร้างประมาณ 60 วันต่อเสาตอม่อ 1 ต้น (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ งานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) แต่การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จนั้นต้องมีการปิดจราจรเพิ่มเติมประมาณ 1 ช่องจราจรสำหรับติดตั้งรถเครนเพื่อใช้ในการยกติดตั้งชิ้นส่วน โดยใช้เวลาในการติดตั้งชิ้นส่วนประมาณ 1 คืน (ปิดจราจรช่วงเวลา 22:00 น. ถึง 03:00 น. รวม 5 ชั่วโมง) อย่างไรก็ตาม การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จนั้นสามารถก่อสร้างได้รวดเร็วกว่าเพียง 20 วันต่อเสา 1 ต้น ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบริหารการจัดจราจรของการก่อสร้างด้วยการใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จจึงประหยัดกว่าดังนี้

- **วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่**

  ใช้เวลาก่อสร้าง 60 วันต่อเสา คิดระยะเวลาปิดจราจร = 60 วัน
  สมมติระยะทางที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง = 500 ม.
  ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่าย = 272.94x60x24x0.5 = **196,513.08** บ./เสา

- **วิธีการก่อสร้างแบบใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ**

  ใช้เวลาก่อสร้าง 20 วันต่อเสา คิดระยะเวลาปิดจราจร = 20 วัน
  สมมติระยะทางที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง = 500 ม.
  ในขณะใช้เครนยกติดตั้งชิ้นส่วน ปิดจราจรเพิ่มอีก = 5 ชั่วโมง
  ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่าย = 272.94 x (20x24 + 5) x 0.5 = **66,186.70** บ./เสา

5.1.5.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง

ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรของงานก่อสร้างคานทางวิ่งซึ่งเป็นรูปแบบชิ้นส่วนคานหล่อสำเร็จ ได้อธิบายไว้แล้วก่อนหน้าในหัวข้อที่ 5.1.1.3 สรุปได้ดังนี้

- **วิธีการยกติดตั้งด้วยเครน** มีค่าใช้จ่ายการบริหารการจัดจราจร = **19,651.31** บ./คาน
- **วิธีการยกติดตั้งด้วย Launcher** มีค่าใช้จ่ายการบริหารการจัดจราจร = **32,752.18** บ./คาน
- **วิธีการยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** มีค่าใช้จ่ายการบริหารการจัดจราจร = **49,128.27** บ./คาน

5.1.6 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.6)

สำหรับกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนนี้ การก่อสร้างอยู่ในแนวเกาะกลางของถนน จึงไม่มีค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน (= **0.00** บาท)

5.1.7 ข้อมูลค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.7)

ในส่วนงานก่อสร้างใต้ดิน (งานฐานรากและเสาเข็ม) ไม่มีค่าใช้จ่ายในหมวดนี้

ในส่วนงานก่อสร้างบนดิน จะมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมบำรุงรักษาหลักๆ เฉพาะในส่วนของโครงสร้างรูปแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ซึ่งอาจต้องมีการตรวจสอบซ่อมแซมบริเวณรอยต่อ จุดรองรับ ลวดอัดแรง ฯลฯ เป็นต้น โดยในที่นี้จะคิดประมาณเป็นอัตราเท่ากับ **2%** ของค่าก่อสร้าง (ตามข้อมูลในหัวข้อที่ 5.1.1.2 และ 5.1.1.3) ดังนี้

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา = **0** บ./ฐาน
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา = **0** บ./ฐาน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา = **0** บ./เสา
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาคิดเท่ากับ 2% ของค่าก่อสร้าง = 0.02x755,130.44 = **15,102.61** บ./เสา

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง (ทุกวิธีของการยกติดตั้ง)** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาคิดเท่ากับ 2% ของค่าก่อสร้าง = 0.02x553,391.56 = **11,067.83** บ./คาน

5.1.8 ข้อมูลค่าใช้จ่ายอื่นๆ (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.8)

เป็นค่าใช้จ่ายที่ยังไม่มีข้อมูล ซึ่งอาจถือเป็นค่าใช้จ่ายในส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ชัดเจน ในที่นี้จะประมาณการไว้ที่ **5%** ของค่าก่อสร้าง (ตามข้อมูลในหัวข้อที่ 5.1.1.1, 5.1.1.2 และ 5.1.1.3) ดังนี้

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** คิด 5% = 0.05x20,920.25 = **1,046.01** บ./ฐาน
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** คิด 5% = 0.05x26,051.30 = **1,302.57** บ./ฐาน
- **งานก่อสร้างเสาและคานขวางหล่อในที่** คิด 5% = 0.05x906,221.26 = **45,311.06** บ./เสา
- **งานก่อสร้างเสาและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** คิด 5% = 0.05x755,130.44 = **37,756.52** บ./เสา
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง (ทุกวิธีของการยกติดตั้ง)** คิด 5% = 0.05x553,391.56 = **27,669.58** บ./คาน

สามารถสรุปข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ของทางเลือกวิธีการก่อสร้างทั้งหมดสำหรับกรณีศึกษาในบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนได้ดังตารางที่ 5.1-1

ตารางที่ 5.1-1 : ข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ของวิธีก่อสร้างกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน

วิธีการก่อสร้าง			งานเสาเข็ม		
			เข็มแบบเหลี่ยม	เข็มเจาะ	หน่วย
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	20,920.25	26,217.86	บ./ม. ความยาวเข็ม
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	63,431.55	63,431.55	บ./ม. ระยะทาง
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	-	-	บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	8,179.04	8,179.04	บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง	49,128.27	39,302.62	บ./ฐาน
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	-	-	บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)	-	-	บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	1,046.01	1,310.89	บ./ม. ความยาวเข็ม
วิธีการก่อสร้าง			เสา และ คานขวาง		
			หล่อในที่	Precast	หน่วย
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	906,221.26	755,130.44	บ./เสา 1 ต้น
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	63,431.55	63,431.55	บ./ม. ระยะทาง
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	100,691.25	39,743.71	บ./เสา 1 ต้น
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	8,179.04	8,179.04	บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง	196,513.08	66,186.70	บ./เสา 1 ต้น
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	-	-	บ./เสา 1 ต้น
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)	-	15,102.61	บ./เสา 1 ต้น
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	45,311.06	37,756.52	บ./เสา 1 ต้น

ตารางที่ 5.1-1(ต่อ) : ข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ของวิธีก่อสร้างกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน

วิธีการก่อสร้าง			คานทางวิ่ง			
			Precast ยกด้วย Crane	Precast ยกด้วย Launching Truss	Precast ยกด้วย Heavy Lift	หน่วย
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	553,391.56	553,391.56	553,391.56	บ./คาน 1 ตัว
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอนและการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	63,431.55	63,431.55	63,431.55	บ./ม. ระยะทาง
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	200,000.00	762,633.09	381,316.55	บ./คาน 1 ตัว
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	8,179.04	8,179.04	8,179.04	บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง	19,651.31	32,752.18	49,128.27	บ./คาน 1 ตัว
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	-	-	-	บ./คาน 1 ตัว
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)	11,067.83	11,067.83	11,067.83	บ./คาน 1 ตัว
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	27,669.58	27,669.58	27,669.58	บ./คาน 1 ตัว

5.2 ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง

ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง เป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างและข้อจำกัดต่างๆ ของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างนั้นๆ โดยในที่นี้ได้รวบรวมข้อมูลจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วยที่ปรึกษาควบคุมงานก่อสร้างและผู้รับเหมาก่อสร้างที่มีประสบการณ์ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของทางเลือกวิธีการก่อสร้างแต่ละวิธีดังแสดงในตารางที่ 5.2-1 ถึง ตารางที่ 5.2-3 โดยสามารถอธิบายแจกแจงในรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 5.2-1 : ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างเสาเข็ม**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง	
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง			**เสาเข็มแบบเหลี่ยม**	**เสาเข็มเจาะแบบกลม**
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/ฐาน)	15	12*
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	ไม่มี
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้งเครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	- - ✓ -	- - ✓ -
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	4-5	4-5
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- - - -	- - - -

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง	
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- - ✓ -	- ✓ ✓ -
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	- - - -	- - - -
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	- ข้อจำกัดด้านความลึกดินในการทำงาน - ข้อจำกัดด้านการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง - ข้อจำกัดเรื่องน้ำใต้ดิน - ข้อจำกัดเรื่องชนิดของดิน	- ✓ - -	- - - -

* ผู้เชี่ยวชาญทำแบบสอบถามประเมินเวลาก่อสร้างเท่ากัน แต่ทางที่ปรึกษาฯ มีความเห็นว่าเสาเข็มเจาะก่อสร้างได้เร็วกว่า

ตารางที่ 5.2-2 : ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง	
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง			**คอนกรีตเทในที่**	**Precast**
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/เสา)	60	20
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	ไม่มี
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้งเครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	- - - -	✓ ✓ ✓ -
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	8-10	4-5*
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- ✓ - -	- - - -
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- ✓ - -	- - - ✓

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง	
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	 - - ✓	 ✓ ✓ -

* ผู้เชี่ยวชาญที่ทำแบบสอบถามประเมินจำนวนผู้รับเหมาเท่ากัน แต่ทางที่ปรึกษาฯ มีความเห็นว่าวิธี Precast ต้องการผู้เชี่ยวชาญพิเศษ น่าจะมีข้อจำกัดมากกว่า จึงมีจำนวนผู้รับเหมาลดลง

ตารางที่ 5.2-3 : ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง		
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง			**การติดตั้งด้วยเครน**	**การติดตั้งด้วย Launcher**	**การติดตั้งด้วย Heavy Lift**
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/คาน)	5	10	15**
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ* (เดือน)	0	1**	1**
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้งเครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	✓ - ✓ ✓	✓ - ✓ ✓	✓ - ✓ ✓
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	4-5	4-5	4-5
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง(อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- - - -	- ✓ - -	- ✓ - -
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวางหรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	✓ ✓ - ✓	✓ ✓ - ✓	- - - ✓
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	 ✓ ✓ -	 ✓ ✓ -	 ✓ ✓ -

* สมมติงานก่อสร้างคานทางวิ่งทั้งหมดใช้เวลา 6 เดือน (T_{proj} = 6 m)

** เป็นข้อมูลความเห็นของทางที่ปรึกษาฯ เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญที่ทำแบบสอบถามไม่ได้ให้ข้อมูลไว้

5.2.1 ข้อมูลระยะเวลาการก่อสร้าง (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.1)

เป็นค่าระยะเวลาการก่อสร้างของส่วนงานนั้นๆ โดยในที่นี้ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ใช้เวลาประมาณ 15 วันต่อฐาน
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ใช้เวลาประมาณ 12 วันต่อฐาน แม้ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจะให้ค่าระยะเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมเท่ากับเวลาของเสาเข็มแบบเหลี่ยม (คือ 15 วันต่อฐาน) แต่ทางที่ปรึกษาฯ ไม่เห็นด้วย เนื่องจากมีความเห็นว่าการก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลมควรใช้เวลาน้อยกว่าการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม เพราะไม่ต้องเสียเวลาในการก่อสร้างกำแพงนำร่อง (Guide wall)
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** ใช้เวลาประมาณ 60 วันต่อเสา
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ใช้เวลาประมาณ 20 วัน/เสา
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** ใช้เวลาประมาณ 5 วันต่อคาน
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** ใช้เวลาประมาณ 10 วันต่อคาน
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** ใช้เวลาประมาณ 15 วันต่อคาน โดยข้อมูลนี้เป็นการคาดการณ์ของที่ปรึกษาฯ เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญไม่ได้ให้คำตอบไว้ ซึ่งวิเคราะห์จากวิธีการก่อสร้างแบบ Heavy Lift ที่ใช้เวลาการติดตั้งอุปกรณ์นานกว่าวิธีอื่นๆ จึงน่าจะใช้เวลามากกว่าการยกติดตั้งด้วย Launcher ในที่นี้จึงประมาณที่ 3 เท่าของการติดตั้งด้วยเครน

5.2.2 ข้อมูลระยะเวลารอคอยเครื่องมือฯ (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.2)

เป็นค่าระยะเวลาในการรอคอยเครื่องมือ เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรือ อื่นๆ ของส่วนงานต่างๆ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ไม่มีระยะเวลารอคอยเนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติที่หากทางผู้รับเหมามีอุปกรณ์เครื่องจักรต่างๆ พร้อม สามารถเริ่มทำงานได้ทันที
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ไม่มีระยะเวลารอคอยเนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติที่หากทางผู้รับเหมามีอุปกรณ์เครื่องจักรต่างๆ พร้อม สามารถเริ่มทำงานได้ทันที
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** ไม่มีระยะเวลารอคอยเนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติที่หากผู้รับเหมามีอุปกรณ์เครื่องจักรต่างๆ พร้อม สามารถเริ่มทำงานได้ทันที
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ไม่มีระยะเวลารอคอยเนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติที่หากทางผู้รับเหมามีอุปกรณ์เครื่องจักรต่างๆ พร้อม สามารถเริ่มทำงานได้ทันที แม้จะต้องการเทคนิคการก่อสร้างเฉพาะทาง แต่เครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้เป็นเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** ไม่มีระยะเวลารอคอยเนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติที่หากทางผู้รับเหมามีเครนพร้อม สามารถเริ่มทำงานได้ทันที ซึ่งเครนเป็นเครื่องจักรที่นิยมใช้แพร่หลายในงานต่างๆ มากมาย สามารถหาได้ในท้องตลาดทั่วไป
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** คิดระยะเวลารอคอยนาน 1 เดือน จากการที่ต้องผลิตโครงสร้างเหล็กชั่วคราวที่มีขนาดใหญ่พอสมควร เพื่อใช้เป็นจุดรองรับของอุปกรณ์ชุด Launcher และระบบ Hydraulic ที่ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศ โดยในที่นี้

คาดว่าหากทางผู้รับเหมามีการวางแผนงานก่อสร้างแล้ว ระยะเวลาในการนำเข้าและการผลิตโครงเหล็ก (Fabrication) จากโรงงานควรใช้เวลาประมาณ 1 เดือน โดยได้พิจารณาระยะเวลาของงานติดตั้งส่วนคานทางวิ่งบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนทั้งหมดไว้ที่ประมาณการ 6 เดือน (T_{proj} = 6 เดือน) จากจำนวนช่วงคานบริเวณที่มีแนวเส้นทางซ้อนทับกับทางด่วนประมาณ 200 ช่วงคาน (span) การติดตั้งคานทางวิ่งแต่ละ span ใช้เวลาโดยทั่วไป 1 วันต่อคู่ จึงเท่ากับระยะเวลาประมาณ 200 วัน หรือราวๆ 6 เดือน

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** คิดระยะเวลารอคอยนาน 1 เดือน เหมือนกรณีของการยกติดตั้งด้วยการใช้อุปกรณ์ชุด Launcher เนื่องจากต้องต้องผลิตโครงสร้างเหล็กชั่วคราวที่มีขนาดใหญ่เพื่อใช้เป็นจุดรองรับของอุปกรณ์ชุด Heavy Lift และระบบ Hydraulic ที่ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศเช่นเดียวกัน

5.2.3 ข้อมูลข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.3)

เป็นข้อมูลข้อจำกัดด้านวิศวกรรมในการก่อสร้างเกี่ยวข้องกับการขนส่งและติดตั้งเครื่องจักร วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ เพื่อเตรียมงานก่อสร้าง ในส่วนงานต่างๆ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** มีข้อจำกัดด้านเส้นทางขนส่ง เนื่องจากมีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่คือเครนและอุปกรณ์เจาะดิน ทำให้ต้องพิจารณาแนวเส้นทางในการขนส่งอุปกรณ์ที่เหมาะสม และอาจต้องขนส่งในช่วงเวลากลางคืน เพื่อลดผลกระทบด้านการจราจรต่อประชนชน ในด้านวัสดุก่อสร้าง เป็นวัสดุคอนกรีต เหล็กเสริม ทั่วๆ ไป
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** มีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่เช่นเดียวกันกับการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม รวมถึงอุปกรณ์ปลอกเหล็ก (Casing) ที่มีความยาวกว่า 10 ม. ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดเรื่องเส้นทางขนส่งเครื่องจักรและอุปกรณ์เช่นเดียวกัน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** ไม่มีข้อจำกัดในการขนส่งติดตั้ง เนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติ ใช้วัสดุทั่วไป แบบหล่อคอนกรีตเป็นแบบเหล็กแยกส่วนขนาดไม่ใหญ่มาก จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการขนส่ง สามารถประกอบติดตั้งที่หน้างานก่อสร้างตามปกติ
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** มีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่คือเครน และต้องลำเลียงขนส่งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ เสาตอม่อและคานขวาง ทำให้ต้องพิจารณาขนาดที่เหมาะสมในการขนส่ง เส้นทางการขนส่งที่มีผลกระทบน้อยที่สุด และต้องทำการประกอบติดตั้งชิ้นส่วนด้วยผู้เชี่ยวชาญชำนาญการ จึงถือได้ว่ามีข้อจำกัดในการขนส่ง เส้นทางขนส่ง และการติดตั้ง
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** มีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่คือเครน และต้องลำเลียงขนส่งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ จึงมีข้อจำกัดในเรื่องการขนส่ง และเส้นทางขนส่ง นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องมีการปรับแต่ง Modify crane ต้องมีอุปกรณ์พิเศษ จึงถือเป็นข้อจำกัดด้านวัสดุอุปกรณ์
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** มีการใช้เครื่องมือขนาดใหญ่คือโครงเหล็กถักชั่วคราว (Launching Truss) และต้องลำเลียงขนส่งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ จึงมีข้อจำกัดใน

เรื่องการขนส่ง และเส้นทางขนส่ง และต้องใช้อุปกรณ์ Hydraulic ที่ต้องสั่งนำเข้าและใช้ผู้ชำนาญการพิเศษในการใช้เครื่องมือ จึงถือเป็นข้อจำกัดด้านวัสดุอุปกรณ์

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** มีการใช้เครื่องมือขนาดใหญ่คือโครงเหล็กจุดรองรับชั่วคราว (Supporting Frame) และต้องลำเลียงขนส่งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ จึงมีข้อจำกัดในเรื่องการขนส่ง และเส้นทางขนส่ง และต้องใช้อุปกรณ์ Hydraulic ที่ต้องสั่งนำเข้าและใช้ผู้ชำนาญการพิเศษในการใช้เครื่องมือ จึงถือเป็นข้อจำกัดด้านวัสดุอุปกรณ์

5.2.4 ข้อมูลความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.4)

เป็นข้อมูลจำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำวิธีการก่อสร้างทางเลือกนั้นๆ ในส่วนงานต่างๆ ได้ เพื่อเปรียบเทียบวิธีการก่อสร้างว่าสามารถหาผู้รับเหมาได้ง่ายหรือจำกัดเฉพาะราย เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของวิธีก่อสร้าง โดยในที่นี้ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ในอดีตมีจำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำได้น้อย ไม่ใช่ผู้รับเหมาก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมจะทำได้ทุกราย แต่ในปัจจุบันผู้รับเหมาที่สามารถก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมของโครงการรถไฟฟ้าได้ สามารถก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมได้หมด จากข้อมูลสัมภาษณ์ มีจำนวนผู้รับเหมาก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมประมาณ 4-5 ราย
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ผู้รับเหมาที่สามารถก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมของโครงการรถไฟฟ้าได้ สามารถก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมได้ทั้งหมด จึงสรุปว่ามีจำนวนผู้รับเหมาเสาเข็มเจาะแบบกลมพอๆ กับผู้รับเหมาเสาเข็มแบบเหลี่ยมคือประมาณ 4-5 ราย
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีจำนวนผู้รับเหมา 8-10 ราย ซึ่งถือว่ามีจำนวนมากเนื่องจากเป็นวิธีก่อสร้างตามปกติที่สามารถทำได้ทุกราย ไม่ต้องการผู้เชี่ยวชาญ
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** มีจำนวนผู้รับเหมา 4-5 ราย ซึ่งน้อยกว่ากรณีของวิธีก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ เนื่องจากต้องมีผู้เชี่ยวชาญพิเศษด้านคอนกรีตอัดแรงและชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ทำให้จำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำได้มีลดน้อยลง
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** มีจำนวนผู้รับเหมา 4-5 ราย ซึ่งถือว่ามีจำนวนไม่มาก เนื่องจากกรณีศึกษานี้มีข้อจำกัดด้านความสูงทำให้ไม่สามารถใช้งานเครนได้ตามปกติ ต้องมีการ Modify crane ซึ่งต้องการผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางพิเศษจึงมีน้อยราย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** มีจำนวนผู้รับเหมา 4-5 รายซึ่งถือว่ามีจำนวนไม่มาก เนื่องจากระบบ Launcher ต้องมีการใช้อุปกรณ์ชุด Hydraulic ที่ควบคุมด้วยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางพิเศษ จึงมีผู้รับเหมาที่ทำได้น้อยราย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** มีจำนวนผู้รับเหมา 4-5 รายซึ่งถือว่ามีจำนวนไม่มากนัก เนื่องจากระบบ Heavy Lift ต้องมีการใช้อุปกรณ์ชุด Hydraulic ที่ควบคุมด้วยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางพิเศษ จึงมีผู้รับเหมาที่ทำได้น้อยราย

5.2.5 ข้อมูลข้อจำกัดด้านความปลอดภัยในการก่อสร้างและความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.5)

เป็นข้อมูลด้านความปลอดภัยในงานก่อสร้างของส่วนงานต่างๆ ว่าวิธีใดปลอดภัยเหมาะสมกว่ากัน

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** เป็นงานใต้ดิน ไม่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ จึงไม่มีความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุใดเป็นพิเศษ
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** เป็นงานใต้ดิน ไม่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ จึงไม่มีความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุใดเป็นพิเศษ
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** ต้องมีการติดตั้งนั่งร้านก่อสร้าง ค้ำยัน และแบบหล่อเสาและคานขวาง ทำให้มีความเสี่ยงอุบัติเหตุจากโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ไม่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ ใช้เพียงเครนยกติดตั้งชิ้นส่วน จึงไม่มีความเสี่ยงอุบัติเหตุในการก่อสร้าง
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** ไม่ต้องใช้โครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ การก่อสร้างใช้เพียงเครนยกติดตั้งชิ้นส่วน จึงไม่มีความเสี่ยงอุบัติเหตุในการก่อสร้าง
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** ต้องมีการติดตั้งโครงสร้างเหล็กถักชั่วคราวยาวตลอดช่วงคานที่จะติดตั้งเพื่อใช้เป็นจุดรองรับอุปกรณ์ชุดรอกและ Hydraulic ทำให้มีความเสี่ยงอุบัติเหตุจากโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** ต้องมีการติดตั้งโครงสร้างเหล็กชั่วคราวที่เสาตอม่อแต่ละต้นเพื่อใช้เป็นจุดรองรับอุปกรณ์ชุดรอกและ Hydraulic ทำให้มีความเสี่ยงอุบัติเหตุจากโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่

5.2.6 ข้อมูลข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.6)

เป็นข้อมูลข้อจำกัดอุปสรรคด้านวิศวกรรมในการก่อสร้างส่วนงานต่างๆ ว่าแต่ละวิธีการก่อสร้างมีอุปสรรคข้อจำกัดใดบ้าง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** เป็นวิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มที่ใช้พื้นที่น้อยเนื่องจากฐานรากมีขนาดเล็ก และสามารถก่อสร้างที่ระยะความสูงต่ำๆ 6-10 ม. ได้ วิธีการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมจึงมีอุปสรรคเพียงอย่างเดียวคืองานรื้อย้ายระบบสาธารณูปโภคใต้ดิน ซึ่งจะทราบเมื่อทำการสำรวจและขุดเจาะดินบริเวณที่ก่อสร้าง
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** มีอุปสรรคจากงานรื้อย้ายระบบสาธารณูปโภคใต้ดิน ซึ่งจะทราบเมื่อทำการสำรวจและขุดเจาะดินบริเวณที่ก่อสร้างเช่นเดียวกันกับวิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม และสำหรับกรณีศึกษานี้ยังมีอุปสรรคข้อจำกัดด้านความสูงที่มีระยะเคลียร์ไม่ถึง 20 ม. ตามที่วิธีการก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลมต้องการ จึงต้องทำการก่อสร้างด้วยความระมัดระวังและอาจต้องลดขนาดปลอกเหล็ก (Casing) ให้สั้นลง
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีข้อจำกัดด้านความสูงในการก่อสร้าง เนื่องจากความสูงของเสาตอม่อและคานขวาง 8.62 ม. เข้าใกล้ระยะข้อจำกัดของการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่คือ 10 ม. ทำให้ต้องทำการก่อสร้างอย่างระมัดระวัง
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ไม่มีข้อจำกัดด้านความสูง แต่มีข้อจำกัดด้านเทคนิคการก่อสร้าง เนื่องจากใช้โครงสร้างระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จอัดแรง

ภายหลัง ทำให้ต้องมีผู้เชี่ยวชาญด้านคอนกรีตอัดแรงและคอนกรีตหล่อสำเร็จพิเศษเฉพาะทาง ทำการดึงลวดอัดแรงและการประกอบรอยต่อชิ้นส่วน

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** มีอุปสรรคจากระยะความสูงที่จำกัด ต้องทำการจัดตำแหน่งเครนให้เหมาะสม อาจต้องปิดจราจรเพิ่มสำหรับเครนที่ต้องยืนห่างมากขึ้นเพื่อให้สามารถยื่นปลายบูมเครนที่ความสูงจำกัดได้ ทำให้มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้างและด้านความสูง นอกจากนั้นยังอาจต้องทำการ Modify crane ด้วย จึงทำให้มีข้อจำกัดด้านเทคนิคฯ ด้วย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** มีข้อจำกัดด้านพื้นที่และความสูงในการก่อสร้างคล้ายคลึงกับกรณีการใช้เครน เนื่องจากตัว Launching Truss ต้องเคลื่อนย้ายไปตามระยะห่างช่วงคานทำให้กรณีที่ความยาวช่วงคานเปลี่ยนหรือมีอุปสรรคกีดขวางจะเป็นข้อจำกัดของวิธีนี้ ต้องพิจารณาประกอบในการเลือกวิธีก่อสร้าง ในส่วนของความสูงขึ้นอยู่กับขนาดของตัว Launching Truss ที่เป็นโครงเหล็กถักขนาดใหญ่จึงเป็นข้อจำกัดที่ต้องพิจารณาร่วมด้วย และข้อจำกัดด้านเทคนิคฯ ที่ต้องการผู้เชี่ยวชาญพิเศษในการควบคุมการใช้อุปกรณ์ชุด Hydraulic
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** ไม่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่หรือความสูงในการก่อสร้างเนื่องจาก อุปกรณ์ชุดจุดรองรับ (Heavy Lift) ใช้การติดตั้งบนเสาตอม่อแต่ละต้นแยกกัน สามารถเคลื่อนย้ายติดตั้งบนช่วงคานที่มีระยะเปลี่ยนแปลงได้ อีกทั้งสามารถใช้ในกรณีที่มีความสูงจำกัดมากๆ ได้ วิธีนี้จึงมีเพียงข้อจำกัดด้านเทคนิคฯ ที่ต้องการผู้เชี่ยวชาญพิเศษในการควบคุมการใช้อุปกรณ์ชุด Hydraulic

5.2.7 ข้อมูลด้านความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.7)

เป็นข้อมูลด้านความสวยงามเรียบร้อยของงานก่อสร้างในส่วนต่างๆ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** เป็นโครงสร้างใต้ดินจึงไม่ต้องพิจารณาปัจจัยด้านนี้
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** เป็นโครงสร้างใต้ดินจึงไม่ต้องพิจารณาปัจจัยด้านนี้
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีข้อจำกัดด้านความสวยงามเนื่องด้วยการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ ควบคุมคุณภาพของผลงานได้ยาก การเทและจี้คอนกรีตที่ไม่ดีอาจทำให้คอนกรีตเข้าแบบไม่เต็ม เกิดฟองอากาศ เกิดการเยิ้มของคอนกรีต ฯลฯ ได้
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จผลิตจากโรงงาน สามารถควบคุมคุณภาพในระหว่างการผลิตได้ดี ขนาดชิ้นส่วนคลาดเคลื่อนต่ำ จึงไม่มีข้อบกพร่องด้านความสวยงามของชิ้นงานที่ต้องแก้ไข
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** เป็นชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จึงไม่มีข้อบกพร่องด้านความสวยงามของชิ้นงานที่ต้องแก้ไข
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** เป็นชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จึงไม่มีข้อบกพร่องด้านความสวยงามของชิ้นงานที่ต้องแก้ไข
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เป็นชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จึงไม่มีข้อบกพร่องด้านความสวยงามของชิ้นงานที่ต้องแก้ไข

5.2.8 ข้อมูลข้อจำกัดด้านคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.8)

เป็นข้อมูลข้อจำกัดด้านวิศวกรรมปฐพีในการก่อสร้างส่วนงานใต้ดิน ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะมีเพียงงานก่อสร้างเสาเข็มและฐานรากเท่านั้นที่มีความเกี่ยวข้อง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** มีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนตัวของดิน เนื่องจากไม่มีปลอกเหล็ก (Casing) กันดินพังภายในหลุมเหมือนกรณีของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม มีเพียงกำแพงนำร่อง (Guide wall) บนดินเท่านั้น ซึ่งหากบริเวณที่ก่อสร้างมีดินอ่อน หรือเกิดฝนตกหนัก หรือมีน้ำหนักกดทับบนผิวดินมาก อาจทำให้หลุมเจาะเสียหายต้องซ่อมแซมได้
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ใช้ปลอกเหล็ก (Casing) เจาะลงในดินจึงสามารถป้องกันดินในหลุมพังได้ดีกว่าวิธีการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม

5.3 ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย

ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย เป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับชุมชนข้างเคียง ประชาชนที่ได้รับผลกระทบจากการก่อสร้าง เช่น ความปลอดภัย ความยั่งยืนในการก่อสร้าง ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการจ้างงาน ฯลฯ โดยในที่นี้ได้รวบรวมข้อมูลจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญฯ ซึ่งประกอบด้วยที่ปรึกษาควบคุมงานก่อสร้างและผู้รับเหมาก่อสร้างที่มีประสบการณ์ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย ของทางเลือกวิธีการก่อสร้างแต่ละวิธีได้ในรูปแบบของแบบสอบถามดังแสดงในตารางที่ 5.3-1 ถึง ตารางที่ 5.3-3 โดยสามารถอธิบายแจกแจงในรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 5.3-1 : ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย ของ **งานก่อสร้างเสาเข็ม**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง	
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย			**เสาเข็มแบบเหลี่ยม**	**เสาเข็มเจาะแบบกลม**
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง	-	✓
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ	-	-
		- ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	✓	✓
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง	-	✓
		- ฝุ่นละออง	-	-
		- กลิ่น	-	-
		- การสั่นสะเทือน	-	✓
		- ถนนชำรุด	-	-
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	- ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ	ไม่ปิดเพิ่ม	ไม่ปิดเพิ่ม

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง	
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	น้อย น้อย ไม่มี	น้อย น้อย ไม่มี
3.5	ส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	มาก	น้อย
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100%	100%
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนที่ดิน	ไม่มี	ไม่มี

ตารางที่ 5.3-2 : ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย ของ **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง	
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย			**คอนกรีตเทในที่**	**Precast**
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ - ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ - ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	- - - - ✓	✓ - - - ✓
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง - ฝุ่นละออง - กลิ่น - การสั่นสะเทือน - ถนนชำรุด	✓ ✓ - - -	- - - - -
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	- ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ* (L-D, เลน-วัน)	ไม่ต้องปิดเพิ่ม	200x5/24** L-D
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	มาก ไม่มี ไม่มี	น้อย ไม่มี ไม่มี
3.5	ส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	มาก	น้อย
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100%	100%
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนที่ดิน	ไม่มี	ไม่มี

* คิดระยะเวลาทั้งหมดในการก่อสร้างเสาตอม่อ 200 ต้น ติดตั้ง 1 เสาใช้เวลา 1 คืน, เวลาทั้งหมด = 200 วัน (200 L-D)

** ปิดจราจรเพิ่มในขณะเครนยกติดตั้งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ 1 ช่องจราจรเป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อวันต่อเสา 1 ต้น, ติดตั้งเสา 200 ต้น ใช้เวลาปิดจราจรทั้งหมด = 200x5/24 เลน-วัน

ตารางที่ 5.3-3 : ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย ของ **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง		
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย			การติดตั้งด้วยเครน	การติดตั้งด้วย Launcher	การติดตั้งด้วย Heavy Lift
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง	✓	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด	-	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้	-	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ	-	-	-
		- ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	✓	✓	✓
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง	✓	✓	✓
		- ฝุ่นละออง	-	-	-
		- กลิ่น	-	-	-
		- การสั่นสะเทือน	-	-	-
		- ถนนชำรุด	-	-	-
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ* (L-D, เลน-วัน)	200x2** L-D	ไม่ต้องปิดเพิ่ม	ไม่ต้องปิดเพิ่ม
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ	น้อย	น้อย	น้อย
		- ปริมาณน้ำเสีย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
		- มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
3.5	ส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	- จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (คน)	8-10	มาก	มากที่สุด
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	นำเข้าเครน	Tempo. Str. ผลิตเองได้***	Tempo. Str. ผลิตเองได้***
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนที่ดิน	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

* คิดระยะเวลาทั้งหมดในการก่อสร้างคานทางวิ่ง 200 คู่ ติดตั้ง 1 คู่ใช้เวลา 5 วัน, เวลาทั้งหมด = 200x5 L-D

** ปิดจราจรเพิ่มในขณะเครนยกติดตั้งชิ้นส่วน 1 ช่องจราจรเต็มวัน (มีข้อจำกัดความสูงใช้เวลานาน) (=200x2 L-D)

*** โครงสร้างเหล็กของ Launcher และ Heavy Lift สามารถผลิตจากโรงงานในไทยได้

5.3.1 ข้อมูลด้านความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่ (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.1)

ในที่นี้ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** มีการใช้เครื่องขุดดินและเครนขนาดใหญ่ จึงมีเพียงความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ ความสูงในการทำงานไม่มากจึงไม่มีความเสี่ยงในเรื่องของตกจากที่สูง
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** มีการใช้เครื่องขุดดินและเครนขนาดใหญ่ รวมถึงปลอกเหล็ก (Casing) ที่มีความยาวประมาณ 20 ม. ต้องการระยะความสูงในการทำงาน จึงมีทั้งความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหหญ่และความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง

- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** การทำงานใช้การตั้งนั่งร้านและความสูงจำกัดที่สามารถทำงานได้อยู่ที่ประมาณ 10 ม. จึงทำให้ไม่มีความเสี่ยงในเรื่องของตกจากที่สูง แต่เนื่องจากต้องมีการเทคอนกรีตจำนวนมาก ต้องใช้อุปกรณ์จำพวกปั๊มคอนกรีตและเครนช่วยในการทำงานบางช่วง จึงพิจารณาว่ามีความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** มีการใช้เครนขนาดใหญ่ในการทำงาน รวมถึงการยกชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางที่มีน้ำหนักมาก จึงมีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง และ ความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** มีการใช้เครนขนาดใหญ่ในการทำงาน รวมถึงการยกชิ้นส่วนคานทางวิ่งที่มีน้ำหนักมากขึ้นตำแหน่งสูง จึงมีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง และ ความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** แม้จะทำงานในที่สูงแต่อุปกรณ์ที่ใช้เป็นโครงเหล็กถักขนาดใหญ่มีความแข็งแรง ยึดติดตั้งระหว่างเสาตอม่ออย่างมั่นคง และใช้การยกชิ้นส่วนด้วยระบบรอกและ Hydraulic จึงไม่มีความเสี่ยงของตกจากที่สูง แต่เนื่องด้วยโครงเหล็กถักจุดรองรับชั่วคราวมีขนาดใหญ่ จึงมีความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เช่นเดียวกับอุปกรณ์ชุด Launcher ระบบอุปกรณ์ชุด Heavy Lift เป็นโครงสร้างเหล็กชั่วคราวขนาดใหญ่ยึดติดตั้งที่แต่ละเสาตอม่ออย่างมั่นคง และใช้การยกชิ้นส่วนด้วยระบบรอกและ Hydraulic จึงไม่มีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง แต่เนื่องด้วยโครงสร้างจุดรองรับชั่วคราวมีขนาดใหญ่ จึงมีความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่

5.3.2 ข้อมูลด้านการรบกวนชุมชนข้างเคียง (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.2)

เป็นการพิจารณาด้านผลกระทบต่อชุมชมรอบข้าง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ใช้การขุดดินรวมถึงความสูงในการทำงานไม่มาก จึงไม่มีผลกระทบทั้งด้านเสียงและการสั่นสะเทือนที่มีน้อย
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ใช้ปลอกเหล็ก (Casing) ในการขุดเจาะ รวมถึงความสูงของระยะการทำงานประมาณกว่า 20 ม. ทำให้การกระแทกปลอกเหล็กแต่ละครั้งเกิดเสียงและการสั่นสะเทือนมาก จึงมีข้อจำกัดผลกระทบด้านเสียง และ การสั่นสะเทือน ต่อชุมชน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีการทำงานเทคอนกรีตในที่จากระยะความสูงโดยประมาณกว่า 10 ม. จะมีเสียงจากการที่มวลรวมหินทรายในคอนกรีตสดกระแทกกับเหล็กเสริมที่ผูกเตรียมไว้ในแบบ รวมถึงเมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะมีฝุ่นปูนมาก ทำให้เกิดผลกระทบด้านเสียง และ ฝุ่นละออง ต่อชุมชน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** เนื่องจากชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางได้รับการผลิตจากโรงงาน จึงไม่มีผลกระทบทั้งทางเสียงและฝุ่น
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** เป็นการใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ จึงมีผลกระทบต่อชุมชนน้อย อย่างไรก็ตามในการใช้เครนจำนวนหลายตัวในการติดตั้ง คานทางวิ่งมีความยาวกว่า 30 ม. จึงอาจเกิดเสียงดังในระหว่างการทำงานประสานงานการยกติดตั้งได้

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** เช่นเดียวกับการยกติดตั้งด้วยเครน คานทางวิ่งมีความยาวกว่า 30 ม. จึงอาจเกิดเสียงดังในระหว่างการทำงานยกติดตั้งได้
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เช่นเดียวกับการยกติดตั้งด้วยเครน คานทางวิ่งมีความยาวกว่า 30 ม. จึงอาจเกิดเสียงดังในระหว่างการทำงานยกติดตั้งได้

5.3.3 ข้อมูลด้านผลกระทบต่อสภาพจราจร (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.3)

เป็นข้อมูลผลกระทบต่อสภาพจราจร ซึ่งพิจารณาในแง่ของการปิดจราจรเพิ่มเติมจากกรณีปกติในระหว่างการก่อสร้างส่วนงานต่างๆ (โดยปกติทำการปิดจราจรช่องริมสุดข้างเกาะกลางทั้งสองด้านตลอดระยะเวลาโครงการ) ในที่นี้อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ และสมมติฐานที่ตั้งขึ้นบางประการ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** เป็นการก่อสร้างส่วนงานใต้ดิน มีเพียงเครนและเครื่องจักรขุดดินที่ทำงาน ดังนั้นจึงไม่ต้องมีการปิดจราจรเพิ่มเติมจากปกติ
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** เป็นการก่อสร้างส่วนงานใต้ดิน มีเพียงเครนและเครื่องจักรขุดดินที่ทำงาน ดังนั้นจึงไม่ต้องมีการปิดจราจรเพิ่มเติมจากปกติ
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** เป็นวิธีการก่อสร้างที่มีเพียงการตั้งนั่งร้านเข้าแบบ และเทคอนกรีตตามปกติ จึงไม่ต้องมีการปิดจราจรเพิ่มเติม
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ต้องใช้เครนขนาดใหญ่ในการยกติดตั้งชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวาง ทำให้ต้องมีการปิดจราจรเพิ่ม 1 ช่องจราจรในระหว่างยกติดตั้ง โดยใช้เวลาในการติดตั้ง 5 ชั่วโมงต่อเสาตอม่อ 1 ต้นและคานขวาง (ทำการปิดจราจรในเวลา 22:00 – 03:00 น. จึงใช้เวลาทำงานติดตั้ง 1 วันต่อเสาตอม่อ 1 ต้นและคานขวาง) ซึ่งในกรณีศึกษาบริเวณช่วงที่ซ้อนทับกับทางด่วนนี้ มีจำนวนเสาตอม่อทั้งหมดประมาณ 200 ต้น ดังนั้นประมาณการเวลาก่อสร้างทั้งหมดของงานติดตั้งเสาตอม่อและคานขวางของกรณีศึกษานี้เท่ากับ 200 วัน และเวลาในการยกติดตั้งด้วยเครนที่ต้องทำการปิดจราจรเพิ่มเติมเท่ากับ 5/24x200 วัน
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** ต้องใช้เครนขนาดใหญ่ในการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่ง รวมถึงมีข้อจำกัดด้านความสูงที่ต้องใช้เวลาในการจัดตำแหน่งเครนเพิ่มเติมจากปกติ ในที่นี้สมมติใช้เวลาประมาณ 1 วันเต็มในการจัดตำแหน่งเครน โดยการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 คู่ทางด้านซ้ายและขวาของเกาะกลางจะต้องปิดจราจรเพิ่มอีกด้านละ 1 ช่องจราจร รวมปิดเพิ่ม 2 ช่องจราจรเต็มวัน และการติดตั้งคานทางวิ่งสำหรับกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนนี้ มีจำนวนคานทางวิ่งประมาณ 200 คู่ คานแต่ละคู่ใช้เวลาติดตั้งประมาณ 5 วัน ดังนั้นประมาณเวลาก่อสร้างทั้งหมดของงานติดตั้งคานทางวิ่งของกรณีศึกษานี้เท่ากับ 200x5 วัน และเวลาในการยกติดตั้งด้วยเครนที่ต้องทำการปิดจราจรเพิ่มเติมเท่ากับ 1x2x200 วัน
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** ไม่มีการใช้เครนและไม่ต้องเสียเวลาในการจัดตำแหน่งเครน มีเพียงรถเทรเลอร์ขนส่งชิ้นส่วนมาติดตั้งตามปกติ เหมือนการขนส่งวัสดุก่อสร้างโดยทั่วไป ดังนั้นจึงไม่ต้องปิดจราจรเพิ่มเติม
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เช่นเดียวกับการยกติดตั้งด้วย Launcher ไม่มีการใช้เครนใดๆ จึงไม่ต้องปิดจราจรเพิ่มเติม

5.3.4 ข้อมูลด้านความยั่งยืนในการก่อสร้าง (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.4)

เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งพิจารณาจากปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** เป็นการก่อสร้างงานใต้ดิน ใช้สารละลายป้องกันดินในหลุมพังเช่นสารละลายเบนโทไนต์แต่สามารถดูดกลับใช้ใหม่ได้ทั้งหมด จึงมีขยะและน้ำเสียน้อย
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** การทำงานในลักษณะเดียวกับการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม ดังนั้นจึงมีปริมาณขยะและน้ำเสียน้อยใกล้เคียงกัน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีจำนวนคนงานก่อสร้างที่เกี่ยวข้องในงานจำนวนมาก เนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างแบบปกติ ต้องตั้งนั่งร้านขนาดใหญ่ ผูกเหล็ก เข้าแบบและเทคอนกรีต ซึ่งการที่มีคนงานก่อสร้างจำนวนมากย่อมทำให้มีขยะในระหว่างการทำงานมากเช่นกัน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ใช้จำนวนคนงานก่อสร้างน้อย จึงมีปริมาณขยะเกิดขึ้นน้อย และเป็นการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จจึงไม่มีน้ำเสีย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** เป็นการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ใช้คนงานก่อสร้างจำนวนน้อย จึงมีปริมาณขยะน้อยและไม่มีน้ำเสีย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** เป็นการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ใช้คนงานก่อสร้างจำนวนน้อย จึงมีปริมาณขยะน้อยและไม่มีน้ำเสีย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เป็นการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ใช้คนงานก่อสร้างจำนวนน้อย จึงมีปริมาณขยะน้อยและไม่มีน้ำเสีย

5.3.5 ข้อมูลด้านการส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.5)

เป็นข้อมูลการจ้างงานแรงงานก่อสร้างว่าวิธีก่อสร้างใดที่ส่งเสริมการจ้างงานหรือก็คือใช้จำนวนแรงงานที่มากกว่ากัน

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ใช้แรงงานก่อสร้างมากกว่าวิธีก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมเล็กน้อย เนื่องจากต้องใช้คนงานเพิ่มเติมในการก่อสร้างกำแพงนำร่อง (Guide wall)
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ใช้แรงงานน้อยกว่าวิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมเพราะไม่ต้องทำกำแพงนำร่อง มีเพียงการใช้เครื่องจักรขุดดิน และใช้คนงานก่อสร้างในการผูกเหล็กเสริมเหมือนกันกับการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** ต้องใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนมาก เนื่องจากเป็นวิธีก่อสร้างตามปกติที่ต้องตั้งนั่งร้านก่อสร้างขนาดใหญ่ ผูกเหล็กเสริม เข้าแบบและเทคอนกรีต
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนน้อย เพราะมีเพียงการใช้เครนยกติดตั้งชิ้นส่วน และคนงานบางส่วนในการช่วยประคองและประกอบชิ้นส่วนในการติดตั้ง

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** เป็นการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จึงใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนน้อย มีเพียงการใช้เครนยกติดตั้งชิ้นส่วน และคนงานบางส่วนในการช่วยประคองและประกอบชิ้นส่วนในการติดตั้ง
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** เป็นการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเช่นเดียวกัน แรงงานก่อสร้างไม่มากนัก แต่ต้องเพิ่มจำนวนคนงานก่อสร้างในการติดตั้งชุดอุปกรณ์ Launcher ซึ่งมีขนาดใหญ่ จะใช้แรงงานก่อสร้างมากกว่าการใช้เครนในงานส่วนนี้
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เหมือนการติดตั้งด้วย Launcher ใช้แรงงานจำนวนมากในส่วนของการติดตั้งโครงเหล็กจุดรองรับชั่วคราว และสำหรับอุปกรณ์ชุด Heavy Lift ซึ่งแยกติดตั้งที่เสาตอม่อแต่ละต้น ยกชิ้นส่วนในการติดตั้งอย่างช้าๆ จึงต้องใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนมากที่สุด ในส่วนของการติดตั้งโครงเหล็กชั่วคราวและในส่วนของการช่วยงานติดตั้งอุปกรณ์ Hydraulic

5.3.6 ข้อมูลด้านการตอบสนองนโยบายภาครัฐ (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.6)

เป็นข้อมูลในเรื่องของการใช้วัสดุ อุปกรณ์ ที่ผลิตในประเทศ เป็นการตอบสนองนโยบายภาครัฐ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ใช้เครื่องจักรในการขุดที่มีอยู่เดิมใช้ซ้ำในหลายๆ โครงการมาโดยตลอด และใช้วัสดุก่อสร้างคอนกรีต เหล็กเสริม ปกติทั้งหมด จึงถือได้ว่าไม่แตกต่างกับวิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม ในที่นี้จึงถือว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100%
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ดังที่อธิบายข้างต้น มีลักษณะการทำงานเหมือนวิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม ในที่นี้จึงถือว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100% เช่นกัน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** เป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติ ไม่มีการใช้อุปกรณ์พิเศษใดจากต่างประเทศ ถือได้ว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100%
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** มีการใช้เครนในการยกติดตั้งชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวาง อย่างไรก็ตามระยะความสูงจำกัดของการติดตั้งเสาตอม่อและคานขวางยังอยู่ในระยะที่เครนทำงานได้ตามปกติ ไม่ต้องปรับแต่ง Modify crane แม้เครนจะเป็นเครื่องจักรที่ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศก็ตาม แต่ถือได้ว่าสามารถใช้เครนในงานก่อสร้างตามแบบปกติทั่วไป ในที่นี้จึงพิจารณาว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100%
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** มีการใช้เครนในการยกติดตั้งชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับการติดตั้งเสาตอม่อและคานขวาง แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดความสูงในการทำงานที่เหลือระยะเคลียร์น้อยกว่าที่จะสามารถใช้เครนได้ตามปกติ ต้องมีการปรับแต่ง Modify crane เข้าช่วย ซึ่งอุปกรณ์การปรับแต่งเครนต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้วิธีการก่อสร้างยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่งด้วยเครนในกรณีศึกษานี้ ถือว่ามีข้อจำกัดในการนำเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศ
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** ตัว Launcher ใช้โครงสร้างเหล็กถักขนาดใหญ่เป็นจุดรองรับชั่วคราว เป็นส่วนที่สามารถผลิต (Fabricate) จากโรงงานได้เองในประเทศ มีเพียงชุดอุปกรณ์ Hydraulic เท่านั้นที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในที่นี้จึงถือว่ามี

ข้อจำกัดบ้างเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการยกติดตั้งด้วยเครนที่ต้องมีการปรับแต่ง Modify crane แล้วจึงถือว่ามีการตอบสนองนโยบายภาครัฐมากกว่าการใช้เครน

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เช่นเดียวกับการยกติดตั้งด้วย Launcher โครงสร้างเหล็กชั่วคราวเพื่อใช้เป็นจุดรองรับในการยกติดตั้งด้วยอุปกรณ์ Hydraulic สามารถผลิต (Fabricate) จากโรงงานได้เองในประเทศ มีเพียงชุดอุปกรณ์ Hydraulic เท่านั้นที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในที่นี้จึงถือว่ามีข้อจำกัดบ้างเล็กน้อย เมื่อเทียบกับการยกติดตั้งด้วยเครนที่ต้องมีการปรับแต่ง Modify crane แล้วจึงถือว่ามีการตอบสนองนโยบายภาครัฐมากกว่าการใช้เครน

5.3.7 ข้อมูลผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.7)

เป็นข้อมูลผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดินประชาชน ซึ่งพิจารณาจากจำนวนข้อร้องเรียนที่มี เนื่องด้วยกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนนี้ เป็นการก่อสร้างในบริเวณเกาะกลางถนน ไม่มีการเวนคืน ดังนั้นจึงไม่ต้องทำการพิจารณาปัจจัยนี้

5.4 การคำนวณคะแนนเพื่อเปรียบเทียบทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง

เมื่อรวบรวมข้อมูลปัจจัยด้านต่างๆ ทั้งหมดครบถ้วนแล้ว จะสามารถให้คะแนนทางเลือกวิธีการก่อสร้างของแต่ละปัจจัยได้โดยใช้วิธีการให้คะแนนที่ได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก ง. โดยค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 5.4-1 ถึง 5.4-3 ดังนี้

ตารางที่ 5.4-1 : คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์

วิธีการก่อสร้าง			k	งานเสาเข็ม				
				เข็มแบบเหลี่ยม		เข็มเจาะ		หน่วย
				ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	1	20,920.25	10	26,217.8	7.47*	บ./ม. ความยาว
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้าย		63,431.55	10	63,431.5	10	บ./ม. ระยะทาง
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	3	-	10	-	10	บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม		8,179.04	10	8,179.04	10	บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการ	3	49,128.27	7.5*	39,302.6	10	บ./ฐาน
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน		-	10	-	10	บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)		-	10	-	10	บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	1	1,046.01	10	1,310.89	7.47*	บ./ม. ความยาว

วิธีการก่อสร้าง			k	เสา และ คานขวาง				
				หล่อในที่		Precast		หน่วย
				ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	1	906,221.26	8*	755,130.	10	บ./เสา 1 ต้น
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้าย		63,431.55	10	63,431.5	10	บ./ม. ระยะทาง
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	3	100,691.25	4.89*	39,743.7	10	บ./เสา 1 ต้น
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม		8,179.04	10	8,179.04	10	บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการ	3	196,513.08	3.44*	66,186.7	10	บ./เสา 1 ต้น
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน		-	10	-	10	บ./เสา 1 ต้น
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)		-	10	15,102.6	0	บ./เสา 1 ต้น
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	1	45,311.06	8*	37,756.5	10	บ./เสา 1 ต้น

วิธีการก่อสร้าง			k	คานทางวิ่ง						หน่วย
				Precast ยกด้วย Crane		Precast ยกด้วย Launching Truss		Precast ยกด้วย Heavy Lift		
				ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	1	553,391.56	10	553,391.56	10	553,391.56	10	บ./คาน 1 ตัว
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค		63,431.55	10	63,431.55	10	63,431.55	10	บ./ม. ระยะทาง
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	3	200,000.00	10	762,633.09	0.62*	381,316.55	6.98*	บ./คาน 1 ตัว
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม		8,179.04	10	8,179.04	10	8,179.04	10	บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง	3	19,651.31	10	32,752.18	7.78*	49,128.27	5*	บ./คาน 1 ตัว
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน		-	10	-	10	-	10	บ./คาน 1 ตัว
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)		11,067.83	10	11,067.83	10	11,067.83	10	บ./คาน 1 ตัว
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	1	27,669.58	10	27,669.58	10	27,669.58	10	บ./คาน 1 ตัว

* คำนวณคะแนนด้วยสูตร $SCORE(C_x) = 10 - \left(\frac{C_x - C_{\min}}{k \cdot C_{\min}}\right) \cdot 10$ เมื่อ C_x คือข้อมูลค่าใช้จ่ายที่ต้องการคิดคะแนน, C_{min} คือข้อมูลค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

สำหรับข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่างๆ โดยข้อมูลที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดจะได้คะแนนเต็ม = 10 และสำหรับข้อมูลที่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า จะคิดเทียบสัดส่วนกันว่าควรได้คะแนนลดลงเท่าใด ทั้งนี้คะแนนที่ได้จะขึ้นกับค่า ***k*** ซึ่งใช้กำหนดเกณฑ์ว่าค่าใช้จ่ายแพงขึ้นถึงเท่าใดจึงจะได้คะแนน = 0

ในกรณีที่ค่าใช้จ่ายเท่ากัน สามารถให้คะแนนเท่ากันเป็นค่าเท่าใดก็ได้ เนื่องจากเมื่อนำไปคำนวณคะแนนแบบถ่วงน้ำหนักก็จะได้ค่าเดียวกันไม่มีความแตกต่างกัน ในที่นี้จึงกำหนดว่า ถ้าไม่มีค่าใช้จ่ายหรือค่าใช้จ่ายเท่ากันหมด จะคิดคะแนนเท่ากับ 10 เช่นเดียวกัน (การที่ไม่มีค่าใช้จ่ายเลยถือว่าส่งผลในทางบวก)

สำหรับข้อมูลด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างและ และข้อมูลด้านสังคม สิ่งแวดล้อม สุขภาพ และนโยบาย ข้อมูลที่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปัจจัยที่ 2.1, 2.2 และ 3.3 โดยเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับระยะเวลาก่อสร้างหรือระยะเวลารอคอย จะให้คะแนนข้อมูลปัจจัยที่ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด = 10 และคิดเป็นสัดส่วนลดลงสำหรับค่าระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะได้คะแนนมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่า ***k*** ในการกำหนดเกณฑ์ว่าระยะเวลานานเท่าใดจึงจะได้คะแนน = 0 ตามสูตรที่ได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก ง.

สำหรับข้อมูลที่ไม่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ จะใช้วิธีการจัดลำดับ (Ranking) และให้คะแนนทางเลือกตามลำดับที่ถูกจัดแล้ว ทางเลือกที่ดีที่สุดจะได้คะแนนสูงสุด = 10 และทางเลือกที่แย่สุดจะได้คะแนน =0 ในกรณีที่ทางเลือกมีลำดับเท่ากัน จะเอาคะแนนของลำดับที่เท่ากันมารวมกันและแบ่งเฉลี่ยเท่าๆ กันให้แต่ละทางเลือกที่มีลำดับเดียวกัน ดังวิธีการให้คะแนนที่ได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก ง.

ตารางที่ 5.4-2 : คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง

งานก่อสร้างเสาเข็ม			เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette)		เสาเข็มเจาะแบบกลม	
No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/ฐาน)	15	7.5*	12	10
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	10	ไม่มี	10
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	- - - -	5	- - - -	5

งานก่อสร้างเสาเข็ม			เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette)		เสาเข็มเจาะแบบกลม	
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	4-5	5	4-5	5
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- - - -	5	- - - -	5
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- - ✓ -	10	- ✓ ✓ -	0
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	- - - -	5	- - - -	5
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	- ข้อจำกัดด้านความลึกดินในการทำงาน - ข้อจำกัดด้านการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง - ข้อจำกัดเรื่องน้ำใต้ดิน - ข้อจำกัดเรื่องชนิดของดิน	- ✓ - -	0	- - - -	10
งานก่อสร้างเสาตอม่อ และ คานขวาง			คอนกรีตเทในที่		Precast	
No.	**ปัจจัยที่พิจารณา**	**เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/เสา)	60	0**	20	10
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	10	ไม่มี	10
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	- - - -	10	✓ ✓ ✓ -	0
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	8-10	10	4-5	0
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- ✓ - -	0	- - - -	10
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- ✓ - -	5	- - - ✓	5
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	- - ✓	0	✓ ✓ -	10

งานก่อสร้างคานทางวิ่ง			Precast ยกด้วยเครน		Precast ยกด้วย Launcher		Precast ยกด้วย Heavy Lift	
No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/คาน) ใช้ค่า k = 1)	5	10	10	0	15	0**
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (ใช้ค่า k = 0.5, ค่าระยะเวลาโครงการ = 6 เดือน ของงานก่อสร้างคานทางวิ่ง) (เดือน)	0	10	1	6.67***	1	6.67***
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้งเครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	✓ - ✓ ✓	5	✓ - ✓ ✓	5	✓ - ✓ ✓	5
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	4-5	5	4-5	5	4-5	5
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- - - -	10	- ✓ - -	2.5	- ✓ - -	2.5
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่ต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	✓ ✓ - ✓	2.5	✓ ✓ - ✓	2.5	- - - ✓	10
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	✓ ✓ -	5	✓ ✓ -	5	✓ ✓ -	5

* คำนวณคะแนนด้วยสูตร $SCORE(T_x) = 10 - \left(\frac{T_x - T_{\min}}{k \cdot T_{\min}}\right) \cdot 10$ เมื่อ T_x คือข้อมูลค่าเวลาที่ต้องการคิดคะแนน, T_{min} คือข้อมูลค่าเวลาที่เร็วที่สุด

** คำนวณคะแนนด้วยสูตรแล้วได้ค่าติดลบ จึงให้คะแนน = 0

*** คำนวณคะแนนด้วยสูตร $SCORE(T_x) = 10 - \left(\frac{T_x}{k \cdot T_{proj}}\right) \cdot 10$ เมื่อ T_x คือข้อมูลค่าเวลาที่ต้องการคิดคะแนน, T_{proj} คือข้อมูลค่าระยะเวลาโครงการ

ตารางที่ 5.4-3 : คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อม สุขภาพ และ นโยบาย

งานก่อสร้างเสาเข็ม			เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette)		เสาเข็มเจาะแบบกลม	
No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ - ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ - ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	- - - - ✓	10	✓ - - - ✓	0
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง - ฝุ่นละออง - กลิ่น - การสั่นสะเทือน - ถนนชำรุด	- - - - -	10	✓ - - ✓ -	0

งานก่อสร้างเสาเข็ม			เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette)		เสาเข็มเจาะแบบกลม	
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ	0	5	0	5
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	น้อย น้อย ไม่มี	5	น้อย น้อย ไม่มี	5
3.5	ส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	มาก	10	น้อย	0
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100%	5	100%	5
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืน	ไม่มี	5	ไม่มี	5

งานก่อสร้างเสาตอม่อ และ คานขวาง			คอนกรีตเทในที่		Precast	
No.	**ปัจจัยที่พิจารณา**	**เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ - ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ - ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	- - - - ✓	10	✓ - - - ✓	0
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง - ฝุ่นละออง - กลิ่น - การสั่นสะเทือน - ถนนชำรุด	✓ ✓ - - -	0	- - - - -	10
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เวลาที่ต้องปิดเพิ่มเติม) (หน่วย : เสน-วัน) (ใช้ค่า k = 1, ค่าระยะเวลาโครงการ = 200 L-D)	0	10	200x 5/24	7.9*
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	มาก ไม่มี ไม่มี	0	น้อย ไม่มี ไม่มี	10
3.5	ส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	มาก	10	น้อย	0
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100%	5	100%	5
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืน	ไม่มี	5	ไม่มี	5

งานก่อสร้างคานทางวิ่ง			Precast ยกด้วยเครน		Precast ยกด้วย Launcher		Precast ยกด้วย Heavy Lift	
No.	**ปัจจัยที่พิจารณา**	**เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ - ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ - ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	✓ - - - ✓	0	- - - - ✓	7.5	- - - - ✓	7.5

งานก่อสร้างคานทางวิ่ง			Precast ยกด้วยเครน		Precast ยกด้วย Launcher		Precast ยกด้วย Heavy Lift	
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง - ฝุ่นละออง - กลิ่น - การสั่นสะเทือน - ถนนชำรุด	✓ - - - -	5	✓ - - - -	5	✓ - - - -	5
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เวลาที่ต้องปิดเพิ่มเติม) (เสน-วัน) (ใช้ค่า k = 1, ค่าระยะเวลาโครงการ = 5x200 เสน-วัน ของงานก่อสร้างคานทางวิ่ง	400	6*	0	10	0	10
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	น้อย ไม่มี ไม่มี	5	น้อย ไม่มี ไม่มี	5	น้อย ไม่มี ไม่มี	5
3.5	ส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (คน/คาน)	8-10	0	มาก	5	มากที่สุด	10
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	นำเข้าเครน	0	Tempo. Str. ผลิตเอง	7.5	Tempo. Str. ผลิตเอง	7.5
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืน	ไม่มี	5	ไม่มี	5	ไม่มี	5

* คำนวณคะแนนด้วยสูตร $SCORE(T_x) = 10 - \left(\frac{T_x}{k \cdot T_{proj}}\right) \cdot 10$ เมื่อ T_x คือค่าเวลาที่ต้องการคิดคะแนน, T_{proj} คือค่าระยะเวลาโครงการ

5.5 ทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษาช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน

จากค่าคะแนนที่ได้ของแต่ละปัจจัยสามารถนำไปคำนวณค่าคะแนนรวมของทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างแบบถ่วงน้ำหนักตามสมการที่ (2.8) โดยใช้ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาไว้ก่อนหน้าตามรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 โดยสำหรับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ (รถไฟฟ้ารางเบา) ช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน สามารถสรุปค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ที่ต้องใช้ในการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 5.5-1

ตารางที่ 5.5-1 ค่าน้ำหนักของปัจจัยทั้งหมดสำหรับโครงสร้างของระบบรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail)

ปัจจัยหลักด้านเศรษฐศาสตร์ (ค่าน้ำหนัก = 0.20)	เสาเข็ม/ฐานราก	เสา/คานขวาง	คานทางวิ่ง
ค่าก่อสร้าง	0.26	0.30	0.30
ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	0.18	0.14	0.13
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว	0.16	0.16	0.15
ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	0.12	0.10	0.09
ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์	0.09	0.10	0.11
ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	0.11	0.11	0.11
ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	0.03	0.04	0.05
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	0.06	0.05	0.05

ปัจจัยหลักด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง (ค่าน้ำหนัก = 0.54)	**เสาเข็ม/ฐานราก**	**เสา/คานขวาง**	**คานทางวิ่ง**
ระยะเวลาการก่อสร้าง	0.11	0.17	0.15
ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร	0.08	0.07	0.09
ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	0.08	0.08	0.10
ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	0.13	0.17	0.17
ความปลอดภัยในการก่อสร้าง	0.18	0.22	0.21
ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง ในการก่อสร้าง หรือสาธารณูปโภคที่ต้องเคลื่อนย้าย	0.12	0.25	0.24
ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	0.02	0.05	0.04
คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน ฯลฯ	0.27		
ปัจจัยหลักด้านสังคม สิ่งแวดล้อมและนโยบาย (ค่าน้ำหนัก = 0.26)	**เสาเข็ม/ฐานราก**	**เสา/คานขวาง**	**คานทางวิ่ง**
ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	0.25	0.25	0.27
การรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่น แรงสั่นสะเทือน และมลภาวะอื่นๆ	0.21	0.21	0.19
ผลกระทบต่อสภาพจราจร	0.18	0.18	0.19
ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	0.09	0.11	0.11
การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	0.07	0.07	0.05
การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	0.03	0.04	0.04
ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	0.17	0.15	0.14

นำค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยรองในตารางข้างต้นคูณกับค่าคะแนนของปัจจัยนั้นๆ แล้วรวมค่าเป็นคะแนนรวมของปัจจัยรองสำหรับของแต่ละปัจจัยหลัก แล้วจึงนำไปคูณกับค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักนั้นๆ ทั้งสามปัจจัย และรวมผลรวมเป็นขั้นสุดท้าย จะได้คะแนนรวมสุดท้ายของทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างเพื่อนำมาตัดสินเปรียบเทียบ โดยได้ค่าคะแนนรวมดังแสดงในตารางที่ 5.5-2

จากผลการรวมคะแนนทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 5.5-2 สำหรับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน จะสรุปได้ว่า

- **งานก่อสร้างเสาเข็ม** วิธีการก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) มีความเหมาะสมที่สุด
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง** วิธีการก่อสร้างด้วยโครงสร้างชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) มีความเหมาะสมที่สุด และ
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง** วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ยกติดตั้งด้วยเครน มีความเหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 5.5-2 ผลคะแนนรวมของทางเลือกวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน

ปัจจัย			เสาเข็ม / ฐานราก			เสาตอม่อ และ คานขวาง			คานทางวิ่ง			
			น้ำหนัก	คะแนน		น้ำหนัก	คะแนน		น้ำหนัก	คะแนน		
				เข็มแบบเหลี่ยม	เข็มเจาะ		หล่อในที่	Precast		Precast ยกด้วย Crane	Precast ยกด้วย Launcher	Precast ยกด้วย Heavy lift
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	0.26	10	7.47	0.30	8	10	0.30	10	10	10
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	0.18	10	10	0.14	10	10	0.13	10	10	10
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	0.16	10	10	0.16	4.89	10	0.15	10	0.62	6.98
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	0.12	10	10	0.10	10	10	0.09	10	10	10
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง	0.09	7.5	10	0.10	3.44	10	0.11	10	7.78	5
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	0.11	10	10	0.11	10	10	0.11	10	10	10
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	0.03	10	10	0.04	10	0	0.05	10	10	10
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	0.06	10	7.47	0.05	8	10	0.05	10	10	10
0.2		**คะแนนรวม**		9.79	9.20		7.85	9.56		10.00	8.32	8.98
ปัจจัยด้านวิศวกรรม และการก่อสร้าง	2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	0.11	7.5	10	0.17	0	10	0.15	10	0	0
	2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	0.08	10	10	0.07	10	10	0.09	10	6.67	6.67
	2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรือ อื่นๆ	0.08	5	5	0.08	10	0	0.10	5	5	5
	2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	0.13	5	5	0.17	10	0	0.17	5	5	5
	2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	0.18	5	5	0.22	0	10	0.21	10	2.5	2.5
	2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือ	0.12	10	0	0.25	5	5	0.24	2.5	2.5	10
	2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	0.02	5	5	0.05	0	10	0.04	5	5	5
	2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	0.27	0	10							
0.54		**คะแนนรวม**		4.94	6.74		4.41	6.26		6.67	3.31	5.11
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย	3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบ และผู้สัญจรผ่านพื้นที่	0.25	10	0	0.25	10	0	0.27	0	7.5	7.5
	3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	0.21	10	0	0.21	0	10	0.19	5	5	5
	3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	0.18	5	5	0.18	10	7.9	0.19	6	10	10
	3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	0.09	5	5	0.11	0	10	0.11	5	5	5
	3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (จำนวนแรงงาน)	0.07	10	0	0.07	10	0	0.05	0	5	10
	3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ (การใช้ผลิตภัณฑ์ผลิตในประเทศ)	0.03	5	5	0.04	5	5	0.04	0	7.5	7.5
	3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	0.17	5	5	0.15	5	5	0.14	5	5	5
0.26		**คะแนนรวม**		7.63	2.37		5.89	5.58		3.36	6.73	7.00
		คะแนนรวมทั้งหมด		6.61	6.10		5.48	6.74		6.48	5.20	6.38

5.6 ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม

จากผลการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับกรณีศึกษาช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนดังแสดงในหัวข้อก่อนหน้า พบว่ามีความสอดคล้องใกล้เคียงกับผลการศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้น

จากการวิเคราะห์คะแนนพบว่า ค่า ***k*** ที่ใช้ในการคำนวณสัดส่วนของคะแนนมีความสำคัญ การเลือกใช้ค่า ***k*** ไม่จำเป็นต้องเท่ากันในทุกปัจจัย แต่สามารถแตกต่างกันตามความเหมาะสมของปัจจัยและข้อมูลที่พิจารณา เช่น ค่า ***k*** สำหรับปัจจัยค่าใช้จ่ายของโครงสร้างชั่วคราวที่ใช้ค่าเท่ากับ 3 ในขณะที่ค่า ***k*** สำหรับปัจจัยค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเท่ากับ 1 เนื่องจากในวิธีการก่อสร้างที่ต่างกัน ค่าใช้จ่ายสำหรับโครงสร้างชั่วคราวมีความแตกต่างกันมาก เช่นวิธีการยกชิ้นส่วนคานทางวิ่งด้วย Launcher มีต้นทุนสำหรับโครงสร้างชั่วคราวสูงมากเพราะเป็นโครงสร้างเหล็กถักขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ซ้ำใหม่ในภายหลังกับงานก่อสร้างอื่นได้

นอกจากนี้ในการเปรียบเทียบคัดเลือกวิธีการก่อสร้างกรณีของเสาเข็มแบบเหลี่ยมและเสาเข็มเจาะแบบกลม พบว่า เสาเข็มแบบเหลี่ยมมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างประหยัดกว่า แต่เสาเข็มเจาะแบบกลมมีคะแนนปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ และด้านสิ่งแวดล้อมฯ สูงกว่าได้หากไม่ติดข้อจำกัดในการก่อสร้าง หมายความว่าในกรณีทั่วไป การก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลมจะเป็นทางเลือกที่ได้คะแนนสูงกว่าเสาเข็มแบบเหลี่ยม อย่างไรก็ตามผลกระทบของเสาเข็มเจาะแบบกลมที่ทำให้ฐานรากมีขนาดใหญ่ขึ้น กินพื้นที่บางส่วนของช่องจราจร ส่งผลให้เมื่อถนนเกิดการทรุดตัวจะทำให้ผิวจราจรจะไม่ราบเรียบ มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาผิวจราจรอยู่เสมอ ผลกระทบดังกล่าวหากนำมาคิดรวมด้วยก็อาจทำให้เสาเข็มแบบเหลี่ยมมีความเหมาะสมกว่าเสาเข็มเจาะแบบกลมได้

จากข้อคิดเห็นข้างต้นแสดงให้เห็นว่า หากข้อมูลที่นำมาพิจารณามีความละเอียด มีค่าใช้จ่ายที่คำนวณต้นทุนครบถ้วน อาทิหักค่าเสื่อม ค่าเช่า ค่าขายคืนเศษเหล็ก ค่าบำรุงรักษาซ่อมแซม ฯลฯ ก็จะได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ละเอียด แม่นยำ และสามารถพิจารณาทางเลือกได้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

สำหรับการให้คะแนนสำหรับปัจจัยที่ไม่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ (ปัจจัยเชิงคุณภาพ) โดยใช้วิธีการจัดลำดับ (Ranking) พบว่ามีความสะดวกในการใช้งาน แต่ในกรณีที่มีจำนวนทางเลือกที่พิจารณาน้อย เช่น มีทางเลือก 2 วิธีที่ต้องการพิจารณา การจัดลำดับที่แตกต่างกันจะทำให้ได้คะแนนในส่วนนี้ต่างกันค่อนข้างมาก เช่น ลำดับที่ 1 และ 2 จะได้คะแนนเท่ากับ 10 และ 0 ตามลำดับ ซึ่งหากทั้ง 2 วิธีที่พิจารณานี้ มีคะแนนของปัจจัยอื่นใกล้เคียงกัน ปัจจัยที่ใช้วิธีการจัดลำดับให้คะแนนนี้จะกลายเป็นตัวตัดสินทางเลือก ซึ่งในบางครั้งอาจได้ผลลัพธ์ที่ขัดต่อความรู้สึกหรืออาจคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นในอนาคตหากมีข้อมูลที่ละเอียดมากขึ้นของปัจจัยเชิงคุณภาพเหล่านี้ จะสามารถกำหนดเกณฑ์การให้คะแนนที่มีความเหมาะสมกว่าการใช้วิธีจัดลำดับได้ และในทางกลับกัน หากพบว่ามีปัจจัยใดมีค่าที่ไม่ค่อยแตกต่างกันหรือไม่ค่อยได้นำมาเปรียบเทียบกันเลย ก็อาจพิจารณาตัดปัจจัยนั้นออก แล้วนำปัจจัยที่เหลือมาคำนวณถ่วงน้ำหนักใหม่ จะทำให้ได้ค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้นได้

อย่างไรก็ตามแม้จะมีข้อจำกัดในข้อมูลต่างๆ ผลการศึกษาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ใช้พิจารณาทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่นำเสนอนี้ รวมถึงกรณีศึกษาที่ได้ทดลองนำค่าน้ำหนักมาประยุกต์ใช้

วิเคราะห์ทางเลือก พบว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริง เป็นสิ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง และหากสามารถเก็บข้อมูลปัจจัยที่มีความละเอียดมากขึ้นในอนาคต จะยิ่งทำให้สามารถนำผลการการศึกษาค่าน้ำหนักของปัจจัยฯ นี้ไปใช้วิเคราะห์ทางเลือกได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

6. การวิเคราะห์ทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาช่วงบริเวณแยกบางเขน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการคัดเลือกทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างของกรณีศึกษาช่วงบริเวณแยกบางเขน (ถนนวิภาวดีรังสิต – ถนนงามวงศ์วาน) ซึ่งมีข้อจำกัดสำคัญในเรื่องของความสูงที่แนวเส้นทางรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ต้องลอดผ่านใต้ทางยกระดับอุตราภิมุขที่มีระยะช่วงว่างใต้ท้องคานสะพานยกระดับอุตราภิมุข 13.45 ม. จากถนนปัจจุบัน ซึ่งน้อยกว่าระยะช่วงว่างที่มีของกรณีศึกษาก่อนหน้าที่เป็นช่วงซ้อนทับกับทางพิเศษบนถนนประเสริฐมนูกิจ (15.95 ม.) โดยทางเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับที่แยกบางเขนที่นำเสนอนี้ จะคล้ายคลึงกับกรณีศึกษาบนถนนประเสริฐมนูกิจที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 5 แต่จะคิดทางเลือกกรณีที่ย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อให้พ้นออกจากแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุขร่วมด้วย

การให้คะแนนของแต่ละทางเลือกในแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างของโครงสร้างในส่วนต่างๆ ได้แก่การก่อสร้างเสาเข็ม, การก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง และการก่อสร้างคานทางวิ่ง สามารถทำได้ในรูปแบบเดียวกับที่นำเสนอไว้ในบทที่ 5 ของกรณีศึกษาช่วงซ้อนทับทางด่วนบนถนนประเสริฐมนูกิจ และสามารถอ้างอิงราคาค่าก่อสร้างต่างๆ ในลักษณะเดียวกันได้ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

6.1. ข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์

6.1.1 ข้อมูลค่าก่อสร้าง (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.1)

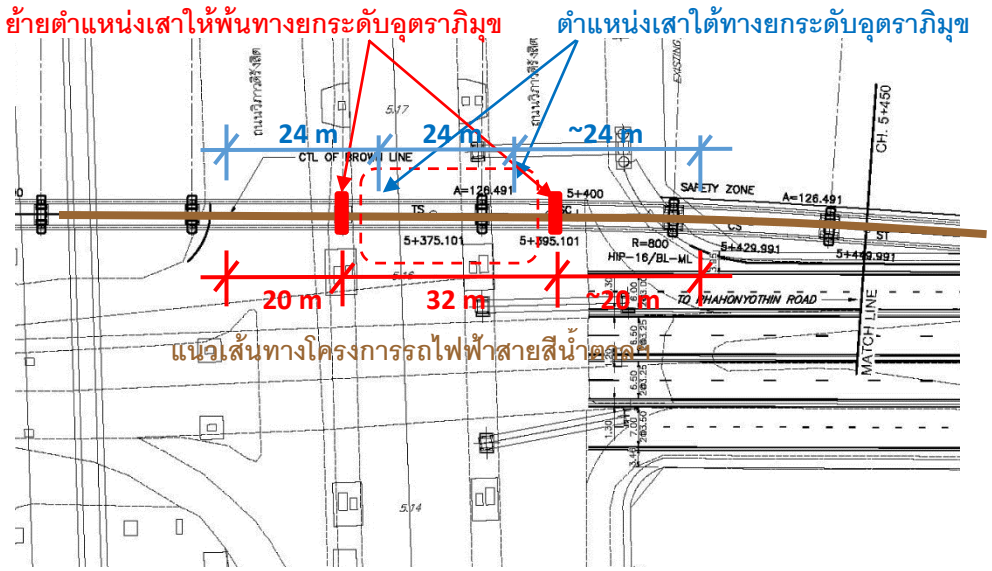
มีรายละเอียดค่าก่อสร้างแยกตามชนิดของโครงสร้างดังนี้

6.1.1.1 งานก่อสร้างเสาเข็ม

ดังที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.5.2 ถึงทางเลือกวิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มและฐานรากของบริเวณแยกบางเขนนี้ซึ่งประกอบด้วย การก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม และ เสาเข็มเจาะแบบกลม นั้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดระยะช่วงว่างความสูงจากพื้นถนนถึงใต้ท้องคานสะพานยกระดับอุตราภิมุขมีระยะเพียง 13.45 ม. ซึ่งไม่สามารถก่อสร้างด้วยการใช้เสาเข็มเจาะแบบกลมได้ (ต้องการระยะความสูงประมาณ 16-20 ม. ขึ้นไป) จำเป็นต้องย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นจากแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุขดังแสดงในรูปที่ 6.1-1 จึงจะสามารถใช้วิธีการก่อสร้างด้วยระบบเสาเข็มเจาะแบบกลมได้ ดังนั้นจึงพิจารณาทางเลือกวิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มและฐานรากของกรณีแยกบางเขนนี้เป็น 3 รูปแบบคือ

- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** ใต้ทางยกระดับอุตราภิมุข ซึ่งมีข้อจำกัดความสูงระยะช่วงว่างถึงใต้ท้องคานทางยกระดับอุตราภิมุข 13.45 ม. และพิจารณาระยะห่างช่วงเสาเดิมเท่าๆ กัน 3 ช่วง ของ ช่วงก่อนลอดใต้ทางยกระดับ-ช่วงกำลังลอดใต้ทางยกระดับ-ช่วงที่ลอดใต้ทางยกระดับไปแล้ว เท่ากับระยะ 24 ม.+24 ม.+24 ม.

- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ทำให้มีระยะห่างช่วงเสาที่จะพิจารณาเปรียบเทียบกับรูปแบบการก่อสร้างก่อนหน้าเปลี่ยนจากระยะ 24 ม.+24 ม.+24 ม. เป็นระยะ 20 ม.+32 ม.+20 ม. (ช่วงกลางที่ลอดใต้ทางยกระดับมีระยะห่างเสาเพิ่มจาก 24 ม. เป็น 32 ม.) และ
- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข มีระยะห่างเสาเท่ากับ 20 ม.+32 ม.+20 ม.



รูปที่ 6.1-1 แปลนแสดงตำแหน่งเสาตอม่อบริเวณแยกบางเขนช่วงที่ซ้อนทับกับทางยกระดับอุตราภิมุข

ขนาดของเสาเข็มตามข้อมูลการศึกษาความเหมาะสมของโครงการ และค่าก่อสร้างเสาเข็มที่จะใช้อ้างอิงในงานวิจัยนี้ได้คำนวณไว้แล้วก่อนหน้าในหัวข้อที่ 5.1.1.1 ซึ่งเป็นเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) ขนาด 2.7x0.8 ม. ส่วนเสาเข็มเจาะแบบกลมที่ใช้เปรียบเทียบนั้น เนื่องด้วยระยะห่างช่วงเสามีความยาวเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าน้ำหนักที่ถ่ายลงเสาเข็มมีการเปลี่ยนแปลง ในที่นี้จึงลองพิจารณาขนาดเสาเข็มที่ละเอียดมากขึ้นจากกำลังรับแรงปลายเสาเข็ม (End bearing) และกำลังรับแรงจากแรงเสียดทานระหว่างดินและเสาเข็ม (Skin friction) โดยมีสัดส่วนของแรงทั้งสองนี้ประมาณ 40:60 ดังนี้

เปรียบเทียบกำลังรับแรงของเสาเข็มเพื่อพิจารณาขนาดและจำนวนของเสาเข็มที่จะเลือกใช้						
รูปแบบการก่อสร้าง	**ขนาด**	**พื้นที่หน้าตัด (A, m2)**	**เส้นรอบรูป (B, m)**	**กำลังรับแรงรวม 0.4A+0.6B**	**จำนวน (ต้น)**	**กำลังรับแรงทั้งหมด**
เสาเข็มแบบเหลี่ยม	2.7x0.8 ม.	2.16	7.0	5.06	**2**	**10.13**
เสาเข็มเจาะ	Dia. 1.8 ม.	2.54	5.65	4.41	**2**	**8.82**
เสาเข็มเจาะ	Dia. 1.5 ม.	1.77	4.71	3.53	**3**	**10.60**

สำหรับกรณีศึกษาแยกบางเขนบริเวณช่วงที่ลอดใต้ทางยกระดับอุตราภิมุขที่มีระยะห่างเสาเพิ่มจาก 24 ม. เป็น 32 ม. และระยะห่างเสาช่วงข้างเคียงลดจาก 24 ม. เหลือ 20 ม. คาดว่าจะทำให้มีน้ำหนักลงที่เสานี้เทียบเท่ากับระยะห่างเสาช่วงยาวเท่ากับ (32+20)/2 = 26 ม. ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีระยะ 24 ม. คิดเป็นประมาณ (26-24)/24 = 8.3%

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวนี้ พิจารณาแล้วยังไม่สูงมากจนเกินไปนัก ซึ่งเสาเข็มเหลี่ยม (Barrette pile) จำนวน 2 ต้นตามเดิมน่าจะสามารถรับกำลังได้ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับเสาเข็มเจาะแบบกลมที่คาดว่าเดิมจะเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.8 ม. จำนวน 2 ต้นเท่ากัน พบว่าเสาเข็มเจาะขนาด 1.8 ม. รับกำลังไม่เพียงพอ ต้องเพิ่มเป็นจำนวน 3 ต้น ซึ่งหากเพิ่มจำนวนเสาเข็มเป็น 3 ต้น จะเห็นได้ว่าสามารถลดขนาดเสาเข็มเจาะแบบกลมเป็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ม. ได้ อย่างไรก็ตามฐานรากเสาเข็ม 3 ต้น มีความไม่เหมะสมในการรับแรงอีกทิศทางที่ตั้งฉากกัน จึงควรเลือกใช้เป็นฐานรากเสาเข็มจำนวน 4 ต้นแทน ดังนั้นสรุปได้ว่าการเปรียบเทียบงานเสาเข็มและฐานราก จะเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette pile) ขนาด 2.7x0.8 ม. จำนวน **2** ต้น กับเสาเข็มเจาะแบบกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ม. จำนวน **4** ต้น

เมื่ออ้างอิงราคาค่างานก่อสร้างเสาเข็มที่คำนวณไว้ในหัวข้อที่ 5.1.1.1

- เสาเข็มแบบเหลี่ยมมีค่าก่อสร้าง **20,920.25** บาท/ม./ต้น
- เสาเข็มเจาะแบบกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 ม. จะคิดราคาโดยเทียบสัดส่วนจากราคาของเสาเข็มเจาะแบบกลมขนาด 1.8 ม. และเมื่อรวมกับค่าทดสอบเสาเข็ม จะได้ค่าก่อสร้างรวมดังนี้

  $[25,905.11/(\pi 1.8^2/4)x(\pi 1.5^2/4) + 312.75]x2$ = **36,604.82** บาท/ม./ 2ต้น

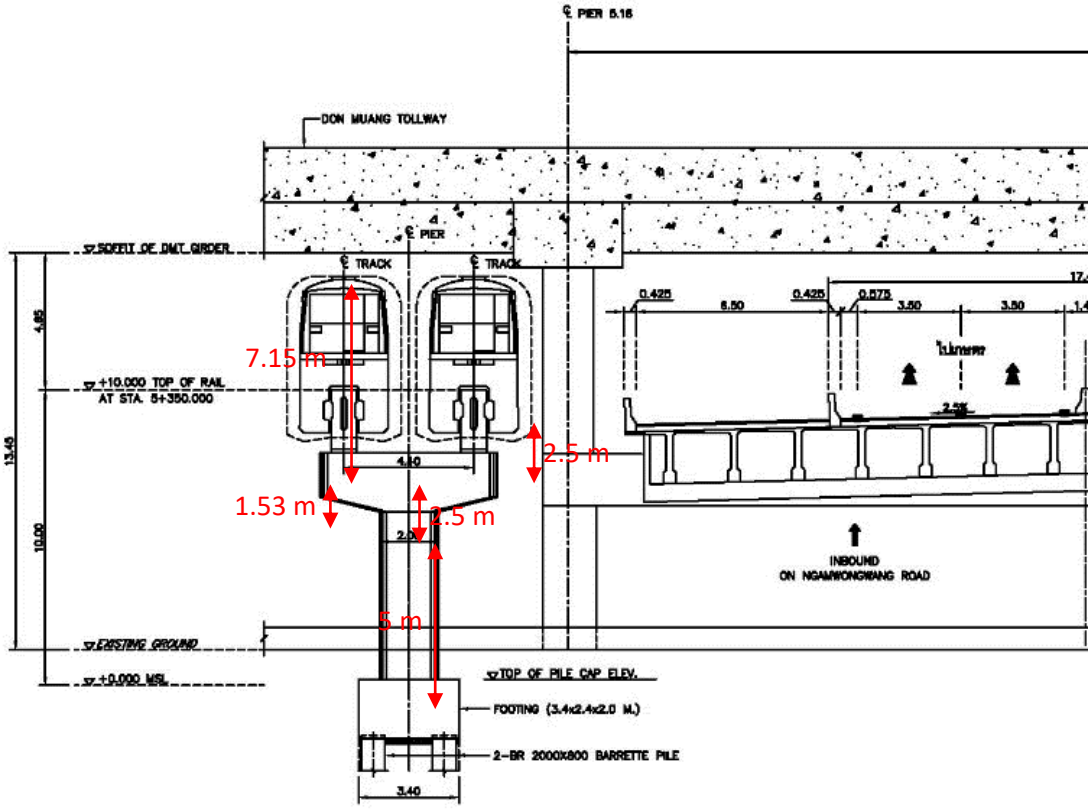
ทั้งนี้พิจารณาค่าทดสอบเสาเข็มเท่ากับกรณีศึกษาช่วงบริเวณที่ซ้อนทับทางด่วน

6.1.1.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง

กรณีศึกษาแยกบางเขนนี้ มีการพิจารณาย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อให้พ้นจากแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข จึงทำให้มีทางเลือกในการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง เพิ่มเติมจากกรณีของวิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่และวิธีแบบใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยกรณีของการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่สามารถใช้กับการก่อสร้างเสาตอม่อที่ตำแหน่งเดิมได้ แต่สำหรับกรณีของวิธีใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ สามารถติดตั้งได้ทั้งกรณีที่เสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม และกรณีย้ายตำแหน่งเสาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข จึงต้องแยกคิดต่างกันสำหรับทั้งสองกรณีนี้ โดยสามารถคิดค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

- **วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**

ใช้การคำนวณราคาต่อหน่วยในลักษณะเดียวกันกับกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน แต่พิจารณาความสูงของโครงสร้างตามตำแหน่งจริง (ลดจากเดิม 6.5 ม. เหลือ 5 ม.) ดังแสดงในรูปที่ 6.1-2 เพื่อให้ได้ปริมาตรส่วนโครงสร้างตามตำแหน่งจริง



รูปที่ 6.1-2 : รูปตัดขวางกรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขน

เสามีขนาดหน้าตัดประมาณ 2x2.8 ม. สูง 5 ม. มีปริมาตร = 28 ม.^{3}

คานขวางมีปริมาตร = 44.14 ม.^{3}

อ้างอิงราคาต่อหน่วยจากหัวข้อที่ 5.1.1.2

ราคาค่าคอนกรีต = 4,896.71 บ./ม.^{3}

ราคาค่าเหล็กเสริม = 31.5 บ./กก. และคิดปริมาณที่ 241.43 กก./ม.^{3} คอนกรีต

ค่าก่อสร้างเสาและคานขวางของทางเลือกวิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่จะเท่ากับ

- คอนกรีตเสา 28 ม.^{3} x 4,896.71 บ./ม.^{3} = 137,107.88 บ.
- คอนกรีตคานขวาง 44.14 ม.^{3} x 4,896.71 บ./ม.^{3} = 216,146.82 บ.
- ปริมาณเหล็กเสริม 241.43 กก./ม.^{3} x (28+44.14) ม.^{3} x 31.5 บ./กก. = 548,642.32 บ.
- รวมเป็นราคากลางค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางทั้งหมด = 901,897.71 บ.

ค่าก่อสร้างนี้เป็นราคาที่รวมค่าโครงสร้างชั่วคราว ไม้แบบ และอื่นๆ ไว้แล้ว โดยในที่นี้คิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.3) ที่ **10%** ของราคากลางรวม จะได้ว่า

- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว = **90,189.71 บ.**
- ค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางของวิธีก่อสร้างแบบเทในที่ = **811,707.41 บ.**

- **วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**

การคำนวณค่าใช้จ่ายสามารถใช้แนวทางเดียวกันกับที่คำนวณไว้สำหรับกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนในหัวข้อที่ 5.1.1.2

ราคาค่าคอนกรีตหล่อสำเร็จ = 7,090.60 บ./ลบ.ม.
ราคาค่าเหล็กเสริม = 31.6 บ./กก. และคิดปริมาณที่ 116.13 กก./ลบ.ม.
ราคาลวดอัดแรง = 102 บ./กก. และคิดปริมาณที่ 37.43 กก./ลบ.ม.

จะคิดค่าก่อสร้างทางเลือกวิธีก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปได้ดังนี้

- คอนกรีตเสา = 28 ม.^{3} x 45% (เสาแบบกลวง) = 12.60 ม.^{3}
  คิดเป็นราคา = 28 ม.^{3} x 7,090.60 บ./ลบ.ม. = 89,341.56 บ.
- คอนกรีตคานขวาง = 44.14 ม.^{3} x 86.4% (คิดลดช่องว่างกลางคาน) = 38.14 ม.^{3}
  คิดเป็นราคา = 38.14 ม.^{3} x 7,090.60 บ./ลบ.ม. = 270,462.10 บ.
- เหล็กเสริม = 116.13 x (12.6+38.14) x 31.6 = 186,212.46 บ.
- ปริมาณลวดอัดแรง 37.43 x (12.6+38.14) x 102 = 193,751.32 บ.
- รวมเป็นราคากลางค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางทั้งหมด = 739,767.45 บ.

ค่าก่อสร้างนี้เป็นราคาที่รวมค่าแบบในการผลิต ค่าขนส่ง ค่าติดตั้งและอื่นๆ ไว้แล้ว โดยในที่นี้คิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.3) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับทางเลือกวิธีการก่อสร้างแบบเทในที่ได้ ที่ **5%** ของราคากลางรวม จะได้ว่า

- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว = **36,988.37 บ.**
- ค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางของวิธีก่อสร้างแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ = **702,779.08 บ.**

- **วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข

ในการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ทำให้ระยะห่างช่วงเสาเปลี่ยนจากเดิม 24+24+24 ม. ของช่วงที่ลอดใต้ทางยกระดับและช่วงที่ติดกัน เป็นระยะ 20+32+20 ม. ซึ่งทำให้น้ำหนักที่ถ่ายลงเสาตอม่อช่วงที่ลอดใต้ทางยกระดับเพิ่มจากระยะห่างเสาเดิม (24+24)/2 = 24 ม. เป็น (20+32)/2 = 26 ม. ซึ่งหมายถึงน้ำหนักที่ถ่ายลงเสาเพิ่มขึ้นประมาณ = (26-24)/24 = 8.3%

ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นประมาณ 8.3% นี้ถือว่ามีค่าไม่มาก คอนกรีตซึ่งมีพฤติกรรมรับแรงอัดได้ดี สามารถใช้เสาขนาดเดิมได้ อีกทั้งเพื่อคงขนาดของเสาตอม่อให้เท่ากันกับเสาต้นอื่นๆ เพื่อความสวยงาม ดังนั้นจะคิดเพิ่มในส่วนของปริมาณเหล็กเสริมและลวดอัดแรงแทน ดังนี้

- คอนกรีตเสา = 28 ม.^{3} x 45% (เสาแบบกลวง) = 12.60 ม.^{3}
  คิดเป็นราคา = 28 ม.^{3} x 7,090.60 บ./ลบ.ม. = 89,341.56 บ.
- คอนกรีตคานขวาง = 44.14 ม.^{3} x 86.4% (คิดลดช่องว่างกลางคาน) = 38.14 ม.^{3}
  คิดเป็นราคา = 38.14 ม.^{3} x 7,090.60 บ./ลบ.ม. = 270,462.10 บ.
- เหล็กเสริม = 116.13 x (12.6+38.14) x 31.6 x 1.083 = 201,668.10 บ.
- ปริมาณลวดอัดแรง 37.43 x (12.6+38.14) x 102 x 1.083 = 209,832.68 บ.
- รวมเป็นราคากลางค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางทั้งหมด = 771,304.44 บ.

ค่าก่อสร้างนี้เป็นราคาที่รวมค่าแบบในการผลิต ค่าขนส่ง ค่าติดตั้งและอื่นๆ ไว้แล้ว โดยในที่นี้คิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.3) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับทางเลือกวิธีการก่อสร้างแบบเทในที่ได้ ที่ **5%** ของราคากลางรวม จะได้ว่า

- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว = **38,565.22 บ.**
- ค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางของวิธีก่อสร้างแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ = **732,739.22 บ.**

6.1.1.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง (Guide Way Beam)

การก่อสร้างคานทางวิ่งของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ฯ ใช้เป็นรูปแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยในกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนในเนื้อหาบทที่ 5 นั้น ได้เสนอทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่แตกต่างกันในรูปแบบของการยกติดตั้งคานทางวิ่ง ซึ่งประกอบด้วยวิธีการยกติดตั้งด้วยเครน วิธีการยกติดตั้งด้วย Launcher และวิธีการยกติดตั้งด้วย Heavy Lift ซึ่งผลการวิเคราะห์พบว่าวิธีการยกติดตั้งด้วยเครน มีความเหมาะสมที่สุด อีกทั้งยังเป็นทางเลือกที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีอื่น ในที่นี้จึงแนะนำวิธีการก่อสร้างด้วยการใช้เครนในการยกติดตั้งคานทางวิ่ง แต่เนื่องด้วยทางเลือกวิธีการก่อสร้างส่วนของงานเสาเข็มและฐานราก และ ส่วนของเสาตอม่อและคานขวาง ที่ได้นำเสนอแนวทางเลือกในการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในส่วนของงานก่อสร้างคานทางวิ่งนี้จึงเสนอแนวทางเลือกวิธีการก่อสร้างด้วยการใช้เครนยกติดตั้งคานทางวิ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่เสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม และ กรณีที่ย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข โดยสามารถคิดค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

อ้างอิงราคาต่อหน่วยจากหัวข้อที่ 5.1.1.3

ราคาค่าคอนกรีตหล่อสำเร็จ = 7,090.60 บ./ลบ.ม.
ราคาค่าเหล็กเสริม = 31.6 บ./กก. และคิดปริมาณที่ 116.13 กก./ลบ.ม.
ราคาลวดอัดแรง = 102 บ./กก. และคิดปริมาณที่ 37.43 กก./ลบ.ม.

คานทางวิ่งมีขนาดหน้าตัดประมาณ 0.8x2.0 ม. ยาว **24** ม. มีปริมาตร 38.4 ม.^{3}

- ค่าวัสดุคอนกรีตของคานทางวิ่ง = 38.4x7.090.60 = 272,279.04 บ.
- ค่าวัสดุเหล็กเสริม = 38.4x116.13x31.6 = 140,915.05 บ.
- ค่าวัสดุเหล็กลวดอัดแรง = 38.4x37.43x102 = 146,620.03 บ.

รวมค่าก่อสร้างของคานทางวิ่ง (รวมค่ายกติดตั้งและค่าบริหารจัดการจราจร) = 559,814.12 บ.

ค่าก่อสร้างนี้คำนวณจากราคากลางที่รวมค่าติดตั้งด้วยเครนและค่าบริหารจัดการจราจรไว้แล้ว เพื่อให้ได้เฉพาะค่าก่อสร้างของคานทางวิ่งจึงต้องแยกค่าติดตั้งและค่าบริหารจัดการจราจรออกจากค่าก่อสร้างรวมดังกล่าว เพื่อจะได้นำส่วนของค่ายกชิ้นส่วนติดตั้งไปเปรียบเทียบกันระหว่างทางเลือกวิธีก่อสร้างที่แตกต่างกัน ดังนี้

- อ้างอิงค่าเช่าเครน (130 ตัน) จากข้อมูลสมาคมผู้ประกอบการรถเครน = 65,000 บ./คัน/วัน
- ใช้เครน 2 คันในยกติดตั้งคาน 1 ตัว ในเวลา 1 วัน คิดเป็นค่าเช่า =130,000 บ.
- สมมติว่าติดข้อจำกัดด้านความสูงในการใช้เครน ต้องทำการ Modify crane มีค่าใช้จ่ายเพิ่มอีก 35,000 บ./คัน ดังนั้น คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วน = **200,000 บ.**

สำหรับค่าบริหารจัดการจราจร สามารถอ้างอิงจากหัวข้อที่ 5.1.1.3 ที่ได้คำนวณค่าบริหารจัดการจราจรทั่วไปไว้แล้ว = **272.94 บาท/ชั่วโมง/กิโลเมตร** โดยสำหรับกรณีศึกษาแยกบางเขนนี้

- การติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัวใช้เวลาประมาณ **10** วัน สำหรับการติดตั้งคานแบบปกติที่ไม่มีข้อจำกัดในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ ของงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) ซึ่งต้องทำการปิดจราจรในช่องทางริมเกาะกลางตามปกติ 1 ช่องจราจรตลอดเวลา
- สมมติในการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัว ต้องปิดการจราจรเป็นระยะทางรวม 500 ม.
- ในกรณีที่มีข้อจำกัดด้านความสูง (กรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขนนี้มีระยะความสูงจำกัดจากท้องคานทางยกระดับอุตราภิมุขถึงหลังคานขวางอยู่ที่ **7.15** ม.) ต้องปิดจราจรเพิ่มอีก 1 ช่องจราจรเป็นเวลา **1** วัน เฉพาะวันที่ทำการติดตั้งคานทางวิ่ง เพื่อทำการ Modify และจัดตำแหน่งเครน

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = 272.94x**10**x24x0.5 + 272.94x**1**x24x0.5
= 32,752.18 + 3,275.22 = **36,027.40 บ.**

สรุปได้ว่าค่าก่อสร้างในส่วนของชิ้นส่วนคานทางวิ่ง (ไม่รวมค่าติดตั้งและค่าบริหารจัดการจราจร) คิดหักเฉพาะค่าก่อสร้างในส่วนของการยกชิ้นส่วนด้วยเครนตามปกติ จะได้ค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนคานทางวิ่งเท่ากับ = 559,814.12 – 130,000.00 – 32,752.18 = **397,061.94 บ.**

- **วิธีการยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**

ค่าก่อสร้างคานทางวิ่งด้วยการยกติดตั้งด้วยเครนจะประกอบด้วย

- ค่าชิ้นส่วนคานทางวิ่ง = **397,061.94** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.1)
- ค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วน = **200,000.00** บ./คาน 1 ตัว (มีการ Modify crane) (จัดอยู่ในกลุ่มของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว, ข้อมูลปัจจัยที่ 1.3)
- ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = **36,027.40** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.5)

- **วิธีการยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข

ในกรณีที่มีการย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุขนั้น จะทำให้คานมีช่วงยาวเปลี่ยนไปจากเดิม 24 ม. เพิ่มขึ้นเป็นยาว 32 ม. จำนวน 1 ช่วงคาน (Span) และเปลี่ยนจาก 24 ม. ลดลงเหลือ 20 ม. จำนวน 2 ช่วงคาน (Span) ซึ่งการที่คานมีความยาวเพิ่มหรือลดนั้นจะทำให้คานต้องรับโมเมนต์เพิ่มขึ้นหรือลดลง แต่ขนาดคานยังต้องคงขนาดไว้เท่าเดิมเพื่อให้เท่ากันกับคานทางวิ่งในช่วงคานอื่นๆ ดังนั้นจึงต้องพิจารณาการปรับเพิ่มหรือลดปริมาณเหล็กเสริมในคาน ซึ่งปริมาณเหล็กเสริมในคานจะแปรผันตรงกำลังรับโมเมนต์ของคาน โดยค่าโมเมนต์ในคานช่วงเดียวจะขึ้นอยู่กับระยะความยาวคานยกกำลังสอง ดังสมการ $M = WL^2/8$ ดังนั้นปริมาณเหล็กเสริมที่เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความยาวคานจะคำนวณจากการเปลี่ยนระยะช่วงคานดังนี้

ความยาวช่วงคานเดิม = 24 ม.+24 ม.+24 ม., ค่าโมเมนต์เดิม = $24^2+24^2+24^2$ = 1728 หน่วย
ความยาวช่วงคานใหม่ = 20 ม.+32 ม.+20 ม. ค่าโมเมนต์ใหม่ = $20^2+32^2+20^2$ = 1824 หน่วย
ปริมาณค่าโมเมนต์ในการเปลี่ยนแปลงไปจากคานเดิม คิดเป็นเพิ่ม (1728-1824)/(24^2) = 16.7%

ดังนั้นจึงคิดปริมาณเหล็กเสริมและลวดอัดแรงในคานเพิ่ม 16.7% ด้วย จะได้ว่า

- ค่าวัสดุคอนกรีตของคานทางวิ่ง = 272,279.04 บ.
- ค่าวัสดุเหล็กเสริม = 140,915.05 x 1.167 = 164,400.89 บ.
- ค่าวัสดุเหล็กลวดอัดแรง = 146,620.03 x 1.167 = 171,056.70 บ.

รวมค่าก่อสร้างของคานทางวิ่ง (รวมค่ายกติดตั้งและค่าบริหารจัดการจราจร) = 607,736.63 บ.

ค่าก่อสร้างนี้รวมค่าติดตั้งด้วยเครนและค่าบริหารจัดการจราจรไว้แล้ว สามารถแยกคิดค่าติดตั้งและค่าบริหารจัดการจราจรออกจากค่าก่อสร้างรวมดังนี้

- อ้างอิงค่าเช่าเครน (130 ตัน) จากข้อมูลสมาคมผู้ประกอบการรถเครน = 65,000 บ./คัน/วัน
- ใช้เครน 2 คันในยกติดตั้งคาน 1 ตัว ในเวลา 1 วัน คิดเป็นค่าเช่า =**130,000 บ.**
- เนื่องจากย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นจากทางยกระดับแล้วจึงไม่มีค่า Modify crane อีก

สำหรับค่าบริหารจัดการจราจร อ้างอิงจากหัวข้อที่ 5.1.1.3 ที่ได้คำนวณค่าบริหารจัดการจราจรทั่วไปไว้แล้ว = **272.94 บาท/ชั่วโมง/กิโลเมตร** โดยสำหรับกรณีศึกษาแยกบางเขนนี้

- การติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัวใช้เวลาประมาณ **10** วัน สำหรับการติดตั้งคานแบบปกติที่ไม่มีข้อจำกัดในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ ของงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) ซึ่งต้องทำการปิดจราจรในช่องทางริมเกาะกลางตามปกติ 1 ช่องจราจรตลอดเวลา
- ในการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัว ต้องปิดการจราจรเป็นระยะทางรวม 500 ม.
- ในการติดตั้งคานทางวิ่ง ต้องปิดจราจรเพิ่มเติมประมาณ 1 ช่องจราจรสำหรับติดตั้งรถเครนเพื่อใช้ในการยกติดตั้งชิ้นส่วน โดยใช้เวลาในการติดตั้งชิ้นส่วนประมาณ 1 คืน (ปิดจราจรช่วงเวลา 22:00 น. ถึง 03:00 น. รวม **5** ชั่วโมง)

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = 272.94x**10**x24x0.5 + 272.94x**5**x0.5
= 32,752.18 + 682.34 = **33,434.52 บ.**

สรุปได้ว่าค่าก่อสร้างในส่วนของชิ้นส่วนคานทางวิ่ง (ไม่รวมค่าติดตั้งและค่าบริหารจัดการจราจร) จะเท่ากับ = 607,736.63 – 130,000.00 – 32,752.18 = **444,984.45 บ.**

ค่าก่อสร้างคานทางวิ่งด้วยการยกติดตั้งด้วยเครนโดยย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นจากแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุขจะประกอบด้วย

- ค่าชิ้นส่วนคานทางวิ่ง = **444,984.45** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.1)
- ค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วน = **130,000.00** บ./คาน 1 ตัว (จัดอยู่ในกลุ่มของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว, ข้อมูลปัจจัยที่ 1.3)
- ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = **33,434.52** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.5)

6.1.2 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.2)

สำหรับค่าใช้จ่ายของปัจจัยนี้หากเป็นการก่อสร้างที่ตำแหน่งเดียวกันจะไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อระยะทางจากข้อมูลราคากลางของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ก่อสร้างเป็นระยะทาง

8.8 กม.) และสายสีม่วง (ก่อสร้างเป็นระยะทาง 9.3 กม.) ตามหัวข้อที่ 5.1.2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ **63,432** บาท/ม. ของระยะทางโครงการ โดยในกรณีนี้คำนวณระยะทางของช่วงเสาที่เกี่ยวข้อง = 24+24+24 = 72 ม. จะมีค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ก่อสร้างฯ ของกรณีก่อสร้างบริเวณแยกบางเขนนี้เท่ากับ 63,432x72 = **4,567,104** บาท (ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ฯ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม)

อย่างไรก็ตามในกรณีศึกษาแยกบางเขนนี้ มีการพิจารณาทางเลือกที่ย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ทำให้ตำแหน่งเสาตอม่อใหม่ไปซ้อนทับกับแนวถนนวิภาวิดีรังสิต จึงมีผลกระทบให้ต้องมีส่วนของการเตรียมพื้นที่เพื่อเบี่ยงการจราจร โดยในที่นี้ขออ้างอิงใช้ค่าใช้จ่ายจากการบริหารจัดการจราจรในหัวข้อที่ 5.1.1.3 และ 6.1.1.3 ซึ่งเท่ากับ **272.94 บาท/ชั่วโมง/กิโลเมตร** โดยค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะมากน้อยขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการทำงานและระยะทางที่เกี่ยวข้อง สำหรับกรณีที่มีการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุขนั้น ขอพิจารณาระยะทางในการจัดการเบี่ยงจราจรเท่ากับ **500** ม. ดังนั้นจะมีค่าใช้จ่ายในการเบี่ยงจราจรส่วนนี้ = 272.94x0.5 = **136.47 บาท/ชั่วโมง** ซึ่งสามารถคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ก่อสร้างของงานก่อสร้างในแต่ละส่วนดังนี้

6.1.2.1 งานก่อสร้างเสาเข็มและฐานราก

- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**

ในกรณีนี้จะมีเพียงค่าใช้จ่ายส่วนแรกในการจัดเตรียมพื้นที่ก่อสร้างฯ เท่านั้น = **4,567,104 บ.**

- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข

คิดระยะเวลางานก่อสร้างเสาเข็มและฐานราก **20** วันต่อฐาน (หรือต่อเสา) ดังนั้นค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการจัดเตรียมพื้นที่สำหรับการเบี่ยงจราจร = 136.47x(20x24) = **65,504 บาท/ฐาน** สรุปค่าใช้จ่ายของกรณีงานก่อสร้างเสาเข็มและฐานรากที่มีการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นทางยกระดับอุตราภิมุข จะประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ก่อสร้างฯ และค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากการทำเบี่ยงจราจร รวมเท่ากับ = 4,567,104 + 65,504 = **4,632,607 บ.**

- **การก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข

ค่าใช้จ่ายกรณีนี้จะเท่ากันกับค่าใช้จ่ายของการก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) ที่มีการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อ ซึ่งคำนวณไว้ข้างต้นเท่ากับ = 4,567,104 + 65,504 = **4,632,607 บ.**

6.1.2.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง

- **การก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**

ในกรณีนี้จะมีเพียงค่าใช้จ่ายส่วนแรกในการจัดเตรียมพื้นที่ก่อสร้างฯ = **4,567,104 บ.**

- **การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**

ในกรณีนี้จะมีเพียงค่าใช้จ่ายส่วนแรกในการจัดเตรียมพื้นที่ก่อสร้างฯ = **4,567,104 บ.**

- **การก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข

งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางด้วยวิธีใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จใช้เวลาประมาณ **30** วันต่อเสา 1 ต้น สำหรับการติดตั้งเสาและคานขวางแบบปกติที่ไม่มีข้อจำกัดในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ ของงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) ดังนั้น ค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการจัดเตรียมพื้นที่สำหรับการเบี่ยงจราจร = 136.47x(30x24) = **98,256.54 บาท/เสา** ดังนั้นสรุปค่าใช้จ่ายของงานก่อสร้างเสาและคานขวางด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) กรณีที่มีการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นทางยกระดับอุตราภิมุข จะประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ก่อสร้างฯ และค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากการทำเบี่ยงจราจร = 4,567,104 + 98,256.54 = **4,665,360.54 บ.**

6.1.2.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง (Guide Way Beam)

- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**

ในกรณีนี้จะมีเพียงค่าใช้จ่ายส่วนแรกในการจัดเตรียมพื้นที่ก่อสร้างฯ = **4,567,104 บ.**

- **การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข

งานก่อสร้างคานทางวิ่งโดยใช้ชิ้นส่วนคานหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน ใช้เวลาประมาณ **10** วันต่อคาน 1 ตัว สำหรับการติดตั้งคานแบบปกติที่ไม่มีข้อจำกัดในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ ของงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) ดังนั้น ค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการจัดเตรียมพื้นที่สำหรับการเบี่ยงจราจร = 136.47x(10x24) = **32,752.80 บาท/คาน** ดังนั้นสรุปค่าใช้จ่ายของงานก่อสร้างคานทางวิ่งโดยใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) ยกติดตั้งด้วยเครนโดยย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นทางยกระดับอุตราภิมุข จะประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ก่อสร้างฯ และค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากการทำเบี่ยงจราจร

= 4,567,104 + 32,752.80 = **4,599,856.80 บ.**

6.1.3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.3)

ในส่วนงานก่อสร้างใต้ดิน (เสาเข็ม) ไม่ต้องติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวใดๆ มีเพียงการขุดดิน ลงเหล็กเสริม เทคอนกรีต และ การทดสอบ เท่านั้น ซึ่งได้คิดรวมไปในค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างแล้ว แต่สำหรับการก่อสร้างโครงสร้างบนดิน ได้แก่ ส่วนของเสาตอม่อและคานขวาง และ ส่วนของคานทางวิ่ง จะมีค่าใช้จ่ายของปัจจัยนี้ที่มีความแตกต่างกัน วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ในขณะที่วิธีการสร้างแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จไม่ต้องมี แต่จะเป็นค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วนแทน โดยมีรายละเอียดดังนี้

6.1.3.1 งานก่อสร้างเสาเข็ม

ไม่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว

6.1.3.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง

- **วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**

งานเทคอนกรีตในที่จะต้องมีการเข้าไม้แบบสำหรับหล่อคอนกรีต และในที่มีความสูงจะต้องติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวนั่งร้านและค้ำยันขนาดใหญ่ตามความสูงของเสาตอม่อ ในที่นี้จึงใช้วิธีประมาณค่าใช้จ่ายโดยคิดเป็นสัดส่วน **10%** ของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 6.1.1.2 ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวของการก่อสร้างเสาและคานขวางแบบเทคอนกรีตในที่กรณีศึกษาแยกบางเขนโดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิมจะมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ **90,189.71** บ./เสาตอม่อ 1 ต้น

- **วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**

เป็นการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแทนการเทคอนกรีตในที่ ทำให้วิธีนี้ไม่ต้องใช้โครงสร้างชั่วคราว เพราะไม่ต้องเข้าแบบเพื่อเทคอนกรีต อย่างไรก็ตามต้องใช้เครนในการยกและติดตั้งชิ้นส่วนของเสาและคานขวาง และใช้แบบหล่อในการผลิตชิ้นส่วนที่โรงงาน ซึ่งค่าใช้จ่ายต่างๆ เหล่านี้จะรวมอยู่ในราคาค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นๆ ซึ่งดังที่ได้นำเสนออธิบายไว้ก่อนหน้าในหัวข้อที่ 6.1.1.2 ได้ประมาณค่าใช้จ่ายส่วนนี้ไว้เท่ากับ **5%** ของราคาค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนเสาและตอม่อ ซึ่งมีค่าเท่ากับ **36,988.37** บ./เสาตอม่อ 1 ต้น

- **วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข

เป็นการก่อสร้างโดยใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน เหมือนกันกับวิธีการก่อสร้างที่นำเสนอก่อนหน้าแต่เสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวจึงประมาณการที่ **5%** ของราคาค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนเสาและตอม่อในลักษณะเดียวกันซึ่งมีค่าเท่ากับ **38,565.22** บ./เสาตอม่อ 1 ต้น

6.1.3.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง

การก่อสร้างคานทางวิ่งใช้รูปแบบของโครงสร้างชิ้นส่วนหล่อสำเร็จนำมาติดตั้ง ดังนั้นจึงไม่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราว อย่างไรก็ตามต้องใช้เครนในการยกและติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่ง ในที่นี้จึงพิจารณาค่าใช้จ่ายของการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่งอยู่ในหมวดของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว โดยมีรายละเอียดดังที่ได้อธิบายไว้แล้วก่อนหน้าในหัวข้อที่ 6.1.1.3 สรุปค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

- **วิธีการยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**

ในกรณีที่เสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม ซึ่งมีระยะความสูงจำกัดในการติดตั้ง ซึ่งมีระยะจากท้องคานทางยกระดับอุตราภิมุขถึงหลังคานขวางอยู่ที่ประมาณ **7.15** ม. อย่างไรก็ตามระยะดังกล่าวนี้ยังเพียงพอที่สามารถทำการติดตั้งคานทางวิ่งโดยใช้เครนได้ (ระยะจำกัดน้อยที่สุดอยู่ที่ประมาณ 6 ม. อ้างอิงจากข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้รับเหมาะของโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) แต่จำเป็นต้องมีการปรับแต่งเครน (Modify) ซึ่งอาจเป็นการเปลี่ยนช่วงปลายเครนหรือปรับระยะรอกเครนให้สามารถทำงานที่ความสูงระยะจำกัดได้ ทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากการใช้งานเครนตามปกติ ดังรายละเอียดที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 6.1.1.3 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายรวมในการติดตั้งเท่ากับ **200,000.00** บ./คาน 1 ตัว

- **วิธีการยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข

ในกรณีที่ย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อให้พ้นจากแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ทำให้ตัดปัญหาด้านข้อจำกัดระยะความสูงในการยกติดตั้งด้วยเครนได้ จึงไม่จำเป็นต้องมีการปรับแต่ง Modify เครนอีก ค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งด้วยเครน จึงเป็นค่าใช้จ่ายค่าเช่าเครนตามปกติ โดยตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 6.1.1.3 มีค่าเท่ากับ **130,000.00** บ./คาน 1 ตัว

6.1.4 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และ สิ่งแวดล้อม (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.4)

สำหรับทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่นำเสนอของกรณีศึกษาสำหรับการก่อสร้างในส่วนงานโครงสร้างต่างๆ นั้น ในส่วนของการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางด้วยวิธีเทคอนกรีตในที่อาจมีผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และ สิ่งแวดล้อม บ้างเล็กน้อย เนื่องจากการก่อสร้างอาจมีเสียงดังจากหินกระทบกันในระหว่างการเทและจี้คอนกรีต ฝุ่นปูนเมื่อคอนกรีตแข็งตัว เป็นต้น อย่างไรก็ตามผลกระทบดังกล่าวอาจพิจารณาว่าไม่มีนัยสำคัญ เพราะวิธีการเทคอนกรีตในที่เป็นวิธีก่อสร้างแบบพื้นฐานทั่วไป (Conventional method) ซึ่งมีมาตรการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และ สิ่งแวดล้อม อยู่แล้วตามปกติ ส่วนในงานการก่อสร้างเสาเข็ม และ การก่อสร้างคานทางวิ่ง ถือได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องของการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และ สิ่งแวดล้อม อีกทั้งการก่อสร้างโดยย้ายหรือไม่ย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อในกรณีศึกษาของแยกบางเขน ซึ่งอยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกัน มีเพียงระยะห่างเสาที่เปลี่ยนไปประมาณ 4 ม. ดังนั้นในที่นี้จึงพิจารณาค่าใช้จ่ายของปัจจัยนี้อ้างอิงเท่ากันหมดในทุกทางเลือกวิธีการก่อสร้าง โดยอ้างอิงจากราคากลางเฉลี่ยของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้มและสายสีม่วง (ดูราคากลางได้ในภาคผนวก จ.) ซึ่งมีค่าเท่ากับ **8,179.04** บ./ม. ของระยะทางโครงการ

6.1.5 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.5)

ค่าใช้จ่ายในการในการบริหารการจราจรจะแปรผันตามระยะเวลาในการก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างที่ใช้ว่ามีผลกระทบต่อการจราจรมากน้อยเพียงใด โดยใช้อัตราค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการจราจรตามที่ได้คำนวณไว้แล้วในหัวข้อที่ 6.1.1.3 เท่ากับ **272.94** บาท/ชั่วโมง/กิโลเมตร ของระยะทางโครงการที่ทำการปิดจราจร เท่ากันในทุกทางเลือกของวิธีการก่อสร้าง ซึ่งสรุปได้ดังนี้

6.1.5.1 งานก่อสร้างเสาเข็ม

ทางเลือกในการก่อสร้างเสาเข็มทั้งการใช้เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) และเสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile) ไม่ว่าจะมีการย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อหรือไม่ก็ตาม ใช้พื้นที่ก่อสร้างที่เตรียมไว้สำหรับโครงการตามปกติเหมือนกัน ไม่ต้องมีการปิดจราจรเพิ่มเติม ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบริหารการจัดจราจรของวิธีก่อสร้างทั้ง 2 แบบนี้จึงขึ้นอยู่กับระยะเวลาการก่อสร้างดังนี้

- **เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette) โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** ใช้เวลาก่อสร้าง **20** วันต่อฐาน (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ งานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) สมมติระยะทางที่เกี่ยวข้องในการทำงานเสาเข็มฐานรากแต่ละฐานเท่ากับ 500 ม. ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่าย = 272.94x15x24x0.5 = **65,504.36** บ./ฐาน
- **เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ใช้เวลาในการก่อสร้างประมาณ **20** วันต่อฐานเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เท่ากันคือ = **65,504.36** บ./ฐาน
- **เสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ยังคงใช้เวลาก่อสร้างประมาณ **20** วันต่อฐานเช่นเดิม เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบเสาเข็มเจาะแบบกลมและเสาเข็มแบบเหลี่ยมที่เงื่อนไขเดียวกัน เสาเข็มเจาะแบบกลมแม้ว่าจะสามารถก่อสร้างได้เร็วกว่าเล็กน้อย แต่ก็ต้องใช้จำนวนเสาเข็มเจาะแบบกลมที่มากกว่าเสาเข็มแบบเหลี่ยม ดังนั้นในที่นี้จึงถือว่าชดเชยกัน พิจารณาระยะเวลาก่อสร้างที่เท่ากัน ดังนั้นจึงมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เท่ากันคือ = **65,504.36** บ./ฐาน

6.1.5.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง

- **วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**
  ใช้เวลาก่อสร้าง **80** วันต่อเสา คิดระยะเวลาปิดจราจร = 80 วัน
  สมมติระยะทางที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง = 500 ม.
  ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่าย = 272.94x80x24x0.5 = **262,017.43 บ./เสา**

- **วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**
  ใช้เวลาก่อสร้าง **30** วันต่อเสา คิดระยะเวลาปิดจราจร = 30 วัน
  สมมติระยะทางที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง = 500 ม.
  และเนื่องด้วยมีข้อจำกัดระยะความสูงในการยกติดตั้งชิ้นส่วน ต้องทำการ Modify เครน ปรับอุปกรณ์เครน และจัดตำแหน่งเครนอย่างระมัดระวังซึ่งใช้เวลานานพอสมควร
  ในที่นี้พิจารณาปิดจราจรเพิ่มอีก 1 วันเต็ม = 24 ชั่วโมง
  ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่ายรวม = 272.94 x (30x24 + 24) x 0.5 = **101,531.76 บ./เสา**

- **วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข
  ยังคงใช้เวลาก่อสร้าง **30** วันต่อเสา คิดระยะเวลาปิดจราจร = 30 วัน
  สมมติระยะทางที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง = 500 ม.
  เมื่อย้ายตำแหน่งเสาให้พ้นจากแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุขแล้ว ทำให้ไม่มีข้อจำกัดระยะความสูงในการยกติดตั้งชิ้นส่วนอีก จึงไม่ต้องทำการ Modify เครน สามารถปิดจราจรเพื่อยกติดตั้งคานได้ตามปกติ ซึ่งใช้เวลาไม่นานมากประมาณช่วงเวลา 22:00 น. ถึง 03:00 น. รวม 5 ชั่วโมง
  เท่ากับคิดการปิดจราจรเพิ่มอีก = 5 ชั่วโมง
  ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่ายรวม = 272.94 x (30x24 + 5) x 0.5 = **98,938.88 บ./เสา**

6.1.5.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง

ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรของงานก่อสร้างคานทางวิ่งซึ่งเป็นรูปแบบชิ้นส่วนคานหล่อสำเร็จ ได้อธิบายไว้แล้วก่อนหน้าในหัวข้อที่ 6.1.1.3 สรุปได้ดังนี้

- **วิธีการยกติดตั้งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม**
  ใช้เวลาก่อสร้าง **10** วันต่อคาน 1 ตัว คิดระยะเวลาปิดจราจร = 10 วัน
  สมมติระยะทางที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง = 500 ม.
  และเนื่องด้วยมีข้อจำกัดระยะความสูงในการยกติดตั้งชิ้นส่วน ต้องทำการ Modify เครน ปรับอุปกรณ์เครน และจัดตำแหน่งเครนอย่างระมัดระวังซึ่งใช้เวลานานพอสมควร
  ในที่นี้พิจารณาปิดจราจรเพิ่มอีก 1 วันเต็ม = 24 ชั่วโมง
  ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่ายรวม = 272.94 x (10x24 + 24) x 0.5 = **36,027.40 บ./คาน**

- **วิธีการยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข
  ยังคงใช้เวลาก่อสร้าง **10** วันต่อคาน 1 ตัว คิดระยะเวลาปิดจราจร = 10 วัน
  สมมติระยะทางที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง = 500 ม.
  เมื่อย้ายตำแหน่งเสาให้พ้นจากแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุขแล้ว ทำให้ไม่มีข้อจำกัดระยะความสูงในการยกติดตั้งชิ้นส่วนอีก จึงไม่ต้องทำการ Modify เครน สามารถปิดจราจรเพื่อยกติดตั้งคานได้ตามปกติ ซึ่งใช้เวลาไม่นานมากประมาณช่วงเวลา 22:00 น. ถึง 03:00 น. รวม 5 ชั่วโมง เท่ากับคิดการปิดจราจรเพิ่มอีก = 5 ชั่วโมง
  ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่ายรวม = 272.94 x (10x24 + 5) x 0.5 = **33,434.52 บ./เสา**

6.1.6 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.6)

สำหรับกรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขนนี้ ช่วงที่ทำการศึกษาคือช่วงที่แนวเส้นทางรถไฟฟ้าลอดใต้ผ่านทางยกระดับอุตราภิมุข การก่อสร้างอยู่ในแนวเกาะกลางของถนนงามวงศ์วานจึงไม่มีค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน (= **0.00** บาท)

6.1.7 ข้อมูลค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.7)

ในส่วนงานก่อสร้างใต้ดิน (งานฐานรากและเสาเข็ม) ไม่มีค่าใช้จ่ายในหมวดนี้

ในส่วนงานก่อสร้างบนดิน จะมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมบำรุงรักษาหลักๆ เฉพาะในส่วนของโครงสร้างรูปแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ซึ่งอาจต้องมีการตรวจสอบซ่อมแซมบริเวณรอยต่อ จุดรองรับ ลวดอัดแรง ฯลฯ เป็นต้น โดยในที่นี้จะคิดประมาณเป็นอัตราเท่ากับ **2%** ของค่าก่อสร้าง (ตามข้อมูลในหัวข้อที่ 6.1.1.2 และ 6.1.1.3) ดังนี้

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา = **0** บ./ฐาน
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา = **0** บ./ฐาน

- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา = **0** บ./เสา
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาคิดเท่ากับ 2% ของค่าก่อสร้าง =0.02x702,779.08 = **14,055.58** บ./เสา
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาคิดเท่ากับ 2% ของค่าก่อสร้าง = 0.02x732,739.22 = **14,654.78** บ./เสา
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาคิด = 2% ของค่าก่อสร้าง = 0.02x397,061.94 = **7,941.24** บ./คาน
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาคิดเท่ากับ 2% ของค่าก่อสร้าง = 0.02x444,984.45 = **8,899.69** บ./คาน

6.1.8 ข้อมูลค่าใช้จ่ายอื่นๆ (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.8)

เป็นค่าใช้จ่ายส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ชัดเจน ในที่นี้จะประมาณการไว้ที่ **5%** ของค่าก่อสร้าง (ตามข้อมูลในหัวข้อที่ 6.1.1.1, 6.1.1.2 และ 6.1.1.3) ดังนี้

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** คิด 5% = 0.05x20,920.25 = **1,046.01** บ./ฐาน
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** คิด 5% = 0.05x36,604.82 = **1,830.24** บ./ฐาน
- **งานก่อสร้างเสาและคานขวางหล่อในที่** คิด 5% = 0.05x811,707.41= **40,585.37** บ./เสา
- **งานก่อสร้างเสาและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** คิด 5% = 0.05x702,779.08 = **35,138.95** บ./เสา
- **งานก่อสร้างเสาและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข คิด 5% = 0.05x732,739.22 = **36,636.96** บ./เสา
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** คิด 5% = 0.05x397,061.94 = **19,853.10** บ./คาน
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข คิด 5% = 0.05x444,984.45 = **22,249.22** บ./คาน

สามารถสรุปข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ของทางเลือกวิธีการก่อสร้างทั้งหมดสำหรับกรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขนได้ดังตารางที่ 6.1-1

ตารางที่ 6.1-1 : ข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ของวิธีก่อสร้างกรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขน

		วิธีการก่อสร้าง	งานเสาเข็ม			
			เข็มแบบเหลี่ยม (เสาตำแหน่งเดิม)	เข็มแบบเหลี่ยม (ย้ายตำแหน่งเสา)	เข็มเจาะ (ย้ายตำแหน่งเสา)	หน่วย
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	20,920.25	20,920.25	36,604.82	บ./ม. ความยาว
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้าย	4,567,104.00	4,632,608.00	4,632,608.00	บ./ระยะ 72 ม.
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	-	-	-	บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	8,179.04	8,179.04	8,179.04	บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างก่อสร้าง	65,504.36	65,504.36	65,504.36	บ./ฐาน
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	-	-	-	บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)	-	-	-	บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	1,046.01	1,046.01	1,830.24	บ./ม. ความยาว
		วิธีการก่อสร้าง	เสา และ คานขวาง			
			หล่อในที่ (เสาตำแหน่งเดิม)	Precast (เสาตำแหน่งเดิม)	Precast (ย้ายตำแหน่งเสา)	หน่วย
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	811,707.41	702,779.08	732,739.22	บ./เสา 1 ต้น
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้าย	4,567,104.00	4,567,104.00	4,665,360.54	บ./ระยะ 72 ม.
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	90,189.71	36,988.37	38,565.22	บ./เสา 1 ต้น
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	8,179.04	8,179.04	8,179.04	บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างก่อสร้าง	262,017.43	101,531.76	98,938.88	บ./เสา 1 ต้น
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	-	-	-	บ./เสา 1 ต้น
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)	-	14,055.58	14,654.78	บ./เสา 1 ต้น
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	40,585.37	35,138.95	36,636.96	บ./เสา 1 ต้น
		วิธีการก่อสร้าง	คานทางวิ่ง			
			Precast ยกด้วย Crane (เสาตำแหน่งเดิม)	Precast ยกด้วย Crane (ย้ายตำแหน่งเสา)		หน่วย
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	397,061.94	444,984.45		บ./คาน 1 ตัว
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ รื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	4,567,104.00	4,599,856.80		บ./ระยะ 72 ม.
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	200,000.00	130,000.00		บ./คาน 1 ตัว
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	8,179.04	8,179.04		บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างก่อสร้าง	36,027.40	33,434.52		บ./คาน 1 ตัว
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	-	-		บ./คาน 1 ตัว
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)	7,941.24	8,899.69		บ./คาน 1 ตัว
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	19,853.10	22,249.22		บ./คาน 1 ตัว

6.2 ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง

ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง จะเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างและข้อจำกัดต่างๆ ของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างนั้นๆ โดยในที่นี้ได้รวบรวมข้อมูลจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วยที่ปรึกษาควบคุมงานก่อสร้างและผู้รับเหมาก่อสร้างที่มีประสบการณ์ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของทางเลือกวิธีการก่อสร้างแต่ละวิธีได้ในรูปแบบของแบบสอบถามดังแสดงในตารางที่ 6.2-1 ถึง ตารางที่ 6.2-3 โดยสามารถอธิบายแจกแจงในรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 6.2-1 : ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างเสาเข็ม**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง		
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง			เสาเข็มแบบเหลี่ยม (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)	เสาเข็มแบบเหลี่ยม (ย้ายตำแหน่งเสา)	เสาเข็มเจาะแบบกลม (ย้ายตำแหน่งเสา)
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/ฐาน)	20	20	20*
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้งเครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	- - ✓ -	- - ✓ -	- - ✓ -
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	4-5	4-5	4-5
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง(อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- - - -	- - - -	- - - -
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- - ✓ -	- - ✓ -	- - ✓ -
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	- - - -	- - - -	- - - -
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	- ข้อจำกัดด้านความลึกดินในการทำงาน - ข้อจำกัดด้านการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง - ข้อจำกัดเรื่องน้ำใต้ดิน - ข้อจำกัดเรื่องชนิดของดิน	- ✓ - -	- ✓ - -	- - - -

* ใช้เสาเข็ม 2 ต้น/ฐาน สำหรับฐานเสาเข็มแบบเหลี่ยม และ 4 ต้น/ฐาน สำหรับฐานเสาเข็มเจาะแบบกลม

ตารางที่ 6.2-2 : ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง		
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง			คอนกรีตเทในที่ (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)	Precast (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)	Precast (ย้ายตำแหน่งเสา)
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/เสา)	80	30	30
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	- - - -	✓ ✓ ✓ -	✓ ✓ ✓ -
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	8-10*	4-5*	5-8*
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง(อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- ✓ - -	- - - -	- - - -
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- - - -	- ✓ - ✓	- - - ✓
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	 - - ✓	 ✓ ✓ -	 ✓ ✓ -

* ผู้เชี่ยวชาญที่ทำแบบสอบถามประเมินจำนวนผู้รับเหมาเท่ากัน แต่ทางที่ปรึกษาฯ มีความเห็นว่าวิธี Precast ต้องการผู้เชี่ยวชาญพิเศษ น่าจะมีข้อจำกัดมากกว่า อีกทั้งกรณีที่มีข้อจำกัดความสูงจำเป็นต้อง Modify crane ด้วย ทำให้มีความยากมากขึ้น จำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำได้น่าจะมีจำนวนลดลง

ตารางที่ 6.2-3 : ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง	
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง			ติดตั้งด้วยเครน (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)	ติดตั้งด้วยเครน (ย้ายตำแหน่งเสา)
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/คาน)	10	10

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง	
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ(เดือน)	ไม่มี	ไม่มี
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	✓ - ✓ ✓	✓ - ✓ ✓
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	4-5*	5-8
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- - - -	- - - -
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้ายและผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	✓ ✓ - ✓	✓ - - ✓
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	 ✓ ✓ -	 ✓ ✓ -

* กรณีมีข้อจำกัดความสูงจำเป็นต้อง Modify crane จำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำได้น่าจะมีจำนวนน้อยกว่าปกติ

6.2.1 ข้อมูลระยะเวลาการก่อสร้าง (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.1)

เป็นค่าระยะเวลาการก่อสร้างของส่วนงานนั้นๆ โดยในที่นี้ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** ใช้เวลาประมาณ 20 วันต่อฐาน เนื่องจากตำแหน่งที่ก่อสร้างมีการจราจรหนาแน่นจึงใช้เวลาการก่อสร้างนานกว่ากรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนเล็กน้อย
- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในด้านเทคนิคและวิธีการก่อสร้างไม่แตกต่างจากเดิมของกรณีที่ตำแหน่งเสาตอม่ออยู่ที่เดิม ดังนั้นยังคงใช้เวลาก่อสร้างประมาณ 20 วันต่อฐาน เช่นกัน
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข สำหรับกรณีศึกษาแยกบางเขนนี้ได้พิจารณาการรับน้ำหนักของเสาเข็มอย่างละเอียดเพิ่มเติมจะเห็นได้ว่า เสาเข็มแบบเหลี่ยมจำนวน 2 ต้นต่อฐาน จะเทียบเท่ากับเสาเข็มเจาะแบบกลมจำนวน 4 ต้นต่อฐาน ดังนั้นแม้ว่าวิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมจะเร็วกว่าวิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมเล็กน้อยก็ตาม ในที่นี้ถือว่าชดเชยกับ

จำนวนเสาเข็มที่ต้องก่อสร้างมากกว่า ในที่นี้จึงทางที่ปรึกษาฯ จึงพิจารณาให้ใช้เวลาก่อสร้าง 20 วันต่อฐานเท่ากัน

- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** ใช้เวลาประมาณ 80 วันต่อเสา เนื่องจากตำแหน่งที่ก่อสร้างมีการจราจรหนาแน่นจึงใช้เวลาการก่อสร้างนานกว่ากรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนเล็กน้อย
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** ใช้เวลาประมาณ 30 วันต่อเสา เนื่องจากตำแหน่งที่ก่อสร้างมีการจราจรหนาแน่นจึงใช้เวลาการก่อสร้างนานกว่ากรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนเล็กน้อย
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ใช้เวลาประมาณ 30 วันต่อเสา ในด้านเทคนิคและวิธีการก่อสร้างไม่แตกต่างจากเดิมของกรณีที่ตำแหน่งเสาตอม่ออยู่ที่เดิม ดังนั้นยังคงใช้เวลาก่อสร้างประมาณ 30 วันต่อเสา เช่นกัน
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** ใช้เวลาประมาณ 10 วันต่อคาน เนื่องจากตำแหน่งที่ก่อสร้างมีการจราจรหนาแน่นจึงใช้เวลาการก่อสร้างนานกว่ากรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนเล็กน้อย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ใช้เวลาประมาณ 10 วันต่อคาน ในด้านเทคนิคและวิธีการก่อสร้างไม่แตกต่างจากเดิมของกรณีที่ตำแหน่งเสาตอม่ออยู่ที่เดิม ดังนั้นยังคงใช้เวลาก่อสร้างประมาณ 10 วันต่อคาน เช่นกัน

6.2.2 ข้อมูลระยะเวลารอคอยเครื่องมือฯ (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.2)

เป็นค่าระยะเวลาในการรอคอยเครื่องมือ เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรือ อื่นๆ ของส่วนงานต่างๆ ซึ่งสำหรับการก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม/เสาเข็มเจาะแบบกลม หรือ การก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางด้วยวิธีเทคอนกรีตในที่/วิธีใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน หรือ การติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน ทั้งหมดนี้ไม่ว่าจะเป็นการก่อสร้างโดยตำแหน่งเสาตอม่ออยู่ที่เดิม หรือเป็นการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุขก็ตาม ในด้านเทคนิคและวิธีการก่อสร้างไม่มีความแตกต่างกัน วิธีการก่อสร้างทั้งหมดที่กล่าวถึงสำหรับกรณีศึกษาแยกบางเขนนี้ เป็นเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติที่หากทางผู้รับเหมามีอุปกรณ์เครื่องจักรต่างๆ พร้อม สามารถเริ่มทำงานได้ทันที ดังนั้นจึงไม่ต้องมีระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักรฯ แต่อย่างใด

6.2.3 ข้อมูลข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.3)

เป็นข้อมูลข้อจำกัดด้านวิศวกรรมในการก่อสร้างเกี่ยวข้องกับการขนส่งและติดตั้งเครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ เพื่อเตรียมงานก่อสร้าง ในส่วนงานต่างๆ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีข้อจำกัดด้านเส้นทางขนส่ง เนื่องจากมีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่คือเครนและอุปกรณ์เจาะดิน ทำให้ต้องพิจารณาแนวเส้นทางในการขนส่งอุปกรณ์ที่เหมาะสม และอาจต้องขนส่งในช่วงเวลากลางคืน เพื่อลดผลกระทบด้านจราจรต่อประชนชน ในด้านวัสดุก่อสร้างใช้วัสดุคอนกรีต เหล็กเสริม ทั่วๆ ไป
- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในด้านเทคนิคและวิธีการก่อสร้างไม่แตกต่างจากเดิมของกรณีที่ตำแหน่งเสาตอม่ออยู่ที่เดิม ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดด้านเส้นทางขนส่งเช่นเดียวกัน
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข มีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่เช่นเดียวกันกับการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม รวมถึงอุปกรณ์ปลอกเหล็ก (Casing) ที่มีความยาวกว่า 10 ม. ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดเรื่องเส้นทางขนส่งเครื่องจักรและอุปกรณ์เช่นเดียวกัน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** ไม่มีข้อจำกัดในการขนส่งติดตั้งเนื่องจากเป็นวิธีก่อสร้างตามปกติทั่วไป แบบหล่อคอนกรีตเป็นแบบเหล็กแยกส่วนขนาดไม่ใหญ่ ไม่มีปัญหาในการขนส่ง ใช้ประกอบติดตั้งที่หน้างานก่อสร้างตามปกติ
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่คือเครน และต้องลำเลียงขนส่งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ เสาตอม่อและคานขวาง ทำให้ต้องพิจารณาขนาดที่เหมาะสมในการขนส่ง เส้นทางการขนส่งที่มีผลกระทบน้อยที่สุด และต้องทำการประกอบติดตั้งชิ้นส่วนด้วยผู้เชี่ยวชาญชำนาญการ จึงถือได้ว่ามีข้อจำกัดในการขนส่ง เส้นทางขนส่ง และการติดตั้ง
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในด้านเทคนิคและวิธีการก่อสร้างไม่แตกต่างจากกรณีก่อนหน้าของวิธีการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จที่ตำแหน่งเสาตอม่ออยู่ที่เดิม ดังนั้นจึงถือได้ว่ามีข้อจำกัดในการขนส่ง เส้นทางขนส่ง และการติดตั้ง เช่นเดียวกัน
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่คือเครน และต้องลำเลียงขนส่งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ จึงมีข้อจำกัดในเรื่องการขนส่ง และเส้นทางขนส่ง นอกจากนี้ยังต้องมีการปรับแต่ง Modify crane ด้วยอุปกรณ์พิเศษ จึงถือเป็นข้อจำกัดด้านวัสดุอุปกรณ์ด้วย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในด้านเทคนิคและวิธีการก่อสร้างไม่แตกต่างจากกรณีก่อนหน้าของวิธีก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครนที่เสาตอม่ออยู่ตำแหน่งเดิม ดังนั้นจึงถือว่ามีข้อจำกัดในเรื่องการขนส่ง เส้นทางขนส่ง และข้อจำกัดด้านวัสดุอุปกรณ์ เช่นเดียวกัน

6.2.4 ข้อมูลความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.4)

เป็นข้อมูลจำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำวิธีการก่อสร้างทางเลือกนั้นๆ ในส่วนงานต่างๆ ได้ เพื่อเปรียบเทียบวิธีการก่อสร้างว่าสามารถหาผู้รับเหมาได้ง่ายหรือจำกัดเฉพาะราย เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของวิธีก่อสร้าง โดยในที่นี้ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** ในปัจจุบันผู้รับเหมาที่สามารถก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมของโครงการรถไฟฟ้าได้ สามารถก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมได้หมด จากข้อมูลสัมภาษณ์มีผู้รับเหมาก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมประมาณ 4-5 ราย
- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในด้านเทคนิคและวิธีการก่อสร้างไม่แตกต่างจากเดิมของกรณีที่ตำแหน่งเสาตอม่ออยู่ที่เดิม ดังนั้นจึงมีจำนวนผู้รับเหมาก่อสร้างเท่ากันประมาณ 4-5 ราย
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ผู้รับเหมาที่สามารถก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมของโครงการรถไฟฟ้าได้ สามารถก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมได้หมด จึงสรุปว่ามีจำนวนผู้รับเหมาเสาเข็มเจาะแบบกลมพอๆ กันกับผู้รับเหมาเสาเข็มแบบเหลี่ยมคือประมาณ 4-5 ราย
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีจำนวนผู้รับเหมา 8-10 ราย ซึ่งถือว่ามีจำนวนมากเนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติที่สามารถทำได้ทุกราย ไม่ต้องการผู้เชี่ยวชาญพิเศษ
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีจำนวนผู้รับเหมา 4-5 ราย ซึ่งน้อยกว่ากรณีวิธีก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ เนื่องจากต้องมีผู้เชี่ยวชาญพิเศษด้านคอนกรีตอัดแรงและการประกอบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ทำให้จำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำได้มีลดลง อีกทั้งสำหรับกรณีศึกษาแยกบางเขนนี้มีความสูงค่อนข้างจำกัดมาก การยกติดตั้งชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางต้องปรับแต่ง Modify crane ด้วยจึงทำให้จำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำได้มีน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทางเลือกวิธีการก่อสร้างอื่น
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในกรณีนี้เมื่อย้ายตำแหน่งเสาตอม่อออกพ้นจากทางยกระดับแล้ว ทำให้ไม่มีข้อจำกัดด้านความสูงอีก จึงไม่ต้องมีการปรับแต่ง Modify crane ทำให้มีจำนวนผู้รับเหมาก่อสร้างที่สามารถทำวิธีนี้ได้จำนวนเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามยังคงต้องมีผู้เชี่ยวชาญพิเศษด้านคอนกรีตอัดแรงและการประกอบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ทำให้มีจำนวนผู้รับเหมาประมาณ 5-8 ราย น้อยกว่าวิธีก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีจำนวนผู้รับเหมา 4-5 ราย ซึ่งถือว่ามีน้อย เนื่องจากข้อจำกัดด้านความสูงที่ไม่สามารถใช้งานเครนได้ตามปกติต้อง Modify crane ซึ่งต้องการผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางเครนพิเศษ จึงมีน้อยราย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในกรณีนี้เมื่อย้ายตำแหน่งเสาตอม่อออกพ้นจากทางยกระดับแล้ว ทำให้ไม่มีข้อจำกัดด้านความสูงอีก การใช้งานเครนจึงไม่ต้องมีการปรับแต่ง Modify crane ทำให้มีจำนวนผู้รับเหมาก่อสร้างที่สามารถทำได้จำนวนเพิ่มขึ้นเป็น 5-8 ราย

6.2.5 ข้อมูลข้อจำกัดด้านความปลอดภัยในการก่อสร้างและความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.5)

เป็นข้อมูลด้านความปลอดภัยในงานก่อสร้างของส่วนงานต่างๆ ว่าวิธีใดปลอดภัยเหมาะสมกว่ากัน

โดยสำหรับกรณีศึกษาแยกบางเขนนี้ เมื่อพิจารณาทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่นำเสนอ ไม่มีวิธีก่อสร้างใดเลยที่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ ยกเว้นการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางด้วยการเทคอนกรีตในที่วิธีเดียวเท่านั้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า มีเพียงทางเลือก**วิธีการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** เท่านั้นที่มีความเสี่ยงอุบัติเหตุจากโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่

6.2.6 ข้อมูลข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.6)

เป็นข้อมูลข้อจำกัดอุปสรรคด้านวิศวกรรมในการก่อสร้างส่วนงานต่างๆ ว่าแต่ละวิธีการก่อสร้างมีอุปสรรคข้อจำกัดใดบ้าง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** เป็นวิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มที่ใช้พื้นที่น้อยเนื่องจากฐานรากมีขนาดเล็ก และสามารถก่อสร้างที่ระยะความสูงต่ำๆ 6-10 ม. ได้ วิธีการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมจึงมีอุปสรรคเพียงอย่างเดียวคืองานรื้อย้ายระบบสาธารณูปโภคใต้ดิน ซึ่งจะทราบเมื่อทำการสำรวจและขุดเจาะดินบริเวณที่ก่อสร้าง
- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในด้านเทคนิคและวิธีการก่อสร้างไม่แตกต่างจากเดิมของกรณีที่ตำแหน่งเสาตอม่ออยู่ที่เดิม ดังนั้นจึงมีอุปสรรคเพียงงานรื้อย้ายระบบสาธารณูปโภคใต้ดินอย่างเดียวเช่นกัน
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในกรณีนี้เมื่อย้ายตำแหน่งเสาตอม่อออกพ้นจากทางยกระดับแล้ว ทำให้ไม่มีข้อจำกัดด้านความสูงอีก จึงมีอุปสรรคเพียงงานรื้อย้ายระบบสาธารณูปโภคใต้ดินอย่างเดียวเหมือนกันกับวิธีการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** ไม่มีข้อจำกัดใดๆ เนื่องจากโครงสร้างเตี้ยสามารถก่อสร้างได้ตามวิธีปกติทั่วไป
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** ในกรณีนี้มีข้อจำกัดความสูงในการยกติดตั้งชิ้นส่วนด้วยเครน เนื่องจากมีระยะเคลียร์เหลือประมาณ 7.15 ม. ใกล้กับระยะความสูงจำกัดในการใช้งานเครนตามปกติ ทำให้ต้องทำงานยกชิ้นส่วนอย่างระมัดระวัง และต้องทำการจัดเครนให้ยืนในตำแหน่งที่เหมาะสมด้วย จึงเป็นข้อจำกัดด้านความสูงของวิธีการก่อสร้างนี้ นอกจากนี้เนื่องจากใช้โครงสร้างระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จอัดแรงภายหลัง ทำให้ต้องมีผู้เชี่ยวชาญด้านคอนกรีตอัดแรงและคอนกรีตหล่อสำเร็จพิเศษเฉพาะทาง ทำการดึงลวดอัดแรงและการประกอบรอยต่อชิ้นส่วนอีกด้วย จึงมีข้อจำกัดด้านเทคนิคการก่อสร้างด้วย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีอุปสรรคจากระยะความสูงที่มีจำกัด ต้องทำการจัดตำแหน่งเครนให้เหมาะสม ต้องปิดจราจรเพิ่มสำหรับเครนที่ต้องยืนห่างมากขึ้นเพื่อให้สามารถยื่นปลายบูมเครนที่ความสูงจำกัดได้ ทำให้มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้างและด้านความสูง อีกทั้งต้องทำการ Modify crane ด้วย จึงทำให้มีข้อจำกัดด้านเทคนิคฯ ด้วย

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในกรณีนี้เมื่อย้ายตำแหน่งเสาตอม่อออกพ้นจากทางยกระดับแล้ว ทำให้ไม่มีข้อจำกัดด้านความสูงอีก จึงเหลือเพียงข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้างที่ต้องการในการจัดตำแหน่งเครน และข้อจำกัดด้านเทคนิคการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ

6.2.7 ข้อมูลด้านความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.7)

เป็นข้อมูลด้านความสวยงามเรียบร้อยของงานก่อสร้างในส่วนต่างๆ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** เป็นโครงสร้างใต้ดินจึงไม่ต้องพิจารณาปัจจัยด้านนี้
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** เป็นโครงสร้างใต้ดินจึงไม่ต้องพิจารณาปัจจัยด้านนี้
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีข้อจำกัดด้านความสวยงามเนื่องด้วยการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ควบคุมคุณภาพของผลงานได้ยาก การเทและจี้คอนกรีตที่ไม่ดีอาจทำให้คอนกรีตเข้าแบบไม่เต็ม เกิดฟองอากาศ เกิดการเยิ้มของคอนกรีต ฯลฯ ได้
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จผลิตจากโรงงาน สามารถควบคุมคุณภาพในระหว่างการผลิตได้ดี ขนาดชิ้นส่วนคลาดเคลื่อนต่ำ จึงไม่มีข้อบกพร่องด้านความสวยงามของชิ้นงานที่ต้องแก้ไข
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** เป็นชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จึงไม่มีข้อบกพร่องด้านความสวยงามของชิ้นงานที่ต้องแก้ไข

ซึ่งไม่ว่าตำแหน่งของเสาตอม่อจะอยู่ที่เดิมหรือมีการย้ายตำแหน่งก็ตาม ไม่ส่งผลให้ความสวยงามเรียบร้อยของโครงสร้างในส่วนต่างๆ จะมีความแตกต่างกัน

6.2.8 ข้อมูลข้อจำกัดด้านคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.8)

เป็นข้อมูลข้อจำกัดด้านวิศวกรรมปฐพีในการก่อสร้างส่วนงานใต้ดิน ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะมีเพียงงานก่อสร้างเสาเข็มและฐานรากเท่านั้นที่มีความเกี่ยวข้อง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** มีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนตัวของดิน เนื่องจากไม่มีปลอกเหล็ก (Casing) กันดินพังภายในหลุมเหมือนในกรณีของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม มีเพียงกำแพงนำร่อง (Guide wall) บนดินเท่านั้น ซึ่งหากบริเวณที่ก่อสร้างมีดินอ่อน หรือเกิดฝนตกหนัก หรือมีน้ำหนักกดทับบนผิวดินมาก อาจทำให้หลุมเจาะของเสาเข็มเสียหายต้องซ่อมแซมได้
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ใช้ปลอกเหล็ก (Casing) เจาะลงในดินจึงสามารถป้องกันดินในหลุมพังได้ดีกว่าวิธีการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม

โดยตำแหน่งของเสาตอม่อจะอยู่ที่เดิมหรือมีการย้ายตำแหน่งก็ตาม ไม่มีความแตกต่างกัน

6.3 ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย

ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย เป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับชุมชนข้างเคียง ประชาชนที่ได้รับผลกระทบจากการก่อสร้าง เช่น เรื่องความปลอดภัย ความยั่งยืนในการก่อสร้าง ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการจ้างงาน ฯลฯ โดยในที่นี้ได้รวบรวมข้อมูลจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญฯ ซึ่งประกอบด้วยที่ปรึกษาควบคุมงานก่อสร้างและผู้รับเหมาก่อสร้างที่มีประสบการณ์ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย ของทางเลือกวิธีการก่อสร้างแต่ละวิธีได้ในรูปแบบของแบบสอบถามดังแสดงในตารางที่ 6.3-1 ถึง ตารางที่ 6.3-3 โดยสามารถอธิบายแจกแจงในรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 6.3-1 : ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย ของ **งานก่อสร้างเสาเข็ม**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง		
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย			**เสาเข็มแบบเหลี่ยม (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)**	**เสาเข็มแบบเหลี่ยม (ย้ายตำแหน่งเสา)**	**เสาเข็มเจาะแบบกลม (ย้ายตำแหน่งเสา)**
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง	-	-	✓
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด	-	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้	-	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ	-	-	-
		- ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	✓	✓	✓
		- ความเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุจากการเบี่ยงจราจร	-	✓	✓
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง	-	-	✓
		- ฝุ่นละออง	-	-	-
		- กลิ่น	-	-	-
		- การสั่นสะเทือน	-	-	✓
		- ถนนชำรุด	-	-	-
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	- ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ* (L-D, เลน-วัน)	ไม่ต้องปิดเพิ่ม	20 L-D	20 L-D
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ	น้อย	น้อย	น้อย
		- ปริมาณน้ำเสีย	น้อย	น้อย	น้อย
		- มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	มาก	มาก	น้อย
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100%	100%	100%
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืน	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

* ต้องทำเบี่ยงจราจร 20 วันเต็ม เนื่องจากย้ายตำแหน่งเสาให้พ้นแนวทางยกระดับอุตราภิมุข แต่จะมาซ้อนทับบนถนนวิภาวดีรังสิต (T_{proj} = 20 วัน)

ตารางที่ 6.3-2 : ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย ของ **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง		
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย			คอนกรีตเทในที่ (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)	Precast (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)	Precast (ย้ายตำแหน่งเสา)
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	– ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง	-	✓	✓
		– ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด	-	-	-
		– ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้	-	-	-
		– ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ	-	-	-
		– ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	✓	✓	✓
		– ความเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุจากการเบี่ยงจราจร	-	-	✓
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	– เสียง	✓	-	-
		– ฝุ่นละออง	✓	-	-
		– กลิ่น	-	-	-
		– การสั่นสะเทือน	-	-	-
		– ถนนชำรุด	-	-	-
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	– ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ* (L-D, เลน-วัน)	ไม่ต้องปิดเพิ่ม	1 L-D**	30 L-D***
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	– ปริมาณขยะ	มาก	น้อย	น้อย
		– ปริมาณน้ำเสีย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
		– มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	มาก	น้อย	น้อย
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100%	นำเข้า Modifyเครน	100% (เครนปกติ)
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืน	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

* คิดระยะเวลาทั้งหมดในการก่อสร้างเสาตอม่อ 1 เสาใช้เวลา 30 วัน, เวลาทั้งหมด T_{proj} = 30 วัน (30 L-D)

** ปิดจราจรเพิ่มในขณะเครนยกติดตั้งชิ้นส่วน 1 ช่องจราจรเต็มวัน (มีข้อจำกัดความสูงใช้เวลานาน) = 1 เลน-วัน

*** ต้องทำเบี่ยงจราจร 30 วันเต็ม เนื่องจากย้ายตำแหน่งเสาให้พ้นแนวทางยกระดับอุตราภิมุข แต่จะมาซ้อนทับบนถนนวิภาวดีรังสิต = 30 เลน-วัน

ตารางที่ 6.3-3 : ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย ของ **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง	
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย			ติดตั้งด้วยเครน (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)	ติดตั้งด้วยเครน (ย้ายตำแหน่งเสา)
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	– ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง	✓	✓
		– ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด	-	-

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง	
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ	-	-
		- ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	✓	✓
		- ความเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุจากการเบี่ยงจราจร	-	✓
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง	✓	✓
		- ฝุ่นละออง	-	-
		- กลิ่น	-	-
		- การสั่นสะเทือน	-	-
		- ถนนชำรุด	-	-
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ* (L-D, เสน-วัน)	1**	10**
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ	น้อย	น้อย
		- ปริมาณน้ำเสีย	ไม่มี	ไม่มี
		- มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	ไม่มี	ไม่มี
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	- จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (คน)	8-10	8-10
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	นำเข้า Modify เครน	100% (เครนปกติ)
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนที่ดิน	ไม่มี	ไม่มี

* คิดระยะเวลาทั้งหมดในการก่อสร้างคานทางวิ่ง ติดตั้ง 1 ตัวใช้เวลา 10 วัน, T_{proj} = 10 วัน (10 L-D)

** ปิดจราจรเพิ่มในขณะเครนยกติดตั้งชิ้นส่วน 1 ช่องจราจรเต็มวัน (มีข้อจำกัดความสูงใช้เวลานาน) (= 1 L-D)

*** ต้องทำเบี่ยงจราจร 10 วันเต็ม เนื่องจากย้ายตำแหน่งเสาให้พ้นแนวทางยกระดับอุตราภิมุข แต่จะมาซ้อนทับบนถนนวิภาวดีรังสิต = 10 L-D

6.3.1 ข้อมูลด้านความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่ (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.1)

ในที่นี้ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีการใช้เครื่องขุดดินและเครนขนาดใหญ่ จึงมีเพียงความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ ความสูงในการทำงานไม่มาก จึงไม่มีความเสี่ยงในเรื่องของตกจากที่สูง
- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในด้านเทคนิคและวิธีการก่อสร้างไม่แตกต่างจากเดิมของกรณีที่ตำแหน่งเสาตอม่ออยู่ที่เดิม ดังนั้นจึงมีความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่เช่นกัน นอกจากนั้นเนื่องจากการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวทางยกระดับ ทำให้ตำแหน่งเสาตอม่อใหม่มีผลกระทบต่อการจราจรบนถนนวิภาวดีรังสิตที่ต้องทำการเบี่ยงจราจรบริเวณดังกล่าว ในที่นี้จึงเพิ่มเรื่องความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการทำเบี่ยงจราจรด้วย

- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข มีการใช้เครื่องขุดดินและเครนขนาดใหญ่ รวมถึงปลอกเหล็ก (Casing) ที่มีความยาวประมาณ 20 ม. ต้องการระยะความสูงในการทำงาน จึงมีทั้งความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหหญ่และความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง นอกจากนั้น การย้ายตำแหน่งเสาตอม่อทำให้ต้องทำการเบี่ยงจราจรบนถนนวิภาวดีรังสิตเพิ่มเติมดังอธิบายข้างต้น จึงเพิ่มเรื่องความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการเบี่ยงจราจรด้วย
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** การทำงานใช้การตั้งนั่งร้านและความสูงในการก่อสร้างต่ำกว่า 10 ม. จึงทำให้ไม่มีความเสี่ยงในเรื่องของตกจากที่สูง แต่เนื่องจากต้องมีการเทคอนกรีตจำนวนมาก ต้องใช้อุปกรณ์จำพวกปั๊มคอนกรีตและเครนในการทำงานบางช่วง จึงพิจารณาว่ามีความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีการใช้เครนขนาดใหญ่ในการทำงาน รวมถึงการยกชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางที่มีน้ำหนักมาก จึงมีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง และ ความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข มีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง และ ความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ เช่นเดียวกับวิธีก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จก่อนหน้าที่ตำแหน่งเสาตอม่ออยู่ที่เดิม แต่นอกจากนั้น การย้ายตำแหน่งเสาตอม่อทำให้ต้องทำการเบี่ยงจราจรบนถนนวิภาวดีรังสิตเพิ่มเติม จึงเพิ่มเรื่องความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการทำเบี่ยงจราจรด้วย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีการใช้เครนขนาดใหญ่ในการทำงาน รวมถึงการยกชิ้นส่วนคานทางวิ่งที่มีน้ำหนักมากขึ้นตำแหน่งสูง จึงมีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง และ ความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข มีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง และ ความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ เช่นเดียวกับวิธีติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครนที่ตำแหน่งเสาตอม่ออยู่ที่เดิม แต่นอกจากนั้น การย้ายตำแหน่งเสาตอม่อทำให้ต้องทำการเบี่ยงจราจรบนถนนวิภาวดีรังสิตเพิ่มเติม จึงเพิ่มเรื่องความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการเบี่ยงจราจรด้วย

6.3.2 ข้อมูลด้านการรบกวนชุมชนข้างเคียง (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.2)

เป็นการพิจารณาด้านผลกระทบต่อชุมชมรอบข้าง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ใช้การขุดดินรวมถึงความสูงในการทำงานไม่มาก จึงไม่มีผลกระทบทั้งด้านเสียงและการสั่นสะเทือนที่มีน้อย
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ใช้ปลอกเหล็ก (Casing) ในการขุดเจาะ รวมถึงความสูงของระยะการทำงานประมาณ 20 ม. ทำให้การกระแทกปลอกเหล็กแต่ละครั้งเกิดเสียงและการสั่นสะเทือนมาก จึงมีข้อจำกัดผลกระทบด้านเสียง และ การสั่นสะเทือน ต่อชุมชน

- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีการทำงานเทคอนกรีตในที่จากระยะความสูงโดยประมาณ 7.50 ม. (เสาตอม่อสูง 5.0 ม. และคานขวางลึก 2.5 ม.) จะมีเสียงจากการที่มวลรวมหินทรายในคอนกรีตสดกระแทกกับเหล็กเสริมที่ผูกเตรียมไว้ในแบบ รวมถึงเมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะมีฝุ่นปูนมาก ทำให้เกิดผลกระทบด้านเสียง และ ฝุ่นละออง ต่อชุมชน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** เนื่องจากชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางได้รับการผลิตจากโรงงาน จึงไม่มีผลกระทบทั้งทางเสียงและฝุ่น
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** เป็นการใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ จึงมีผลกระทบต่อชุมชนน้อย อย่างไรก็ตามในการใช้เครนจำนวนหลายตัวในการติดตั้ง คานทางวิ่งมีความยาวกว่า 30 ม. จึงอาจเกิดเสียงดังในระหว่างการทำงานประสานงานการยกติดตั้งได้
  โดยตำแหน่งของเสาตอม่อจะอยู่ที่เดิมหรือมีการย้ายตำแหน่งก็ตาม ไม่มีความแตกต่างกัน

6.3.3 ข้อมูลด้านผลกระทบต่อสภาพจราจร (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.3)

เป็นข้อมูลผลกระทบต่อสภาพจราจร ซึ่งพิจารณาในแง่ของการปิดจราจรเพิ่มเติมจากกรณีปกติในระหว่างการก่อสร้างส่วนงานต่างๆ (โดยปกติทำการปิดจราจรช่องริมสุดข้างเกาะกลางทั้งสองด้านตลอดระยะเวลาโครงการ) ในที่นี้อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ และสมมติฐานที่ตั้งขึ้นบางประการ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** เป็นการก่อสร้างส่วนงานใต้ดิน มีเพียงเครนและเครื่องจักรขุดดินที่ทำงาน ดังนั้นจึงไม่ต้องปิดจราจรเพิ่มเติมจากปกติ
- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข เมื่อมีการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อ ทำให้ต้องทำการเบี่ยงจราจรบนถนนวิภาวดีรังสิตเพิ่มเติมดังที่ได้อธิบายข้างต้น จึงมีผลกระทบต่อสภาพจราจรโดยพิจารณาระยะเวลาในการเบี่ยงจราจรทั้งหมดเท่ากับระยะเวลาของการก่อสร้างเสาเข็มสำหรับกรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขนนี้ซึ่งใช้เวลา 20 วันต่อฐาน หรือหมายถึงทำการเบี่ยงจราจรเพิ่มเติมตลอดระยะเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มและฐานราก (เวลาที่ใช้ปิดเบี่ยงจราจร = 20 วัน, ระยะเวลา T_{proj} = 20 วัน)
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในด้านเทคนิคและวิธีการก่อสร้างมีลักษณะเหมือนกันกับการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมที่มีการย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ ซึ่งต้องทำเบี่ยงจราจรเพิ่มเติมตลอดระยะเวลาในการก่อสร้างเสาเข็มและฐานราก (เวลาที่ใช้ปิดเบี่ยงจราจร = 20 วัน, ระยะเวลา T_{proj} = 20 วัน)
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** เป็นวิธีการก่อสร้างที่มีเพียงการตั้งนั่งร้าน เข้าแบบ และเทคอนกรีตตามปกติ จึงไม่ต้องปิดจราจรเพิ่มเติม
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** ต้องใช้เครนขนาดใหญ่ในการยกติดตั้งชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวาง ทำให้ต้องมีการปิดจราจรเพิ่ม 1 ช่องจราจรในระหว่างยกติดตั้ง และสำหรับกรณีศึกษาแยกบางเขนนี้เนื่องด้วยข้อจำกัดความสูงในการยกติดตั้งชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางที่มีระยะเคลียร์ช่วงว่างค่อนข้างน้อย ต้องใช้งานเครนอย่างระมัดระวัง จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการจัดตำแหน่งเครน

เพิ่มเติมจากปกติ เพื่อให้เครนสามารถทำงานในระยะความสูงจำกัดได้ โดยสมมติใช้เวลาประมาณ 1 วันเต็มในการจัดตำแหน่งเครน ดังนั้นจึงพิจารณาการปิดจราจรเพิ่มเติมสำหรับวิธีก่อสร้างนี้ 1 วันต่อเสา จากระยะเวลาทั้งหมดในการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางบริเวณแยกบางเขนที่ 30 วันต่อเสา (เวลาที่ใช้ปิดจราจร = 1 วัน, ระยะเวลา T_{proj} = 30 วัน)

- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข เมื่อมีการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อทำให้ตำแหน่งเสาตอม่อใหม่อยู่บนถนนวิภาวดีรังสิต ทำให้ต้องทำการเบี่ยงจราจรบนถนนวิภาวดีรังสิตเพิ่มเติม โดยพิจารณาระยะเวลาในการเบี่ยงจราจรทั้งหมดตลอดระยะเวลาก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางซึ่งใช้เวลา 30 วันต่อเสา (เวลาที่ใช้ปิดเบี่ยงจราจร = 30 วัน, ระยะเวลา T_{proj} = 30 วัน)
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** ต้องใช้เครนขนาดใหญ่ในการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่ง รวมถึงมีข้อจำกัดด้านความสูงที่ต้องใช้เวลาในการจัดตำแหน่งเครนเพิ่มเติมจากปกติ ซึ่งในที่นี้สมมติใช้เวลาประมาณ 1 วันเต็มในการจัดตำแหน่งเครน ดังนั้นจึงพิจารณาการปิดจราจรเพิ่มเติมสำหรับวิธีก่อสร้างนี้ 1 วันต่อคาน จากระยะเวลาทั้งหมดในการก่อสร้างคานทางวิ่งบริเวณแยกบางเขนนี้ที่ 10 วันต่อคาน (เวลาที่ใช้ปิดจราจร = 1 วัน, ระยะเวลา T_{proj} = 10 วัน)
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข ในกรณีนี้เมื่อย้ายตำแหน่งเสาตอม่อออกพ้นจากทางยกระดับแล้ว ทำให้ไม่มีข้อจำกัดด้านความสูงอีก แต่การย้ายตำแหน่งเสาตอม่อส่งผลให้ตำแหน่งเสาตอม่อใหม่ตั้งอยู่บนถนนวิภาวดีรังสิต ทำให้ต้องทำการเบี่ยงจราจรบนถนนวิภาวดีรังสิตเพิ่มเติม โดยพิจารณาระยะเวลาในการเบี่ยงจราจรทั้งหมดตลอดระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างคานทางวิ่งซึ่งใช้เวลา 10 วันต่อคาน (เวลาที่ใช้ปิดเบี่ยงจราจร = 10 วัน, ระยะเวลา T_{proj} = 10 วัน)

6.3.4 ข้อมูลด้านความยั่งยืนในการก่อสร้าง (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.4)

เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งพิจารณาจากปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** เป็นการก่อสร้างงานใต้ดิน มีการใช้สารละลายป้องกันดินในหลุมพังเช่นสารละลายเบนโทไนต์แต่สามารถดูดกลับใช้ใหม่ได้ทั้งหมด จึงมีปริมาณขยะและน้ำเสียน้อย
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** การทำงานในลักษณะเดียวกับการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม ดังนั้นจึงมีปริมาณขยะและน้ำเสียน้อยใกล้เคียงกัน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีจำนวนคนงานก่อสร้างที่เกี่ยวข้องในงานจำนวนมาก เนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างแบบปกติ ต้องตั้งนั่งร้านขนาดใหญ่ ผูกเหล็ก เข้าแบบและเทคอนกรีต ซึ่งการที่มีคนงานก่อสร้างจำนวนมากย่อมทำให้มีขยะในระหว่างการทำงานมากเช่นกัน

- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ใช้จำนวนคนงานก่อสร้างน้อย จึงมีปริมาณขยะเกิดขึ้นน้อย และเป็นการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จจึงไม่มีน้ำเสีย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** เป็นการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ใช้คนงานก่อสร้างจำนวนน้อย จึงมีปริมาณขยะน้อยและไม่มีน้ำเสีย
  โดยตำแหน่งของเสาตอม่อจะอยู่ที่เดิมหรือมีการย้ายตำแหน่งก็ตาม ไม่มีความแตกต่างกัน

6.3.5 ข้อมูลด้านการส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.5)

เป็นข้อมูลการจ้างงานแรงงานก่อสร้างว่าวิธีก่อสร้างใดที่ส่งเสริมการจ้างงานหรือก็คือใช้จำนวนแรงงานที่มากกว่ากัน

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ใช้แรงงานก่อสร้างมากกว่าวิธีก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมเล็กน้อย เนื่องจากต้องใช้คนงานเพิ่มเติมในการก่อสร้างกำแพงนำร่อง (Guide wall)
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ใช้แรงงานน้อยกว่าวิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมเพราะไม่ต้องทำกำแพงนำร่อง มีเพียงการใช้เครื่องจักรขุดดิน และใช้คนงานก่อสร้างในการผูกเหล็กเสริมเหมือนกันกับการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** ต้องใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนมาก เนื่องจากเป็นวิธีก่อสร้างตามปกติที่ต้องตั้งนั่งร้านก่อสร้างขนาดใหญ่ ผูกเหล็กเสริม เข้าแบบและเทคอนกรีต
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนน้อย เพราะมีเพียงการใช้เครนยกติดตั้งชิ้นส่วน และคนงานบางส่วนในการช่วยประคองและประกอบชิ้นส่วนในการติดตั้ง
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** เป็นการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จึงใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนน้อย มีเพียงการใช้เครนยกติดตั้งชิ้นส่วน และคนงานบางส่วนในการช่วยประคองและประกอบชิ้นส่วนในการติดตั้ง
  โดยตำแหน่งของเสาตอม่อจะอยู่ที่เดิมหรือมีการย้ายตำแหน่งก็ตาม ไม่มีความแตกต่างกัน

6.3.6 ข้อมูลด้านการตอบสนองนโยบายภาครัฐ (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.6)

เป็นข้อมูลในเรื่องของการใช้วัสดุ อุปกรณ์ ที่ผลิตภายในประเทศ เป็นการตอบสนองนโยบายภาครัฐ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ใช้เครื่องจักรในการขุดที่มีอยู่เดิม และใช้วัสดุก่อสร้างคอนกรีต เหล็กเสริม ตามปกติทั้งหมด จึงถือได้ว่าไม่แตกต่างกับวิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม ในที่นี้จึงถือว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100%

- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ดังที่อธิบายข้างต้น มีลักษณะการทำงานเหมือนวิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม ในที่นี้จึงถือว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100% เช่นกัน ไม่ว่าเสาตอม่อจะอยู่ที่ตำแหน่งเดิมหรือจะย้ายตำแหน่งเสาตอม่อก็ไม่มีความแตกต่างกัน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** เป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติ ไม่มีการใช้อุปกรณ์พิเศษใดจากต่างประเทศ ถือได้ว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100%
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีการใช้เครนในการยกติดตั้งชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวาง และสำหรับกรณีศึกษาแยกบางเขนนี้ที่ระยะความสูงจำกัดของการติดตั้งเสาตอม่อและคานขวางใกล้ระยะขีดจำกัดในการใช้งานเครนปกติ จึงพิจารณาการปรับแต่ง Modify crane เข้าช่วยด้วย ซึ่งอุปกรณ์ในการปรับแต่งเครนต้องนำเข้าจากต่างประเทศ วิธีก่อสร้างนี้จึงเป็นทางเลือกที่ตอบสนองนโยบายรัฐลดลง
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข สำหรับวิธีการก่อสร้างนี้เมื่อทำการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อออกพ้นจากทางยกระดับแล้ว ทำให้ไม่มีข้อจำกัดด้านความสูงอีก ทำให้สามารถใช้งานเครนได้ตามปกติ ไม่ต้องทำการปรับแต่ง Modify crane แม้เครนจะเป็นเครื่องจักรที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศก็ตาม แต่ถือได้ว่าสามารถใช้เครนในงานก่อสร้างตามแบบปกติทั่วไป ในที่นี้จึงพิจารณาว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100%
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยเสาตอม่ออยู่ที่ตำแหน่งเดิม** มีการใช้เครนในการยกติดตั้งชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับการติดตั้งเสาตอม่อและคานขวาง และข้อจำกัดความสูงในการทำงานที่เหลือระยะเคลียร์น้อยกว่าที่จะสามารถใช้เครนได้ตามปกติ ต้องมีการปรับแต่ง Modify crane เข้าช่วย ซึ่งอุปกรณ์การปรับแต่งเครนต้องนำเข้าจากต่างประเทศ จึงถือว่าวิธีการก่อสร้างวิธีนี้มีข้อจำกัดในเรื่องการนำเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศ เป็นทางเลือกที่ตอบสนองนโยบายรัฐลดลง
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข สำหรับวิธีการก่อสร้างนี้เมื่อทำการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อออกพ้นจากทางยกระดับแล้ว ทำให้ไม่มีข้อจำกัดด้านความสูงอีก ทำให้สามารถใช้งานเครนได้ตามปกติ ไม่ต้องทำการปรับแต่ง Modify crane แม้เครนจะเป็นเครื่องจักรที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศก็ตาม แต่ถือได้ว่าสามารถใช้เครนในงานก่อสร้างตามแบบปกติทั่วไป ในที่นี้จึงพิจารณาว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100%

6.3.7 ข้อมูลผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.7)

เป็นข้อมูลผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดินประชาชน ซึ่งพิจารณาจากจำนวนข้อร้องเรียนที่มี เนื่องด้วยกรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขนนี้ เป็นการก่อสร้างบนถนนวิภาวดีรังสิตและถนนงามวงศ์วาน จึงไม่มีการเวนคืน ดังนั้นจึงไม่ต้องทำการพิจารณาปัจจัยนี้

6.4 การคำนวณคะแนนเพื่อเปรียบเทียบทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง

เมื่อรวบรวมข้อมูลปัจจัยด้านต่างๆ ทั้งหมดครบถ้วนแล้ว จะสามารถให้คะแนนทางเลือกวิธีการก่อสร้างของแต่ละปัจจัยได้โดยใช้วิธีการให้คะแนนที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2 โดยค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 6.4-1 ถึง 6.4-3 ดังนี้

ตารางที่ 6.4-1 : คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์

วิธีการก่อสร้าง			k	งานเสาเข็ม						หน่วย
				เข็ม Barrette (เสาตำแหน่งเดิม)		เข็ม Barrette (ย้ายตำแหน่งเสา)		เข็มเจาะ (ย้ายตำแหน่งเสา)		
				ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	1	20,920.25	10	20,920.25	10	36604.82	2.50	บ./ม. ความยาวเข็ม
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ รื้อถอน และเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค		4,567,104.00	10	4,632,608.00	9.86	4,632,608.00	9.86	บ./ระยะ 72 ม.
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	3	-	10	-	10	-	10	บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม		8,179.04	10	8,179.04	10	8179.04	10	บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ระหว่างก่อสร้าง	3	65,504.36	10	65,504.36	10	65504.36	10	บ./ฐาน
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน		-	10	-	10	-	10	บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)		-	10	-	10	-	10	บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	1	1,046.01	10	1,046.01	10	1,830.24	2.50	บ./ม. ความยาวเข็ม

วิธีการก่อสร้าง			k	เสา และ คานขวาง						หน่วย
				หล่อในที่ (เสาตำแหน่งเดิม)		Precast (เสาตำแหน่งเดิม)		Precast (ย้ายตำแหน่งเสา)		
				ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	1	811,707.41	8.45	702,779.08	10	732,739.22	9.57	บ./เสา 1 ต้น
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ รื้อถอน และเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค		4,567,104.00	10	4,567,104.00	10	4,665,360.54	9.93	บ./ระยะ 72 ม.
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	3	90,189.71	5.21	36,988.37	10	38,565.22	9.86	บ./เสา 1 ต้น
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม		8,179.04	10	8,179.04	10	8,179.04	10	บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ระหว่างก่อสร้าง	3	262,017.43	4.51	101,531.76	9.91	98,938.88	10	บ./เสา 1 ต้น
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน		-	10	-	10	-	10	บ./เสา 1 ต้น
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)		-	10	14,055.58	0	14,654.78	0	บ./เสา 1 ต้น
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	1	40,585.37	8.45	35,138.95	10	36,636.96	9.57	บ./เสา 1 ต้น

วิธีการก่อสร้าง			k	คานทางวิ่ง						หน่วย
				Precast ยกด้วย Crane (เสาตำแหน่งเดิม)		Precast ยกด้วย Crane (ย้ายตำแหน่งเสา)				
				ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน			
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	1	397,061.94	10	444,984.45	8.79			บ./คาน 1 ตัว
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ รื้อถอน และเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค		4,567,104.00	10	4,599,856.80	9.93			บ./ระยะ 72 ม.
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	3	200,000.00	8.21	130,000.00	10			บ./คาน 1 ตัว
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม		8,179.04	10	8,179.04	10			บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ระหว่างก่อสร้าง	3	36,027.40	9.74	33,434.52	10			บ./คาน 1 ตัว
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน		-	10	-	10			บ./คาน 1 ตัว
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)		7,941.24	10	8,899.69	8.79			บ./คาน 1 ตัว
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	1	19,853.10	10	22,249.22	8.79			บ./คาน 1 ตัว

* คำนวณคะแนนด้วยสูตร $SCORE(C_x) = 10 - \left(\frac{C_x - C_{\min}}{k \cdot C_{\min}}\right) \cdot 10$ เมื่อ C_x คือข้อมูลค่าใช้จ่ายที่ต้องการคิดคะแนน, C_{min} คือข้อมูลค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

สำหรับข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่างๆ โดยข้อมูลที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดจะได้คะแนนเต็ม = 10 และสำหรับข้อมูลที่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า จะคิดเทียบเป็นสัดส่วนกันว่าค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นควรได้คะแนนลดลงเท่าใด ทั้งนี้คะแนนที่ได้จะขึ้นอยู่กับค่า ***k*** ซึ่งใช้กำหนดเกณฑ์ว่าค่าใช้จ่ายแพงขึ้นถึงเท่าใดจึงจะได้คะแนน = 0

ในกรณีที่ค่าใช้จ่ายเท่ากัน สามารถให้คะแนนเท่ากันเป็นค่าเท่าใดก็ได้ เนื่องจากเมื่อนำไปคำนวณคะแนนแบบถ่วงน้ำหนักก็จะได้ค่าเดียวกันไม่มีความแตกต่างกัน ในที่นี้จึงกำหนดว่า ถ้าไม่มีค่าใช้จ่ายหรือค่าใช้จ่ายเท่ากันหมด จะคิดคะแนนเท่ากับ 10 เช่นเดียวกัน (การที่ไม่มีค่าใช้จ่ายเลยถือว่าส่งผลในทางบวก)

สำหรับข้อมูลด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างและ และข้อมูลด้านสังคม สิ่งแวดล้อม สุขภาพ และนโยบาย ข้อมูลที่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปัจจัยที่ 2.1, 2.2 และ 3.3 โดยเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับระยะเวลาก่อสร้างหรือระยะเวลารอคอย จะให้คะแนนข้อมูลปัจจัยที่ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด = 10 และคิดเป็นสัดส่วนลดลงสำหรับค่าระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะได้คะแนนมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่า ***k*** ในการกำหนดเกณฑ์ว่าระยะเวลานานเท่าใดจึงจะได้คะแนน = 0 ตามสูตรที่ได้เสนอไว้ในภาคผนวก ง.

สำหรับข้อมูลที่ไม่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ จะใช้วิธีการจัดลำดับ (Ranking) และให้คะแนนทางเลือกตามลำดับที่ถูกจัดแล้ว ทางเลือกที่ดีที่สุดจะได้คะแนนสูงสุด = 10 และทางเลือกที่แย่ที่สุดจะได้คะแนน = 0 ในกรณีที่ทางเลือกมีลำดับเท่ากัน จะเอาคะแนนของลำดับที่เท่ากันมารวมกันและแบ่งเฉลี่ยเท่าๆ กันให้แต่ละทางเลือกที่มีลำดับเดียวกัน ดังวิธีการให้คะแนนที่ได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก ง.

ตารางที่ 6.4-2 : คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง

งานก่อสร้างเสาเข็ม			เสาเข็มแบบเหลี่ยม (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)		เสาเข็มแบบเหลี่ยม (ย้ายตำแหน่งเสา)		เสาเข็มเจาะแบบกลม (ย้ายตำแหน่งเสา)	
No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/ฐาน) (ใช้ค่า $k = 1$)	20	10	20	10	20	10
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	10	ไม่มี	10	ไม่มี	10
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	- - - -	5	- - - -	5	- - - -	5
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	4-5	5	4-5	5	4-5	5
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- - - -	5	- - - -	5	- - - -	5
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- - ✓ -	5	- - ✓ -	5	- - ✓ -	5

งานก่อสร้างเสาเข็ม			เสาเข็มแบบเหลี่ยม (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)		เสาเข็มแบบเหลี่ยม (ย้ายตำแหน่งเสา)		เสาเข็มเจาะแบบกลม (ย้ายตำแหน่งเสา)	
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	- - - -	5	- - - -	5	- - - -	5
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	- ข้อจำกัดด้านความลึกดินในการทำงาน - ข้อจำกัดด้านการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง - ข้อจำกัดเรื่องน้ำใต้ดิน - ข้อจำกัดเรื่องชนิดของดิน	- ✓ - -	2.5	- ✓ - -	2.5	- ✓ - -	10

งานก่อสร้างเสาตอม่อ และ คานขวาง			คอนกรีตเทในที่ (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)		Precast (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)		Precast (ย้ายตำแหน่งเสา)	
No.	**ปัจจัยที่พิจารณา**	**เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/เสา) (ใช้ค่า $k = 1$)	80	0*	30	10	30	10
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	10	ไม่มี	10	ไม่มี	10
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	- - - -	10	✓ ✓ ✓ -	2.5	✓ ✓ ✓ -	2.5
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	8-10	10	4-5	0	5-8	5
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- ✓ - -	0	- - - -	7.5	- - - -	7.5
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- - - -	10	- ✓ - ✓	0	- - - ✓	5
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	- - ✓	0	✓ ✓ -	7.5	✓ ✓ -	7.5

งานก่อสร้างคานทางวิ่ง			ติดตั้งด้วยเครน (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)		ติดตั้งด้วยเครน (ย้ายตำแหน่งเสา)	
No.	**ปัจจัยที่พิจารณา**	**เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/คาน) (ใช้ค่า $k = 1$)	10	10	10	10
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	10	ไม่มี	10

งานก่อสร้างคานทางวิ่ง			ติดตั้งด้วยเครน (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)		ติดตั้งด้วยเครน (ย้ายตำแหน่งเสา)	
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	✓ - ✓ ✓	5	✓ - ✓ ✓	5
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	4-5	0	5-8	10
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- - - -	5	- - - -	5
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	✓ ✓ - ✓	0	✓ - - ✓	10
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	✓ ✓ -	5	✓ ✓ -	5

* คำนวณคะแนนด้วยสูตร $SCORE(T_x) = 10 - \left(\frac{T_x - T_{min}}{k \cdot T_{min}}\right) \cdot 10$ เมื่อ T_x คือข้อมูลค่าเวลาที่ต้องการคิดคะแนน, T_{min} คือข้อมูลค่าเวลาที่เร็วที่สุด คำนวณค่าคะแนนด้วยสูตรแล้วได้ค่าติดลบ จึงให้คะแนน = 0

ตารางที่ 6.4-3 : คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อม สุขภาพ และ นโยบาย

งานก่อสร้างเสาเข็ม			เสาเข็มแบบเหลี่ยม (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)		เสาเข็มแบบเหลี่ยม (ย้ายตำแหน่งเสา)		เสาเข็มเจาะแบบกลม (ย้ายตำแหน่งเสา)	
No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ - ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ - ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่ - ความเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุจากการเบี่ยงจราจร	- - - - ✓ -	10	- - - - ✓ ✓	5	✓ - - - ✓ ✓	0
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง - ฝุ่นละออง - กลิ่น - การสั่นสะเทือน - ถนนชำรุด	- - - - -	7.5	- - - - -	7.5	✓ - - ✓ -	0
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เวลาที่ต้องปิดเพิ่มเติม, L-D), (k = 1, T_{proj} = 10 วัน)	0	10	20	0*	20	0
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	น้อย น้อย ไม่มี	5	น้อย น้อย ไม่มี	5	น้อย น้อย ไม่มี	5

งานก่อสร้างเสาเข็ม			เสาเข็มแบบเหลี่ยม (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)		เสาเข็มแบบเหลี่ยม (ย้ายตำแหน่งเสา)		เสาเข็มเจาะแบบกลม (ย้ายตำแหน่งเสา)	
3.5	ส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	มาก	7.5	มาก	7.5	น้อย	0
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100%	5	100%	5	100%	5
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนที่ดิน	ไม่มี	5	ไม่มี	5	ไม่มี	5

งานก่อสร้างเสาตอม่อ และ คานขวาง			คอนกรีตเทในที่ (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)		Precast (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)		Precast (ย้ายตำแหน่งเสา)	
No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ - ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ - ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่ - ความเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุจากการเบี่ยงจราจร	- - - - ✓ -	10	✓ - - - ✓ -	5	✓ - - - ✓ ✓	0
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง - ฝุ่นละออง - กลิ่น - การสั่นสะเทือน - ถนนชำรุด	✓ ✓ - - -	0	- - - - -	7.5	- - - - -	7.5
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เวลาที่ต้องปิดเพิ่มเติม) (หน่วย : L-D) (k = 1, T_{proj} = 30 L-D ของงานก่อสร้างเสาและคานขวาง)	0	10	1	9.7*	30	0*
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	มาก ไม่มี ไม่มี	0	น้อย ไม่มี ไม่มี	7.5	น้อย ไม่มี ไม่มี	7.5
3.5	ส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	มาก	10	น้อย	2.5	น้อย	2.5
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100%	7.5	นำเข้า Modify เครน	0	100% (เครนปกติ)	7.5
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนที่ดิน	ไม่มี	5	ไม่มี	5	ไม่มี	5

งานก่อสร้างคานทางวิ่ง			ติดตั้งด้วยเครน (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)		ติดตั้งด้วยเครน (ย้ายตำแหน่งเสา)	
No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ - ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ - ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่ - ความเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุจากการเบี่ยงจราจร	✓ - - - ✓ -	10	✓ - - - ✓ ✓	0

งานก่อสร้างคานทางวิ่ง			ติดตั้งด้วยเครน (เสาอยู่ตำแหน่งเดิม)		ติดตั้งด้วยเครน (ย้ายตำแหน่งเสา)	
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง - ฝุ่นละออง - กลิ่น - การสั่นสะเทือน - ถนนชำรุด	✓ - - - -	5	✓ - - - -	5
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เวลาที่ต้องปิดเพิ่มเติม) (เดน-วัน) (*k* = 1, T_{proj} = 10 L-D ของงานก่อสร้างคานทางวิ่ง	1	9*	10	0
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	น้อย ไม่มี ไม่มี	5	น้อย ไม่มี ไม่มี	5
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (คน/คาน)	8-10	5	8-10	5
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	นำเข้า Modify เครน	0	100% (เครนปกติ)	10
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนที่ดิน	ไม่มี	5	ไม่มี	5

* คำนวณคะแนนด้วยสูตร $SCORE(T_x) = 10 - \left(\frac{T_x}{k \cdot T_{proj}}\right) \cdot 10$ เมื่อ T_x คือค่าเวลาที่ต้องการคิดคะแนน, T_{proj} คือค่าระยะเวลารวมของงานนั้นๆ

6.5 ทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษาช่วงบริเวณแยกบางเขน

จากค่าคะแนนที่ได้ของแต่ละปัจจัยสามารถนำไปคำนวณค่าคะแนนรวมของทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างแบบถ่วงน้ำหนักตามสมการที่ (2.8) โดยใช้ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาไว้ก่อนหน้าตามรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 โดยสำหรับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ (ระบบรางเบา, Monorail) ช่วงบริเวณแยกบางเขน สามารถสรุปค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ที่ต้องใช้ในการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 6.5-1

ตารางที่ 6.5-1 ค่าน้ำหนักของปัจจัยทั้งหมดสำหรับโครงสร้างของระบบรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail)

ปัจจัยหลักด้านเศรษฐศาสตร์ (ค่าน้ำหนัก = 0.20)	เสาเข็ม/ฐานราก	เสา/คานขวาง	คานทางวิ่ง
ค่าก่อสร้าง	0.26	0.30	0.30
ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	0.18	0.14	0.13
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว	0.16	0.16	0.15
ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	0.12	0.10	0.09
ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์	0.09	0.10	0.11
ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	0.11	0.11	0.11
ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	0.03	0.04	0.05
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	0.06	0.05	0.05

ปัจจัยหลักด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง (ค่าน้ำหนัก = 0.54)	เสาเข็ม/ฐานราก	เสา/คานขวาง	คานทางวิ่ง
ระยะเวลาการก่อสร้าง	0.11	0.17	0.15
ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร	0.08	0.07	0.09
ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	0.08	0.08	0.10
ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	0.13	0.17	0.17
ความปลอดภัยในการก่อสร้าง	0.18	0.22	0.21
ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง ในการก่อสร้าง หรือสาธารณูปโภคที่ต้องเคลื่อนย้าย	0.12	0.25	0.24
ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	0.02	0.05	0.04
คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน ฯลฯ	0.27		
ปัจจัยหลักด้านสังคม สิ่งแวดล้อมและนโยบาย (ค่าน้ำหนัก = 0.26)	**เสาเข็ม/ฐานราก**	**เสา/คานขวาง**	**คานทางวิ่ง**
ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	0.25	0.25	0.27
การรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่น แรงสั่นสะเทือน และมลภาวะอื่นๆ	0.21	0.21	0.19
ผลกระทบต่อสภาพจราจร	0.18	0.18	0.19
ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	0.09	0.11	0.11
การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	0.07	0.07	0.05
การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	0.03	0.04	0.04
ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	0.17	0.15	0.14

นำค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยรองในตารางข้างต้นคูณกับค่าคะแนนของปัจจัยนั้นๆ แล้วรวมค่าเป็นคะแนนรวมของปัจจัยรองสำหรับของแต่ละปัจจัยหลัก แล้วจึงนำไปคูณกับค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักนั้นๆ ทั้งสามปัจจัย และรวมผลรวมเป็นขั้นสุดท้าย จะได้คะแนนรวมสุดท้ายของทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างเพื่อนำมาตัดสินเปรียบเทียบ โดยได้ค่าคะแนนรวมดังแสดงในตารางที่ 6.5-2

จากผลการรวมคะแนนทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 6.5-2 สำหรับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงบริเวณแยกบางเขน จะสรุปได้ว่า

- **งานก่อสร้างเสาเข็ม** วิธีการก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) โดยไม่ต้องย้ายตำแหน่งเสาตอม่อมีความเหมาะสมที่สุด
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง** วิธีการก่อสร้างด้วยโครงสร้างชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast) โดยย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวทางยกระดับอุตราภิมุข มีความเหมาะสมที่สุด และ
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง** วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวทางยกระดับอุตราภิมุข มีความเหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 6.5-2 ผลคะแนนรวมของทางเลือกวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาช่วงบริเวณแยกบางเขน

ปัจจัย			เสาเข็ม / ฐานราก				เสาตอม่อ และ คานขวาง				คานทางวิ่ง		
			น้ำหนัก	คะแนน			น้ำหนัก	คะแนน			น้ำหนัก	คะแนน	
				เข็ม Barrette (เสาตำแหน่งเดิม)	เข็ม Barrette (ย้ายตำแหน่งเสา)	เข็มเจาะ (ย้ายตำแหน่งเสา)		หล่อในที่ (เสาตำแหน่งเดิม)	Precast (เสาตำแหน่งเดิม)	Precast (ย้ายตำแหน่งเสา)		Precast ยกด้วย Crane (เสาตำแหน่งเดิม)	Precast ยกด้วย Crane (ย้ายตำแหน่งเสา)
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	0.26	10	10	2.5	0.30	8.45	10	9.57	0.30	10	8.79
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	0.18	10	9.86	9.86	0.14	10	10	9.93	0.13	10	9.93
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	0.16	10	10	10	0.16	5.21	10	9.86	0.15	8.21	10
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	0.12	10	10	10	0.10	10	10	10	0.09	10	10
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง	0.09	10	10	10	0.10	4.51	9.91	10	0.11	9.74	10
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	0.11	10	10	10	0.11	10	10	10	0.11	10	10
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	0.03	10	10	10	0.04	10	0	0	0.05	10	8.79
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	0.06	10	10	2.5	0.05	8.45	10	9.57	0.05	10	8.79
0.2		**คะแนนรวม**		10.00	9.97	7.61		8.17	9.55	9.38		9.70	9.51
ปัจจัยด้านวิศวกรรม และการก่อสร้าง	2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	0.11	10	10	10	0.17	0	10	10	0.15	10	10
	2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	0.08	10	10	10	0.07	10	10	10	0.09	10	10
	2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง ฯลฯ	0.08	5	5	5	0.08	10	2.5	2.5	0.10	5	5
	2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	0.13	5	5	5	0.17	10	0	5	0.17	0	10
	2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	0.18	5	5	5	0.22	0	7.5	7.5	0.21	5	5
	2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือ	0.12	5	5	5	0.25	10	0	5	0.24	0	10
	2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	0.02	5	5	5	0.05	0	7.5	7.5	0.04	5	5
	2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	0.27	2.5	2.5	10							
0.54		**คะแนนรวม**		5.30	5.30	7.35		5.67	4.53	6.63		4.20	8.25
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย	3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบ และผู้สัญจรผ่านพื้นที่	0.25	10	5	0	0.25	10	5	0	0.27	10	0
	3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	0.21	7.5	7.5	0	0.21	0	7.5	7.5	0.19	5	5
	3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	0.18	10	0	0	0.18	10	9.7	0	0.19	9	0
	3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	0.09	5	5	5	0.11	0	7.5	7.5	0.11	5	5
	3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (จำนวนแรงงาน)	0.07	7.5	7.5	0	0.07	10	2.5	2.5	0.05	5	5
	3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ (การใช้ผลิตภัณฑ์ผลิตในประเทศ)	0.03	5	5	5	0.04	7.5	0	7.5	0.04	0	10
	3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	0.17	5	5	5	0.15	5	5	5	0.14	5	5
0.26		**คะแนนรวม**		7.83	4.80	1.48		5.99	6.32	3.59		6.95	2.86
		คะแนนรวมทั้งหมด		6.90	6.10	5.88		6.25	6.00	6.39		6.01	7.10

6.6 ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม

จากการวิเคราะห์คะแนนพบว่า ค่า ***k*** ที่ใช้ในการคำนวณสัดส่วนของคะแนนมีความสำคัญ การเลือกใช้ค่า ***k*** ไม่จำเป็นต้องเท่ากันในทุกปัจจัย ดังที่ได้อภิปรายไว้ก่อนหน้าในเนื้อหาบทที่ 5 ก่อนหน้า

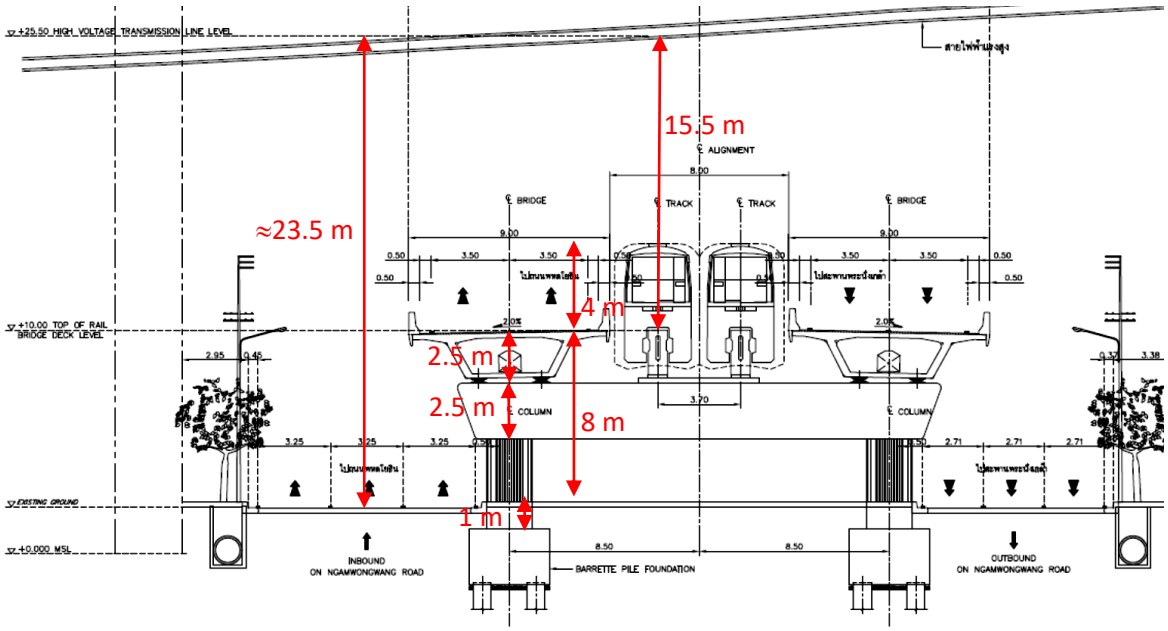
ในการเปรียบเทียบคัดเลือกวิธีการก่อสร้างกรณีของเสาเข็มแบบเหลี่ยมและเสาเข็มเจาะแบบกลม พบว่า เสาเข็มแบบเหลี่ยมมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างประหยัดกว่า และได้คะแนนปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมฯ สูงกว่า แต่เสาเข็มเจาะแบบกลมจะได้คะแนนปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ สูงกว่า เนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างที่ทำได้ง่ายทั่วไปหากไม่ติดข้อจำกัดใดใด แต่เนื่องด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลมมีกำลังรับน้ำหนักที่ต่ำกว่าเสาเข็มแบบเหลี่ยมที่มีขนาดใกล้เคียงกันอย่างเห็นได้ชัด ทำให้เมื่อต้องการกำลังรับน้ำหนักที่เท่ากันจะต้องใช้จำนวนเสาเข็มเจาะแบบกลมเพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าใช้จ่ายสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งมีผลกระทบทางด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมฯ สูง ทำให้ท้ายสุดแล้ว ในโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่ เช่น โครงการรถไฟฟ้า เสาเข็มแบบเหลี่ยมจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าเสาเข็มเจาะแบบกลมเสมอ แต่หากเป็นการก่อสร้างโครงการขนาดเล็กที่ต้องการกำลังรับน้ำหนักเสาเข็มไม่สูงมากนัก เสาเข็มเจาะแบบกลมก็น่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งที่ควรพิจารณา

เนื่องด้วยข้อจำกัดความสูงในการก่อสร้างบริเวณแยกบางเขนที่มีระยะช่วงว่างใต้ท้องคานสะพานยกระดับอุตราภิมุข 13.45 ม. จากถนนปัจจุบัน ซึ่งค่อนข้างน้อย มีผลกระทบต่อการทำงานโดยใช้เครนในการยกติดตั้งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จของเสาตอม่อ คานขวาง และ คานทางวิ่ง ทำให้เมื่อเปรียบเทียบกรณีระหว่างการก่อสร้างที่ตำแหน่งเดิมที่มีข้อจำกัดความสูงดังกล่าว กับกรณีที่ย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุขนั้น พบว่าการย้ายตำแหน่งเสาตอม่อ มีผลทำให้ค่าใช้จ่ายด้านปัจจัยทางเศรษฐศาสตร์สูงขึ้น และได้คะแนนด้านปัจจัยทางสังคม สิ่งแวดล้อมฯ น้อยกว่ากรณีที่คงตำแหน่งของเสาตอม่อไว้ที่เดิมอย่างเห็นได้ชัด แต่การย้ายตำแหน่งเสาตอม่อ ทำให้สามารถก่อสร้างได้ง่ายขึ้น และได้คะแนนด้านวิศวกรรมฯ สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ส่งผลให้การวิเคราะห์ได้คำตอบว่า การย้ายตำแหน่งเสาตอม่อ เป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่า อย่างไรก็ตามผลวิเคราะห์นี้ขึ้นกับข้อมูลที่ใช้ อาทิ ค่าใช้จ่ายในการเบี่ยงจราจรที่ทางที่ปรึกษาฯ สมมติขึ้น ซึ่งหากมีข้อมูลผลกระทบของค่าใช้จ่ายที่ละเอียดมากกว่าที่ได้ประมาณการไว้ หรือการให้คะแนนสำหรับปัจจัยที่ไม่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ (ปัจจัยเชิงคุณภาพ) ที่หากมีเกณฑ์ที่ละเอียดมากขึ้น เช่น ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ที่ได้รับผลกระทบจากการทำเบี่ยงจราจร ก็อาจทำให้ได้ผลสรุปการวิเคราะห์ที่เปลี่ยนไปจากเดิมได้

7. การวิเคราะห์ทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาช่วงบริเวณแยกพงษ์เพชร

ในบทนี้จะกล่าวถึงการคัดเลือกทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างของกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชร ซึ่งมีข้อจำกัดคล้ายคลึงกับกรณีศึกษาก่อนหน้า คือ ข้อจำกัดด้านความสูงในการทำงานก่อสร้าง โดยอุปสรรคของกรณีนี้คือแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูง และ ข้อจำกัดเพิ่มเติมด้านพื้นที่ก่อสร้างที่แนวเส้นทางซ้อนทับกันระหว่างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ กับโครงสร้างสะพานรถยนต์ข้ามแยกในปัจจุบัน ซึ่งต้องทำการรื้อย้ายสะพานเดิมที่เป็นโครงสร้างเหล็กขนาด 4 ช่องจราจรแล้วสร้างใหม่พร้อมโครงสร้างของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ

อุปสรรคเรื่องแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงตัดขวางแนวเส้นทางของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ทำให้การก่อสร้างบริเวณแยกพงษ์เพชรนี้มีข้อจำกัดด้านระยะความสูงในการทำงาน โดยเมื่อพิจารณาจากรายงานการศึกษาความเหมาะสมของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ และข้อมูลแบบรายละเอียดของโครงการจากทางบริษัทที่ปรึกษาฯ ผู้ออกแบบ พบว่าแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงมีความสูงจากพื้นสะพานข้ามแยกถึงสายไฟฟ้าช่วงที่ต่ำที่สุดประมาณ 15.5 ม. ดังแสดงในรูปที่ 7-1 โดยโครงสร้างบริเวณนี้จะเป็นโครงสร้างสะพานใหม่แบบเสาคู่ (Portal Frame) สำหรับรถยนต์ร่วมกับโครงสร้างทางวิ่งรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ โดยโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ จะมีระดับความสูงอยู่ระดับเดียวกับระดับสะพานรถยนต์ที่ความสูงประมาณ 8 ม. จากระดับถนน



รูปที่ 7-1 รูปตัดโครงสร้างรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณแยกพงษ์เพชรแสดงระยะความสูงจำกัด

เมื่อพิจารณาความสูงของรถไฟฟ้า (Structural Gauge) ประมาณ 4 ม. จะทำให้เหลือระยะห่างจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงประมาณ 11.5 ม. ซึ่งมากกว่าระยะห่างปลอดภัยของงานที่เกี่ยวข้องกับสายส่งไฟฟ้าแรงสูงที่ต้องการคือ 9 ม. ซึ่งเพียงพอให้ดำเนินการก่อสร้างและใช้งานรถไฟฟ้า ดังนั้นการทำงานก่อสร้างสำหรับกรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรนี้สามารถใช้วิธีการก่อสร้างตามแบบปกติได้ โดยการให้คะแนนของแต่ละทางเลือกในแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างของโครงสร้างในส่วนต่างๆ ได้แก่การก่อสร้างเสาเข็มและฐานราก, การก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง และ การก่อสร้างคานทางวิ่ง สามารถทำได้ในรูปแบบเดียวกับที่นำเสนอไว้ในบทที่ 5 และ 6 ของกรณีศึกษาช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนบนถนนประเสริฐมนูกิจ และกรณีศึกษาแยกบางเขน ตามลำดับ โดยสามารถอ้างอิงราคาค่าก่อสร้างต่างๆ ในลักษณะเดียวกันซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

7.1. ข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์

7.1.1 ข้อมูลค่าก่อสร้าง (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.1)

7.1.1.1 งานก่อสร้างเสาเข็ม

ดังที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.5.3 ถึงทางเลือกวิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มและฐานรากของบริเวณแยกพงษ์เพชรนี้ซึ่งประกอบด้วย การก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม และ เสาเข็มเจาะแบบกลม โดยเมื่อพิจารณาข้อจำกัดของกรณีศึกษาบริเวณนี้พบว่า ระยะช่วงความสูงจำกัดในการก่อสร้างเสาเข็มจากระดับพื้นถนนถึงแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงมีอยู่ประมาณ 23.5 ม. ซึ่งมากกว่าระยะ 16-20 ม. ที่เป็นข้อจำกัดในการก่อสร้างด้วยระบบเสาเข็มเจาะแบบกลม ดังนั้นสำหรับกรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรนี้ การก่อสร้างเสาเข็มและฐานรากสามารถใช้ได้ทั้งระบบเสาเข็มแบบเหลี่ยมและเสาเข็มเจาะแบบกลม

อย่างไรก็ตาม กรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรนี้ นอกจากข้อจำกัดเรื่องระยะความสูงจำกัดจากแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงแล้ว ยังมีประเด็นเรื่องสะพานทางรถยนต์ข้ามแยกที่ซ้อนทับกับแนวเส้นทางโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ที่ต้องทำการรื้อแล้วก่อสร้างใหม่พร้อมโครงสร้างของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ซึ่งจะมีผลต่อปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ในส่วนของค่าใช้จ่ายในการในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค (ปัจจัยย่อยที่ 1.2)

และเนื่องด้วยกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชรนี้ มีการรื้อโครงสร้างสะพานรถยนต์ข้ามแยกแล้วสร้างใหม่พร้อมกับโครงสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ทำให้พื้นที่ก่อสร้างโดยรวมมีขนาดใหญ่ การก่อสร้างด้วยวิธีเสาเข็มเจาะแบบกลมสามารถเลือกใช้เสาเข็มขนาดใหญ่เพื่อให้ได้กำลังรับแรงต่อเสาเข็มเทียบเท่ากับเสาเข็มแบบเหลี่ยมตามแบบก่อสร้างของผู้ออกแบบซึ่งมีขนาด 2.7x0.8 ม. ได้ โดยไม่ต้องกังวลกับขนาดของฐานรากเสาเข็มเจาะแบบกลมที่จะขยายใหญ่กว่าฐานรากของเสาเข็มแบบเหลี่ยม และเมื่อพิจารณากำลังรับแรงของเสาเข็มอย่างละเอียดโดยพิจารณาร่วมกันทั้งส่วนของกำลังรับแรงปลายเสาเข็ม (End Bearing) และกำลังรับแรงเสียดทาน (Skin friction) ในอัตราส่วน 40:60 ลักษณะเดียวกันกับที่ได้วิเคราะห์ในกรณีศึกษาแยกบางเขนก่อนหน้าในหัวข้อที่ 6.1.1.1 แสดงดังตารางต่อไปนี้

เปรียบเทียบกำลังรับแรงของเสาเข็มเหลี่ยมตามแบบเพื่อพิจารณาขนาด/จำนวนของเสาเข็มเจาะแบบกลมที่จะใช้						
รูปแบบการก่อสร้าง	**ขนาด**	**พื้นที่หน้าตัด (A, m2)**	**เส้นรอบรูป (B, m)**	**กำลังรับแรงรวม 0.4A+0.6B**	**จำนวน (ต้น)**	**กำลังรับแรงทั้งหมด**
เสาเข็มแบบเหลี่ยม	2.7x0.8 ม.	2.16	7.0	5.06	**2**	**10.13**
เสาเข็มเจาะ	Dia. 2.0 ม.	3.14	6.28	5.03	**2**	**10.05**

จากตารางเปรียบเทียบกำลังรับแรงของเสาเข็มข้างต้น จะสรุปได้ว่าทางเลือกวิธีการก่อสร้างเสาเข็มและฐานราก มี 2 วิธีคือ การเลือกใช้เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) ขนาด 2.7x0.8 ม. จำนวน **2** ต้น หรือ การใช้เสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 ม. จำนวน **2** ต้น โดยอ้างอิงราคาค่างานก่อสร้างเสาเข็มที่คำนวณไว้ในหัวข้อที่ 5.1.1.1

- เสาเข็มแบบเหลี่ยมมีค่าก่อสร้าง **20,920.25** บาท/ม./ต้น
- เสาเข็มเจาะแบบกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 ม. จะคิดราคาโดยเทียบสัดส่วนจากราคาของเสาเข็มเจาะแบบกลมขนาด 1.8 ม. และเมื่อรวมกับค่าทดสอบเสาเข็ม จะได้ค่าก่อสร้างรวมดังนี้

  $25,905.11/(\pi 1.8^2/4)x(\pi 2.0^2/4) + 312.75$ = **32,294.37** บาท/ม./ต้น

ทั้งนี้พิจารณาค่าทดสอบเสาเข็มเท่ากับกรณีศึกษาช่วงบริเวณที่ซ้อนทับทางด่วน

7.1.1.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง

กรณีศึกษาแยกพงษ์เพชร มีทางเลือกในการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง เช่นเดียวกันกับกรณีศึกษาช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน คือการก่อสร้างด้วยวิธีเทคอนกรีตในที่ และการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ(Precast) ยกติดตั้งด้วยเครน เนื่องจากมีเพียงข้อจำกัดด้านความสูงของแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูง แต่การคำนวณค่าใช้จ่ายงานก่อสร้างจะมีความแตกต่างในส่วนของคานขวางเนื่องจากรูปแบบโครงสร้างเปลี่ยนจากรูปแบบเสาเดี่ยว (Single Pier) ไปเป็นแบบเสาคู่ (Portal Frame) เนื่องด้วยน้ำหนักโครงสร้างที่เพิ่มขึ้นจากส่วนของสะพานรถยนต์ข้ามแยก หากพิจารณารูปตัดของโครงสร้างกรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรดังแสดงในรูปที่ 7-1 ข้างต้น จะเห็นได้ว่าประกอบด้วย ส่วนของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ และ ส่วนของสะพานรถยนต์ขนาดทิศทางละ 2 ช่องจราจร ขนาบด้านข้างซ้ายและขวาของรถไฟฟ้า โดยเป็นคานสะพานรูปแบบกล่อง (Box girder) โดยในภาพรวมคานสะพานรูปแบบกล่องแต่ละด้านมีขนาดใกล้เคียงกับโครงสร้างของรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในที่นี้จึงตั้งสมมติฐานว่าน้ำหนักของโครงสร้างกรณีศึกษานี้ซึ่งเป็นรูปแบบเสาคู่ มีน้ำหนักรวมเป็น 3 เท่าของโครงสร้างรถไฟฟ้ากรณีของเสาเดี่ยว (1 ส่วนจากรถไฟฟ้า อีก 2 ส่วนจากคานสะพานทางรถยนต์ทางซ้ายและทางขวา) ทำให้น้ำหนักที่ถ่ายลงเสาแต่ละต้นเทียบเท่ากับ 3/2 = 1.5 เท่าต่อต้น ซึ่งน้ำหนักที่สูงขึ้นนี้มีผลต่อวัสดุโครงสร้างที่ต้องเพิ่มขนาดและปริมาณเหล็กเสริมโดยใช้สมมติฐานเพิ่มปริมาณในสัดส่วนเดียวกับแรงที่เพิ่มขึ้น (=1.5 เท่าต่อต้น) ทำให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสูงขึ้นกว่าปกติ สามารถคิดปริมาณวัสดุและค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่เปลี่ยนแปลงไปตามทางเลือกวิธีการก่อสร้างดังนี้

- **วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่**

ใช้การคำนวณราคาต่อหน่วยในลักษณะเดียวกันกับกรณีศึกษาในบทก่อนหน้า แต่พิจารณาความสูงของโครงสร้างตามตำแหน่งจริง (เสาตอม่อสูง 4 ม.)

กรณีเสาเดี่ยวเสามีขนาดหน้าตัดประมาณ 2x2.8 ม. สูง 4 ม. จะมีปริมาตร =	22.4	ม.^{3}
คิดเพิ่ม 1.5 เท่า จะได้เสาแต่ละต้นมีปริมาตร = 22.4x.15 =	33.6	ม.^{3}
คานขวางขนาดกว้าง 2 ม. ลึก 2.5 ม. ยาว 21 ม. มีปริมาตร =	105.0	ม.^{3}

อ้างอิงราคาต่อหน่วยจากหัวข้อที่ 5.1.1.2
ราคาค่าคอนกรีต = 4,896.71 บ./ม.^{3}
ราคาค่าเหล็กเสริม = 31.5 บ./กก. และคิดปริมาณที่ 241.43 กก./ม.^{3} คอนกรีต

ค่าก่อสร้างเสาและคานขวาง (แบบเสาคู่) ของทางเลือกวิธีก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่จะเท่ากับ

- คอนกรีตเสา 33.6 ม.^{3} x 2 ต้น x 4,896.71 บ./ม.^{3} = 329,059.16 บ.
- คอนกรีตคานขวาง 105.0 ม.^{3} x 4,896.71 บ./ม.^{3} = 514,154.94 บ.
- ปริมาณเหล็กเสริม 241.43 กก./ม.^{3} x (33.6x2+105) ม.^{3} x31.5 บ./กก. = 1,309,601.27 บ.
- รวมเป็นราคากลางค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางทั้งหมด = 2,152,815.37 บ.

ค่าก่อสร้างนี้เป็นราคาที่รวมค่าโครงสร้างชั่วคราว ไม้แบบ และอื่นๆ ไว้แล้ว โดยในที่นี้คิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.3) ที่ **10%** ของราคากลางรวม จะได้ว่า

- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว = **215,281.54 บ.**
- ค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางของวิธีก่อสร้างแบบเทในที่ = **1,937,533.84 บ.**

- **วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast)**

การคำนวณค่าใช้จ่ายสามารถใช้แนวทางเดียวกันกับที่คำนวณไว้สำหรับกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนในหัวข้อที่ 5.1.1.2 โดยสำหรับกรณีที่เป็นเสาคู่ (Portal Frame) คิดขนาดเสาเพิ่มขึ้น 1.5 เท่าต่อต้นเช่นเดียวกับกรณีของการก่อสร้างด้วยวิธีเทคอนกรีตในที่ โดยส่วนของช่องกลวงว่างภายในยังใช้ขนาดช่องกลวงเหมือนของรูปแบบเสาเดี่ยว (ซึ่งมีขนาดช่องกลวงเท่ากับ 55% ของขนาดเสาเดี่ยวตัน (ขนาด 2x2.8 ม.) แบบเทคอนกรีตในที่ ดังนั้นเท่ากับมีขนาดช่องกลวง 0.55x2x2.8 = 3.08 ม.^{2}) และในส่วนของคานขวางคิดขนาดช่องว่างภายในเพื่อประกอบกับชิ้นส่วนของเสาตอม่อที่ใหญ่ขึ้น 1.5 เท่า 2 ข้าง จากเสาจำนวน 2 ต้น (เดิมกรณีเสาเดี่ยวคิดช่องว่างในคานขวาง (คานขวางกรณีเสาเดี่ยวมีขนาดยาว 10 ม. กว้าง 2 ม.) เท่ากับ 10x2x13.6% = 2.72 ม.^{2} เพื่อให้สอดคล้องกับการขยายขนาดของเสาเพิ่มขึ้น 1.5 เท่า) ดังนั้นขนาดช่องว่างในคานเท่ากับ 2.72x1.5x2 = 8.15 ม.^{2}

ราคาค่าคอนกรีตหล่อสำเร็จ	= 7,090.60 บ./ลบ.ม.	
ราคาค่าเหล็กเสริม	= 31.6 บ./กก.	และคิดปริมาณที่ 116.13 กก./ลบ.ม.คอนกรีต
ราคาลวดอัดแรง	= 102 บ./กก.	และคิดปริมาณที่ 37.43 กก./ลบ.ม.คอนกรีต

สามารถคิดค่าก่อสร้างของทางเลือกวิธีก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางด้วยระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูป ดังนี้

- คอนกรีตเสา = (33.6-3.08x4) ม.^{3} x 2 ต้น = 42.56 ม.^{3}
  คิดเป็นราคา = 42.56 ม.^{3} x 7,090.60 บ./ลบ.ม. = 301,775.94 บ.
- คอนกรีตคานขวาง = (2x21-8.15) x 2.5 = = 84.62 ม.^{3}
  คิดเป็นราคา = 84.62 ม.^{3} x 7,090.60 บ./ลบ.ม. = 600,003.49 บ.
- เหล็กเสริม = 116.13 x (42.56+84.62) x 31.6 = 466,706.11 บ.
- ปริมาณลวดอัดแรง 37.43 x (42.56+84.62) x 102 = 485,600.81 บ.
- รวมเป็นราคากลางค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางทั้งหมด = 1,854,086.35 บ.

ค่าก่อสร้างนี้เป็นราคาที่รวมค่าแบบในการผลิต ค่าขนส่ง ค่าติดตั้งและอื่นๆ ไว้แล้ว โดยในที่นี้คิดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.3) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับทางเลือกวิธีการก่อสร้างแบบเทในที่ได้ ที่ **5%** ของราคากลางรวม จะได้ว่า

- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว = **2,704.32 บ.**
- ค่าก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางของวิธีก่อสร้างแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ = **1,761,382.03 บ.**

7.1.1.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง (Guide Way Beam)

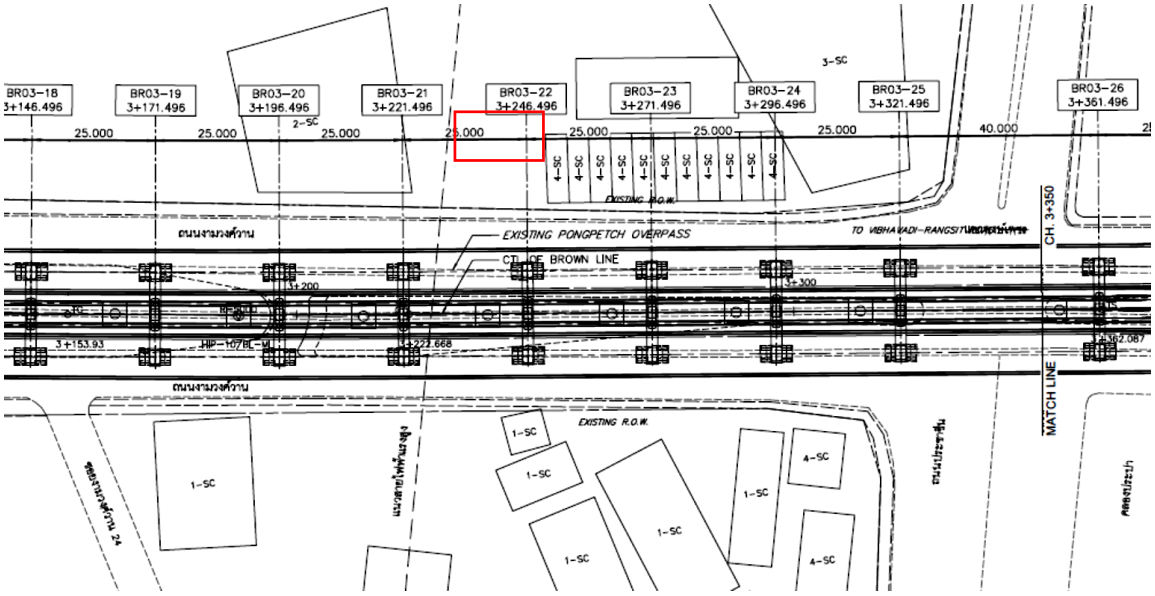
การก่อสร้างคานทางวิ่งของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ฯ ใช้เป็นรูปแบบโครงสร้างคอนกรีตหล่อสำเร็จ โดยสำหรับกรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรนี้มีลักษณะข้อจำกัดจากระยะความสูงของแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงคล้ายคลึงกับข้อจำกัดจากโครงสร้างทางด่วนของกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนในเนื้อหาบทที่ 5 แต่สายส่งไฟฟ้าแรงสูงอยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่าโครงสร้างทางด่วน ในที่นี้จึงนำเสนอทางเลือกวิธีการก่อสร้างคานทางวิ่งโดยใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ ในรูปแบบเดียวกันกับกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน ที่มีความแตกต่างของทางเลือกวิธีการก่อสร้างในรูปแบบของการยกติดตั้งคานทางวิ่ง ซึ่งประกอบด้วย วิธีการยกติดตั้งด้วยเครน วิธีการยกติดตั้งด้วย Launcher และวิธีการยกติดตั้งด้วย Heavy Lift เพียงแต่ระยะห่างช่วงคาน (Span) ของกรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรมีความยาว **25** ม. ดังแสดงในรูปที่ 7.1-1 ลดลงจากกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนที่ยาว 30 ม. จึงทำให้มีค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกันออกไป โดยสามารถคิดค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ ได้ในลักษณะเดียวกันดังนี้

อ้างอิงราคาต่อหน่วยจากหัวข้อที่ 5.1.1.3
ราคาค่าคอนกรีตหล่อสำเร็จ = 7,090.60 บ./ลบ.ม.
ราคาค่าเหล็กเสริม = 31.6 บ./กก. และคิดปริมาณที่ 116.13 กก./ลบ.ม.คอนกรีต
ราคาลวดอัดแรง = 102 บ./กก. และคิดปริมาณที่ 37.43 กก./ลบ.ม.คอนกรีต

คานทางวิ่งมีขนาดหน้าตัดประมาณ 0.8x2.0 ม. ยาว **25** ม. มีปริมาตร **40.0** ม.^{3}

- ค่าวัสดุคอนกรีตของคานทางวิ่ง = 40.0x7,090.60 = 283,624.00 บ.
- ค่าวัสดุเหล็กเสริม = 40.0x116.13x31.6 = 146,786.51 บ.
- ค่าวัสดุเหล็กลวดอัดแรง = 40.0x37.43x102 = 152,729.19 บ.

รวมค่าก่อสร้างของคานทางวิ่ง (รวมค่ายกติดตั้งและค่าบริหารจัดการจราจร) = 583,139.70 บ.



รูปที่ 7.1-1 รูปแปลนแสดงระยะช่วงความยาวคานบริเวณแยกพงษ์เพชรช่วงที่ลอดผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

ค่าก่อสร้างนี้คำนวณจากราคากลางที่รวมค่าติดตั้งด้วยเครนและค่าบริหารจัดการจราจรไว้แล้ว เพื่อให้ได้เฉพาะค่าก่อสร้างของคานทางวิ่งจึงต้องแยกค่าติดตั้งและค่าบริหารจัดการจราจรออกจากค่าก่อสร้างรวมดังกล่าว เพื่อจะได้นำส่วนของค่ายกชิ้นส่วนติดตั้งไปเปรียบเทียบกันระหว่างทางเลือกวิธีก่อสร้างที่แตกต่างกัน ดังนี้

- อ้างอิงค่าเช่าเครน (130 ตัน) จากข้อมูลสมาคมผู้ประกอบการรถเครน = 65,000 บ./คัน/วัน
- ใช้เครน 2 คันในยกติดตั้งคาน 1 ตัว ในเวลา 1 วัน คิดเป็นค่าเช่า =130,000 บ.
- ระยะความสูงจำกัดจากแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูง =23.5 ม. จากระดับพื้นถนนปัจจุบัน หรือ = 13.5 ม. ระยะความสูงช่วงว่างจากแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงถึงหลังคานทางวิ่ง ซึ่งระยะดังกล่าวมากเพียงพอกับการใช้เครนยกชิ้นส่วนคานได้ตามปกติ **ไม่**จำเป็นต้องทำการ Modify crane

สำหรับค่าบริหารจัดการจราจร สามารถอ้างอิงจากหัวข้อที่ 5.1.1.3 ที่ได้คำนวณค่าบริหารจัดการจราจรทั่วไปไว้แล้ว = **272.94 บาท/ชั่วโมง/กิโลเมตร** โดยสำหรับกรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรนี้

- การติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัวใช้เวลาประมาณ **10** วัน สำหรับการติดตั้งคานแบบปกติที่ไม่มีข้อจำกัดในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ ของงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) ซึ่งต้องทำการปิดจราจรในช่องทางริมเกาะกลางตามปกติ 1 ช่องจราจรตลอดเวลา
- สมมติในการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัว ต้องปิดการจราจรเป็นระยะทางรวม 500 ม.
- ปิดจราจรเพิ่มอีก 1 ช่องจราจรเป็นเวลา **5 ชม.** (ปิดจราจรช่วงเวลา 22:00 ถึง 03:00 รวม 5 ชั่วโมง) เฉพาะวันที่ทำการติดตั้งคานทางวิ่ง

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = 272.94x**10**x24x0.5 + 272.94x**5**x0.5
= 32,752.18 + 682.34 = **33,434.52 บ.**

สรุปได้ว่าค่าก่อสร้างในส่วนของชิ้นส่วนคานทางวิ่ง (ไม่รวมค่าติดตั้งและค่าบริหารจัดการจราจร) คิดหักเฉพาะค่าก่อสร้างในส่วนของการยกชิ้นส่วนด้วยเครนตามปกติ จะได้ค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนคานทางวิ่งเท่ากับ = 583,139.70 – 130,000.00 – 32,752.18 = **420,387.52 บ.**

หมายเหตุ : ค่าก่อสร้างในส่วนของชิ้นส่วนคานทางวิ่งนี้จะมีค่าเท่ากันทุกทางเลือกวิธีการก่อสร้าง

- **วิธีการยกติดตั้งด้วยเครน**

ค่าก่อสร้างคานทางวิ่งด้วยการยกติดตั้งด้วยเครนจะประกอบด้วย

- ค่าชิ้นส่วนคานทางวิ่ง = **420,387.52** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.1)
- ค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วน = **130,000.00** บ./คาน 1 ตัว (จัดอยู่ในกลุ่มของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว, ข้อมูลปัจจัยที่ 1.3)
- ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = **33,434.52** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.5)

- **วิธีการยกติดตั้งด้วย Launcher**

ในการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่งด้วย Launcher จะมีค่าใช้จ่ายหลักคือค่าอุปกรณ์ชุด Launcher ดังที่ได้เสนอไว้ในหัวข้อที่ 5.1.1.3 ที่มีลักษณะเป็นคานเหล็กขนาดใหญ่หรือโครงถักที่มีราคาต้นทุนสูง ต้องผลิตในโรงงานแล้วจึงนำมาประกอบติดตั้งที่หน้างานก่อสร้าง โดยใช้หลักการคิดค่าใช้จ่ายต่างๆ ของการยกคานทางวิ่งด้วย Launcher ในลักษณะเดียวกันกับที่นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 5.1.1.3 และอ้างอิงค่าใช้จ่ายราคาต่อหน่วยที่เท่ากัน สามารถคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ชุด Launcher ได้ดังนี้

- ราคาค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วย Launcher เท่ากับ = 28,099.52 บ./ม.^{3}
- สำหรับชิ้นส่วนคานทางวิ่งของกรณีศึกษานี้มีปริมาตร = **40** ม.^{3}
- คิดเป็นค่าก่อสร้างคานทางวิ่งโดยยกติดตั้งด้วยอุปกรณ์ชุด Launcher = 1,123,980.69 บ.

ค่าก่อสร้างนี้คำนวณจากราคากลางที่อนุมานว่ารวมค่าติดตั้งด้วยชุดอุปกรณ์ Launcher และค่าบริหารจัดการจราจรไว้แล้ว

สำหรับค่าบริหารจัดการจราจร สามารถคำนวณจากอัตราค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้างที่คิดไว้แล้วในทางเลือกวิธีการยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน ซึ่งเท่ากับ **272.94 บาท/ชั่วโมง/กิโลเมตร** โดย

- สมมติการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัวด้วย Launcher ใช้เวลาประมาณ **15** วัน (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ ของงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) และมีการปิดจราจรในช่องทางริมเกาะกลางตามปกติ 1 ช่องจราจรตลอดเวลา
- สมมติในการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัว ต้องปิดการจราจรเป็นระยะทางรวม 500 ม.

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = 272.94x15x24x0.5 = **49,128.27 บ.**

จะสามารถคำนวณกลับได้ว่าค่าอุปกรณ์ชุด Launcher ซึ่งในที่นี้จะจัดเป็นค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.3) = 1,123,980.69 – 420,387.52 – 49,128.27 = **654,464.90 บ.**

ค่าก่อสร้างคานทางวิ่งด้วยการยกติดตั้งด้วย Launcher สามารถสรุปค่าใช้จ่ายประกอบด้วย

- ค่าชิ้นส่วนคานทางวิ่ง = **420,387.52** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.1)
- ค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วน = **654,464.90** บ./คาน 1 ตัว (จัดอยู่ในกลุ่มของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว, ข้อมูลปัจจัยที่ 1.3)
- ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = **49,128.27** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.5)

- **วิธีการยกติดตั้งด้วย Heavy Lift**

ในการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่งด้วย Heavy Lift ใช้หลักการคิดค่าใช้จ่ายและอ้างอิงค่าค่าใช้จ่ายต่อหน่วยเช่นเดียวกับที่นำเสนอในกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน (บทที่ 5 หัวข้อที่ 5.1.1.3) โดยมีสมมติฐานค่าใช้จ่ายโครงสร้างชั่วคราวของอุปกรณ์ Heavy Lift เป็นครึ่งหนึ่งของค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ Launcher เนื่องจากมีขนาดโครงสร้างชั่วคราวที่เล็กกว่า = 654,464.90/2 = **327,232.45 บ.**

สำหรับค่าบริหารจัดการจราจร สามารถคำนวณเหมือนวิธีการยกด้วยอุปกรณ์ชุด Launcher ดังนี้

- อัตราค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = 272.94 บาท/ชั่วโมง/กิโลเมตร
- สมมติการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัวด้วย Heavy Lift ใช้เวลาประมาณ **20** วัน (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นผู้รับเหมาของงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีเหลืองว่าการติดตั้งด้วยอุปกรณ์ชุด Heavy Lift ใช้เวลานานกว่าการทำงานด้วยอุปกรณ์ชุด Launcher) และมีการปิดจราจรในช่องทางริมเกาะกลางตามปกติ 1 ช่องจราจรตลอดเวลา
- สมมติในการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 ตัว ต้องปิดการจราจรเป็นระยะทางรวม 500 ม.

ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = 272.94x20x24x0.5 = **65,504.36 บ.**

ค่าก่อสร้างคานทางวิ่งด้วยการยกติดตั้งด้วย Heavy Lift สามารถสรุปค่าใช้จ่ายประกอบด้วย

- ค่าชิ้นส่วนคานทางวิ่ง = **420,387.52** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.1)
- ค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วน = **327,232.45** บ./คาน 1 ตัว (จัดอยู่ในกลุ่มของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว, ข้อมูลปัจจัยที่ 1.3)
- ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจร = **65,504.36** บ./คาน 1 ตัว (ข้อมูลปัจจัยที่ 1.5)

7.1.2 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.2)

สำหรับค่าใช้จ่ายของปัจจัยนี้หากเป็นการก่อสร้างที่ตำแหน่งเดียวกันจะไม่แตกต่างกัน โดยอ้างอิงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อระยะทางจากข้อมูลราคากลางของโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ก่อสร้างเป็นระยะทาง 8.8 กม.) และสายสีม่วง (ก่อสร้างเป็นระยะทาง 9.3 กม.) ตามหัวข้อที่ 5.1.2 จะมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ **63,432** บาท/ม. ของระยะทางโครงการ

อย่างไรก็ตามในกรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรนี้ มีความแตกต่างจากกรณีศึกษาก่อนหน้าตรงที่มีสะพานรถยนต์โครงสร้างเหล็กข้ามแยกขนาด 4 ช่องจราจรอยู่เดิม จำเป็นต้องทำการรื้อออกเพื่อสร้างใหม่

พร้อมโครงสร้างของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในบริเวณนี้ ซึ่งต้องคิดรวมค่าใช้จ่ายในการรื้อถอนสะพานเดิมเข้าในส่วนนี้ด้วย โดยในที่นี้ใช้การอ้างอิงจากข้อมูลราคากลางค่ารื้อย้ายสะพานข้ามแยก ม. เกษตรฯ ซึ่งมีความยาวสะพานประมาณ 1300 ม. ของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงหมอชิต – สะพานใหม่ – คูคต เท่ากับ 29,250,000 บาท จะสามารถคิดค่าใช้จ่ายในการรื้อย้ายสะพานต่อหน่วยความยาวได้ = 29,250,000/1300 = **22,500** บาท/ม.

ดังนั้นเมื่อรวมค่ารื้อย้ายสะพานนี้เข้ากับค่าใช้จ่ายในการเตรียมพื้นที่ เคลื่อนย้ายสาธารณูปโภคตามปกติที่คิดเฉลี่ยต่อความยาวโครงการไว้เบื้องต้น จะได้ค่าใช้จ่ายรวมในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอนและการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภคของกรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรนี้ รวมเท่ากับ 64,342 + 22,500 = **85,932 บาท/ม.**

7.1.3 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.3)

ในส่วนงานก่อสร้างใต้ดิน (เสาเข็ม) ไม่ต้องติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวใดๆ มีเพียงการขุดดิน ลงเหล็กเสริม เทคอนกรีต และ การทดสอบ เท่านั้น ซึ่งได้คิดรวมไปในค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างแล้ว แต่สำหรับการก่อสร้างโครงสร้างบนดิน ได้แก่ ส่วนของเสาตอม่อและคานขวาง และ ส่วนของคานทางวิ่ง จะมีค่าใช้จ่ายของปัจจัยนี้ที่มีความแตกต่างกัน วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ ในขณะที่วิธีการสร้างแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จไม่ต้องมี แต่จะเป็นค่าใช้จ่ายในการยกติดตั้งชิ้นส่วนแทน โดยมีรายละเอียดดังนี้

7.1.3.1 งานก่อสร้างเสาเข็ม

ไม่มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว

7.1.3.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง

- **วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่**

งานเทคอนกรีตในที่จะต้องมีการเข้าไม้แบบสำหรับหล่อคอนกรีต และในที่มีความสูงจะต้องติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวนั่งร้านและค้ำยันขนาดใหญ่ตามความสูงของเสาตอม่อ ในที่นี้จึงใช้วิธีประมาณค่าใช้จ่ายโดยคิดเป็นสัดส่วน **10%** ของค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อที่ 7.1.1.2 โดยมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ **215,281.54** บ./เสาตอม่อ 1 คู่ (โครงสร้างแบบเสาคู่ Portal Frame)

- **วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast)**

เป็นการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จแทนการเทคอนกรีตในที่ ทำให้วิธีนี้ไม่ต้องใช้โครงสร้างชั่วคราว เพราะไม่ต้องเข้าแบบเพื่อเทคอนกรีต อย่างไรก็ตามต้องใช้เครนในการยกและติดตั้งชิ้นส่วนของเสาและคานขวาง และใช้แบบหล่อในการผลิตชิ้นส่วนที่โรงงาน ซึ่งค่าใช้จ่ายต่างๆ เหล่านี้จะรวมอยู่ในราคาค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นๆ ซึ่งดังที่ได้นำเสนออธิบายไว้ก่อนหน้าในหัวข้อที่ 7.1.1.2 ได้ประมาณค่าใช้จ่ายส่วนนี้ไว้เท่ากับ **5%** ของราคาค่าก่อสร้างของชิ้นส่วนเสาและตอม่อ ซึ่งมีค่าเท่ากับ **92,704.32** บ./เสาตอม่อ 1 คู่ (โครงสร้างแบบเสาคู่ Portal Frame)

7.1.3.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง

การก่อสร้างคานทางวิ่งใช้รูปแบบของโครงสร้างชิ้นส่วนหล่อสำเร็จนำมาติดตั้ง ดังนั้นจึงไม่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราว อย่างไรก็ตามต้องใช้เครนในการยกและติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่ง ในที่นี้จึงพิจารณาค่าใช้จ่ายของการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่งอยู่ในหมวดของค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว โดยมีรายละเอียดดังที่ได้อธิบายไว้แล้วก่อนหน้าในหัวข้อที่ 7.1.1.3 สรุปค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

- **วิธีการยกด้วยเครน** มีค่าใช้จ่าย = **130,000.00** บาท/คาน 1 ตัว
- **วิธีการยกด้วย Launcher** มีค่าใช้จ่าย = **654,464.90** บาท/คาน 1 ตัว
- **วิธีการยกด้วย Heavy Lift** มีค่าใช้จ่าย = **327,232.45** บาท/คาน 1 ตัว

7.1.4 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และ สิ่งแวดล้อม (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.4)

สำหรับทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่นำเสนอของกรณีศึกษาสำหรับการก่อสร้างในส่วนงานโครงสร้างต่างๆ นั้น ในส่วนของการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางด้วยวิธีเทคอนกรีตในที่อาจมีผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และ สิ่งแวดล้อม บ้างเล็กน้อย เนื่องจากการก่อสร้างอาจมีเสียงดังจากหินกระทบกันในระหว่างการเทและจี้คอนกรีต ฝุ่นปูนเมื่อคอนกรีตแข็งตัว เป็นต้น อย่างไรก็ตามผลกระทบดังกล่าวอาจพิจารณาว่าไม่มีนัยสำคัญ เพราะวิธีการเทคอนกรีตในที่เป็นวิธีก่อสร้างแบบพื้นฐานทั่วไป (Conventional method) ซึ่งมีมาตรการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และ สิ่งแวดล้อม อยู่แล้วตามปกติ ส่วนในงานการก่อสร้างเสาเข็ม และ การก่อสร้างคานทางวิ่ง ถือได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันในเรื่องของการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และ สิ่งแวดล้อม ดังนั้นในที่นี้จึงพิจารณาค่าใช้จ่ายของปัจจัยนี้อ้างอิงเท่ากันหมดในทุกทางเลือกวิธีการก่อสร้าง เช่นเดียวกับที่นำเสนอไว้ในกรณีศึกษาอื่นๆ ก่อนหน้าในบทที่ 5 และ 6 ซึ่งมีค่าเท่ากับ **8,179.04** บ./ม. ของระยะทางโครงการ

7.1.5 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.5)

ค่าใช้จ่ายในการในการบริหารการจราจรจะแปรผันตามระยะเวลาในการก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างที่ใช้ว่ามีผลกระทบต่อการจราจรมากน้อยเพียงใด โดยใช้อัตราค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการจราจรอ้างอิงตามหัวข้อที่ 7.1.1.3 ดังที่ได้คำนวณไว้ก่อนหน้าในบทที่ 5 (หัวข้อที่ 5.1.1.3) ของกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน) เท่ากับ **272.94** บาท/ชั่วโมง/กิโลเมตร ของระยะทางโครงการที่ทำการปิดจราจร เท่ากันในทุกทางเลือกของวิธีการก่อสร้าง ซึ่งสรุปได้ดังนี้

7.1.5.1 งานก่อสร้างเสาเข็ม

ทางเลือกในการก่อสร้างเสาเข็มได้แก่การใช้เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) และเสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile) ซึ่งทั้ง 2 วิธี ใช้พื้นที่ก่อสร้างที่เตรียมไว้สำหรับโครงการตามปกติเหมือนกัน ไม่ต้อง

มีการปิดจราจรเพิ่มเติม ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการบริหารการจัดจราจรของวิธีก่อสร้างทั้ง 2 แบบนี้จึงขึ้นอยู่กับระยะเวลาการก่อสร้างดังนี้

- **เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette)** ใช้เวลาก่อสร้าง **60** วันต่อฐาน (อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นที่ปรึกษาฯ งานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู) สมมติระยะทางที่เกี่ยวข้องในการทำงานเสาเข็มฐานรากแต่ละฐานเท่ากับ 500 ม. ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่าย = 272.94x60x24x0.5 = **196,513.08** บ./ฐาน
- **เสาเข็มเจาะแบบกลม (Bored Pile)** ใช้เวลาก่อสร้างประมาณ **60** วันต่อฐาน (จากข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ ให้ระยะเวลาการก่อสร้างเสาเข็มเจาะเท่ากันกับกรณีของเสาเข็มแบบเหลี่ยม ทั้งนี้เนื่องจากกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชรมีพื้นที่การก่อสร้างค่อนข้างมาก เพราะต้องมีการรื้อย้ายสะพานรถยนต์ข้ามแยกร่วมด้วย โครงสร้างเป็นแบบเสาคู่มีขนาดใหญ่ ฐานรากแต่ละฐานใช้เสาเข็มประมาณ 4 ต้น ทำให้แม้เสาเข็มเจาะแบบกลมโดยปกติแล้วจะสร้างได้รวดเร็วกว่าเสาเข็มแบบเหลี่ยมเล็กน้อยเพราะไม่ต้องเสียเวลาในการทำ Guide wall แต่เมื่อต้องทำการเจาะเสาเข็มจำนวนหลายต้นทำให้การทำ Guide wall หลายตัวพร้อมกันสามารถทำได้รวดเร็วขึ้นในคราวเดียว อีกทั้งเสาเข็มเจาะแบบกลมมีขนาดใหญ่กว่าเสาเข็มแบบเหลี่ยม ฐานรากเสาเข็มเจาะแบบกลมจึงมีขนาดใหญ่กว่าถือได้ว่าชดเชยกัน จึงทำให้พิจารณาว่าใช้เวลาในการก่อสร้างเท่ากันกับเสาเข็มแบบเหลี่ยม) ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่าย = 272.94x60x24x0.5 = **196,513.08** บ./ฐาน

7.1.5.2 งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง

- **วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่**
  (อ้างอิงข้อมูลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่ปรึกษาฯ งานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู)
  ใช้เวลาก่อสร้าง **80** วันต่อเสา 1 ต้น คิดเป็นระยะเวลาปิดจราจร = **160** วัน/Portal Frame
  สมมติระยะทางที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง = 500 ม.
  ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่าย = 272.94x160x24x0.5 = **524,034.87 บ./Frame**

- **วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ (Precast)**
  ใช้เวลาก่อสร้าง **30** วันต่อเสา 1 ต้น คิดระยะเวลาปิดจราจร = **60** วัน/Portal Frame
  สมมติระยะทางที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้าง = 500 ม.
  ในขณะใช้เครนยกติดตั้งชิ้นส่วน ปิดจราจรเพิ่มอีก = 10 ชั่วโมง
  การติดตั้งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จต้องปิดจราจรเพิ่มเติมประมาณ 1 ช่องจราจรสำหรับติดตั้งรถเครนเพื่อใช้ในการยกติดตั้งชิ้นส่วน โดยใช้เวลาในการติดตั้งชิ้นส่วนประมาณ 1 คืน (เสา 1 ต้น ใช้เวลาติดตั้งประมาณ 5 ชั่วโมง ดังนั้นเสาคู่ Portal Frame ใช้เวลาติดตั้งประมาณ 10 ชั่วโมง)
  ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่ายรวม = 272.94 x (60x24 + 10) x 0.5 = **197,877.75 บ./Frame**

7.1.5.3 งานก่อสร้างคานทางวิ่ง

ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรของงานก่อสร้างคานทางวิ่งซึ่งเป็นรูปแบบชิ้นส่วนคานหล่อสำเร็จ ได้อธิบายไว้แล้วก่อนหน้าในหัวข้อที่ 7.1.1.3 สรุปได้ดังนี้

- **วิธียกติดตั้งด้วยเครน** มีค่าใช้จ่ายในการบริหารการจัดจราจร = **33,434.52** บ./คาน
- **วิธียกติดตั้งด้วย Launcher** มีค่าใช้จ่ายในการบริหารการจัดจราจร = **49,128.27** บ./คาน
- **วิธียกติดตั้งด้วย Heavy Lift** มีค่าใช้จ่ายในการบริหารการจัดจราจร = **65,504.36** บ./คาน

7.1.6 ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.6)

สำหรับกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชรนี้ การก่อสร้างอยู่ในแนวเกาะกลางของถนนงามวงศ์วาน จึงไม่มีค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน (= **0.00** บาท)

7.1.7 ข้อมูลค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.7)

ในส่วนงานก่อสร้างใต้ดิน (งานฐานรากและเสาเข็ม) ไม่มีค่าใช้จ่ายในหมวดนี้

ในส่วนงานก่อสร้างบนดิน จะมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมบำรุงรักษาหลักๆ เฉพาะในส่วนของโครงสร้างรูปแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ซึ่งอาจต้องมีการตรวจสอบซ่อมแซมบริเวณรอยต่อ จุดรองรับ ลวดอัดแรง ฯลฯ เป็นต้น โดยในที่นี้จะคิดประมาณเป็นอัตราเท่ากับ **2%** ของค่าก่อสร้าง (ตามข้อมูลในหัวข้อที่ 7.1.1.2 และ 7.1.1.3) ดังนี้

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา = **0** บ./ฐาน
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา = **0** บ./ฐาน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษา = **0** บ./Frame
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาคิดเท่ากับ 2% ของค่าก่อสร้าง =0.02x1,761,382.03 = **14,055.58** บ./เสา
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ โดยย้ายตำแหน่งของเสาตอม่อ** ออกมาให้พ้นแนวเส้นทางของทางยกระดับอุตราภิมุข มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาคิดเท่ากับ 2% ของค่าก่อสร้าง = 0.02x732,739.22 = **35,227.64** บ./Frame
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง (ทุกวิธีของการยกติดตั้ง)** มีค่าซ่อมแซมบำรุงรักษาคิดเท่ากับ 2% ของค่าก่อสร้าง = 0.02x420,387.52 = **8,407.75** บ./คาน

7.1.8 ข้อมูลค่าใช้จ่ายอื่นๆ (ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยที่ 1.8)

เป็นค่าใช้จ่ายส่วนที่ไม่สามารถระบุได้ชัดเจน ในที่นี้จะประมาณการไว้ที่ **5%** ของค่าก่อสร้าง (ตามข้อมูลในหัวข้อที่ 7.1.1.1, 7.1.1.2 และ 7.1.1.3) ดังนี้

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** คิด 5% = 0.05x20,920.25 = **1,046.01** บ./ฐาน
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** คิด 5% = 0.05x32,294.37 = **1,614.72** บ./ฐาน
- **งานก่อสร้างเสาและคานขวางหล่อในที่** คิด 5% = 0.05x1,937,533.84 = **96,876.69** บ./Frame

- **งานก่อสร้างเสาและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** คิด 5% = 0.05x1,761,382.03
  = **88,069.10** บ./Frame
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง (ทุกวิธีของการยกติดตั้ง)** คิด 5% = 0.05x420,387.52
  = **21,019.38** บ./คาน

สามารถสรุปข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ของทางเลือกวิธีการก่อสร้างทั้งหมดสำหรับกรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขนได้ดังตารางที่ 7.1-1

ตารางที่ 7.1-1 : ข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ของวิธีก่อสร้างกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชร

		วิธีการก่อสร้าง	งานเสาเข็ม			
			เข็มแบบเหลี่ยม	เข็มเจาะ		หน่วย
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	20,920.25	32,294.37		บ./ม. ความยาวเข็ม
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ รื้อถอน และเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	85,931.55	85,931.55		บ./ม. ระยะทาง
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	-	-		บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	8,179.04	8,179.04		บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างก่อสร้าง	196,513.08	196,513.08		บ./ฐาน
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	-	-		บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)	-	-		บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	1,046.01	1,614.72		บ./ม. ความยาวเข็ม
		วิธีการก่อสร้าง	เสา และ คานขวาง			
			หล่อในที่	Precast		หน่วย
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	1,937,533.84	1,761,382.03		บ./Frame
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ รื้อถอน และเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	85,931.55	85,931.55		บ./ม. ระยะทาง
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	215,281.54	92,704.32		บ./Frame
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	8,179.04	8,179.04		บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างก่อสร้าง	524,034.87	197,877.75		บ./Frame
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	-	-		บ./Frame
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)	-	35,227.64		บ./Frame
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	96,876.69	88,069.10		บ./Frame
		วิธีการก่อสร้าง	คานทางวิ่ง			
			Precast ยกด้วย Crane	Precast ยกด้วย Launching Truss	Precast ยกด้วย Heavy Lift	หน่วย
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	420,387.52	420,387.52	420,387.52	บ./คาน 1 ตัว
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ รื้อถอน และเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	85,931.55	85,931.55	85,931.55	บ./ม. ระยะทาง
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	130,000.00	654,464.90	327,232.45	บ./คาน 1 ตัว
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	8,179.04	8,179.04	8,179.04	บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างก่อสร้าง	33,434.52	49,128.27	65,504.36	บ./คาน 1 ตัว
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	-	-	-	บ./คาน 1 ตัว
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)	8,407.75	8,407.75	8,407.75	บ./คาน 1 ตัว
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	21,019.38	21,019.38	21,019.38	บ./คาน 1 ตัว

7.2 ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง

ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง จะเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการก่อสร้างและข้อจำกัดต่างๆ ของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างนั้นๆ โดยในที่นี้ได้รวบรวมข้อมูลจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญประกอบด้วยที่ปรึกษาควบคุมงานก่อสร้างและผู้รับเหมาก่อสร้างที่มีประสบการณ์ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของทางเลือกวิธีการก่อสร้างแต่ละวิธีได้ในรูปแบบของแบบสอบถามดังแสดงในตารางที่ 7.2-1 ถึง ตารางที่ 7.2-3 โดยสามารถอธิบายแจกแจงในรายละเอียดได้ดังนี้

ตารางที่ 7.2-1 : ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างเสาเข็ม**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง	
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง			เสาเข็มแบบเหลี่ยม	เสาเข็มเจาะแบบกลม
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/ฐาน)	60	60
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	ไม่มี
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	- - ✓ -	- - ✓ -
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	4-5	4-5
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- - - -	- - - -
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้ายและผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- - ✓ -	- - ✓ -
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	- - - -	- - - -
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	- ข้อจำกัดด้านความลึกดินในการทำงาน - ข้อจำกัดด้านการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง - ข้อจำกัดเรื่องน้ำใต้ดิน - ข้อจำกัดเรื่องชนิดของดิน	- ✓ - -	- - - -

ตารางที่ 7.2-2 : ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง	
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง			**คอนกรีตเทในที่**	**Precast**
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/ Frame)*	160	60
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	ไม่มี
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	- - - -	✓ ✓ ✓ -
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	8-10**	4-5**
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- ✓ - -	- - - -
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้ายและผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- - - -	- - - ✓
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	 - - ✓	 ✓ ✓ -

* โครงสร้างรูปแบบเสาคู่ (Portal Frame)

** ผู้เชี่ยวชาญที่ทำแบบสอบถามประเมินจำนวนผู้รับเหมาเท่ากัน แต่ทางที่ปรึกษาฯ มีความเห็นว่าวิธี Precast ต้องการผู้เชี่ยวชาญพิเศษ น่าจะมีข้อจำกัดมากกว่า จำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำได้น่าจะมีจำนวนลดลง

ตารางที่ 7.2-3 : ข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างของ **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง		
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง			**การติดตั้งด้วยเครน**	**การติดตั้งด้วย Launcher**	**การติดตั้งด้วย Heavy Lift**
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/คาน)	10	15	20
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ* (เดือน)	ไม่มี	1**	1**
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	✓ - ✓ -	✓ - ✓ ✓	✓ - ✓ ✓
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	8-10***	4-5***	4-5***
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง(อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- - - -	- ✓ - -	- ✓ - -
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- - - -	- - - ✓	- - - ✓
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	 ✓ ✓ -	 ✓ ✓ -	 ✓ ✓ -

* สมมติงานก่อสร้างคานทางวิ่งทั้งหมดใช้เวลา 6 เดือน (T_{proj} = 6 m)

** เป็นข้อมูลความเห็นของทางที่ปรึกษาฯ ใกล้เคียงกันทั้ง 2 วิธี (ผู้เชี่ยวชาญที่ทำแบบสอบถามไม่ได้ให้ข้อมูลไว้)

*** ผู้เชี่ยวชาญที่ทำแบบสอบถามประเมินจำนวนผู้รับเหมาเท่ากัน แต่ทางที่ปรึกษาฯ มีความเห็นว่ากรณีแยกพงษ์เพชรนี้ เครนสามารถทำงานได้ตามปกติ เพราะระยะความสูงช่วงว่างมีเพียงพอ แต่การยกด้วย Launcher และ Heavy Lift ต้องมีผู้เชี่ยวชาญด้าน Hydraulic พิเศษ

7.2.1 ข้อมูลระยะเวลาการก่อสร้าง (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.1)

เป็นค่าระยะเวลาการก่อสร้างของส่วนงานนั้นๆ โดยในที่นี้ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ใช้เวลาประมาณ 60 วันต่อฐาน เนื่องด้วยเป็นโครงสร้างแบบเสาคู่ (Portal Frame) รับน้ำหนักมากกว่ารูปแบบเสาเดี่ยว ทั้งจากส่วนของโครงสร้างโครงการรถไฟฟ้าและโครงสร้างของสะพานรถยนต์ข้ามแยก จำนวนเสาเข็มต่อฐานจึงเพิ่มจาก

2 ต้นต่อฐานเป็น 4 ต้นต่อฐานทำให้ฐานรากมีขนาดใหญ่เป็นเท่าตัว อีกทั้งมีจำนวนเสา 2 ต้นต่อแต่ละโครง Frame การก่อสร้างจึงใช้เวลาค่อนข้างมาก

- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** สำหรับกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชรนี้ ได้พิจารณาขนาดเสาเข็มเจาะแบบกลมที่มีกำลังเทียบเท่ากับเสาเข็มแบบเหลี่ยม เพื่อให้มีจำนวนเสาเข็มที่เท่ากัน พบว่าเสาเข็มเจาะแบบกลมจะมีขนาดใหญ่กว่าเสาเข็มแบบเหลี่ยม ดังนั้นแม้ว่าโดยปกติแล้วเสาเข็มเจาะแบบกลมจะสามารถก่อสร้างได้รวดเร็วกว่าเสาเข็มแบบเหลี่ยมเล็กน้อย แต่ด้วยขนาดที่เพิ่มขึ้น ถือได้ว่าชดเชยกัน ทำให้ในที่นี้ประมาณการเวลาก่อสร้างของเสาเข็มเจาะแบบกลมไว้เท่ากันกับการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมคือ 60 วันต่อฐาน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** ใช้เวลาประมาณ 80 วันต่อเสาเช่นเดียวกันกับการก่อสร้างของกรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขน แต่เนื่องจากโครงสร้างเป็นรูปแบบเสาคู่ จึงใช้เวลารวมประมาณ 160 วันต่อเฟรม
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ใช้เวลาประมาณ 30 วันต่อเสาเช่นเดียวกันกับการก่อสร้างของกรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขน แต่เนื่องจากโครงสร้างเป็นรูปแบบเสาคู่ จึงใช้เวลารวมประมาณ 60 วันต่อเฟรม
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** ใช้เวลาประมาณ 10 วันต่อคาน เช่นเดียวกันกับการก่อสร้างของกรณีศึกษาบริเวณแยกบางเขน และนานกว่ากรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วนเล็กน้อย เนื่องจากบริเวณแยกบางเขนและแยกพงษ์เพชรมีการจราจรที่หนาแน่นกว่าการก่อสร้างคืบหน้าไปได้ช้ากว่าเล็กน้อย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** ใช้เวลาประมาณ 15 วันต่อคาน นานกว่าการยกติดตั้งด้วยเครน เนื่องจากต้องใช้เวลาในการติดตั้งตัว Launcher ซึ่งเป็นโครงเหล็กถักชั่วคราวขนาดใหญ่ และใช้การยกคานทางวิ่งด้วยระบบ Hydraulic ซึ่งทำให้ยกได้ช้า
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** ใช้เวลาประมาณ 20 วันต่อคาน โดยข้อมูลนี้เป็นความเห็นของที่ปรึกษาฯ เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญฯ ไม่ได้ให้คำตอบไว้ โดยคาดการณ์จากวิธีการก่อสร้างแบบ Heavy Lift ที่ใช้เวลาการติดตั้งอุปกรณ์นานกว่าวิธีอื่น จึงควรใช้เวลามากกว่าการยกติดตั้งด้วย Launcher ในที่นี้จึงประมาณเวลาติดตั้งเพิ่มเป็น 20 วันต่อคาน

7.2.2 ข้อมูลระยะเวลารอคอยเครื่องมือฯ (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.2)

เป็นค่าระยะเวลาในการรอคอยเครื่องมือ เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรือ อื่นๆ ของส่วนงานต่างๆ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ไม่มีระยะเวลารอคอยเนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติที่หากทางผู้รับเหมามีอุปกรณ์เครื่องจักรต่างๆ พร้อม สามารถเริ่มทำงานได้ทันที
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ไม่มีระยะเวลารอคอยเนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติที่หากทางผู้รับเหมามีอุปกรณ์เครื่องจักรต่างๆ พร้อม สามารถเริ่มทำงานได้ทันที
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** ไม่มีระยะเวลารอคอยเนื่องจากเป็นวิธีก่อสร้างตามปกติที่หากทางผู้รับเหมามีอุปกรณ์เครื่องจักรต่างๆ พร้อม สามารถเริ่มทำงานได้ทันที
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ไม่มีระยะเวลารอคอยเนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติที่หากทางผู้รับเหมามีอุปกรณ์เครื่องจักรต่างๆ พร้อม

สามารถเริ่มทำงานได้ทันที แม้จะต้องการเทคนิคการก่อสร้างเฉพาะทาง แต่เครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้เป็นเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** ไม่มีระยะเวลารอคอยเนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติที่หากทางผู้รับเหมามีเครนพร้อม สามารถเริ่มทำงานได้ทันที ซึ่งเครนเป็นเครื่องจักรที่นิยมใช้แพร่หลายในงานต่างๆ มากมาย สามารถหาได้ในท้องตลาดทั่วไป
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** คิดระยะเวลารอคอยนาน 1 เดือน จากการที่ต้องผลิตโครงสร้างเหล็กชั่วคราวที่มีขนาดใหญ่ เพื่อใช้เป็นจุดรองรับของอุปกรณ์ชุด Launcher และระบบ Hydraulic ที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ โดยในที่นี้คาดว่าหากทางผู้รับเหมาได้วางแผนงานก่อสร้าง ระยะเวลาในการนำเข้าและผลิตโครงเหล็ก (Fabrication) จากโรงงานควรใช้เวลาประมาณ 1 เดือน และจากระยะเวลาของงานก่อสร้างบริเวณแยกพงษ์เพชรทั้งหมดของงานเสาเข็มและฐานราก (60 วันต่อฐาน มี 2 ฐานต่อเฟรม) และเสาตอม่อและคานขวาง (60 วันต่อเฟรม) รวมประมาณ 180 วันหรือ 6 เดือน (T_{proj} = 6 เดือน)
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** คิดระยะเวลารอคอยนาน 1 เดือนเหมือนกรณีของการยกติดตั้งด้วยการใช้อุปกรณ์ชุด Launcher เนื่องจากต้องต้องผลิตโครงสร้างเหล็กชั่วคราวที่มีขนาดใหญ่เพื่อใช้เป็นจุดรองรับของอุปกรณ์ชุด Heavy Lift และระบบ Hydraulic ที่ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศเช่นเดียวกัน

7.2.3 ข้อมูลข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.3)

เป็นข้อมูลข้อจำกัดด้านวิศวกรรมในการก่อสร้างเกี่ยวข้องกับการขนส่งและติดตั้งเครื่องจักร วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ เพื่อเตรียมงานก่อสร้าง ในส่วนงานต่างๆ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** มีข้อจำกัดด้านเส้นทางขนส่ง เนื่องจากมีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่คือเครนและอุปกรณ์เจาะดิน ทำให้ต้องพิจารณาแนวเส้นทางในการขนส่งอุปกรณ์ที่เหมาะสม และอาจต้องขนส่งในช่วงเวลากลางคืน เพื่อลดผลกระทบด้านการจราจรต่อประชนชน ในด้านวัสดุก่อสร้าง เป็นวัสดุคอนกรีต เหล็กเสริม ทั่วๆ ไป
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** มีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่เช่นเดียวกันกับการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม รวมถึงอุปกรณ์ปลอกเหล็ก (Casing) ที่มีความยาวกว่า 10 ม. ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดเรื่องเส้นทางขนส่งเครื่องจักรและอุปกรณ์เช่นเดียวกัน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** ไม่มีข้อจำกัดในการขนส่งติดตั้ง เนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติ ใช้วัสดุทั่วไป แบบหล่อคอนกรีตจะเป็นแบบเหล็กแยกส่วนขนาดไม่ใหญ่มาก ไม่ก่อให้เกิดปัญหาในการขนส่งนำไปประกอบติดตั้งที่หน้างานก่อสร้างตามปกติ
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** มีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่คือเครน และต้องลำเลียงขนส่งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ เสาตอม่อและคานขวาง ทำให้ต้องพิจารณาขนาดที่เหมาะสมในการขนส่ง เส้นทางการขนส่งที่มีผลกระทบน้อยที่สุด และต้องทำการประกอบติดตั้งชิ้นส่วนด้วยผู้เชี่ยวชาญชำนาญการ จึงถือได้ว่ามีข้อจำกัดในการขนส่ง เส้นทางขนส่ง และการติดตั้ง

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** มีการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่คือเครน และต้องลำเลียงขนส่งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ จึงมีข้อจำกัดในเรื่องการขนส่ง และเส้นทางขนส่ง แต่สำหรับกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชรนี้ ข้อจำกัดด้านความสูงระยะเคลียร์ถึงสายส่งไฟฟ้าแรงสูง (15.5 ม.) มีเพียงพอในการใช้งานเครนตามปกติ ไม่จำเป็นต้องปรับแต่ง Modify crane ดังนั้นจึงถือไว้ไม่มีข้อจำกัดด้านวัสดุอุปกรณ์
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** มีการใช้เครื่องมือขนาดใหญ่คือโครงเหล็กถักชั่วคราว (Launching Truss) และต้องลำเลียงขนส่งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ จึงมีข้อจำกัดในเรื่องการขนส่ง และเส้นทางขนส่ง และต้องใช้อุปกรณ์ Hydraulic ที่ต้องสั่งนำเข้าและใช้ผู้ชำนาญการพิเศษในการใช้เครื่องมือ จึงถือเป็นข้อจำกัดด้านวัสดุอุปกรณ์
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** มีการใช้เครื่องมือขนาดใหญ่คือโครงเหล็กจุดรองรับชั่วคราว (Supporting Frame) และต้องลำเลียงขนส่งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ จึงมีข้อจำกัดในเรื่องการขนส่ง และเส้นทางขนส่ง และต้องใช้อุปกรณ์ Hydraulic ที่ต้องสั่งนำเข้าและใช้ผู้ชำนาญการพิเศษในการใช้เครื่องมือ จึงถือเป็นข้อจำกัดด้านวัสดุอุปกรณ์

7.2.4 ข้อมูลความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.4)

เป็นข้อมูลจำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำวิธีการก่อสร้างทางเลือกนั้นๆ ในส่วนงานต่างๆ ได้ เพื่อเปรียบเทียบวิธีการก่อสร้างว่าสามารถหาผู้รับเหมาได้ง่ายหรือจำกัดเฉพาะราย เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของวิธีก่อสร้าง โดยในที่นี้ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ในปัจจุบันผู้รับเหมาที่สามารถก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมของโครงการรถไฟฟ้าได้ สามารถก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมได้หมด จากข้อมูลการสัมภาษณ์มีจำนวนผู้รับเหมาก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมประมาณ 4-5 ราย
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ดังที่อธิบายข้างต้น ผู้รับเหมาที่สามารถก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมของโครงการรถไฟฟ้าได้ สามารถก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมได้หมด จึงสรุปว่ามีจำนวนผู้รับเหมาเสาเข็มเจาะแบบกลมพอๆ กันกับผู้รับเหมาเสาเข็มแบบเหลี่ยมคือประมาณ 4-5 ราย
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีจำนวนผู้รับเหมา 8-10 ราย ซึ่งถือว่ามีจำนวนมากเนื่องจากเป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติที่สามารถทำได้ทุกราย ไม่ต้องการผู้เชี่ยวชาญพิเศษ
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** มีจำนวนผู้รับเหมา 4-5 ราย ซึ่งน้อยกว่ากรณีวิธีก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ เนื่องจากต้องมีผู้เชี่ยวชาญด้านคอนกรีตอัดแรงและการประกอบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ทำให้จำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำได้มีลดน้อยลง
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** มีจำนวนผู้รับเหมา 8-10 ราย ซึ่งถือว่ามีจำนวนมาก เนื่องจากกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชรนี้ ข้อจำกัดด้านความสูงระยะเคลียร์ถึงสายส่งไฟฟ้าแรงสูง (15.5 ม.) มีเพียงพอในการใช้งานเครนตามปกติ ไม่ต้องจัดตำแหน่งเครน และไม่ต้องปรับแต่ง Modify crane ซึ่งเป็นการใช้งานเครนตามปกติทั่วไป ทำให้มีจำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำวิธีการก่อสร้างนี้ได้เป็นจำนวนมาก

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** มีจำนวนผู้รับเหมา 4-5 รายซึ่งถือว่ามีจำนวนไม่มากนัก เนื่องจากระบบ Launcher ต้องมีการใช้อุปกรณ์ชุด Hydraulic ที่ควบคุมด้วยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางพิเศษ จึงมีน้อยราย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** มีจำนวนผู้รับเหมา 4-5 รายซึ่งถือว่ามีจำนวนไม่มากนัก เนื่องจากระบบ Heavy Lift ต้องมีการใช้อุปกรณ์ชุด Hydraulic ที่ควบคุมด้วยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางพิเศษ จึงมีน้อยราย

7.2.5 ข้อมูลข้อจำกัดด้านความปลอดภัยในการก่อสร้างและความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.5)

เป็นข้อมูลด้านความปลอดภัยในงานก่อสร้างของส่วนงานต่างๆ ว่าวิธีใดปลอดภัยเหมาะสมกว่ากัน

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** เป็นงานใต้ดิน ไม่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ จึงไม่มีความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุใดเป็นพิเศษ
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** เป็นงานใต้ดิน ไม่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ จึงไม่มีความเสี่ยงการเกิดอุบัติเหตุใดเป็นพิเศษ
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** ต้องมีการติดตั้งนั่งร้านก่อสร้างและค้ำยัน และติดตั้งแบบหล่อเสาและคานขวาง ทำให้มีความเสี่ยงอุบัติเหตุจากโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ไม่ต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ การก่อสร้างใช้เพียงเครนยกติดตั้งชิ้นส่วน จึงไม่มีความเสี่ยงอุบัติเหตุในการก่อสร้าง
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** ไม่ต้องใช้โครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ การก่อสร้างใช้เพียงเครนยกติดตั้งชิ้นส่วน จึงไม่มีความเสี่ยงอุบัติเหตุในการก่อสร้าง
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** ต้องมีการติดตั้งโครงสร้างเหล็กถักชั่วคราวยาวตลอดช่วงคานที่จะติดตั้งเพื่อใช้เป็นจุดรองรับอุปกรณ์ชุดรอกและ Hydraulic ทำให้มีความเสี่ยงอุบัติเหตุจากโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** ต้องมีการติดตั้งโครงสร้างเหล็กชั่วคราวที่เสาตอม่อแต่ละต้นเพื่อใช้เป็นจุดรองรับอุปกรณ์ชุดรอกและ Hydraulic ทำให้มีความเสี่ยงอุบัติเหตุจากโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่

7.2.6 ข้อมูลข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.6)

เป็นข้อมูลข้อจำกัดอุปสรรคด้านวิศวกรรมในการก่อสร้างส่วนงานต่างๆ ว่าแต่ละวิธีการก่อสร้างมีอุปสรรคข้อจำกัดใดบ้าง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** เป็นวิธีการก่อสร้างงานเสาเข็มที่ใช้พื้นที่น้อยเนื่องจากฐานรากมีขนาดเล็ก และสามารถก่อสร้างที่ระยะความสูงต่ำๆ ได้ วิธีการก่อสร้างเสาเข็มแบบ

เหลี่ยมจึงมีอุปสรรคเพียงอย่างเดียวคืองานรื้อย้ายระบบสาธารณูปโภคใต้ดิน ซึ่งจะทราบเมื่อทำการสำรวจและขุดเจาะดินบริเวณที่ก่อสร้าง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** มีอุปสรรคเพียงอย่างเดียวจากงานรื้อย้ายระบบสาธารณูปโภคใต้ดิน เช่นเดียวกันกับวิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม และสำหรับกรณีศึกษานี้ข้อจำกัดความสูงไม่เป็นปัญหาในการก่อสร้างเนื่องจากตำแหน่งก่อสร้างเสาเข็มไม่ตรงกับแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูง
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** พบว่าสำหรับกรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรนี้ ไม่มีข้อจำกัดสำหรับวิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ เนื่องด้วยแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงอยู่สูงพอที่จะไม่มีผลกระทบกับขั้นตอนการก่อสร้าง (สูงประมาณ 17.0 ม. จากระดับหลังคานขวาง)
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ไม่มีข้อจำกัดด้านความสูง แต่มีข้อจำกัดด้านเทคนิคการก่อสร้าง เนื่องจากใช้โครงสร้างระบบคอนกรีตหล่อสำเร็จอัดแรงภายหลัง ทำให้ต้องมีผู้เชี่ยวชาญด้านคอนกรีตอัดแรงและคอนกรีตหล่อสำเร็จพิเศษเฉพาะทางทำการดึงลวดอัดแรงและการประกอบรอยต่อชิ้นส่วน
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** พบว่าสำหรับกรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรนี้ ไม่มีข้อจำกัดสำหรับวิธีการยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน เนื่องด้วยแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงอยู่สูงพอที่จะไม่มีผลกระทบกับขั้นตอนการก่อสร้าง (สูงประมาณ 15.5 ม. จากระดับหลังคานทางวิ่ง)
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** เนื่องด้วยแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงอยู่สูงพอที่จะไม่มีผลกระทบกับขั้นตอนการก่อสร้าง ดังนั้นจึงมีเพียงข้อจำกัดด้านเทคนิคฯ ที่ต้องการผู้เชี่ยวชาญพิเศษในการควบคุมการใช้อุปกรณ์ชุด Hydraulic
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เนื่องด้วยแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงอยู่สูงพอที่จะไม่มีผลกระทบกับขั้นตอนการก่อสร้าง ดังนั้นจึงมีเพียงข้อจำกัดด้านเทคนิคฯ ที่ต้องการผู้เชี่ยวชาญพิเศษในการควบคุมการใช้อุปกรณ์ชุด Hydraulic

7.2.7 ข้อมูลด้านความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.7)

เป็นข้อมูลด้านความสวยงามเรียบร้อยของงานก่อสร้างในส่วนต่างๆ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** เป็นโครงสร้างใต้ดินจึงไม่ต้องพิจารณาปัจจัยด้านนี้
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** เป็นโครงสร้างใต้ดินจึงไม่ต้องพิจารณาปัจจัยด้านนี้
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีข้อจำกัดด้านความสวยงามเนื่องด้วยการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ควบคุมคุณภาพของผลงานได้ยาก การเทและจี้คอนกรีตที่ไม่ดีอาจทำให้คอนกรีตเข้าแบบไม่เต็ม เกิดฟองอากาศ เกิดการเยิ้มของคอนกรีต ฯลฯ ได้
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จผลิตจากโรงงาน สามารถควบคุมคุณภาพในระหว่างการผลิตได้ดี ขนาดชิ้นส่วนคลาดเคลื่อนต่ำ จึงไม่มีข้อบกพร่องด้านความสวยงามของชิ้นงานที่ต้องแก้ไข
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** เป็นชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จึงไม่มีข้อบกพร่องด้านความสวยงามของชิ้นงานที่ต้องแก้ไข

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** เป็นชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จึงไม่มีข้อบกพร่องด้านความสวยงามของชิ้นงานที่ต้องแก้ไข
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เป็นชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จึงไม่มีข้อบกพร่องด้านความสวยงามของชิ้นงานที่ต้องแก้ไข

7.2.8 ข้อมูลข้อจำกัดด้านคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด (ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ปัจจัยย่อยที่ 2.8)

เป็นข้อมูลข้อจำกัดด้านวิศวกรรมปฐพีในการก่อสร้างส่วนงานใต้ดิน ซึ่งในกรณีศึกษานี้จะมีเพียงงานก่อสร้างเสาเข็มและฐานรากเท่านั้นที่มีความเกี่ยวข้อง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** มีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนตัวของดิน เนื่องจากไม่มีปลอกเหล็ก (Casing) กันดินพังภายในหลุมเหมือนกรณีของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม มีเพียงกำแพงนำร่อง (Guide wall) บนดินเท่านั้น ซึ่งหากบริเวณที่ก่อสร้างมีดินอ่อน หรือฝนตกหนัก หรือมีน้ำหนักกดทับที่ผิวดินมาก อาจทำให้หลุมเจาะเสาเข็มเสียหายต้องซ่อมแซมได้
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ใช้ปลอกเหล็ก (Casing) เจาะลงในดินจึงสามารถป้องกันดินในหลุมพังได้ดีกว่าวิธีการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม

7.3 ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย

ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย เป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับชุมชนข้างเคียงประชาชนที่ได้รับผลกระทบจากการก่อสร้าง เช่น เรื่องความปลอดภัย ความยั่งยืนในการก่อสร้าง ความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงการจ้างงาน ฯลฯ โดยในที่นี้ได้รวบรวมข้อมูลจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญฯ ซึ่งประกอบด้วยที่ปรึกษาควบคุมงานก่อสร้างและผู้รับเหมาก่อสร้างที่มีประสบการณ์ในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย ของทางเลือกวิธีการก่อสร้างแต่ละวิธีได้ในรูปแบบของแบบสอบถามดังแสดงในตารางที่ 7.3-1 ถึง ตารางที่ 7.3-3 โดยสามารถอธิบายแจกแจงในรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 7.3-1 : ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย ของ **งานก่อสร้างเสาเข็ม**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง	
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย			**เสาเข็มแบบเหลี่ยม**	**เสาเข็มเจาะแบบกลม**
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง	-	✓
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ	-	-
		- ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	✓	✓

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง	
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง - ฝุ่นละออง - กลิ่น - การสั่นสะเทือน - ถนนชำรุด	- - - - -	✓ - - ✓ -
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	- ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ (L-D, เลน-วัน)	ไม่ต้องปิดเพิ่ม	ไม่ต้องปิดเพิ่ม
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	น้อย น้อย ไม่มี	น้อย น้อย ไม่มี
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	มาก	น้อย
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100%	100%
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืน	ไม่มี	ไม่มี

ตารางที่ 7.3-2 : ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย ของ **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง	
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย			**คอนกรีตเทในที่**	**Precast**
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ - ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ - ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	- - - - ✓	✓ - - - ✓
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง - ฝุ่นละออง - กลิ่น - การสั่นสะเทือน - ถนนชำรุด	✓ ✓ - - -	- - - - -
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	- ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ* (L-D, เลน-วัน)	ไม่ต้องปิดเพิ่ม	2x5/24 L-D**
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	มาก ไม่มี ไม่มี	น้อย ไม่มี ไม่มี

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง	
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	มาก	น้อย
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100%	100%**
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืน	ไม่มี	ไม่มี

* คิดระยะเวลาในการก่อสร้างตอม่อคานขวางแบบเสาคู่ 1 Frame ใช้เวลา 60 วัน, เวลาทั้งหมด T_{proj} = 60 วัน (60 L-D)
** ปิดจราจรเพิ่มในขณะเครนยกติดตั้งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ 1 ช่องจราจร 5 ชม./เสา 1 ต้น, เป็นเสาคู่ = 2x5/24 เลน-วัน
*** ใช้เครนทำงานได้ตามปกติ ไม่ต้องทำการ Modify

ตารางที่ 7.3-3 : ข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และ นโยบาย ของ **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง**

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก วิธีการก่อสร้าง		
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย			การติดตั้งด้วยเครน	การติดตั้งด้วย Launcher	การติดตั้งด้วย Heavy Lift
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง	✓	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด	-	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้	-	-	-
		- ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ	-	-	-
		- ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	✓	✓	✓
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง	✓	✓	✓
		- ฝุ่นละออง	-	-	-
		- กลิ่น	-	-	-
		- การสั่นสะเทือน	-	-	-
		- ถนนชำรุด	-	-	-
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ* (L-D, เลน-วัน)	2x5/24** L-D	ไม่ต้องปิดเพิ่ม	ไม่ต้องปิดเพิ่ม
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ	น้อย	น้อย	น้อย
		- ปริมาณน้ำเสีย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
		- มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	- จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (คน)	8-10	มาก	มากที่สุด
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100% (เครนปกติ)	นำเข้าชุด Hydraulic***	นำเข้าชุด Hydraulic***
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืน	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

* คิดระยะเวลาทั้งหมดในการก่อสร้างคานทางวิ่ง ติดตั้งคาน 1 คู่ใช้เวลา 2x10 วัน, T_{proj} = 20 วัน (20 L-D)
** ปิดจราจรเพิ่มในขณะเครนยกติดตั้งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ 1 ช่องจราจร 5 ชม./คาน 1 ตัว, ติดตั้งคาน 1 คู่ = 2x5/24 เลน-วัน
*** โครงสร้างเหล็กของ Launcher และ Heavy Lift สามารถผลิตจากโรงงานในไทยได้ แต่ต้องนำเข้าชุดอุปกรณ์ Hydraulic

7.3.1 ข้อมูลด้านความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่ (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.1)

ในที่นี้ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** มีการใช้เครื่องขุดดินและเครนขนาดใหญ่ จึงมีความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ ความสูงในการทำงานไม่มากจึงไม่มีความเสี่ยงเรื่องของตกจากที่สูง
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** มีการใช้เครื่องขุดดินและเครนขนาดใหญ่ รวมถึงปลอกเหล็ก (Casing) ที่มีความยาวประมาณ 20 ม. ต้องการระยะความสูงในการทำงาน จึงมีทั้งความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่และความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** การทำงานใช้การตั้งนั่งร้านและความสูงจำกัดที่สามารถทำงานได้อยู่ที่ประมาณ 10 ม. จึงทำให้ไม่มีความเสี่ยงในเรื่องของตกจากที่สูง แต่เนื่องจากต้องมีการเทคอนกรีตจำนวนมาก ต้องใช้อุปกรณ์จำพวกปั๊มคอนกรีตและเครนช่วยในการทำงานบางช่วง จึงพิจารณาว่ามีความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** มีการใช้เครนขนาดใหญ่ในการทำงาน รวมถึงการยกชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางที่มีน้ำหนักมาก จึงมีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง และ ความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** มีการใช้เครนขนาดใหญ่ในการทำงาน รวมถึงการยกชิ้นส่วนคานทางวิ่งที่มีน้ำหนักมากขึ้นตำแหน่งสูง จึงมีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง และ ความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** แม้จะทำงานในที่สูงแต่ชุดอุปกรณ์ที่ใช้เป็นโครงเหล็กถักขนาดใหญ่ที่มีความแข็งแรง ยึดติดตั้งระหว่างเสาตอม่อ และใช้การยกชิ้นส่วนด้วยระบบรอกและ Hydraulic จึงไม่มีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง แต่เนื่องด้วยโครงเหล็กถักจุดรองรับชั่วคราวมีขนาดใหญ่ จึงมีความเสี่ยงเฉพาะจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เช่นเดียวกับอุปกรณ์ชุด Launcher ระบบอุปกรณ์ชุด Heavy Lift เป็นโครงสร้างเหล็กชั่วคราวขนาดใหญ่ยึดติดตั้งที่แต่ละเสาตอม่ออย่างมั่นคง และใช้การยกชิ้นส่วนด้วยระบบรอกและ Hydraulic จึงไม่มีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง แต่เนื่องด้วยโครงสร้างจุดรองรับชั่วคราวมีขนาดใหญ่ จึงมีความเสี่ยงเฉพาะจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่

7.3.2 ข้อมูลด้านการรบกวนชุมชนข้างเคียง (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.2)

เป็นการพิจารณาด้านผลกระทบต่อชุมชมรอบข้าง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ใช้การขุดดินรวมถึงความสูงในการทำงานไม่มาก จึงไม่มีผลกระทบทั้งด้านเสียงและการสั่นสะเทือนที่มีน้อย
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ใช้ปลอกเหล็ก (Casing) ในการขุดเจาะ รวมถึงความสูงของระยะการทำงานประมาณ 20 ม. ทำให้การกระแทกปลอกเหล็กแต่ละครั้งเกิดเสียงและการสั่นสะเทือนมาก จึงมีข้อจำกัดผลกระทบด้านเสียง และ การสั่นสะเทือน ต่อชุมชน

- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีการทำงานเทคอนกรีตในที่จากระยะความสูงโดยประมาณ 8.0 ม. จะมีเสียงจากการที่มวลรวมหินทรายในคอนกรีตสดกระแทกกับเหล็กเสริมที่ผูกเตรียมไว้ในแบบ รวมถึงเมื่อคอนกรีตแข็งตัวจะมีฝุ่นปูนมาก ทำให้เกิดผลกระทบด้านเสียง และ ฝุ่นละออง ต่อชุมชน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** เนื่องจากชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางได้รับการผลิตจากโรงงาน จึงไม่มีผลกระทบทั้งทางเสียงและฝุ่น
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** เป็นการใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ จึงมีผลกระทบต่อชุมชนน้อย อย่างไรก็ตามในการใช้เครนจำนวนหลายตัวในการติดตั้ง คานทางวิ่งมีความยาวกว่า 25 ม. จึงอาจเกิดเสียงดังในระหว่างการทำงานประสานงานการยกติดตั้งได้
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** เช่นเดียวกับการยกติดตั้งด้วยเครน คานทางวิ่งมีความยาวกว่า 25 ม. จึงอาจเกิดเสียงดังในระหว่างการทำงานยกติดตั้งได้
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เช่นเดียวกับการยกติดตั้งด้วยเครน คานทางวิ่งมีความยาวกว่า 25 ม. จึงอาจเกิดเสียงดังในระหว่างการทำงานยกติดตั้งได้

7.3.3 ข้อมูลด้านผลกระทบต่อสภาพจราจร (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.3)

เป็นข้อมูลผลกระทบต่อสภาพจราจร ซึ่งพิจารณาในแง่ของการปิดจราจรเพิ่มเติมจากกรณีปกติในระหว่างการก่อสร้างส่วนงานต่างๆ (โดยปกติทำการปิดจราจรช่องริมสุดข้างเกาะกลางทั้งสองด้านตลอดระยะเวลาโครงการ) ในที่นี้อ้างอิงข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ และสมมติฐานที่ตั้งขึ้นบางประการ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** เป็นการก่อสร้างส่วนงานใต้ดิน มีเพียงเครนและเครื่องจักรขุดดินที่ทำงาน ดังนั้นจึงไม่ต้องมีการปิดจราจรเพิ่มเติมจากปกติ
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** เป็นการก่อสร้างส่วนงานใต้ดิน มีเพียงเครนและเครื่องจักรขุดดินที่ทำงาน ดังนั้นจึงไม่ต้องมีการปิดจราจรเพิ่มเติมจากปกติ
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** เป็นวิธีการก่อสร้างที่มีเพียงการตั้งนั่งร้าน เข้าแบบ และเทคอนกรีตตามปกติ จึงไม่ต้องมีการปิดจราจรเพิ่มเติม
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ต้องใช้เครนขนาดใหญ่ในการยกติดตั้งชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวาง ทำให้ต้องมีการปิดจราจรเพิ่ม 1 ช่องจราจรในระหว่างยกติดตั้ง โดยใช้เวลาในการติดตั้ง 5 ชั่วโมงต่อเสาตอม่อ 1 ต้น ซึ่งสำหรับกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชรนี้ รูปแบบโครงสร้างเป็นแบบเสาคู่ ประมาณการระยะเวลาทั้งหมดในการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง 1 เฟรม (รูปแบบเสาคู่) เท่ากับ 60 วันต่อเฟรม (T_{proj} = 60 วัน) โดยต้องทำการปิดจราจรเพิ่มเติมเท่ากับ 2x5/24 วันสำหรับการติดตั้งเสาตอม่อ 2 ต้น และคานขวางแล้วเสร็จ
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** ต้องใช้เครนขนาดใหญ่ในการยกติดตั้งชิ้นส่วนคานทางวิ่ง ทำให้ต้องมีการปิดจราจรเพิ่ม 1 ช่องจราจรในระหว่างยกติดตั้ง โดยใช้เวลาในการติดตั้ง 5 ชั่วโมงต่อคาน 1 ตัว ดังนั้นการติดตั้งคานทางวิ่ง 1 คู่ทางด้านซ้ายและขวาของเกาะกลางจะต้องปิดจราจรเพิ่มอีกด้านละ 1 ช่องจราจร รวมเป็นปิดเพิ่ม 2 ช่องจราจร หรือคิดเป็น

ระยะเวลาในที่ต้องทำการปิดจราจรเพิ่มอีก = 2x5/24 วันต่อคาน 1 คู่ (ต่อ 1 เฟรม) และประมาณการระยะเวลาทั้งหมดในการก่อสร้างคานทางวิ่ง 1 คู่คือ 20 วัน (T_{proj} = 20 วัน)

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** ไม่มีการใช้เครนและไม่ต้องเสียเวลาในการจัดตำแหน่งเครน มีเพียงรถเทรเลอร์ขนส่งชิ้นส่วนมาติดตั้งตามปกติ เหมือนการขนส่งวัสดุก่อสร้างโดยทั่วไป ดังนั้นจึงไม่ต้องปิดจราจรเพิ่มเติม
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เช่นเดียวกับการยกติดตั้งด้วย Launcher ไม่มีการใช้เครนใดๆ จึงไม่ต้องปิดจราจรเพิ่มเติม

7.3.4 ข้อมูลด้านความยั่งยืนในการก่อสร้าง (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.4)

เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งพิจารณาจากปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** เป็นการก่อสร้างงานใต้ดิน ใช้สารละลายป้องกันดินในหลุมพังเช่นสารละลายเบนโทไนต์แต่สามารถดูดกลับใช้ใหม่ได้ทั้งหมด จึงมีขยะและน้ำเสียน้อย
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** การทำงานในลักษณะเดียวกับการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม ดังนั้นจึงมีปริมาณขยะและน้ำเสียน้อยใกล้เคียงกัน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** มีคนงานก่อสร้างที่เกี่ยวข้องในงานจำนวนมาก เนื่องจากเป็นวิธีก่อสร้างแบบปกติ ต้องตั้งนั่งร้านขนาดใหญ่ ผูกเหล็ก เข้าแบบและเทคอนกรีต ซึ่งการที่มีคนงานก่อสร้างจำนวนมากย่อมทำให้มีขยะในระหว่างการทำงานมากเช่นกัน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ใช้จำนวนคนงานก่อสร้างน้อย จึงมีปริมาณขยะเกิดขึ้นน้อย และเป็นการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จจึงไม่มีน้ำเสีย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** เป็นการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ใช้คนงานก่อสร้างจำนวนน้อย จึงมีปริมาณขยะน้อยและไม่มีน้ำเสีย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** เป็นการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ใช้คนงานก่อสร้างจำนวนน้อย จึงมีปริมาณขยะน้อยและไม่มีน้ำเสีย
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เป็นการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ใช้คนงานก่อสร้างจำนวนน้อย จึงมีปริมาณขยะน้อยและไม่มีน้ำเสีย

7.3.5 ข้อมูลด้านการส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.5)

เป็นข้อมูลการจ้างงานแรงงานก่อสร้างว่าวิธีก่อสร้างใดที่ส่งเสริมการจ้างงานหรือก็คือใช้จำนวนแรงงานที่มากกว่ากัน

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ใช้แรงงานก่อสร้างมากกว่าวิธีก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลมเล็กน้อย เนื่องจากต้องใช้คนงานเพิ่มเติมในการก่อสร้างกำแพงนำร่อง (Guide wall)
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ใช้แรงงานน้อยกว่าวิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมเพราะไม่ต้องทำกำแพงนำร่อง มีเพียงการใช้เครื่องจักรขุดดิน และใช้คนงานก่อสร้างในการผูกเหล็กเสริมเหมือนกันกับการก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม

- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** ต้องใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนมาก เนื่องจากเป็นวิธีก่อสร้างตามปกติที่ต้องตั้งนั่งร้านก่อสร้างขนาดใหญ่ ผูกเหล็กเสริม เข้าแบบและเทคอนกรีต
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** ใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนน้อย เพราะมีเพียงการใช้เครนยกติดตั้งชิ้นส่วน และคนงานบางส่วนในการช่วยประคองและประกอบชิ้นส่วนในการติดตั้ง
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** เป็นการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จ จึงใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนน้อย มีเพียงการใช้เครนยกติดตั้งชิ้นส่วน และคนงานบางส่วนในการช่วยประคองและประกอบชิ้นส่วนในการติดตั้ง
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** เป็นการติดตั้งชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จเช่นเดียวกัน แรงงานก่อสร้างไม่มากนัก แต่จะต้องเพิ่มจำนวนคนงานก่อสร้างในการติดตั้งชุดอุปกรณ์ Launcher ซึ่งมีขนาดใหญ่ จะใช้แรงงานก่อสร้างมากขึ้นกว่าการใช้เครนในงานส่วนนี้
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เหมือนการติดตั้งด้วย Launcher ใช้แรงงานจำนวนมากในส่วนของการติดตั้งโครงเหล็กจุดรองรับชั่วคราว และสำหรับอุปกรณ์ชุด Heavy Lift ซึ่งแยกติดตั้งที่เสาตอม่อแต่ละต้น ยกชิ้นส่วนในการติดตั้งอย่างช้าๆ จึงต้องใช้แรงงานก่อสร้างจำนวนมากที่สุด ในส่วนของการติดตั้งโครงเหล็กชั่วคราวและในส่วนของการช่วยงานติดตั้งอุปกรณ์ Hydraulic

7.3.6 ข้อมูลด้านการตอบสนองนโยบายภาครัฐ (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.6)

เป็นข้อมูลในเรื่องของการใช้วัสดุ อุปกรณ์ ที่ผลิตในประเทศ เป็นการตอบสนองนโยบายภาครัฐ

- **งานก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม** ใช้เครื่องจักรในการขุดที่มีอยู่เดิมใช้ซ้ำในหลายๆ โครงการมาโดยตลอด และใช้วัสดุก่อสร้างคอนกรีต เหล็กเสริม ปกติทั้งหมด จึงถือได้ว่าไม่แตกต่างกับวิธีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม ในที่นี้จึงถือว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100%
- **งานก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบกลม** ดังที่อธิบายข้างต้น มีลักษณะการทำงานเหมือนวิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยม ในที่นี้จึงถือว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100% เช่นกัน
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางหล่อในที่** เป็นวิธีการก่อสร้างตามปกติ ไม่มีการใช้อุปกรณ์พิเศษใดจากต่างประเทศ ถือได้ว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100%
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง แบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ** มีการใช้เครนในการยกติดตั้งชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวาง อย่างไรก็ตามระยะความสูงจำกัดถึงแนวสายส่งไฟฟ้าเส้นล่างสุดของการติดตั้งเสาตอม่อและคานขวางยังอยู่ในระยะที่เครนสามารถทำงานได้ตามปกติ ไม่ต้องมีการปรับแต่ง Modify crane แม้เครนจะเป็นเครื่องจักรที่ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศก็ตาม แต่ถือได้ว่าสามารถใช้เครนในงานก่อสร้างตามแบบปกติทั่วไป ในที่นี้จึงพิจารณาว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100%
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วยเครน** มีการใช้เครนในการยกติดตั้งชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับการติดตั้งเสาตอม่อและคานขวาง และสำหรับกรณีศึกษาแยกพงษ์เพชรนี้ ข้อจำกัดความสูงไม่เป็นปัญหาในการก่อสร้าง เนื่องด้วยแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงอยู่สูงพอที่จะไม่มี

ผลกระทบกับขั้นตอนการก่อสร้าง (สูงประมาณ 15.5 ม. จากระดับหลังคานทางวิ่ง) เครนสามารถทำงานได้ตามปกติ ไม่ต้องมีการปรับแต่ง Modify crane แม้เครนจะเป็นเครื่องจักรที่ต้องสั่งนำเข้าจากต่างประเทศก็ตาม แต่ถือได้ว่าสามารถใช้เครนในงานก่อสร้างตามแบบปกติทั่วไป ในที่นี้จึงพิจารณาว่าตอบสนองนโยบายภาครัฐ 100%

- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Launcher** ตัว Launcher ใช้โครงสร้างเหล็กถักขนาดใหญ่เป็นจุดรองรับชั่วคราว เป็นส่วนที่สามารถผลิต (Fabricate) จากโรงงานได้เองในประเทศ มีเพียงชุดอุปกรณ์ Hydraulic เท่านั้นที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในที่นี้จึงถือว่ามีข้อจำกัดการตอบสนองนโยบายภาครัฐที่น้อยกว่าวิธีการยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่งยกติดตั้งด้วย Heavy Lift** เช่นเดียวกับการยกติดตั้งด้วย Launcher โครงสร้างเหล็กชั่วคราวเพื่อใช้เป็นจุดรองรับในการยกติดตั้งด้วยอุปกรณ์ Hydraulic สามารถผลิต (Fabricate) จากโรงงานได้เองในประเทศ มีเพียงชุดอุปกรณ์ Hydraulic เท่านั้นที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ในที่นี้จึงถือว่ามีข้อจำกัดการตอบสนองนโยบายภาครัฐที่น้อยกว่าวิธีการยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน

7.3.7 ข้อมูลผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน (ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ ปัจจัยย่อยที่ 3.7)

เป็นข้อมูลผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดินประชาชน ซึ่งพิจารณาจากจำนวนข้อร้องเรียนที่มี เนื่องด้วยกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชรนี้ เป็นการก่อสร้างในบริเวณเกาะกลางถนนงามวงศ์วาน ไม่มีการเวนคืน ดังนั้นจึงไม่ต้องทำการพิจารณาปัจจัยนี้

7.4 การคำนวณคะแนนเพื่อเปรียบเทียบทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง

เมื่อรวบรวมข้อมูลปัจจัยด้านต่างๆ ทั้งหมดครบถ้วนแล้ว จะสามารถให้คะแนนทางเลือกวิธีการก่อสร้างของแต่ละปัจจัยได้โดยใช้วิธีการให้คะแนนที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2 โดยค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 7.4-1 ถึง 7.4-3 ดังนี้

ตารางที่ 7.4-1 : คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์

วิธีการก่อสร้าง			k	งานเสาเข็ม						หน่วย
				เข็มแบบเหลี่ยม		เข็มเจาะ				
				ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน			
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	1	20,920.25	10	32,294.37	4.56*			บ./ม. ความยาวเข็ม
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ รื้อถอน และเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค		85,931.55	10	85,931.55	10			บ./ม. ระยะทาง
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	3	-	10	-	10			บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม		8,179.04	10	8,179.04	10			บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ระหว่างก่อสร้าง	3	196,513.08	10	196,513.08	10			บ./ฐาน
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน		-	10	-	10			บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)		-	10	-	10			บ./เสาเข็ม 1 ต้น
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	1	1,046.01	10	1,614.72	4.56*			บ./ม. ความยาวเข็ม

วิธีการก่อสร้าง			k	เสา และ คานขวาง						หน่วย
				หล่อในที่		Precast				
				ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน			
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	1	1,937,533.84	9.0*	1,761,382.03	10			บ./Frame
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ รื้อถอน แลรเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค		85,931.55	10	85,931.55	10			บ./ม. ระยะทาง
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	3	215,281.54	5.59*	92,704.32	10			บ./Frame
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม		8,179.04	10	8,179.04	10			บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ระหว่างก่อสร้าง	3	524,034.87	4.51*	197,877.75	9.91			บ./Frame
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน		-	10	-	10			บ./Frame
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)		-	10	35,227.64	0			บ./Frame
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	1	96,876.69	9.0*	88,069.10	10			บ./Frame

วิธีการก่อสร้าง			k	คานทางวิ่ง						หน่วย
				Precast ยกด้วย Crane		Precast ยกด้วย Launching Truss		Precast ยกด้วย Heavy Lift		
				ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน			
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	1	420,387.52	10	420,387.52	10	420,387.52	10	บ./คาน 1 ตัว
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ รื้อถอน และเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค		85,931.55	10	85,931.55	10	85,931.55	10	บ./ม. ระยะทาง
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	3	130,000.00	10	654,464.90	0*	327,232.45	4.94*	บ./คาน 1 ตัว
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม		8,179.04	10	8,179.04	10	8,179.04	10	บ./ม. ระยะทาง
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ระหว่างก่อสร้าง	3	33,434.52	10	49,128.27	8.44*	65,504.36	6.8*	บ./คาน 1 ตัว
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน		-	10	-	10	-	10	บ./คาน 1 ตัว
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (คิด 2%)		8,407.75	10	8,407.75	10	8,407.75	10	บ./คาน 1 ตัว
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (คิด 5%)	1	21,019.38	10	21,019.38	10	21,019.38	10	บ./คาน 1 ตัว

* คำนวณคะแนนด้วยสูตร $SCORE(C_x) = 10 - \left(\frac{C_x - C_{\min}}{k \cdot C_{\min}}\right) \cdot 10$ เมื่อ C_x คือข้อมูลค่าใช้จ่ายที่ต้องการคิดคะแนน, C_{min} คือข้อมูลค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

สำหรับข้อมูลปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่างๆ โดยข้อมูลที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดจะได้คะแนนเต็ม = 10 และสำหรับข้อมูลที่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า จะคิดเทียบสัดส่วนกันว่าควรได้คะแนนลดลงเท่าใด ทั้งนี้คะแนนที่ได้ขึ้นอยู่กับค่า ***k*** ซึ่งใช้กำหนดเกณฑ์ว่าค่าใช้จ่ายแพงขึ้นถึงเท่าใดจึงจะได้คะแนน = 0

ในกรณีที่ค่าใช้จ่ายเท่ากัน สามารถให้คะแนนเท่ากันเป็นค่าเท่าใดก็ได้ เนื่องจากเมื่อนำไปคำนวณคะแนนแบบถ่วงน้ำหนักก็จะได้ค่าเดียวกันไม่มีความแตกต่างกัน ในที่นี้จึงกำหนดว่า ถ้าไม่มีค่าใช้จ่ายหรือค่าใช้จ่ายเท่ากันหมด จะคิดคะแนนเท่ากับ 10 เช่นเดียวกัน (การที่ไม่มีค่าใช้จ่ายเลยถือว่าส่งผลในทางบวก)

สำหรับข้อมูลด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างและ และข้อมูลด้านสังคม สิ่งแวดล้อม สุขภาพ และนโยบาย ข้อมูลที่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปัจจัยที่ 2.1, 2.2 และ 3.3 โดยเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับระยะเวลาก่อสร้างหรือระยะเวลารอคอย จะให้คะแนนข้อมูลปัจจัยที่ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด = 10 และคิดเป็นสัดส่วนลดลงสำหรับค่าระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะได้คะแนนมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับค่า ***k*** ในการกำหนดเกณฑ์ว่าระยะเวลานานเท่าใดจึงจะได้คะแนน = 0 ตามสูตรที่ได้นำเสนอไว้ในภาคผนวก ง.

สำหรับข้อมูลที่ไม่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ จะใช้วิธีการจัดลำดับ (Ranking) และให้คะแนนทางเลือกตามลำดับที่ถูกจัดแล้ว ทางเลือกที่ดีที่สุดจะได้คะแนนสูงสุด = 10 และทางเลือกที่แย่ที่สุดจะได้คะแนน =0 ในกรณีที่ทางเลือกมีลำดับเท่ากัน จะเอาคะแนนของลำดับที่เท่ากันนั้น มารวมกันและแบ่งเฉลี่ยเท่าๆ กันให้แต่ละทางเลือกที่มีลำดับเดียวกัน ดังที่ได้นำเสนอวิธีการให้คะแนนแบบจัดลำดับไว้ในภาคผนวก ง.

ตารางที่ 7.4-2 : คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง

งานก่อสร้างเสาเข็ม			เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette)		เสาเข็มเจาะแบบกลม	
No.	**ปัจจัยที่พิจารณา**	**เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/ฐาน) (ใช้ค่า k = 1)	60	10	60	10
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	10	ไม่มี	10
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	- - ✓ -	5	- - ✓ -	5
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	4-5	5	4-5	5
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- - - -	5	- - - -	5
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- - ✓ -	5	- - ✓ -	5
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	- - - -	5	- - - -	5
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	- ข้อจำกัดด้านความลึกดินในการทำงาน - ข้อจำกัดด้านการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง - ข้อจำกัดเรื่องน้ำใต้ดิน - ข้อจำกัดเรื่องชนิดของดิน	- ✓ - -	0	- - - -	10
งานก่อสร้างเสาตอม่อ และ คานขวาง			คอนกรีตเทในที่		Precast	
No.	**ปัจจัยที่พิจารณา**	**เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/Frame) (ใช้ค่า k = 1)	160	0*	60	10
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เดือน)	ไม่มี	10	ไม่มี	10
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	- - - -	10	✓ ✓ ✓ -	0
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	8-10	10	4-5	0

งานก่อสร้างเสาตอม่อ และ คานขวาง			คอนกรีตเทในที่		Precast	
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- ✓ - -	0	- - - -	10
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่ต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- - - -	10	- - - ✓	0
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	- - ✓	0	✓ ✓ -	10

งานก่อสร้างคานทางวิ่ง			Precast ยกด้วยเครน		Precast ยกด้วย Launcher		Precast ยกด้วย Heavy Lift	
No.	**ปัจจัยที่พิจารณา**	**เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง (วัน/คาน) (ใช้ค่า k = 1)	10	**10**	15	**5***	20	**0***
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ (ใช้ค่า k = 0.5, ค่าระยะเวลาโครงการ = 6 เดือน ของงานก่อสร้างคานทางวิ่ง) (เดือน)	ไม่มี	**10**	1	**6.67****	1	**6.67****
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้งเครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	✓ - ✓ -	**10**	✓ - ✓ ✓	**2.5**	✓ - ✓ ✓	**2.5**
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา (ราย)	8-10	**10**	4-5	**2.5**	4-5	**2.5**
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	- - - -	**10**	- ✓ - -	**2.5**	- ✓ - -	**2.5**
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่ต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	- - - -	**10**	- - - ✓	**2.5**	- - - ✓	**2.5**
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	✓ ✓ -	**5**	✓ ✓ -	**5**	✓ ✓ -	**5**

* คำนวณคะแนนด้วยสูตร $SCORE(T_x) = 10 - \left(\frac{T_x - T_{\min}}{k \cdot T_{\min}}\right) \cdot 10$ เมื่อ T_x คือข้อมูลค่าเวลาที่ต้องการคิดคะแนน, T_{min} คือข้อมูลค่าเวลาที่เร็วที่สุด คำนวณคะแนนด้วยสูตรแล้วได้ค่าติดลบ จึงให้คะแนน = 0

** คำนวณคะแนนด้วยสูตร $SCORE(T_x) = 10 - \left(\frac{T_x}{k \cdot T_{proj}}\right) \cdot 10$ เมื่อ T_x คือข้อมูลค่าเวลาที่ต้องการคิดคะแนน, T_{proj} คือข้อมูลค่าระยะเวลาโครงการ

ตารางที่ 7.4-3 : คะแนนของข้อมูลปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อม สุขภาพ และ นโยบาย

งานก่อสร้างเสาเข็ม			เสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette)		เสาเข็มเจาะแบบกลม	
No.	**ปัจจัยที่พิจารณา**	**เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ - ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ - ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	- - - - ✓	10	✓ - - - ✓	0
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง - ฝุ่นละออง - กลิ่น - การสั่นสะเทือน - ถนนชำรุด	- - - - -	10	✓ - - ✓ -	0
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เวลาที่ต้องปิดเพิ่มเติม, L-D), (k = 1)	0	10	0	10
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	น้อย น้อย ไม่มี	5	น้อย น้อย ไม่มี	5
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	มาก	10	น้อย	0
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100%	5	100%	5
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนที่ดิน	ไม่มี	5	ไม่มี	5
งานก่อสร้างเสาตอม่อ และ คานขวาง			คอนกรีตเทในที่		Precast	
No.	**ปัจจัยที่พิจารณา**	**เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก**	**ข้อมูล**	**คะแนน**	**ข้อมูล**	**คะแนน**
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ - ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ - ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	- - - - ✓	10	✓ - - - ✓	0
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง - ฝุ่นละออง - กลิ่น - การสั่นสะเทือน - ถนนชำรุด	✓ ✓ - - -	0	- - - - -	10
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เวลาที่ต้องปิดเพิ่มเติม) (หน่วย : L-D) (k = 1, T_{proj} = 60 L-D ของงานก่อสร้างเสาและคานขวาง)	0	10	2x5/24	**9.9***

งานก่อสร้างเสาตอม่อ และ คานขวาง			คอนกรีตเทในที่		Precast	
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	มาก ไม่มี ไม่มี	0	น้อย ไม่มี ไม่มี	10
3.5	ส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	มาก	10	น้อย	0
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100%	5	100%	5
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืน	ไม่มี	5	ไม่มี	5

งานก่อสร้างคานทางวิ่ง			Precast ยกด้วยเครน		Precast ยกด้วย Launcher		Precast ยกด้วย Heavy Lift	
No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน	ข้อมูล	คะแนน
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	- ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด - ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ - ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ - ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	✓ - - - ✓	0	- - - - ✓	7.5	- - - - ✓	7.5
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	- เสียง - ฝุ่นละออง - กลิ่น - การสั่นสะเทือน - ถนนชำรุด	✓ - - - -	5	✓ - - - -	5	✓ - - - -	5
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ (เวลาที่ต้องปิดเพิ่ม) (เลน-วัน) (k = 1, T_{proj} = 20 L-D ของงานก่อสร้างคานทางวิ่ง	2x5/24	9.8*	0	10	0	10
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	- ปริมาณขยะ - ปริมาณน้ำเสีย - มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	น้อย ไม่มี ไม่มี	5	น้อย ไม่มี ไม่มี	5	น้อย ไม่มี ไม่มี	5
3.5	ส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (คน/คาน)	8-10	0	มาก	5	มากที่สุด	10
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ	100% (เครนปกติ)	10	นำเข้าชุด Hydraulic	2.5	นำเข้าชุด Hydraulic	2.5
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืน	ไม่มี	5	ไม่มี	5	ไม่มี	5

* คำนวณคะแนนด้วยสูตร $SCORE(T_x) = 10 - \left(\frac{T_x}{k \cdot T_{proj}}\right) \cdot 10$ เมื่อ T_x คือค่าเวลาที่ต้องการคิดคะแนน, T_{proj} คือค่าระยะเวลารวมงานก่อสร้าง

7.5 ทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษาช่วงบริเวณแยกพงษ์เพชร

จากค่าคะแนนที่ได้ของแต่ละปัจจัยสามารถนำไปคำนวณค่าคะแนนรวมของทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างแบบถ่วงน้ำหนักตามสมการที่ (2.8) โดยใช้ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ได้ทำการศึกษาไว้ก่อนหน้าแล้วตามรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1 โดยสำหรับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ (รูปแบบรางเบา Monorail) ช่วงบริเวณแยกพงษ์เพชร สามารถสรุปค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ที่ต้องใช้ในการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 7.5-1

ตารางที่ 7.5-1 ค่าน้ำหนักของปัจจัยทั้งหมดสำหรับโครงสร้างของระบบรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail)

ปัจจัยหลักด้านเศรษฐศาสตร์ (ค่าน้ำหนัก = 0.20)	**เสาเข็ม/ฐานราก**	**เสา/คานขวาง**	**คานทางวิ่ง**
ค่าก่อสร้าง	0.26	0.30	0.30
ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	0.18	0.14	0.13
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว	0.16	0.16	0.15
ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	0.12	0.10	0.09
ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์	0.09	0.10	0.11
ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	0.11	0.11	0.11
ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	0.03	0.04	0.05
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	0.06	0.05	0.05
ปัจจัยหลักด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง (ค่าน้ำหนัก = 0.54)	**เสาเข็ม/ฐานราก**	**เสา/คานขวาง**	**คานทางวิ่ง**
ระยะเวลาการก่อสร้าง	0.11	0.17	0.15
ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร	0.08	0.07	0.09
ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	0.08	0.08	0.10
ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	0.13	0.17	0.17
ความปลอดภัยในการก่อสร้าง	0.18	0.22	0.21
ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง ในการก่อสร้าง หรือสาธารณูปโภคที่ต้องเคลื่อนย้าย	0.12	0.25	0.24
ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	0.02	0.05	0.04
คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน ฯลฯ	0.27		
ปัจจัยหลักด้านสังคม สิ่งแวดล้อมและนโยบาย (ค่าน้ำหนัก = 0.26)	**เสาเข็ม/ฐานราก**	**เสา/คานขวาง**	**คานทางวิ่ง**
ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	0.25	0.25	0.27
การรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่น แรงสั่นสะเทือน และมลภาวะอื่นๆ	0.21	0.21	0.19
ผลกระทบต่อสภาพจราจร	0.18	0.18	0.19
ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	0.09	0.11	0.11
การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	0.07	0.07	0.05
การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	0.03	0.04	0.04
ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	0.17	0.15	0.14

นำค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยรองในตารางข้างต้นคูณกับค่าคะแนนของปัจจัยนั้นๆ แล้วรวมค่าเป็นคะแนนรวมของปัจจัยรองสำหรับของแต่ละปัจจัยหลัก แล้วจึงนำไปคูณกับค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักนั้นๆ ทั้งสามปัจจัย และรวมผลรวมเป็นขั้นสุดท้าย จะได้คะแนนรวมสุดท้ายของทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างเพื่อนำมาตัดสินเปรียบเทียบ โดยได้ค่าคะแนนรวมดังแสดงในตารางที่ 7.5-2

ตารางที่ 7.5-2 ผลคะแนนรวมของทางเลือกวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาช่วงบริเวณแยกพงษ์เพชร

ปัจจัย			เสาเข็ม / ฐานราก			เสาตอม่อ และ คานขวาง			คานทางวิ่ง			
			น้ำหนัก	คะแนน		น้ำหนัก	คะแนน		น้ำหนัก	คะแนน		
				เข็ม Barrette	เข็มเจาะ		หล่อในที่	Precast		Precast ยกด้วย Crane	Precast ยกด้วย Launcher	Precast ยกด้วย Heavy lift
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	1.1	ค่าก่อสร้าง	0.26	10	4.56	0.30	9.0	10	0.30	10	10	10
	1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	0.18	10	10	0.14	10	10	0.13	10	10	10
	1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	0.16	10	10	0.16	5.59	10	0.15	10	0	4.94
	1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	0.12	10	10	0.10	10	10	0.09	10	10	10
	1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง	0.09	10	10	0.10	4.51	10	0.11	10	8.44	6.8
	1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	0.11	10	10	0.11	10	10	0.11	10	10	10
	1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	0.03	10	10	0.04	10	0	0.05	10	10	10
	1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	0.06	10	4.56	0.05	9.0	10	0.05	10	10	10
0.2		**คะแนนรวม**		10.00	8.29		8.42	9.56		10.00	8.30	8.87
ปัจจัยด้านวิศวกรรม และการก่อสร้าง	2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	0.11	10	10	0.17	0	10	0.15	10	5	0
	2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	0.08	10	10	0.07	10	10	0.09	10	6.67	6.67
	2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรือ อื่นๆ	0.08	5	5	0.08	10	0	0.10	10	2.5	2.5
	2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	0.13	5	5	0.17	10	0	0.17	10	2.5	2.5
	2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	0.18	5	5	0.22	0	10	0.21	10	2.5	2.5
	2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือ	0.12	5	5	0.25	10	0	0.24	10	2.5	2.5
	2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	0.02	5	5	0.05	0	10	0.04	5	5	5
	2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	0.27	0	10							
0.54		**คะแนนรวม**		4.62	7.35		5.67	5.01		9.81	3.38	2.64
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย	3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบ และผู้สัญจรผ่านพื้นที่	0.25	10	0	0.25	10	0	0.27	0	7.5	7.5
	3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	0.21	10	0	0.21	0	10	0.19	5	5	5
	3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	0.18	10	10	0.18	10	9.9	0.19	9.8	10	10
	3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	0.09	5	5	0.11	0	10	0.11	5	5	5
	3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (จำนวนแรงงาน)	0.07	10	0	0.07	10	0	0.05	0	5	10
	3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ (การใช้ผลิตภัณฑ์ผลิตในประเทศ)	0.03	5	5	0.04	5	5	0.04	10	2.5	2.5
	3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	0.17	5	5	0.15	5	5	0.14	5	5	5
0.26		**คะแนนรวม**		8.52	3.27		5.89	5.95		4.47	6.55	6.81
		คะแนนรวมทั้งหมด		6.71	6.48		6.27	6.16		8.46	5.19	4.97

จากผลการรวมคะแนนทั้งหมดดังแสดงในตารางที่ 7.5-2 สำหรับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงบริเวณแยกพงษ์เพชร สรุปได้ว่า

- **งานก่อสร้างเสาเข็ม** วิธีการก่อสร้างด้วยเสาเข็มแบบเหลี่ยม (Barrette Pile) มีความเหมาะสมที่สุด
- **งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง** วิธีการก่อสร้างด้วยโครงสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ มีความเหมาะสมที่สุด และ
- **งานก่อสร้างคานทางวิ่ง** วิธีการก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ยกติดตั้งด้วยเครน มีความเหมาะสมที่สุด

7.6 ข้อคิดเห็นเพิ่มเติม

จากการวิเคราะห์คะแนนพบว่า ค่า ***k*** ที่ใช้ในการคำนวณสัดส่วนของคะแนนมีความสำคัญ การเลือกใช้ค่า ***k*** ไม่จำเป็นต้องเท่ากันในทุกปัจจัย ดังที่ได้อภิปรายไว้ก่อนหน้าในเนื้อหาบทที่ 5 และ 6 ก่อนหน้า

ข้อจำกัดความสูงในการก่อสร้างบริเวณแยกพงษ์เพชรนี้ มีมีค่าระยะความสูงช่วงว่างเคลียร์ 23.5 ม. จากระดับพื้นถนนปัจจุบัน หรือ 13.5 ม. จากระดับหลังคานทางวิ่งจนถึงแนวสายส่งไฟฟ้าแรงสูงเส้นที่ต่ำที่สุด พบว่าไม่ค่อยมีผลกระทบต่อความยากง่ายในการก่อสร้าง เนื่องจากสามารถใช้วิธีการก่อสร้างแบบปกติรวมถึงยังอยู่ในความสูงที่สามารถใช้เครนตามปกติได้ ดังนั้น

- สำหรับโครงสร้างส่วนงานเสาเข็มและฐานราก ซึ่งมีน้ำหนักโครงสร้างสูง ใช้เข็มขนาดใหญ่ ทางเลือกวิธีก่อสร้างด้วยเข็มแบบเหลี่ยมจึงมีความเหมาะสมมากกว่าวิธีการก่อสร้างด้วยเสาเข็มเจาะแบบกลม
- สำหรับส่วนงานติดตั้งคานทางวิ่ง การก่อสร้างด้วยวิธีใช้ชิ้นส่วนคานคอนกรีตอัดแรงหล่อสำเร็จ ยกติดตั้งด้วยเครนตามปกติ จึงมีความเหมาะสมมากกว่าวิธีก่อสร้างอื่นๆ ที่มีทั้งค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า เทคนิคการก่อสร้างยากกว่า และใช้เวลานานกว่า ฯลฯ อย่างเห็นได้ชัด
- แต่สำหรับในส่วนของงานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง กลับพบว่าวิธีการก่อสร้างแบบธรรมดาด้วยการเทคอนกรีตในที่ มีความเหมาะสมกว่าวิธีการใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครนซึ่งเป็นวิธีการก่อสร้างที่นิยมใช้ในโครงการรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail) อื่นๆ ทั้งนี้น่าจะเป็นเพราะบริเวณแยกพงษ์เพชร มีความสูงของโครงสร้างไม่มาก ทำให้วิธีก่อสร้างแบบธรรมดาง่ายๆ ได้คะแนนรวมจากการวิเคราะห์สูงกว่า อย่างไรก็ตามหากพิจารณาคะแนนในรายละเอียดจะพบว่า คะแนนของวิธีการก่อสร้างแบบเทในที่ต่ำกว่าวิธีก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จเล็กน้อย ทั้งในปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์และปัจจัยด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมฯ แต่ได้คะแนนสูงกว่าในปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ ซึ่งมีน้ำหนักค่อนข้างสูง ทำให้ผลคะแนนโดยรวมแล้ว วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่จึงได้คะแนนสูงกว่าวิธีก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จอยู่เล็กน้อย ดังนั้นในการทำงานจริง หากมีข้อมูลที่ชัดเจนละเอียดมากขึ้นอาจทำให้ผลการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงได้ อาทิเช่น เทคนิคการก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ หาก

พิจารณาแล้วเห็นว่าเป็นวิธีการก่อสร้างที่ผู้รับจ้างก่อสร้างสามารถทำได้ทั่วไป ผู้รับเหมาทุกรายสามารถทำได้ไม่มีความแตกต่างกันจากวิธีก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ ก็จะทำให้คะแนนในปัจจัยเรื่องความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้างของวิธีก่อสร้างด้วยชิ้นส่วนหล่อสำเร็จมีคะแนนสูงขึ้น และจะทำให้กลายเป็นทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมกว่าการเทคอนกรีตในที่ได้

กล่าวโดยสรุปได้ว่า ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณาทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่รวบรวมวิเคราะห์ได้จากงานวิจัยนี้ เป็นผลการวิเคราะห์ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามต้องอาศัยฐานข้อมูล ทั้งจากผู้เชี่ยวชาญ จากประสบการณ์ จากการรวบรวมข้อมูลการทำงานจริง ฯลฯ มาประกอบกันให้ได้ฐานข้อมูลที่มีความละเอียด ยิ่งฐานข้อมูลมีความละเอียดมากเท่าใด เกณฑ์การให้คะแนนชัดเจนมากขึ้นเท่าใด ก็จะยิ่งทำให้การวิเคราะห์มีประสิทธิภาพ ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

8. บทสรุป และ ข้อเสนอแนะ

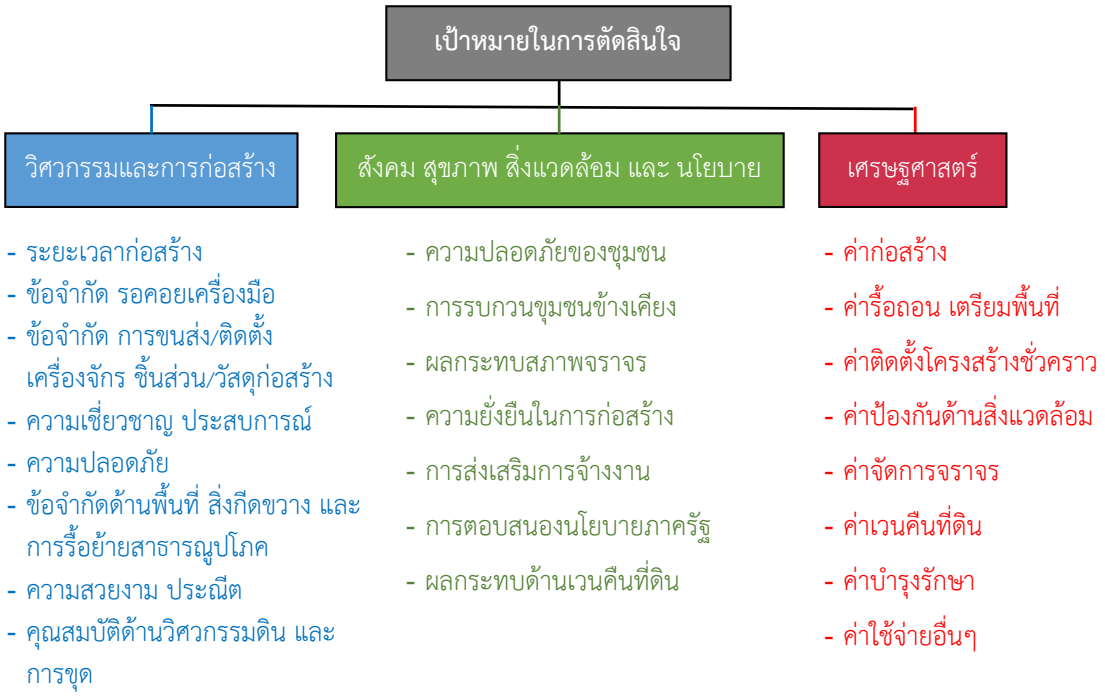
8.1 บทสรุป

งานวิจัยโครงการความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้และพัฒนาองค์ความรู้ด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ปีงบประมาณ 2565 ในหัวข้อ การศึกษาปัจจัยสำหรับการติดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า กรณีศึกษาการก่อสร้างในพื้นที่จำกัดของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม) ได้ดำเนินการแล้วเสร็จตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ คือ

1. ทำการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยี อุปสรรคที่คาดว่าจะเกิดขึ้นและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า โดยสามารถนำไปสู่การสร้างหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ซึ่งได้ประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในบริเวณพื้นที่จำกัด ตามวัตถุประสงค์ในข้อถัดไป และทาง รฟม. สามารถนำหลักเกณฑ์วิธีการคัดเลือกดังกล่าวไปใช้ในงานของ รฟม. อื่นๆ ให้เกิดประโยชน์เพิ่มได้ในลำดับต่อไป
2. ทำการศึกษา เปรียบเทียบเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในพื้นที่จำกัด จากกรณีศึกษาของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ซึ่งได้ผลการศึกษาเปรียบเทียบที่สอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับงานก่อสร้างจริง โดยทางที่ปรึกษาฯ มีความเห็นว่าผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้งานให้เกิดประโยชน์ได้จริง
3. ทำการศึกษาเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่ช่วยลดผลกระทบจากการก่อสร้างจากการคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่มีความเหมาะสมที่สุด โดยได้พิจารณาองค์ประกอบรอบด้านทั้งด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง และ ด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อมและนโยบาย เพื่อให้สามารถเสริมสร้างประสบการณ์ที่ดีและสร้างความพึงพอใจแก่ประชาชนตามแนวสายทาง จากกรณีศึกษาของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ได้

สามารถสรุปรายละเอียดของผลการศึกษาหลักที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ดังนี้

- ผลการศึกษาด้านปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ประกอบด้วย ปัจจัยหลักจำนวน 3 ปัจจัย คือ ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง และ ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อมและนโยบาย โดยแต่ละปัจจัยหลักประกอบด้วย 7 – 8 ปัจจัยย่อย สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8.1-1



รูปที่ 8.1-1 : แผนภูมิแสดงปัจจัยที่มีผลในการพิจารณาเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง

- ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยหลักจากการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (AHP) และของปัจจัยรองจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking method) และการจัดระดับ (Rating method) ซึ่งพิจารณาวิธีการวิเคราะห์ตามความเหมาะสมของข้อมูล สามารถสรุปผลดังตารางที่ 8.1-1 แยกตามรูปแบบของโครงการรถไฟฟ้าที่พิจารณา ซึ่งประกอบด้วยรูปแบบโครงการรถไฟฟ้ารางเบา (Monorail), รูปแบบโครงการรถไฟฟ้ารางหนักยกระดับ (Elevated Heavy rail), รูปแบบโครงการรถไฟฟ้ารางหนักใต้ดิน (Underground Heavy rail) และ รูปแบบโครงการระดับดิน ได้แก่ อาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจร (Depot and Park & Ride) โดยพบว่า
  - เมื่อพิจารณาโครงการรถไฟฟ้าในทุกรูปแบบ จะเห็นได้ว่าผลแนวโน้มค่าน้ำหนักของปัจจัยเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างมีค่าน้ำหนักสูงที่สุด เฉลี่ยประมาณร้อยละ 48 ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์มีความสำคัญเป็นอันดับสอง โดยมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 28 และปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมและนโยบาย มีความสำคัญน้อยที่สุด โดยมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 24
  - ปัจจัยรองของปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ประกอบไปด้วย 8 ปัจจัยย่อย พบว่าค่าก่อสร้างมีความสำคัญโดดเด่นสูงที่สุด โดยมีค่าน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 30 ซึ่งสูงกว่าปัจจัยอันดับสองมาก คือค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ ที่มีน้ำหนักเฉลี่ยร้อยละ 16

ตารางที่ 8.1-1 : ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง สำหรับโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ

ปัจจัย		Monorail					Elevated Heavy Rail					Underground Heavy Rail			Depot and Park & Rail
		เสาเข็ม / ฐานราก	เสาตอม่อ และ คาน	คานทางวิ่ง	สถานี	ค่าเฉลี่ย	เสาเข็ม / ฐานราก	เสาตอม่อ และ คาน	คานทางวิ่ง	สถานี	ค่าเฉลี่ย	อุโมงค์ทางวิ่ง	สถานี	ค่าเฉลี่ย	
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์		0.20					0.34					0.25			0.32
1.1	ค่าก่อสร้าง	0.26	0.30	0.30	0.26	0.28	0.29	0.32	0.32	0.30	0.31	0.30	0.29	0.29	0.31
1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	0.18	0.14	0.13	0.15	0.15	0.19	0.16	0.14	0.16	0.17	0.15	0.13	0.14	0.19
1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	0.16	0.16	0.15	0.12	0.15	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13	0.14	0.16	0.15	0.09
1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	0.12	0.10	0.09	0.11	0.10	0.10	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.10
1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง	0.09	0.10	0.11	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.11	0.10	0.08	0.07	0.07	0.07
1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	0.11	0.11	0.11	0.15	0.12	0.12	0.14	0.13	0.14	0.13	0.14	0.17	0.16	0.16
1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.06	0.05	0.05	0.05
1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (Miscellaneous Costs)	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.06	0.04	0.05	0.04
ปัจจัยด้านวิศวกรรม และการก่อสร้าง		0.54					0.46					0.51			0.41
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	0.11	0.17	0.15	0.18	0.16	0.15	0.23	0.22	0.25	0.23	0.15	0.15	0.15	0.22
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	0.08	0.07	0.09	0.10	0.09	0.06	0.06	0.06	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.07
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	0.08	0.08	0.10	0.06	0.08	0.08	0.08	0.12	0.06	0.09	0.06	0.06	0.06	0.07
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	0.13	0.17	0.17	0.13	0.16	0.11	0.17	0.16	0.12	0.15	0.19	0.17	0.18	0.13
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	0.18	0.22	0.21	0.19	0.21	0.17	0.19	0.22	0.18	0.20	0.18	0.18	0.18	0.17
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	0.12	0.25	0.24	0.23	0.24	0.13	0.22	0.19	0.21	0.21	0.11	0.12	0.11	0.15
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	0.02	0.05	0.04	0.11	0.07	0.02	0.05	0.05	0.09	0.06	0.03	0.04	0.03	0.04
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	0.27	-	-	-	-	0.26	-	-	-	-	0.23	0.24	0.24	0.16
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย		0.26					0.21					0.24			0.27
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบ และผู้สัญจรผ่านพื้นที่	0.25	0.25	0.27	0.26	0.26	0.25	0.26	0.27	0.26	0.26	0.26	0.27	0.26	0.25
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่น แรงสั่นสะเทือน และ มลภาวะอื่นๆ	0.21	0.21	0.19	0.20	0.20	0.17	0.16	0.15	0.16	0.16	0.19	0.16	0.17	0.19
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	0.18	0.18	0.19	0.18	0.18	0.19	0.20	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.14
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.09
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (จำนวนแรงงาน)	0.07	0.07	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ (การใช้ผลิตภัณฑ์ผลิตในประเทศ)	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	0.17	0.15	0.14	0.17	0.16	0.19	0.16	0.16	0.18	0.17	0.16	0.20	0.18	0.23

- ปัจจัยรองของปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง พบว่าปัจจัยคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญโดดเด่นสูงสุด แสดงว่าสำหรับงานด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง ให้ความสำคัญต่องานฐานรากมากที่สุด สำหรับปัจจัยอื่นๆ หรือโครงสร้างส่วนอื่นที่อยู่เหนือดินขึ้นมา ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักไม่พบปัจจัยที่มีความสำคัญโดดเด่น แต่จะมีปัจจัย 4 ด้านที่มีความสำคัญใกล้เคียงกันคือ ระยะเวลาในการก่อสร้าง ความปลอดภัยในการก่อสร้าง ข้อจำกัดด้านพื้นที่ และ ความเชี่ยวชาญประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง
- ปัจจัยรองของปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมและนโยบาย ประกอบไปด้วย 7 ปัจจัยย่อย ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักพบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญโดดเด่นก็คือความปลอดภัยของชุมชนและผู้สัญจรผ่าน มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยที่ร้อยละ 26 นอกจากนี้ปัจจัยที่มีความสำคัญรองลงมาและมีความสำคัญใกล้เคียงกัน ประกอบไปด้วย ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน ผลกระทบด้านจราจร และการรบกวนชุมชนข้างเคียง ซึ่งมีน้ำหนักร้อยละ 18
- ค่า Consistency Ratio (***CR***) ในการตรวจสอบความสอดคล้องกันของการตอบแบบสอบถามเพื่อคำนวณค่าน้ำหนักของปัจจัยทางเลือก พิจารณาใช้ค่าที่ ***CR*** = 0.15 เนื่องจากเลือกใช้ให้เหมาะสมกับช่วงความห่างคะแนนที่ใช้ในการตอบแบบสอบถาม

- ผลการวิเคราะห์ทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง กรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ฯ ในบริเวณพื้นที่จำกัด พบว่า

สำหรับกรณีศึกษาบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน

- งานก่อสร้างเสาเข็มและฐานราก : วิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมเหมาะสมที่สุด
- งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง : วิธีก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน มีความเหมาะสมที่สุด
- งานก่อสร้างคานทางวิ่ง : วิธีก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครนมีความเหมาะสมที่สุด

สำหรับกรณีศึกษาบริเวณที่แยกบางเขน

- งานก่อสร้างเสาเข็มและฐานราก : วิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมที่ตำแหน่งเดิมเหมาะสมที่สุด
- งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง : วิธีก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวของทางยกระดับอุตราภิมุขมีความเหมาะสมที่สุด
- งานก่อสร้างคานทางวิ่ง : วิธีก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน โดยย้ายตำแหน่งเสาตอม่อให้พ้นแนวของทางยกระดับอุตราภิมุขมีความเหมาะสมที่สุด

สำหรับกรณีศึกษาบริเวณแยกพงษ์เพชร

- งานก่อสร้างเสาเข็มและฐานราก : วิธีก่อสร้างเสาเข็มแบบเหลี่ยมเหมาะสมที่สุด
- งานก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง : วิธีก่อสร้างด้วยการเทคอนกรีตหล่อในที่
- งานก่อสร้างคานทางวิ่ง : วิธีก่อสร้างด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครนมีความเหมาะสมที่สุด

8.2 ข้อเสนอแนะ

8.2.1 การคัดเลือกปัจจัยและค่าน้ำหนักของปัจจัยต่อการพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง

การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง ไม่ควรมีปัจจัยมากจนเกินไป เพราะจะทำให้เกิดปัจจัยที่มีความซ้ำซ้อนหรือปัจจัยที่มีความหมายคล้ายคลึงกัน มีผลทำให้เกิดความสับสนในการให้คะแนนทางเลือกของผู้เชี่ยวชาญ เกิดการผิดพลาดหรือไม่สอดคล้องกันได้ เช่น ปัจจัยความปลอดภัยในการก่อสร้าง และ ความปลอดภัยต่อชุมชนข้างเคียง ที่ผู้เชี่ยวชาญผู้ให้คะแนนอาจพิจารณาว่าวิธีก่อสร้างมีความปลอดภัยแต่ในมุมมองของประชาชนอาจมีความกังวลว่าอันตรายหรือไม่เป็นต้น

การคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างรถไฟฟ้ารูปแบบรางหนักในส่วนของโครงสร้างยกระดับในอนาคต อาจต้องหันมาพิจารณาปัจจัยในด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งระยะเวลาก่อสร้างให้มากขึ้น เนื่องจากการผลการวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักของปัจจัยดังกล่าวมีน้ำหนักมากที่สุด และหากเลือกเทคโนโลยีที่เน้นพิจารณาถึงข้อได้เปรียบในปัจจัยด้านระยะเวลาก่อสร้าง ข้อจำกัดด้านพื้นที่ และค่าก่อสร้าง จะส่งผลให้ทางเลือกของเทคโนโลยีนั้นมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้มากกว่าทางเลือกอื่น

การคัดเลือกเทคโนโลยีการก่อสร้างรถไฟฟ้ารูปแบบรางเบาในอนาคต อาจต้องหันมาพิจารณาปัจจัยในด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อจำกัดด้านพื้นที่ให้มากขึ้น เนื่องจากการผลการวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าน้ำหนักของปัจจัยดังกล่าวมีน้ำหนักมากที่สุด และหากเลือกเทคโนโลยีที่เน้นพิจารณาถึงข้อได้เปรียบในปัจจัยด้านข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความปลอดภัยในการก่อสร้างและระยะเวลาก่อสร้าง จะส่งผลให้ทางเลือกของเทคโนโลยีนั้นมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้มากกว่าทางเลือกอื่น

การคัดเลือกเทคโนโลยีการก่อสร้างรถไฟฟ้ารูปแบบรางหนักในส่วนของโครงสร้างใต้ดินในอนาคต อาจต้องหันมาพิจารณาปัจจัยในด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินให้มากขึ้น เนื่องจากการผลการวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าน้ำหนักของปัจจัยดังกล่าวมีน้ำหนักมากที่สุด และหากเลือกเทคโนโลยีที่เน้นพิจารณาถึงข้อได้เปรียบในปัจจัยด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน ความปลอดภัยในการก่อสร้างและความเชี่ยวชาญของผู้ก่อสร้าง จะส่งผลให้ทางเลือกของเทคโนโลยีนั้นมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้มากกว่าทางเลือกอื่น

การคัดเลือกเทคโนโลยีการก่อสร้างงานอาคารซ่อมบำรุงและอาคารจอดแล้วจรในอนาคต อาจต้องหันมาพิจารณาปัจจัยในด้านด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างควบคู่กับปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าก่อสร้างและระยะเวลาก่อสร้างให้มากขึ้น เนื่องจากการผลการวิเคราะห์ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าน้ำหนักของทั้ง 2 ปัจจัยดังกล่าวมีน้ำหนักมากที่สุด และหากเลือกเทคโนโลยีที่เน้นพิจารณาถึงข้อได้เปรียบในปัจจัยด้านค่าก่อสร้าง ระยะเวลาก่อสร้างและความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่ จะส่งผลให้ทางเลือกของเทคโนโลยีนั้นมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้มากกว่าทางเลือกอื่น

จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดจะเห็นได้ว่างานก่อสร้างในแต่รูปแบบแต่ละประเภท ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างบางรูปแบบในปัจจัยเดียวกันมีค่าแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันและบางรูปแบบมีแนวโน้มไปคนละทิศทาง ทั้งนี้ก็เพราะคุณลักษณะพื้นที่ข้อจำกัด ความยากง่ายของการก่อสร้าง และเงื่อนไขต่างๆ ที่ส่งผลต่อค่าน้ำหนักปัจจัย

อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ในต่างประเทศที่ได้ทำการทบทวนซึ่งค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม มากกว่าค่าน้ำหนักของปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นการศึกษาในยุโรปที่ให้ความใส่ใจด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมมากเป็นพิเศษ ในขณะที่การศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกาให้ความสำคัญด้านเศรษฐศาสตร์มากกว่าด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงขึ้นกับหน่วยงานต่างๆ ว่าต้องการกำหนดแนวทางพิจารณาหรือให้ความสนใจใส่ใจไปในทิศทางใด ซึ่งจะมีผลให้ค่าน้ำหนักของปัจจัยมีการเปลี่ยนแปลงและควรต้องทำการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักให้เหมาะสมกับทิศทางที่กำหนดนั้น

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต คือ การสำรวจข้อมูลแบบสอบถามที่มีความซับซ้อน เช่น สำหรับการวิเคราะห์ AHP ควรใช้การสำรวจแบบสัมภาษณ์เพื่อให้ผู้ตอบแบบสอบถามสามารถให้ข้อมูลได้อย่างถูกต้อง ไม่เกิดความสับสนในการให้ค่าน้ำหนัก และสามารถแก้ไขข้อมูลได้ทันทีเมื่อเกิดความผิดพลาด เช่น กรณีหากพบว่าดัชนีความสอดคล้องหรือ ***CR*** มีค่าเกินกว่าที่กำหนด

สำหรับค่าน้ำหนักของปัจจัยรอง แม้จะไม่ซับซ้อนเท่ากับกรณีของปัจจัยหลัก แต่ก็พบความผิดพลาดเช่นกัน เช่น กรณีที่ผู้ตอบแบบสอบถามเรียงลำดับและน้ำหนักของปัจจัยสลับไปมา ดังนั้นการสำรวจด้วยวิธีการสัมภาษณ์จะช่วยให้พบข้อผิดพลาดเหล่านี้และสามารถแก้ไขได้ทันทีเช่นเดียวกัน

8.2.2 ข้อจำกัดของ AHP

ในการพิจารณาจัดลำดับความสำคัญโดยไม่คำนึงถึงประเด็นอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องให้รอบคอบ อาจทำให้ได้ผลการจัดลำดับความสำคัญไม่ถูกต้อง ดังนั้นจึงควรนำเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องมาร่วมในการพิจารณาให้ครบถ้วนและเรียงลำดับชั้นให้ถูกต้องจะทำให้ได้ผลการตัดสินใจที่ดีที่สุด และเกิดประโยชน์มากที่สุดตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ

การกำหนดองค์ประกอบในโครงสร้างลำดับชั้นจะต้องมีความชัดเจน ถูกต้องในแต่ละลำดับชั้น ซึ่งจะส่งผลต่อการจัดลำดับความสำคัญที่ถูกต้อง

การจัดลำดับความสำคัญด้วยวิธี AHP ผู้ดำเนินการเปรียบเทียบวินิจฉัยปัจจัยที่กำหนดจำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจในกระบวนการวิเคราะห์ และเข้าใจถึงเป้าหมายในการตัดสินใจด้วย จึงจะ

ทำให้การวินิจฉัยเปรียบเทียบมีความสอดคล้องกันของเหตุผล และผ่านเกณฑ์การวิเคราะห์ความสอดคล้อง ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในองค์กรที่มีความพร้อมในการให้ความร่วมมือกันในกรณีที่ต้องการใช้การตัดสินใจแบบเป็นกลุ่ม

8.2.3 การให้คะแนนทางเลือกวิธีการก่อสร้างของกรณีศึกษาฯ

การเลือกใช้ค่า ***k*** ในการคำนวณสัดส่วนของคะแนนเปรียบเทียบทางเลือก ไม่จำเป็นต้องเท่ากันในทุกปัจจัย แต่สามารถแตกต่างกันตามความเหมาะสมของปัจจัยและข้อมูลที่พิจารณา เช่น ค่า ***k*** สำหรับปัจจัยค่าใช้จ่ายของโครงสร้างชั่วคราวที่ใช้ค่าเท่ากับ 3 ในขณะที่ค่า ***k*** สำหรับปัจจัยค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเท่ากับ 1 เนื่องจากในวิธีการก่อสร้างที่ต่างกัน ค่าใช้จ่ายสำหรับโครงสร้างชั่วคราวมีความแตกต่างกันมาก อาทิเช่น วิธีการยกชิ้นส่วนคานทางวิ่งหล่อสำเร็จด้วย Launcher มีต้นทุนสำหรับโครงสร้างชั่วคราวสูงมากเพราะเป็นโครงสร้างเหล็กถักขนาดใหญ่ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ซ้ำใหม่ในภายหลังกับงานก่อสร้างอื่นได้ จึงเลือกใช้ค่า ***k*** = 3 เป็นต้น

ในการให้คะแนนเพื่อการพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุดนั้น หากสามารถให้คะแนนปัจจัยในแบบเชิงปริมาณทั้งหมดได้ (ให้คะแนนที่เป็นสัดส่วนกัน) ก็จะเป็นการเปรียบเทียบทางเลือกตรงไปตรงมาที่ถูกต้องที่สุด แต่ในความเป็นจริงซึ่งมีปัจจัยต่างๆ ทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ที่บางปัจจัยมีความยากไม่สามารถให้คะแนนตามสัดส่วน หรือไม่สามารถตั้งเกณฑ์เพื่อจะให้คะแนนแบบเป็นสัดส่วนของปัจจัยแบบเชิงคุณภาพได้ วิธีการให้คะแนนแบบจัดลำดับ (Ranking) ตามที่ทางที่ปรึกษาฯ นำเสนอจึงเป็นวิธีการให้คะแนนเปรียบเทียบที่เป็นไปได้ สามารถทำได้จริงและไม่ซับซ้อน

แม้ว่าการให้คะแนนปัจจัยต่างๆ จะเป็นวิธีการผสมกันของวิธีการให้คะแนนแบบตามสัดส่วน (ปัจจัยเชิงปริมาณ) และการให้คะแนนแบบใช้วิธีการจัดลำดับ (ปัจจัยเชิงคุณภาพ) ซึ่งอาจมีความกังวลในการพิจารณาทางเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับในบางปัจจัยที่ทางเลือกอาจมีความสำคัญใกล้เคียงกัน เหลื่อมล้ำกันเล็กน้อย แต่เมื่อให้คะแนนสำหรับปัจจัยที่ใช้วิธีแบบจัดลำดับแล้ว ทางเลือกที่ลำดับดีกว่าอาจได้คะแนนต่างจากทางเลือกที่ลำดับแย่กว่ามาก แต่เนื่องด้วยวัตถุประสงค์ของการให้คะแนนดังกล่าว เพื่อเป็นการคัดเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (ไม่ได้ต้องการค่าคะแนนจริงเพื่อนำไปใช้วัตถุประสงค์อื่น) อีกทั้งหากพิจารณาจากค่าของน้ำหนักปัจจัยต่างๆ ที่ได้ทำการวิจัยไว้ในเบื้องต้น ปัจจัยเชิงปริมาณ (ปัจจัยด้านราคาและเวลา) มีน้ำหนักรวมกันมากกว่าน้ำหนักรวมของปัจจัยเชิงคุณภาพ ดังนั้นในการพิจารณาคัดเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด สามารถพิจารณาเปรียบเทียบแบบสัมพัทธ์กัน ที่ปรึกษาฯ จึงมีความเห็นว่าวิธีการให้คะแนนแบบจัดลำดับสำหรับปัจจัยเชิงคุณภาพตามที่นำเสนอมีความสมเหตุสมผลและทำได้ง่ายไม่ยุ่งยาก ดีกว่าการที่จะพยายามหาเกณฑ์การให้คะแนนในแบบเชิงปริมาณทั้งหมดซึ่งทำได้ยากและอาจก่อให้เกิดความสับสน โดยจากผลการวิเคราะห์พบว่า ในกรณีที่มีเป้าหมายทางเลือกในการพิจารณาหลายเป้าหมาย หรืออย่างน้อย 3 ทางเลือกขึ้นไป วิธีการให้คะแนนแบบจัดลำดับสามารถนำมาปรับใช้ได้ดี ง่ายไม่ซับซ้อนและได้ผลลัพธ์เป็นที่พอใจ น่าเชื่อถือ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่การวิเคราะห์มีเป้าหมายทางเลือกในการพิจารณาน้อย เช่น มีเพียง 2 เป้าหมายเปรียบเทียบกัน ตัวอย่างเช่นการเปรียบเทียบเป้าหมายระหว่าง วิธีการก่อสร้างแบบเทคอนกรีตหล่อในที่ และ วิธีการก่อสร้างแบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ พบว่าทางเลือกที่ดีกว่าจะได้คะแนน 10 และทางเลือกที่แย่กว่าจะได้คะแนน 0 การให้คะแนนแบบสูงสุดและต่ำสุดลักษณะดังกล่าวมีข้อเสียหากคะแนนรวมของเป้าหมายทางเลือกที่พิจารณามีค่าใกล้เคียงกัน

ทางเลือกที่ดีหรือแย่กว่ากันในความเป็นจริงเพียงเล็กน้อย จะได้คะแนนที่ต่างกันสุดขั้ว เช่นสำหรับปัจจัยย่อยด้านความยั่งยืนในการก่อสร้างด้วยการวัดปริมาณขยะมากน้อยที่อาจแตกต่างกันไม่มากใน 2 ทางเลือก แต่จะได้ผลคะแนนที่ต่างกันมากเป็นต้น ซึ่งสามารถทำให้ผลการวิเคราะห์ในภาพรวมเปลี่ยนเป็นทางเลือกอื่นได้ ดังนั้นหากสามารถสร้างเกณฑ์การให้คะแนนที่ละเอียดชัดเจนยิ่งขึ้น จะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ละเอียดถูกต้องมากขึ้น ทั้งนี้การตั้งเกณฑ์การให้คะแนนที่ละเอียดนั้น ต้องใช้เวลาในการรวบรวมข้อมูลและทดลองนำมาใช้จริง ลองผิดลองถูกหลายๆ ครั้ง จึงจะได้เกณฑ์ที่มีความละเอียดและเหมาะสม

การวิเคราะห์คัดเลือกเป้าหมายให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและเหมาะสมที่สุด ต้องการข้อมูลที่มีความละเอียด ค่าใช้จ่ายต้นทุนที่ครบถ้วน ค่าเสื่อมราคา ค่าเช่า ค่าขายคืนเศษเหล็ก ค่าบำรุงรักษาซ่อมแซมฯลฯ เพื่อให้ได้ผลการคัดเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด ยกตัวอย่างเช่นในกรณีศึกษาแยกบางเขน ในการให้คะแนนทางเลือกวิธีการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวางด้วยระบบชิ้นส่วนหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครนเปรียบเทียบกับวิธีก่อสร้างแบบเทคอนกรีตหล่อในที่ สำหรับปัจจัยย่อยด้านประสบการณ์ ความเชี่ยวชาญ ซึ่งพิจารณาจากจำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในการทำงานติดตั้งชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ หากมีข้อมูลที่ละเอียดถึงจำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในการทำงานดังกล่าวได้ เมื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกวิธีการก่อสร้างอีกวิธี อาจได้ผลจำนวนของผู้รับเหมาที่ไม่แตกต่างกันในสองวิธี ทำให้ทางเลือกวิธีการก่อสร้างทั้งสองวิธีได้คะแนนเท่ากัน และอาจทำให้ผลการวิเคราะห์โดยรวมเปลี่ยนแปลงไปได้

9. เอกสารอ้างอิง

การก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า/รถไฟฟ้าโมโนเรล ทางเลือกใหม่ของคนกรุงเทพ, สืบค้นจาก https://km.mrta.co.th/files/article/attachment/12c3f6c33509d64f1448473f37563792.pdf

การศึกษาความเหมาะสมโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย-ลำสาลี (บึงกุ่ม) รายงานการศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรมเศรษฐกิจและการเงิน, สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและการจราจร (สนข.), 2561

กีรติ เมืองแสน พฤติกรรมของหัวเจาะระบบแรงดันดินสมดุลในการก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินในดินกรุงเทพฯ, วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานจ้างผู้ให้บริการงานศึกษาทบทวน สำรวจ ออกแบบรายละเอียดฐานราก และจัดเตรียมเอกสารประกวดราคา เพื่อรองรับโครงการระบบรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม) ที่อยู่บนถนนประเสริฐมนูกิจ, รายงานฉบับสุดท้าย (Final Report), การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย, 2563

จักรพันธ์ ธงทอง, สุริยะ ทองมุณี และคเชนทร์ จักรแก้ว (2563) อิทธิพลของขนาดแผ่นเหล็กเกลียวต่อกำลังการรับแรงแบกทาน โดยใช้ข้อมูลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, 15-17 กรกฎาคม 2563 จ.ชลบุรี

ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์ (2542) พฤติกรรมของเสาเข็มแบเร็ตและเสาเข็มเจาะที่ติดตั้งเครื่องมือวัดในชั้นดินกรุงเทพฯ, วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชาญชัย ทรัพย์มณีวงศ์, ซอว์ ซอว์ เอย์ และ ธยานันท์ บุณยรักษ์ (2547) พฤติกรรมของกำแพงพืดกันดินอย่างบางชนิดขุด-หล่อในที่โครงการอาคารจอดรถใต้ดินในกรุงเทพฯ, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9, 19-21 พฤษภาคม 2547, จ.เพชรบุรี

ชุมพล เจริญขวัญ (2558) พฤติกรรมโครงสร้างหลังคาท่อเหล็กในการก่อสร้างสถานีรถไฟฟ้าใต้ดินกรุงเทพฯ, วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ณรงค์ ทัศนนิพันธ์, ธยานันท์ บุณยรักษ์ และซอว์ ซอว์ เอย์ (2561) ความก้าวหน้าของงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่และกำแพงกันดินไดอาแฟรมในประเทศไทย, งานเชิดชูเกียรติศาสตราจารย์กิตติคุณ อรุณ ชัยเสรี, 21 ตุลาคม 2561 หน้า 1-12

ณรงค์ ทัศนนิพันธ์, อ่อง วิน เมือง และ ธยานันท์ บุณยรักษ์ (2550) การลดการเคลื่อนตัวของดินโดยใช้วิธีการปรับปรุงกำลังโดยวิธีผสมดินเชิงกลแบบลึก, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12, 2-4 พฤษภาคม 2550, จ.พิษณุโลก

ณรงค์ ทัศนนิพนธ์, เผด็จ รุจิขจรเดช, ชอว์ ชอว์ เอย์ และ ธยานันท์ บุณยรักษ์ (2546) คอนกรีตเทคโนโลยีสำหรับงานเสาเข็มเจาะลึกระบบเปียก, โยธาสาร, กรกฎาคม-สิงหาคม 2546, น. 28-33

ณรงค์ ทัศนนิพันธ์ และ ธยานนท์ บุณยรักษ์ (2565) เสาเข็มเจาะในยุค 4.0 สืบค้นเมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม 2565 จาก https://www.seafco.co.th/storage/download/innovation/2019/seafco-2019-03.pdf

ธยานันท์ บุณยรักษ์ (2544) พฤติกรรมของสารละลายโพลีเมอร์ในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก ในชั้นดินกรุงเทพฯ, วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. วิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมโยธา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธวัชระพงษ์ วงศ์สกุล (2562) การกำหนดค่าน้ำหนักหลักเกณฑ์เพื่อการตัดสินใจ, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ปีที่ 1 ฉบับที่ 2, ก.ค.-ธ.ค.2562

ธีรพงศ์ แทนเกาะ (2548) พฤติกรรมของกำแพงกันดินไดอะแฟรมวอลล์สำหรับงานขุดลึกในดินเหนียวกรุงเทพ, วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บริษัท เจนเนอรัล เอนจิเนียริ่ง จำกัด (มหาชน) (2565) เสาเข็มเจาะ สืบค้นเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2565 จาก https://www.gel.co.th/th/ผลิตภัณฑ์ของเรา/เสาเข็มเจาะ/

บริษัท ซีฟโก้ จำกัด (มหาชน) (2564), รายงานประจำปี 2564 (One Report)

บริษัท ซีฟโก้ จำกัด (มหาชน) (2565), Bored Piling,
สืบค้นจาก https://www.seafco.co.th/en/seafco-business/bored-piling

บริษัท ซีฟโก้ จำกัด (มหาชน) (2565),Barrette Piling,
สืบค้นจาก https://www.seafco.co.th/en/seafco-business/barrette-piling

บริษัท ซีฟโก้ จำกัด (มหาชน) (2565), Diaphragm Wall, สืบค้นเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2565 จาก https://www.seafco.co.th/en/seafco-business/diaphragm-wall#show

บริษัท ปทุมธานีคอนกรีต จำกัด (2565) เครื่องจักร JIP สืบค้นเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2565 จาก https://www.paco-group.com/JIP/58f4839f69649b0001a4852a

บริษัท เหล็กสยามยามาโตะ จำกัด (2565) Sheet Pile, สืบค้นเมื่อวันที่ 3 พฤษภาคม 2565 จาก https://www.syssteel.com/service/sheet-pile/

บริษัท VSL International Company (2008), Bridge construction, สืบค้นเมื่อ พฤษภาคม 2551 จาก https://vsl.com/home/build/transport-infrastructures/bridges/

ประกาศราคากลางจ้างก่อสร้างงานโยธา โครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง ช่วงเตาปูน-ราษฎร์บูรณะ (วงแหวนกาญจนาภิเษก) (ครั้งที่ 2), 27 กันยายน 2564,
สืบค้นจาก https://www.mrta.co.th/th/purchase/publish-price/ป-งบประมาณ-2564/

ประกาศราคากลาง โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม สัญญาที่ 4 งานก่อสร้างโครงสร้างทางวิ่งและสถานียกระดับ ช่วงคลองบ้านม้า – สุวินทวงศ์ โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีส้ม ช่วงศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย – มีนบุรี (สวินทวงศ์), 30 มิถุนายน 2559,
สืบค้นจาก https://www.mrta.co.th/th/purchase/publish-price/publish-price2559/form51-4/

ราคากลางค่าเช่ารถเครน, มาตรฐานสมาคมผู้ประกอบการรถเครน 2565,
สืบค้นจาก https://kgkcrane.com/ราคากลางค่าเช่ารถเครน-ป/

ภัทราวุธ อาวจำปา (2551) กำแพงไดอะแฟรมในการขุดดินลึกในเขตปลอดภัยของสถานีรถไฟฟ้าใต้ดิน, วิทยานิพนธ์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2546) การตัดสินใจโดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น, ชลกรณ์ฉบับวันชูชาติ, สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์, 2546, หน้า 57-76

วิฑูรย์ ตันศิริคงคล (2542) AHP กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก, กรุงเทพมหานคร , กราฟิก แอนด์ปริ้นติ้ง

วิฑูรย์ ตันศิริคงคล (2557) AHP การตัดสินใจขั้นสูงเพื่อความก้าวหน้าขององค์กรและความอยู่ดีมีสุขของมหาชน, ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557, ISBN 978-616-374-840-9

วินิต แหมา (2553) อิทธิพลของระยะห่างต่อกำลังรับแรงด้านข้างของกำแพงเสาเข็มเจาะเรียงต่อเนื่องสำหรับงานขุดห้องต้ดินลึก, วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สุรเชษฐ์ เหล่าพูลสุข, การก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า/รถไฟฟ้าโมโนเรล ทางเลือกใหม่ของคนกรุงเทพ, 2563

อภิชัย วชิระปราการพงษ์, จุติ ใคร่ครวญ, วิชัย ยู และธันวา วิบูลย์ศรัณย์ (2564) การซ่อมแซมตอม่อสะพานที่ทรุดตัวด้วยเสาเข็มชนิดสปันไมโครไพล์, การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 26, 23-25 มิถุนายน 2564, การประชุมรูปแบบออนไลน์

โครงการรถไฟฟ้าสายสีชมพู ช่วงแคราย – มีนบุรี,
สืบค้นจาก https://www.facebook.com/CRSTECONPINKLINE/

โครงการรถไฟฟ้าสายสีเหลือง ช่วงลาดพร้าว – สำโรง,
สืบค้นจาก https://www.facebook.com/CRSTECONYL

Bansal, S., Biswas, S. and Singh, S. (2017) Fuzzy decision approach for selection of most suitable construction method of Green Buildings, *International Journal of Sustainable Built Environment,* 6(1), Pages 122-132

Barron, F.H. and Barrett, B.E. (1996) Decision quality using ranked attribute weights, *Management Science*, 42(11), 1515-1525

Basha, I. M. and Gab-Allah, A. A. (1991) Value Engineering In Egyptian Bridge Construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, 117(3), https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1991)117:3(393)

Chen, Y., Okudan, G.E. and Riley, D.R. (2010) Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings, *Automation in Construction*, 19(2), Pages 235-244

Chew Yit Lin, M. (2018). *Construction Technology for Tall Buildings*, World Scientific Publishing Co. Ltd., 5th edition.

CPAC (2565) คอนกรีตสำเร็จรูป : เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง สืบค้นเมื่อวันที่ 29 เมษายน 2565 จาก https://web.cpac.co.th/th/product/353/เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง-ซีแพค-เสาเข็มใหญ่/

Earth Mechanics, Inc. (2022) Cut-and-Cover Tunnel Projects, Retrieved 3 May 2022, from https://www.earthmech.com/projects_cut_and_cover_tunnels.php

Ferrada X. and Serpell, A. (2014) Selection of Construction Methods for Construction Projects: A Knowledge Problem, *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(4) : B4014002-1 - B4014002-7, DOI:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000715

Garrido, A. S., Navarro, I. and Yepes, V. (2021) Multi-Criteria Decision-Making Applied To The Sustainability Of Building Structures Based On Modern Methods Of Construction, *Journal of Cleaner Production,* (IF9.297), *DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129724*

Giao, P., Paveechana, T. and Saowiang, K. (2013) Consolidation Settlement Analysis With Reference To Groundwater Recovery In The Bangkok Multi–Aquifer System, *Advances in Geotechnical Infrastructure*, p.567-573, January 2013, 10.3850/978-981-07-4948-4_234

Keawsawasvong, S., Lai, V. Q., Huynh, T., Nguyen Van, C. (2022) Stability factors of cantilever sheet pile walls in clays by using finite element method. In book: Lecture Notes in Civil Engineering, Springer

Martínez, I., Sosa, F. and Sarmiento, N. (2019) Static Analysis of Retention Elements sing Piles and Shotcrete, *Proceedings of XVI PanAmerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVI PCSMGE)*, Cancun, Mexico, November 17-20, 2019

Mass Rapid Transit Authority of Thailand (2020) TBM2 breaks through Ramkhamhaeng 12 Station Retrieved 21 May 2022, from https://www.mrta.co.th/en/news/information/tbm2-breaks-through-ramkhamhaeng-12-station/

Moghayedi, A. and Windapo, A. (2017) Key Performance Criteria Influencing the Selection of Construction Methods Used for the Fabrication of Building Components in the Middle East, *Sustainable Construction and Building Material*, IntechOpen

Mohajerani, A., Bosnjak, D., and Bromwich, D. (2016) Analysis and design methods of screw piles: A review, *Soils and Foundations*, Volume 56, Issue 1, Pages 115-128

Mohiuddin Ali Khan (2022) Accelerated Bridge Construction: Best Practices and Techniques, Elsevier

Pan, N. F. (2008) Fuzzy AHP Approach For Selecting The Suitable Bridge Construction Method, *Automation in Construction*, 17(8):958-965, DOI: 10.1016/j.autcon.2008.03.005

Pan, N. F. (2009) Selecting An Appropriate Excavation Construction Method Based On Qualitative Assessments, *Expert Systems With Applications*, *36*(3 PART 1), 5481-5490, https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.06.097

Phienwej, N. (2008) Ground movements in station excavations of Bangkok first MRT, *Proceedings of the 6th International Symposium (IS-Shanghai 2008)*, p.181-186

Qi, J., Zhao, X. and Yang, H.C. (2020) Selection of Deep Excavation Construction Methods in Building Construction, *Proceedings of IEEE 2nd International Conference on Architecture*, *Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH)*, 25-27 December, 2020, Taiwan

Reda, M., Elshikh, M.Y. and Dawood, M. (2017) Selection of Sustainable Construction Method Using Analytical Hierarchy Process (AHP), *Mansoura Engineering Journal (MEJ)*, 42(2), Pages C:1-C:9

Richard M. Barker & Jay A. Puckett (1997) Design of Highway bridge, John Wiley & Sons Inc.

TBM News (2018) Understanding the New Austrian Tunnel Method (NATM), Retrieved 3 May 2022, https://tunnelingonline.com/understanding-the-new-austrian-tunnel-method-natm/

Teparaksa, W. (2004) Ground Response for Dual Tunnel Bangkok MRT Subway, *Research and Development Journal*, Vol 15 No. 4 p. 53-57

Wang, Y., Sang, S., Liu, X., Huang, Y., Zhang, M. and Miao, D. (2021) Model Test of Jacked Pile Penetration Process Considering Influence of Pile Diameter, Frontiers in Physics, https://doi.org/10.3389/fphy.2021.616410

White, D., Finlay, T., Bolton, M. and Bearss, G. (2002) Press-In Piling: Ground Vibration and Noise during Pile Installation. Geotechnical Special Publication. 10.1061/40601(256)26.

Y.W. Leung, J.S. Button, A.Y.Y. Yap, K.N. Ng (2008) Design and construction of Bukit Panjang LRT, Singapore, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Bridge Engineering*, Vol 161 No. 2, pp.79-87

ภาคผนวก ก.

การจัดกิจกรรม อบรม นำเสนอผลวิจัย ภาพจำลองเสมือนจริง และ หนังสือตำราประกอบงานวิจัย

การจัดกิจกรรม อบรม นำเสนอผลวิจัย ภาพจำลองเสมือนจริง และ หนังสือตำราประกอบงานวิจัย

ในการทำงานวิจัยของโครงการ ทางที่ปรึกษาฯ ได้มีการจัดกิจกรรมและดำเนินงานต่างๆ เพื่อให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง ซึ่งประกอบด้วย การจัดอบรมบุคลากร การจัดสัมมนานำเสนอผลงานวิจัย การจัดทำภาพจำลองเคลื่อนไวเสมือนจริง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ก.1 การจัดอบรมบุคลากร

ทางที่ปรึกษาฯ ได้ประสานงานกับทางเจ้าหน้าที่ของทาง รฟม. เพื่อทำการจัดอบรมฯ เชิงปฏิบัติการ นำผลการวิจัยมาประยุกต์ใช้งาน ให้แก่บุคลากรของทาง รฟม. โดยจัดเป็นกิจกรรมตลอดทั้งวันในช่วงเช้าและบ่าย จัดนำเสนอไปเมื่อวันอังคารที่ 30 สิงหาคม พ.ศ.2565 เวลา 09:00-16:00 น.ณ ห้องประชุม 1 ชั้น 9 อาคาร 1 รฟม. มีผู้เข้าร่วมการอบรมทั้งสิ้นจำนวน 30 ท่าน ดังแสดงในรูปที่ ก.1-1 ซึ่งเนื้อหาในการอบรมประกอบด้วย

- การวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง นำเสนอโดย รศ.ดร.เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมขนส่งและสถิติ
- วิธีการให้คะแนนทางเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้าง นำเสนอโดย ศ.ดร.ปิยะ โชติกไกร ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโครงสร้าง
- การลงมือปฏิบัติจริง การให้คะแนนวิเคราะห์เลือกวิธีการก่อสร้างของโครงการก่อสร้างตัวอย่าง (โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงถนนประเสริฐมนูกิจที่มีแนวเส้นทางซ้อนทับกับทางด่วน) โดย รศ.ดร.ทรงพล จารุวิศิษฏ์ หัวหน้าโครงการวิจัย

ผลการจัดอบรมฯ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และมีข้อคิดเห็นและคำแนะนำจากผู้เข้าร่วมอบรมที่เป็นประโยชน์ เช่น การปรับใช้ค่า k ในการวิเคราะห์คะแนน, วิธีการให้คะแนนของปัจจัยที่ไม่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ (ปัจจัยเชิงคุณภาพ), แนวทางในการนำไปใช้ปฏิบัติงานจริง ฯลฯ ซึ่งสอดคล้องกับความเห็นของทางที่ปรึกษาฯ และได้นำเสนอไปแล้วในเนื้อหาบทต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ ก.1-1 การจัดอบรมเชิงปฏิบัติการนำเสนอผลวิจัย วันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2565

ก.2 งานกิจกรรมนำเสนอผลการวิจัย

ทางที่ปรึกษาฯ ได้ประสานงานกับทางเจ้าหน้าที่ของทาง รฟม. เพื่อจัดงานกิจกรรมนำเสนอผลการวิจัยให้แก่บุคลากรของทาง รฟม. ประจำปี 2565 โดยจัดเป็นกิจกรรมในช่วงเช้าของวันพฤหัสบดีที่ 29 กันยายน พ.ศ.2565 เวลา 09:00-12:00 น.ณ ห้องประชุม 2 ชั้น 9 อาคาร 1 รฟม. โดยมีท่านผู้ช่วยผู้ว่าการฯ รักษาการรองผู้ว่าการฯ นายสาโรจน์ ต.สุวรรณ เป็นประธานกล่าวเปิดงานฯ และมีผู้ลงทะเบียนเข้าร่วมงานกิจกรรมทั้งสิ้นจำนวน 85 ท่าน โดยมีภาพบรรยากาศงานกิจกรรมดังแสดงในรูปที่ ก.2-1 โดยงานกิจกรรมฯ ประกอบด้วย

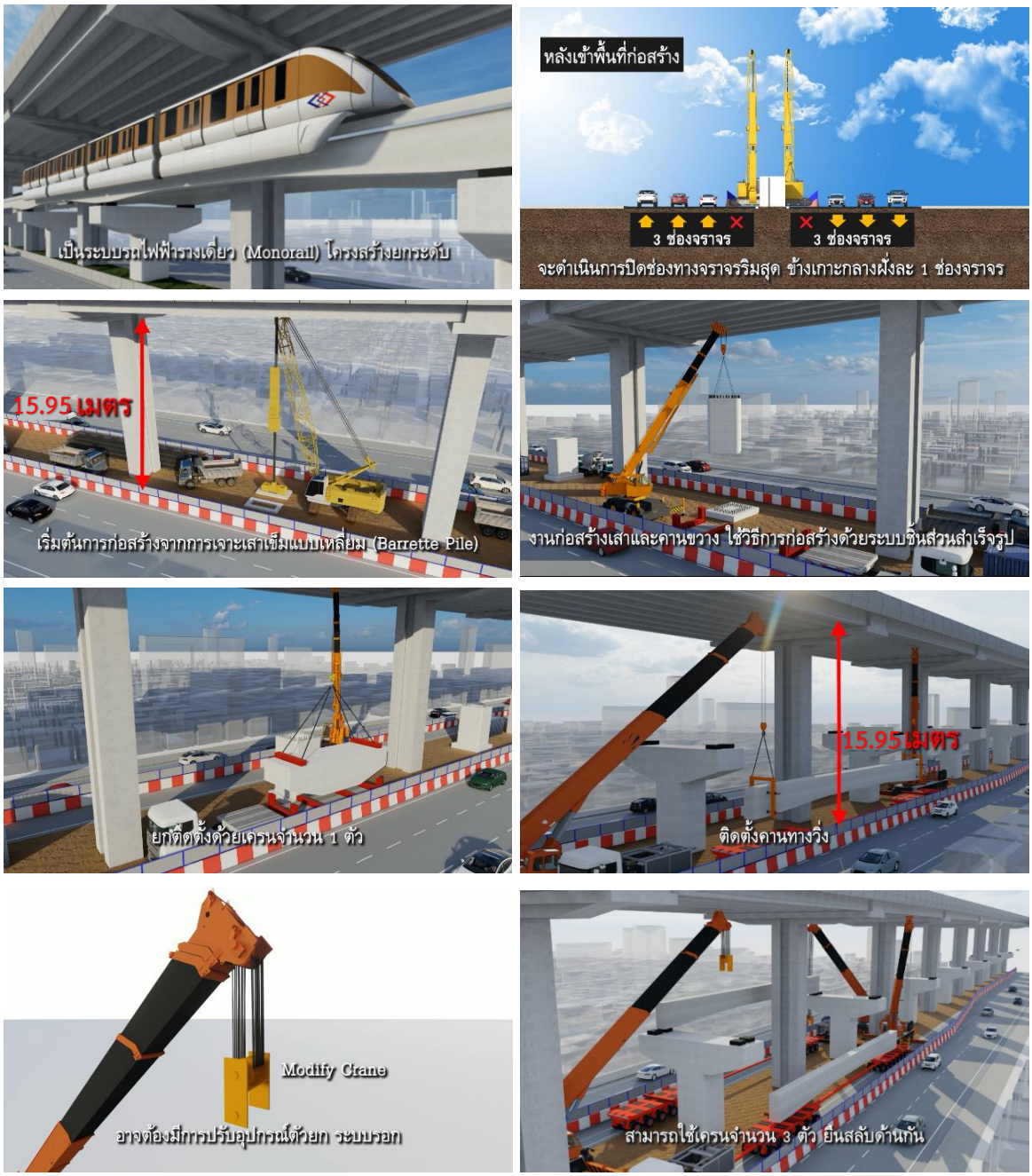
- การนำเสนอความสำคัญของงานวิจัยและกระบวนการทำงานวิจัย บรรยายโดย ผศ.ดร.สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว, ม.เกษตรศาสตร์
- การนำเสนอสรุปผลโครงการวิจัย “การศึกษาปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า กรณีศึกษาการก่อสร้างในพื้นที่จำกัดของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม)” บรรยายโดย รศ.ดร.ทรงพล จารุวิศิษฏ์, ม.เกษตรศาสตร์
- สรุปบทเรียนรู้ของโครงการและการตอบข้อซักถาม



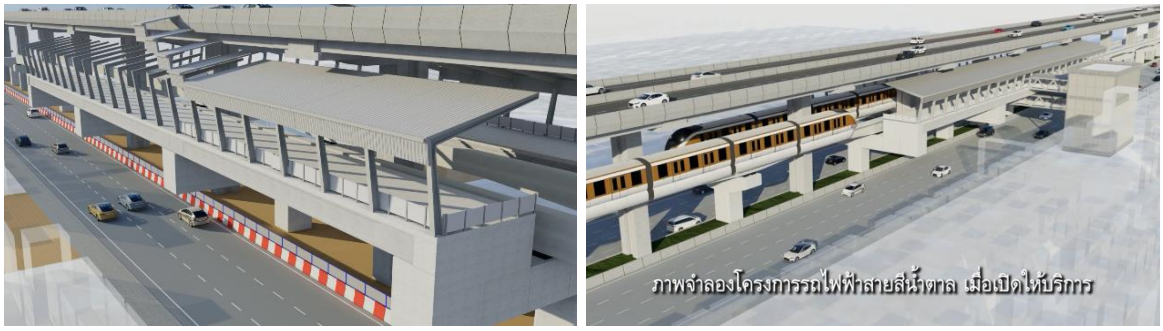
รูปที่ ก.2-1 การจัดกิจกรรมนำเสนอผลการวิจัย วันที่ 29 กันยายน พ.ศ. 2565

ก.3 การจัดทำภาพจำลองเคลื่อนไหวเสมือนจริง 3 มิติ

ทางที่ปรึกษาฯ ได้ดำเนินการจัดทำภาพจำลองเคลื่อนไหวเสมือนจริง 3 มิติ ของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ช่วงบริเวณที่ซ้อนทับกับทางด่วน แล้วเสร็จ ดังแสดงภาพตัวอย่างในรูปที่ ก.3-1 ซึ่งแสดงขั้นตอนการก่อสร้างตามวิธีการก่อสร้างที่ผ่านการคัดเลือกจากการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ตามค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ที่ได้นำเสนอไปแล้ว



รูปที่ ก.3-1 ภาพจำลองเคลื่อนไหวเสมือนจริง 3 มิติ ของกรณีศึกษาช่วงบริเวณซ้อนทับกับทางด่วน



รูปที่ ก.3-1 (ต่อ) ภาพจำลองเคลื่อนไหวเสมือนจริง 3 มิติ ของกรณีศึกษาช่วงบริเวณซ้อนทับกับทางด่วน

ก.4 บทความทางวิชาการ

ทางที่ปรึกษาฯ ได้จัดเตรียมบทความทางวิชาการ ชื่อหัวข้อ “การคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยใช้ค่าคะแนนปัจจัยในการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างแบบถ่วงน้ำหนัก” ดังมีรายละเอียดบทความแสดงในภาคผนวก ข. ซึ่งคาดว่าจะนำส่งตีพิมพ์และนำเสนอบทความเผยแพร่ในการประชุมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28 ในปี พ.ศ.2566

ก.5 หนังสือ ตำรา และ บทความทางวิชาการ ที่ใช้ประกอบงานวิจัยนี้

ตำรา/บทความทางวิชาการ ที่เป็นภาษาไทยและ/หรือภาษาต่างประเทศต่อไปนี้ ใช้เป็นเอกสารอ้างอิงหลักประกอบในการจัดทำงานวิจัยนี้ โดยมีเนื้อหาและความสำคัญต่อโครงการวิจัยนี้ดังต่อไปนี้

1. **Selection of Construction Methods for Construction Projects: A Knowledge Problem**, Ximena Ferrada and Alfredo Serpell, 2014, *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(4) : B4014002-1 - B4014002-7, DOI:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000715
   มีเนื้อหาเกี่ยวกับงานวิจัยศึกษาคัดเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับโครงการก่อสร้างในประเทศชิลี เพื่อระบุปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างจากแนวทางปฏิบัติของงานก่อสร้างในปัจจุบัน โดยมีข้อมูลครอบคลุมการสัมภาษณ์บุคลากรในบริษัทก่อสร้าง 7 แห่ง ทั้งที่ทำงานอยู่ส่วนกลางและอยู่หน้างานก่อสร้าง สามารถนำมาวิเคราะห์แนวทางปฏิบัติของงานก่อสร้าง ปัญหาในกระบวนการก่อสร้าง และความรู้ที่จำเป็นสำหรับการคัดเลือกวิธีการก่อสร้าง รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

2. **Fuzzy AHP Approach For Selecting The Suitable Bridge Construction Method**, N.F. Pan, 2008, *Automation in Construction*, 17(8):958-965, DOI: 10.1016/j.autcon.2008.03.005
   มีเนื้อหาเกี่ยวกับงานวิจัยศึกษาคัดเลือกวิธีการก่อสร้างสะพานที่ประเทศไต้หวัน เพื่อหาหลักเกณฑ์การเลือกวิธีการก่อสร้างสะพานที่เหมาะสม สามารถนำมาวิเคราะห์กับการก่อสร้างโครงสร้างทางรถไฟฟ้ายกระดับของโครงงานวิจัยนี้ได้ รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

3. **Selecting An Appropriate Excavation Construction Method Based On Qualitative Assessments**, N.F. Pan, 2009, *Expert Systems With Applications*, *36*(3 PART 1), 5481-5490, https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.06.097
มีเนื้อหาเกี่ยวกับงานวิจัยศึกษาคัดเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับงานขุดที่เหมาะสมในประเทศไต้หวัน ด้วยการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (AHP) โดยพิจารณากรณีศึกษาของงานก่อสร้างฐานราก สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AHP ของโครงงานวิจัยนี้ รวมถึงอ้างอิงปัจจัยที่นำมาพิจารณาทั้งปัจจัยหลักและปัจจัยย่อย รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

4. **Value Engineering In Egyptian Bridge Construction**, Ismail M. Basha and Ahmed A. Gab-Allah, 1991, *Journal of Construction Engineering and Management*, 117(3), https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1991)117:3(393)
มีเนื้อหาเกี่ยวกับงานวิจัยศึกษาคัดเลือกวิธีการก่อสร้างสะพานที่สำคัญจำนวน 14 โครงการในประเทศอียิปต์ โดยใช้หลักการวิศวกรรมคุ้มค่า และมีวิธีการก่อสร้างสะพานในการศึกษาทั้งหมดจำนวน 8 รูปแบบ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ในการศึกษาสำหรับโครงการวิจัยนี้ ทั้งในด้านของวิธีการคัดเลือกรูปแบบการก่อสร้างและเทคนิคการก่อสร้างสะพานที่เลือกใช้ รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

5. **Multi-Criteria Decision-Making Applied To The Sustainability Of Building Structures Based On Modern Methods Of Construction**, Antonio Sánchez-Garrido, Ignacio Navarro and Victor Yepes, 2021, *Journal of Cleaner Production,* (IF9.297), *DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129724*
มีเนื้อหาเกี่ยวกับงานวิจัยศึกษาเรื่องการตัดสินใจหลายเกณฑ์ในการประเมินเทคนิคก่อสร้างอาคารที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ในประเทศสเปน โดยพิจารณาในแง่ของความยั่งยืนของโครงสร้างอาคาร เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียโดยผู้เชี่ยวชาญ 7 คน ประเมินในมุมมองด้านเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถนำมาเป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับโครงการวิจัยนี้ ทั้งในด้านปัจจัยหลัก ปัจจัยรอง ที่ใช้ในการพิจารณาคัดเลือกเทคนิคการก่อสร้างอาคาร วิธีการประเมินความสำคัญของปัจจัย และ เทคนิคการก่อสร้างที่ใช้ในต่างประเทศ รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

6. **Fuzzy decision approach for selection of most suitable construction method of Green Buildings,** Sunita Bansal, Srijit Biswas and S. Singh, 2017, International Journal of Sustainable Built Environment, 6(1), Pages 122-13
มีเนื้อหาเกี่ยวกับงานวิจัยศึกษาคัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุดจากรูปแบบการก่อสร้างด้วยวิธีหล่อในที่และวิธีใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ด้วยกระบวนการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (AHP) สำหรับอาคารเขียวในประเทศอินเดีย สามารถนำมาใช้อ้างอิงเป็นข้อมูลปัจจัยที่ควรพิจารณาในการคัดเลือกเทคนิคการก่อสร้างในโครงการวิจัยนี้ได้ รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

7. **Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings,** Ying Chen, Gül E. Okudan and David R. Riley, 2010, Automation in Construction, 19(2), Pages 235-244
มีเนื้อหาเกี่ยวกับงานวิจัยศึกษาคัดเลือกวิธีการก่อสร้างอาคารคอนกรีตที่เหมาะสมในประเทศสหรัฐอเมริกา จากรูปแบบการก่อสร้างด้วยวิธีหล่อในที่และวิธีใช้ชิ้นส่วนหล่อสำเร็จ ใช้พิจารณาจาก

เกณฑ์ประสิทธิภาพที่ยั่งยืน โดยให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในงานก่อสร้างทำแบบสอบถามจำนวนกว่าหลายร้อยราย ทั้งผู้เชี่ยวชาญ ผู้รับเหมา ลูกค้า นักพัฒนาการก่อสร้าง เป็นต้น ข้อมูลปัจจัยในการพิจารณาเปรียบเทียบความสำคัญต่างๆ สามารถนำมาใช้อ้างอิงเป็นแนวทางของโครงการศึกษาวิจัยในที่นี้ได้ รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

8. **Selection of Deep Excavation Construction Methods in Building Construction,** Jiarui Qi, Xiangli Zhao and Hsi-Chi Yang, 2020, Proceedings of IEEE 2nd International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH), 25-27 December, 2020, Taiwan
มีเนื้อหาเกี่ยวกับงานวิจัยศึกษาคัดเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับงานขุดแบบลึกในการก่อสร้างอาคารที่ประเทศจีน โดยใช้การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญและมีรูปแบบการก่อสร้างงานขุดดินที่พิจารณาทั้งหมด 5 รูปแบบ สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้างสำหรับงานก่อสร้างอุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดินและงานสถานีใต้ดินได้ รายละเอียดดังแสดงในบทที่ 2

9. **Selection of Sustainable Construction Method Using Analytical Hierarchy Process (AHP),** M. Reda, M. Y. Elshikh and M. Dawood, 2017, Mansoura Engineering Journal (MEJ), 42(2), Pages C:1-C:9
มีเนื้อหาเกี่ยวกับงานวิจัยศึกษาคัดเลือกวิธีการก่อสร้างอาคารที่ยั่งยืนในประเทศอียิปต์ โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ เปรียบเทียบวิธีการก่อสร้างแบบเทในที่ แบบใช้คอนกรีตอัดแรง และแบบใช้คอนกรีตหล่อสำเร็จ สามารถนำข้อมูลเทคนิคการก่อสร้าง และ ปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคนิคการก่อสร้าง มาประยุกต์ใช้กับโครงการวิจัยในที่นี้ได้ รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

10. **Key Performance Criteria Influencing the Selection of Construction Methods Used for the Fabrication of Building Components in the Middle East,** A. Moghayedi and A. Windapo, 2017, Sustainable Construction and Building Material, IntechOpen
มีเนื้อหาเกี่ยวกับงานวิจัยศึกษาคัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่ใช้สำหรับการผลิตส่วนประกอบอาคารในประเทศตะวันออกกลาง 5 ประเทศ ได้แก่ อิหร่าน สหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ ตุรกี อียิปต์ และ กาตาร์ โดยเน้นในเรื่องของเกณฑ์ประสิทธิภาพหลักที่มีอิทธิพลต่อการเลือกวิธีการก่อสร้าง โดยทำการวิเคราะห์แบบลำดับชั้น (AHP) ซึ่งสามารถนำเทคนิควิธีการก่อสร้างต่างๆ และปัจจัยต่างๆ ที่ใช้พิจารณามาเป็นข้อมูลประกอบในโครงการวิจัยนี้ได้เช่นเดียวกันกับงานวิจัยอื่นๆ ก่อนหน้า รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

11. **Construction Technology for Tall Buildings**, Chew Yit Lin, M., 2018, World Scientific Publishing Co. Ltd., 5th edition, World Scientific Publishing
มีเนื้อหาเกี่ยวกับเทคโนโลยีในการก่อสร้างอาคารอย่างมีประสิทธิภาพและก่อสร้างให้รวดเร็ว โดยมีทั้งรูปแบบการก่อสร้างแบบเทในที่ แบบคอนกรีตอัดแรง และ แบบคอนกรีตหล่อสำเร็จ นอกจากนี้ยังแนะนำเทคนิคการก่อสร้างด้วยแบบหล่อชนิดต่างๆ ที่หลากหลายและสามารถช่วยให้งานก่อสร้างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว อีกทั้งเทคนิคการก่อสร้างที่ป้องกันการซึมผ่านของน้ำฝน ซึ่ง

สามารถนำมาพิจารณาเป็นเทคนิคการก่อสร้างที่สามารถเลือกใช้ได้กับการก่อสร้างอาคารทั่วไป อาคารจอดแล้วจร อาคารสถานีระดับดิน ของทาง รฟม. ได้ รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

12. **Accelerated Bridge Construction: Best Practices and Techniques**, Mohiuddin Ali Khan, 2022, Elsevier
มีเนื้อหาเกี่ยวกับเทคโนโลยีในการก่อสร้างสะพานให้รวดเร็วยิ่งขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีทั้งส่วนของการบริหารจัดการโครงการก่อสร้าง การบริหารสัญญาก่อสร้าง และส่วนของเทคนิคการก่อสร้าง อีกทั้งมีเนื้อหาในส่วนของโครงการที่เริ่มก่อสร้างใหม่และโครงการซ่อมแซมโครงสร้างสะพานเดิม สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบในด้านเทคนิคการก่อสร้างโครงสร้างทางยกระดับของรถไฟฟ้าในโครงการวิจัยนี้ได้ รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

13. **Decision quality using ranked attribute weights**, F.H. Barron and B.E. Barrett, 1996, Management Science, 42(11), 1515-1525
มีเนื้อหาเกี่ยวกับทฤษฎีการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจด้วยวิธีการจัดลำดับ Rank Order Centroid (ROC) ซึ่งได้อ้างอิงนำมาใช้ในการหาค่าน้ำหนักของปัจจัยรองในบทที่ 2

14. **AHP การตัดสินใจขั้นสูงเพื่อความก้าวหน้าขององค์กรและความอยู่ดีมีสุขของมหาชน**, วิฑูรย์ ตันศิริคงคล, ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557, ISBN 978-616-374-840-9
มีเนื้อหาเกี่ยวกับทฤษฎีกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) อย่างละเอียด ซึ่งสามารถใช้ศึกษาและอ้างอิงที่มาในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางหลักในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างของงานวิจัยนี้ รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

15. **การตัดสินใจโดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น**, วราวุธ วุฒิวณิชย์, ชลกรณบับวันชูชาติ, สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์, 2546, หน้า 57-76
มีเนื้อหาเกี่ยวกับทฤษฎีกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) วิธีการจัดลำดับ และ วิธีการจัดระดับ เพื่อหาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจทางเลือก โดยสามารถนำมาอ้างอิงประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของปัจจัยในงานวิจัยนี้ได้ รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

16. **การกำหนดค่าน้ำหนักหลักเกณฑ์เพื่อการตัดสินใจ**, ธวัชระพงษ์ วงศ์สกุล, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ ปีที่ 1 ฉบับที่ 2, ก.ค.-ธ.ค.2562
มีเนื้อหาโดยสรุปเกี่ยวกับทฤษฎีการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยด้วยวิธีการจัดลำดับและวิธีการจัดระดับ ที่สามารถอ้างอิงประยุกต์ใช้กับงายวิจัยนี้ได้ รายละเอียดแสดงในบทที่ 2

ภาคผนวก ข.

บทความทางวิชาการ

การคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่เหมาะสมโดยใช้ค่าคะแนนปัจจัยในการตัดสินใจแบบถ่วงน้ำหนัก

Selection of Appropriate Construction for Mass Rapid Transit Project by AHP and Ranking method

รศ.ดร.ทรงพล จารุวิศิษฏ์[1,*], รศ.ดร.ศุภวุฒิ มาลัยกฤษณะชลี[2], รศ.ดร.เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช[3], ศ.ดร.ปิยะ โชติกไกร[4], ศ.ดร.วันชัย ยอดสุดใจ[5] ผศ.ดร.สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว[6] และ อัญชลี เจนพานิชทรัพย์[7]

[1,2,4-6] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
[3] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[7] การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย
**Corresponding author; E-mail address: fengspc@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในบริเวณพื้นที่จำกัดที่มีอุปสรรคยังไม่มีเกณฑ์ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่ชัดเจน ครอบคลุมปัจจัยในหลายๆ ด้านที่สำคัญ เช่น ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านวิศวกรรม และ ด้านสังคมฯ งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปัจจัยและหาค่าน้ำหนักของปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ด้วยการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถาม โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบลำดับชั้นสำหรับปัจจัยหลักทั้ง 3 และวิเคราะห์ด้วยวิธี ROC สำหรับปัจจัยรองจำนวน 7-8 ปัจจัยในแต่ละปัจจัยหลักที่แยกตามส่วนโครงสร้างที่พิจารณา โดยพบว่าสำหรับโครงการรถไฟฟ้าแบบ Monorail ปัจจัยหลักด้านวิศวกรรมฯ มีความสำคัญที่สุด 54% ปัจจัยด้านสังคมฯ 26% และ ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ 20% ตามลำดับ ค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกวิธีก่อสร้างของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลช่วงบริเวณบนถนนประเสริฐมนูกิจ ที่มีแนวเส้นทางซ้อนทับกับโครงการก่อสร้างทางด่วนใหม่ขั้นที่ 3 ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าน้ำหนักที่ได้จากงานวิจัยมีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้งานได้จริง

คำสำคัญ: โครงการรถไฟฟ้า, การวิเคราะห์แบบลำดับชั้น, วิธี ROC, MRT, ปัจจัยการก่อสร้าง

Abstract

Nowadays, there is no appropriate criteria considering various important factors for selection of the proper construction technology or methods on Mass rapid transit project in restricted area with obstructions in Thailand. This research aims to study those criteria that affect decision making of construction technology and their importance in terms of criteria weight for various types of Mass rapid transit project by interview and questionnaire. Three main criteria including Economic, Engineering and Social & Environment were analyzed by using the analytic hierarchy process (AHP), while the sub-criteria were identified by using Rank order centroid method (ROC), for various categories of structure. It is found that, for the Monorail project, Engineering is the most important criteria of 54% weight, Social & Environment and Economic are 2nd and 3rd criteria of 26% and 20%, respectively. The obtained relative weights of all main and sub-criteria were applied to the case study of the monorail Brown line project on Prasert-Manukitch road section which the alignment is overlapped with the new expressway project. The results show that the analyzed construction methods consistent with the project feasibility report. This can be implied that the relative criteria weights obtained from this study are reliable and applicable.

Keywords: Mass rapid transit project, AHP, ROC method, MRT, Construction factor

1. คำนำ

ในการก่อสร้างโครงสร้างโครงการรถไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นการก่อสร้างโครงสร้างทางวิ่ง สถานี หรืออาคารต่างๆ จำเป็นต้องเลือกวิธีการหรือเทคโนโลยีการก่อสร้างที่มีความเหมาะสม มีความคุ้มค่า และลดผลกระทบในด้านต่างๆ ให้ได้มากที่สุด ซึ่งปัจจุบันการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในบริเวณพื้นที่จำกัดที่มีอุปสรรค ยังไม่มีเกณฑ์ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่ครอบคลุมปัจจัยในหลายๆ ด้านที่สำคัญ เช่น ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านวิศวกรรม และ ด้านสังคมฯ โดยวิธีการก่อสร้างที่เลือกใช้ จะมาจากการนำเสนอโดยผู้ออกแบบหรือผู้รับเหมาก่อสร้าง ซึ่งอาจไม่ใช่วิธีที่เหมาะสมที่สุด งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าและหาค่าน้ำหนักของปัจจัยนั้นๆ เพื่อสร้างเกณฑ์ในการตัดสินใจคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าที่เหมาะสม

โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย-ลำสาลี (บึงกุ่ม) เป็นโครงการที่มีแนวคิดมาจากการศึกษาทบทวนความเป็นไปได้ในเบื้องต้นของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร (สนข.) [1,2] จากโครงการระบบทางด่วนใหม่ขั้นที่ 3 สายเหนือ ที่มีการก่อสร้างเสาตอม่อเตรียมไว้แล้วบนแนวกึ่งกลางของถนนประเสริฐมนูกิจ (ถนนเกษตร-นวมินทร์) ซึ่งการทางพิเศษแห่งประเทศไทย (กทพ.) กำหนดให้เป็นเส้นทางเชื่อมกับระบบทางพิเศษระหว่างเมืองด้านตะวันออก-ตะวันตก โดยท้ายสุดกระทรวงคมนาคมได้มอบหมายให้การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.) และ กทพ. พิจารณาวางแผนร่วมกันให้เกิดผลกระทบระหว่าง

การก่อสร้างต่อประชาชนในพื้นที่ก่อสร้างที่ต้องใช้ร่วมกันให้น้อยที่สุด โดยจากผลการศึกษาความเหมาะสม โครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ จะมีแนวเส้นทางซ้อนทับกับโครงการทางด่วนระยะทางรวมประมาณ 7 กิโลเมตร บนถนนประเสริฐมนูกิจที่โครงการทางด่วนจะก่อสร้างแล้วเสร็จก่อนโดยใช้ประโยชน์จากเสาฐานรากเดิมที่ได้ก่อสร้างไว้แล้ว ด้วยเหตุผลดังกล่าว จึงทำให้เกิดข้อจำกัดต่างๆ ในการก่อสร้างโครงการ เช่น พื้นที่ก่อสร้างของโครงการที่จำกัด ปัญหาการจราจรในระหว่างการก่อสร้าง ผลกระทบต่อประชาชนในพื้นที่ งบประมาณ ฯลฯ จึงเป็นโอกาสที่จะนำมาใช้เป็นกรณีศึกษา ในการประยุกต์ผลของการศึกษาวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยหรือเกณฑ์ในการตัดสินใจคัดเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ที่จะช่วยลดผลกระทบจากการก่อสร้าง เสริมสร้างประสบการณ์ที่ดีและสร้างความพึงพอใจแก่ประชาชนตามแนวสายทาง

2. การทบทวนงานวิจัยในอดีต

มีงานวิจัยหลากหลายที่ได้พยายามศึกษาหาหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในหลายรูปแบบของสิ่งก่อสร้าง เช่น งานก่อสร้างสะพานที่พิจารณาวิธีการก่อสร้างที่แตกต่างกัน เช่น วิธี Full-span and Pre-cast Launching วิธี Balanced Cantilever [3] และพิจารณาการก่อสร้างในสถานการณ์ต่างๆ ได้แก่ การก่อสร้างภายใต้สภาพการจราจรปกติ การก่อสร้างข้ามทางน้ำที่สามารถเดินเรือได้ เป็นต้น [4] หรืองานวิจัยประเมินการก่อสร้างอาคาร ซึ่งมีทั้งที่พิจารณาการก่อสร้างอาคารเขียวระหว่าง วิธีก่อสร้างแบบหล่อในที่และชิ้นส่วนหล่อสำเร็จทั้งแบบอัดแรงและไม่อัดแรง ด้วยการวิเคราะห์แบบ AHP และการสัมภาษณ์ผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง [5,6,7] หรือการก่อสร้างในส่วนงานต่างๆ อาทิ แผ่นพื้น แผ่นผนัง เสา บล็อกสำเร็จรูป ด้วยวิธีก่อสร้างสมัยใหม่ที่พิจารณาประสิทธิภาพของวงจรชีวิตในแง่ของความยั่งยืน [8] และงานวิจัยที่พิจารณาแยกตามองค์ประกอบของอาคาร เช่น ฐานราก โครงสร้าง หลังคา กำแพง พื้น ผิวอาคาร เพื่อหาวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในแต่ละส่วน [9] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่สนใจมุ่งเน้นความเหมาะสมของเทคนิควิธีการก่อสร้าง เช่น การคัดเลือกเทคนิคการก่อสร้างในงานขุดดินแบบลึกวิธีต่างๆ เช่น สร้างจากบนลงล่าง จากล่างขึ้นบน หรือ Double Down-Up หรือวิธี Island และวิธีแบบขุดเปิด [10] รวมถึงงานวิจัยในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างสำหรับโครงการก่อสร้างในภาพรวมทั้งโครงการ เพื่อระบุปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้าง [11]

ซึ่งจากงานวิจัยต่างๆ จะพบว่าปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาจะมีลักษณะคล้ายคลึงซ้ำๆ กัน โดยปัจจัยที่มีความสำคัญมาก จะได้รับการพิจารณาในทุกงานวิจัย และบางปัจจัยที่สำคัญน้อยอาจไม่ได้อยู่ในการพิจารณาของบางงานวิจัย โดยรวมมีปัจจัยดังนี้ ค่าก่อสร้าง ความยากง่ายในการก่อสร้าง คุณภาพ ความปลอดภัย ระยะเวลา เวลารอคอย การขนส่ง ความเหมาะสม ความทนทาน โครงสร้างทางธรณีวิทยา ระดับน้ำใต้ดิน วิธีการขุด ลักษณะเฉพาะทางกายภาพ การเข้าถึงพื้นที่ การจราจร สภาพพื้นที่ก่อสร้าง สภาวะอากาศ ภูมิประเทศ อัตราคืบหน้าในการก่อสร้าง ความจุในการใช้งาน ปัจจัยการออกแบบ รูปร่าง ค่าแรงงาน ค่าความเสียหาย ค่าซ่อมบำรุง อายุการใช้งาน ค่าใช้จ่ายในการกำจัดเมื่อหมดอายุ ค่าใช้จ่ายที่ซ่อนอยู่ ค่าใช้จ่ายจากนโยบาย อิทธิพลต่อตลาดงาน อัตราการทำงาน ความยืดหยุ่นในการทำงาน ผลตอบแทนการลงทุน สิ่งแวดล้อม ความพร้อมของทรัพยากร มลภาวะ ฯลฯ

3. การคัดกรองสรุปปัจจัย

งานวิจัยนี้ได้นำปัจจัยต่างๆ ที่ได้ทำการทบทวนข้างต้นมาพิจารณาระดมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เพื่อทำการคัดเลือกจัดกลุ่มปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในรูปแบบการก่อสร้างต่างๆ ได้แก่ (1) โครงสร้างรถไฟฟ้ายกระดับรางเดี่ยว (Monorail) : ฐานราก/เสาเข็ม เสา/คานขวาง คานทางวิ่ง และ สถานี (2) โครงสร้างรถไฟฟ้ายกระดับรางหนัก (Heavy rail) : ฐานราก/เสาเข็ม เสาตอม่อ คานทางวิ่ง และ สถานี (3) โครงสร้างรถไฟฟ้าใต้ดิน (Underground Heavy rail) : อุโมงค์ทางวิ่ง และ สถานี และ (4) โครงการระดับดิน : อาคารศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดแล้วจร

การประชุมระดมความคิดเห็นจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อ เพิ่ม ลด ปรับปรุง และประเมินความเกี่ยวข้องของปัจจัย และนำไปออกแบบแบบสอบถาม เก็บข้อมูลแบบสอบถาม และทำการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักและเปรียบเทียบลำดับความสำคัญของปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า เพื่อสรุปผลและนำเกณฑ์ที่ได้ไปใช้คัดเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมกับการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ โดยสามารถสรุปปัจจัยที่ได้ทำการคัดกรองและจัดกลุ่มแล้วดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณาเลือกวิธีก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

เป้าหมาย (A)	ปัจจัยหลัก (B : Main Criteria)	ปัจจัยย่อย (C : Sub-criteria)
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง	B1: ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	C1: ค่าก่อสร้าง
		C2: ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค
		C3: ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราว
		C4: ค่าใช้จ่ายป้องกันผลกระทบด้านสังคม สิ่งแวดล้อม
		C5: ค่าใช้จ่ายในการจัดการจราจรและประชาสัมพันธ์
		C6: ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน
		C7: ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง
		C8: ค่าใช้จ่ายอื่นๆ
	B2: ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง	C9: ระยะเวลาการก่อสร้าง
		C10: ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอย วัสดุอุปกรณ์
		C11: ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง วัสดุอุปกรณ์
		C12: ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง
		C13: ความปลอดภัยและความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ
		C14: ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง ตำแหน่งก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่ต้องเคลื่อนย้าย
		C15: ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง
		C16: คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดระดับความลึกในการขุด
	B3: ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย	C17: ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรฯ
		C18: การรบกวนชุมชนข้างเคียง
		C19: ผลกระทบต่อสภาพจราจร (ระยะเวลาปิดจราจร)
		C20: ความยั่งยืนในการก่อสร้าง
		C21: การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้
		C22: การตอบสนองนโยบายภาครัฐ
		C23: ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า ปัจจัยหลักในการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ามีจำนวน 3 ปัจจัย (B1, B2 และ B3) ส่วนปัจจัยรองจะมีจำนวน 8 ปัจจัยย่อยภายใต้ปัจจัยหลักด้านเศรษฐศาสตร์ (C1 ถึง C8) และอีก 8 ปัจจัยย่อยภายใต้ปัจจัยหลักด้านวิศวกรรมฯ (C9 ถึง C16) แต่จะมีจำนวน 7 ปัจจัยย่อยภายใต้ปัจจัยหลักด้านสังคมและสิ่งแวดล้อมฯ (C17 ถึง C23)

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการหาค่าความสำคัญค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยสำหรับการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบต่างๆ ทั้ง 4 รูปแบบที่นำเสนอข้างต้นพร้อมทั้งแบ่งแยกย่อยในส่วนของโครงสร้างที่แตกต่างกันของแต่ละรูปแบบ โดยสำหรับปัจจัยหลักจะใช้วิธีการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) ส่วนปัจจัยย่อย เนื่องจากมีจำนวนปัจจัยค่อนข้างมาก เพื่อลดความซับซ้อนและความสับสนในการตอบแบบสอบถามของผู้ที่เกี่ยวข้อง จะใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธีการจัดลำดับ (ROC) แทน

ในปัจจัยย่อยทั้งหมด จะสังเกตได้ว่า ปัจจัยย่อยทางด้านเศรษฐศาสตร์จะเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับค่าใช้จ่ายซึ่งสามารถวัดค่าเป็นจำนวนเงินได้ ส่วนปัจจัยย่อยอื่นๆ ที่เหลือ จะเห็นได้ว่ามีเพียงปัจจัย C9-ระยะเวลาก่อสร้าง, C10-ระยะเวลารอคอย และ C19-ระยะเวลาในการปิดจราจร ที่เป็นปัจจัยเกี่ยวข้องกับเวลา ซึ่งเป็นปัจจัยที่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ ส่วนปัจจัยอื่นๆ นอกจากนั้นจะเป็นปัจจัยเชิงคุณภาพ ที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้โดยตรง ต้องมีการกำหนด

4. การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยหลักด้วยวิธี AHP

กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process, AHP) ถูกพัฒนาขึ้นโดย Thomas L. Saaty [12] เพื่อใช้ในการตัดสินใจและวิเคราะห์ทางเลือกต่างๆ ที่มีความซับซ้อนและต้องการลำดับอย่างมีเหตุผล โดยปัจจัยต่างๆ มีความสัมพันธ์กันเป็นเชิงลำดับชั้น (Hierarchy) หลักการของ AHP คือการแบ่งโครงสร้างของปัญหาแยกลำดับความสำคัญออกเป็นลำดับชั้น ได้แก่ เป้าหมาย (Goal) เกณฑ์ (Criteria) เกณฑ์ย่อย (Sub-criteria) และทางเลือก (Alternatives) จากนั้นจึงวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยมีขั้นตอนได้แก่ การคัดเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้าง การระบุปัจจัยที่ใช้ในการเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้าง การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์และใช้แบบสอบถาม การเก็บรวบรวมข้อมูลจากแบบสอบถาม และทำการวิเคราะห์ AHP ด้วยการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่ (Pairwise comparison) [13-16] โดยวิเคราะห์จากปัจจัยที่มีผลในการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างจากการคัดกรองปัจจัยในข้อก่อนหน้าดังแสดงในตารางที่ 1

4.1 ปัจจัยที่พิจารณาในการวิเคราะห์ด้วยวิธี AHP

ในงานวิจัยนี้ ใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี AHP เฉพาะสำหรับปัจจัยหลัก ซึ่งมีทั้งสิ้น 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง และ ปัจจัยด้านสังคมสิ่งแวดล้อมและนโยบาย

4.2 การเปรียบเทียบแบบเป็นคู่ (Pairwise comparison)

กระบวนการพื้นฐานในการวิเคราะห์ทางเลือกและปัจจัยต่างๆ ของ AHP คือการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่กันเอง โดยปกติการเปรียบเทียบแต่ละคู่จะถูกเทียบกันเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 9 [13-16] แต่ในงานวิเคราะห์ครั้งนี้เพื่อให้ผู้ตัดสินใจในการเปรียบเทียบเข้าใจง่ายขึ้น จึงได้ปรับลำดับการเปรียบเทียบเชิงตัวให้เหลือเพียง 1 ถึง 5 โดยมีค่าตัวเลขการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 2 การเปรียบเทียบปัจจัยคู่จะได้รับการตัดสินโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ได้ความคิดเห็นที่ในทุกๆ มิติของการวิเคราะห์ในครั้งนี้ เมื่อได้รับผลการเปรียบเทียบของปัจจัยต่างๆ แล้ว ข้อมูลเชิงตัวเลขจะถูกนำมาคำนวณหาค่าน้ำหนักโดยการวิเคราะห์ weighting metric

4.3 การวิเคราะห์ความคงเส้นคงวา (Consistency analysis)

ในการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่ เป็นผลจากการตัดสินใจของแต่ละบุคคล ซึ่งในการเปรียบเทียบนั้นอาจมีความไม่คงที่ (inconsistency) ดังนั้นการวิเคราะห์ค่าความคงเส้นคงวา (consistency analysis) สำหรับ AHP จึงมีความจำเป็นเพื่อพิสูจน์ว่าค่าการเปรียบเทียบนั้นมีความถูกต้องเพียงพอในการนำไปตัดสินใจหรือวิเคราะห์ต่อไปได้หรือไม่ ค่า Consistency ratio (*CR*) เป็นตัวบ่งชี้ว่าการเปรียบเทียบนั้นสามารถนำไปวิเคราะห์ได้หรือไม่ ค่า *CR* สำหรับการเปรียบเทียบของระดับชั้นของปัจจัยเดียวกันจะต้องไม่เกิน 0.1 และค่า *CR* สามารถหาได้ดังสมการที่ (1)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบเชิงตัวเลขในการเปรียบเทียบแบบเป็นคู่

ระดับการเปรียบเทียบ	ค่าเชิงตัวเลข	ค่าส่วนกลับ
สำคัญกว่ามากที่สุด	5	1/5
สำคัญกว่ามาก	4	1/4
สำคัญกว่าพอสมควร	3	1/3
สำคัญกว่าเล็กน้อย	2	1/2
สำคัญใกล้เคียงกัน	1	1

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{1}$$

เมื่อ CR คือค่า Consistency ration CI คือค่า Consistency index และค่า RI คือค่า Random Index

Consistency Index (CI) เป็นค่าที่ถูกคำนวณจากค่า Maximum Eigen value (λ_{max}) ของเมตริกซ์ปัจจัยดังสมการที่ (2) [17]

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \tag{2}$$

เมื่อ n คือ order ของเมตริกซ์หรือจำนวนของปัจจัยที่เปรียบเทียบกันในเมตริกซ์นั้น ค่า Random Index (RI) คือค่า Consistency Index สูงสุด (CI_{max}) ที่ได้จากการคำนวณตาม order "n" ของเมตริกซ์ โดยค่า RI แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า Random consistency index, *RI* [11,12]

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

4.4 การวิเคราะห์ข้อมูล AHP

ในขั้นตอนนี้จะเป็นวิเคราะห์หาค่าความสำคัญน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกเทคนิควิธีการก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าในแต่ละรูปแบบที่กำหนด (4 รูปแบบ) โดยใช้แบบสอบถามซึ่งจะประกอบไปด้วยคำถามที่ถูกใช้ในการวัดความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง ครอบคลุมทั้งผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโครงสร้าง วิศวกรรมปฐพี การบริหารงานก่อสร้าง ฯลฯ เพื่อให้ได้มุมมองที่สะท้อนความคิดเห็นของทุกภาคส่วน เพื่อเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยหลักคือ เศรษฐศาสตร์ วิศวกรรมการก่อสร้าง และ สังคมสิ่งแวดล้อมฯ โดยใช้การวัดแบบสัมพัทธ์ 5 ระดับดังแสดงในตารางที่ 2 ข้างต้น และจากนั้นจึงเปรียบเทียบความสำคัญของปัจจัยรองภายในแต่ละปัจจัยย่อยอีกทีหนึ่ง ซึ่งจะใช้การวิเคราะห์ด้วยการจัดลำดับ (ROC) โดยเป็นคนละวิธีกับ AHP ซึ่งจะนำเสนอในหัวข้อถัดไป

4.5 ผลการวิเคราะห์

ผลการวิเคราะห์ AHP ของโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทั้ง 4 รูปแบบแสดงดังตารางที่ 4 จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบโดยผู้เชี่ยวชาญทั้งสิ้น 23 ท่าน การวิเคราะห์ Consistency Analysis ของผลการเปรียบเทียบปัจจัยของทุกรูปแบบโครงการพบว่าค่า *CR* ของทุกรูปแบบการก่อสร้างที่พิจารณา

มีค่าไม่เกิน 0.1 แสดงว่าผลการวิเคราะห์นั้นสามารถนำไปใช้ในการพิจารณาและวิเคราะห์ขั้นต่อไปได้ โดยผลการวิเคราะห์ค่าความสำคัญน้ำหนักของปัจจัยพบว่า ปัจจัยทางด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง (B2) เป็นปัจจัยที่ถูกจัดให้มีความสำคัญที่สุดในการพิจารณารูปแบบโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าทั้ง 4 รูปแบบ โดยในรูปแบบโครงการรถไฟฟ้า Monorail, Heavy rail และ Underground มีค่าน้ำหนักจากการเปรียบเทียบของปัจจัยทางด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างสูงมากกว่า 45% แต่ในส่วนของรูปแบบโครงการก่อสร้างอาคารซ่อมบำรุงและจอดแล้วจรนั้นพบว่า ค่าน้ำหนักของปัจจัยทางด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างนี้ (B2) มีค่าน้ำหนักลดลง แต่ก็ยังคงมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่นที่ 41% เนื่องจากในส่วนงานก่อสร้างอาคารงานทางด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง ไม่ได้มีความซับซ้อนมากเมื่อพิจารณาเทียบกับทางเลือกของการก่อสร้างโครงการทางรถไฟ แต่ถึงอย่างนั้นก็ตาม ปัจจัยทางวิศวกรรมและการก่อสร้างก็ยังคงเป็นปัจจัยอันดับแรกที่มีความสำคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึง

ตารางที่ 4 ค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักจากการวิเคราะห์ AHP

ปัจจัย	Monorail	Heavy rail	Under-ground	Building
(B1) เศรษฐศาสตร์	0.20	0.34	0.25	0.32
(B2) วิศวกรรมฯ	0.54	0.45	0.51	0.41
(B3) สังคม สิ่งแวดล้อมฯ	0.26	0.21	0.24	0.27
ค่า CR*	0.000004	0.01	0.004	0.002

**การวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบคู่ในการวิเคราะห์ AHP ยอมรับค่า CR ≤ 0.1*

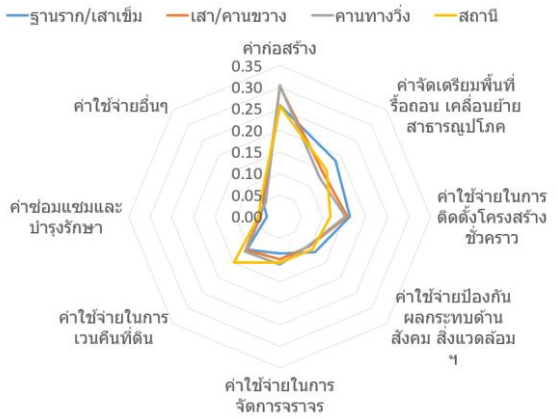
5. การวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยรองด้วยวิธี ROC

วิธีการจัดลำดับ (Ranking method) เป็นวิธีที่ใช้งานง่าย การประเมินความสำคัญของค่าถ่วงน้ำหนักถูกจัดอยู่ในรูปลำดับภายใต้การพิจารณาของผู้ตัดสินใจ โดยปัจจัยที่สำคัญที่สุดถูกำหนดให้เป็นลำดับ = 1, สำคัญลำดับสอง = 2 และอื่นๆ การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักใช้หลักการ Rank-order Centroid (ROC) โดยให้ผู้ตัดสินใจจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยตามสมการที่ (3) [18,19]

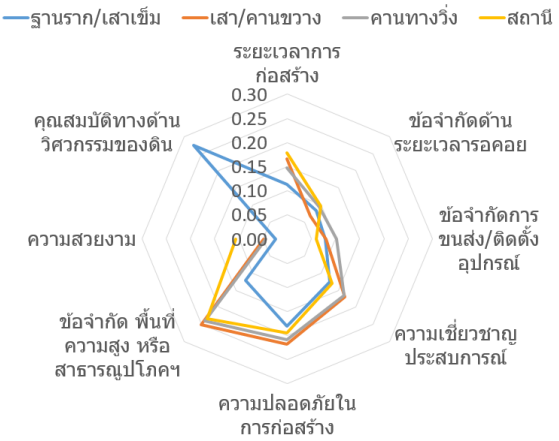
$$w_j = \frac{1}{n}\sum_{k=j}^{n}\frac{1}{r_k} \qquad (3)$$

โดยที่ w_j = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่พิจารณา j
n = จำนวนปัจจัยทั้งหมด
r_k = อันดับความสำคัญของปัจจัยที่ k

ค่าน้ำหนักที่ได้จากวิธีการนี้จะเป็นค่า Centroid ของค่าน้ำหนักที่เป็นไปได้ของลำดับนั้น ค่าน้ำหนักที่ได้จากวิธีการนี้จะค่อนข้างเสถียร ผู้วิจัยจึงพิจารณานำมาใช้ในการหาค่าน้ำหนักของปัจจัยรองในการศึกษานี้ เนื่องจากมีจำนวนปัจจัยมากถึง 78 ปัจจัย ทำให้การทำการเปรียบเทียบแบบ Pairwise ของ AHP ทำได้ยาก ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักปัจจัยรองภายใต้ปัจจัยหลักด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง และ ด้านสังคม สิ่งแวดล้อม และนโยบาย ของการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบ Monorail แสดงดังในรูปที่ 1-3 (เนื่องจากผลการวิเคราะห์มีจำนวนมาก ในบทความนี้จึงคัดนำเสนอเฉพาะผลของการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบ Monorail) ผลการเปรียบเทียบค่าน้ำหนักปัจจัยย่อยของแต่ละปัจจัยหลักพบว่า ปัจจัยย่อยค่าก่อสร้างเป็นปัจจัยย่อยที่สำคัญที่สุดสำหรับปัจจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ ปัจจัยย่อยเรื่องข้อจำกัดด้านพื้นที่เป็นปัจจัยย่อยที่สำคัญที่สุดสำหรับปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ และปัจจัยย่อยเรื่องความปลอดภัยของชุมชนฯ เป็นปัจจัยย่อยที่สำคัญที่สุดสำหรับปัจจัยด้านสังคมสิ่งแวดล้อมฯ



รูปที่ 1 ค่าน้ำหนักปัจจัยย่อยด้านเศรษฐศาสตร์ การก่อสร้างโครงการรูปแบบ Monorail



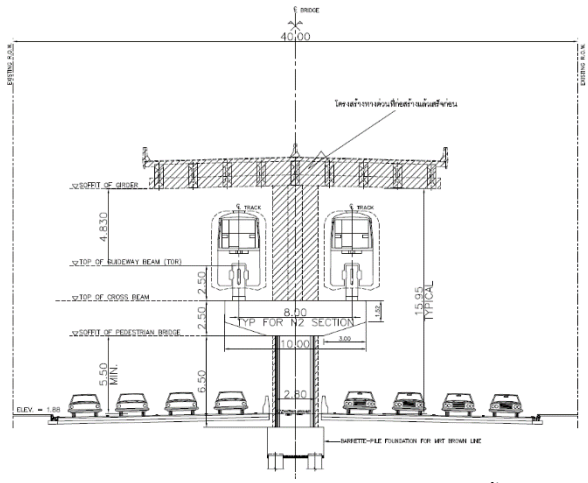
รูปที่ 2 ค่าน้ำหนักปัจจัยย่อยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง การก่อสร้างโครงการรูปแบบ Monorail



รูปที่ 3 ค่าน้ำหนักปัจจัยย่อยด้านสังคมสิ่งแวดล้อมฯ การก่อสร้างโครงการรูปแบบ Monorail

6. กรณีศึกษา

ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาค่าน้ำหนักของปัจจัยทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้น มาทดลองประยุกต์ใช้กับการคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างในพื้นที่จำกัดของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณบนถนนประเสริฐมนูกิจ เนื่องจากในบริเวณดังกล่าว แนวเส้นทางของโครงการจะซ้อนทับกันกับโครงการทางด่วนใหม่ขั้นที่ 3 ของ กทพ. ซึ่งมีแผนจะดำเนินการก่อสร้างแล้วเสร็จและเปิดใช้งานก่อนการก่อสร้างของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ โดยจะส่งผลให้เมื่อทำการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในภายหลังจะมีอุปสรรคจากโครงสร้างของทางด่วนที่มีอยู่ก่อนแล้ว โดยลักษณะทางกายภาพของรูปแบบโครงสร้างดังแสดงภาพรูปตัดในรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปสรรคของการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในบริเวณนี้คือข้อจำกัดด้านความสูงในการทำงาน ที่มีระยะความสูงจำกัดจากพื้นถนนถึงใต้ท้องคานทางด่วน 15.95 ม. เช่น การก่อสร้างส่วนงานเสาเข็มด้วยการใช้เสาเข็มเจาะ จะต้องเผื่อระยะความสูงของปลอกเหล็ก (Casing) และระยะในการยกปลอก ทำให้เสาเข็มเจาะอาจไม่ใช้วิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในบริเวณดังกล่าว หรือในส่วนของการก่อสร้างเสาตอม่อและคานขวาง รวมถึงคานทางวิ่ง การก่อสร้างด้วยวิธีเทคอนกรีตในที่หรือการยกชิ้นส่วนเสาคานหล่อสำเร็จด้วยการใช้เครนหรืออาจพิจารณาวิธีอื่นที่เป็นไปได้ วิธีใดมีความเหมาะสมกว่ากัน เป็นต้น ในที่นี้จึงได้นำค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้ารูปแบบ Monorail มาใช้คัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในแต่ละส่วนของโครงสร้าง โดยทำการให้ค่าคะแนนในแต่ละปัจจัยและนำผลรวมค่าคะแนนแบบถ่วงน้ำหนักของแต่ละปัจจัยทั้งหมดคำนวณตามสมการที่ (4) มาสรุปผลการคัดเลือก โดยทางเลือกที่ได้คะแนนสูงสุดจะเป็นวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุด สำหรับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณถนนประเสริฐมนูกิจนี้มีทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่พิจารณาแล้วว่ามีความเป็นไปได้ เพื่อนำมาคัดเลือกวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมในขั้นตอนสุดท้ายดังต่อไปนี้



รูปที่ 4 กรณีศึกษาการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ บริเวณถนนประเสริฐมนูกิจ

โครงสร้างฐานรากและเสาเข็ม พิจารณา 2 ทางเลือก คือ การก่อสร้างด้วยเสาเข็ม Barrette และเสาเข็มเจาะแบบกลม

โครงสร้างเสาตอม่อและคานขวาง พิจารณา 2 ทางเลือก คือ การก่อสร้างแบบเทคอนกรีตในที่ และการใช้ชิ้นส่วนคอนกรีตหล่อสำเร็จยกติดตั้งด้วยเครน

โครงสร้างคานทางวิ่ง พิจารณา 3 ทางเลือก คือ การยกคานติดตั้งด้วยเครน, ติดตั้งด้วย Launcher และ ติดตั้งด้วย Heavy Lift

6.1 การเก็บข้อมูลดิบของแต่ละปัจจัย

ปัจจัยทั้งหมดที่พิจารณาดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยทั้งหมดจำนวน 23 ปัจจัย (C1-C23) ที่ต้องทำการเก็บข้อมูลเพื่อการให้คะแนนของแต่ละปัจจัย ซึ่งต้องรวบรวมข้อมูลทั้งหมดตามทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่ต้องการพิจารณา โดยในที่นี้ใช้วิธีการตอบแบบสอบถามรวมถึงการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง และ ข้อมูลราคากลางของทาง รฟม. จากโครงการก่อสร้างในอดีต อาทิ โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม สีม่วง สีเขียว สีเหลือง สีชมพู เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงและทำการประมาณราคาค่าก่อสร้างที่เกี่ยวข้องของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ นี้ โดยประมาณราคาค่าก่อสร้างในส่วนต่างๆ และข้อมูลการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถามของผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง

6.2 การให้คะแนนในแต่ละปัจจัย

เมื่อรวบรวมข้อมูลปัจจัยด้านต่างๆ ครบถ้วนแล้ว จะสามารถให้คะแนนทางเลือกวิธีการก่อสร้างของแต่ละปัจจัยโดย

สำหรับข้อมูลที่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ เช่น ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ (C1-C8) ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายต่างๆ จะให้คะแนนโดยข้อมูลที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดจะได้คะแนนเต็ม = 10 และสำหรับข้อมูลที่มีค่าใช้จ่ายสูงกว่า จะคิดเทียบสัดส่วนกันว่าควรได้คะแนนลดลงเท่าใด ทั้งนี้คะแนนที่ได้จะขึ้นอยู่กับการกำหนดเกณฑ์ว่าค่าใช้จ่ายแพงขึ้นถึงเท่าใดจึงจะได้คะแนน = 0 และถ้าไม่มีค่าใช้จ่ายหรือค่าใช้จ่ายเท่ากัน จะคิดคะแนนเท่ากับ 10 เช่นเดียวกัน สำหรับข้อมูลด้านวิศวกรรมฯ และข้อมูลด้านสังคมสิ่งแวดล้อมฯ ที่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปัจจัย C9, C10, C19 โดยเป็นข้อมูลที่เกี่ยวกับระยะเวลาก่อสร้างหรือระยะเวลารอคอย จะให้คะแนนข้อมูลปัจจัยที่ใช้ระยะเวลาน้อยที่สุด = 10 และคิดเป็นสัดส่วนลดลงสำหรับค่าระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับการกำหนดเกณฑ์ว่าระยะเวลานานเท่าใดจึงจะได้คะแนน = 0 และสำหรับข้อมูลปัจจัยอื่นๆ ที่เหลือที่ไม่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณได้ เรียกได้ว่าเป็นปัจจัยเชิงคุณภาพ (C11-C18 และ C20-23) จะใช้วิธีการจัดลำดับ (Ranking) และให้คะแนนทางเลือกตามลำดับที่ถูกจัดแล้ว ทางเลือกที่ดีที่สุดจะได้คะแนนสูงสุด = 10 และทางเลือกที่แย่ที่สุดจะได้คะแนน =0 ในกรณีที่ทางเลือกมีลำดับเท่ากัน จะเอาคะแนนของลำดับที่เท่ากันนั้น มารวมกันและแบ่งเฉลี่ยเท่าๆ กันให้แต่ละทางเลือกที่มีลำดับเดียวกัน โดยสามารถสรุปค่าคะแนนของปัจจัยต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5

6.3 ผลการคัดเลือกทางเลือกวิธีการก่อสร้าง

จากค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยย่อยดังแสดงในตารางที่ 5 เมื่อนำมาคูณกับค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยตามสมการที่ (4) และรวมผลคูณทั้งหมดจะได้ผลลัพธ์คะแนนรวมของทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่พิจารณานั้นๆ ดังแสดงผลการคำนวณของทางเลือกที่พิจารณาสำหรับกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้ในบรรทัดสุดท้ายของตารางที่ 5

$$Score(a_k) = \sum_{i=1}^{m}\left[w_i^{AHP} \cdot \sum_{j=1}^{n} w_{ij}^{ROC} \cdot f_{ij}(a_k) \right] \qquad (4)$$

โดยที่ w_i^{AHP} = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยหลักที่พิจารณา i

w_{ij}^{ROC} = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยย่อย j สำหรับปัจจัยหลัก i

n = จำนวนปัจจัยย่อยทั้งหมดภายใต้ปัจจัยหลัก i

m = จำนวนปัจจัยหลักทั้งหมด

$f_{ij}(a_k)$ = คะแนนของทางเลือก a_k สำหรับปัจจัยย่อย j ภายใต้ปัจจัยหลัก i

ตารางที่ 5 ผลสรุปคะแนนทางเลือกวิธีการก่อสร้างของกรณีศึกษาฯ

		เสาเข็ม/ฐานราก			ตอม่อ/คานขวาง			คานทางวิ่ง			
			คะแนน			คะแนน			คะแนน		
		น้ำหนัก	Barrett	เข็มเจาะ	น้ำหนัก	หล่อในที่	Precast	น้ำหนัก	Crane	Launcher	Heavy lift
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์	C1	0.26	10	7.47	0.30	8	10	0.30	10	10	10
	C2	0.18	10	10	0.14	10	10	0.13	10	10	10
	C3	0.16	10	10	0.16	4.89	10	0.15	10	0.62	6.98
	C4	0.12	10	10	0.10	10	10	0.09	10	10	10
	C5	0.09	7.5	10	0.10	3.44	10	0.11	10	7.78	5
	C6	0.11	10	10	0.11	10	10	0.11	10	10	10
	C7	0.03	10	10	0.04	10	0	0.05	10	10	10
	C8	0.06	10	7.47	0.05	8	10	0.05	10	10	10
0.2	รวม		9.79	9.20		7.85	9.56		10.0	8.32	8.98
ปัจจัยด้านวิศวกรรมฯ	C9	0.11	7.5	10	0.17	0	10	0.15	10	0	0
	C10	0.08	10	10	0.07	10	10	0.09	10	6.67	6.67
	C11	0.08	5	5	0.08	10	0	0.10	5	5	5
	C12	0.13	5	5	0.17	10	0	0.17	5	5	5
	C13	0.18	5	5	0.22	0	10	0.21	10	2.5	2.5
	C14	0.12	10	0	0.25	5	5	0.24	2.5	2.5	10
	C15	0.02	5	5	0.05	0	10	0.04	5	5	5
	C16	0.27	0	10							
0.54	รวม		4.94	6.74		4.41	6.26		6.67	3.31	5.11
ปัจจัยด้านสังคม สิ่งแวดล้อมฯ	C17	0.25	10	0	0.25	10	0	0.27	0	7.5	7.5
	C18	0.21	10	0	0.21	0	10	0.19	5	5	5
	C19	0.18	5	5	0.18	10	7.9	0.19	6	10	10
	C20	0.09	5	5	0.11	0	10	0.11	5	5	5
	C21	0.07	10	0	0.07	10	0	0.05	0	5	10
	C22	0.03	5	5	0.04	5	5	0.04	0	7.5	7.5
	C23	0.17	5	5	0.15	5	5	0.14	5	5	5
0.26	รวม		7.63	2.37		5.89	5.58		3.36	6.73	7.00
			6.61	6.10		5.48	6.74		6.48	5.20	6.38

คะแนนทางเลือก (*Score*) ที่คำนวณได้จะสามารถนำไปเปรียบเทียบกันระหว่างเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างที่เลือกใช้ โดยทางเลือกที่ได้คะแนนสูงสุดจะเป็นเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่มีความเหมาะสมมากที่สุด

จากผลลัพธ์ที่แสดงในตารางจะสรุปได้ว่า การก่อสร้างฐานรากและเสาเข็ม, เสาตอม่อและคานขวาง และ การติดตั้งคานทางวิ่ง ใช้วิธีก่อสร้างด้วยเสาเข็ม Barrette, ใช้ชิ้นส่วนเสาตอม่อและคานขวางคอนกรีตหล่อสำเร็จติดตั้งด้วยเครน และ การยกติดตั้งคานทางวิ่งด้วยเครน มีความเหมาะสมที่สุดตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาความความเหมาะสมของโครงการฯ [1]

7. บทสรุป

ค่าน้ำหนักของปัจจัยต่างๆ ทั้งหมดที่ได้จากการวิเคราะห์ AHP สำหรับปัจจัยหลัก และการจัดลำดับสำหรับปัจจัยย่อย ในแต่ละส่วนโครงสร้างและรูปแบบของโครงการรถไฟฟ้า โดยได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการคัดเลือกวิธีการก่อสร้างของกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลฯ ในบริเวณพื้นที่จำกัดได้แก่ บริเวณบนถนนประเสริฐมนูกิจที่มีการซ้อนทับกับทางด่วน การให้คะแนนของปัจจัยต่างๆ เชิงปริมาณที่เกี่ยวข้องกับค่าก่อสร้าง ใช้การอ้างอิงจากข้อมูลโครงการในอดีต ร่วมกับการประมาณราคา ส่วนคะแนนของปัจจัยเชิงคุณภาพ จะใช้วิธีสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญฯ ที่มีประสบการณ์งานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ผลการวิเคราะห์ได้คำตอบทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่สอดคล้องกับการศึกษาความเหมาะสมของโครงการฯ [1] แสดงให้เห็นว่าค่าน้ำหนักที่ได้จากงานวิจัยรวมถึงเกณฑ์การให้คะแนนปัจจัยที่นำเสนอ มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้งานได้จริง โดยหากสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลที่มีความละเอียดและเกณฑ์ในการให้คะแนนที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น จะช่วยให้สามารถนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ต่อได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโตรงการความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการแลกเปลี่ยนความรู้และพัฒนาองค์ความรู้ด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ปีงบประมาณ 2565 ซึ่งทางคณะผู้วิจัยฯ ขอขอบคุณการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย และ เจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสัมภาษณ์และทำแบบสอบถาม พร้อมทั้งข้อมูลการก่อสร้างและแบบที่ใช้ในการศึกษาวิจัย การให้คำปรึกษาและช่วยในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] การศึกษาความเหมาะสมโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย-ลำสาลี (บึงกุ่ม) รายงานการศึกษาความเหมาะสมด้านวิศวกรรม เศรษฐกิจและการเงิน, สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและการจราจร (สนข.), 2561

[2] งานจ้างผู้ให้บริการงานศึกษาทบทวน สำรวจ ออกแบบรายละเอียดฐานราก และจัดเตรียมเอกสารประกวดราคา เพื่อรองรับโครงการระบบรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม) ที่อยู่บนถนนประเสริฐมนูกิจ, รายงานฉบับสุดท้าย (Final Report), การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย, 2563

[3] Pan, N. F. (2008) Fuzzy AHP Approach For Selecting The Suitable Bridge Construction Method, *Automation in Construction*, 17(8):958-965, DOI: 10.1016/j.autcon.2008.03.005

[4] Basha, I. M. and Gab-Allah, A. A. (1991) Value Engineering In Egyptian Bridge Construction, *Journal of Construction Engineering and Management*, 117(3), https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1991)117:3(393)

[5] Bansal, S., Biswas, S. and Singh, S. (2017) Fuzzy decision approach for selection of most suitable construction method of Green Buildings, *International Journal of Sustainable Built Environment,* 6(1), Pages 122-132

[6] Chen, Y., Okudan, G.E. and Riley, D.R. (2010) Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings, *Automation in Construction*, 19(2), Pages 235-244

[7] Reda, M., Elshikh, M.Y. and Dawood, M. (2017) Selection of Sustainable Construction Method Using Analytical Hierarchy Process (AHP), *Mansoura Engineering Journal (MEJ)*, 42(2), Pages C:1-C:9

[8] Garrido, A. S., Navarro, I. and Yepes, V. (2021) Multi-Criteria Decision-Making Applied To The Sustainability Of Building Structures Based On Modern Methods Of Construction, *Journal of Cleaner Production,* (IF9.297),

DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129724

[9] Moghayedi, A. and Windapo, A. (2017) Key Performance Criteria Influencing the Selection of Construction Methods Used for the Fabrication of Building Components in the Middle East, *Sustainable Construction and Building Material*, IntechOpen

[10] Qi, J., Zhao, X. and Yang, H.C. (2020) Selection of Deep Excavation Construction Methods in Building Construction, *Proceedings of IEEE 2nd International Conference on Architecture, Construction, Environment and Hydraulics (ICACEH)*, 25-27 December, 2020, Taiwan

[11] Ferrada X. and Serpell, A. (2014) Selection of Construction Methods for Construction Projects: A Knowledge Problem, *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(4) : B4014002-1 - B4014002-7, DOI:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000715

[12] Saaty, R. W. (1987). "The analytic hierarchy process—what it is and how it is used." Mathematical Modelling **9**(3): 161-176.

[13] Saaty, T. (2008). "Decision making with the Analytic Hierarchy Process." Int. J. Services Sciences Int. J. Services Sciences **1**: 83-98.

[14] วราวุธ วุฒิวณิชย์ (2546) การตัดสินใจโดยกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น, ชลกรณบับวันชูชาติ, สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทานในพระบรมราชูปถัมภ์, 2546, หน้า 57-76

[15] วิฑูรย์ ตันศิริคงคล (2542) AHP กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก, กรุงเทพมหานคร, กราฟิก แอนด์ปริ้นติ้ง

[16] วิฑูรย์ ตันศิริคงคล (2557) AHP การตัดสินใจขั้นสูงเพื่อความก้าวหน้าขององค์กรและความอยู่ดีมีสุขของมหาชน, ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557, ISBN 978-616-374-840-9

[17] Mu, E. and M. Pereyra-Rojas (2017). Practical Decision Making using Super Decisions v2: An Introduction to the Analytic Hierarchy Process, Springer International Publishing.

[18] Solymosi T., Dompi J., 1985, Method for Determining the Weights of Criteria: the Centralized Weights, “European Journal of Operational Research”, 26, 35-41

[19] Barron, F.H. and Barrett, B.E. (1996) Decision quality using ranked attribute weights, *Management Science*, 42(11), 1515-1525

ภาคผนวก ค.

การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

การคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในแต่ละลักษณะ/รูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ทางที่ปรึกษาฯ ได้ทำการออกแบบแบบสำรวจ ดังต่อไปนี้

แบบสำรวจปัจจัยในการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า
โครงการความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้
และพัฒนาองค์ความรู้ด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ปีงบประมาณ 2565
การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.)

วัตถุประสงค์ : แบบสำรวจนี้ใช้ในการสอบถามความคิดเห็นผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการพิจารณากลั่นกรองปัจจัยที่ใช้ในการคัดเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

<u>ส่วนที่ 1</u> รายละเอียดทั่วไปของผู้ตอบแบบสำรวจ

<u>คำชี้แจง</u> : โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงใน [ ] หรือเติมคำลงในช่องว่าง

ชื่อ-นามสกุล : .....

วุฒิการศึกษา : [ ] ต่ำกว่าปริญญาตรี [ ] ปริญญาตรี
[ ] ปริญญาโท [ ] ปริญญาเอก

ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง : [ ] การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย [ ] ผู้รับจ้าง/ผู้รับเหมาก่อสร้าง
[ ] ที่ปรึกษาฯ (PIC/PMCSC) [ ] สถาบันการศึกษา
[ ] อื่นๆ .....

ตำแหน่ง : .....

ชื่อหน่วยงาน/บริษัท : .....

ชื่อโครงการ/สัญญา : .....

ประสบการณ์งานรถไฟฟ้า (ปี) : .....

หมายเลขโทรศัพท์ : .....

e-mail : .....

ส่วนที่ 2 ปัจจัยในการคัดเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

คำชี้แจง : โปรดทำเครื่องหมาย ✓ หรือเติมคำลงในช่องว่างที่ท่านคิดว่าปัจจัยดังกล่าว ส่งผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยี และวิธีการก่อสร้างตามประเภทโครงสร้างที่กำหนดให้

ลำดับ	ปัจจัย	โครงสร้างยกระดับ								โครงสร้างใต้ดิน		โครงสร้างระดับดิน		
		Heavy Rail				Monorail				Heavy Rail		Light Rail/Tram		ศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดรถ
		ฐานราก	เสา	คานทางวิ่ง	สถานี	ฐานราก	เสา	คานทางวิ่ง	สถานี	ทางวิ่ง	สถานี	ทางวิ่ง	สถานี	
1	**ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ (Cost)**													
1.1	ค่าวัสดุก่อสร้าง (Material Costs)													
1.2	ค่าแรงงานการก่อสร้าง (Labor Costs)													
1.3	ค่าเครื่องมือ/เครื่องจักรในการก่อสร้าง (Equipment Costs)													
1.4	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค (Site Clearance and Preparation Cost)													
1.5	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง (Temporary Structure Costs)													
1.6	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม (Social, Health and Environmental Protection Costs)													
1.7	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรในระหว่างการก่อสร้าง (Traffic Management Costs)													
1.8	ค่าใช้จ่ายในการชดเชย/แก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง (Damage and Compensation Costs)													
1.9	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (Maintenance Costs)													
1.10	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าประกันภัย ค่าเผื่อความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นในการก่อสร้าง เป็นต้น (Miscellaneous Costs)													
2	**ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง (Engineering and Constructability)**													
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง (Construction Time)													
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (Lead Time)													

ลำดับ	ปัจจัย	โครงสร้างยกระดับ								โครงสร้างใต้ดิน		โครงสร้างระดับดิน		
		Heavy Rail				Monorail				Heavy Rail		Light Rail/Tram		ศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดรถ
		ฐานราก	เสา	คานทางวิ่ง	สถานี	ฐานราก	เสา	คานทางวิ่ง	สถานี	ทางวิ่ง	สถานี	ทางวิ่ง	สถานี	
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (Transportation and Installation)													
2.4	ความสะดวกในการก่อสร้าง (Buildability)													
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง (Safety)													
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง (Obstacle and External Constraints)													
2.7	ข้อจำกัดในการติดตั้ง/ใช้งาน/บำรุงรักษางานระบบที่เกี่ยวข้อง (Installation and Integration of Building Services)													
2.8	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง (Aesthetic Options)													
2.9	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินและข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน (Soil and Groundwater Condition)													
2.10	ข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง (Excavation Depth and Location Constraints)													
3	**ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย (Social, Health, Environment and Policy)**													
3.1	สุขภาพความปลอดภัยของคนงาน (Workers' Health&Safety)													
3.2	สุขภาพและความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่ (Public Health And Safety)													
3.3	การรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่น แรงสั่นสะเทือน และมลภาวะอื่นๆ (Community Disturbance)													
3.4	ผลกระทบต่อสภาพจราจร (Traffic Congestion)													
3.5	ขยะ ของเสีย และมลพิษจากการก่อสร้าง (Waste and Pollution)													
3.6	ปริมาณและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Consumption)													

ลำดับ	ปัจจัย	โครงสร้างยกระดับ								โครงสร้างใต้ดิน		โครงสร้างระดับดิน		
		Heavy Rail				Monorail				Heavy Rail		Light Rail/Tram		ศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดรถ
		ฐานราก	เสา	คานทางวิ่ง	สถานี	ฐานราก	เสา	คานทางวิ่ง	สถานี	ทางวิ่ง	สถานี	ทางวิ่ง	สถานี	
3.7	ปริมาณและประสิทธิภาพการใช้น้ำ (Water Consumption)													
3.8	การใช้ซ้ำของส่วนประกอบจากการก่อสร้าง เช่น ยาง ดิน หิน เหล็ก ไม้ เป็นต้น (Recyclable & Renewable Contents)													
3.9	การเพิ่มการจ้างงาน (Influence on Job Market)													
3.10	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ เช่น นโยบายส่งเสริมให้ใช้สินค้าที่ผลิตในประเทศไทย (MiT) นโยบายส่งเสริมและสนับสนุนผู้ประกอบการ SME เป็นต้น													

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม : .....

.....

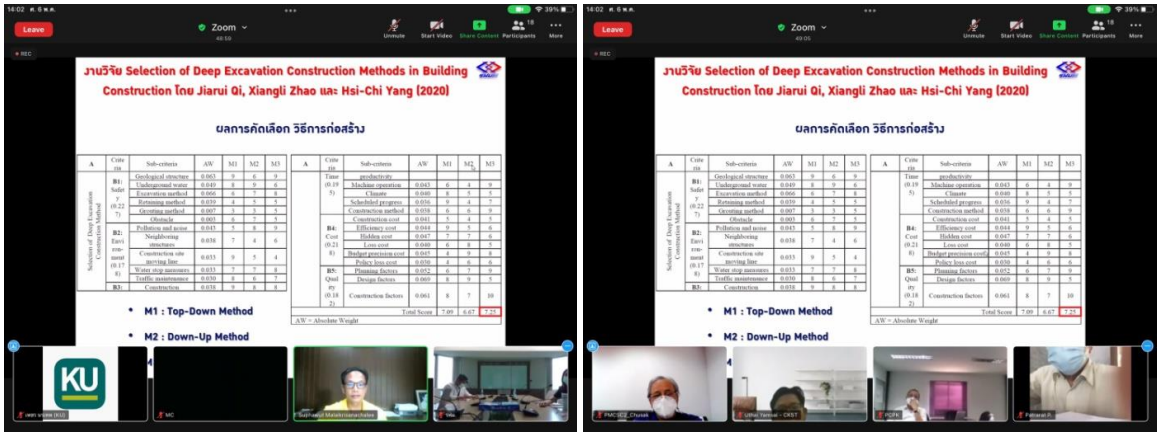
.....

.....

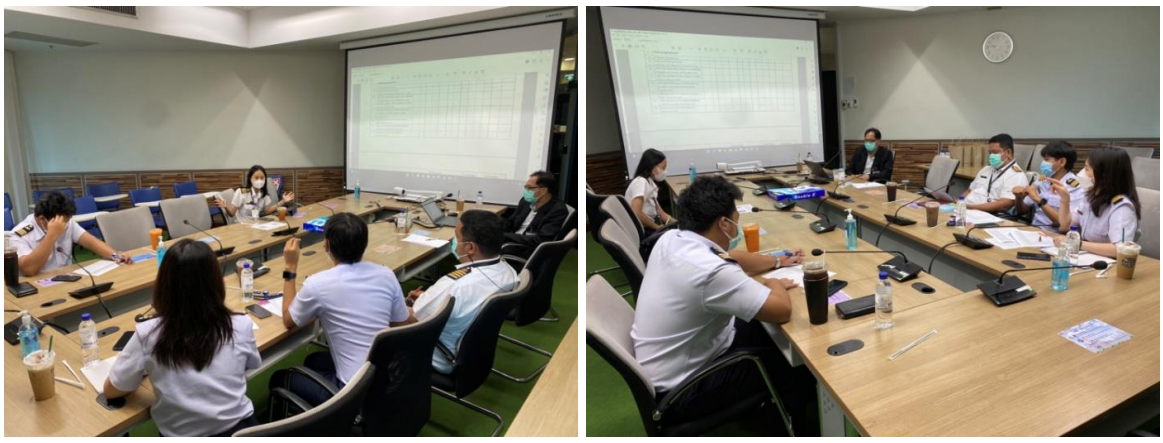
การคัดกรองปัจจัยจากผู้ที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

ที่ปรึกษาฯ ได้ประสานงานกับผู้ที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า เช่น เจ้าหน้าที่การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย ผู้รับเหมาก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า เป็นต้น เพื่อจัดประชุมระดมความคิดเห็นจากผู้ที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า คัดเลือกปัจจัยในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในแต่ละลักษณะ/รูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าจากปัจจัยที่ที่ปรึกษาฯ ได้เสนอแนะไปในข้อก่อนหน้า โดยการประชุมแบ่งออกเป็น 3 วัน

- ประชุมระดมความคิดเห็นผู้รับเหมางานก่อสร้าง วันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 (รูปที่ ค-1)
- ประชุมระดมความคิดเห็นเจ้าหน้าที่ รฟม. ครั้งที่ 1 วันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 (รูปที่ ค-2)
- ประชุมระดมความคิดเห็นเจ้าหน้าที่ รฟม. ครั้งที่ 2 วันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 (รูปที่ ค-3)



รูปที่ ค-1 ประชุมระดมความคิดเห็น วันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2565



รูปที่ ค-2 ประชุมระดมความคิดเห็น วันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2565



รูปที่ ค-3 ประชุมระดมความคิดเห็น วันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2565

ในการประชุมระดมความคิดเห็น วันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 เป็นการประชุมโดยมีผู้รับเหมางานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าเพื่อรับฟังความคิดเห็นของผู้รับเหมางานก่อสร้างเป็นหลัก ทั้งนี้ตัวแทนจากโครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าในแต่ละสายจะประเมินแบบสอบถามคัดกรองปัจจัยเฉพาะในส่วนที่หน่วยงานของตัวเองมีส่วนเกี่ยวข้องหรือรับผิดชอบเท่านั้น เพื่อให้ผลลัพธ์จากการคัดกรองใกล้เคียงกับความเป็นจริงสำหรับงานก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในประเทศไทยมากยิ่งขึ้น

ในส่วนของการประชุมระดมความคิดเห็นเจ้าหน้าที่ รฟม. ครั้งที่ 1 วันที่ 9 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 และ ครั้งที่ 2 วันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2565 เป็นการประชุมเพื่อรับฟังความคิดเห็นจากเจ้าหน้าที่การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทยที่รับผิดชอบการทำงานในแต่ละภาคส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งความคิดเห็นที่ได้ครอบคลุมทั้งหมดในทุกรูปแบบโครงสร้างและเนื้องานที่เกี่ยวข้องกับการคัดกรองปัจจัยการพิจารณา รวมถึงมีการให้ความเห็นเกี่ยวกับข้อจำกัดทางด้านการปฏิบัติงานจริง

โดยผู้ที่เกี่ยวข้องในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าได้ระดมความคิดเห็น และแสดงข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุง เพิ่ม ลด รวมถึงประเมินปัจจัยในการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าในแต่ละลักษณะ/รูปแบบการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ตามสถานการณ์จริงและบริบทของงานก่อสร้างรถไฟฟ้าประเทศไทยในปัจจุบัน โดยผลการคัดเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องดังแสดงใน ตารางที่ ค-1

การระดมความคิดเห็นจากผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าทั้งในส่วนของผู้รับเหมาก่อสร้าง และเจ้าหน้าที่การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย ทำให้เห็นถึงข้อจำกัดทางด้านการปฏิบัติงานจริงในประเทศไทยชัดเจนยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นเรื่องปัจจัยด้านการเวนคืนที่ดินทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์และผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น หรือการให้นิยามจำกัดความปัจจัยที่ชัดเจนยิ่งขึ้นสำหรับบริบทในประเทศไทย เช่น ปัจจัยความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้างสำหรับการก่อสร้างในพื้นที่อ่อนไหว ปัจจัยการตอบสนองนโยบายภาครัฐที่อาจมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นได้ในอนาคต การไม่พิจารณา Light Rail/Tram ซึ่งยังไม่มีกรณีศึกษาที่ชัดเจนในประเทศไทย รวมทั้งการพิจารณาปัจจัยแยกส่วนกันสำหรับโครงสร้างบนดินและใต้ดิน เป็นต้น จากผลการระดมความคิดเห็นที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จะส่งผลให้การประเมินปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสำหรับกรณีศึกษาในส่วนถัดไป มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลใกล้เคียงบริบทการดำเนินงานจริงสำหรับประเทศไทยในปัจจุบันมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ ค-1 ผลการคัดเลือกปัจจัยในการคัดเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า (เครื่องหมาย ✓ หมายถึงปัจจัยดังกล่าวส่งผล)

ลำดับ	ปัจจัย	โครงสร้างยกระดับ								โครงสร้างใต้ดิน		โครงสร้างระดับดิน
		Heavy Rail				Monorail				Heavy Rail		ศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดรถ
		ฐานราก	เสา	คานทางวิ่ง	สถานี	ฐานราก	เสา	คานทางวิ่ง	สถานี	ทางวิ่ง	สถานี	
1	**ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ (Cost)**											
1.1	ค่าก่อสร้าง ได้แก่ ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน และค่าเครื่องมือ/เครื่องจักรในการก่อสร้าง (Construction Costs)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค (Site Clearance and Preparation Cost)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง (Temporary Structure Costs)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม (Social, Health and Environmental Protection Costs)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง (Traffic Management Costs)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน (Land Expropriation Costs)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (Maintenance Costs)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (Miscellaneous Costs) เช่น ค่าประกันภัย ค่าเผื่อความไม่แน่นอน ที่อาจเกิดขึ้นในการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการชดเชย/แก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง เป็นต้น	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

ลำดับ	ปัจจัย	โครงสร้างยกระดับ								โครงสร้างใต้ดิน		โครงสร้างระดับดิน
		Heavy Rail				Monorail				Heavy Rail		ศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดรถ
		ฐานราก	เสา	คานทางวิ่ง	สถานี	ฐานราก	เสา	คานทางวิ่ง	สถานี	ทางวิ่ง	สถานี	
2	**ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง (Engineering and Constructability)**											
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง (Construction Time)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (Lead Time)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (Transportation and Installation)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง (Expertise and Experience)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้างและความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ (Construction Safety and Risk)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง (Location Constraints , Obstacle and External Constraint)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง (Aesthetic Options)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด (Soil , Groundwater Condition and Excavation Depth)	✓				✓				✓	✓	

ลำดับ	ปัจจัย	โครงสร้างยกระดับ								โครงสร้างใต้ดิน		โครงสร้างระดับดิน
		Heavy Rail				Monorail				Heavy Rail		ศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดรถ
		ฐานราก	เสา	คานทางวิ่ง	สถานี	ฐานราก	เสา	คานทางวิ่ง	สถานี	ทางวิ่ง	สถานี	
3	**ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย (Social, Health, Environment and Policy)**											
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่ (Public Safety)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่น แรงสั่นสะเทือน และมลภาวะอื่นๆ (Community Disturbance)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร (Traffic Congestion)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง (Sustainable) ได้แก่ ปริมาณการเกิดขยะของเสีย มลพิษจากการก่อสร้าง ปริมาณ ประสิทธิภาพการใช้พลังงานและน้ำ การใช้ซ้ำของส่วนประกอบจากการก่อสร้าง เช่น ยาง ดิน หิน เหล็ก ไม้ เป็นต้น	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (Influence on Job Market)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ เช่น นโยบายส่งเสริมให้ใช้สินค้าที่ผลิตในประเทศไทย (MiT) นโยบายส่งเสริมและสนับสนุนผู้ประกอบการ SME เป็นต้น	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน (Land Expropriation)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

ผู้เชี่ยวชาญที่อนุเคราะห์ให้ข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัย

ผู้เชี่ยวชาญที่จะให้ข้อมูลด้านน้ำหนักของปัจจัย จะประกอบไปด้วยบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างรถไฟฟ้า ได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญของ รฟม. วิศวกรที่ปรึกษา ผู้รับเหมา และอาจารย์มหาวิทยาลัย ทั้งนี้เพื่อให้ได้ความคิดเห็นที่ครอบคลุมจากทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ตารางที่ ค-2 แสดงรายชื่อของผู้เชี่ยวชาญที่ได้อนุเคราะห์ตอบแบบสอบถามในครั้งนี้ โดยแต่ละคนจะตอบแบบสอบถามเฉพาะส่วนที่ตรงกับประสบการณ์การทำงานของตน โดยในแต่ละกรณีจะมีผู้เชี่ยวชาญให้ข้อมูลมากกว่า 10 คน ซึ่งเป็นจำนวนที่มากเพียงพอสำหรับการนำไปหาค่าเฉลี่ยทางสถิติ

ตารางที่ ค-2 รายชื่อและตำแหน่งของผู้เชี่ยวชาญที่ตอบแบบสอบถาม

ลำดับ	รายชื่อ
ผู้เชี่ยวชาญจาก รฟม.	
1	ผชก.นายกิตติ เอกวัลลภ
2	ผชก.นายพัฒนพงษ์ พงศ์ศุภสมิทธิ์
3	นายณัฐ นาคธรณินทร์ ผอ.ฝพค.
4	นายบารมินทร์ เจริญพานิช ผอ.ฝบก.1
5	นายวัชรพล คงสวัสดิ์ ผอ.ฝบก.2
6	นางสาวอัญชลี เจนพานิชทรัพย์ ผอ.กวค. ฝพค.
7	นายวรานนท์ ดิลกคุณานันท์ ผอ.กวพ. ฝพค.
8	นายคุณากร แป้นเหลือ ผอ.กบก.1 ฝบก.1
9	นายธิติ มีผิว ผอ.กบก.2 ฝบก.1
10	นายขวัญ สุขคง ผอ.กบก.3 ฝบก.1
11	นายปฏิเวช เหระยัง ผอ.กบก.4 ฝบก.2
12	นางสิรินธร อินทร์แก้ว รก.ผอ.กบก.5 ฝบก.2
13	นายอธิวัฒน์ นุ่นมา รก.ผอ.กบก.6 ฝบก.2
ผู้เชี่ยวชาญจากที่ปรึกษาโครงการรถไฟฟ้า	
1	คุณนิรัตน์ ตันสวัสดิ์
2	คุณเปี่ยมศักดิ์ บัญญศาสตร์พันธุ์
3	คุณจงศักดิ์ กุณฑลสุรกานต์
ผู้เชี่ยวชาญจากผู้รับจ้างโครงการรถไฟฟ้า	
1	คุณสัญญา ถิรขจรวงศ์
2	คุณสมปอง โกพระ
3	คุณปริทรรศน์ ก้อนในเมือง
4	คุณณรงศักดิ์ กลิ่นบัวขาว
ผู้เชี่ยวชาญจากอาจารย์/ผู้เชี่ยวชาญ	
1	รศ.ดร.ทรงพล จารุวิศิษฏ์
2	ดร.จิรัฏฐ์ เทพรักษ์
3	ผศ.ดร.สุสิทธิ์ ฉายประกายแก้ว
รวมจำนวนผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 23 ท่าน	

ที่ปรึกษาได้ทำการสำรวจข้อมูลโดยการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญของ รฟม. ในวันที่ 6-8 มิถุนายน 2565
ณ ห้องประชุม 8 อาคาร 1 และสำรวจข้อมูลแบบออนไลน์ในกรณีของผู้รับเหมาและวิศวกรที่ปรึกษาในวันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2565 ส่วนของอาจารย์มหาวิทยาลัยนั้นได้ทำการสัมภาษณ์ในระหว่างวันที่ 6-8 มิถุนายน พ.ศ.2565 ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

โดยแบบสอบถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์เพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างมีรายละเอียดดังนี้

แบบสอบถามสำหรับผู้เชี่ยวชาญ

เรื่อง การศึกษาปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า กรณีศึกษาการก่อสร้างในพื้นที่จำกัดของโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาล ช่วงแคราย – ลำสาลี (บึงกุ่ม)

ภายใต้

โครงการความร่วมมือกับหน่วยงานภายนอกในการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้และพัฒนาองค์ความรู้ด้านรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน ปีงบประมาณ 2565

โดย การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.)

ร่วมกับ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (มก.)

วัตถุประสงค์:

แบบสอบถามนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้กรอกแบบสอบถามกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

ข้อมูลเบื้องต้นของผู้เชี่ยวชาญ

ชื่อ-สกุล .....

วุฒิการศึกษา .....สาขาวิชา .....ประสบการณ์การทำงาน (ปี) .....

ชื่อองค์กร .....ตำแหน่ง .....

โครงการรถไฟฟ้าในความรับผิดชอบ.....

.....

โทรศัพท์ ..... E-mail .....

<u>คำชี้แจง</u>

1. เอกสารนี้ใช้สำหรับบันทึกผลการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ ในการให้ความสำคัญเกี่ยวกับปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าของ รฟม.
2. ปัจจัยที่ใช้ในแบบสอบถามนี้ถือเป็นความลับและจัดทำขึ้นเพื่อประโยชน์ในการทำวิจัยเท่านั้น
3. กรุณาใช้การวินิจฉัยโดยปราศจากความโน้มเอียงต่อปัจจัยหรือทางเลือกใดๆ
4. แบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

<u>ส่วนที่ 1</u> ปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าของ รฟม.

<u>ส่วนที่ 2</u> วิธีการกรอกข้อมูลการให้คะแนนความสำคัญเกี่ยวกับปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าของ รฟม.

<u>ส่วนที่ 3</u> แบบสอบถามการให้คะแนนความสำคัญเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าของ รฟม.

1) การให้น้ำหนักโดยการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยหลัก (Major Criteria)

2) การลำดับความสำคัญของปัจจัยย่อย (Minor Criteria)

3) การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยย่อย (Minor Criteria)

.....

ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามจะนำไปใช้ในการดำเนินงานโครงการฯ เท่านั้น

ทางผู้วิจัยใคร่ขอความกรุณาท่านได้กรอกข้อมูลให้ครบทุกข้อ และขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

<u>ส่วนที่ 1 ปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าของ รฟม.</u>

ตารางที่ 1 ปัจจัยสำหรับการตัดสินใจเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าของ รฟม.

ปัจจัยหลัก (Major Criteria)	ปัจจัยย่อย (Minor Criteria)
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ (Cost)	ค่าก่อสร้าง ได้แก่ ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน และค่าเครื่องมือ/เครื่องจักรในการก่อสร้าง (Construction Costs)
	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค (Site Clearance and Preparation Cost)
	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง (Temporary Structure Costs)
	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม (Social, Health and Environmental Protection Costs)
	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง (Traffic Management Costs)
	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน (Land Expropriation Costs)
	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (Maintenance Costs)
	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (Miscellaneous Costs) เช่น ค่าประกันภัย ค่าเผื่อความไม่แน่นอน ที่อาจเกิดขึ้นในการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการชดเชย/แก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง เป็นต้น
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง	ระยะเวลาการก่อสร้าง (Construction Time)
	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (Lead Time)
	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (Transportation and Installation)
	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง (Expertise and Experience)
	ความปลอดภัยในการก่อสร้างและความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ (Construction Safety and Risk)
	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง (Location Constraints , Obstacle and External Constraint)
	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง (Aesthetic Options)
	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด (Soil , Groundwater Condition and Excavation Depth)
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อมและนโยบาย	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่ (Public Safety)
	การรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่น แรงสั่นสะเทือน และมลภาวะอื่นๆ (Community Disturbance)
	ผลกระทบต่อสภาพจราจร (Traffic Congestion)
	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง (Sustainable) ได้แก่ ปริมาณการเกิดขยะ ของเสีย มลพิษจากการก่อสร้าง ปริมาณประสิทธิภาพการใช้พลังงานและน้ำ การใช้ซ้ำของส่วนประกอบจากการก่อสร้าง เช่น ยาง ดิน หิน เหล็ก ไม้ เป็นต้น
	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (Influence on Job Market)
	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ เช่น นโยบายส่งเสริมให้ใช้สินค้าที่ผลิตในประเทศไทย (MiT) นโยบายส่งเสริมและสนับสนุนผู้ประกอบการ SME เป็นต้น
	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน (Land Expropriation)

หมายเหตุ : ความหมายและคำอธิบายเพิ่มเติมของปัจจัยในการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าแสดงดังภาคผนวกท้ายแบบสอบถาม

โดยปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อการเลือกใช้เทคโนโลยี และวิธีการก่อสร้างตามประเภทโครงสร้าง ทั้งนี้ประเภทโครงสร้างจะแบ่งออกเป็น โครงสร้างยกระดับ (Heavy Rail และ Monorail) โครงสร้างใต้ดิน (Heavy Rail) และโครงสร้างระดับดิน (ศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดรถ) ซึ่งในแต่ละโครงสร้างจะถูกจำแนกออกเป็น ฐานราก เสา คานทางวิ่ง และสถานี

<u>ส่วนที่ 2 วิธีการกรอกข้อมูล</u>

1. การให้น้ำหนักโดยการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยหลัก (Major Criteria)

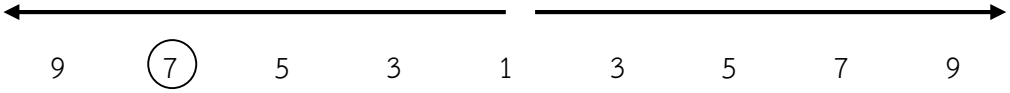
1) การให้คะแนนความสำคัญจะเปรียบเทียบปัจจัยและทางเลือกเป็นคู่ๆ ระดับคะแนน 1 หมายถึงปัจจัยหรือทางเลือกที่มีความสำคัญเท่ากัน การให้คะแนนความสำคัญมีตั้งแต่ 1 ถึง 9 จากน้อยที่สุดไปจนถึงมากที่สุด

2) การให้คะแนนความสำคัญค่อนไปทางใดแสดงว่าปัจจัยนั้นความสำคัญมากกว่า

ตารางที่ 2 ระดับความสำคัญและค่าแสดงเป็นตัวเลขของกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

ระดับความสำคัญ (Preference Level)	ค่าแสดงเป็นตัวเลข (Numeric Value)	คำอธิบาย (description)
เท่ากัน (Equally Preferred)	1	ทั้งสองปัจจัยส่งผลกระทบต่อวัตถุประสงค์เท่ากัน
ปานกลาง (Moderately Preferred)	3	ในประสบการณ์และการวินิจฉัยแสดงถึงความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งปานกลาง
ค่อนข้างมาก (Strongly Preferred)	5	ในประสบการณ์และการวินิจฉัยแสดงถึงความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งมาก
มากกว่า (Very Strongly Preferred)	7	ปัจจัยหนึ่งได้รับความพึงพอใจมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีกปัจจัยหนึ่งในทางปฏิบัติปัจจัยนั้นได้มีอิทธิพลเหนือกว่าอย่างเห็นได้ชัด
มากที่สุด (Extremely Preferred)	9	มีหลักฐานยืนยันความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งในระดับที่สูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้

<u>ตัวอย่าง</u> : การเปรียบเทียบความสำคัญของแต่ละปัจจัยเป็นรายคู่ (การเปรียบเทียบปัจจัย ก และ ข)



หมายความว่า **“ปัจจัย ก มีความสำคัญมากกว่าปัจจัย ข อยู่ในระดับ 7”**

2. การลำดับความสำคัญของปัจจัยย่อย (Minor Criteria)

เรียงลำดับความสำคัญของปัจจัยย่อยในการพิจารณา จากมากไปน้อย โดยอันดับ 1 สำคัญมากที่สุด และอันดับ 8 สำคัญน้อยที่สุด ***ในช่อง A***

3. การให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยย่อย (Minor Criteria)

กำหนดค่าร้อยละความสำคัญของปัจจัยย่อยในการพิจารณา โดยร้อยละความสำคัญต่ำที่สุดคือ 10 และเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 จนถึงร้อยละความสำคัญมากที่สุดคือ 100 (*<u>สามารถให้ค่าร้อยละความสำคัญของปัจจัยย่อยเท่ากันได้</u>*) ***ในช่อง B***

<u>ตัวอย่าง</u> : การทำแบบสอบถามลำดับความสำคัญและกำหนดค่าร้อยละความสำคัญของปัจจัยย่อย (Minor Criteria)

ปัจจัยย่อย (Minor Criteria)	ประเภทโครงสร้าง	
	A	B
ปัจจัย ก	3	50
ปัจจัย ข	1	80
ปัจจัย ค	2	70
ปัจจัย ง	4	50

หมายความว่า

- ปัจจัย ข มีลำดับความสำคัญมากเป็นลำดับที่ 1 รองลงมาคือ ปัจจัย ค ลำดับที่ 2 ปัจจัย ก ลำดับที่ 3 และปัจจัย ง ลำดับที่ 4
- ปัจจัย ข มีความสำคัญร้อยละ 80 ปัจจัย ค มีความสำคัญร้อยละ 70 และปัจจัย ก และ ง มีความสำคัญเท่ากันคือร้อยละ 50

<u>ส่วนที่ 3 แบบสอบถาม</u>

3.1 การให้น้ำหนักโดยการเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างปัจจัยหลัก (Major Criteria)

ใช้เครื่องหมายวงกลม ◯ ล้อมรอบระดับความสำคัญที่ตรงกับความเห็นของท่าน

ปัจจัย (Criteria)	การให้ระดับความสัมพันธ์เชิงเปรียบเทียบ									ปัจจัย (Criteria)
เศรษฐศาสตร์	9	7	5	3	1	3	5	7	9	วิศวกรรมและการก่อสร้าง
เศรษฐศาสตร์	9	7	5	3	1	3	5	7	9	สังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม
วิศวกรรมและการก่อสร้าง	9	7	5	3	1	3	5	7	9	สังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม

3.2 การลำดับความสำคัญของปัจจัยย่อย (Minor Criteria)

3.2.1 โปรด***เรียงลำดับความสำคัญ***ของปัจจัยย่อยในการพิจารณา จากมากไปน้อย โดยอันดับ 1 สำคัญมากที่สุด และอันดับ 8 สำคัญน้อยที่สุด ***ในช่อง A***

3.2.2 โปรด***กำหนดค่าร้อยละความสำคัญ***ของปัจจัยย่อยในการพิจารณา โดยร้อยละความสำคัญต่ำที่สุดคือ 10 และเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 จนถึงร้อยละความสำคัญมากที่สุดคือ 100 ***ในช่อง B***

ตารางที่ 3 การลำดับความสำคัญและกำหนดค่าร้อยละความสำคัญของปัจจัยย่อย (Minor Criteria)

ปัจจัยย่อย (Minor Criteria)	โครงสร้างยกระดับ																โครงสร้างใต้ดิน				โครงสร้างระดับดิน	
	Heavy Rail								Monorail								Heavy Rail				ศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดรถ	
	ฐานราก		เสา		คานทางวิ่ง		สถานี		ฐานราก		เสา		คานทางวิ่ง		สถานี		ทางวิ่ง		สถานี			
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ (Cost)																						
ค่าก่อสร้าง ได้แก่ ค่าวัสดุ ค่าแรงงาน และค่าเครื่องมือ/เครื่องจักรในการก่อสร้าง (Construction Costs)																						
ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอนและการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค (Site Clearance and Preparation Cost)																						
ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง (Temporary Structure Costs)																						
ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม (Social, Health and Environmental Protection Costs)																						
ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง (Traffic Management Costs)																						
ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน																						
ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง (Maintenance Costs)																						
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ (Miscellaneous Costs) เช่น ค่าประกันภัย ค่าเผื่อความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นในการก่อสร้าง ค่าใช้จ่ายในการชดเชย/แก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง เป็นต้น																						

ปัจจัยย่อย (Minor Criteria)	โครงสร้างยกระดับ																โครงสร้างใต้ดิน				โครงสร้างระดับดิน	
	Heavy Rail								Monorail								Heavy Rail				ศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดรถ	
	ฐานราก		เสา		คานทางวิ่ง		สถานี		ฐานราก		เสา		คานทางวิ่ง		สถานี		ทางวิ่ง		สถานี			
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง																						
ระยะเวลาการก่อสร้าง (Construction Time)																						
ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (Lead Time)																						
ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้งเครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ (Transportation and Installation)																						
ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง (Expertise and Experience)																						
ความปลอดภัยในการก่อสร้างและความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ (Construction Safety and Risk)																						
ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง (Location Constraints , Obstacle and External Constraint)																						
ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง (Aesthetic Options)																						
คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด (Soil , Groundwater Condition and Excavation Depth)																						

ปัจจัยย่อย (Minor Criteria)	โครงสร้างยกระดับ																โครงสร้างใต้ดิน				โครงสร้างระดับดิน	
	Heavy Rail								Monorail								Heavy Rail				ศูนย์ซ่อมบำรุง/อาคารจอดรถ	
	ฐานราก		เสา		คานทางวิ่ง		สถานี		ฐานราก		เสา		คานทางวิ่ง		สถานี		ทางวิ่ง		สถานี			
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย																						
ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่ (Public Safety)																						
การรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่น แรงสันสะเทือน และมลภาวะอื่นๆ (Community Disturbance)																						
ผลกระทบต่อสภาพจราจร (Traffic Congestion)																						
ความยั่งยืนในการก่อสร้าง (Sustainable) ได้แก่ ปริมาณการเกิดขยะ ของเสีย มลพิษจากการก่อสร้าง ปริมาณประสิทธิภาพการใช้พลังงานและน้ำ การใช้ซ้ำของส่วนประกอบจากการก่อสร้าง เช่น ยาง ดิน หิน เหล็ก ไม้ เป็นต้น																						
การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ (Influence on Job Market)																						
การตอบสนองนโยบายภาครัฐ เช่น นโยบายส่งเสริมให้ใช้สินค้าที่ผลิตในประเทศไทย (MiT) นโยบายส่งเสริมและสนับสนุนผู้ประกอบการ SME เป็นต้น																						
ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน (Land Expropriation)																						

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม .....

.....

.....

<u>ภาคผนวก</u>: ความหมายและคำอธิบายเพิ่มเติมของปัจจัยในการเลือกใช้เทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า

ลำดับ	ปัจจัย	Factor	รายละเอียด
1. ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ (Cost)			
1.1	ค่าก่อสร้าง	Construction Costs	ค่าใช้จ่ายทางตรงในการก่อสร้าง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง (Construction Material) ค่าแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง (Construction Worker) และค่าเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้าง (Construction Equipment)
1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	Site Clearance and Preparation Cost	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค เช่น การรื้อถอนสิ่งปลูกสร้างเก่า การถางป่าขุดตอ เป็นต้น
1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	Temporary Structure Costs	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง เช่น ค่าติดตั้งนั่งร้าน กำแพงกันดิน ถนนชั่วคราว อุปกรณ์/โครงสร้างช่วยเพิ่มความปลอดภัยระหว่างการก่อสร้าง เป็นต้น
1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	Social, Health and Environment Protection Costs	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม เช่น ค่าใช้จ่ายในการป้องกันและจัดการฝุ่นละออง เสียงดัง แรงสั่นสะเทือน น้ำเสีย ขยะ กลิ่น และมลภาวะอื่นๆ เป็นต้น
1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง	Traffic Management Costs	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง เช่น การเบี่ยงทิศทางจราจร การก่อสร้างทางชั่วคราว ป้ายเตือนงานก่อสร้าง แบริเออร์คอนกรีต ไฟเตือน เป็นต้น
1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	Land Expropriation Costs	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน โดยภาครัฐหรือหน่วยงานราชการทำการบังคับขอซื้อที่ดินคืนจากประชาชนที่เป็นเจ้าของที่ดิน เพื่อนำไปใช้ในกิจการที่เป็นสาธารณประโยชน์ พัฒนาระบบสาธารณูปโภคของประเทศ เช่น สร้างถนน สร้างทางพิเศษหรือทางด่วน สร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ สร้างสถานีรถไฟฟ้าหรือสร้างรางรถไฟฟ้า เป็นต้น
1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	Maintenance Costs	กำหนดเวลา ความถี่ และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ซ่อมแซม และบูรณะสิ่งก่อสร้างตลอดอายุการใช้งาน (Routine Maintenance, Repair, Rehabilitation)
1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	Miscellaneous Costs	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าประกันภัยการก่อสร้าง ค่าเผื่อความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นในการก่อสร้าง (Contingency) ค่าใช้จ่ายในการชดเชย/แก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นในการก่อสร้าง เช่น การซ่อมแซมหรือชดเชยความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสิ่งก่อสร้างข้างเคียง เป็นต้น

ลำดับ	ปัจจัย	Factor	รายละเอียด
2. ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง (Engineering and Constructability)			
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	Construction Time	ระยะเวลาทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นก่อสร้างจนแล้วเสร็จ
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	Lead Time	ระยะเวลาที่ต้องสั่งของล่วงหน้า เช่น ถ้า Lead Time ของการสั่งวัสดุเท่ากับ 7 วัน หมายความว่าจะต้องสั่งวัสดุล่วงหน้า 7 วันก่อนที่จะถึงวันที่จะใช้งานจริง เป็นต้น
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	Transportation and Installation	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ เช่น ระยะทางการขนส่ง ขนาดของเครื่องมือ เครื่องจักร หรือชิ้นส่วนที่ต้องจัดส่งหรือติดตั้ง ช่วงเวลาที่สามารถจัดส่งหรือติดตั้งได้ พื้นที่ในการจัดส่งและติดตั้ง เป็นต้น
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	Expertise and Experience	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้างในการใช้เทคโนโลยีหรือวิธีการก่อสร้างที่กำหนด
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	Construction Safety and Risk	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุจากการเลือกใช้เทคโนโลยีหรือวิธีการก่อสร้างและเครื่องมือเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง โดยหมายรวมทั้งความถี่และความรุนแรงของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	Location Constraints, Obstacle and External Constraint	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ก่อสร้าง ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง สาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง เช่น ความกว้าง/ยาว/สูง/ลึกของพื้นที่ก่อสร้าง แรงกระทบโครงสร้างใต้ดินต่ออาคารข้างเคียง รวมไปถึงความต่อเนื่องกันของโครงการ เป็นต้น
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	Aesthetic Options	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้างเมื่องานก่อสร้างแล้วเสร็จ เช่น กรณีที่ก่อสร้างในพื้นที่อ่อนไหว (Sensitive area) อาจมีความจำเป็นต้องพิจารณาถึงความสวยงามและวิธีการก่อสร้างเป็นพิเศษ เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับพื้นที่ดังกล่าว
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	Soil, Groundwater Condition and Excavation Depth	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และระดับความลึกในการขุด เช่น ประเภทของดิน ความสามารถในการรับน้ำหนักได้ของดิน เป็นต้น

ลำดับ	ปัจจัย	Factor	รายละเอียด
3. ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย (Social, Health, Environment and Policy)			
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบ และผู้สัญจรผ่านพื้นที่	Public Safety	ความเสี่ยงและความปลอดภัยในการก่อสร้างของผู้ที่อยู่อาศัยในชุมชนโดยรอบพื้นที่โครงการหรือผู้สัญจรผ่านพื้นที่โครงการในระหว่างการก่อสร้าง เช่น สิ่งของตกจากที่สูง ไฟดูด ไฟไหม้ ก๊าซพิษ หรืออุบัติเหตุจากเครื่องมือเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	Community Disturbance	ผลกระทบจากการก่อสร้าง อันก่อให้เกิดการรบกวนชุมชนข้างเคียง เช่น เสียง ฝุ่นละออง แรงสั่นสะเทือน น้ำเสีย ขยะ กลิ่น ถนนชำรุด และมลภาวะอื่นๆ
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	Traffic Congestion	ผลกระทบต่อสภาพจราจรที่มาจากการก่อสร้าง เช่น การปิดใช้งานถนน สะพาน หรืออุโมงค์ ในระหว่างการก่อสร้าง เป็นต้น
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	Sustainable	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง ประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรในงานก่อสร้าง เช่น ปริมาณการเกิดขยะ ของเสีย และมลพิษจากการก่อสร้าง ระดับความเป็นพิษ ระดับความรุนแรงของมลพิษจากการก่อสร้าง ปริมาณ ประสิทธิภาพการใช้น้ำและพลังงานของวิธีการก่อสร้าง การใช้ซ้ำ (Reuse, Recycle and Renewable) ของวัสดุและโครงสร้างชั่วคราวที่ใช้ในการก่อสร้าง เช่น ยาง ดิน หิน เหล็ก ไม้ เป็นต้น
3.5	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	Influence on Job Market	การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้ให้กับแรงงานในพื้นที่และชุมชนโดยรอบ
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	Government Policy	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ เช่น นโยบายส่งเสริมให้ใช้สินค้าที่ผลิตในประเทศไทย (MiT) นโยบายส่งเสริมและสนับสนุนผู้ประกอบการ SME เป็นต้น
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	Land Expropriation	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดินต่อประชาชนรอบโครงการ โดยภาครัฐหรือหน่วยงานราชการทำการบังคับขอซื้อที่ดินคืนจากประชาชนที่เป็นเจ้าของที่ดิน เพื่อนำไปใช้ในกิจการที่เป็นสาธารณประโยชน์ พัฒนาระบบสาธารณูปโภคของประเทศ เช่น สร้างถนน สร้างทางพิเศษหรือทางด่วน สร้างเขื่อน อ่างเก็บน้ำ สร้างสถานีรถไฟฟ้าหรือสร้างรางรถไฟฟ้า เป็นต้น

ภาคผนวก ง.

แนวคิดวิธีการให้คะแนนเพื่อพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยี และวิธีการก่อสร้างตามปัจจัยต่างๆ

แนวคิดวิธีการให้คะแนนเพื่อพิจารณาทางเลือกเทคโนโลยี และวิธีการก่อสร้างตามปัจจัยต่างๆ

จากผลการดำเนินงานวิจัยคัดเลือกปัจจัยในการพิจารณาเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้า ซึ่งปัจจัยทั้งหมดที่ได้คัดเลือกมาแล้วสามารถแสดงในแผนภูมิปัจจัยรูปที่ ง-1



รูปที่ ง-1 : แผนภูมิแสดงปัจจัยที่มีผลในการพิจารณาเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง

เพื่อให้ได้ผลการคัดเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกรณีศึกษาโครงการรถไฟฟ้าสายสีน้ำตาลเพื่อพิจารณาคัดเลือกเทคโนโลยีและวิธีการก่อสร้างในบริเวณพื้นที่จำกัดกรณีต่างๆ นั้น คำตอบของทางเลือกที่ดีที่สุดจะเป็นทางเลือกที่ได้คะแนนรวมแบบถ่วงน้ำหนักของคะแนนในแต่ละปัจจัยต่างๆ ทั้งหมดสูงสุด โดยบางปัจจัยเป็นปัจจัยในเชิงปริมาณที่สามารถวัดค่าได้ เช่น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับเงินหรือเวลา แต่บางปัจจัยเป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่มีความยากลำบากในการตรวจวัด เช่น ความปลอดภัยของชุมชน ความสวยงาม เป็นต้น ดังนั้นการคำนวณคะแนนของแต่ละปัจจัยจึงต้องเริ่มพิจารณาจากเกณฑ์หรือวิธีการให้คะแนนของแต่ละปัจจัยนั้นๆ ดังต่อไปนี้

ง.1 การคำนวณคะแนนทั้งหมดของทางเลือก

ในการพิจารณาประเมินทางเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง จะพิจารณาเปรียบเทียบทางเลือกต่างๆ จากคะแนนรวมทั้งหมด (Score, a_k) ของแต่ละทางเลือกจากคะแนนที่ได้ในแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณาเลือกเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง โดยคะแนนในแต่ละปัจจัยจะถูกนำไปคูณกับค่าถ่วงน้ำหนัก (w_{ij}) ของปัจจัยต่างๆ ตามที่ได้ทำการวิจัยสรุปค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยไว้แล้วก่อนหน้า โดยการคำนวณคะแนนรวมของแต่ละทางเลือกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.8) ที่ได้นำเสนอไว้ในเนื้อหาบทที่ 2 ดังนี้

$$Score(a_k) = \sum_{i=1}^{m}\left[w_i^{AHP} \cdot \sum_{j=1}^{n} w_{ij}^{ROC} \cdot f_{ij}(a_k) \right] \quad (ง.1)$$

โดยที่ w_i^{AHP} = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยหลักที่พิจารณา i

w_{ij}^{ROC} = ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยย่อย j สำหรับปัจจัยหลัก i

n = จำนวนปัจจัยย่อยทั้งหมดภายใต้ปัจจัยหลัก i

m = จำนวนปัจจัยหลักทั้งหมด

$f_{ij}(a_k)$ = คะแนนของทางเลือก a_k สำหรับปัจจัยย่อย j ภายใต้ปัจจัยหลัก i

ปัจจัยที่แสดงในแผนภูมิข้างต้นสามารถเรียบเรียงแจกแจงได้ดังตารางที่ ง.1-1 พร้อมเกณฑ์ในการให้คะแนนทางเลือกหรือข้อจำกัดที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก โดยในตารางได้แสดงค่าสมมติในปัจจัยต่างๆ ของการเปรียบเทียบทางเลือกตัวอย่าง 3 กรณี (ทางเลือก A, B และ C) เพื่อใช้เป็นตัวอย่างในการคำนวณคะแนนทางเลือกของแต่ละปัจจัย

ตารางที่ ง.1-1 : ปัจจัยที่มีผลในการพิจารณาเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง และเกณฑ์ในการให้คะแนนทางเลือก และค่าตัวอย่างสมมติของแต่ละปัจจัย จำนวน 3 ทางเลือก เพื่อแสดงวิธีการให้คะแนน

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก A	ทางเลือก B	ทางเลือก C	หน่วย
ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์						
1.1	ค่าก่อสร้าง	มูลค่า NPV ของปัจจัย	85	120	150	mB
1.2	ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ รื้อถอน และเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค	มูลค่า NPV ของปัจจัย	10	11	12	mB
1.3	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง	มูลค่า NPV ของปัจจัย	2	3	3	mB

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก A	ทางเลือก B	ทางเลือก C	หน่วย
1.4	ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม	มูลค่า NPV ของปัจจัย	2	1.5	1	mB
1.5	ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ระหว่างก่อสร้าง	มูลค่า NPV ของปัจจัย	3	1.5	1	mB
1.6	ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน	มูลค่า NPV ของปัจจัย	100	80	50	mB
1.7	ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง	มูลค่า NPV ของปัจจัย	30	20	15	mB
1.8	ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	มูลค่า NPV ของปัจจัย	5	4	3	mB
ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้าง						
2.1	ระยะเวลาการก่อสร้าง	ระยะเวลาในการก่อสร้าง	60	72	66	m
2.2	ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	ระยะเวลาในการรอคอยเทียบกับระยะเวลาโครงการ*	0	3	15	m
2.3	ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้งเครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ	- ข้อจำกัดด้านการขนส่ง - ข้อจำกัดด้านการติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร - ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง - ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง	✓ ✓ - ✓	- - ✓ -	- - - ✓	
2.4	ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง	จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถในวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ที่พิจารณา	3	5	7	ราย
2.5	ความปลอดภัยในการก่อสร้าง และความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ	- ข้อจำกัดคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง(อับอากาศ) - ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่ - ข้อจำกัดด้านดินถล่ม - ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม	✓ ✓ - -	✓ - ✓ -	- ✓ ✓ -	
2.6	ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่ต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง	- ข้อจำกัดด้านพื้นที่ - ข้อจำกัดด้านความสูง - ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค - ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง	✓ - - -	✓ ✓ ✓ -	✓ ✓ ✓ ✓	
2.7	ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง	พิจารณาข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงาน - ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี) - ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี) - การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)	 ✓ - ✓	 - ✓ ✓	 ✓ ✓ -	
2.8	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด	- ข้อจำกัดด้านความลึกดินในการทำงาน - ข้อจำกัดด้านการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง - ข้อจำกัดเรื่องน้ำใต้ดิน - ข้อจำกัดเรื่องชนิดของดิน	✓ ✓ - -	✓ - ✓ -	- ✓ ✓ -	

No.	ปัจจัยที่พิจารณา	เกณฑ์ หรือ ข้อจำกัด ที่ใช้พิจารณาในการจัดลำดับทางเลือก	ทางเลือก A	ทางเลือก B	ทางเลือก C	หน่วย
ปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย						
3.1	ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่	– ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง – ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด – ความเสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้ – ความเสี่ยงต่อการเกิดก๊าซพิษ – ความเสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่	✓ ✓ - - ✓	✓ - ✓ - -	- - ✓ - -	
3.2	การรบกวนชุมชนข้างเคียง	– เสียง – ฝุ่นละออง – กลิ่น – การสั่นสะเทือน – ถนนชำรุด	✓ ✓ - - -	✓ - ✓ - ✓	- ✓ ✓ ✓ ✓	
3.3	ผลกระทบต่อสภาพจราจร	ระยะเวลาในการปิดจราจรเทียบกับระยะเวลาโครงการ*	12	6	3	L-m
3.4	ความยั่งยืนในการก่อสร้าง	– ปริมาณขยะ – ปริมาณน้ำเสีย – มีการใช้ซ้ำ (Recycle)	น้อยมาก ไม่มี	น้อย ไม่มี	เป็นพิษ เป็นพิษ มี	
3.5	ส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้	จำนวนแรงงานที่ใช้ในการก่อสร้าง	50	40	30	คน
3.6	การตอบสนองนโยบายภาครัฐ	จำนวนการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศ	10	15	5	อย่าง
3.7	ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน	จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืน	3	5	8	ราย

mB = ล้านบาท, m = จำนวนเดือน, L-m = จำนวนเลน-เดือน

* สมมติระยะเวลาโครงการ (T_{Proj}) 60 เลน-เดือน และคำนวณเวลาในการปิดจราจรแยกเป็นแต่ละช่องจราจรมารวมกัน

โดยปัจจัยที่พิจารณาทั้งหมดนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลักดังนี้

ปัจจัยที่สามารถวัดค่าเชิงปริมาณได้

ได้แก่ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับมูลค่าเงิน และ เวลา ซึ่งจากตารางปัจจัยข้างต้น จะเห็นได้ว่า ปัจจัยที่สามารถวัดค่าเชิงปริมาณได้ในส่วนที่เกี่ยวกับมูลค่าเงิน ประกอบด้วย ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ทั้งหมดคือ ปัจจัยที่ 1.1-1.8 ส่วนปัจจัยที่เกี่ยวกับเวลา คือ ปัจจัยที่ 2.1, 2.2 และ 3.3

ปัจจัยที่สามารถวัดค่าเชิงปริมาณได้นี้ สามารถใช้วิธีการตั้งเกณฑ์มูลค่าของปัจจัยที่ดีที่สุดให้ได้คะแนนสูงสุด เกณฑ์สำหรับมูลค่าปัจจัยที่ได้คะแนนค่าต่ำสุด และให้คะแนนทางเลือกต่างๆ ตามมูลค่าของปัจจัยที่แตกต่างกันไปตามสัดส่วน โดยมีรายละเอียดวิธีการให้คะแนนดังที่จะนำเสนอต่อไป

ปัจจัยที่ไม่สามารถวัดในเชิงปริมาณได้

ประกอบด้วย ปัจจัยด้านวิศวกรรมและการก่อสร้างข้อที่ 2.3-2.8 และปัจจัยด้านสังคม สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และนโยบาย ข้อที่ 3.1, 3.2, 3.4 ถึง 3.7 ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถวัดในเชิงปริมาณที่มีค่าชัดเจนได้ อาทิเช่น ความสวยงาม, ความปลอดภัย, ความยั่งยืนในการก่อสร้าง, ฯลฯ จึงไม่สามารถให้คะแนนเพื่อเปรียบเทียบกันในเชิงปริมาณโดยตรงได้ อย่างไรก็ดีปัจจัยเหล่านี้สามารถเปรียบเทียบในเชิงคุณภาพได้ เช่น ดีกว่า แย่กว่า สวยกว่า ฯลฯ ในที่นี้ทางที่ปรึกษาจึงเสนอเกณฑ์การให้คะแนนทางเลือกของปัจจัยเชิงคุณภาพด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังนี้

- ทำการจัดลำดับทางเลือกที่พิจารณาให้ได้ว่า ทางเลือกใดดีกว่ากัน โดยอาศัยเกณฑ์ในการพิจารณาข้อดีข้อเสียของแต่ละปัจจัย ซึ่งจะนำเสนอในลำดับต่อไป
- เมื่อจัดลำดับทางเลือกได้แล้ว จะสามารถให้คะแนนทางเลือกได้ โดยมีเกณฑ์ว่า
    - ทางเลือกลำดับที่ดีที่สุดหรือที่สูงที่สุดได้คะแนนเต็ม = 10,
    - ทางเลือกที่แย่ที่สุด ต่ำที่สุด หรือดีน้อยที่สุดได้คะแนน = 0,
    - ส่วนทางเลือกที่ได้ลำดับในระหว่างกลางจะได้คะแนนลดหลั่นกันไปเป็นสัดส่วน
    - ทางเลือกที่ได้ลำดับเท่ากัน ให้นำคะแนนรวมของทางเลือกเหล่านั้นมารวมกันแล้วแบ่งเฉลี่ยเท่าๆ กัน

เช่น หากทำการพิจารณาทางเลือกวิธีการก่อสร้างจำนวนทั้งสิ้น 3 วิธี (**A**, **B** และ **C**) เมื่อทำการจัดลำดับทางเลือกแล้วได้ผลว่ามี 3 ลำดับ โดย ทางเลือก **A** ดีกว่า **B**, และทางเลือก **B** ดีกว่า **C** (**A** > **B** > **C**)

- **ทางเลือก A** ลำดับสูงสุดจะได้คะแนน = 10
- **ทางเลือก B** ลำดับปานกลางได้คะแนน = 5
- **ทางเลือก C** ลำดับต่ำที่สุดได้คะแนน = 0

แต่หากจัดลำดับแล้วได้ผลทางเลือก 2 ลำดับ โดย **A** ดีที่สุด แต่ **B** และ **C** พอๆ กัน จะให้คะแนนดังนี้

- **ทางเลือก A** ลำดับสูงสุดจะได้คะแนน = 10
- **ทางเลือก B** และ **C** พอๆ กัน จะนำคะแนนของลำดับที่ 2 และ 3 มารวมกันแล้วแบ่งเฉลี่ย ทำให้**ทางเลือก B** และ **C** ได้คะแนน (5+0)/2 = 2.5 คะแนน

หรือหากทั้ง 3 ทางเลือก พบว่าใกล้เคียงกัน ไม่มีทางเลือกใดดีกว่ากัน จะให้คะแนนดังนี้

- ทั้ง 3 ทางเลือก แต่ละทางเลือกจะได้คะแนน = คะแนนเฉลี่ยของ 3 ลำดับรวมกัน = (10+5+0)/3 = 5 คะแนน

การจัดลำดับทางเลือกของแต่ละปัจจัย อาจใช้วิธีการพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ ของทางเลือกนั้นๆ โดยทางเลือกใดที่ไม่มีข้อจำกัดสำหรับปัจจัยที่พิจารณานั้นเลยหรือมีจำนวนข้อจำกัดน้อยที่สุด ก็จะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ส่วนทางเลือกที่มีข้อจำกัดมากขึ้นจะถูกจัดให้เป็นทางเลือกในลำดับถัดๆ ไปตามลำดับ

ง.2 เกณฑ์และวิธีการให้คะแนนทางเลือกสำหรับแต่ละปัจจัย

การให้คะแนนทางเลือกต่างๆ สำหรับแต่ละปัจจัยที่พิจารณาสามารถอธิบายได้ดังรายละเอียดแยกตามแต่ละปัจจัยดังต่อไปนี้

ปัจจัยที่ 1.1 ค่าก่อสร้าง

เนื่องด้วยเป็นปัจจัยที่สามารถวัดปริมาณได้ จึงใช้ปริมาณของค่าที่ได้มากน้อยเป็นตัวชี้วัดความแตกต่างของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งในที่นี้คือ**มูลค่าของเงิน** และเพื่อให้ค่าคะแนนของแต่ละปัจจัยสามารถนำมารวมกันได้บนพื้นฐานเดียวกันและเปรียบเทียบกันระหว่างทางเลือกที่พิจารณาได้ ในที่นี้จึงใช้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของปัจจัยนั้นๆ ซึ่งทางเลือกที่มีมูลค่า NPV ของปัจจัยที่พิจารณาต่ำหมายถึงเป็นทางเลือกที่ประหยัดกว่าทางเลือกที่มีปัจจัยมูลค่า NPV สูงกว่า โดยทางเลือกที่ประหยัดกว่าจะได้คะแนนของปัจจัยนั้นสูงกว่า ทางที่ปรึกษาได้ตั้งเกณฑ์ต่างๆ โดยใช้หลักการ ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าสูงสุด ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าต่ำสุด และจะทำให้สามารถคำนวณค่าคะแนนต่างๆ ตามมูลค่า NPV ที่ต่างกันได้ดังนี้

- มูลค่า NPV ที่ต่ำสุด (C_{min}) คือทางเลือกที่ประหยัดที่สุด ได้คะแนนเต็ม = 10 คะแนน
- มูลค่า NPV ที่แพงกว่าทางเลือกที่ประหยัดที่สุด **100%** (k) ขึ้นไป (แพงขึ้นเท่าตัว) ได้คะแนน = 0
- ทางเลือกที่มีมูลค่า NPV อื่นๆ (C_x) สามารถคำนวณคะแนนได้ตามสัดส่วนของมูลค่า NPV สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$SCORE\left(C_x\right) = 10 - \left(\frac{C_x - C_{\min}}{k \cdot C_{\min}}\right) \cdot 10$$

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก A** มีมูลค่าก่อสร้าง NPV, C_A = 85 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก B** มีมูลค่าก่อสร้าง NPV, C_B = 120 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก C** มีมูลค่าก่อสร้าง NPV, C_C = 150 ล้านบาท

ทางเลือก A มีมูลค่าต่ำที่สุด $C_A = C_{min}$ = 85 mB, เป็นทางเลือกที่ประหยัดสุดได้ 10 คะแนน ค่า k **= 1.0**, ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือคะแนน = 0 เมื่อมูลค่าแพงขึ้นมากกว่า 100% (= 1.0)

ทางเลือก B, C_B = 120 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{120-85}{1\times85}\right)\cdot 10$ = 5.9 คะแนน

ทางเลือก C, C_C = 150 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{150-85}{1\times85}\right)\cdot 10$ = 2.4 คะแนน

ในการให้คะแนนจะสังเกตได้ว่า สามารถทำการปรับแก้ค่า k (ค่าเกณฑ์ในการพิจารณาทางเลือกที่แย่ที่สุดให้มีคะแนนเท่ากับ 0) ตามความเหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ได้ หากมีข้อมูลประกอบการพิจารณาที่ละเอียดขึ้น อาทิเช่น มูลค่าการก่อสร้าง หากทราบว่าไม่ควรจะแพงกว่ากันเกิน 50% ก็สามารถใช้ค่า k = 0.5 แทน 1.0 เพื่อความเหมาะสมได้

ปัจจัยที่ 1.2 ค่าใช้จ่ายในการจัดเตรียมพื้นที่ การรื้อถอน และการเคลื่อนย้ายสาธารณูปโภค

เนื่องด้วยเป็นปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ที่สามารถวัดปริมาณได้ เหมือนปัจจัยที่ 1.1, จึงใช้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของปัจจัยนั้นๆ เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน ซึ่งทางเลือกที่มีมูลค่า NPV ของปัจจัยที่พิจารณาต่ำ หมายถึงเป็นทางเลือกที่ประหยัดกว่าทางเลือกที่มีปัจจัยมูลค่า NPV สูงกว่า โดยทางเลือกที่ประหยัดกว่าจะได้คะแนนของปัจจัยนั้นสูงกว่า ทางที่ปรึกษาได้ตั้งเกณฑ์ต่างๆ โดยใช้หลักการ ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าสูงสุด ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าต่ำสุด และจะทำให้สามารถคำนวณค่าคะแนนต่างๆ ตามมูลค่า NPV ที่ต่างกันได้ดังนี้

- มูลค่า NPV ที่ต่ำสุด (C_{min}) คือทางเลือกที่ประหยัดที่สุด ได้คะแนนเต็ม = 10 คะแนน
- มูลค่า NPV ที่แพงกว่าทางเลือกที่ประหยัดที่สุด **100%** (k) ขึ้นไป (แพงขึ้นเท่าตัว) ได้คะแนน = 0
- ทางเลือกที่มีมูลค่า NPV อื่นๆ (C_x) สามารถคำนวณคะแนนได้ตามสัดส่วนของมูลค่า NPV สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$SCORE\left(C_x\right) = 10 - \left(\frac{C_x - C_{\min}}{k \cdot C_{\min}}\right) \cdot 10$$

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก A** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_A = 10 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก B** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_B = 11 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก C** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_C = 12 ล้านบาท

ทางเลือก A มีมูลค่าต่ำที่สุด $C_A = C_{min}$ = 10 mB, เป็นทางเลือกที่ประหยัดสุดได้ 10 คะแนน ค่า k **= 1.0**, ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือคะแนน = 0 เมื่อมูลค่าแพงขึ้นมากกว่า 100% (= 1.0)

ทางเลือก B, C_B = 11 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{11-10}{1\times10}\right)\cdot10$ = 9 คะแนน

ทางเลือก C, C_C = 12 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{12-10}{1\times10}\right)\cdot10$ = 8 คะแนน

ปัจจัยที่ 1.3 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งโครงสร้างชั่วคราวในระหว่างการก่อสร้าง

เนื่องด้วยเป็นปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ที่สามารถวัดปริมาณได้ เหมือนปัจจัยที่ 1.1, จึงใช้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของปัจจัยนั้นๆ เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน ซึ่งทางเลือกที่มีมูลค่า NPV ของปัจจัยที่พิจารณาต่ำ หมายถึงเป็นทางเลือกที่ประหยัดกว่าทางเลือกที่มีปัจจัยมูลค่า NPV สูงกว่า โดยทางเลือกที่ประหยัดกว่าจะได้คะแนนของปัจจัยนั้นสูงกว่า ทางที่ปรึกษาได้ตั้งเกณฑ์ต่างๆ โดยใช้หลักการ ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าสูงสุด ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าต่ำสุด และจะทำให้สามารถคำนวณค่าคะแนนต่างๆ ตามมูลค่า NPV ที่ต่างกันได้ดังนี้

- มูลค่า NPV ที่ต่ำสุด (C_{min}) คือทางเลือกที่ประหยัดที่สุด ได้คะแนนเต็ม = 10 คะแนน
- ลค่า NPV ที่แพงกว่าทางเลือกที่ประหยัดที่สุด **100%** (k) ขึ้นไป (แพงขึ้นเท่าตัว) ได้คะแนน = 0
- ทางเลือกที่มีมูลค่า NPV อื่นๆ (C_x) สามารถคำนวณคะแนนได้ตามสัดส่วนของมูลค่า NPV สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$SCORE\left(C_x\right) = 10 - \left(\frac{C_x - C_{\min}}{k \cdot C_{\min}}\right) \cdot 10$$

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก A** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_A = 2 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก B** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_B = 3 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก C** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_C = 3 ล้านบาท

ทางเลือก A มีมูลค่าต่ำที่สุด $C_A = C_{min}$ = 2 mB, เป็นทางเลือกที่ประหยัดสุดได้ = 10 คะแนน ค่า k **= 1.0**, ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือคะแนน = 0 เมื่อมูลค่าแพงขึ้นมากกว่า 100% (= 1.0)

ทางเลือก B, C_B = 3 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{3-2}{1\times 2}\right)\cdot 10$ = 5 คะแนน

ทางเลือก C, C_C = 3 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{3-2}{1\times 2}\right)\cdot 10$ = 5 คะแนน

ปัจจัยที่ 1.4 ค่าใช้จ่ายในการป้องกันผลกระทบด้านสังคม สุขภาพ และสิ่งแวดล้อม

เนื่องด้วยเป็นปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ที่สามารถวัดปริมาณได้ เหมือนปัจจัยที่ 1.1, จึงใช้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของปัจจัยนั้นๆ เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน ซึ่งทางเลือกที่มีมูลค่า NPV ของปัจจัยที่พิจารณาต่ำ หมายถึงเป็นทางเลือกที่ประหยัดกว่าทางเลือกที่มีปัจจัยมูลค่า NPV สูงกว่า โดยทางเลือกที่ประหยัดกว่าจะได้คะแนนของปัจจัยนั้นสูงกว่า ทางที่ปรึกษาได้ตั้งเกณฑ์ต่างๆ โดยใช้หลักการ ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าสูงสุด ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าต่ำสุด และจะทำให้สามารถคำนวณค่าคะแนนต่างๆ ตามมูลค่า NPV ที่ต่างกันได้ดังนี้

- มูลค่า NPV ที่ต่ำสุด (C_{min}) คือทางเลือกที่ประหยัดที่สุด ได้คะแนนเต็ม = 10 คะแนน
- มูลค่า NPV ที่แพงกว่าทางเลือกที่ประหยัดที่สุด **100%** (k) ขึ้นไป (แพงขึ้นเท่าตัว) ได้คะแนน = 0
- ทางเลือกที่มีมูลค่า NPV อื่นๆ (C_x) สามารถคำนวณคะแนนได้ตามสัดส่วนของมูลค่า NPV สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$SCORE\left(C_x\right) = 10 - \left(\frac{C_x - C_{\min}}{k \cdot C_{\min}}\right) \cdot 10$$

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก A** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_A = 2 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก B** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_B = 1.5 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก C** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_C = 1 ล้านบาท

ทางเลือก C มีมูลค่าต่ำที่สุด $C_C = C_{min}$ = 1 mB, เป็นทางเลือกที่ประหยัดสุดได้ = 10 คะแนน ค่า k **= 1.0**, ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือคะแนน = 0 เมื่อมูลค่าแพงขึ้นมากกว่า 100% (= 1.0)

ทางเลือก A, C_A = 2 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{2-1}{1\times1}\right)\cdot 10$ = 0 คะแนน

ทางเลือก B, C_B = 1.5 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{1.5-1}{1\times1}\right)\cdot 10$ = 5 คะแนน

ปัจจัยที่ 1.5 ค่าใช้จ่ายในการบริหารการจราจรและประชาสัมพันธ์ในระหว่างการก่อสร้าง

เนื่องด้วยเป็นปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ที่สามารถวัดปริมาณได้ เหมือนปัจจัยที่ 1.1, จึงใช้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของปัจจัยนั้นๆ เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน ซึ่งทางเลือกที่มีมูลค่า NPV ของปัจจัยที่พิจารณาต่ำ หมายถึงเป็นทางเลือกที่ประหยัดกว่าทางเลือกที่มีปัจจัยมูลค่า NPV สูงกว่า โดยทางเลือกที่ประหยัดกว่าจะได้คะแนนของปัจจัยนั้นสูงกว่า ทางที่ปรึกษาได้ตั้งเกณฑ์ต่างๆ โดยใช้หลักการ ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าสูงสุด ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าต่ำสุด และจะทำให้สามารถคำนวณค่าคะแนนต่างๆ ตามมูลค่า NPV ที่ต่างกันได้ดังนี้

- มูลค่า NPV ที่ต่ำสุด (C_{min}) คือทางเลือกที่ประหยัดที่สุด ได้คะแนนเต็ม = 10 คะแนน
- มูลค่า NPV ที่แพงกว่าทางเลือกที่ประหยัดที่สุด **100%** (k) ขึ้นไป (แพงขึ้นเท่าตัว) ได้คะแนน = 0
- ทางเลือกที่มีมูลค่า NPV อื่นๆ (C_x) สามารถคำนวณคะแนนได้ตามสัดส่วนของมูลค่า NPV สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$SCORE\left(C_x\right) = 10 - \left(\frac{C_x - C_{\min}}{k \cdot C_{\min}}\right) \cdot 10$$

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก A** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_A = 3 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก B** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_B = 1.5 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก C** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_C = 1 ล้านบาท

ทางเลือก C มีมูลค่าต่ำที่สุด $C_C = C_{min}$ = 1 mB, เป็นทางเลือกที่ประหยัดสุดได้ = 10 คะแนน ค่า k **= 1.0**, ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือคะแนน = 0 เมื่อมูลค่าแพงขึ้นมากกว่า 100% (= 1.0)

ทางเลือก A, C_A = 3 mB ได้คะแนน = $10 - \left(\frac{3-1}{1\times1}\right)\cdot 10$ = -10 (ติดลบ) ถือว่า = 0 คะแนน

ทางเลือก B, C_B = 1.5 mB ได้คะแนน = $10 - \left(\frac{1.5-1}{1\times1}\right)\cdot 10$ = 5 คะแนน

ปัจจัยที่ 1.6 ค่าใช้จ่ายในการเวนคืนที่ดิน

เนื่องด้วยเป็นปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ที่สามารถวัดปริมาณได้ เหมือนปัจจัยที่ 1.1, จึงใช้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของปัจจัยนั้นๆ เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน ซึ่งทางเลือกที่มีมูลค่า NPV ของปัจจัยที่พิจารณาต่ำ หมายถึงเป็นทางเลือกที่ประหยัดกว่าทางเลือกที่มีปัจจัยมูลค่า NPV สูงกว่า โดยทางเลือกที่ประหยัดกว่าจะได้คะแนนของปัจจัยนั้นสูงกว่า ทางที่ปรึกษาได้ตั้งเกณฑ์ต่างๆ โดยใช้หลักการ ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าสูงสุด ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าต่ำสุด และจะทำให้สามารถคำนวณค่าคะแนนต่างๆ ตามมูลค่า NPV ที่ต่างกันได้ดังนี้

- มูลค่า NPV ที่ต่ำสุด (C_{min}) คือทางเลือกที่ประหยัดที่สุด ได้คะแนนเต็ม = 10 คะแนน
- มูลค่า NPV ที่แพงกว่าทางเลือกที่ประหยัดที่สุด **100%** (k) ขึ้นไป (แพงขึ้นเท่าตัว) ได้คะแนน = 0
- ทางเลือกที่มีมูลค่า NPV อื่นๆ (C_x) สามารถคำนวณคะแนนได้ตามสัดส่วนของมูลค่า NPV สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$SCORE\left(C_x\right) = 10 - \left(\frac{C_x - C_{\min}}{k \cdot C_{\min}}\right) \cdot 10$$

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก A** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_A = 100 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก B** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_B = 80 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก C** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_C = 50 ล้านบาท

ทางเลือก C มีมูลค่าต่ำที่สุด $C_C = C_{min}$ = 50 mB, เป็นทางเลือกที่ประหยัดสุดได้ 10 คะแนน ค่า k **= 1.0**, ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือคะแนน = 0 เมื่อมูลค่าแพงขึ้นมากกว่า 100% (= 1.0)

ทางเลือก A, C_A = 100 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{100-50}{1\times 50}\right)\cdot 10$ = 0 คะแนน

ทางเลือก B, C_B = 80 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{80-50}{1\times 50}\right)\cdot 10$ = 4 คะแนน

ปัจจัยที่ 1.7 ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาตลอดอายุสิ่งก่อสร้าง

เนื่องด้วยเป็นปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ที่สามารถวัดปริมาณได้ เหมือนปัจจัยที่ 1.1, จึงใช้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของปัจจัยนั้นๆ เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน ซึ่งทางเลือกที่มีมูลค่า NPV ของปัจจัยที่พิจารณาต่ำ หมายถึงเป็นทางเลือกที่ประหยัดกว่าทางเลือกที่มีปัจจัยมูลค่า NPV สูงกว่า โดยทางเลือกที่ประหยัดกว่าจะได้คะแนนของปัจจัยนั้นสูงกว่า ทางที่ปรึกษาได้ตั้งเกณฑ์ต่างๆ โดยใช้หลักการ ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าสูงสุด ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าต่ำสุด และจะทำให้สามารถคำนวณค่าคะแนนต่างๆ ตามมูลค่า NPV ที่ต่างกันได้ดังนี้

- มูลค่า NPV ที่ต่ำสุด (C_{min}) คือทางเลือกที่ประหยัดที่สุด ได้คะแนนเต็ม = 10 คะแนน
- มูลค่า NPV ที่แพงกว่าทางเลือกที่ประหยัดที่สุด **100%** (k) ขึ้นไป (แพงขึ้นเท่าตัว) ได้คะแนน = 0
- ทางเลือกที่มีมูลค่า NPV อื่นๆ (C_x) สามารถคำนวณคะแนนได้ตามสัดส่วนของมูลค่า NPV สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$SCORE\left(C_x\right) = 10 - \left(\frac{C_x - C_{\min}}{k \cdot C_{\min}}\right) \cdot 10$$

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก A** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_A = 30 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก B** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_B = 20 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก C** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_C = 15 ล้านบาท

ทางเลือก C มีมูลค่าต่ำที่สุด $C_C = C_{min}$ = 15 mB, เป็นทางเลือกที่ประหยัดสุดได้ 10 คะแนน ค่า k **= 1.0**, ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือคะแนน = 0 เมื่อมูลค่าแพงขึ้นมากกว่า 100% (= 1.0)

ทางเลือก A, C_A = 30 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{30-15}{1\times15}\right)\cdot10$ = 0 คะแนน

ทางเลือก B, C_B = 20 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{20-15}{1\times15}\right)\cdot10$ = 6.7 คะแนน

ปัจจัยที่ 1.8 ค่าใช้จ่ายอื่นๆ

เนื่องด้วยเป็นปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ที่สามารถวัดปริมาณได้ เหมือนปัจจัยที่ 1.1, จึงใช้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของปัจจัยนั้นๆ เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน ซึ่งทางเลือกที่มีมูลค่า NPV ของปัจจัยที่พิจารณาต่ำ หมายถึงเป็นทางเลือกที่ประหยัดกว่าทางเลือกที่มีปัจจัยมูลค่า NPV สูงกว่า โดยทางเลือกที่ประหยัดกว่าจะได้คะแนนของปัจจัยนั้นสูงกว่า ทางที่ปรึกษาได้ตั้งเกณฑ์ต่างๆ โดยใช้หลักการ ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าสูงสุด ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าต่ำสุด และจะทำให้สามารถคำนวณค่าคะแนนต่างๆ ตามมูลค่า NPV ที่ต่างกันได้ดังนี้

- มูลค่า NPV ที่ต่ำสุด (C_{min}) คือทางเลือกที่ประหยัดที่สุด ได้คะแนนเต็ม = 10 คะแนน
- มูลค่า NPV ที่แพงกว่าทางเลือกที่ประหยัดที่สุด **100%** (k) ขึ้นไป (แพงขึ้นเท่าตัว) ได้คะแนน = 0
- ทางเลือกที่มีมูลค่า NPV อื่นๆ (C_x) สามารถคำนวณคะแนนได้ตามสัดส่วนของมูลค่า NPV สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้

$$SCORE\left(C_x\right) = 10 - \left(\frac{C_x - C_{\min}}{k \cdot C_{\min}}\right) \cdot 10$$

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก A** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_A = 5 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก B** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_B = 4 ล้านบาท

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก C** มีมูลค่าใช้จ่าย NPV, C_C = 3 ล้านบาท

ทางเลือก C มีมูลค่าต่ำที่สุด $C_C = C_{min}$ = 3 mB, เป็นทางเลือกที่ประหยัดสุดได้ 10 คะแนน

ค่า k **= 1.0**, ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือคะแนน = 0 เมื่อมูลค่าแพงขึ้นมากกว่า 100% (= 1.0)

ทางเลือก A, C_A = 5 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{5-3}{1\times 3}\right)\cdot 10$ = 3.3 คะแนน

ทางเลือก B, C_B = 4 mB จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{4-3}{1\times 3}\right)\cdot 10$ = 6.7 คะแนน

ปัจจัยที่ 2.1 ระยะเวลาการก่อสร้าง

เนื่องด้วยเป็นปัจจัยเกี่ยวกับเวลาสามารถวัดค่าปริมาณได้ คล้ายกับปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์, จึงใช้ค่าระยะเวลา ของปัจจัยนั้นๆ เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน ซึ่งทางเลือกที่ใช้ระยะเวลาสั้น หมายถึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพกว่าทางเลือกที่ใช้ระยะเวลานานกว่า โดยทางเลือกที่ระยะเวลาสั้นกว่าจะได้คะแนนของปัจจัยนั้นสูงกว่า ทางที่ปรึกษาได้ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าสูงสุด เกณฑ์สำหรับคะแนนค่าต่ำสุด และจะทำให้สามารถคำนวณค่าคะแนนต่างๆ ตามค่าระยะเวลา ที่ต่างกันได้ดังนี้

- ทางเลือกที่ใช้เวลาน้อยที่สุด (T_{min}) คือทางเลือกที่เร็วที่สุด ได้คะแนนเต็ม = 10 คะแนน
- ทางเลือกที่ใช้เวลานานขึ้นมากกว่า **20%** (k) ขึ้นไป ได้คะแนน = 0
- ทางเลือกที่ใช้เวลาก่อสร้างหรือเวลาที่เกี่ยวข้องของปัจจัยนั้นๆ มากน้อย สามารถคำนวณตามสัดส่วน

$$SCORE\left(T_x\right) = 10 - \left(\frac{T_x - T_{\min}}{k \cdot T_{\min}}\right) \cdot 10$$

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก** A ใช้เวลาในการก่อสร้าง, T_A = 60 เดือน

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก** B ใช้เวลาในการก่อสร้าง, T_B = 72 เดือน

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก** C ใช้เวลาในการก่อสร้าง, T_C = 66 เดือน

ทางเลือก A ใช้เวลาก่อสร้างสั้นสุด $T_A = T_{min}$ = 60 เดือน, เป็นทางเลือกที่เร็วสุดได้ 10 คะแนน

ค่า k = **0.20**, ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือคะแนน = 0 เมื่อใช้เวลานานขึ้นมากกว่า = 20% (= 0.2)

ทางเลือก B, T_B = 72 เดือน จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{72-60}{0.2\times 60}\right)\cdot 10$ = 0 คะแนน

ทางเลือก C, T_C = 66 เดือน จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{66-60}{0.2\times 60}\right)\cdot 10$ = 5 คะแนน

ปัจจัยที่ 2.2 ข้อจำกัดด้านระยะเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ

เนื่องด้วยเป็นปัจจัยเกี่ยวกับเวลาสามารถวัดค่าปริมาณได้ คล้ายกับปัจจัยที่ 2.1, จึงใช้ ค่าระยะเวลาของปัจจัยนั้นๆ เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน ซึ่งทางเลือกที่ใช้ระยะเวลาสั้น หมายถึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพกว่าทางเลือกที่ใช้ระยะเวลานานกว่า โดยทางเลือกที่ระยะเวลาสั้นกว่าจะได้คะแนนของปัจจัยนั้นสูงกว่า ทางที่ปรึกษาได้ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าสูงสุด เกณฑ์สำหรับคะแนนค่าต่ำสุด และจะทำให้สามารถคำนวณค่าคะแนนต่างๆ ตามค่าระยะเวลา ที่ต่างกันได้ดังนี้

- ทางเลือกที่ไม่มีระยะเวลารอคอยเลย (T_{min}) คือทางเลือกที่ดีที่สุด ได้คะแนนเต็ม = 10 คะแนน
- สำหรับการรอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร หรือวัสดุก่อสร้างอื่นๆ ทางที่ปรึกษาพิจารณาว่าในการก่อสร้างสามารถวางแผนบริหารการก่อสร้างให้เหมาะสมสอดคล้องกับเวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร ได้โดยไม่ทำให้โครงการก่อสร้างโดยรวมได้รับผลกระทบ ดังนั้นจึงเสนอว่า การรอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร สามารถรอนานได้ระดับหนึ่งภายในช่วงระยะเวลาการก่อสร้างของโครงการโดยรวม (T_{Proj}) จึงอาจเลือกใช้ค่า k ที่สูงขึ้นได้ ในที่นี้จึงกำหนดให้ทางเลือกที่ใช้เวลารอคอยนาน **50%** (k) ของระยะเวลาก่อสร้างโครงการโดยรวม (T_{Proj}) ขึ้นไป ได้คะแนน = 0
- คะแนนของทางเลือกที่ใช้เวลารอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร ต่างๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$SCORE\left(T_x\right) = 10 - \left(\frac{T_x}{k \cdot T_{\mathrm{Pr}oj}}\right) \cdot 10 \qquad = 10 - \left(\frac{T_x}{0.5 \cdot T_{\mathrm{Pr}oj}}\right) \cdot 10$$

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ระยะเวลาก่อสร้างโครงการโดยรวม (T_{Proj}) กำหนดให้เท่ากับ = 60 เดือน

ค่า k = **0.50**, ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือคะแนน = 0 เมื่อใช้เวลารอคอยตั้งแต่ = 50% ของระยะเวลาก่อสร้างโครงการโดยรวม (T_{Proj})

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก** A ไม่มีระยะเวลาการรอคอยเครื่องมือ/เครื่องจักร

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก** B ใช้เวลาในการรอคอย, T_B = 3 เดือน

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก** C ใช้เวลาในการรอคอย, T_C = 15 เดือน

ทางเลือก A ไม่มีระยะเวลารอยคอยเลย ได้คะแนน = $10 - \left(\frac{0}{0.5 \times 60}\right) \cdot 10$ = 10 คะแนน

ทางเลือก B, T_B = 3 เดือน จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{3}{0.5 \times 60}\right) \cdot 10$ = 9 คะแนน

ทางเลือก C, T_C = 15 เดือน จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{15}{0.5 \times 60}\right) \cdot 10$ = 5 คะแนน

ปัจจัยที่ 2.3 ข้อจำกัดด้านการขนส่ง/ติดตั้ง เครื่องมือ/เครื่องจักร ชิ้นส่วน/วัสดุก่อสร้าง หรืออื่นๆ

เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้ จึงต้องใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นก่อนหน้า โดยการจัดลำดับทางเลือกใช้วิธีการพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ ของทางเลือกนั้นๆ โดยทางเลือกใดที่ไม่มีข้อจำกัดสำหรับปัจจัยที่พิจารณานั้นเลยหรือมีจำนวนข้อจำกัดน้อยที่สุด ก็จะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ส่วนทางเลือกที่มีข้อจำกัดมากขึ้นจะถูกจัดให้เป็นทางเลือกในลำดับถัดๆ ไปตามลำดับ

ข้อจำกัดที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาจัดลำดับทางเลือกของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างตามปัจจัยที่ 2.3 ดังแสดงไว้ในตารางที่ ง.1-1 ก่อนหน้าข้างต้น ประกอบด้วย

1. ข้อจำกัดด้านขนส่ง
2. ข้อจำกัดการติดตั้งเครื่องมือ
3. ข้อจำกัดอุปสรรคเส้นทางขนส่ง
4. ข้อจำกัดด้านชิ้นส่วน วัสดุ

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **A** มีข้อจำกัด ข้อ 1, 3 และ 4

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **B** มีข้อจำกัด ข้อ 1 (ข้อเดียว)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **C** มีข้อจำกัด ข้อ 2 (ข้อเดียว)

จะสามารถจัดลำดับของทางเลือกสำหรับการพิจารณาปัจจัยนี้ได้ว่า **ทางเลือก B** เท่ากับ **ทางเลือก C** และ**ทางเลือก A** เป็นทางเลือกที่อยู่ลำดับสุดท้าย

ทางเลือก B จะได้คะแนนเท่ากับ**ทางเลือก C** = (10+5)/2 = 7.5

ทางเลือก A จะได้คะแนนของลำดับสุดท้าย = 0

ปัจจัยข้อที่ 2.4 ความเชี่ยวชาญและประสบการณ์ของผู้ก่อสร้าง

เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้ จึงต้องใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นก่อนหน้า โดยใช้เกณฑ์ในการจัดลำดับทางเลือกของวิธีการก่อสร้างที่พิจารณาจาก

- จำนวนผู้รับเหมาที่มีความสามารถทำวิธีการก่อสร้างนั้นๆ ได้

หากทางเลือกวิธีการก่อสร้างใดมีจำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำวิธีก่อสร้างนั้นได้มากเมื่อเทียบกับทางเลือกอื่น ก็จะถูกจัดอยู่ในลำดับทางเลือกที่ดีกว่า ได้คะแนนทางเลือกสูงกว่าวิธีก่อสร้างที่มีจำนวนผู้รับเหมาสามารถทำได้น้อย ลดหลั่นกันไป

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **A** มีจำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำวิธีนี้ได้จำนวน 3 ราย
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **B** มีจำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำวิธีนี้ได้จำนวน 5 ราย
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **C** จำนวนผู้รับเหมาที่สามารถทำวิธีนี้ได้จำนวน 7 ราย

จะสามารถจัดลำดับของทางเลือกสำหรับการพิจารณาปัจจัยนี้ได้ว่า

ทางเลือก C มีจำนวนผู้รับเหมามากที่สุด เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ได้อันดับ 1 ได้คะแนน = 10

ทางเลือก B มีจำนวนผู้รับเหมามากรองลงมา เป็นทางเลือกที่ดีอันดับ 2 ได้คะแนน = 5

ทางเลือก A มีจำนวนผู้รับเหมาน้อยที่สุด เป็นทางเลือกได้อันดับสุดท้าย ได้คะแนน = 0

ปัจจัยข้อที่ 2.5 ความปลอดภัยในการก่อสร้างและความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุ

เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้ จึงต้องใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นก่อนหน้า โดยการจัดลำดับทางเลือกใช้วิธีการพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ ของทางเลือกนั้นๆ โดยทางเลือกใดที่ไม่มีข้อจำกัดสำหรับปัจจัยที่พิจารณานั้นเลยหรือมีจำนวนข้อจำกัดน้อยที่สุด ก็จะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ส่วนทางเลือกที่มีข้อจำกัดมากขึ้นจะถูกจัดให้เป็นทางเลือกในลำดับถัดๆ ไปตามลำดับ

ข้อจำกัดที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาจัดลำดับทางเลือกของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างตามปัจจัยที่ 2.5 ดังแสดงไว้ในตารางที่ ง.1-1 ก่อนหน้าข้างต้น เช่น

1. ข้อจำกัดมีคนงานต้องเข้าพื้นที่เสี่ยง (อับอากาศ)
2. ข้อจำกัดต้องมีโครงสร้างชั่วคราวขนาดใหญ่
3. ข้อจำกัดด้านดินถล่ม
4. ข้อจำกัดเรื่องน้ำท่วม

ทางเลือกวิธีการก่อสร้างใดทำให้มีจำนวนข้อจำกัดมากที่สุดจะจัดเป็นลำดับที่แย่สุดได้คะแนนต่ำที่สุด ทางเลือกใดมีจำนวนข้อจำกัดน้อยที่สุดก็จะได้คะแนนสูงสุด

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **A** มีข้อจำกัด ข้อ 1 และ 2
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **B** มีข้อจำกัด ข้อ 1 และ 3
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **C** มีข้อจำกัด ข้อ 2 และ 3

จะสามารถจัดลำดับของทางเลือกสำหรับการพิจารณาปัจจัยนี้ได้ว่า ทั้ง 3 ทางเลือก มีจำนวนข้อจำกัดเท่ากัน จัดลำดับได้เท่ากันทุกทางเลือก

ทางเลือก A, B และ C ได้คะแนนเท่ากันหมด = (10+5+0)/3 = 5

ปัจจัยข้อที่ 2.6 ข้อจำกัดด้านพื้นที่ ความสูง หรือตำแหน่งในการก่อสร้าง สิ่งกีดขวาง หรือสาธารณูปโภคที่จำเป็นต้องเคลื่อนย้าย และผลกระทบต่ออาคารข้างเคียง

เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้ จึงต้องใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นก่อนหน้า โดยการจัดลำดับทางเลือกใช้วิธีการพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ ของทางเลือกนั้นๆ โดยทางเลือกใดที่ไม่มีข้อจำกัดสำหรับปัจจัยที่พิจารณานั้นเลยหรือมีจำนวนข้อจำกัดน้อยที่สุด ก็จะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ส่วนทางเลือกที่มีข้อจำกัดมากขึ้นจะถูกจัดให้เป็นทางเลือกในลำดับถัดๆ ไปตามลำดับ

ข้อจำกัดที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาจัดลำดับทางเลือกของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างตามปัจจัยที่ 2.6 ดังแสดงไว้ในตารางที่ ง.1-1 ก่อนหน้าข้างต้น เช่น

1. ข้อจำกัดด้านพื้นที่
2. ข้อจำกัดด้านความสูง
3. ข้อจำกัดด้านสาธารณูปโภค
4. ข้อจำกัดเรื่องเทคนิคการก่อสร้าง

ทางเลือกวิธีการก่อสร้างใดทำให้มีจำนวนข้อจำกัดมากที่สุดจะจัดเป็นลำดับที่แย่สุดได้คะแนนต่ำที่สุด ทางเลือกใดมีจำนวนข้อจำกัดน้อยที่สุดก็จะได้คะแนนสูงสุด

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **A** มีเฉพาะข้อจำกัดด้านพื้นที่เท่านั้น (ข้อจำกัดข้อ 1 ข้อเดียว)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **B** มีข้อจำกัดด้านพื้นที่, ความสูง และ ด้านสาธารณูปโภค รวมข้อจำกัด 3 ข้อ

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **C** มีข้อจำกัดด้านพื้นที่, ความสูง, สาธารณูปโภค และเทคนิคการก่อสร้าง รวมข้อจำกัด 4 ข้อ

จะสามารถจัดลำดับของทางเลือกสำหรับการพิจารณาปัจจัยนี้ได้ว่า

ทางเลือก A มีข้อจำกัดน้อยสุด ดีที่สุด ได้คะแนนสูงสุด = 10

ทางเลือก B มีข้อจำกัด 3 ข้อ อยู่ลำดับสอง ได้คะแนนรองลงมา = 5

ทางเลือก C มีข้อจำกัดมากที่สุด อยู่ลำดับต่ำสุด ได้คะแนนน้อยสุด = 0

ปัจจัยข้อที่ 2.7 ความสวยงามประณีตของสิ่งก่อสร้าง

เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้ จึงต้องใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นก่อนหน้า โดยการจัดลำดับทางเลือกใช้วิธีการพิจารณาใช้เกณฑ์ในการจัดลำดับทางเลือกของวิธีการก่อสร้างโดยพิจารณาจากจำนวนข้อบกพร่องมากน้อยที่มีของผลงานก่อสร้าง ดังแสดงไว้ในตารางที่ ง.1-1 ก่อนหน้าข้างต้น เช่น

1. ความคมของขอบชิ้นส่วน (ข้อดี)
2. ความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงาน (ข้อดี)
3. การแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิว (ข้อเสีย)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้างใดทำให้มีจำนวนข้อบกพร่องของผลงานมากที่สุดจะจัดเป็นลำดับที่แย่สุดได้คะแนนต่ำที่สุด ทางเลือกใดมีจำนวนข้อบกพร่องน้อยที่สุดก็จะได้คะแนนสูงสุด

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **A** มีความคมของขอบชิ้นส่วนดี แต่ก็มีการแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิวด้วย ถือได้ว่ามีทั้งข้อดีและข้อเสีย ได้ข้อดี 1 แต้ม และหักลบข้อเสีย 1 แต้ม เท่ากับ 0

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **B** มีความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงานดี แต่ก็มีการแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิวด้วย ถือได้ว่ามีทั้งข้อดีและข้อเสีย ได้ข้อดี 1 แต้ม และหักลบข้อเสีย 1 แต้ม เท่ากับ 0

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **C** มีมีความคมของขอบชิ้นส่วนดี มีความเรียบเนียนของพื้นผิวชิ้นงานดี และไม่ต้องมีการแก้ไขแต่งหน้าพื้นผิวเลย ถือได้ว่ามีทั้งข้อดี 3 ข้อ ได้แต้มรวม 3 แต้ม

จะสามารถจัดลำดับของทางเลือกสำหรับการพิจารณาปัจจัยนี้ได้ว่า

ทางเลือก C มีข้อดีมากสุด ได้แต้มสูงสุด ได้ลำดับสูงสุด ได้คะแนน = 10

ทางเลือก A และ **B** ได้แต้มเท่ากัน จะได้ลำดับเท่ากัน ได้คะแนน = (5+0)/2 = 2.5

ปัจจัยข้อที่ 2.8 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดิน ข้อจำกัดของระดับน้ำใต้ดิน และ ข้อจำกัดด้านระดับความลึกในการขุด

เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้ จึงต้องใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นก่อนหน้า โดยการจัดลำดับทางเลือกใช้วิธีการพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ ของทางเลือกนั้นๆ โดยทางเลือกใดที่ไม่มีข้อจำกัดสำหรับปัจจัยที่พิจารณานั้นเลยหรือมีจำนวนข้อจำกัดน้อยที่สุด ก็จะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ส่วนทางเลือกที่มีข้อจำกัดมากขึ้นจะถูกจัดให้เป็นทางเลือกในลำดับถัดๆ ไปตามลำดับ

ข้อจำกัดที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาจัดลำดับทางเลือกของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างตามปัจจัยที่ 2.8 ดังแสดงไว้ในตารางที่ ง.1-1 ก่อนหน้าข้างต้น เช่น

1. มีข้อจำกัดด้านความลึกดินในการทำงาน
2. มีข้อจำกัดด้านการเคลื่อนตัวของโครงสร้าง
3. มีข้อจำกัดเรื่องน้ำใต้ดิน
4. มีข้อจำกัดเรื่องชนิดของดิน

ทางเลือกวิธีการก่อสร้างใดทำให้มีจำนวนข้อจำกัดมากที่สุดจะจัดเป็นลำดับที่แย่สุดได้คะแนนต่ำที่สุด ทางเลือกใดมีจำนวนข้อจำกัดน้อยที่สุดก็จะได้คะแนนสูงสุด

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **A** มีข้อจำกัดด้านความลึกดิน และ การเคลื่อนตัวโครงสร้าง รวม 2 ข้อ
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **B** มีข้อจำกัดด้านความลึกดิน และ น้ำใต้ดิน รวม 2 ข้อ
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **C** มีข้อจำกัดการเคลื่อนตัวโครงสร้าง และ น้ำใต้ดิน รวม 2 ข้อ

จะสามารถจัดลำดับของทางเลือกสำหรับการพิจารณาปัจจัยนี้ได้ว่า ทั้ง 3 ทางเลือก มีจำนวนข้อจำกัดเท่ากัน จัดลำดับได้เท่ากันทุกทางเลือก

ทางเลือก A, B และ C ได้คะแนนเท่ากันหมด = (10+5+0)/3 = 5

ปัจจัยข้อที่ 3.1 ความปลอดภัยของชุมชนโดยรอบและผู้สัญจรผ่านพื้นที่

เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้ จึงต้องใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นก่อนหน้า โดยการจัดลำดับทางเลือกใช้วิธีการพิจารณาจำนวนความเสี่ยงต่อความปลอดภัยที่ต้องคำนึงถึงของทางเลือกนั้นๆ โดยทางเลือกใดที่ไม่มีความเสี่ยงสำหรับปัจจัยที่พิจารณานั้นเลยหรือมีความเสี่ยงน้อยที่สุด ก็จะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ส่วนทางเลือกที่มีความเสี่ยงมากขึ้นจะถูกจัดให้เป็นทางเลือกในลำดับถัดๆ ไปตามลำดับ

ความเสี่ยงที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาจัดลำดับทางเลือกของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างตามปัจจัยที่ 3.1 ดังแสดงไว้ในตารางที่ ง.1-1 ก่อนหน้าข้างต้น เช่น

1. ความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง
2. ความเสี่ยงจากการอาจถูกไฟดูด
3. ความเสี่ยงจากการอาจเกิดไฟไหม้
4. ความเสี่ยงจากการอาจเกิดก๊าซพิษ
5. ความเสี่ยงจากการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่

ทางเลือกวิธีการก่อสร้างใดทำให้มีจำนวนความเสี่ยงมากที่สุดจะจัดเป็นลำดับที่แย่สุดได้คะแนนต่ำที่สุด ทางเลือกใดมีจำนวนความเสี่ยงน้อยที่สุดก็จะได้คะแนนสูงสุด

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **A** มีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูง เสี่ยงต่อการเกิดไฟดูด และ เสี่ยงจากเครื่องจักรขนาดใหญ่ รวมมีความเสี่ยง = 3 ข้อ

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **B** มีความเสี่ยงจากการมีของตกจากที่สูงและเสี่ยงต่อไฟไหม้ รวม 2 ข้อ

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **C** มีความเสี่ยงจากการเกิดไฟไหม้ เพียงข้อเดียว, เสี่ยง = 1 ข้อ

จะสามารถจัดลำดับของทางเลือกสำหรับการพิจารณาปัจจัยนี้ได้ว่า

ทางเลือก A มีความเสี่ยงสูงที่สุด อยู่ลำดับต่ำสุด ได้คะแนนต่ำสุด = 0

ทางเลือก B มีความเสี่ยงรองลงมา ได้ลำดับที่ 2 จะได้คะแนน = 5

ทางเลือก C มีความเสี่ยงน้อยที่สุด ดีที่สุด ได้คะแนนสูงสุด = 10

ปัจจัยข้อที่ 3.2 การรบกวนชุมชนข้างเคียง

เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้ จึงต้องใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นก่อนหน้า โดยการจัดลำดับทางเลือกใช้วิธีการพิจารณาจำนวนหรือปริมาณการรบกวนชุมชนที่ต้องคำนึงถึงของทางเลือกนั้นๆ โดยทางเลือกใดที่ไม่มีการรบกวนชุมชนสำหรับปัจจัยที่พิจารณานั้นเลยหรือมีการรบกวนชุมชนน้อยที่สุด ก็จะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ส่วนทางเลือกที่มีการรบกวนชุมชนมากขึ้นจะถูกจัดให้เป็นทางเลือกในลำดับถัดๆ ไปตามลำดับ

การรบกวนชุมชนที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาจัดลำดับทางเลือกของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างตามปัจจัยที่ 3.2 ดังแสดงไว้ในตารางที่ ง.1-1 ก่อนหน้าข้างต้น เช่น

1. การเกิดเสียงดัง
2. การเกิดฝุ่นละออง
3. การมีกลิ่นไม่พึงประสงค์
4. เกิดการสั่นสะเทือน
5. การชำรุดของถนน

ทางเลือกวิธีการก่อสร้างใดที่ก่อให้เกิดการรบกวนชุมชนมากที่สุด (เสียงดังมาก, เสียงดังน้อย, เกิดฝุ่นมาก, เกิดฝุ่นน้อย, ฯลฯ) จะจัดเป็นลำดับที่แย่สุดได้คะแนนต่ำที่สุด ทางเลือกใดมีการรบกวนชุมชุนน้อยที่สุดก็จะได้คะแนนสูงสุด

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **A** มีการรบกวนชุมชนจากเรื่องเสียง และ ฝุ่นละออง รวม = 2 ข้อ

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **B** มีการรบกวนชุมชนจากเรื่องเสียง กลิ่น และ ถนนชำรุด รวม = 3 ข้อ

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **C** มีการรบกวนชุมชนจากเรื่องฝุ่นละออง กลิ่น การสั่นสะเทือน และ ถนนชำรุด รวม = 4 ข้อ

จะสามารถจัดลำดับของทางเลือกสำหรับการพิจารณาปัจจัยนี้ได้ว่า

ทางเลือก A มีการรบกวนชุมชนน้อยที่สุด ได้ลำดับดีสุด ได้คะแนนสูงสุด = 10

ทางเลือก B มีการรบกวนชุมชนเพิ่มขึ้น ได้ลำดับรองลงมา จะได้คะแนน = 5

ทางเลือก C มีการรบกวนชุมชนมากที่สุด ได้ลำดับต่ำสุด ได้คะแนนน้อยสุด = 0

ปัจจัยที่ 3.3 ผลกระทบต่อสภาพจราจร

เนื่องด้วยเป็นปัจจัยที่สามารถพิจารณาให้เกี่ยวข้องกับเวลาได้ เช่น การปิดจราจร ซึ่งสามารถวัดค่าปริมาณได้ คล้ายกับปัจจัยที่ 2.2, จึงใช้ ค่าระยะเวลา ของปัจจัยนั้นๆ เป็นเกณฑ์ในการให้คะแนน ซึ่งทางเลือกที่ใช้ระยะเวลาสั้น หมายถึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพกว่าทางเลือกที่ใช้ระยะเวลานานกว่า โดยทางเลือกที่ระยะเวลาสั้นกว่าจะได้คะแนนของปัจจัยนั้นสูงกว่า ทางที่ปรึกษาได้ตั้งเกณฑ์สำหรับคะแนนค่าสูงสุด เกณฑ์สำหรับคะแนนค่าต่ำสุด และจะทำให้สามารถคำนวณค่าคะแนนต่างๆ ตามค่าระยะเวลา ที่ต่างกันได้ดังนี้

- ทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่ ไม่ต้อง ปิดจราจรเลย (T = 0) ได้คะแนนเต็ม = 10
- ทางที่ปรึกษาพิจารณาว่าผลกระทบต่อสภาพจราจร สามารถชี้วัดได้จากปริมาณการปิดจราจรบนท้องถนน โดยจะใช้การวัดปริมาณในรูปแบบของระยะเวลาการปิดจราจร ซึ่งคิดแยกกันในแต่ละช่องจราจรแล้วจึงนำมารวมกันทั้งหมด เป็นระยะเวลาในการปิดจราจรโดยรวมทั้งหมด (T) ว่ามีค่าเป็นสัดส่วนเท่าใดของระยะเวลาการก่อสร้างโครงการโดยรวม (T_{Proj}) ซึ่งทำให้สามารถใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกของปัจจัย 2.2 ก่อนหน้ามาประยุกต์ใช้ได้ดังนี้
- ทางเลือกวิธีการก่อสร้างที่ ต้อง ปิดจราจรตลอดระยะเวลาโครงการ (T = **1.0** T_{Proj}) ได้คะแนน = 0
  ซึ่งหมายถึงการเลือกใช้ค่า k = **1.0**
- คะแนนของทางเลือกที่มีระยะเวลาการปิดจราจรโดยรวมมากน้อยต่างๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$SCORE\left(T_x\right) = 10 - \left(\frac{T_x}{k \cdot T_{\mathrm{Pr}oj}}\right) \cdot 10 \qquad = 10 - \left(\frac{T_x}{1.0 \cdot T_{\mathrm{Pr}oj}}\right) \cdot 10$$

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ระยะเวลาก่อสร้างโครงการโดยรวม (T_{Proj}) กำหนดให้เท่ากับ = 60 L-m (เลน-เดือน)

ค่า k = **1.0**, ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือคะแนน = 0 เมื่อมีการปิดจราจรตลอดระยะเวลาก่อสร้างของโครงการโดยรวม T = 1.0 T_{Proj}

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก** A ปิดจราจรนาน, T_A = 12 L-m (เลน-เดือน)

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก** B ปิดจราจรนาน, T_B = 6 L-m (เลน-เดือน)

เทคโนโลยีวิธีการก่อสร้าง **ทางเลือก** C ปิดจราจรนาน, T_C = 3 L-m (เลน-เดือน)

ทางเลือก A, T_C = 12 L-m, จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{12}{1.0 \times 60}\right) \cdot 10$ = 8 คะแนน

ทางเลือก B, T_B = 6 L-m, จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{6}{1.0 \times 60}\right) \cdot 10$ = 9 คะแนน

ทางเลือก C, T_C = 3 L-m, จะได้คะแนน = $10 - \left(\frac{3}{1.0 \times 60}\right) \cdot 10$ = 9.5 คะแนน

ปัจจัยข้อที่ 3.4 ความยั่งยืนในการก่อสร้าง

เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้ จึงต้องใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นก่อนหน้า โดยการจัดลำดับทางเลือกใช้วิธีการพิจารณาจำนวนหรือปริมาณ ขยะ ของเสีย ที่เกิดขึ้นของทางเลือกนั้นๆ ซึ่งมีผลโดยตรงเกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน การใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่า จึงนำมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาสำหรับด้านความยั่งยืนในการก่อสร้าง โดยทางเลือกใดที่มีจำนวนหรือปริมาณ ขยะ ของเสีย ที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด ก็จะเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด ส่วนทางเลือกที่มีจำนวนหรือปริมาณ ขยะ ของเสีย มากขึ้นจะถูกจัดให้เป็นทางเลือกในลำดับถัดๆ ไปตามลำดับ

จำนวนหรือปริมาณ ขยะ ของเสีย ที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาจัดลำดับทางเลือกของเทคโนโลยีวิธีการก่อสร้างตามปัจจัยที่ 3.4 ดังแสดงไว้ในตารางที่ ง.1-1 ก่อนหน้าข้างต้น เช่น

1. การเกิดขยะ (ปริมาณน้อย (แต้ม= -1), ปริมาณมาก (แต้ม= -2), เกิดขยะที่เป็นพิษ (แต้ม= -3))
2. การเกิดน้ำเสีย (ปริมาณน้อย (แต้ม= -1), ปริมาณมาก (แต้ม= -2), น้ำเสียที่เป็นพิษ (แต้ม= -3))
3. มีการใช้ซ้ำ (Recycle) ได้ (แต้ม = +1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้างใดที่ก่อให้เกิดปริมาณขยะมากที่สุด จะจัดเป็นลำดับที่แย่สุดได้คะแนนต่ำที่สุด ทางเลือกใดมีการก่อให้เกิดปริมาณขยะน้อยที่สุดก็จะได้คะแนนสูงสุด

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **A** มีปริมาณขยะน้อย (-1) แต่น้ำเสียมาก (-2) และไม่มีการใช้ซ้ำ (0) รวม = -3
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **B** มีปริมาณขยะน้อย (-1) น้ำเสียก็น้อย (-1) และไม่มีการใช้ซ้ำ (0) รวม = -2
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **C** มีขยะเป็นพิษ (-3) น้ำเสียเป็นพิษ (-3) มีวัสดุใช้ซ้ำได้ (+1) รวม = -5

จะสามารถจัดลำดับของทางเลือกสำหรับการพิจารณาปัจจัยนี้ได้ว่า

ทางเลือก C มีปริมาณขยะ น้ำเสีย มากที่สุด แต้มลบมากสุด ได้คะแนนทางเลือกต่ำสุด = 0

ทางเลือก A มีปริมาณขยะ น้ำเสีย รองลงมา แต้มลบลำดับสอง ได้คะแนนทางเลือก = 5

ทางเลือก B มีปริมาณขยะ น้ำเสีย น้อยที่สุด แต้มลบน้อยสุด ได้คะแนนทางเลือกสูงสุด = 10

ปัจจัยข้อที่ 3.5 การส่งเสริมการจ้างงานและสร้างรายได้

เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้ จึงต้องใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นก่อนหน้า โดยใช้เกณฑ์ในการจัดลำดับทางเลือกของวิธีการก่อสร้างที่พิจารณาจาก

- จำนวนแรงงานที่ใช้ของวิธีการก่อสร้างนั้นๆ

หากทางเลือกวิธีการก่อสร้างใดใช้จำนวนแรงงานมากเมื่อเทียบกับทางเลือกอื่น ก็จะถูกจัดอยู่ในลำดับทางเลือกที่ดีกว่า ได้คะแนนทางเลือกสูงกว่าวิธีก่อสร้างที่ใช้จำนวนแรงงานน้อยกว่า ลดหลั่นกันไป

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **A** ใช้จำนวนแรงงานก่อสร้าง	50 คน
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **B** ใช้จำนวนแรงงานก่อสร้าง	40 คน
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **C** ใช้จำนวนแรงงานก่อสร้าง	30 คน

จะสามารถจัดลำดับของทางเลือกสำหรับการพิจารณาปัจจัยนี้ได้ว่า

ทางเลือก A ใช้จำนวนแรงงานก่อสร้างมากที่สุด มีการจ้างงานมากสุด ได้อันดับ 1 ได้คะแนน = 10

ทางเลือก B ใช้จำนวนแรงงานก่อสร้างมากรองลงมา เป็นทางเลือกอันดับ 2 ได้คะแนน = 5

ทางเลือก C ใช้จำนวนแรงงานก่อสร้างน้อยที่สุด จ้างงานน้อยสุด ได้อันดับต่ำสุด ได้คะแนน = 0

ปัจจัยข้อที่ 3.6 การตอบสนองนโยบายภาครัฐ

เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้ จึงต้องใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นก่อนหน้า โดยใช้เกณฑ์ในการจัดลำดับทางเลือกของวิธีการก่อสร้างที่พิจารณาจาก

- จำนวนการใช้ของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตภายในประเทศ

  หากทางเลือกวิธีการก่อสร้างใดมีการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากภายในประเทศมากกว่าเมื่อเทียบกับทางเลือกอื่น ก็จะถูกจัดอยู่ในลำดับทางเลือกที่ดีกว่า ได้คะแนนทางเลือกสูงกว่าวิธีก่อสร้างที่มีการใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากภายในประเทศจำนวนน้อยกว่า ลดหลั่นกันไป

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **A** ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศ จำนวน 10 อย่าง
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **B** ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศ จำนวน 15 อย่าง
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **C** ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศ จำนวน 5 อย่าง

จะสามารถจัดลำดับของทางเลือกสำหรับการพิจารณาปัจจัยนี้ได้ว่า

ทางเลือก B ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศจำนวนมากที่สุด ได้อันดับสูงสุด ได้คะแนน = 10

ทางเลือก A ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศจำนวนมากรองลงมา ได้อันดับ 2 ได้คะแนน = 5

ทางเลือก C ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศจำนวนน้อยที่สุด ได้อันดับต่ำสุด ได้คะแนน = 0

ปัจจัยข้อที่ 3.7 ผลกระทบด้านการเวนคืนที่ดิน

เป็นปัจจัยเชิงคุณภาพที่ไม่สามารถวัดค่าปริมาณได้ จึงต้องใช้วิธีการให้คะแนนทางเลือกด้วยวิธีการจัดลำดับ (Ranking) ดังที่อธิบายไว้ข้างต้นก่อนหน้า โดยใช้เกณฑ์ในการจัดลำดับทางเลือกของวิธีการก่อสร้างที่พิจารณาจาก

- จำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนที่ดิน

หากทางเลือกวิธีการก่อสร้างใดที่มีจำนวนเจ้าของที่ดิน (จำนวนข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับทางเลือกอื่น ก็จะถูกจัดอยู่ในลำดับทางเลือกที่ดีกว่า ได้คะแนนทางเลือกสูงกว่าวิธีก่อสร้างที่มีจำนวนเจ้าของที่ดิน (จำนวนข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนมากกว่า ตามลำดับ

ตัวอย่างในการคำนวณคะแนนค่าปัจจัย (อ้างอิงค่าในตารางที่ ง.1-1)

ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **A** มีจำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนรวม = 3 ราย
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **B** มีจำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนรวม = 5 ราย
ทางเลือกวิธีการก่อสร้าง **C** มีจำนวนเจ้าของที่ดิน (ข้อร้องเรียน) ที่ถูกเวนคืนรวม = 8 ราย

จะสามารถจัดลำดับของทางเลือกสำหรับการพิจารณาปัจจัยนี้ได้ว่า

ทางเลือก A มีจำนวนข้อร้องเรียนน้อยที่สุด ดีที่สุด ได้อันดับสูงสุด ได้คะแนน = 10

ทางเลือก B มีจำนวนข้อร้องเรียนปานกลาง ได้อันดับรองลงมา ได้คะแนน = 5

ทางเลือก C มีจำนวนข้อร้องเรียนมากที่สุด ได้อันดับต่ำสุด ได้คะแนน = 0

ภาคผนวก จ.

ข้อมูลประกอบในการคิดราคาค่าก่อสร้างต่างๆ

ข้อมูลราคาค่าก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม

MASS RAPID TRANSIT AUTHORITY OF THAILAND
ORANGE LINE PROJECT
CONTRACT E4 : ELEVATED CIVIL WORK (KHLONG BAN MA - SUWINTHAWONG SECTION)

BILLS OF QUANTITY SUMMARY

Unit : Baht

Bill No.	Description	DIRECT COST	FACTOR F	ESTIMATE COST AMOUNT
1	PRELIMINARIES AND GENERAL REQUIREMENTS	754,336,734	1.0700	807,140,305.38
2	ELEVATED STRUCTURES	2,792,679,079	1.1436	3,193,707,794.00
3	OR23 SAMMAKORN STATION	625,611,563	1.1713	732,778,822.03
4	OR24 NOM KLAO STATION	721,105,863	1.1713	844,631,295.95
5	OR25 RAT PATTANA STATION	706,636,852	1.1713	827,683,743.23
6	OR26 MIN PATTANA STATION	712,667,241	1.1713	834,747,138.73
7	OR27 KEHA RAMKHAMHAENG STATION	716,719,192	1.1713	839,493,185.98
8	OR28 MIN BURI STATION	607,865,520	1.1713	711,992,886.52
9	OR29 SUWINTHAWONG STATION	609,532,386	1.1713	713,945,286.87
10	ROAD WORKS AND DRAINAGE WORKS	70,550,441	1.1436	80,681,484.47
	SUB TOTAL CONTRACT E04 (VAT inclusive in Factor F)	8,317,704,870	-	9,586,801,943.14
	SUB TOTAL CONTRACT E04 (Before VAT)			8,959,627,984.25
	PROVISIONAL SUM (Before VAT)			409,667,948.87
	PROVISIONAL SUM	409,667,949	1.1701	438,344,705.29
	TOTAL CONTRACT E04 (Before VAT)			9,369,295,933.12
	VAT 7%			655,850,715.32
GRAND TOTAL CONTRACT E4				**10,025,146,648.44**

2.

Page 1 CONTRACT_E4_APR.59 (SP 6-6-16)_VIT_REV.3

ข้อมูลราคาค่าก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ต่อ)

ORANGE LINE PROJECT
CONTRACT E4 : ELEVATED CIVIL WORK (KHLONG BAN MA - SUWINTHAWONG SECTION)

BILL OF QUANTITIES
Unit : Baht

ITEM NO.	DESCRIPTION	UNIT	QUANTITY	DIRECT COST				FACTOR F	ESTIMATED COST			
				UNIT COST			AMOUMT		UNIT COST			AMOUMT
				MATERIAL	LABOUR	TOTAL			MATERIAL	LABOUR	TOTAL	
ENERAL REQUIREMENTS												
1.1	Employer/Employer Representative's Office and Testing Laboratory and Instrumentation/Monitoring system											
1.1.1	Employer's and Employer,s representative's office accommodation	L.S.	1	30,545,000	-	30,545,000	30,545,000	1.0700	32,683,150	-	32,683,150	32,683,150
1.1.2	Office furniture and Equipment	L.S.	1	4,040,380	-	4,040,380	4,040,380	1.0700	4,323,207	-	4,323,207	4,323,207
1.1.3	Testing Laboratory	L.S.	1	2,250,000	-	2,250,000	2,250,000	1.0700	2,407,500	-	2,407,500	2,407,500
1.1.4	Instrumentation and Monitoring System	L.S.		Not use	-		-	1.0700		-		-
1.1.5	Employer's Requirement Office staff	L.S.	1	6,385,500	-	6,385,500	6,385,500	1.0700	6,832,485	-	6,832,485	6,832,485
1.2	Material Testing Equipment											
1.2.1	Testing Equipment	L.S.	1	2,500,000	-	2,500,000	2,500,000	1.0700	2,675,000	-	2,675,000	2,675,000
1.2.2	Laboratory Assistants	L.S.	1	4,725,000	-	4,725,000	4,725,000	1.0700	5,055,750	-	5,055,750	5,055,750
				-	-	0	-	1.0700	0	-	0	-
1.3	Survey Instrument											
1.3.1	Survey Instrument	L.S.	1	Not use	-		-	1.0700		-	0	-
1.3.2	Survey crew	L.S.	1	Not use	-		-	1.0700		-	0	-
1.3.3	Instrumentation and Monitoring System	L.S.	1	Not use	-		-	1.0700		-	0	-
1.4	Motor Vehicles											
1.4.1	Purchas/lease costs	L.S.	1	14,910,000	-	14,910,000	14,910,000	1.0700	15,953,700	-	15,953,700	15,953,700
1.4.2	Insurance	L.S.	1	-	-	0	-	1.0700	0	-	0	-
1.4.3	Fuel,maintenance and cleaning,other running cost	L.S.	1	5,412,000	-	5,412,000	5,412,000	1.0700	5,790,840	-	5,790,840	5,790,840
1.4.4	Driver wage costs	L.S.	1	13,200,000	-	13,200,000	13,200,000	1.0700	14,124,000	-	14,124,000	14,124,000
				-	-	0	-	1.0700	0	-	0	-
												-
1.5	Traffic Management											
1.5.1	Detour	L.S.	1	6,000,000	-	6,000,000	6,000,000	1.0700	6,420,000	-	6,420,000	6,420,000
1.5.2	Acoess Road	L.S.	1	18,000,000	-	18,000,000	18,000,000	1.0700	19,260,000	-	19,260,000	19,260,000
1.5.3	Provide and Maintenance Temporary Traffic Signal and Barricade	L.S.	1	24,000,000	-	24,000,000	24,000,000	1.0700	25,680,000	-	25,680,000	25,680,000
1.5.4	Traffic Crew	L.S.	1	15,120,000	-	15,120,000	15,120,000	1.0700	16,178,400	-	16,178,400	16,178,400
				-	-	0	-	1.0700	0	-	0	-
1.6	Environmental Protection and Mitigation											
1.6.1	Environmental Mitigation	L.S.	1	15,000,000	-	15,000,000	15,000,000	1.0700	16,050,000	-	16,050,000	16,050,000
1.6.2	Environmental Monitoring	L.S.	1	56,100,000	-	56,100,000	56,100,000	1.0700	60,027,000	-	60,027,000	60,027,000
				-	-	0	-	1.0700	0	-	0	-
1.7	Utility Relocation											
1.7.1	OR23 SAMMAKORN STATION	L.S.	1	85,298,867	-	85,298,867	85,298,867	1.0700	91,269,788	-	91,269,788	91,269,788
1.7.2	OR24 NOM KLAO STATION	L.S.	1	98,018,451	-	98,018,451	98,018,451	1.0700	104,879,743	-	104,879,743	104,879,743
1.7.3	OR25 RAT PATTANA STATION	L.S.	1	80,249,358	-	80,249,358	80,249,358	1.0700	85,866,813	-	85,866,813	85,866,813
1.7.4	OR26 MIN PATTANA STATION	L.S.	1	74,661,735	-	74,661,735	74,661,735	1.0700	79,888,056	-	79,888,056	79,888,056
1.7.5	OR27 KEHA RAMKHAMHAENG STATION	L.S.	1	70,479,686	-	70,479,686	70,479,686	1.0700	75,413,264	-	75,413,264	75,413,264
1.7.6	OR28 MIN BURI STATION	L.S.	1	27,571,869	-	27,571,869	27,571,869	1.0700	29,501,900	-	29,501,900	29,501,900
1.7.7	OR29 SUWINTHAWONG STATION	L.S.	1	40,136,738	-	40,136,738	40,136,738	1.0700	42,946,310	-	42,946,310	42,946,310
				-								
1.8	Integrated Testing With M&E System											
1.8.1	System Integrated Test	L.S.	1	26,250,000	-	26,250,000	26,250,000	1.0700	28,087,500	-	28,087,500	28,087,500
				-	-	0	-	1.0700	0	-	0	-
1.9	Demolition Existing Building & Structure											
				-	-	0	-	1.0700	0	-	0	-
				-	-	0	-	1.0700	0	-	0	-
1.9.1	Removal and reconstruction Pedestal bridge	L.S.	1	25,200,000	-	25,200,000	25,200,000	1.0700	26,964,000	-	26,964,000	26,964,000
1.9.2	Compensation for existing Trees and shrubs owned by the BMA or Others	L.S.	1	8,282,150	-	8,282,150	8,282,150	1.0700	8,861,901	-	8,861,901	8,861,901
					-	0	-	1.0700	0	-	0	-
							-					
	TOTAL BILL NO. 1 - Carried to CONTRACT E4 Summary						**754,336,734**	**1.0700**				**807,140,305**

CONTRACT E4 1/103

ข้อมูลราคาค่าก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ต่อ)

ITEM NO.	DESCRIPTION	UNIT	QUANTITY	DIRECT COST				FACTOR F	ESTIMATED COST			
				UNIT COST			AMOUNT		UNIT COST			AMOUNT
				MATERIAL	LABOUR	TOTAL			MATERIAL	LABOUR	TOTAL	
ELEVATED STRUCTURES												
Part1	CIVIL AND STRUCTURAL WORKS											
2	EARTHWORKS											
2.2	CLEARING AND GRUBBING											
2.2.1	Clearing and Grubbing	sq.m	96,580	52		52	5,022,160	1.1436	59	-	59	5,743,342
2.5	EXCAVATION AND BACKFILL FOR STRUCTURES		-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
2.5.1	Excavation and Backfill for Structures including Sheet Pile	cu.m	13,563	2,332	-	2,332	31,628,916	1.1436	2,667	-	2,667	36,170,828
2.5.2	Excavation and Backfill for Structures	cu.m	-	128	-	128	-	1.1436	146	-	146	-
2.7	REMOVAL OF EXISTING STRUCTURES		-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
2.7.1	Demolition of Existing Concrete Curb and Gutter	l.m	13,508	83	-	83	1,121,164	1.1436	95	-	95	1,282,163
2.7.2	Demolition of Existing Structures	sq.m	22,462	233	-	233	5,233,646	1.1436	266	-	266	5,985,198
			-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
3	PILING AND DIAPHRAGM WALLING											
3.3	BORED CAST IN–PLACE PILES											
3.3.1	Bored Pile 2.00 m dia.	l.m	6,864	28,490	-	28,490	195,555,360	1.1436	32,581	-	32,581	223,637,110
3.3.2	Bored Pile 1.50 m dia.	l.m	9,148	15,770	-	15,770	144,257,652	1.1436	18,035	-	18,035	164,973,051
3.3.5	Barrette Pile 1.0 x 3.0 m	l.m	8,932	23,080	-	23,080	206,150,560	1.1436	26,394	-	26,394	235,753,780
3.3.6	Barrette Pile 1.2 x 3.0 m	l.m	3,422	27,080	-	27,080	92,670,468	1.1436	30,969	-	30,969	105,977,947
			-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
3.4	PILE LOAD TESTING											
3.4.1.1	Pilot Barrette Pile 1.0 x 3.0 m	ea	7	8,082,000	-	8,082,000	56,574,000	1.1436	9,242,575	-	9,242,575	64,698,026
3.4.1.2	Pilot Barrette Pile 1.2 x 3.0 m	ea	2	9,350,000	-	9,350,000	18,700,000	1.1436	10,692,660	-	10,692,660	21,385,320
3.4.2.1	Pilot Bored Piles 2.00 m dia.	ea	7	7,013,000	-	7,013,000	49,091,000	1.1436	8,020,067	-	8,020,067	56,140,468
3.4.2.2	Pilot Bored Piles 1.50 m dia.	ea	4	3,355,000	-	3,355,000	13,420,000	1.1436	3,836,778	-	3,836,778	15,347,112
3.4.4.1	Static Load Test on Pilot Barrette Piles 1.0 x 3.0 m	ea	7	750,000	-	750,000	5,250,000	1.1436	857,700	-	857,700	6,003,900
3.4.4.2	Static Load Test on Pilot Barrette Piles 1.2 x 3.0 m	ea	2	900,000	-	900,000	1,800,000	1.1436	1,029,240	-	1,029,240	2,058,480
3.4.5.1	Static Load Test on Pilot Bored Piles 2.00 m dia.	ea	7	650,000	-	650,000	4,550,000	1.1436	743,340	-	743,340	5,203,380
3.4.5.2	Static Load Test on Pilot Bored Piles 1.50 m dia.	ea	4	400,000	-	400,000	1,600,000	1.1436	457,440	-	457,440	1,829,760
3.4.7	Dynamic Load Test on Working Piles	ea	235	100,000	-	100,000	23,500,000	1.1436	114,360	-	114,360	26,874,600
3.4.8	Geotechnical Site Investigation	ea	235	35,000	-	35,000	8,225,000	1.1436	40,026	-	40,026	9,406,110
			-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
4	STRUCTURES											
4.1	CONCRETE FOR STRUCTURES											
4.1.1.1	Lean Concrete	sq.m	3,168	328	-	328	1,039,104	1.1436	375	-	375	1,188,319
4.1.2.1	Concrete Grade 42 for Portal Frame Cross Beam	cu.m	2,444	11,171	-	11,171	27,304,158	1.1436	12,775	-	12,775	31,225,035
4.1.2.2	Concrete Grade 42 for U Shape Slab	cu.m	204	12,147	-	12,147	2,471,915	1.1436	13,891	-	13,891	2,826,881
4.1.3.1	Concrete Grade 35 for Pile Caps	cu.m	6,941	3,688	-	3,688	25,598,408	1.1436	4,218	-	4,218	29,274,339
4.1.3.2	Concrete Grade 35 for Columns and Piers	cu.m	23,277	4,690	-	4,690	109,169,599	1.1436	5,363	-	5,363	124,846,353
			-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
4.2	REINFORCEMENT											
4.2.1.1	Reinforcement Grade SR24	ton	-	-	-	-	-	1.1436	-	-	-	-
4.2.1.2	Reinforcement Grade SD40	ton	2,494	31,500	-	31,500	78,551,550	1.1436	36,023	-	36,023	89,831,553
4.2.1.3	Reinforcement Grade SD50	ton	3,509	32,800	-	32,800	114,393,400	1.1436	37,281	-	37,281	130,820,292
4.2.2.1	Structure Earthing and Bonding for Elevated Structures	L.S.	1	18,467,383	-	18,467,383	18,467,383	1.1436	21,119,299	-	21,119,299	21,119,299
			-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
4.4	PRESTRESSING REINFORCEMENT											
4.4.2	Prestressing Strands	ton	199	102,000	-	102,000	20,308,200	1.1436	116,647	-	116,647	23,224,458
4.4.3	Prestressing Bars	ton	-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
			-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
4.5	PRECAST SEGMENTAL VIADUCT											
4.5.1	Single Box Girder Span 25 - 29.9 m	l.m	-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
4.5.2	Single Box Girder Span 30 - 34.9 m	l.m	-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
4.5.3	Single Box Girder Span 35 - 40 m	l.m	-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
4.5.4	Double Box Girder Span 25 - 29.9 m	l.m	-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
4.5.5	Double Box Girder Span 30 - 34.9 m	l.m	-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
4.5.6	Double Box Girder Span 35 - 40 m	l.m	-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
4.5.1	BOX GIRDER TYPE DOUBLE TRACK	l.m	6,530	115,000	-	115,000	750,944,250	1.1436	131,514	-	131,514	858,779,844
4.5.2	BOX GIRDER TYPE SINGLE TRACK	l.m	2,029	100,000	-	100,000	202,860,000	1.1436	114,360	-	114,360	231,990,696
4.5.3	BOX GIRDER TYPE VIADUCT IN STATION	l.m	1,071	135,000	-	135,000	144,585,000	1.1436	154,386	-	154,386	165,347,406
4.5.4	BOX GIRDER TYPE POCKET TRACK	l.m	551	329,000	-	329,000	181,361,250	1.1436	376,244	-	376,244	207,404,726
4.5.11	Cast In-Situ Stitch	l.m	1,260	2,800	-	2,800	3,528,000	1.1436	3,202	-	3,202	4,034,621
4.5.12	Concrete Link Slab	l.m	53	21,280	-	21,280	1,117,200	1.1436	24,336	-	24,336	1,277,630
			-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
4.13	JOINTS AND BEARINGS											
4.13.1.1	Expansion Joint for Precast Viaduct	l.m	1,989	7,000	-	7,000	13,923,000	1.1436	8,005	-	8,005	15,922,343
4.13.2.1	Elastomeric Bearing , Capacity SLS 2,000 kN	ea	146	23,000	-	23,000	3,358,000	1.1436	26,303	-	26,303	3,840,209
4.13.2.2	Elastomeric Bearing , Capacity SLS 2,500 kN	ea	220	29,000	-	29,000	6,380,000	1.1436	33,164	-	33,164	7,296,168
4.13.2.3	Elastomeric Bearing , Capacity SLS 3,000 kN	ea	84	47,000	-	47,000	3,948,000	1.1436	53,749	-	53,749	4,514,933
4.13.2.4	Elastomeric Bearing , Capacity SLS 3,500 kN	ea	230	70,000	-	70,000	16,100,000	1.1436	80,052	-	80,052	18,411,960
4.13.2.5	Elastomeric Bearing , Capacity SLS 4,250 kN	ea	16	95,000	-	95,000	1,520,000	1.1436	108,642	-	108,642	1,738,272
4.13.2.6	Elastomeric Bearing , Capacity SLS 1,500 kN	ea	4	23,000	-	23,000	92,000	1.1436	26,303	-	26,303	105,211
4.13.3.1	Mechanical Bearing , Fixed, Capacity SLS 5,000 kN	ea	24	90,000	-	90,000	2,160,000	1.1436	102,924	-	102,924	2,470,176
4.13.3.2	Mechanical Bearing , Fixed, Capacity SLS 7,250 kN	ea	4	140,000	-	140,000	560,000	1.1436	160,104	-	160,104	640,416
			-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
4.16	NOISE BARRIER											
4.16.1	Noise Barrier	sq.m	1,892	10,000	-	10,000	18,920,000	1.1436	11,436	-	11,436	21,636,912
			-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
7	ROAD WORKS AND DRAINAGE WORKS											
7.20	DRAINAGE OF STRUCTURES											
7.20.1	On Deck Drainage	L.S.	1	28,222,000	-	28,222,000	28,222,000	1.1436	32,274,679	-	32,274,679	32,274,679
7.20.2	Substructural Drainage	L.S.	1	2,794,000	-	2,794,000	2,794,000	1.1436	3,195,218	-	3,195,218	3,195,218
			-	-		-	-	1.1436	-	-	-	-
7.22	DRAINAGE AND OTHER MISCELLANEOUS STRUCTURES											
7.22.1	At Grade Drainage	L.S.	1	2,800,000	-	2,800,000	2,800,000	1.1436	3,202,080	-	3,202,080	3,202,080
7.22.2	Seismic Buffer, Full Joint Type	ea.	182	2,810	-	2,810	511,420	1.1436	3,214	-	3,214	584,860
7.22.3	Seismic Buffer, Half Joint Type	ea.	222	2,810	-	2,810	623,820	1.1436	3,214	-	3,214	713,401
7.22.4	Parapet for Elevated Structures	l.m	16,984	5,780	-	5,780	98,167,520	1.1436	6,610	-	6,610	112,264,376
7.22.5.1	Cable Trough for Elevated Structures	l.m	21,353	1,780	-	1,780	38,008,696	1.1436	2,036	-	2,036	43,466,745
7.22.5.2	Small Cable Trough for Elevated Structures	l.m	10,677	800	-	800	8,541,280	1.1436	915	-	915	9,767,808
	TOTAL BILL NO.2 - Carried to CONTRACT E4 Summary						2,792,679,079	1.1436				3,193,707,794

CONTRACT E4 2/103

ข้อมูลราคาค่าก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ต่อ)

ITEM NO.	DESCRIPTION	UNIT	QUANTITY	DIRECT COST				FACTOR F	ESTIMATED COST			
				UNIT COST			AMOUNT		UNIT COST			AMOUNT
				MATERIAL	LABOUR	TOTAL			MATERIAL	LABOUR	TOTAL	
Bill No 4 OR24 NOM KLAO STATION						-	-		-	-	-	-
Part1	**CIVIL AND STRUCTURAL WORKS**					-	-		-	-	-	-
2	**EARTHWORKS**					-	-		-	-	-	-
2.2	Clearing and Grubbing											
2.2.1	Clearing and Grubbing	sq.m	2,651	-	52	52	137,852	1.1713	-	61	61	161,466
2.5	EXCAVATION AND BACKFILL FOR STRUCTURES											
2.5.1	Excavation and Backfill for Structures including Sheet Pile (For station Foundation)	cu.m	1,527	-	2,332	2,332	3,560,964	1.1713	-	2,731	2,731	4,170,957
2.5.1 (b)	Excavation and Backfill for Structures including Sheet Pile (For Entrance 1 Foundation)	cu.m	257	-	2,332	2,332	599,324	1.1713	-	2,731	2,731	701,988
2.5.1 (c)	Excavation and Backfill for Structures including Sheet Pile (For Entrance 2 Foundation)	cu.m	240	-	2,332	2,332	559,680	1.1713	-	2,731	2,731	655,553
2.5.1 (d)	Excavation and Backfill for Structures including Sheet Pile (For Entrance 3 Foundation)	cu.m	226	-	2,332	2,332	527,032	1.1713	-	2,731	2,731	617,313
2.5.1 (e)	Excavation and Backfill for Structures including Sheet Pile (For Entrance 4 Foundation)	cu.m	233	-	2,332	2,332	543,356	1.1713	-	2,731	2,731	636,433
2.5.2	Excavation and Backfill for Structures	cu.m	-	-	128	128	-	1.1713	-	150	150	-
3	**PILING AND DIAPHRAGM WALLING**											
3.3	BORED CAST IN–PLACE PILES							1.1713				
3.3.5.2	Barrette Pile 1.00 x 3.00 m Length 52.50 m.	l.m.	1,474	23,352	10,008	33,360	49,172,640	1.1713	27,352	11,722	39,075	57,595,913
3.3.9	Bored Pile 0.50 m. dia	l.m.	4,299	1,799	771	2,570	11,048,430	1.1713	2,107	903	3,010	12,941,026
3.4	PILE LOAD TESTING											
3.4.1.1	Pilot Barrette Pile 1.00×3.00 m	ea	1	3,760,000	950,000	4,710,000	4,710,000	1.1713	4,404,088	1,112,735	5,516,823	5,516,823
3.4.4.1	Static Load Test on Pilot Barrette Pile	ea	1	100,000	1,000,000	1,100,000	1,100,000	1.1713	117,130	1,171,300	1,288,430	1,288,430
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
3.5	DIAPHRAGM WALLING											
3.5.1.1	Barrette Pile 1.00 x 3.00 m Length 52.50 m.	l.m.	-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
4	**STRUCTURES**											
4.1	CONCRETE FOR STRUCTURES											
4.1.1.1	Lean Concrete	sq.m	555	322	84	406	225,330	1.1713	377	98	476	263,929
4.1.3.1	Concrete Grade 35 for Footing	cu.m	604	2,928	898	3,826	2,310,904	1.1713	3,430	1,052	4,481	2,706,762
4.1.3.2	Concrete Grade 35 for Column	cu.m	1,392	3,214	1,120	4,334	6,032,928	1.1713	3,765	1,312	5,076	7,066,369
4.1.3.3	Concrete Grade 35 for Cross Beam	cu.m	1,484	4,227	2,219	6,446	9,565,864	1.1713	4,951	2,599	7,550	11,204,497
4.1.3.4	Concrete Grade 35 for Platform Crossbeam	cu.m	1,109	3,768	1,107	4,875	5,406,375	1.1713	4,413	1,297	5,710	6,332,487
4.1.5.1	Concrete Grade 25 for Entrance Structures	cu.m	1,928	4,549	940	5,489	10,582,792	1.1713	5,328	1,101	6,429	12,395,624
4.1.5.2	Concrete Grade 25 for Concourse Level Structure	cu.m	825	4,172	1,691	5,863	4,836,975	1.1713	4,887	1,981	6,867	5,665,549
4.1.5.3	Concrete Grade 25 for Platform Level Structure	cu.m	503	5,056	1,675	6,731	3,385,693	1.1713	5,922	1,962	7,884	3,965,662
4.1.6.4	RC. Underground Water Tank	cu.m	101	4,486	1,355	5,841	589,941	1.1713	5,254	1,587	6,842	690,998
4.1.6.2	Concrete Topping Slab for Entrance Structures	cu.m	-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
4.2	REINFORCEMENT											
4.2.1.1	Reinforcement Grade SR24	ton	47	21,700	11,000	32,700	1,536,900	1.1713	25,417	12,884	38,302	1,800,171
4.2.1.2	Reinforcement Grade SD40	ton	1,246	20,400	11,200	31,600	39,373,600	1.1713	23,895	13,119	37,013	46,118,298
4.2.1.3	Reinforcement Grade SD50	ton	137	19,200	13,400	32,600	4,466,200	1.1713	22,489	15,695	38,184	5,231,260
4.2.1.4	Wire mesh dia 5.0 mm.	sqm.	-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
4.3	PRECAST CONCRETE											
4.3.1.1	PC I–Girder type G1	ea	27	181,782	82,905	264,687	7,146,549	1.1713	212,921	97,107	310,028	8,370,753
4.3.1.2	PC I–Girder type G2	ea	19	236,679	86,836	323,515	6,146,785	1.1713	277,223	101,711	378,933	7,199,729
4.3.1.3	PC I–Girder type G3	ea	6	276,102	84,998	361,100	2,166,600	1.1713	323,398	99,558	422,956	2,537,739
4.3.4.1	PC Plank Slab CS1, Plank 70 mm. thk. (LL=750 kg/m2)	sq.m	2,143	2,435	229	2,664	5,708,952	1.1713	2,852	268	3,120	6,686,895
4.3.4.2	PC Plank Slab CS2, Plank 70 mm. thk. (LL=1500 kg/m2)	sq.m	504	2,466	230	2,696	1,358,784	1.1713	2,888	269	3,158	1,591,544
4.3.4.3	PC Plank Slab CS4, Plank 70 mm. thk. (LL=750 kg/m2)	sq.m	-	2,438	231	2,669	-	1.1713	2,856	271	3,126	-
4.3.4.4	PC Plank Slab PS1, Plank 70 mm. thk. (LL=750 kg/m2)	sq.m	2,254	2,435	229	2,664	6,004,656	1.1713	2,852	268	3,120	7,033,254
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
4.4	PRESTRESSING REINFORCEMENT											
4.4.1	Prestressing Tendons (Post-Tensioned)	ton	64	77,000	25,000	102,000	6,528,000	1.1713	90,190	29,283	119,473	7,646,246
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
4.13	JOINTS AND BEARINGS											
4.13.1.1	Expansion Joint 15mm. (width)	l.m.	246	3,277	1,147	4,424	1,088,304	1.1713	3,838	1,343	5,182	1,274,730
4.13.1.2	Expansion Joint 30mm. (width)	l.m.	138	7,646	1,147	8,793	1,213,434	1.1713	8,956	1,343	10,299	1,421,295
4.13.2.1	Elastomeric Bearings for Girder in Station	ea	104	11,247	4,820	16,068	1,671,072	1.1713	13,174	5,646	18,820	1,957,327
4.13.2.2	Elastomeric Bearings for Walkway	ea	16	8,748	2,892	9,641	154,256	1.1713	7,904	3,388	11,293	180,680
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
5	**STEELWORK**											
5	STEEL STRUCTURES											
5.1.2	Roof and Siding Steel Structures	tons	498	34,741	19,100	53,841	26,812,818	1.1713	40,692	22,372	63,064	31,405,854
5.1.2.4	Steel Structures for Entrance	tons	115	29,829	22,417	52,246	6,008,290	1.1713	34,938	26,257	61,196	7,037,510
5.1.4.1	Walk Way Truss	tons	79	29,844	22,461	52,305	4,132,095	1.1713	34,956	26,309	61,265	4,839,923
5.1.5	Lift Steel Frame	ea	2	178,623	134,291	312,914	625,828	1.1713	209,221	157,295	366,516	733,032
5.1.6.1	Steel Stair Type ST-1	ea	4	1,841,361	763,542	2,604,903	10,419,612	1.1713	2,156,786	894,337	3,051,123	12,204,492
5.1.6.2	Steel Stair Type ST-2	ea	2	378,396	180,031	558,426	1,116,852	1.1713	443,215	210,870	654,084	1,308,169
5.1.6.3	Steel Stair Type ST-3	ea	4	119,616	44,205	163,821	655,284	1.1713	140,106	51,777	191,884	767,534
5.1.7	Metal Deck (75 kN/m²)	sq.m	556	2,968	434	3,402	1,891,512	1.1713	3,476	508	3,985	2,215,528
5.1.2.4.1	Steel for EST3	ea	-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
5.2.4	Steel Structures for Entrance 2	tons	-	29,829	14,417	44,245	-	1.1713	34,938	16,886	51,824	-
5.2.4	Steel Structures for Entrance 3	tons	-	29,829	14,417	44,245	-	1.1713	34,938	16,886	51,824	-
5.2.4	Steel Structures for Entrance 4	tons	-	29,829	14,417	44,245	-	1.1713	34,938	16,886	51,824	-
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
7	**ROAD WORKS AND DRAINAGE WORKS**											
7.20	DRAINAGE OF STRUCTURES		-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
7.20.1	On Deck Drainage	L.S.	-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
7.22	DRAINAGE AND OTHER MISCELLANEOUS STRUCTURES											
7.22.1	At Grade Drainage	L.S.	-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
7.22.2	Seismic Buffer on Station Type 1	ea	40	6,360	3,861	10,221	408,840	1.1713	7,449	4,522	11,972	478,874
7.22.3	Seismic Buffer on Station Type 2	ea	8	5,483	3,043	8,526	68,208	1.1713	6,422	3,564	9,987	79,892
7.22.6.1	Corbel Concourse	ea	5	176,372	41,066	217,438	1,087,190	1.1713	206,585	48,101	254,686	1,273,428
7.22.6.2	Corbel Platform	ea	6	175,301	76,477	251,778	1,510,668	1.1713	205,330	89,578	294,908	1,769,445
7.22.6.3	Corbel CB2	ea	-	119,181	53,508	172,689	-	1.1713	139,597	62,674	202,271	-
8	**Fence**		-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
8.2.1.1	Fence Type 1 (B)	m.	-	1,741	871	2,612	-	1.1713	2,039	1,020	3,059	-
8.2.1.2	Fence Type 2 (A)	m.	222	1,730	985	2,715	602,730	1.1713	2,026	1,154	3,180	705,978
8.2.1.4	Fence Type 4 (C)	m.	76	499	338	837	63,612	1.1713	584	396	980	74,509
								1.1713	-	-	-	-
Part2	**ARCHITECTURAL WORKS**											
9	**FLOOR FINISHES**											
9.1	CONCRETE FINISHES											
9.1.1	Cast-In-Place Architectural Concrete	sq.m	-	100	50	150	-	1.1713	117	59	176	-
9.1.2	Concrete Screed	sq.m	-	150	80	230	-	1.1713	176	94	269	-
9.1.3	F07 Concrete Screed Steel Trowel Finish	sq.m	278	100	50	150	41,700	1.1713	117	59	176	48,843
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
9.2	RESINOUS FLOORING											
9.2.1	F04 600 microns THK. Self Leveling Epoxy Resin	sq.m	500	609	70	679	339,500	1.1713	713	82	795	397,656
9.2.2	F12 Floor Hardener	sq.m	82	74	30	104	8,528	1.1713	87	35	122	9,989
9.2.3	F13 Floor Hardener Caborundum	sq.m	-	74	30	104	-	1.1713	87	35	122	-
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
9.3	METAL FLOORING											
9.3.1	200 mm. Width 316 Stainless Steel Trowel Gully w / 316 Stainless Steel Grating Cover for Gully	l.m.	682	11,525	3,125	14,650	9,991,300	1.1713	13,499	3,660	17,160	11,702,810
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
9.4	STONE FLOORING											
9.4.1	F01 300X600x20mm. Granite tiles w/ Water Jet Finishies	sq.m	5,155	2,151	706	2,857	14,727,835	1.1713	2,519	827	3,346	17,250,713
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
9.5	TILE											
9.5.1.1	F03 300x300 mm. Homogeneous Tile	sq.m	316	1,200	250	1,450	458,200	1.1713	1,406	293	1,698	536,690
9.5.1.2	F08 Homogeneous Detectable Warning Tile	sq.m	324	2,557	250	2,807	909,468	1.1713	2,995	293	3,288	1,065,260
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
9.6	RAISED ACCESS FLOORING											
9.6.1	F05 600X600 mm., 300 mm. Height Anti Static Raised Access Floor w / Rubber Tile	sq.m	54	3,200	330	3,530	190,620	1.1713	3,748	387	4,135	223,273
9.6.2	F06 600X600 mm., 400 mm. Height Anti Static Raised Access Floor w / Rubber Tile	sq.m	77	3,300	360	3,660	281,820	1.1713	3,865	422	4,287	330,096
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
9.7	CONCRETE PAVING											
9.7.1	F10 Concrete Paving Block	sq.m	2,209	400	200	600	1,325,400	1.1713	469	234	703	1,552,441
9.7.2	Concrete Curb	m.	681	280	120	400	272,400	1.1713	328	141	469	319,082
9.7.3	Detectable Warning Concrete	sq.m	15	695	120	815	12,225	1.1713	814	141	955	14,319
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-
9.8	ARCHITECTURAL JOINT SYSTEMS											
9.8.1	Architectural Floor Joint - Type MJ1 w/ Fire Barrier System	l.m.	99	4,725	1,125	5,850	579,150	1.1713	5,534	1,318	6,852	678,358
9.8.2	Architectural Floor Joint - Type MJ2	l.m.	391	1,575	375	1,950	762,450	1.1713	1,845	439	2,284	893,058
9.8.3	Architectural Floor Joint - Type MJ3 w/ Fire Barrier System	l.m.	288	4,725	1,125	5,850	1,567,800	1.1713	5,534	1,318	6,852	1,836,364
9.8.4	Architectural Floor Joint - Type MJ4 w/ Fire Barrier System	l.m.	39	6,090	1,450	7,540	294,060	1.1713	7,133	1,698	8,832	344,432
9.8.5	Architectural Floor Joint - Type MJ5	l.m.	328	1,575	375	1,950	639,600	1.1713	1,845	439	2,284	749,163
9.8.6	Architectural Floor Joint - Type MJ6	l.m.	64	840	200	1,040	66,560	1.1713	984	234	1,218	77,962
			-	-	-	-	-	1.1713	-	-	-	-

ข้อมูลราคาค่าก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง

Mass Rapid Transit Authority of Thailand

PURPLE LINE PROJECT

TAO PUN – RAT BURANA (KANCHANAPISEK ROAD)

CONTRACT 5 : ELEVATED CIVIL WORKS

DAO KHANONG - KHRU NAI SECTION,

STABLING YARD AND PARK & RIDE FACILITIES



BILL OF QUANTITY

DAO KHANONG - KHRU NAI SECTION,

STABLING YARD AND PARK & RIDE FACILITIES

BMTP

Bangkok Mass Transit Purple Line Consultants Consortium

Tao Pun - Rat Burana (Kanchanapisek Road)

SEP 2021

ข้อมูลราคาค่าก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง (ต่อ)

BANGKOK MASS TRANSIT PURPLE LINE TAO PUN – RAT BURANA (KANCHANAPISEK ROAD)

CONTRACT 5: ELEVATED CIVIL WORKS (DAO KHANONG - KHRU NAI SECTION)

ITEM NO.	DESCRIPTION	UNIT	QUANTITY	DIRECT COST			AMOUNT	FACTOR F	ESTIMATED COST			AMOUNT
				UNIT COST		TOTAL			UNIT COST		TOTAL	
				MATERIAL	LABOUR				MATERIAL	LABOUR		
	Bill No. 2 ELEVATED STRUCTURES											
PART 1: CIVIL AND STRUCTURAL WORKS												
2	EARTH WORKS											
2.2.1	CLEARING AND GRUBBING	sq.m	112,800.00	-	56.00	56.00	6,316,800.00	1.1451	-	64.13	64.13	7,233,864.00
2.5	Excavation and Backfill for Structures	cu.m						1.1451				-
2.5.1	Excavation and Backfill for Structures including Sheet Pile	cu.m	30,132.00	341.34	1,155.75	1,497.09	45,110,315.88	1.1451	390.87	1,323.44	1,714.31	51,655,588.92
2.7	REMOVAL OF EXISTING STRUCTURES			-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
2.7.1	Demolition of Existing Concrete Curb and Gutter	l.m	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
2.7.2	Demolition of Existing Concrete Pavement	sq.m	14,220.00	-	191.17	191.17	2,718,437.40	1.1451	-	218.91	218.91	3,112,900.20
3	PILING AND DIAPHRAGM WALL			-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.3	Bored Cast In-Place Pile			-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.3.2	Bored Pile 2.00 m. dia	lm	8,082.00	19,291.25	16,430.53	35,721.78	288,703,425.96	1.1451	22,090.41	18,814.60	40,905.01	330,594,290.82
3.3.3	Bored Pile 1.80 m. dia.	lm	6,800.00	15,615.92	13,264.19	28,880.11	196,520,748.00	1.1451	17,881.79	15,211.73	33,093.52	225,035,796.00
3.3.4	Bored Pile 1.00 m. dia.	lm	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.3.6	Compaction Grouting	ton	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.5	Pile Load Testing		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.5.1	Pilot Barette Pile 1.00 x 4.00 m	ea	1.00	5,737,541.02	5,212,189.93	10,949,730.95	10,949,730.95	1.1451	6,570,058.22	5,968,478.69	12,538,536.91	12,538,536.91
3.5.2.2	Pilot Bored Pile 2.00 m. dia	ea	1.00	5,274,971.79	4,341,613.20	9,616,584.99	9,616,584.99	1.1451	6,040,370.20	4,971,681.27	11,011,951.47	11,011,951.47
3.5.2.3	Pilot Bored Pile 1.80 m. dia.	ea	1.00	4,272,727.15	3,516,706.69	7,789,433.84	7,789,433.84	1.1451	4,892,599.86	4,026,880.83	8,919,480.69	8,919,480.69
3.5.2.4	Pilot Bored Pile 1.00 m. dia.	ea	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.5.4.2	Static Load Test on Pilot Barette Pile 1.00 x 4.00 m	ea	1.00	480,000.00	320,000.00	800,000.00	800,000.00	1.1451	549,648.00	366,432.00	916,080.00	916,080.00
3.5.4.3	Static Load Test on Pilot Bored Pile 2.00 m. dia	ea	1.00	360,000.00	240,000.00	600,000.00	600,000.00	1.1451	412,236.00	274,824.00	687,060.00	687,060.00
3.5.4.4	Static Load Test on Pilot Bored Pile 1.80 m. dia	ea	1.00	300,000.00	200,000.00	500,000.00	500,000.00	1.1451	343,530.00	229,020.00	572,550.00	572,550.00
3.5.4.5	Static Load Test on Pilot Bored Pile 1.00 m. dia	ea	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.5.4.6	Dynamic Load Test on Working Pile	ea	27.00	16,000.00	74,000.00	90,000.00	2,430,000.00	1.1451	18,321.60	84,737.40	103,059.00	2,782,593.00
3.5.6	Geotechnical Site Investigation	ea	63.00	-	50,000.00	50,000.00	3,150,000.00	1.1451	-	57,255.00	57,255.00	3,607,065.00
			-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.6	Diaphragm Walling		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.6.2	Barette Pile 1.5 x 3.0 m	lm.	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.6.3	Barette Pile 1.0 x 4.0 m	lm.	2,564.00	20,098.43	20,098.43	40,196.86	103,084,749.04	1.1451	23,014.72	23,014.72	46,029.43	118,019,458.52
			-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4	STRUCTURE							1.1451				-
4.1	Concrete for Structure		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.1.1.1	Lean Concrete	cu.m	478.00	2,049.75	306.00	2,355.75	1,126,048.50	1.1451	2,347.17	350.40	2,697.57	1,289,438.46
4.1.1.2	Compacted Sand	cu.m	478.00	859.74	56.32	916.06	437,876.68	1.1451	984.49	64.50	1,048.99	501,417.22
4.1.1.3	Concrete Grade 35 for Pile Caps	cu.m	5,000.00	2,642.41	1,458.35	4,100.76	21,401,700.00	1.1451	3,254.73	1,646.68	4,901.42	24,507,100.00
4.1.2.3	Concrete Grade 35 for Columns	cu.m	14,410.00	2,969.57	4,693.35	7,662.92	110,422,877.20	1.1451	3,400.46	5,374.36	8,774.82	126,445,196.20
4.1.2.4	Concrete Grade 35 for Portal Frames	cu.m	1,380.00	2,970.04	3,059.40	6,041.66	15,072,937.60	1.1451	3,410.15	5,770.71	9,180.86	17,260,016.80
4.2	Reinforcement		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.2.1.1	Reinforcement Grade SR24	ton	-	25,412.80	14,501.43	39,914.03	-	1.1451	29,099.97	16,605.58	45,705.55	-
4.2.1.2	Reinforcement Grade SD40	ton	3,376.00	24,412.80	13,501.43	37,914.03	127,997,765.28	1.1451	27,954.87	15,460.48	43,415.35	146,570,221.60
4.2.1.3	Reinforcement Grade SD50	ton	2,384.00	23,962.60	13,301.43	37,264.03	88,837,447.52	1.1451	27,439.57	15,231.46	42,671.04	101,727,759.36
4.2.2.1	Structure Earthing and Bonding for Elevated Structures	L.S.	1.00	34,270,632.00	-	34,270,632.00	34,270,632.00	1.1451	39,243,300.70	-	39,243,300.70	39,243,300.70
			-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.4	Prestressing Reinforcement		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.4.1	Prestressing Strands	ton	2,092.82	47,500.00	26,000.00	73,500.00	153,822,270.00	1.1451	54,392.25	29,772.60	84,164.85	176,141,544.72
4.4.2	Prestressing Bars	ton	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.5	Precast Segmental Viaduct		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.5.1	Box Girder : Intermediate Segment	lm	5,370.75	49,422.00	79,478.00	127,900.00	686,918,925.00	1.1451	56,593.13	89,865.16	146,458.29	786,590,861.02
4.5.2	Box Girder : Deviator Type 1	lm	1,534.50	55,483.00	80,517.00	136,000.00	208,692,000.00	1.1451	63,533.58	92,200.02	155,733.60	238,973,206.20
4.5.3	Box Girder : Deviator Type 2	lm	1,534.50	65,574.00	83,726.00	149,300.00	229,100,850.00	1.1451	75,068.79	95,874.64	170,943.43	262,343,383.34
4.5.4	Box Girder : Pier Segment	lm	1,023.00	107,644.90	101,456.09	209,100.00	213,909,300.00	1.1451	123,263.14	116,177.27	239,440.41	244,947,539.43
4.5.5	Link Slab	lm	93.00	2,969.57	4,693.35	7,662.92	712,851.56	1.1451	3,400.46	5,374.36	8,774.82	816,058.26
4.5.6	Closure strip	lm	83.70	2,969.57	4,693.35	7,662.92	641,386.40	1.1451	3,400.46	5,374.36	8,774.82	734,452.43
4.5.7	Epoxy Bonding Agent	lm	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.6	Joints and Bearings		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.6.1	Expansion joint	lm	1,023.00	4,800.00	1,440.00	6,240.00	6,383,520.00	1.1451	5,496.48	1,648.94	7,145.42	7,309,784.86
4.6.2	Mechanical Bearing	set	744.00	37,320.00	11,196.00	48,516.00	36,095,904.00	1.1451	42,735.13	12,820.54	55,555.67	41,333,418.48
4.7	Barrier		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.7.1	Barrier	lm	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.7.2	Cable Trough	lm	4,480.00	1,508.10	603.24	2,111.34	9,458,803.20	1.1451	1,726.92	690.77	2,417.69	10,831,251.20
			-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-

3/1504

ข้อมูลราคาค่าก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีม่วง (ต่อ)

BANGKOK MASS TRANSIT PURPLE LINE TAO PUN – RAT BURANA (KANCHANAPISEK ROAD)

CONTRACT 5: ELEVATED CIVIL WORKS (DAO KHANONG - KHRU NAI SECTION)

ITEM NO.	DESCRIPTION	UNIT	QUANTITY	DIRECT COST			AMOUMT	FACTOR F	ESTIMATED COST			AMOUNT
				UNIT COST		TOTAL			UNIT COST		TOTAL	
				MATERIAL	LABOUR				MATERIAL	LABOUR		
	BILL NO.3 PP27 : DAO KHANONG STATION											
Part 1	CIVIL AND STRUCTURAL WORKS											
2	EARTH WORKS											
2.2	Clearing and Grubbing											
2.2.1	Clearing and Grubbing	sq.m	2,645.45	-	56.00	56.00	148,145.31	1.1451	-	64.13	64.13	169,652.84
2.3	Excavation		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
2.3.1	Roadway Excavation , Earth	cu.m	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
2.4	Fill		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
2.4.1	Earth Fill in Median and Under Sidewalk	cu.m	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
2.5	Excavation and Backfill for Structures		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
2.5.1	Excavation and Backfill for Structures including Sheet Pile	cu.m	4,192.19	527.80	1,770.47	2,298.07	9,633,946.07	1.1451	604.15	2,027.37	2,631.53	11,031,873.75
2.5.2	Excavation and Backfill for Structures	cu.m	380.52	441.26	184.18	625.44	237,992.43	1.1451	505.26	210.90	716.19	272,524.62
		-	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3	PILING AND DIAPHRAGM WALL		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.3	Bored Cast In-Place Pile		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.3.1.1	Barrette Pile 1.00x3.00 m.	l.m	2,073.00	22,304.04	15,748.19	38,052.23	78,882,272.79	1.1451	25,540.36	18,033.25	43,573.60	90,328,072.60
3.3.1.2	Barrette Pile 1.50x3.00 m.	l.m	-	28,434.80	24,249.35	50,684.15	-	1.1451	30,270.49	27,767.93	58,038.42	-
3.3.2.1	Bored Pile 1.00 m.dia.	l.m	1,798.00	2,931.56	3,826.37	6,757.93	-	1.1451	3,356.93	4,381.58	7,738.51	-
3.3.2.2	Bored Pile 0.80 m.dia.	l.m	2,172.13	2,581.75	4,753.88	8,547,476.24	1.1451	2,957.31	5,443.56	9,787,700.68		
3.3.2.3	Bored Pile 0.50 m.dia.	l.m	123.00	645.23	917.24	1,562.47	192,183.81	1.1451	738.85	1,050.33	1,789.18	220,069.14
		-	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.4	Pile Load Testing		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
3.4.1.1	Pilot Barrette Pile 1.00x3.00 m	ea	1.00	5,352,966.15	3,779,568.64	9,132,534.79	9,132,534.79	1.1451	6,129,684.97	4,327,980.61	10,457,665.59	10,457,665.59
3.4.1.3	Pilot Barrette Pile 1.50x3.00 m	ea	1.00	6,344,351.55	5,819,844.78	12,164,196.33	12,164,196.33	1.1451	7,264,916.96	6,664,304.26	13,929,221.22	13,929,221.22
3.4.4.1	Static Load Test on Pilot Barrette Pile 1.00x3.00 m	ea	1.00	305,250.00	805,000.00	1,111,250.00	1,111,250.00	1.1451	350,686.88	921,805.50	1,272,492.38	1,272,492.38
3.4.4.2	Static Load Test on Pilot Barrette Pile 1.50x3.00 m	ea	1.00	918,750.00	855,000.00	1,783,750.00	1,783,750.00	1.1451	1,052,060.63	990,511.50	2,042,572.13	2,042,572.13
3.4.4.3	Dynamic Load Test on Pilot Barrette Pile 1.00x3.00 m	ea	1.00	-	57,000.00	57,000.00	57,000.00	1.1451	-	65,270.70	65,270.70	65,270.70
3.4.4.4	Dynamic Load Test on Pilot Barrette Pile 1.50x3.00 m	ea	1.00	-	101,000.00	101,000.00	101,000.00	1.1451	-	115,655.10	115,655.10	115,655.10
3.4.9	Sonic Logging Test on Working Barrette Pile	ea	18.00	-	7,574.00	7,574.00	121,184.00	1.1451	-	8,672.99	8,672.99	138,767.84
		-	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4	STRUCTURE		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.1	Concrete Structure		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.1.1.1	Lean Concrete	cu.m	17.82	2,055.00	485.00	2,540.00	45,262.80	1.1451	2,353.18	555.37	2,908.55	51,830.35
4.1.1.2	Compacted Sand	cu.m	17.82	718.02	42.89	760.91	13,559.42	1.1451	822.20	49.11	871.31	15,526.74
4.1.2.1	Concrete Grade 45 for Cross Beam Station for Concourse Level	cu.m	-	6,236.50	4,239.96	10,476.56	-	1.1451	7,141.53	4,855.18	11,996.71	-
4.1.2.1	Concrete Grade 45 for Cross Beam Station for Platform Level	cu.m	553.00	4,592.22	3,087.56	7,679.78	4,246,918.34	1.1451	5,258.55	3,535.56	8,794.12	4,863,148.36
4.1.3.1	Concrete Grade 35 for Footing	cu.m	500.00	4,232.23	595.57	4,827.80	2,413,900.00	1.1451	4,846.33	681.99	5,528.31	2,764,155.00
4.1.3.2	Concrete Grade 35 for Column	cu.m	851.00	4,414.44	1,450.21	5,864.65	4,990,817.15	1.1451	5,054.98	1,660.64	6,715.61	5,714,954.11
4.1.4.1	Concrete Grade 30 for Ground Level Structure	cu.m	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.1.4.2	Concrete Grade 30 for Concourse Level Structure	cu.m	78.00	6,231.28	1,000.88	7,232.16	564,108.48	1.1451	7,135.44	1,146.11	8,281.54	645,960.12
4.1.4.3	Concrete Grade 30 for Platform Level Structure	cu.m	344.00	6,359.39	1,046.99	7,406.38	2,547,794.72	1.1451	7,282.14	1,199.91	8,481.04	2,917,477.76
4.1.4.4	Concrete Grade 30 for Entrance structure	cu.m	831.00	10,542.70	1,077.96	11,620.66	9,656,758.46	1.1451	12,072.45	1,234.37	13,306.82	11,057,967.42
		-	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.2	Reinforcement		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.2.1.1	Reinforcement Grade SR24	ton	7.00	25,412.60	16,364.29	41,776.89	292,438.23	1.1451	29,099.97	18,738.75	47,838.72	334,871.04
4.2.1.2	Reinforcement Grade SD40	ton	368.00	24,412.60	15,364.29	39,776.89	14,637,895.52	1.1451	27,954.87	17,593.85	45,548.52	16,761,855.36
4.2.1.3	Reinforcement Grade SD50	ton	119.00	23,952.60	15,164.29	39,126.89	4,656,099.91	1.1451	27,439.57	17,364.63	44,804.20	5,331,699.80
4.2.1.4	Wire mesh	sqm.	978.45	200.00	62.00	262.00	256,363.90	1.1451	229.02	71.00	300.02	293,554.57
4.2.2.1	Structure Earthing and Bonding for Elevated Structures	LS.	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.3	Precast Concrete		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.3.1.1	PC I-Girder Span 20 m.	ea	-	161,188.17	93,240.43	254,428.60	-	1.1451	184,576.57	106,769.62	291,346.20	-
4.3.1.3	PC I-Girder Span 30 m.	ea	-	254,568.49	131,343.82	385,912.31	-	1.1451	291,506.38	150,401.81	441,908.19	-
4.3.1.5	PC I-Girder Span 32.5 m.	ea	-	275,784.53	140,111.73	415,894.26	-	1.1451	315,798.58	160,441.54	476,240.52	-
4.3.3.1	PC Hollow Core Slab	sqm.	1,329.46	560.00	168.00	728.00	967,846.88	1.1451	641.26	192.38	833.64	1,108,291.03
4.3.5	Precast Curb	m	255.40	350.00	105.00	455.00	116,207.00	1.1451	400.79	120.24	521.03	133,071.06
		-	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.4	Prestressing Reinforcement		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.4.1	Prestressing Tendon (Post-Tensioned)	ton	16.30	47,500.00	26,000.00	73,500.00	1,198,050.00	1.1451	54,392.25	29,772.60	84,164.85	1,371,887.06
4.13	Joints and Bearing		-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.13.1.1	Expansion Joint	l.m	-	-	-	-	-	1.1451	-	-	-	-
4.13.2.1	Elastomeric Bearing Type A	ea	53.00	1,400.00	518.00	1,918.00	101,654.00	1.1451	1,603.14	593.16	2,196.30	116,403.90

5/1504

ข้อมูลราคาค่าก่อสร้างโครงการรถไฟฟ้าสายสีเขียว

ตารางแสดงวงเงินงบประมาณที่ได้รับจัดสรรและราคากลางในงานจ้างก่อสร้าง

1. ชื่อโครงการ **สัญญาที่ 1 ก่อสร้างงานโยธา ช่วงหมอชิต – สะพานใหม่**
   โครงการก่อสร้างรถไฟฟ้าสายสีเขียว ช่วงหมอชิต – สะพานใหม่ – คูคต
2. /หน่วยงานเจ้าของโครงการ **การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย (รฟม.)**
   วงเงินงบประมาณที่ได้รับจัดสรรจำนวน 14,110,133,194.20 บาท ยังไม่รวมวงเงิน Provisional Sum จำนวน 1,410,477,134.36 บาท รวมเป็น 15,520,610,328.56 บาท
3. ลักษณะงานโดยสังเขป
   งานก่อสร้างทางวิ่งยกระดับแนวเส้นทางหมอชิต – สะพานใหม่ ระยะทางประมาณ 11.4 กิโลเมตร และสถานีรถไฟฟ้ายกระดับจำนวน 12 สถานี ประกอบด้วย งานโยธา งานโครงสร้าง งานสถาปัตยกรรมและงานระบบของสถานี งานอุโมงค์ทางลอดรัชโยธิน และงานอื่นๆ
4. ราคากลางคำนวณ ณ วันที่ 9 ธันวาคม 2556 เป็นเงินจำนวน 14,021,346,802.41 บาท ยังไม่รวมวงเงิน Provisional Sum จำนวน 1,402,134,680.24 บาท รวมเป็น 15,423,481,482.65 บาท
5. บัญชีประมาณราคากลาง รายการปริมาณงานและราคา (BOQ)
6. รายชื่อคณะกรรมการกำหนดราคากลาง

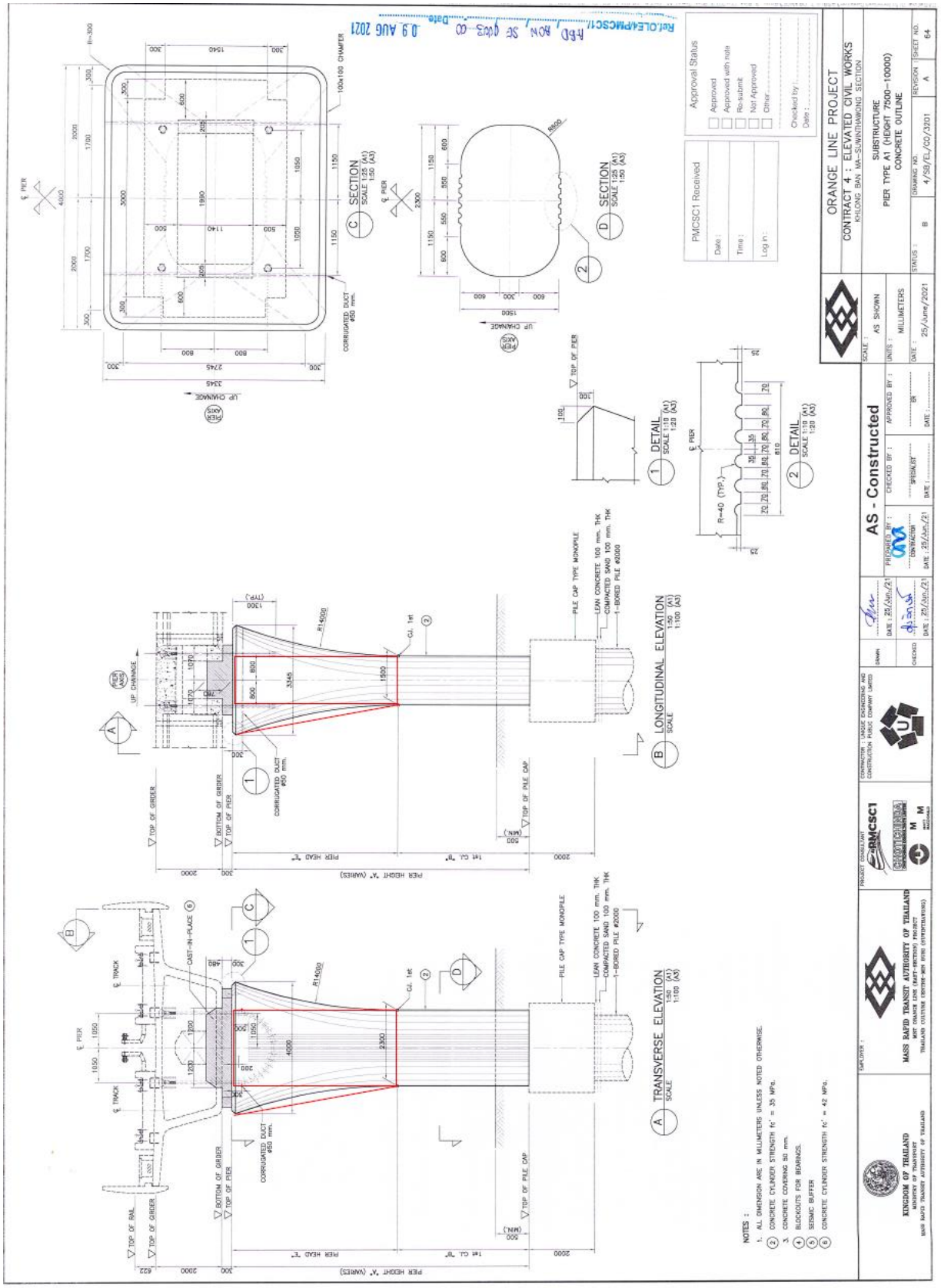
6.1	นายชาญศักดิ์ ศิริสิทธิ์	ผู้อำนวยการฝ่ายวิศวกรรมโยธาและสถาปัตยกรรม	ประธานกรรมการ
6.2	นายวีรเดช ชีวาพัฒนานุวงศ์	ผู้แทนกรมทางหลวงชนบท	กรรมการ
6.3	นายขจรศักดิ์ สถาวรจันทร์	ผู้แทนกรมโยธาธิการและผังเมือง	กรรมการ
6.4	นายธานี วัฒนะสุข	ผู้แทนวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์	กรรมการ
6.5	นายทวิช พึ่งตน	ผู้อำนวยการกองสถาปัตยกรรม	กรรมการ
6.6	นายกิตติกร ตันเปาว์	ผู้อำนวยการกองวิศวกรรมโยธา	กรรมการ
6.7	นายธีระพล อดิสร	ผู้อำนวยการกองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกล	กรรมการ
6.8	นายพัฒนพงษ์ พงศ์ศุภสมิทธิ์	ผู้อำนวยการกองบริหารงานก่อสร้าง 3	กรรมการ
6.9	นายวัชรพล คงสวัสดิ์	หัวหน้าแผนกวิศวกรรมโครงสร้างสถานีและทางวิ่ง	กรรมการและเลขานุการ

MRT GREEN LINE PROJECT MOCHIT - SAPHAN MAI - KHU KHOT — BILLS OF QUANTITY

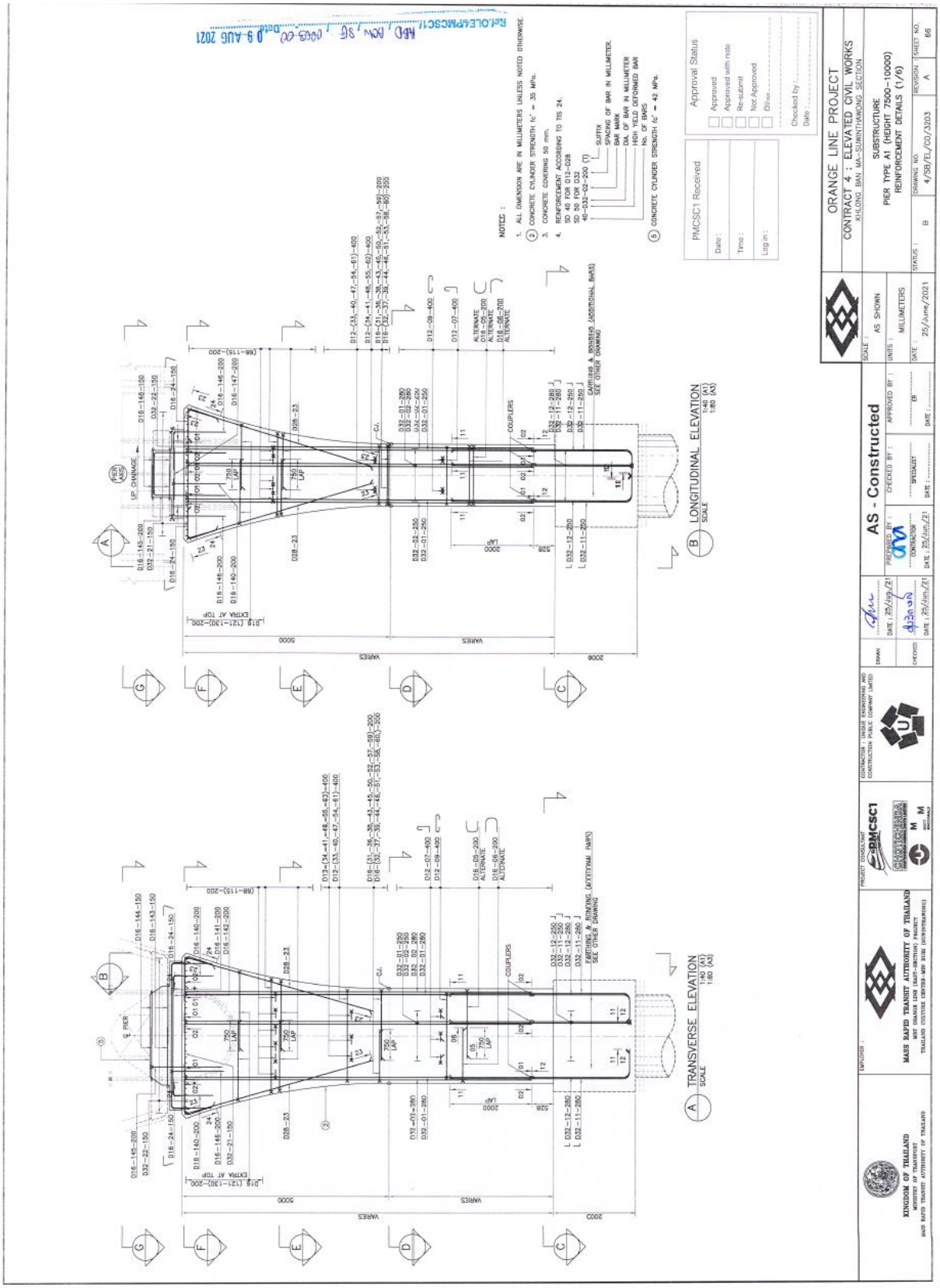
CONTRACT 1 : CIVIL WORK (MAIN LINE INFRASTRUCTURE : MOCHIT - SAPHAN MAI) — Unit : Baht

Item No	Descriptions	Unit	Quantity	Direct Cost		Factor F	Estimated Cost	
				Unit Cost	Amount		Unit Cost × Factor F	Amount
Bill No. 3	CIVIL WORKS							
2	EARTHWORKS							
2.2	Clearing and Grubbing							
2.2(1)	Clearing and Grubbing	sq.m	22,484.00	63.00	1,416,492.00	1.1440	72.07	1,620,466.85
2.3	Excavation							
2.3(1)	Roadway Excavation, Earth	cu.m	4,154.00	70.28	291,943.12	1.1440	80.40	333,982.93
2.4	Fill							
2.4(1)	Earth Fill in Median and Under Sidework	cu.m	7,104.30	678.47	4,820,054.42	1.1440	776.17	5,514,142.26
2.6	Embankment							
2.6(1)	Embankment	cu.m	18,087.00	718.43	12,994,243.41	1.1440	821.88	14,865,414.46
2.7	Removal of Existing Structure							
2.7(1).1	Demolition of Existing Concrete Curb and Gutter	l.m	6,412.00	76.00	487,312.00	1.1440	86.94	557,484.93
2.7(1).2	Existing Bus Stop Shelter to be Removed	ea	21.00	37,750.00	792,750.00	1.1440	43,186.00	906,906.00
2.7(1).3	Removal of Existing Concrete Pavement Surface	sq.m	1,916.40	210.00	402,444.00	1.1440	240.24	460,395.94
2.7(1).10	Demoliton of Predestrain Bridge	ea	4.00	596,000.00	2,384,000.00	1.1440	681,824.00	2,727,296.00
2.7(1).11	Remove of Light Pole	ea	132.00	5,000.00	660,000.00	1.1440	5,720.00	755,040.00
2.7(1).12	Demoliton of Existing Steel Bridge at Kasetsart Junction	l.s.	1.00	29,250,000.00	29,250,000.00	1.1440	33,462,000.00	33,462,000.00
2.7(1).13	Removal of Laksi Monument	l.s.	1.00	20,000,000.00	20,000,000.00	1.1440	22,880,000.00	22,880,000.00
7	ROAD WORKS AND DRAINAGE WORKS							
7.1	Subbase and Subballast							
7.1(2)	Sand Cushion	cu.m	5,512.90	831.67	4,584,913.54	1.1440	951.43	5,245,141.09
7.2	Aggregate Base							
7.2(1)	Crushed Rock Base	cu.m	22,051.60	837.44	18,466,891.90	1.1440	958.03	21,126,124.34
7.7	ASPHALTHIC TACK COAT							
7.7(1)	Asphaltic Tack Coat	sq.m	335,848.00	19.23	6,458,357.04	1.1440	22.00	7,388,360.45
7.9	Asphaltic Concrete Surfacing							
7.9(1)	Asphaltic Concrete Pavement	sq.m	335,848.00	330.10	110,863,424.80	1.1440	377.63	126,827,757.97
7.10	Reinforced Concrete Pavement							
7.10(1)	Reinforced Concrete Pavement	sq.m	110,258.00	1,043.00	114,999,094.00	1.1440	1,193.19	131,558,963.54
7.11	Concrete Curb and Gutter							
7.11(2)	Concrete Curb and Gutter	l.m	34,014.00	826.08	28,098,285.12	1.1440	945.04	32,144,438.18
7.11(3)	Concrete Barrier	l.m	1,720.00	1,872.21	3,220,201.20	1.1440	2,141.81	3,683,910.17
7.13	Road Signs							
7.13(1).1	Road Signs	sq.m	168.99	4,900.00	828,056.42	1.1440	5,605.60	947,296.54
7.13(2).1	Galvanized Steel Single Post for Road Sign	set	43.00	830.57	35,714.68	1.1440	950.18	40,857.60
7.13(2).2	Steel Pole for Overhanging Traffic Sign	set	33.00	45,910.44	1,515,044.52	1.1440	52,521.54	1,733,210.93
7.13(2).3	Steel Frame for Mounting Overhead Sign	set	4.00	146,290.82	585,163.28	1.1440	167,356.70	669,426.79
7.14	Road Markings							
7.14(3)	Curb Marking	sq.m	8,042.00	70.50	566,961.00	1.1440	80.65	648,603.38
7.15	Concrete Paving Blocks							
7.15(1)	Concrete Block for Sidewalk	sq.m	10,514.00	366.08	3,848,965.12	1.1440	418.80	4,403,216.10
7.17	Steet Lighting							
7.17(1)	Single Arm 1-400 W. HPS. Column Attached w/t Ballast , Ignitor , Ground , Wires and Accessories	set	167.00	19,597.32	3,272,752.44	1.1440	22,419.33	3,744,028.79
7.22	Drainage and Other Miscellaneous Structures							
7.22(1).1	At Grade Drainage	l.s.	1.00	2,801,000.00	2,801,000.00	1.1440	3,204,344.00	3,204,344.00
TOTAL BILL NO. 3 CARRIED TO CONTRACT 1 SUMMARY					373,644,064.02			427,448,809.23

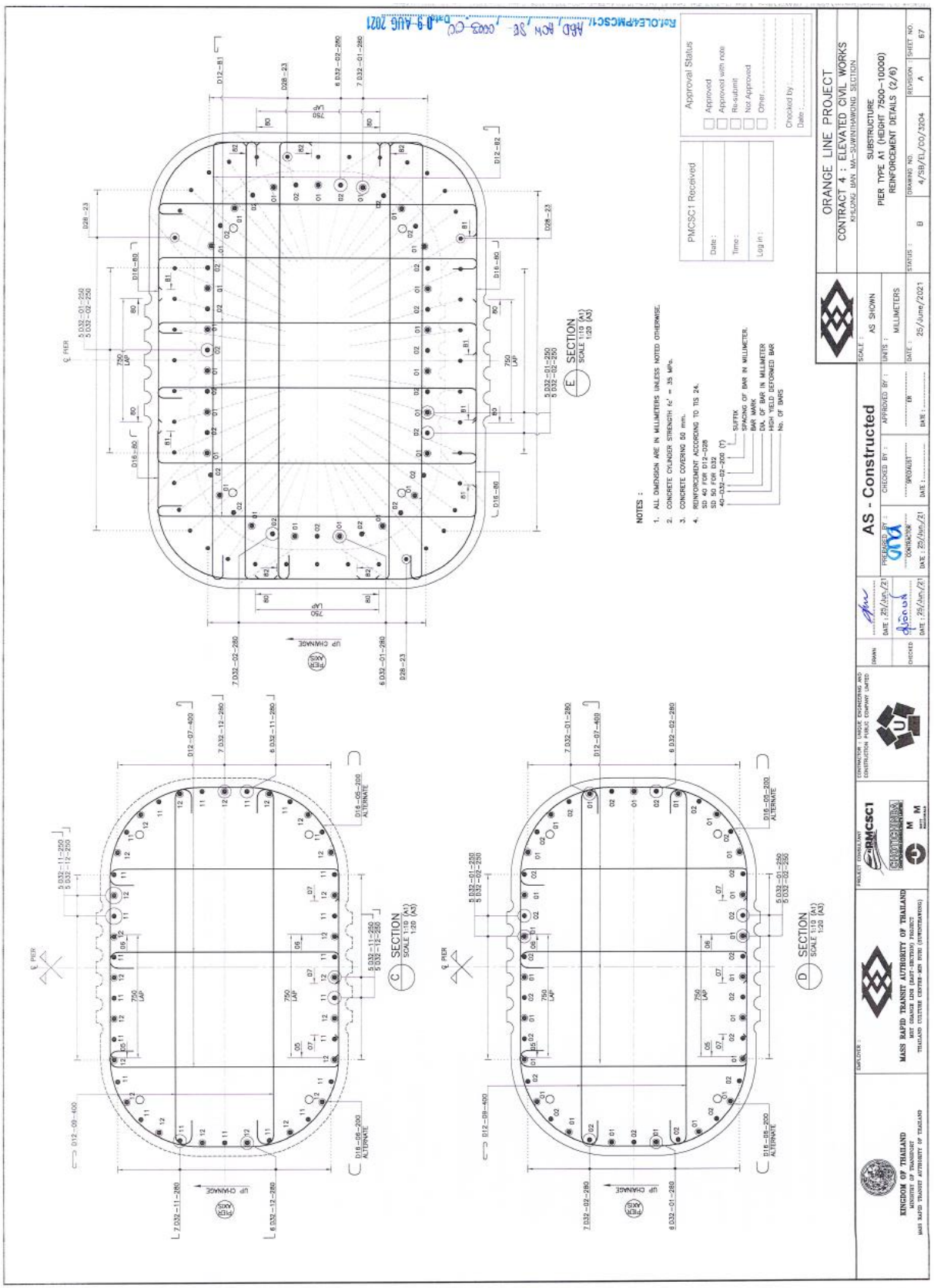
ข้อมูลแบบโครงสร้างเสาตอม่อทางยกระดับโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม



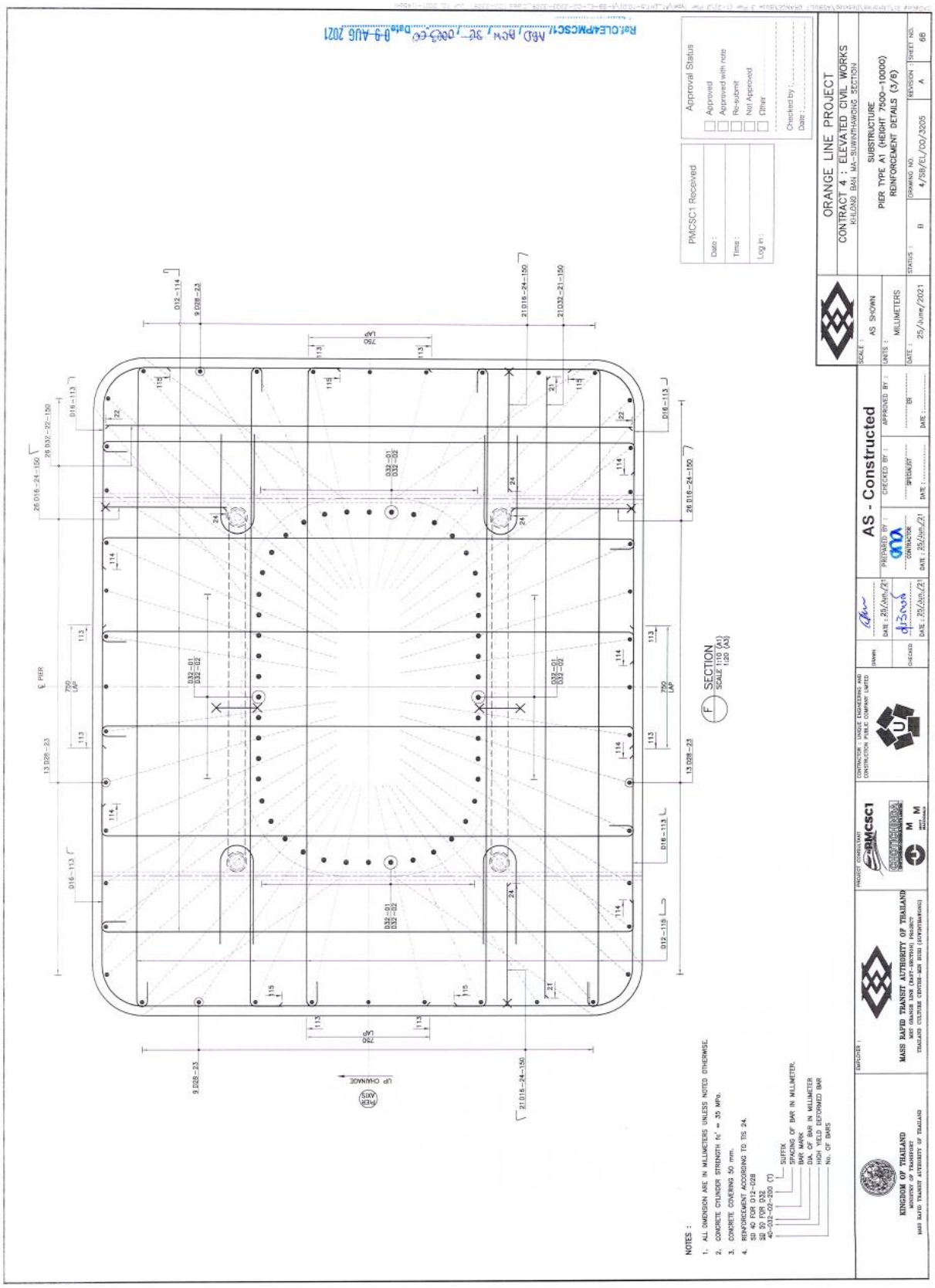
ข้อมูลแบบโครงสร้างเสาตอม่อทางยกระดับโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ต่อ)



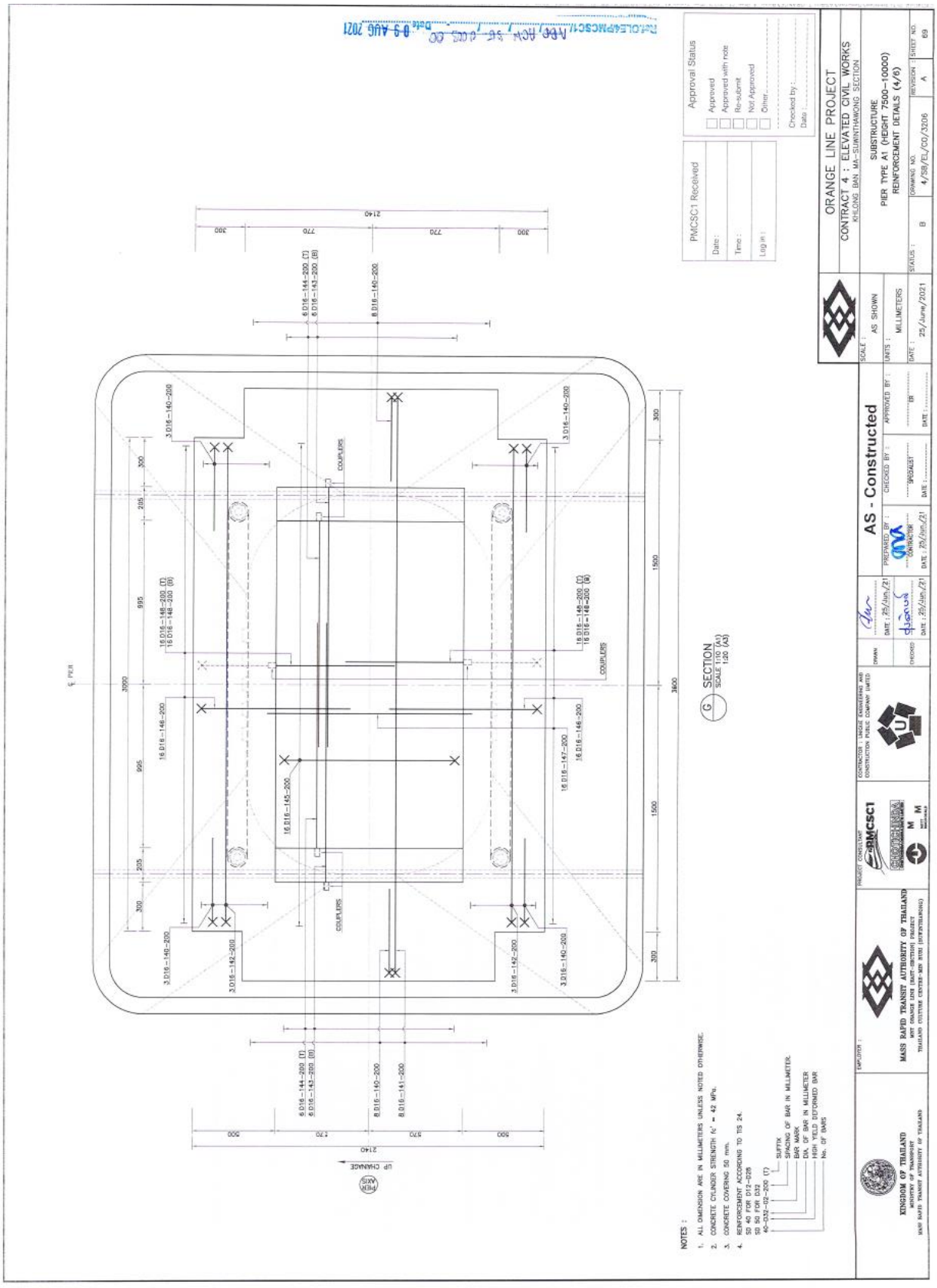
ข้อมูลแบบโครงสร้างเสาตอม่อทางยกระดับโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ต่อ)



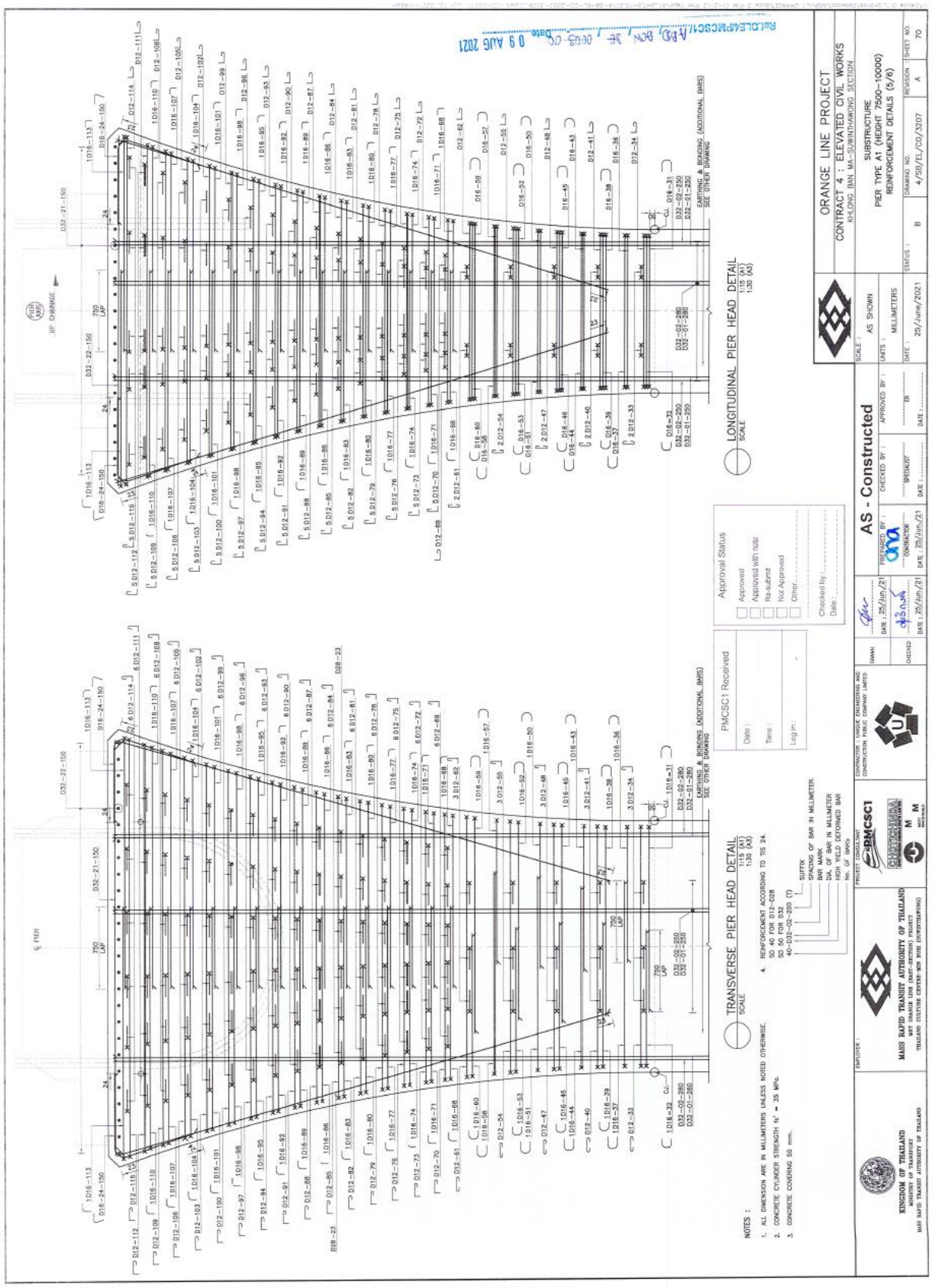
ข้อมูลแบบโครงสร้างเสาตอม่อทางยกระดับโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ต่อ)



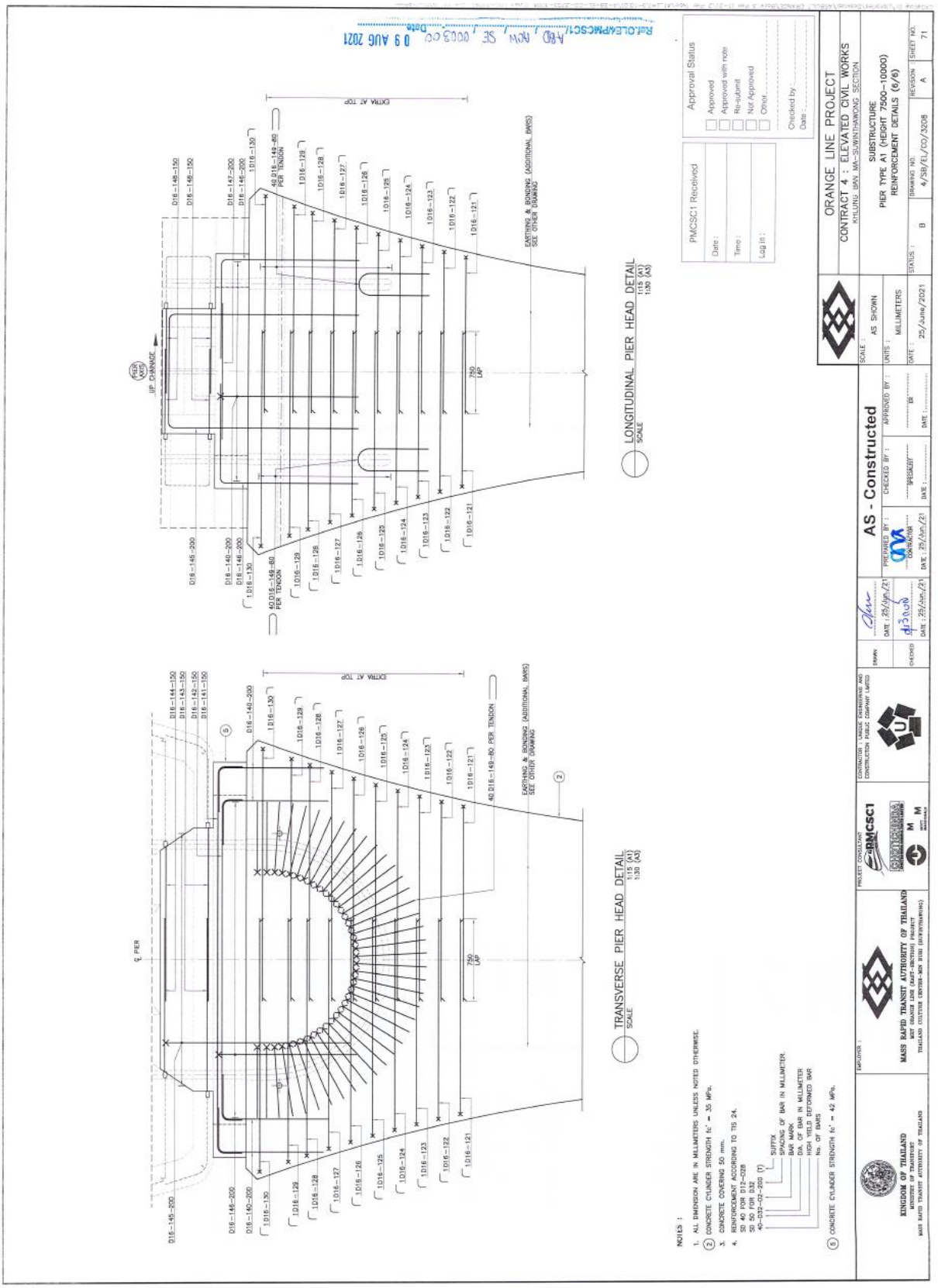
ข้อมูลแบบโครงสร้างเสาตอม่อทางยกระดับโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ต่อ)



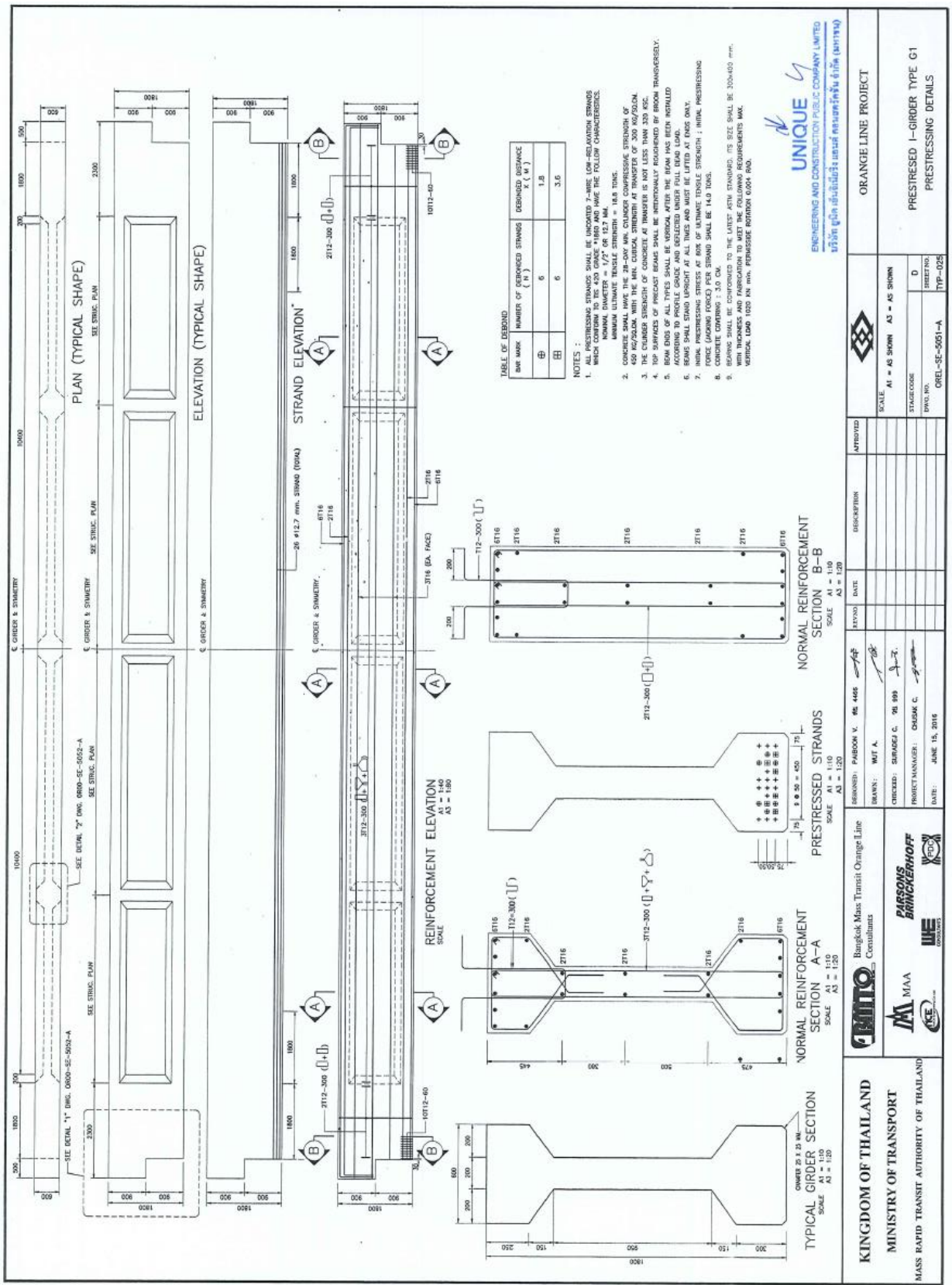
ข้อมูลแบบโครงสร้างเสาตอม่อทางยกระดับโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ต่



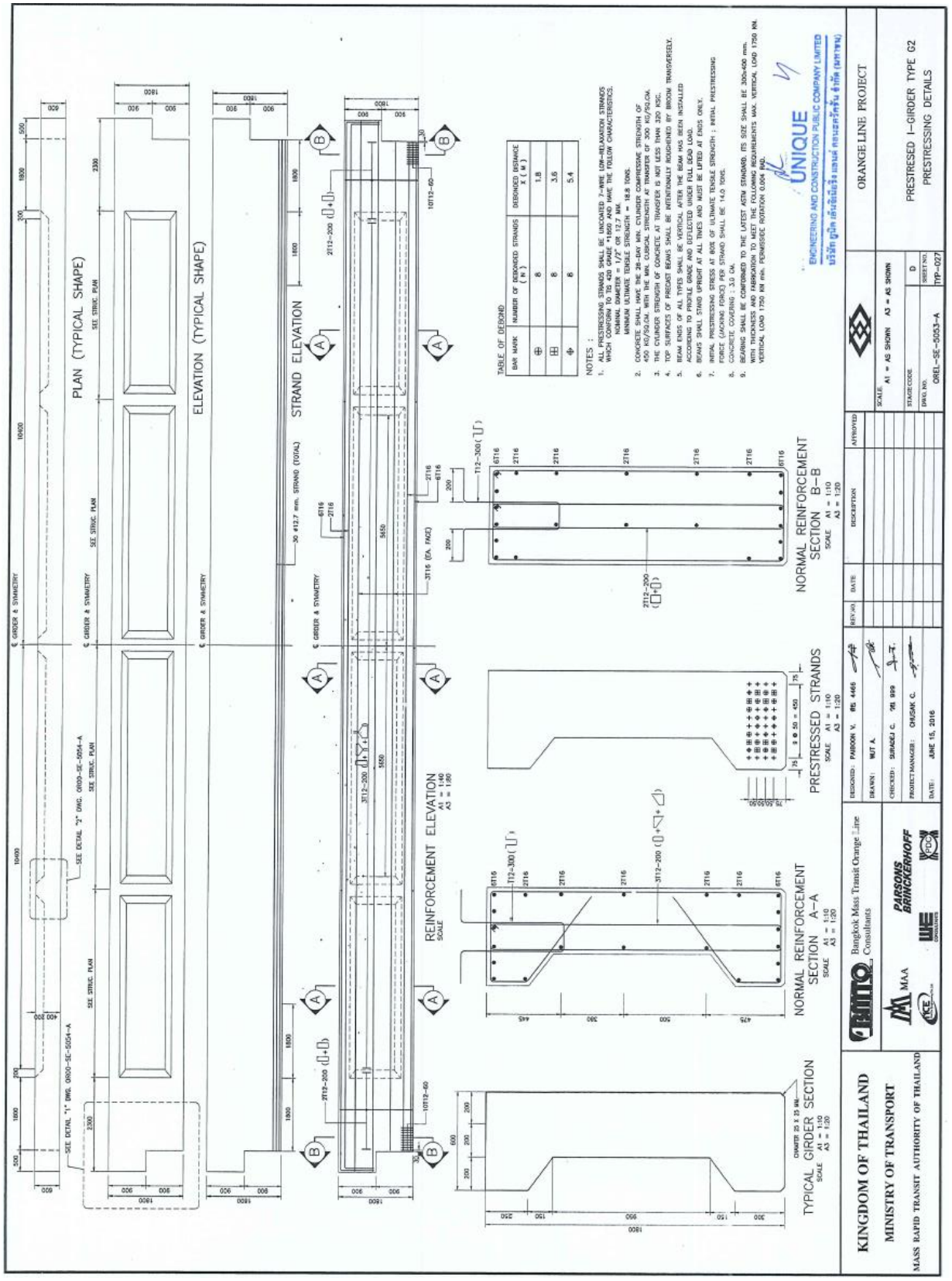
ข้อมูลแบบโครงสร้างเสาตอม่อทางยกระดับโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ต่อ)



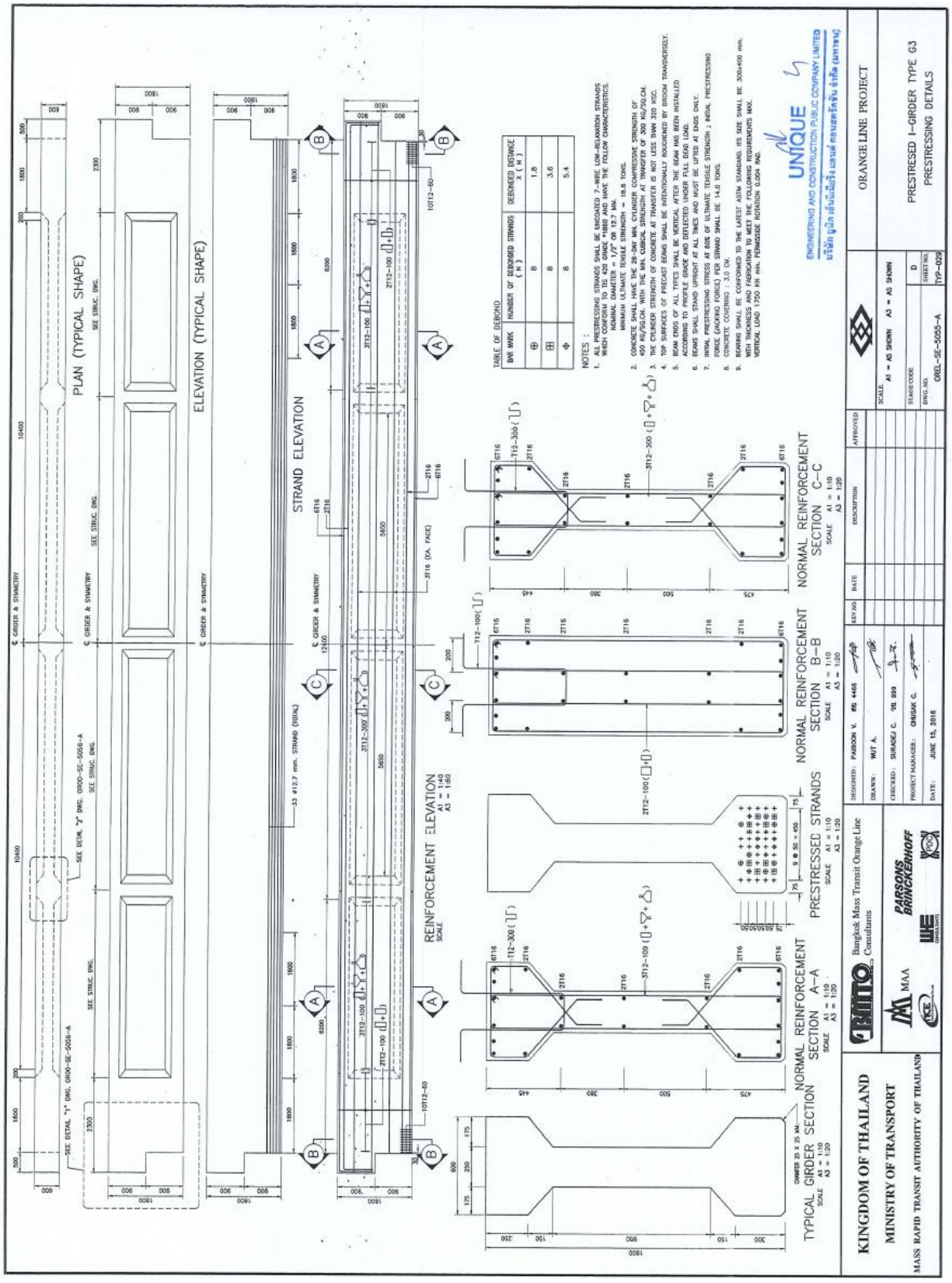
ข้อมูลแบบโครงสร้างคาน Girder สถานีโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม



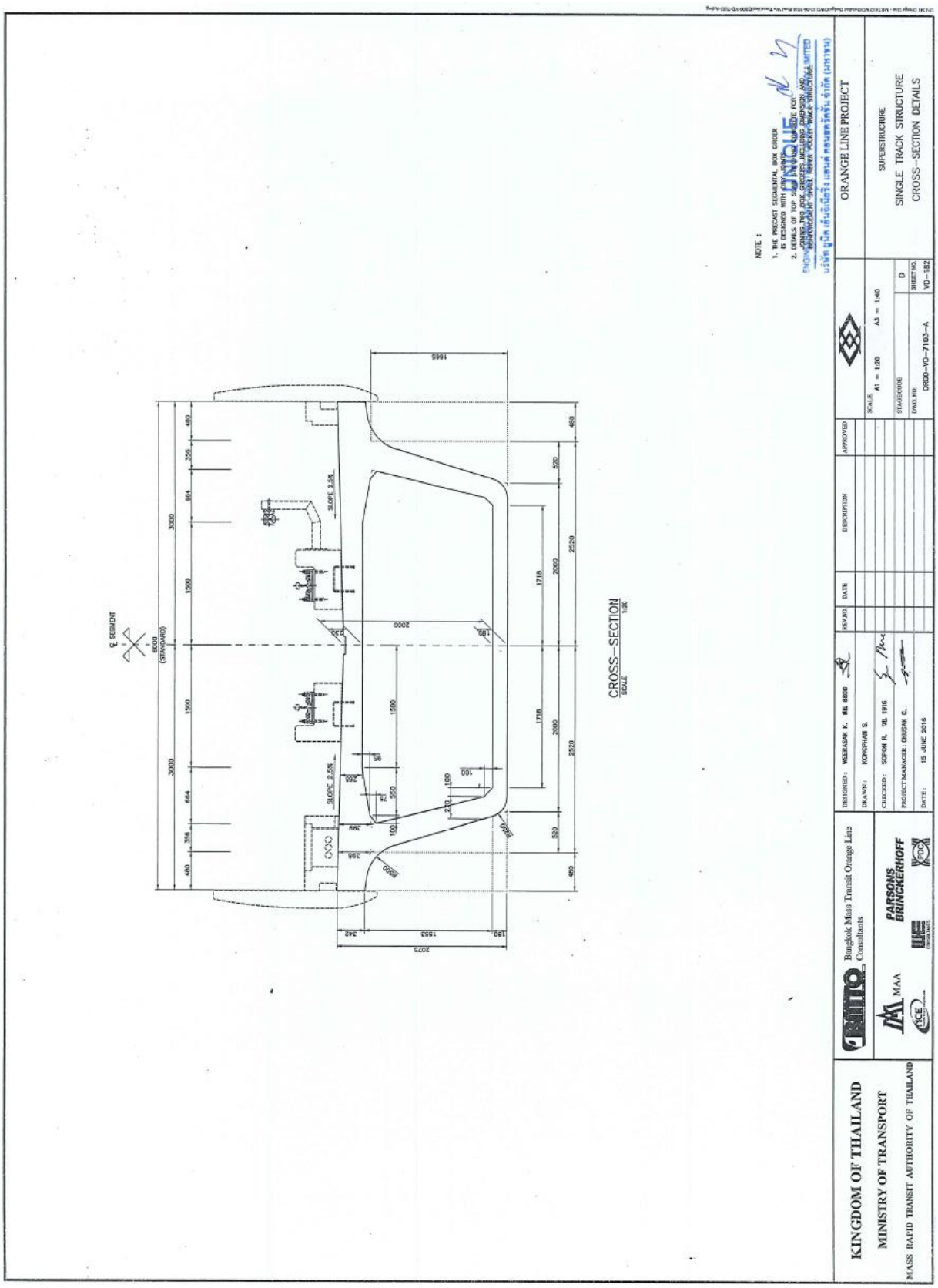
ข้อมูลแบบโครงสร้างคาน Girder สถานีโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ต่อ)



ข้อมูลแบบโครงสร้างคาน Girder สถานีโครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ต่อ)



ข้อมูลแบบโครงสร้างทางยกระดับ Viaduct Box Girder โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม



ข้อมูลแบบโครงสร้างทางยกระดับ Viaduct Box Girder โครงการรถไฟฟ้าสายสีส้ม (ต่อ)

