โครงการศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำทางเดินเรือท่าเรือสงขลา (ร่องในและร่องนอก) จังหวัดสงขลา

รายงานฉบับสมบูรณ์
(FINAL REPORT)

จัดทำโดย

กรมเจ้าท่า

กระทรวงคมนาคม

ธันวาคม 2560

โครงการศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำทางเดินเรือท่าเรือสงขลา (ร่องในและร่องนอก) จังหวัดสงขลา

รายงานฉบับสมบูรณ์
(FINAL REPORT)

จัดทำโดย

บริษัท โกลเด้น แพลน จำกัด

47/1 ถนนรัชดาภิเษก แขวงจันทรเกษม เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทรศัพท์ 0 2 939 0635 – 41 โทรสาร 0 2 939 0816

URL: http://www.goldenplan.co.th; email: mailbox@goldenplan.co.th

สารบัญ

หน้า

สารบัญ

หน้า

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

หน้า

สารบัญตาราง

หน้า

สารบัญรูป

หน้า

สารบัญรูป

หน้า

สารบัญรูป

หน้า

สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

บทที่ 1
บทนำ

เอกสารฉบับนี้เป็นรายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) ของโครงการศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำทางเดินเรือท่าเรือสงขลา (ร่องในและร่องนอก) จังหวัดสงขลา จัดทำโดยบริษัท โกลเด้น แพลน จำกัด เพื่อเสนอต่อกรมเจ้าท่า โดยเป็นการดำเนินงานตามสัญญาเลขที่ 65/2560/สกม. ลงวันที่ 31 มกราคม 2560

เนื้อหาที่แสดงในรายงานเป็นไปตามกรอบของข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติ ครอบคลุมรายละเอียดการดำเนินงานตลอดทั้งโครงการ เริ่มตั้งแต่ข้อมูลด้านการบริหารโครงการ ต่อด้วยการศึกษาข้อมูลจำเพาะของร่องน้ำสงขลารวมถึงลักษณะปัญหาที่ต้องการแก้ไข การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง การศึกษารวบรวมข้อมูลภาคสนาม การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้ศึกษาวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำ การออกแบบร่องน้ำเพื่อเป็นข้อเสนอแนะรูปแบบ/รูปหน้าตัดการขุดลอกร่องน้ำที่เหมาะสมการถ่ายทอดเทคโนโลยี และสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

สำหรับรายงานบทที่ 1 บทนำ รายละเอียดที่แสดงเป็นข้อมูลด้านการบริหารโครงการ แบ่งเป็น 6 ข้อย่อย ประกอบด้วย (1) ความเป็นมาของโครงการ (2) วัตถุประสงค์ของโครงการ (3) ขอบเขตการดำเนินงาน (4) องค์ประกอบของรายงาน (5) การตรวจสอบความครบถ้วนของงานตามความต้องการที่ระบุในข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติและ (6) บทสรุปท้ายบท

1.1 ความเป็นมา

กรมเจ้าท่ามีโครงการประกันความลึกร่องน้ำเศรษฐกิจเพื่อทำให้เรือที่มีระยะกินน้ำลึกน้อยกว่าค่าที่ระบุสามารถเดินผ่านร่องน้ำได้สะดวก ปลอดภัย ไม่ต้องรอน้ำขึ้น หรือมีช่วงเวลาที่จำเป็นต้องรอสั้นมาก โดยร่องน้ำสงขลาเป็นร่องน้ำแห่งหนึ่งที่กรมเจ้าท่ากำหนดให้มีการประกันความลึกร่องน้ำ

ร่องน้ำสงขลามีตะกอนตกทับถมจำนวนมาก จำเป็นต้องขุดลอกทุกปี การคาดการณ์เบื้องต้นประเมินว่ามีตะกอนตกในร่องน้ำสงขลา (ร่องนอก) มากกว่า 1,000,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี ส่วนร่องน้ำสงขลา (ร่องใน) มีปริมาณมากกว่า 500,000 ลูกบาศก์เมตร/ปี ปริมาณตะกอนที่ต้องขุดลอกเป็นภาระเงินงบประมาณจำนวนมาก จึงควรมีการศึกษากระบวนการตกตะกอนในร่องน้ำอย่างละเอียดเพื่อหาทางปรับปรุงร่องน้ำแต่ละบริเวณเป็นการเฉพาะให้สอดคล้องกับสภาพทางอุทกวิทยา สมุทรศาสตร์ และการพัดพาของตะกอนทั้งที่มาจากน้ำท่าและตะกอนชายฝั่ง ซึ่งจะทำให้การขุดลอกมีประสิทธิภาพ ช่วยลดปริมาณตะกอนที่ต้องขุดลอกตลอดระยะเวลาใช้งานที่ออกแบบ เป็นการประหยัดงบประมาณการขุดลอกบำรุงรักษาในระยะยาว อีกทั้ง ทำให้เรือสามารถสัญจรเข้าออกผ่านร่องน้ำได้อย่างสะดวก ปลอดภัย เป็นไปตามเป้ายุทธศาสตร์การพัฒนาการขนส่งส่งน้ำ

นอกจากความต้องการให้มีการศึกษาปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำสงขลาอย่างละเอียดข้างต้น เนื่องจากกรมเจ้าท่ามีร่องน้ำเศรษฐกิจที่ต้องประกันความลึกหลายแห่ง การทำงานในโครงการจึงควรรวมถึงการถ่ายทอดเทคโนโลยีและเสริมสร้างสมรรถนะบุคลากรกรมเจ้าท่าให้สามารถดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ตามแนวทางดังกล่าวสำหรับร่องน้ำทางเดินเรืออื่น ๆ ได้เองในระยะยาว

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

กรมเจ้าท่ากำหนดวัตถุประสงค์ของโครงการไว้ 4 ข้อ ดังนี้

(1) ศึกษาวิเคราะห์กระบวนการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนทับถมในบริเวณร่องน้ำทางเดินเรือของท่าเรือสงขลา ทั้งร่องน้ำด้านนอกและด้านใน ทั้งทางด้านอุทกวิทยา สมุทรศาสตร์ การพัดพาของตะกอนทั้งที่มาจากน้ำท่าและตะกอนตามแนวชายฝั่ง โดยอาศัยหลักวิชาการที่เหมาะสม และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทันสมัยเชื่อถือได้มาใช้ประกอบการศึกษา

(2) ศึกษาและออกแบบร่องน้ำทางเดินเรือ ทั้งบริเวณร่องด้านนอกและด้านใน เพื่อประกันความลึกร่องน้ำตลอดระยะเวลาใช้งานตามการออกแบบร่องน้ำ ทำให้สามารถประหยัดงบประมาณในการขุดลอก อีกทั้งช่วยให้การขุดลอกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถบำรุงรักษาร่องน้ำทางเดินเรือได้อย่างยั่งยืน

(3) การดำเนินงานขุดลอกร่องน้ำทางเดินเรือ เป็นภารกิจที่ต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องเป็นประจำเพื่อรักษาความลึกร่องน้ำให้สามารถรองรับการเดินเรือได้อย่างสะดวก ปลอดภัย เรือสามารถสัญจรเข้า-ออก ร่องน้ำได้ตลอดระยะเวลาการใช้งานตามการออกแบบร่องน้ำ อย่างไรก็ดี ลักษณะการตกตะกอนทับถมพื้นท้องน้ำในบริเวณพื้นที่ชายฝั่ง โดยเฉพาะบริเวณปากร่องน้ำทางเดินเรือมีความเป็นพลวัตรสูง ปัจจัยต่างๆ ล้วนมีผลเกี่ยวข้องทำให้การตกตะกอนทับถมในร่องน้ำมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา จึงจำเป็นที่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานของกรมเจ้าท่าจะต้องได้รับการถ่ายทอดองค์ความรู้และฝึกอบรมให้สามารถดำเนินงานศึกษา และวิเคราะห์ลักษณะการตกตะกอนทับถมของร่องน้ำทางเดินเรือภายใต้ความร่วมมือด้านวิชาการและเทคโนโลยีกับผู้เชี่ยวชาญในระยะดำเนินการจริงอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การดำเนินการปรับปรุงรูปแบบการขุดลอกร่องน้ำครอบคลุมทุกร่องน้ำสำคัญและสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงได้อย่างเหมาะสมในอนาคต

(4) เสริมสร้างและพัฒนาสมรรถนะเจ้าหน้าที่ของกรมเจ้าท่าให้สามารถใช้งานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบการวิเคราะห์และออกแบบร่องน้ำทางเดินเรือ ผ่านการฝึกอบรมตามหลักวิชาการ โดยมุ่งเน้นการถ่ายทอดเทคโนโลยี ทักษะ และองค์ความรู้ที่สำคัญให้แก่เจ้าหน้าที่ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ โดยศึกษากรณีตัวอย่างการดำเนินการขุดลอกร่องน้ำที่ใช้เทคโนโลยีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ออกแบบจริง ทั้งนี้ เพื่อเตรียมความพร้อมในการรองรับการดำเนินการพัฒนางานสำรวจออกแบบร่องน้ำเศรษฐกิจและร่องน้ำสำคัญทั้งหมดในอนาคต ผลจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบจำลองดังกล่าวช่วยให้สามารถกำหนดกระบวนการและกรอบเวลาของการสำรวจติดตามตรวจสอบ และปรับปรุงการออกแบบร่องน้ำให้เป็นไปอย่างมีระบบแบบแผน เพื่อให้การดำเนินการขุดลอกสามารถรักษาร่องน้ำทางเดินเรือให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดงบประมาณ และช่วยพัฒนาการเดินเรือ และการขนส่งสินค้าทางน้ำให้เป็นไปอย่างยั่งยืน

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

กรมเจ้าท่ากำหนดขอบเขตงาน แบ่งได้เป็น 4 กลุ่มได้แก่ (1) งานจัดเตรียมข้อมูล (2) งานวิเคราะห์แบบจำลอง (3) งานออกแบบรายละเอียดและข้อเสนอแนะ และ (4) งานถ่ายทอดเทคโนโลยี ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1.3.1 งานจัดเตรียมข้อมูล

(1) วิเคราะห์ข้อมูลสถิติการขุดลอกร่องน้ำในบริเวณท่าเรือสงขลาในอดีต รวบรวมสถิติข้อมูลย้อนหลังการดำเนินการขุดลอกทั้งในเชิงปริมาณและขอบเขตพื้นที่ขุด รวมถึงตำแหน่งที่ทิ้งตะกอน ข้อมูลสถิติดังกล่าวจะใช้ในการตรวจสอบลักษณะตะกอนทับถมและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของร่องน้ำในแต่ละฤดูกาล ทั้งนี้ ยังขึ้นกับตำแหน่งพื้นที่และความถี่ในการขุดลอก

(2) จัดเตรียมแผนที่ความลึกพื้นท้องน้ำ (Bathymetric map) และแผนที่แสดงตำแหน่งของการตกตะกอนทับถม แผนที่ความลึกพื้นท้องน้ำและข้อมูลที่เกี่ยวข้องในบริเวณทะเลสาบสงขลาและท่าเรือสงขลา โดยรวบรวมข้อมูลเดิมจากแหล่งต่างๆ ที่มีชุดข้อมูลแผนที่ความลึกพื้นท้องน้ำให้นำมาซ้อนทับกับชุดข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของท่าเรือและชายฝั่งในบริเวณข้างเคียง เพื่อจัดเตรียมข้อมูลนำเข้าของความลึกพื้นท้องน้ำในรูปแบบเชิงกริดสำหรับการวิเคราะห์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลให้พิจารณาชุดแผนที่ข้างต้นร่วมกับข้อมูลขนาดตะกอนพื้นท้องน้ำ

(3) วิเคราะห์ลักษณะการตกตะกอนทับถมร่องน้ำทางเดินเรือ โดยข้อมูลสถิติย้อนหลังของแผนที่ร่องน้ำในช่วงเวลาที่ต่างกันให้นำมาใช้วิเคราะห์เพื่อศึกษาอัตราการตกตะกอนรวมถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพพื้นท้องน้ำที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนทับถมในร่องน้ำ ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นท้องน้ำในบริเวณร่องน้ำทางเดินเรือจากข้อมูลแผนที่ร่องน้ำย้อนหลังจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ที่มาของแหล่งตะกอนที่ตกทับถมในร่องน้ำได้

(4) ข้อมูลวิเคราะห์สภาพแวดล้อม ให้จัดเตรียมข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการตกตะกอนทับถมในร่องน้ำ ได้แก่ คลื่นนัยสำคัญ กำลังและทิศทางลม และพิสัยระดับน้ำขึ้น-ลง ในรูปของฐานข้อมูลย้อนหลังไม่น้อยกว่า 30 ปี โดยเป็นข้อมูลตรวจวัดคลื่น/ลมในบริเวณอ่าวไทย ข้อมูลดังกล่าวใช้ประกอบการวิเคราะห์สภาพคลื่นลมในบริเวณร่องน้ำทางเข้าท่าเรือสงขลา

1.3.2 งานวิเคราะห์แบบจำลอง

(1) ให้ดำเนินการวิเคราะห์แบบจำลองชลศาสตร์ของไหล (ระดับน้ำขึ้น-ลง/กระแสน้ำ) เพื่อจำลองสภาพการไหลทางชลศาสตร์จากอิทธิพลน้ำขึ้น-ลงในบริเวณครอบคลุมพื้นที่ทะเลสาบสงขลาทั้งหมด ตลอดจนท่าเรือและทะเลเปิดในบริเวณใกล้เคียง โดยใช้แบบจำลองที่น่าเชื่อถือในระดับสากลและเปิดใช้โดยสาธารณะ ชนิดวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยผลการวิเคราะห์ต้องนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริงจากสถานีวัดระดับน้ำในพื้นที่ ภายหลังเปรียบเทียบแล้วให้นำมาจัดทำขอบเขตแบบจำลองครอบคลุมแผนที่เชิงกริด เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์แบบจำลองสภาพชลศาสตร์การไหลในพื้นที่ต่อไป ผลการวิเคราะห์แบบจำลองต้องสามารถนำเสนอเป็นภาพเคลื่อนไหว (Animation) เพื่อชี้แจงผลการวิเคราะห์ได้อย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย

(2) ให้ดำเนินการจัดทำแผนที่ค่าความเค้นพื้นท้องน้ำ (Scaled shear stress) จากข้อมูลแผนที่ชนิดตะกอนที่มีเพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวิเคราะห์ลักษณะการตกตะกอนที่พิจารณาจากอิทธิพลของชลศาสตร์การไหลของกระแสน้ำในร่องน้ำ ทั้งนี้ แผนที่ค่าความเค้นพื้นท้องน้ำจะได้นำไปใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลการวิเคราะห์สภาพการเปลี่ยนแปลงร่องน้ำได้จากข้อมูลสถิติย้อนหลังในข้อ 1.3.1 (3)

(3) ในกรณีน้ำหลากซึ่งมีผลต่อการตกตะกอนในร่องน้ำอย่างมีนัยสำคัญ จึงให้ดำเนินการทดสอบอิทธิพลการไหลของน้ำท่าในช่วงฤดูน้ำหลากจากการวิเคราะห์ผลแบบจำลองด้วย

(4) ให้นำผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองชลศาสตร์ของไหลมาประกอบการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองวิเคราะห์การพัดพาของตะกอน โดยกำหนดให้มีขอบเขตวิเคราะห์ครอบคลุมบริเวณท่าเรือร่องน้ำทางเดินเรือชายฝั่งโดยครอบคลุมทะเลเปิดในบริเวณใกล้เคียงเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของสภาพคลื่นลม กระแสน้ำในพื้นที่ที่มีผลต่อการพัดพาของตะกอน ช่วยให้สามารถอธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพื้นท้องน้ำจากการตกทับถมของตะกอนที่ถูกพัดพาตามแนวชายฝั่ง และจากคลื่นลมอันจะช่วยยืนยันแหล่งตะกอนหลักที่เป็นต้นเหตุและลักษณะการตกตะกอนทับถมในร่องน้ำทางเดินเรือของท่าเรือสงขลาได้ ทั้งนี้ แบบจำลองการพัดพาของตะกอนจะต้องมีความน่าเชื่อถือและเปิดใช้โดยสาธารณะ และต้องสามารพิจารณาครอบคลุมปัจจัยสำคัญต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตกตะกอนทับถมของร่องน้ำในพื้นที่ศึกษาได้ อนึ่ง ที่ปรึกษาจะต้องนำเสนอคุณสมบัติของแบบจำลองต่างๆ ที่จะใช้ในโครงการให้คณะกรรมการกำกับการทำงานและตรวจรับงานที่ปรึกษาพิจารณาอนุมัติก่อนจึงจะนำมาใช้ได้

(5) ให้นำแบบจำลองดังกล่าวซึ่งได้กำหนดข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สอดคล้องกับสภาพร่องน้ำทางเดินเรือของพื้นที่ศึกษาได้อย่างครบถ้วนเหมาะสมแล้ว มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อออกแบบปรับปรุงการขุดลอกร่องน้ำทางเดินเรือ โดยการจำลองสภาพปัจจัยทางชลศาสตร์และปริมาณการพัดพาของตะกอนที่ตกทับถมร่วมกับการออกแบบทางเลือกการขุดลอกร่องน้ำ เพื่อพิจารณารูปแบบร่องน้ำที่เหมาะสมที่สุดตามวัตถุประสงค์ต่อไป

1.3.3 งานออกแบบรายละเอียดและข้อเสนอแนะ

ให้นำผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ทั้งสถิติข้อมูลย้อนหลังของแผนที่ความลึกร่องน้ำ ปริมาณตะกอนขุดลอก ข้อมูลสภาพชลศาสตร์ และผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบและปรับแก้เพื่อนำเสนอทางเลือกการออกแบบรูปหน้าตัดการขุดลอกร่องน้ำ และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ให้นำมาจัดทำเป็นสรุปรายงานผลครอบคลุมตลอดทั้งกระบวนการศึกษา และข้อเสนอแนะของรูปแบบรูปตัดการขุดลอกร่องน้ำที่เหมาะสม โดยนำเสนอรายงานตามจำนวนชุดที่กำหนด

1.3.4 งานถ่ายทอดเทคโนโลยี

กรมเจ้าท่าไม่ได้ระบุขอบเขตงานด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยีแต่ได้ระบุความต้องการด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยีไว้ในวัตถุประสงค์ของโครงการข้อ (4) กับในข้อกำหนดความรับผิดชอบหลักของบริษัทที่ปรึกษา ข้อ (2) ถึงข้อ (4) ดังนี้

วัตถุประสงค์ของโครงการข้อ (4)

"...(4) เสริมสร้างและพัฒนาสมรรถนะเจ้าหน้าที่ของกรมเจ้าท่าให้สามารถใช้งานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบการวิเคราะห์และออกแบบร่องน้ำทางเดินเรือ ผ่านการฝึกอบรมตามหลักวิชาการ โดยมุ่งเน้นการถ่ายทอดเทคโนโลยี ทักษะ และองค์ความรู้ที่สำคัญให้แก่เจ้าหน้าที่ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ โดยศึกษากรณีตัวอย่างการดำเนินการขุดลอกร่องน้ำที่ใช้เทคโนโลยีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ออกแบบจริง ทั้งนี้ เพื่อเตรียมความพร้อมในการรองรับการดำเนินการพัฒนางานสำรวจออกแบบร่องน้ำเศรษฐกิจและร่องน้ำสำคัญทั้งหมดในอนาคต ผลจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบจำลองดังกล่าวช่วยให้สามารถกำหนดกระบวนการและกรอบเวลาของการสำรวจติดตามตรวจสอบ และปรับปรุงการออกแบบร่องน้ำให้เป็นไปอย่างมีระบบแบบแผน เพื่อให้การดำเนินการขุดลอกสามารถรักษาร่องน้ำทางเดินเรือให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดงบประมาณ และช่วยพัฒนาการเดินเรือ และการขนส่งสินค้าทางน้ำให้เป็นไปอย่างยั่งยืน"

ความรับผิดชอบหลักของบริษัทที่ปรึกษาข้อ (2) ถึงข้อ (4)

"...

(2) ถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้ในการใช้งานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีการนำมาใช้งานในโครงการ รวมถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการดำเนินงานศึกษาของโครงการ

(3) ถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้ให้กับเจ้าหน้าที่กรมเจ้าท่า ในการติดตามตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของร่องน้ำทางเดินเรือ รวมถึงการใช้งานแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ออกแบบรูปตัดการขุดลอกร่องน้ำ ให้สามารถวิเคราะห์และใช้งานแบบจำลองในการดำเนินงานได้ครอบคลุมทุกร่องน้ำสำคัญทั่วประเทศอันเป็นภารกิจสำคัญของกองสำรวจและแผนที่ โดยกำหนดให้มีการถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในภาคปฏิบัติจริง ในการออกแบบร่องน้ำและการขุดลอกร่องน้ำที่ประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ รวมถึงผลลัพธ์ที่ได้จากากรดำเนินงานศึกษาของโครงการ ทั้งนี้ที่ปรึกษาต้องนำเสนอแผนการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้คณะกรรมการกำกับการทำงานและตรวจรับงานที่ปรึกษาพิจารณาอนุมัติก่อนดำเนินการ

(4) วางกรอบความร่วมมือกับกรมเจ้าท่าในการศึกษาวิเคราะห์ปัญหาการตกตะกอน และออกแบบรูปตัดการขุดลอกร่องน้ำเศรษฐกิจ และร่องน้ำสำคัญอื่นๆ ในประเทศไทย"

ตามความต้องการที่แสดงข้างต้น ขอบเขตโดยรวมของงานถ่ายทอดเทคโนโลยีจึงเป็นการถ่ายทอดเทคโนโลยีและองค์ความรู้ที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำสงขลาให้เจ้าหน้าที่กรมเจ้าท่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับร่องน้ำแห่งอื่นในอนาคต

1.4 องค์ประกอบของรายงาน

เนื้อหาที่แสดงในรายงานฉบับสมบูรณ์มี 8 บท ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ เนื้อหาที่แสดงเป็นข้อมูลด้านการบริหารโครงการ แบ่งเป็น 6 ข้อย่อย ได้แก่ (1) ความเป็นมา (2) วัตถุประสงค์ (3) ขอบเขตการดำเนินงาน (4) องค์ประกอบของรายงาน (5) การตรวจสอบความครบถ้วนของงาน และ (6) บทสรุปท้ายบท เนื้อหาที่แสดง 3 ข้อแรกมีลักษณะเป็นกรอบ

การดำเนินงานทั้งโครงการ เนื้อหาข้อ (4) เป็นการให้ภาพรวมของเนื้อหาที่ปรากฏในรายงานทั้งฉบับใน ขณะที่เนื้อหาข้อ (5) กับข้อ (6) เป็นเครื่องมือช่วยให้การตรวจสอบและการทำความเข้าใจเนื้อหาทำได้ง่ายขึ้น

บทที่ 2 ข้อมูลร่องน้ำสงขลาและปัญหาที่ต้องการแก้ไข เนื้อหาที่แสดงเป็นข้อมูลพื้นฐานของร่องน้ำสงขลา กับการกำหนดประเด็นปัญหาที่ต้องการศึกษาและแก้ไข แบ่งเป็น 8 ส่วน เริ่มจาก (1) ข้อมูลจำเพาะของร่องน้ำสงขลา ต่อด้วย (2) ประวัติการพัฒนาร่องน้ำ (3) เรือที่ใช้ร่องน้ำ (4) ข้อกำหนดการนำเรือผ่านร่องน้ำ (5) สถิติการขุดลอก (6) สถิติอุบัติเหตุ เพื่อประมวลสรุปเป็นส่วนที่ (7) ปัญหาที่ต้องการแก้ไขจากนั้นเนื้อหาส่วนที่ (8) เป็นบทสรุปท้ายบท ทั้งหมดนี้เพื่อนำไปกำหนดขอบเขตปัญหารวมถึงขอบเขตข้อมูลทุติยภูมิ-ข้อมูลปฐมภูมิที่ต้องศึกษารวบรวม

บทที่ 3 การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ เนื้อหาที่แสดงแบ่งเป็น 6 ส่วน เริ่มจาก (1) รายงานการศึกษาร่องน้ำสงขลาในอดีต (2) ข้อมูลลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (3) ข้อมูลอุทกวิทยา (4) ข้อมูลอุทกศาสตร์ (5) ข้อมูลลมและคลื่นและ (6) บทสรุปท้ายบท ซึ่งเมื่อมีข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องครบถ้วนแล้ว งานที่ดำเนินการลำดับถัดไปเป็นงานศึกษารวบรวมข้อมูลภาคสนามเพื่อเติมเต็มและทวนสอบข้อมูลที่จะใช้ในการศึกษาวิเคราะห์อย่างละเอียด

บทที่ 4 การศึกษารวบรวมข้อมูลภาคสนาม เนื้อหาที่แสดงแบ่งเป็น 5 รายการ ได้แก่ (1) งานสำรวจค่าระดับน้ำ (2) งานสำรวจระดับพื้นท้องน้ำ (3) งานเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตะกอนพื้นท้องน้ำ (4) งานสำรวจเส้นเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลาและ (5) บทสรุปท้ายบท ข้อมูลที่ได้จากงานศึกษารวบรวมข้อมูลภาคสนามกับข้อมูลทุติยภูมิที่รวบรวมก่อนหน้านี้จะนำไปใช้ในบทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ

บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ เนื้อหาที่แสดงแบ่งเป็น 5 ส่วน เริ่มจาก (1) แนวความคิด ต่อด้วย (2) การพัฒนาแบบจำลองชลศาสตร์ (3) การพัฒนาแบบจำลองคุณลักษณะคลื่น (4) การวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำและ (5) บทสรุปท้ายบท ผลลัพธ์ของงานศึกษาเป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่จะนำไปใช้ออกแบบร่องน้ำเสนอในบทที่ 6

บทที่ 6 การออกแบบร่องน้ำสงขลา เนื้อหาที่แสดงแบ่งเป็น6ส่วน ได้แก่ (1) หลักการออกแบบร่องน้ำ (2) แนวคิดการออกแบบ (3) การออกแบบร่องน้ำสงขลา ร่องนอก (4) การออกแบบร่องน้ำสงขลา ร่องใน (5) การพยากรณ์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำที่ออกแบบและ (6) บทสรุปท้ายบท ผลการศึกษาวิเคราะห์ในบทที่ 5 กับบทที่ 6 เป็นเนื้อหาหลักที่นำไปใช้เป็นวัตถุดิบในกิจกรรมถ่ายทอดเทคโนโลยีเสนอในบทที่ 7

บทที่ 7 การถ่ายทอดเทคโนโลยี เนื้อหาที่แสดงแบ่งเป็น 4ส่วน ได้แก่ (1) การถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยวิทยากรจาก Deltares (2) การเตรียมไฟล์ข้อมูล (3) การศึกษาและวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำและ (4) บทสรุปท้ายบท การถ่ายทอดเทคโนโลยีเป็นกิจกรรมสุดท้ายของโครงการซึ่งนำไปสู่บทสรุปเสนอในบทที่ 8

บทที่ 8 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ เนื้อหาที่แสดงแบ่งเป็น 2 ส่วน เนื้อหาส่วนแรกเป็นสรุปผลการศึกษาตลอดโครงการ เนื้อหาส่วนที่ 2 เป็นข้อเสนอแนะกรมเจ้าท่าครอบคลุมทั้งประเด็น

ที่เกี่ยวกับร่องน้ำสงขลา และกรอบความร่วมมือในการศึกษาวิเคราะห์ปัญหาการตกตะกอน และออกแบบรูปตัดการขุดลอกร่องน้ำเศรษฐกิจ และร่องน้ำสำคัญอื่น ๆ ในประเทศไทย

นอกจากเนื้อหารายงานทั้ง 8 บทข้างต้น บริษัทที่ปรึกษาได้นำข้อมูลผลสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม กับผลวิเคราะห์ประเด็นต่าง ๆ มาแสดงในภาคผนวก

1.5 การตรวจสอบความครบถ้วนของงาน

การตรวจสอบความสัมฤทธิ์ผลของงานเปรียบเทียบกับวัตถุประสงค์ของโครงการ และการตรวจสอบความครบถ้วนของงานที่ดำเนินการในโครงการเปรียบเทียบกับขอบเขตของงานดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1–1 พบว่าเป็นไปตามความต้องการของกรมเจ้าท่าที่ระบุในข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติทุกประการ

ตารางที่ 1 - 1 การตรวจสอบความครบถ้วนของงานตามข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติ

ความต้องการของกรมเจ้าท่า	เนื้อหารายงาน
วัตถุประสงค์ของโครงการ	
(1) ศึกษาวิเคราะห์กระบวนการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนทับถมในบริเวณร่องน้ำทางเดินเรือของท่าเรือสงขลา ทั้งร่องน้ำด้านนอกและด้านใน ทั้งทางด้านอุทกวิทยา สมุทรศาสตร์ การพัดพาของตะกอนทั้งที่มาจากน้ำท่าและตะกอนตามแนวชายฝั่ง โดยอาศัยหลักวิชาการที่เหมาะสม และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทันสมัยเชื่อถือได้มาใช้ประกอบการศึกษา	บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ
(2) ศึกษาและออกแบบร่องน้ำทางเดินเรือ ทั้งบริเวณร่องด้านนอกและด้านใน เพื่อประกันความลึกร่องน้ำตลอดระยะเวลาการใช้งานตามการออกแบบร่องน้ำ ทำให้สามารถประหยัดงบประมาณในการขุดลอก อีกทั้ง ช่วยให้การขุดลอกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถบำรุงรักษาร่องน้ำทางเดินเรือได้อย่างยั่งยืน	บทที่ 6 การออกแบบร่องน้ำ
(3) การดำเนินงานขุดลอกร่องน้ำทางเดินเรือ เป็นภารกิจที่ต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องเป็นประจำเพื่อรักษาความลึกร่องน้ำให้สามารถรองรับการเดินเรือได้อย่างสะดวก ปลอดภัย เรือสามารถสัญจรเข้า-ออก ร่องน้ำได้ตลอดระยะเวลาการใช้งานตามการออกแบบร่องน้ำ อย่างไรก็ดี ลักษณะการตกตะกอนทับถมพื้นท้องน้ำในบริเวณพื้นที่ชายฝั่ง โดยเฉพาะบริเวณปากร่องน้ำทางเดินเรือมีความเป็นพลวัตรสูง ปัจจัยต่าง ๆ ล้วนมีผลเกี่ยวข้องทำให้การตกตะกอนทับถมในร่องน้ำมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา จึงจำเป็นที่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานของกรมเจ้าท่าจะต้องได้รับการถ่ายทอดองค์ความรู้และฝึกอบรมให้สามารถดำเนินงานศึกษา และวิเคราะห์ลักษณะการตกตะกอนทับถมของร่องน้ำทางเดินเรือ ภายใต้ความร่วมมือด้านวิชาการและเทคโนโลยีกับผู้เชี่ยวชาญในระยะดำเนินการจริงอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การดำเนินการปรับปรุงรูปแบบการขุดลอกร่องน้ำครอบคลุมทุกร่องน้ำสำคัญและสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงได้อย่างเหมาะสมในอนาคต	บทที่ 7 การถ่ายทอดเทคโนโลยี กับบทที่ 8 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ
(4) เสริมสร้างและพัฒนาสมรรถนะเจ้าหน้าที่ของกรมเจ้าท่าให้สามารถใช้งานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบการวิเคราะห์และออกแบบร่องน้ำทางเดินเรือผ่านการฝึกอบรมตามหลักวิชาการ โดยมุ่งเน้นการถ่ายทอดเทคโนโลยี ทักษะ และองค์ความรู้ที่สำคัญให้แก่เจ้าหน้าที่ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ โดยศึกษากรณีตัวอย่างการดำเนินการขุดลอกร่องน้ำที่ใช้เทคโนโลยีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ออกแบบจริง ทั้งนี้ เพื่อเตรียมความพร้อมในการรองรับการดำเนินการพัฒนางานสำรวจออกแบบร่องน้ำเศรษฐกิจและร่องน้ำสำคัญทั้งหมดในอนาคต ผลจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบจำลองดังกล่าวช่วยให้สามารถกำหนดกระบวนการและกรอบเวลาของการสำรวจติดตาม ตรวจสอบ และปรับปรุงการออกแบบร่องน้ำให้เป็นไปอย่างมีระบบแบบแผน	บทที่ 7 การถ่ายทอดเทคโนโลยี

ความต้องการของกรมเจ้าท่า	เนื้อหารายงาน
เพื่อให้การดำเนินการขุดลอกสามารถรักษาร่องน้ำทางเดินเรือให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดงบประมาณ และช่วยพัฒนาการเดินเรือ และการขนส่งสินค้าทางน้ำให้เป็นไปอย่างยั่งยืน	
ขอบเขตของงาน	
1. งานจัดเตรียมข้อมูล	
1.1 วิเคราะห์ข้อมูลสถิติการขุดลอกร่องน้ำในบริเวณท่าเรือสงขลาในอดีต รวบรวมสถิติข้อมูลย้อนหลังการดำเนินการขุดลอกทั้งในเชิงปริมาณและขอบเขตพื้นที่ขุด รวมถึงตำแหน่งที่ทิ้งตะกอน ข้อมูลสถิติดังกล่าวจะใช้ในการตรวจสอบลักษณะตะกอนทับถมและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของร่องน้ำในแต่ละฤดูกาล ทั้งนี้ ยังขึ้นกับตำแหน่งพื้นที่และความถี่ในการขุดลอก	บทที่ 2 ข้อมูลจำเพาะร่องน้ำสงขลาและปัญหาที่ต้องการแก้ไข
1.2 จัดเตรียมแผนที่ความลึกพื้นท้องน้ำ (Bathymetric map) และแผนที่แสดงตำแหน่งของการตกตะกอนทับถม แผนที่ความลึกพื้นท้องน้ำและข้อมูลที่เกี่ยวข้องในบริเวณทะเลสาบสงขลาและท่าเรือสงขลา โดยรวบรวมข้อมูลเดิมจากแหล่งต่าง ๆ ที่มีชุดข้อมูลแผนที่ความลึกพื้นท้องน้ำให้นำมาซ้อนทับกับชุดข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของท่าเรือและชายฝั่งในบริเวณข้างเคียง เพื่อจัดเตรียมข้อมูลนำเข้าของความลึกพื้นท้องน้ำในรูปแบบเชิงกริดสำหรับการวิเคราะห์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลให้พิจารณาชุดแผนที่ข้างต้นร่วมกับข้อมูลขนาดตะกอนพื้นท้องน้ำ	บทที่ 3 การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ กับบทที่ 4 การสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม
1.3 วิเคราะห์ลักษณะการตกตะกอนทับถมร่องน้ำทางเดินเรือ โดยข้อมูลสถิติย้อนหลังของแผนที่ร่องน้ำในช่วงเวลาที่ต่างกันให้นำมาใช้วิเคราะห์เพื่อศึกษาอัตราการตกตะกอนรวมถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพพื้นท้องน้ำที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนทับถมในร่องน้ำ ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นท้องน้ำในบริเวณร่องน้ำทางเดินเรือจากข้อมูลแผนที่ร่องน้ำย้อนหลังจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ที่มาของแหล่งตะกอนที่ตกทับถมในร่องน้ำได้	บทที่ 3 การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ
1.4 ข้อมูลวิเคราะห์สภาพแวดล้อม ให้จัดเตรียมข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการตกตะกอนทับถมในร่องน้ำ ได้แก่ คลื่นนัยสำคัญ กำลังและทิศทางลม และพิสัยระดับน้ำขึ้น-ลง ในรูปของฐานข้อมูลย้อนหลังไม่น้อยกว่า 30 ปี โดยเป็นข้อมูลตรวจวัดคลื่น/ลมในบริเวณอ่าวไทย ข้อมูลดังกล่าวใช้ประกอบการวิเคราะห์สภาพคลื่นลมในบริเวณร่องน้ำทางเข้าท่าเรือสงขลา	บทที่ 3 การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ

ความต้องการของกรมเจ้าท่า	เนื้อหารายงาน
2. งานวิเคราะห์แบบจำลอง	
2.1 ให้ดำเนินการวิเคราะห์แบบจำลองชลศาสตร์ของไหล (ระดับน้ำขึ้น-ลง/กระแสน้ำ) เพื่อจำลองสภาพการไหลทางชลศาสตร์จากอิทธิพลน้ำขึ้น-ลงในบริเวณครอบคลุมพื้นที่ทะเลสาบสงขลาทั้งหมด ตลอดจนท่าเรือและทะเลเปิดในบริเวณใกล้เคียง โดยใช้แบบจำลองที่น่าเชื่อถือในระดับสากลและเปิดใช้โดยสาธารณะ ชนิดวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยผลการวิเคราะห์ต้องนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริงจากสถานีวัดระดับน้ำในพื้นที่ ภายหลังเปรียบเทียบแล้วให้นำมาจัดทำขอบเขตแบบจำลองครอบคลุมแผนที่เชิงกริด เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์แบบจำลองสภาพชลศาสตร์การไหลในพื้นที่ต่อไป ผลการวิเคราะห์แบบจำลองต้องสามารถนำเสนอเป็นภาพเคลื่อนไหว (Animation) เพื่อชี้แจงผลการวิเคราะห์ได้อย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย	บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ ข้อ 5.2
2.2 ให้ดำเนินการจัดทำแผนที่ค่าความเค้นพื้นท้องน้ำ (Scaled shear stress) จากข้อมูลแผนที่ชนิดตะกอนที่มีเพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวิเคราะห์ลักษณะการตกตะกอนที่พิจารณาจากอิทธิพลของชลศาสตร์การไหลของกระแสน้ำในร่องน้ำ ทั้งนี้ แผนที่ค่าความเค้นพื้นท้องน้ำจะได้นำไปใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลการวิเคราะห์สภาพการเปลี่ยนแปลงร่องน้ำได้จากข้อมูลสถิติย้อนหลังในข้อ 1.3	บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำข้อ 5.4
2.3 ในกรณีน้ำหลากซึ่งมีผลต่อการตกตะกอนในร่องน้ำอย่างมีนัยสำคัญ จึงให้ดำเนินการทดสอบอิทธิพลการไหลของน้ำท่าในช่วงฤดูน้ำหลากจากการวิเคราะห์ผลแบบจำลองด้วย	บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ ข้อ 5.4
2.4 ให้นำผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองชลศาสตร์ของไหลมาประกอบการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองวิเคราะห์การพัดพาของตะกอน โดยกำหนดให้มีขอบเขตวิเคราะห์ครอบคลุมบริเวณท่าเรือ ร่องน้ำทางเดินเรือชายฝั่งโดยครอบคลุมทะเลเปิดในบริเวณใกล้เคียงเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของสภาพคลื่นลม กระแสน้ำในพื้นที่ที่มีผลต่อการพัดพาของตะกอน ช่วยให้สามารถอธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพื้นท้องน้ำจากการตกทับถมของตะกอนที่ถูกพัดพาตามแนวชายฝั่ง และจากคลื่นลม อันจะช่วยยืนยันแหล่งตะกอนหลักที่เป็นต้นเหตุและลักษณะการตกตะกอนทับถมในร่องน้ำทางเดินเรือของท่าเรือสงขลาได้ ทั้งนี้ แบบจำลองการพัดพาของตะกอนจะต้องมีความน่าเชื่อถือและเปิดใช้โดยสาธารณะ และต้องสามารพิจารณาครอบคลุมปัจจัยสำคัญต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตกตะกอนทับถมของร่องน้ำในพื้นที่ศึกษาได้ อนึ่ง ที่ปรึกษาจะต้องนำเสนอคุณสมบัติของแบบจำลองต่างๆ ที่จะใช้ในโครงการให้คณะกรรมการกำกับการทำงานและตรวจรับงานที่ปรึกษาพิจารณาอนุมัติก่อนจึงจะนำมาใช้ได้	บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำข้อ 5.1 ถึงข้อ 5.4

ความต้องการของกรมเจ้าท่า	เนื้อหารายงาน
2.5 ให้นำแบบจำลองดังกล่าวซึ่งได้กำหนดข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สอดคล้องกับสภาพร่องน้ำทางเดินเรือของพื้นที่ศึกษาได้อย่างครบถ้วนเหมาะสมแล้ว มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อออกแบบ ปรับปรุงการขุดลอกร่องน้ำทางเดินเรือ โดยการจำลองสภาพปัจจัยทางชลศาสตร์และปริมาณการพัดพาของตะกอนที่ตกทับถมร่วมกับการออกแบบทางเลือกการขุดลอกร่องน้ำ เพื่อพิจารณารูปแบบร่องน้ำที่เหมาะสมที่สุดตามวัตถุประสงค์ต่อไป	บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ ข้อ 5.4กับบทที่ 6 การออกแบบร่องน้ำ
3. งานออกแบบรายละเอียดและข้อเสนอแนะ	
ให้นำผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ทั้งสถิติข้อมูลย้อนหลังของแผนที่ความลึกร่องน้ำ ปริมาณตะกอนขุดลอก ข้อมูลสภาพชลศาสตร์ และผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบและปรับแก้เพื่อนำเสนอทางเลือกการออกแบบรูปหน้าตัดการขุดลอกร่องน้ำ และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ให้นำมาจัดทำเป็นสรุปรายงานผลครอบคลุมตลอดทั้งกระบวนการศึกษา และข้อเสนอแนะของรูปแบบรูปตัดการขุดลอกร่องน้ำที่เหมาะสม โดยนำเสนอรายงานตามจำนวนชุดที่กำหนด	บทที่ 6 การออกแบบร่องน้ำ

1.6 บทสรุปท้ายบท

- เนื้อหาที่แสดงในบทที่ 1 บทนำ เป็นข้อมูลด้านการบริหารโครงการกับภาพรวมของเนื้อหาที่ปรากฏในรายงาน ได้แก่ วัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา องค์ประกอบของรายงาน และการตรวจสอบความครบถ้วนของงาน
- การดำเนินโครงการมีวัตถุประสงค์ 4 ข้อ คือ (1) ศึกษาวิเคราะห์กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนในบริเวณร่องน้ำทางเดินเรือของท่าเรือสงขลา (2) ศึกษาและออกแบบร่องน้ำทางเดินเรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขุดลอกร่องน้ำ (3) สร้างกระบวนการดำเนินงานศึกษาวิเคราะห์ร่องน้ำอย่างต่อเนื่องและ (4) เสริมสร้างและพัฒนาศักยภาพเจ้าหน้าที่กรมเจ้าท่าให้สามารถใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์วิเคราะห์และออกแบบร่องน้ำ
- ขอบเขตการศึกษามี 4 ด้าน ประกอบด้วย (1) งานจัดเตรียมข้อมูล (2) งานวิเคราะห์แบบจำลองคณิตศาสตร์ (3) งานออกแบบรายละเอียดและข้อเสนอแนะ และ (4) งานถ่ายทอดเทคโนโลยีการออกแบบร่องน้ำ
- เนื้อหาที่แสดงในรายงานฉบับสมบูรณ์มี 8 บท เริ่มจากข้อมูลด้านการบริหารโครงการ ต่อด้วยการศึกษาข้อมูลจำเพาะของร่องน้ำสงขลารวมถึงลักษณะปัญหาที่ต้องการแก้ไข การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิที่เกี่ยวข้อง การศึกษารวบรวมข้อมูลภาคสนาม การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้ศึกษาวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำ การออกแบบร่องน้ำเพื่อเป็นข้อเสนอแนะรูปแบบ/รูปหน้าตัดการขุดลอกร่องน้ำที่เหมาะสม การถ่ายทอดเทคโนโลยี และสรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ
- การตรวจสอบผลสัมฤทธิ์ของงานพบว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนด การตรวจสอบความครบถ้วนของงานเปรียบเทียบกับข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติพบว่าครบถ้วนทุกรายการ

บทที่ 2 ข้อมูลร่องน้ำสงขลาเบื้องต้น และปัญหาที่ต้องการแก้ไข

บทที่ 2
ข้อมูลร่องน้ำสงขลาเบื้องต้น
และปัญหาที่ต้องการแก้ไข

เนื้อหาที่แสดงในรายงานบทที่ 2 ข้อมูลร่องน้ำสงขลาเบื้องต้นและปัญหาที่ต้องการแก้ไข เริ่มจาก “ข้อมูลจำเพาะของร่องน้ำสงขลา” เพื่อให้ทราบแนว ขนาด รัศมีโค้ง ฯลฯ สำหรับนำไปเปรียบเทียบกับคำแนะนำการออกแบบร่องน้ำตามมาตรฐาน ต่อด้วย “ประวัติการพัฒนาร่องน้ำ” เพื่อให้ทราบลำดับการดำเนินงานที่ผ่านมาจากนั้นเป็น “ข้อกำหนดการใช้ร่องน้ำ” กับ “ข้อมูลผู้ใช้ร่องน้ำ” เพื่อให้ทราบข้อจำกัดกับขนาดเรือใหญ่สุดที่เดินผ่านร่องน้ำจริงทั้งร่องในและร่องนอก

การศึกษาลำดับถัดมาเกี่ยวข้องกับ “สถิติการขุดลอก” “สถิติอุบัติเหตุ” เพื่อนำไปประมวลสรุปเป็น “ปัญหาที่ต้องการแก้ไข” สำหรับนำไปกำหนดประเภทข้อมูลที่ต้องศึกษารวบรวมและวิเคราะห์ต่อไป จากนั้นเนื้อหาส่วนสุดท้าย “บทสรุปท้ายบท” เป็นการสรุปเนื้อหาสำคัญของบท

2.1 ข้อมูลจำเพาะของร่องน้ำสงขลา

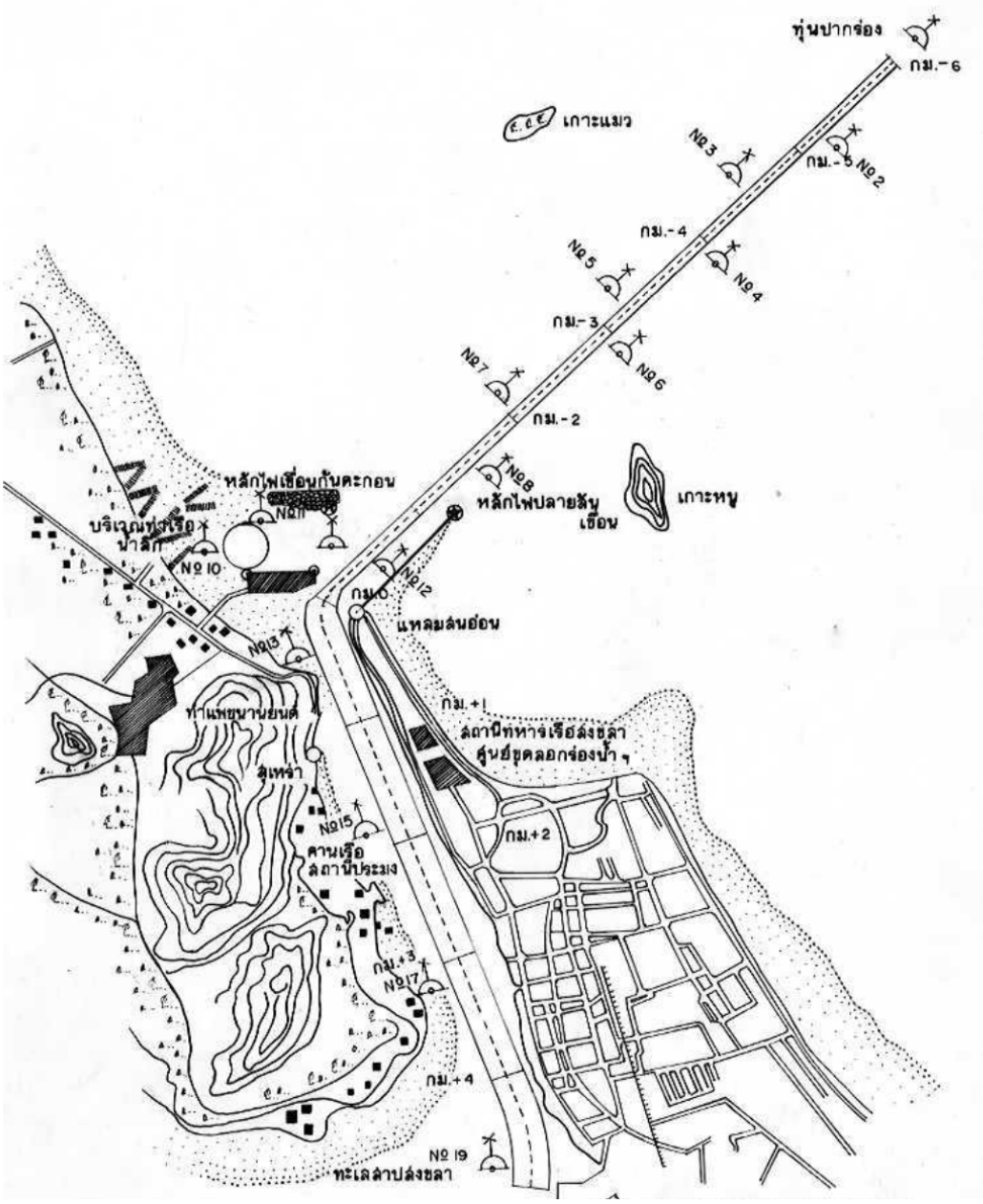
ร่องน้ำสงขลาเป็นร่องน้ำขนาดใหญ่อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบของศูนย์พัฒนาและบำรุงรักษาทางน้ำที่ 4 (สงขลา) แบ่งเป็น 2 ตอน คือ ร่องนอก กับร่องใน โดยตามข้อมูลแสดงใน**ตารางที่ 2–1** กับ**รูปที่ 2–1** ร่องนอกกว้าง 120 เมตร ยาว 6 กิโลเมตร ออกแบบให้ระดับก้นร่องต่ำกว่าระดับน้ำลงต่ำสุด 9 เมตร ส่วนร่องในกว้าง 120 – 200 เมตร ยาว 6.2 กิโลเมตร ออกแบบให้ระดับก้นร่องต่ำกว่าระดับน้ำลงต่ำสุด 7 เมตร

ถึงแม้การออกแบบกำหนดความลึกร่องนอกกับร่องในที่ 9 เมตร กับ 7 เมตร จากระดับน้ำลงต่ำสุด ตามลำดับ แต่พบในแผนที่ของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ แผ่นที่ 229 ท่าเรือสงขลา ว่าความลึกร่องน้ำบางบริเวณต่ำกว่าค่าที่ประกาศ (ดู**รูปที่ 2–2**)

ตารางที่ 2 - 1 ข้อมูลจำเพาะร่องน้ำสงขลา

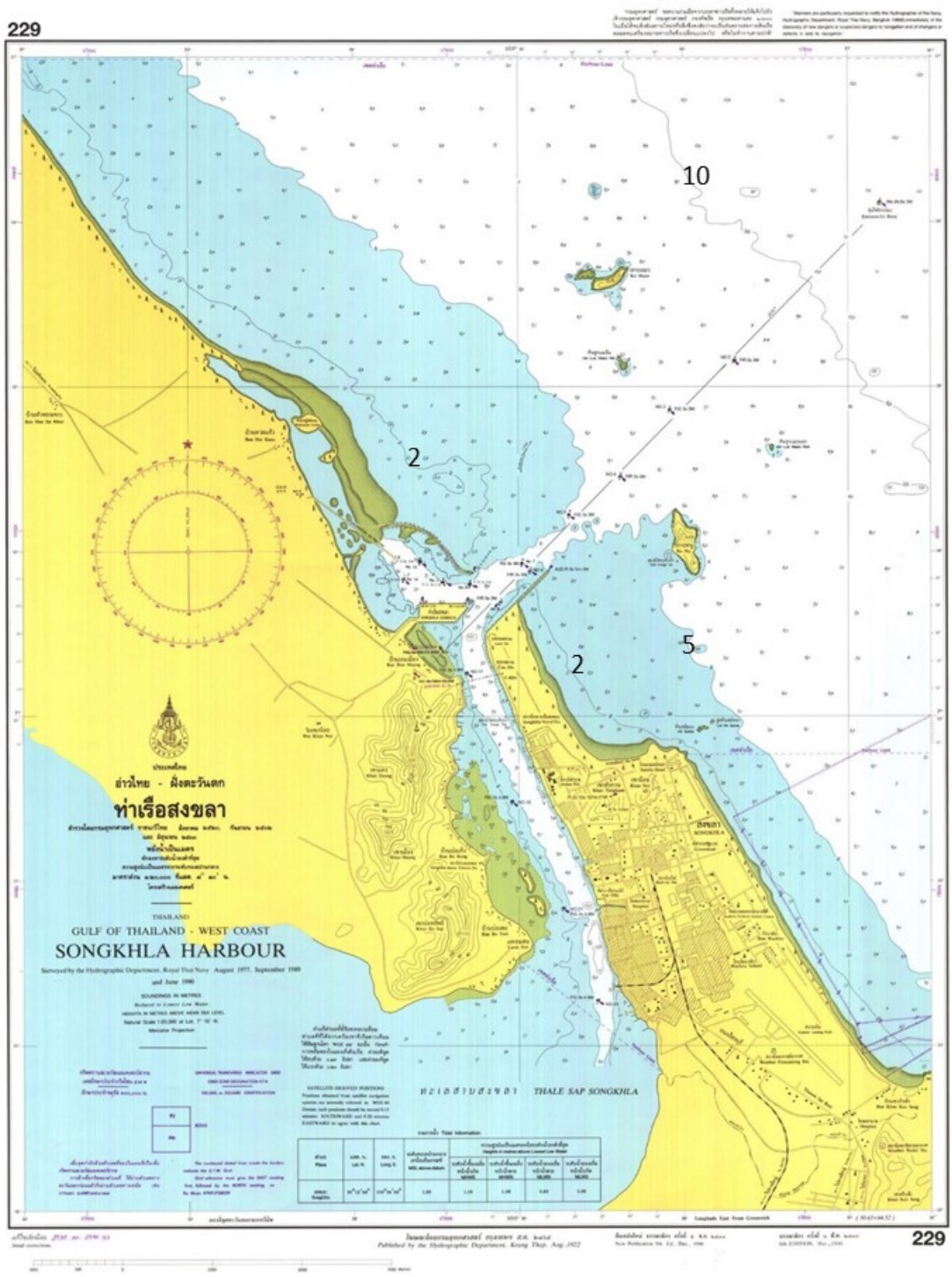
รายการ	ขนาดร่องน้ำ			อัตราตกตะกอน (เมตร/ปี)	เนื้อดินที่ขุด (ลบ.ม./ปี)	ลักษณะวัสดุพื้นท้องน้ำ
	กว้าง (เมตร)	ยาว (กิโลเมตร)	ลึก LLW (เมตร)			
ร่องนอก	120	6.0	9	1.5	977,500	ทราย
ร่องใน	120 - 200	6.2	7	0.5	496,000	โคลน-ทราย

ที่มา: http://www.md.go.th/md/index.php/2014-01-19-05-02-28/2014-01-19-05-12-45/-89/743--3-4-5-6-/file [online] access 26 พ.ย.59



ที่มา: http://www.md.go.th/md/index.php/2014-01-19-05-02-28/2014-01-19-05-12-45/-4-1/1223-56songkla/file [online] access 26 พ.ย.59

รูปที่ 2 - 1 แผนที่ร่องน้ำสงขลา



ที่มา: กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ, แผนที่เดินเรือแผนที่ 229 ท่าเรือสงขลา

รูปที่ 2 - 2 แผนที่ของกรมอุทกศาสตร์กองทัพเรือแผ่นที่ 229 ท่าเรือสงขลา

การตรวจสอบแผนที่ร่องน้ำสงขลา “ร่องนอก”ของกองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า ตามแสดงใน**รูปที่ 2–3** กับ**ตารางที่ 2–2** พบว่าร่องนอกระยะทาง 6 กิโลเมตร กว้าง 120 เมตร ประกอบด้วยทางตรงและทางโค้ง ดังต่อไปนี้[1]

- ทางตรงระหว่างทุ่นปากร่อง (จุด O) ถึงจุดเริ่มโค้งที่ 1 (PC1) ระยะทาง4,182เมตร
- ทางโค้งระหว่างจุด PC1 ถึงจุดเริ่มเข้าทางตรงโค้งที่ 1 (PT1) รัศมีโค้ง994 เมตร ระยะทาง 335เมตร
- ทางตรงระหว่างจุด PT1 ถึงจุดเริ่มโค้งที่ 2 (PC2) ระยะทาง 587เมตร
- ทางโค้งระหว่างจุด PC2 ถึงจุดเริ่มเข้าทางตรงโค้งที่ 2 (PT2) รัศมีโค้ง 424 เมตร ระยะทาง 198 เมตร
- ทางตรงระหว่างจุด PT2 ถึงจุดเริ่มโค้งที่ 3 (PC3) ระยะทาง 259เมตร
- ทางโค้งระหว่างจุด PC3 ถึงจุดเริ่มเข้าทางตรงโค้งที่ 3 (PT3) รัศมีโค้ง 250 เมตร ระยะทาง 171 เมตร
- ทางตรงระหว่างจุด PT3 ถึงจุดสุดท้าย (จุด E) ระยะทาง 269เมตร

สำหรับร่องใน การตรวจสอบแผนที่ร่องน้ำของกองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า ตามแสดงใน**รูปที่ 2–3** กับ**ตารางที่ 2–3** พบว่าร่องในระยะทาง 6.2 กิโลเมตร กว้าง 120 – 200 เมตร[2] ประกอบด้วยทางตรงและทางโค้ง ดังต่อไปนี้

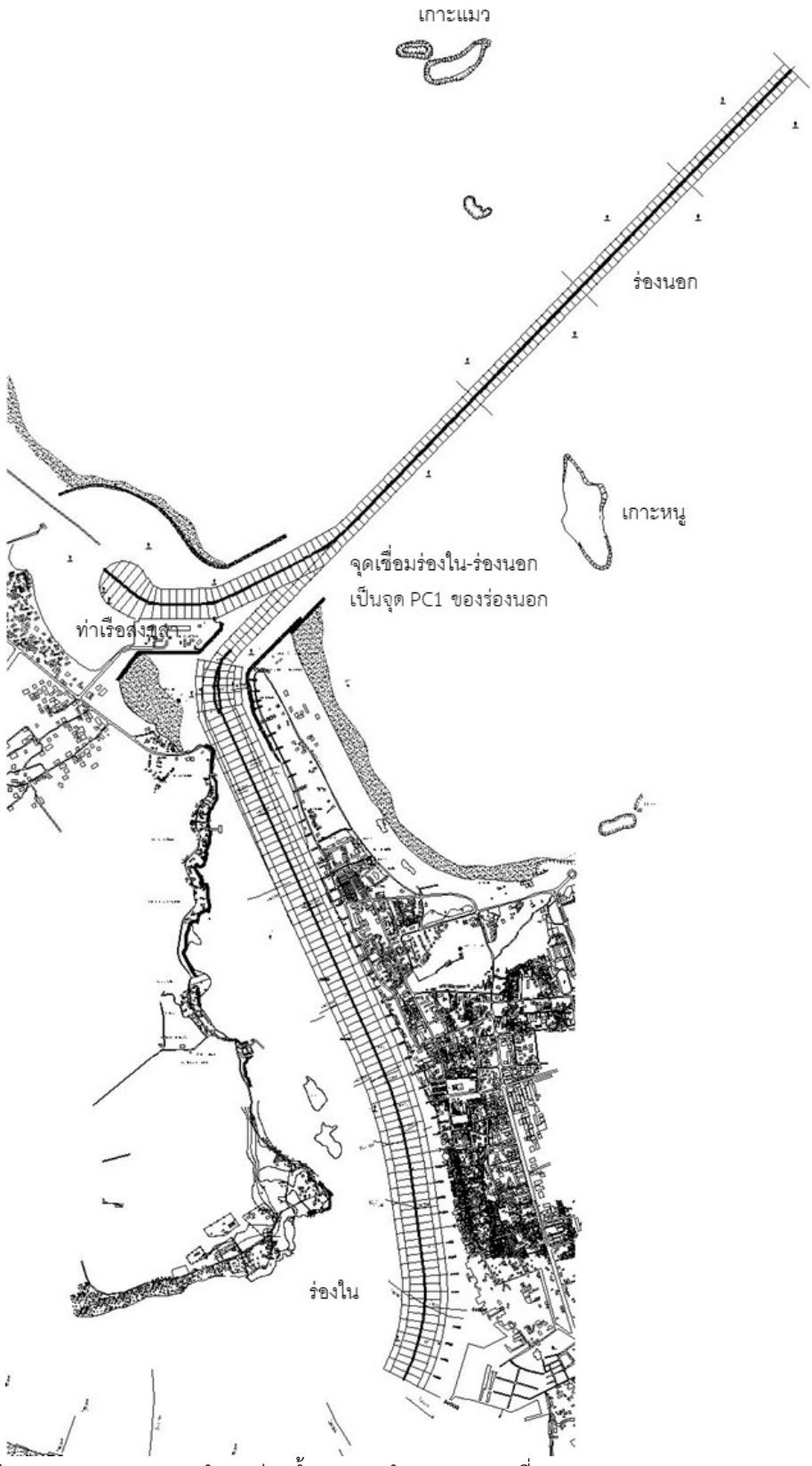
- ทางตรงระหว่างจุด PC1 ของร่องนอก ถึงจุด PC1 ของร่องใน ระยะทาง 1,114 เมตร
- ทางโค้งระหว่างจุด PC1 ถึงจุด PT1 รัศมีโค้ง 856 เมตร ระยะทาง 311 เมตร
- ทางตรงระหว่างจุด PT1 ถึงจุด PC2 ระยะทาง 2,458 เมตร
- ทางโค้งระหว่างจุด PC2 ถึงจุด PT2 รัศมีโค้ง 2,995 เมตร ระยะทาง 797 เมตร
- ทางตรงระหว่างจุด PT2 ถึงจุด PC3 ระยะทาง 588 เมตร
- ทางโค้งระหว่างจุด PC3 ถึงจุด PT3 รัศมีโค้ง 1,286 เมตร ระยะทาง 846 เมตร

การตรวจสอบข้อมูลข้างต้นได้ข้อสรุปว่าการเดินเรือระหว่างแอ่งจอดเรือกับร่องนอกจะพบปัญหากระแสน้ำจากร่องในไหลตัดขวางทางเดินเรือ นอกจากนั้น พบว่าร่องนอก ระยะทาง 6 กิโลเมตร กว้าง 120 เมตร มีรัศมีโค้งของแนวกึ่งกลางร่องระหว่าง 250 – 994 เมตร กับมีระยะห่างระหว่างโค้งที่ต่อเนื่องกันระหว่าง 259 – 587 เมตร ส่วนร่องในระยะทาง 6.2 กิโลเมตร กว้าง 120 – 200 เมตร มีรัศมีโค้ง 856 – 2995 เมตร ส่วนระยะห่างระหว่างโค้งที่ต่อเนื่องกันอยู่ระหว่าง 588 – 2548 เมตร ค่าต่าง ๆ เหล่านี้ มีผลกระทบต่อความยากง่ายในการควบคุมเรือ บริษัทที่ปรึกษาจึงนำค่าที่ตรวจพบไปเปรียบเทียบกับร่องน้ำมาตรฐานเสนอในโอกาสต่อไป

---

[1] ระยะทางและรัศมีโค้งที่แสดงในคำบรรยายไม่แสดงค่าทศนิยม ค่าทศนิยม 3 ตำแหน่ง แสดงในตารางที่เกี่ยวข้อง สัญลักษณ์ที่ใช้ PC, PT หมายถึง Point of Curvature กับ Point of Tangent ตามลำดับ

[2] ช่วงต่อกับร่องนอกกว้าง 120 เมตร เท่ากับร่องนอก เมื่อผ่านเข้ามาตอนในที่ กม. 0+000 เพิ่มความกว้างเป็น 200 เมตร



ที่มา: ปรับปรุงจากแบบแสดงผลสำรวจร่องน้ำของกองสำรวจและแผนที่

รูปที่ 2 - 3 ร่องน้ำสงขลา ร่องใน - ร่องนอก

ตารางที่ 2 - 2 ข้อมูลแนวร่องน้ำสงขลา ร่องนอก

แนวร่องน้ำ	พิกัดจุดเริ่มต้น		พิกัดจุดสิ้นสุด		ระยะทาง (เมตร)	พิกัดจุดศูนย์กลางโค้ง		มุมโค้ง (องศา)	รัศมีโค้ง (เมตร)
	N	E	N	E		N	E		
O→PC1	803123.563	677650.639	800116.749	674744.451	4,181.729	-	-	-	-
PC1→PT1	800116.749	674744.451	799919.252	674475.834	334.988	800807.878	674029.392	19 18’ 0.67”	994.468
PT1→PC2	799919.252	674475.834	799655.655	673951.154	587.174	-	-	-	-
PC2→PT2	799655.655	673951.154	799610.480	673760.742	197.515	800034.937	673760.604	26.65612	424.547
PT2→PC3	799610.480	673760.742	799610.396	673502.075	258.667	-	-	-	-
PC3→PT3	799610.396	673502.075	799666.595	673343.913	171.162	799860.823	673501.994	39 09’ 37.81”	250.427
PT3→E	799666.595	673343.913	799837.429	673136.373	268.807	-	-	-	-
รวม					6,000.042				

หมายเหตุ: O หมายถึง จุดปากร่อง, PCn หมายถึง จุดเริ่มโค้งที่ n (point of curvature), PTn หมายถึง จุดเริ่มเข้าทางตรงของโค้งที่ n (point of tangent) และ E หมายถึง จุดสุดท้ายของร่องน้ำ (ปลายสุดของร่องน้ำสงขลา ร่องนอก)

ที่มา: ประมวลจากแผนที่แสดงแนวร่องน้ำ กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

ตารางที่ 2 - 3 ข้อมูลแนวร่องน้ำสงขลา ร่องใน

แนวร่องน้ำ	พิกัดจุดเริ่มต้น		พิกัดจุดสิ้นสุด		ระยะทาง (เมตร)	พิกัดจุดศูนย์กลางโค้ง		มุมโค้ง (องศา)	รัศมีโค้ง (เมตร)
	N	E	N	E		N	E		
O → PC1	800116.749	674744.451	799222.767	673894.222	1,233.731	-	-	-	-
PC1 → PT1	799222.767	673894.222	798913.124	673896.263	311.385	799073.496	674737.513	20 49' 57.3"	856.400
PT1 → PC2	798913.124	673896.263	796675.364	674912.833	2,457.841	-	-	-	-
PC2 → PT2	796675.364	674912.833	795914.538	675142.619	797.120	795436.731	672186.148	15 15' 0.5"	2994.832
PT2 → PC3	795914.538	675142.619	795331.984	675222.683	588.030	-	-	-	-
PC3 → PT3	795331.984	675222.683	794510.160	675103.571	845.571	795095.590	673959.026	49 58' 22.4"	1285.578
รวม					6,233.678				

หมายเหตุ:

1. จุด O หมายถึง จุด PC1 ของร่องนอก ร่องน้ำระหว่างจุด O ถึง PC1 เป็นช่วงเปลี่ยนผ่านความกว้างร่องจาก 120 เมตร เป็น 200 เมตร
2. PCn หมายถึง จุดเริ่มโค้งที่ n (point of curvature), PTn หมายถึง จุดเริ่มเข้าทางตรงของโค้งที่ n (point of tangent)

ที่มา: ประมวลจากแผนที่แสดงแนวร่องน้ำ กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

2.2 ประวัติการพัฒนาร่องน้ำ

ร่องน้ำสงขลามีความลึกน้ำตามธรรมชาติ (ก่อนพัฒนาท่าเรือสงขลา) ดังแสดงใน**รูปที่ 2-4**[3] ประมาณ 5 เมตร ในขณะที่โครงการพัฒนาท่าเรือสงขลาซึ่งดำเนินการระหว่างปี 2528 – 2531 เพิ่มความลึกร่องน้ำเป็น 9 เมตร กับเพิ่มเป็น 10 เมตร บริเวณแอ่งท่าเรือ โดยพร้อมกับการขุดลอกร่องน้ำก็มีการก่อสร้างโครงสร้างชายทะเล ดังแสดงใน**รูปที่ 2–5** ประกอบด้วยการถมทะเลพื้นที่ประมาณ 66 ไร่ เพื่อใช้เป็นท่าเรือสงขลา การก่อสร้างเขื่อนกันทรายและคลื่นด้านทิศเหนือยาว 500 เมตร และการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นด้านทิศใต้ยาว 900 เมตร

หลังเปิดใช้งานในปี 2531 การดำเนินงานท่าเรือสงขลาพบปัญหาตะกอนตกทับถมในร่องน้ำและแอ่งจอดเรือตั้งแต่เปิดใช้งาน ในปี 2545 มีรายงานระบุว่าความลึกร่องน้ำสงขลาอยู่ที่ 6.5 เมตร ส่วนบริเวณหน้าท่ามีความลึกน้ำประมาณ 5 เมตร[4]

ในปี 2540 กรมเจ้าท่าได้จ้างกลุ่มบริษัทที่ปรึกษา[5] ทำงานศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสำรวจออกแบบเพื่อขยายการก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกสงขลา-ภูเก็ตซึ่งรวมถึงการแก้ปัญหาตะกอนที่ตกในร่องน้ำข้อเสนอบริษัทที่ปรึกษาเกี่ยวกับการแก้ปัญหาตะกอนที่ตกในร่องน้ำสงขลา คือ ต่อเขื่อนกันทรายและคลื่นด้านทิศเหนือยื่นออกไปในทะเลยาว 450 เมตร กับก่อสร้างรอบังคับกระแสน้ำด้านทิศเหนือกับทิศใต้ความยาว 50 เมตร กับ 150 เมตรตามลำดับ (องค์ประกอบของข้อเสนอแสดงใน**รูปที่ 2–6** เหตุผลที่อยู่เบื้องหลังแนวคิดนี้ คือ เพื่อเพิ่มความเร็วกระแสน้ำช่วงที่อยู่ในร่องให้สามารถพัดพาตะกอนออกไปพ้นร่องน้ำ อย่างไรก็ตาม หลังสิ้นสุดรายงานการศึกษาความเหมาะสม แนวคิดที่นำไปดำเนินการจริงมีเฉพาะเขื่อนกันคลื่นด้านทิศเหนือ ส่วนรอบังคับกระแสน้ำทั้งด้านทิศเหนือและทิศใต้ถูกตัดออกในขั้นตอนการศึกษาความเหมาะสม

ในปี 2545 Pacific Consultant International โดยเงินสนับสนุนจาก JICA ได้ทำงานศึกษาแผนแม่บทร่องน้ำชายฝั่งและการพัฒนาท่าเรือในประเทศไทย (The Master Plan Study for the Coastal Channels and Port Development in the Kingdom of Thailand) ซึ่งรวมถึงการศึกษาปัญหาตะกอนร่องน้ำสงขลามีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการปฏิบัติงานขุดลอกโดยไม่มีการแก้ไขทางกายภาพ

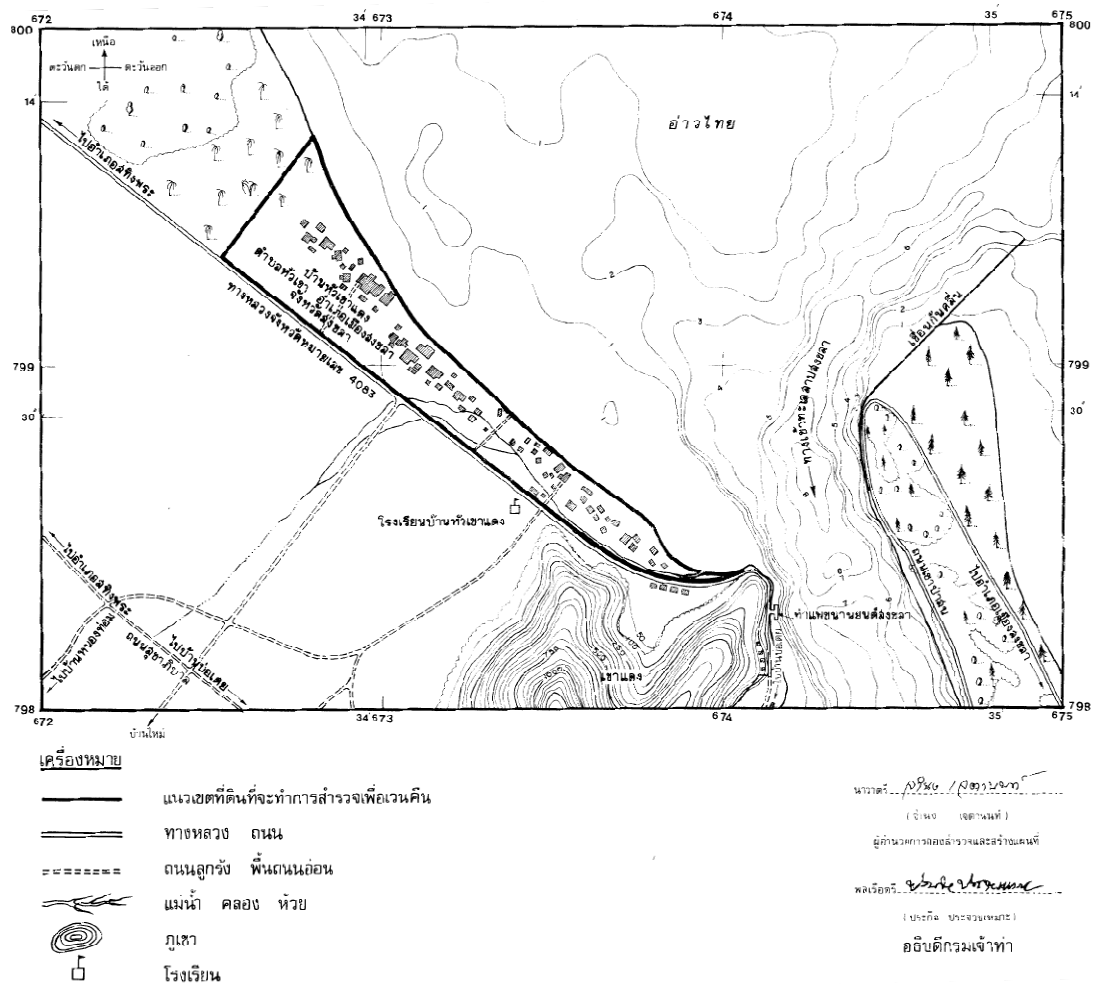
---

[3] เป็นแผนที่แนบท้ายพระราชกฤษฎีกากำหนดเขตที่ดินในบริเวณที่ที่จะเวนคืนในท้องที่ตำบลหัวเขา อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา พ.ศ. 2524 เล่มที่ 98 ตอนที่ 213 ราชกิจจานุเบกษา 28 ธันวาคม 2524

[4] Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for The Coastal Channels and Ports Development in The Kingdom of Thailand, หน้า 7-45

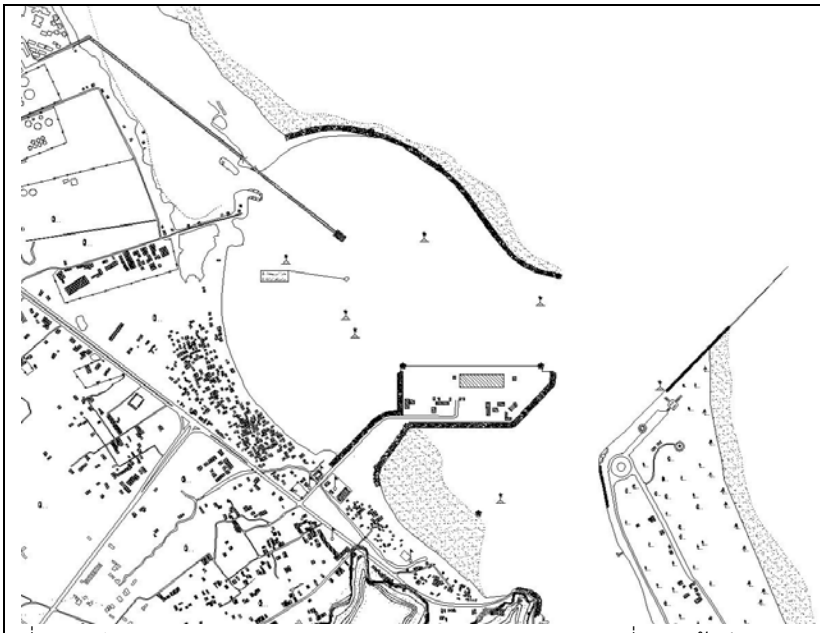
[5] กลุ่มบริษัทที่ปรึกษาที่ร่วมกันปฏิบัติงานประกอบด้วย บริษัท เซ้าท์อี๊สท์ เอเชีย เทคโนโลยี่ จำกัด บริษัท บางกอก เอ็นยิเนียริ่ง เซอร์วิส แอนด์ เทคโนโลยี จำกัด บริษัท แอสแพ็ค คอนซัลแตนทส์ จำกัด และบริษัท สก็อต วิลสัน เคอร์แพตทริก (ประเทศไทย) จำกัด

ระหว่างปี 2554 - 2557 กรมเจ้าท่าได้รับงบประมาณให้ศึกษาจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลาตอนล่าง ซึ่งมีข้อเสนอให้ขุดลอกร่องน้ำต่อจากร่องในเข้าไปในทะเลสาบสงขลา จากนั้นไม่มีงานศึกษาเพื่อปรับปรุงร่องน้ำใด ๆ อีก จนถึงงานศึกษาโครงการ



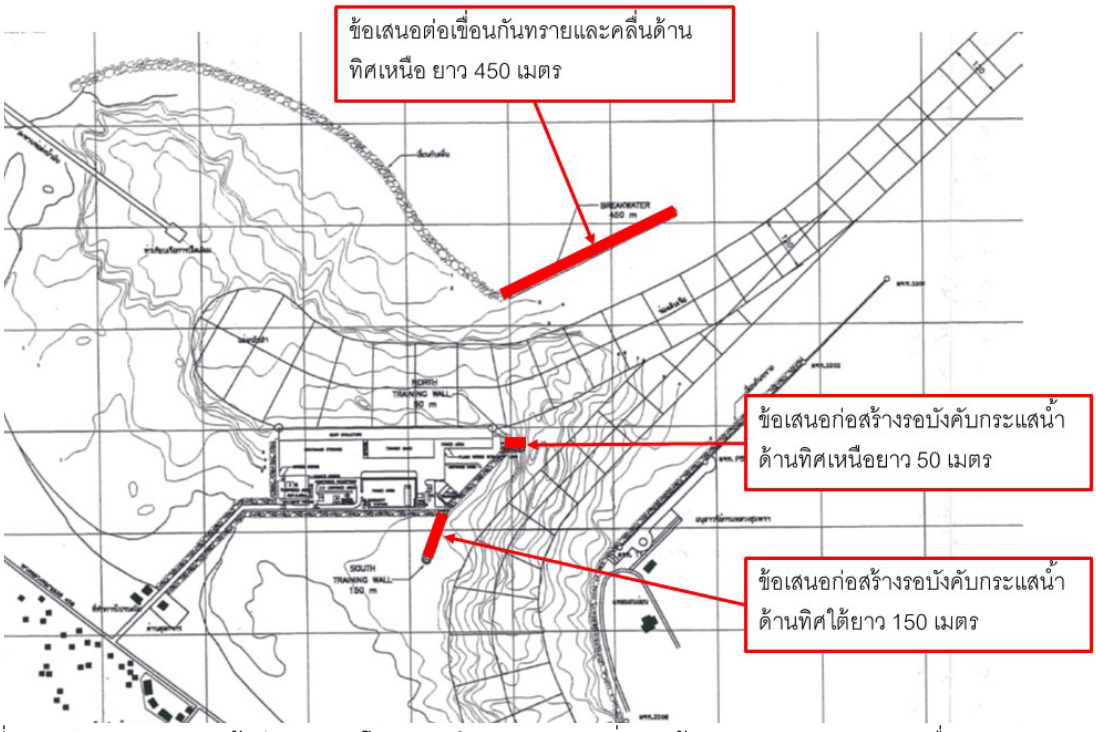
ที่มา: พระราชกฤษฎีกากำหนดเขตที่ดินในบริเวณที่ที่จะเวนคืนในท้องที่ตำบลหัวเขา อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา พ.ศ. 2524 เล่มที่ 98 ตอนที่ 213 ราชกิจจานุเบกษา 28 ธันวาคม 2524

รูปที่ 2 - 4 แผนที่แนบท้ายพระราชกฤษฎีกาเวนคืนที่ดินท่าเรือสงขลา



ที่มา: ปรับปรุงจากแบบแสดงผลสำรวจของกองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

รูปที่ 2 - 5 โครงสร้างชายทะเลโครงการพัฒนาท่าเรือสงขลา ปี 2531



ที่มา: ปรับปรุงจาก กรมเจ้าท่า, 2541, โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม และสำรวจออกแบบเพื่อขยายการก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกสงขลา-ภูเก็ต, หน้า 5-5

รูปที่ 2 - 6 ข้อเสนอวิธีแก้ปัญหาตะกอนร่องน้ำสงขลา งานศึกษาปี 2540

2.3 ข้อกำหนดการนำเรือผ่านร่องน้ำสงขลา

ข้อกำหนดการใช้ร่องน้ำสงขลาของกรมเจ้าท่าที่พิจารณา มี 2 ฉบับ คือ ข้อกำหนดให้ใช้เจ้าหน้าที่นำร่องของรัฐบาลซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติการเดินเรือในน่านน้ำไทยแก้ไขเพิ่มเติมพุทธศักราช 2477 กับระเบียบกรมเจ้าท่าว่าด้วยข้อกำหนด หลักเกณฑ์ การควบคุมและการขอใช้บริการนำร่องรัฐบาล เขตท่าเรือสงขลา พ.ศ. 2541

ตามกฎกระทรวงฉบับที่ 52 (พ.ศ. 2531) ซึ่งออกตามความในพระราชบัญญัติการเดินเรือในน่านน้ำไทยแก้ไขเพิ่มเติม พุทธศักราช 2477 (ฉบับที่ 2) มาตรา 4 (3) (5) (6) (7) และ (8) ประกาศเมื่อวันที่ 23 ธันวาคม 2531 กระทรวงคมนาคมโดยกรมเจ้าท่ากำหนดให้การเดินเรือภายในเขตท่าเรือสงขลา[6] เป็นเขตที่ต้องเดินเรือโดยใช้ผู้นำร่องของรัฐ เรือที่ได้รับยกเว้นมี 4 ประเภท ได้แก่ (1) เรือของรัฐบาลไทย (2) เรือของรัฐบาลต่างประเทศ (3) เรือที่มีความยาวตลอดลำต่ำกว่า 165 ฟุต (40.29 เมตร) และ (4) เรือชักธงไทยที่มีความยาวตลอดลำไม่เกิน 400 ฟุต (121.92 เมตร) ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ผู้นำร่องพิเศษ

ความในกฎกระทรวงข้างต้นมีการแก้ไขปรับปรุงหลายคราว ฉบับที่ใช้บังคับในปัจจุบัน (กฎกระทรวงกำหนดหลักเกณฑ์การนำร่องและอัตราค่าจ้างนำร่องในเขตท่าเรือศรีราชา เขตท่าเรือจังหวัดสงขลา และเขตท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด พ.ศ. 2553) กำหนดรายละเอียดคล้ายกัน ประเด็นที่กำหนดต่างกันมีเฉพาะวิธีจัดสรรค่าจ้างนำร่อง กับประเภท/ขนาดเรือที่ได้รับยกเว้น โดยมีการปรับปรุงประเภท/ขนาดเรือที่ได้รับยกเว้นประเภทที่ 4 เดิม กับเพิ่มประเภทเรือที่ได้รับยกเว้นประเภทที่ 5 ดังนี้[7]

“....

(4) เรือที่ชักธงไทยประเภทบรรทุกสินค้าล้อเลื่อนที่มีนายเรือสัญชาติไทยเป็นผู้ควบคุมเรือเดินเป็นประจำระหว่างท่าเรือภายในราชอาณาจักร

(5) เรือที่ชักธงไทยที่มีนายเรือสัญชาติไทยและมีขนาดความยาวตลอดลำไม่เกิน 450 ฟุต (137.20 เมตร) ในกรณีดังต่อไปนี้

(ก) เรือที่ใช้สำหรับทำการขนส่งของหรือคนโดยสารทางทะเลชายฝั่งในราชอาณาจักร

(ข) ...เรือเดินทะเลระหว่างประเทศที่เข้าออกในเขตท่าเรือจังหวัดสงขลา โดยนายเรือดังกล่าวได้เคยนำเรือลำนั้นเข้าออกในเขตท่าเรือจังหวัดสงขลาโดยใช้ผู้นำร่องมาแล้วไม่น้อยกว่าสี่เที่ยว และในกรณีที่นายเรือลำดังกล่าวเปลี่ยนเรือต้องนำเรือลำใหม่เข้าออกในเขตท่าเรือสงขลาโดยใช้ผู้นำร่องมาแล้วไม่น้อยกว่าหนึ่งเที่ยว”

---

[6] เขตที่กำหนดให้เดินเรือโดยมีผู้นำร่องด้านเหนือเป็นเส้นเล็งตรงจากฝั่งไปทางทิศตะวันออกตามแนวเส้นขนานละติจูดผ่านยอดเขาบนเกาะแมว ณ จุดซึ่งอยู่สูง 33 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง ด้านตะวันออกเป็นแนวลองจิจูด 100 องศา 37 ลิปดา ตะวันออก ด้านใต้เป็นเส้นเล็งตรงจากเสาหินบนแหลมสมิหลาไปทางทิศตะวันออกตามแนวเส้นขนานละติจูด ส่วนด้านในทะเลสาบเป็นเส้นเล็งตรงจากจุดพิกัดละติจูด 7 องศา 11 ลิปดา 33 ฟิลิปดา เหนือ ลองจิจูด 100 องศา 34 ลิปดา 58.5 ฟิลิปดา ตะวันออก ปลายแหลมสน ไปยังปากคลองสำโรงด้านใต้ริมฝั่งตะวันออกของทะเลสาบสงขลา

[7] ตัดความที่ไม่เกี่ยวกับท่าเรือสงขลาออก (กฎกระทรวงครอบคลุมทั้งเขตท่าเรือศรีราชา ท่าเรือสงขลา และท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุด)

สำหรับระเบียบกรมเจ้าท่าว่าด้วยข้อกำหนด หลักเกณฑ์ การควบคุมและการขอใช้บริการนำร่องรัฐบาลเขตท่าเรือจังหวัดสงขลา พ.ศ. 2541 มีข้อกำหนดเกี่ยวกับขนาดเรือที่ผ่านเข้า-ออกและเทียบท่าเขตท่าเรือจังหวัดสงขลา กับผ่านเข้าออกทะเลสาบสงขลา ดังนี้

ขนาดเรือผ่านเข้าออกและเทียบท่าเขตท่าเรือจังหวัดสงขลา

- ความยาวตลอดลำไม่เกิน 180 เมตร (590 ฟุต 7 นิ้ว)
- กว้างไม่เกิน 26 เมตร (85 ฟุต 4 นิ้ว)
- อัตรากินน้ำลึกสูงสุดไม่เกิน 7.5 เมตร (24 ฟุต 9 นิ้ว)

ขนาดเรือผ่านเข้าออกทะเลสาบสงขลา

- ความยาวตลอดลำไม่เกิน 110 เมตร (360 ฟุต 11 นิ้ว)
- อัตรากินน้ำลึกสูงสุดไม่เกิน 5.5 เมตร (18 ฟุต)

การพิจารณาขนาดเรือที่สามารถเดินผ่านร่องน้ำสงขลาให้ใช้ตัวเกณฑ์บวกน้ำเพื่อความปลอดภัย (safety adder) +5.80 เมตร นำมารวมกับความสูงน้ำที่แสดงในมาตราน้ำทำนายของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือเป็นอัตรากินน้ำลึกของเรือที่สามารถเดินผ่านร่องน้ำเวลานั้น ๆ โดยกำหนดให้ลดตัวเกณฑ์บวกน้ำเพื่อความปลอดภัยลง 0.6 เมตร (2 ฟุต) กรณีทะเลมีคลื่นลมจัด และให้อำนาจผู้อำนวยการกองนำร่องโดยความเห็นชอบของอธิบดีกรมเจ้าท่ามีอำนาจออกระเบียบ ข้อกำหนด หรือหลักเกณฑ์ของกองนำร่องเพิ่มเติมให้การนำร่องดำเนินไปด้วยความเรียบร้อยปลอดภัยเหมาะสมกับสภาพหรือสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลง

การศึกษาความข้างต้นได้ข้อสรุปว่าเจ้าหน้าที่นำร่องของรัฐ กับนายเรือไทยที่เดินเข้าออกร่องน้ำสงขลาเป็นประจำ (ผู้ถือใบอนุญาตนำร่องพิเศษตามความในกฎกระทรวงฉบับที่ 52) เป็นกลุ่มบุคลที่มีความเข้าใจปัญหาการเดินเรือผ่านเข้าออกร่องน้ำสงขลาเป็นอย่างดี กับทำให้ทราบข้อกำหนดขนาดเรือที่สามารถเดินผ่านร่องน้ำและค่าตัวเกณฑ์บวกน้ำเพื่อความปลอดภัย

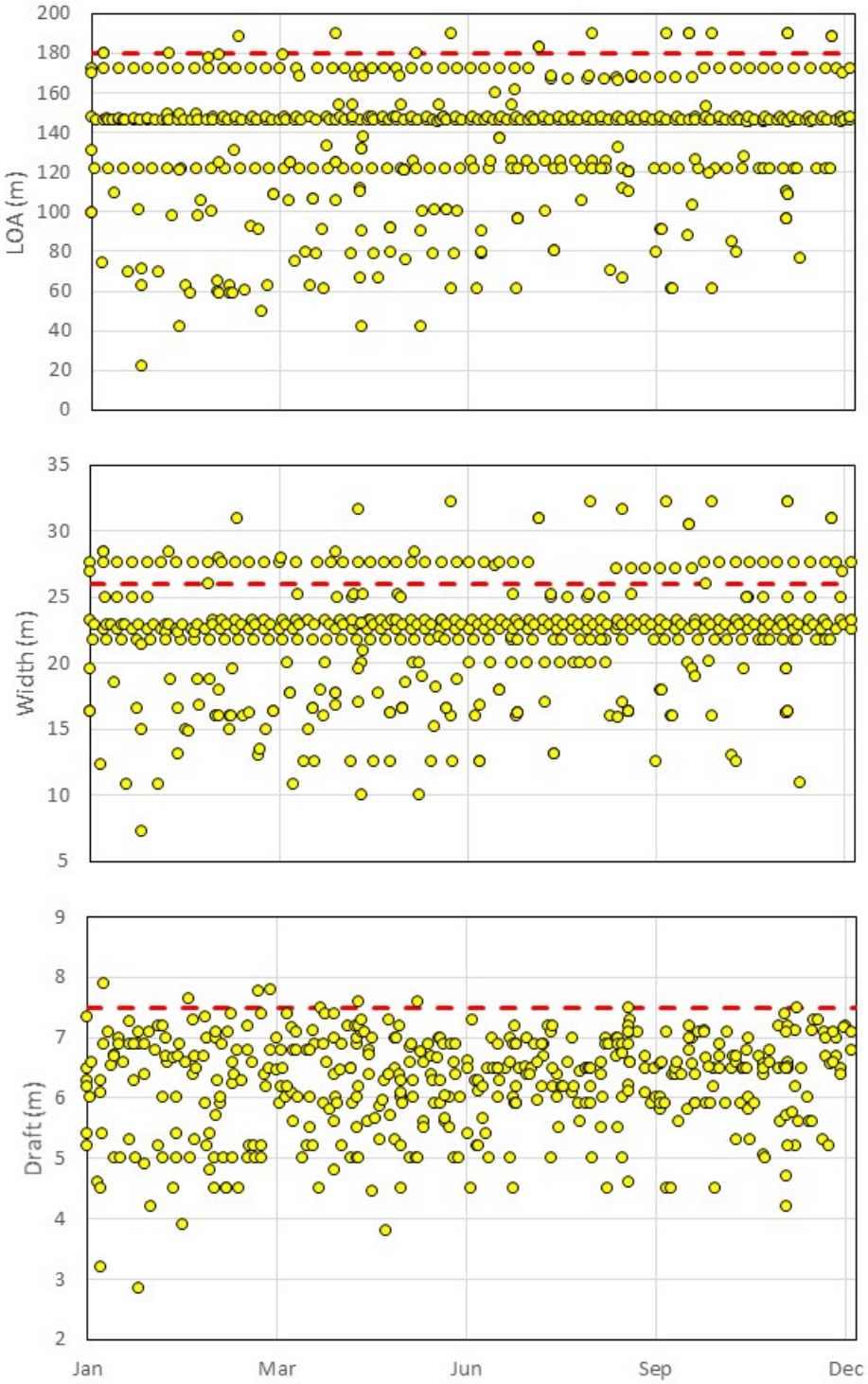
2.4 เรือที่ใช้ร่องน้ำ

การตรวจสอบข้อมูลขนาดเรือที่ใช้พื้นที่พบว่าควรแยกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่ 1 เรือเดินเข้าออกแอ่งจอดเรือท่าเรือสงขลาซึ่งเดินผ่านเฉพาะร่องนอก กับส่วนที่ 2 เรือเดินเข้าทะเลสาบสงขลาซึ่งต้องเดินผ่านทั้งร่องในและร่องนอก

เรือที่เดินเข้าออกแอ่งจอดเรือท่าเรือสงขลามี 3 กลุ่ม คือ กลุ่มเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลา ส่วนใหญ่เป็นเรือเดินทะเลระหว่างประเทศ กลุ่มเรือเดินเข้าออกท่าเรือคลังปิโตรเลียมของ ปตท. ส่วนใหญ่เป็นเรือบรรทุกผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และกลุ่มเรือเดินเข้าออกท่าเรือของ ปตท. สผ. ส่วนใหญ่เป็นเรือให้บริการแท่นขุดเจาะสำรวจและผลิตปิโตรเลียมในทะเล โดยในบรรดาเรือทั้ง 3 กลุ่ม เรือที่เดินเข้าออกท่าเรือสงขลามีขนาดใหญ่ที่สุดการตรวจสอบข้อมูลจำเพาะของเรือที่เดินเข้าออกท่าเรือสงขลาในปี พ.ศ.2559 จำนวน 452 เที่ยว[8] ตามแสดงใน**รูปที่ 2–7** พบว่าเรือเหล่านี้มีขนาดระวางบรรทุก 166 – 32,474 ตันกรอส เฉลี่ย 9575 ตันกรอส กินน้ำลึกระหว่าง 2.85 – 7.90 เมตร เฉลี่ย 6.25 เมตร ความยาวตลอดลำระหว่าง 22.35 – 190.00 เมตร

[8] เป็นข้อมูลได้รับจากบริษัท เจ้าพระยาท่าเรือสากล จำกัด ซึ่งเป็นผู้บริหารท่าเรือภายใต้สัญญาสัมปทาน

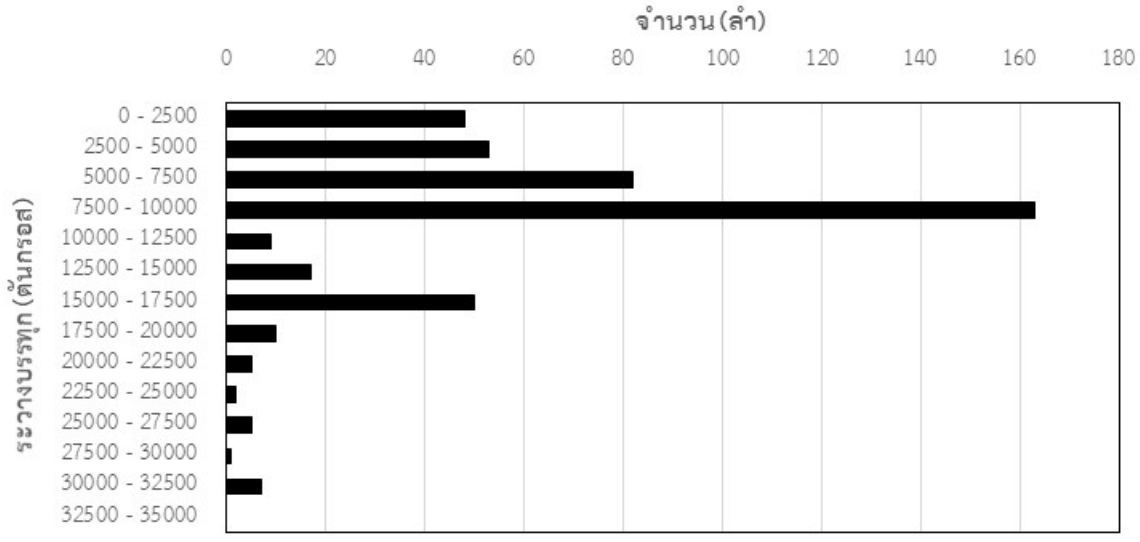
เฉลี่ย 133.46 เมตร และความกว้าง 7.32 – 32.27 เมตร เฉลี่ย 21.87 เมตร ลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลข้างต้นแสดงใน**รูปที่ 2–8** ถึง**รูปที่ 2–11** ตามลำดับ



หมายเหตุ: - - - - เกณฑ์มิติเรือที่อนุญาตให้ใช่ร่องนอกตามประกาศของกรมเจ้าท่าปี 2541

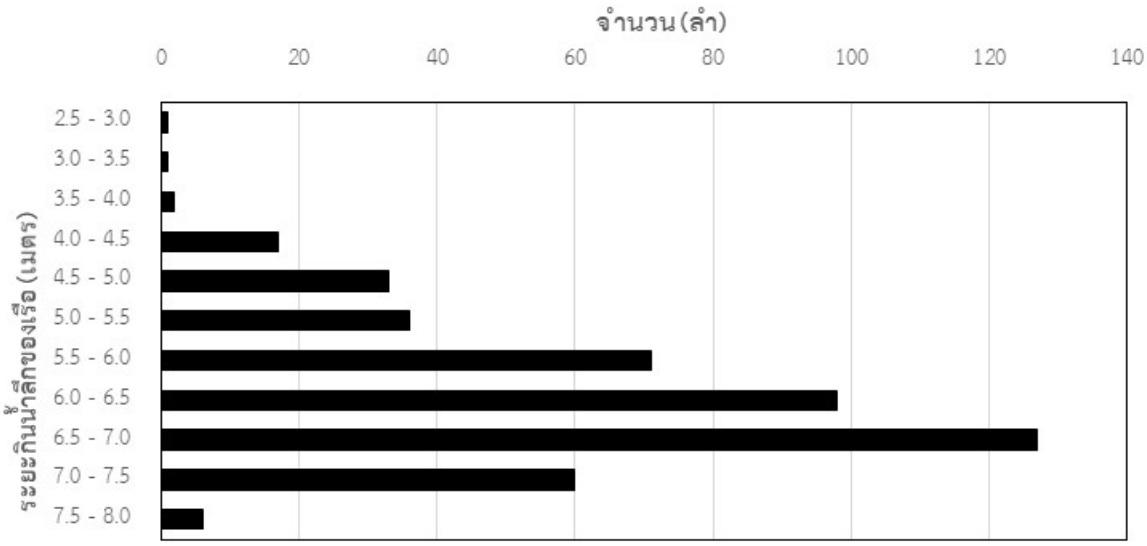
ที่มา: การประมวลข้อมูลของ บริษัท เจ้าพระยาท่าเรือสากล จำกัด

รูปที่ 2 - 7 มิติเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลาปี 2559



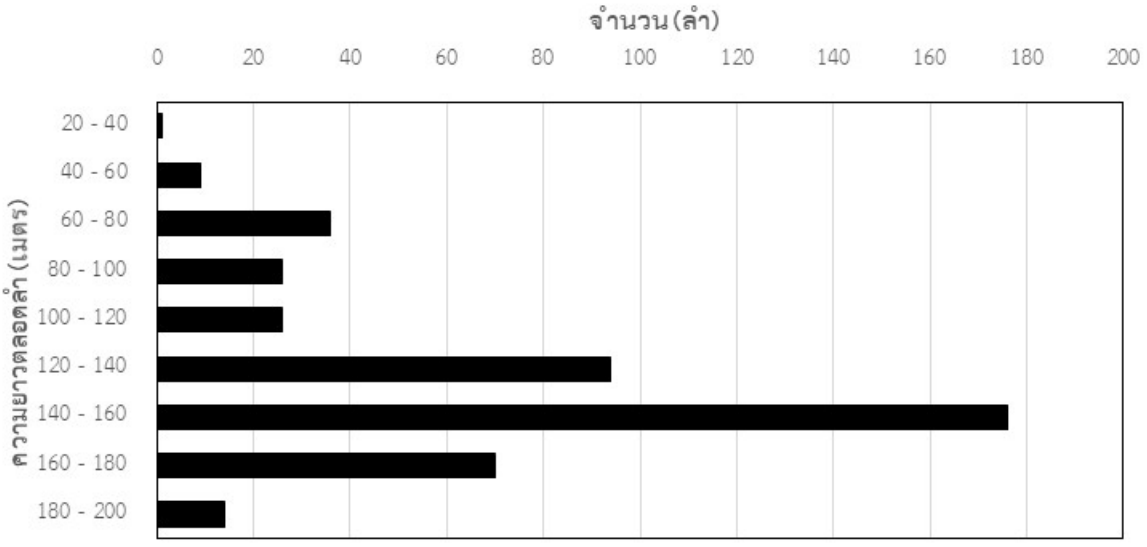
ที่มา: การประมวลผลข้อมูลของบริษัท เจ้าพระยาท่าเรือสากล จำกัด

รูปที่ 2 - 8 ลักษณะการกระจายตัวของระวางบรรทุก



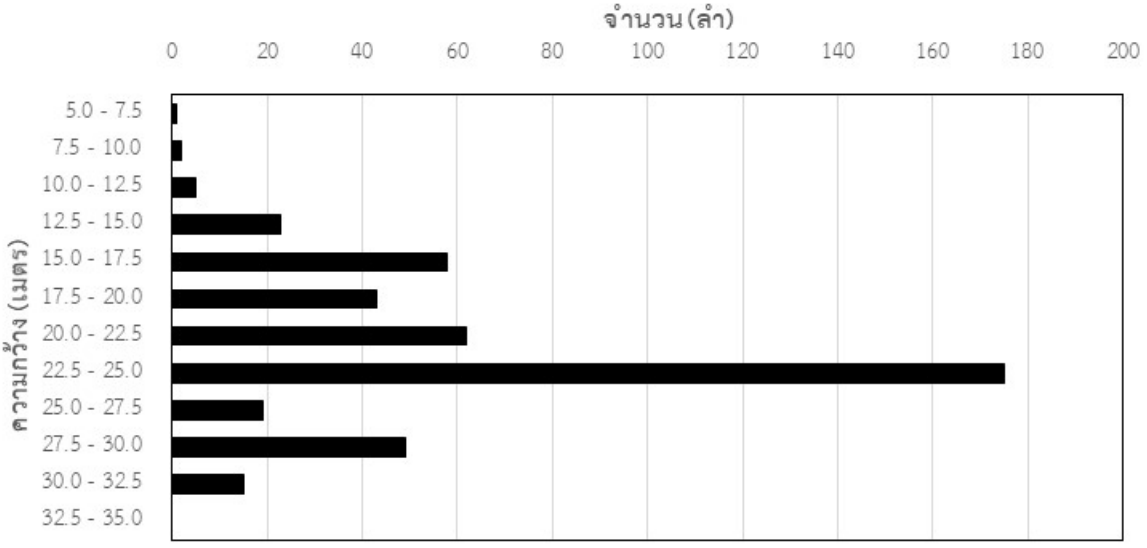
ที่มา: การประมวลผลข้อมูลของบริษัท เจ้าพระยาท่าเรือสากล จำกัด

รูปที่ 2 - 9 ลักษณะการกระจายตัวของระยะกินน้ำลึกของเรือ



ที่มา: การประมวลผลข้อมูลของบริษัท เจ้าพระยาท่าเรือสากล จำกัด

รูปที่ 2 - 10 ลักษณะการกระจายตัวของความยาวเรือตลอดลำ



ที่มา: การประมวลผลข้อมูลของบริษัท เจ้าพระยาท่าเรือสากล จำกัด

รูปที่ 2 - 11 ลักษณะการกระจายตัวของความกว้างเรือ

สำหรับเรือที่เดินเข้าออกทะเลสาบสงขลาซึ่งต้องเดินผ่านทั้งร่องในและร่องนอก แบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม ประกอบด้วย (1) เรือเดินเข้าออกฐานทัพเรือสงขลา (2) เรือสินค้าชายฝั่งเดินเข้าออกท่าเรือของบริษัทหะรินสุตขนส่ง จำกัด (3) ขบวนเรือลำเลียงเดินเข้าออกท่าเรือรถไฟ (4) เรือรับส่งผู้โดยสารแท่นขุดเจาะสำรวจและผลิตปิโตรเลียมในทะเล (crew boat) และ (5) เรือประมงเข้าใช้สะพานปลาจังหวัดสงขลา การพิจารณามิติเรือทั้งห้ากลุ่มพบว่าเรือสินค้าชายฝั่งเข้าออกท่าเรือของบริษัทหะรินสุตขนส่ง จำกัด มีขนาดใหญ่ที่สุด

การตรวจสอบข้อมูลจำเพาะเรือสินค้าชายฝั่งของบริษัทหะรินสุตขนส่งพบว่าเรือหะรินทรานสปอร์ต 14 มีขนาดใหญ่ที่สุด ความยาวตลอดลำ 67.55 เมตร ความกว้าง 11.5 เมตร กินน้ำลึก 6.1 เมตร ขนาดระวาง 499.99 ตันกรอส

การพิจารณาข้อมูลข้างต้นได้ข้อสรุปขนาดเรือใหญ่สุดที่ใช้ร่องนอกมีความยาวตลอดลำ 190 เมตร ความกว้าง 32.27 เมตร กินน้ำลึก 7.9 เมตร ส่วนเรือที่เดินผ่านเข้าออกร่องในมีความยาวตลอดลำ 67.55 เมตร กว้าง 11.5 เมตร และกินน้ำลึก 6.1 เมตร (ดู**ตารางที่ 2–4**) โดยเมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดการใช้ร่องน้ำพบว่าเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลามีขนาดใหญ่กว่าข้อกำหนดการใช้ร่องน้ำ

ตารางที่ 2 - 4 ขนาดเรือใช้ร่องน้ำสงขลา

ร่องน้ำ	ขนาดเรือใหญ่สุดที่ใช้ร่องน้ำ (เมตร)		
	ความยาวตลอดลำ	ความกว้าง	กินน้ำลึก
ร่องนอก	190.00	32.27	7.9
ร่องใน	67.55	11.5	6.1

ที่มา: การประมวลข้อมูลของบริษัทที่ปรึกษา

2.5 สถิติการขุดลอก

การประมวลข้อมูลที่ได้รับจากสำนักพัฒนาและบำรุงรักษาทางน้ำ พบว่ากรมเจ้าท่าทำงานขุดลอกร่องน้ำสงขลาทั้งร่องในและร่องนอกเป็นประจำทุกปี การดำเนินงานมีทั้งใช้เรือขุดของกรมฯ ส่วนใหญ่เป็นเรือ ข.10 กับ ข.12 และการจ้างเหมา โดยตามข้อมูลแสดงใน**ตารางที่ 2–5** กับ**ตารางที่ 2–6** สำหรับสถิติงานขุดลอกร่องนอกกับร่องในตามลำดับ พบว่างานขุดลอกร่องนอกดำเนินการเป็นประจำทุกปี ส่วนใหญ่มีปริมาณมากกว่า 1 ล้านลูกบาศก์เมตร (บางปีสูงถึง 2 ล้านลูกบาศก์เมตร) ส่วนงานขุดลอกร่องในดำเนินการตั้งแต่ปี 2554 เป็นต้นมาในลักษณะปีเว้นปี ปริมาณงานที่ขุดอยู่ระหว่าง 0.4 – 1.9 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง ภาพรวมปริมาณงานและค่างานขุดลอกรายปีแสดงใน**รูปที่ 2–12**[9]

การตรวจสอบช่วงระยะเวลาที่ดำเนินงานขุดลอกระหว่างปี 2552 – 2559 (8 ปีสุดท้าย) ดังแสดงใน**รูปที่ 2-13** พบว่าเป็นกิจกรรมที่ดำเนินการปีละ 6 เดือน ถึง 11 เดือน (ส่วนใหญ่ดำเนินงานเกือบตลอดปี) ช่วงเวลาที่เว้นไม่ปฏิบัติงานไม่แน่นอน เช่น ปี 2555 เว้นไม่ปฏิบัติงาน 1 เดือน ตั้งแต่กลางเดือนมกราคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2556 เว้นไม่ปฏิบัติงาน 6 เดือน ตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนสิงหาคม ปี

[9] รายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 2 – 5 กับตารางที่ 2 – 6 แจกแจงตามปีงบประมาณ ส่วนรูปที่ 2 – 11 ถึงรูปที่ 2 – 13 แสดงรายละเอียดตามปีปฏิทิน

2557 เว้นไม่ปฏิบัติงาน 1 เดือน ในเดือนพฤษภาคม ส่วนปี 2558 เว้นไม่ปฏิบัติงาน 4 เดือน ตั้งแต่เดือนกันยายนถึงสิ้นปี เป็นต้น

การศึกษาสถิติการทำงานขุดลอกร่องน้ำสงขลาระหว่างปี 2544 – 2559 พบว่ากรมเจ้าท่าจัดสรรทรัพยากรมาทำงานขุดลอกร่องน้ำสงขลาทั้งร่องในและร่องนอกจำนวนมาก ปริมาณงานขุดลอกตอนร่องนอกเฉลี่ยปีละ 1.3 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณงานขุดลอกตอนร่องในเฉลี่ยปีละ 0.7 ล้านลูกบาศก์เมตร[10] สร้างภาระเงินงบประมาณระหว่างปี 2544 – 2559 รวมกันเฉลี่ยปีละ 31.9 ล้านบาท และเป็นกิจกรรมที่มีการดำเนินการเฉลี่ยปีละ 9 เดือน[11]

ตารางที่ 2 - 5 สถิติงานขุดลอกร่องนอก

ปีงบประมาณ	เริ่มขุด	หยุดขุด	ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณ (ลบ.ม.)	มูลค่า (บาท)	เครื่องจักร/ผู้รับจ้าง
2543	ธค. 42	กพ. 43	-	151,600	1,422,730	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.2
	พย. 42	ตค. 43	-	2,516,800	8,685,406	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.10
	01 ต.ค. 43	08 ต.ค. 43	8	24,000	-	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.10
2544	27 ธ.ค. 43	19 ม.ค. 44	24	14,800	615,000	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.4
	30 พ.ย. 43	27 ก.พ. 44	90	219,600	2,637,000	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.8
	23 พ.ย. 43	28 มี.ค. 44	126	610,000	4,538,089	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.10
	25 พ.ค. 44	14 ก.ย. 44	113	812,000	4,322,130	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
2545	11 ธ.ค. 44	04 ม.ค. 45	25	28,800	389,961	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.2
	02 ม.ค. 45	31 มี.ค. 45	89	158,000	-	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.8
	02 พ.ย. 44	30 ก.ย. 45	333	1,475,600	8,832,201	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
	08 มี.ค. 45	20 มิ.ย. 45	105	27,500	308,779	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.2
	22 เม.ย. 45	15 ส.ค. 45	116	379,200	3,757,393	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.10
2546	02 ม.ค. 46	15 เม.ย. 46	104	548,800	3,366,900	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
	10 ม.ค. 46	16 ก.ค. 46	188	750,400	5,824,671	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.10
	15 ก.ค. 46	15 มิ.ย. 47	337	1,200,000	63,700,000	บจก. ส.บรรทัดไทย
2548	03 พ.ย. 47	30 พ.ค. 48	209	1,120,000	7,006,581	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
2549	07 พ.ย. 48	05 พ.ค. 49	180	830,200	7,774,054	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
2549	03 ก.ย. 49	30 พ.ย. 49	89	354,200	3,988,101	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
2550	21 ก.ย. 50	11 ต.ค. 50	21	86,800	1,420,784	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12

[10] งานศึกษาของ PCI ที่ดำเนินการในปี 2545 ระบุว่าปริมาณงานขุดลอกที่แสดงในสถิติของสำนักพัฒนาและบำรุงรักษาทางน้ำอาจสูงกว่าความเป็นจริง รายละเอียดข้อสังเกตดังกล่าวจะเสนอในรายงานบทที่ 3

[11] ช่วง 8 ปี สุดท้าย มีการทำงานขุดลอกด้วยเครื่องจักรต่าง ๆ จำนวน 73 เดือน (ไม่คิดช่วงเวลาที่เครื่องจักรทำงานพร้อมกันหลายตัว) จากเวลาทั้งหมด 96 เดือน คิดเป็นร้อยละ 76 ของช่วงเวลาตลอดปี หรือประมาณปีละ 9.1 เดือน

ปีงบประมาณ	เริ่มขุด	หยุดขุด	ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณ (ลบ.ม.)	มูลค่า (บาท)	เครื่องจักร/ผู้รับจ้าง
2551	09 ม.ค. 51	23 ก.ย. 51	259	1,200,000	69,140,000	บจก. ยูหลิมโบ๊ต
2551	25 ธ.ค. 50	31 ม.ค. 51	38	106,400	3,172,795	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.10
	15 ส.ค. 51	13 ต.ค. 51	60	313,600	5,442,920	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.10
2552	19 พ.ย. 51	26 ส.ค. 52	281	1,327,200	15,893,962	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
2553	16 พ.ย. 52	16 ธ.ค. 52	31	98,000	1,805,743	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
	16 ธ.ค. 52	15 เม.ย. 53	121	543,200	5,949,866	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
	01 พ.ค. 53	29 ส.ค. 53	121	536,200	5,930,586	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
2554	12 พ.ย. 53	08 ส.ค. 54	270	1,397,200	18,570,723	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
	14 ก.ย. 54	15 ต.ค. 54	32	165,200	-	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
	13 ต.ค. 53	11 พ.ย. 53	30	54,600	1,500,000	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
2555	21 พ.ย. 54	20 มี.ค. 55	121	600,600	8,283,624	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
	15 ต.ค. 54	13 พ.ย. 54	30	56,000	1,500,000	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
	15 พ.ค. 55	20 ก.พ. 56	282	1,955,300	113,900,000	บจก. บางกอกเดรดจิ้ง
2556	15 มี.ค. 56	12 ก.ค. 56	120	592,200	-	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
	29 ก.ค. 56	23 พ.ย. 56	118	261,800	6,250,020	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
2557	23 ธ.ค. 56	23 ก.ย. 57	275	1,275,260	20,647,433	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
2558	25 มี.ค. 58	24 ส.ค. 58	153	600,000	35,800,000	บจก. บางกอกเดรจดจิ้ง
	23 ส.ค. 58	01 ต.ค. 58	40	194,880	2,465,640	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.10
	29 ส.ค. 58	01 ต.ค. 58	34	219,520	2,800,000	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12
2559	09 ก.พ. 59	-	-	300,000	18,000,000	บจก. บางกอกเดรจดจิ้ง
	01 พ.ย. 58	30 ธ.ค. 58	60	197,120	3,473,960	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.10
	02 ธ.ค. 58	30 ม.ค. 59	60	294,000	1,688,743	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12

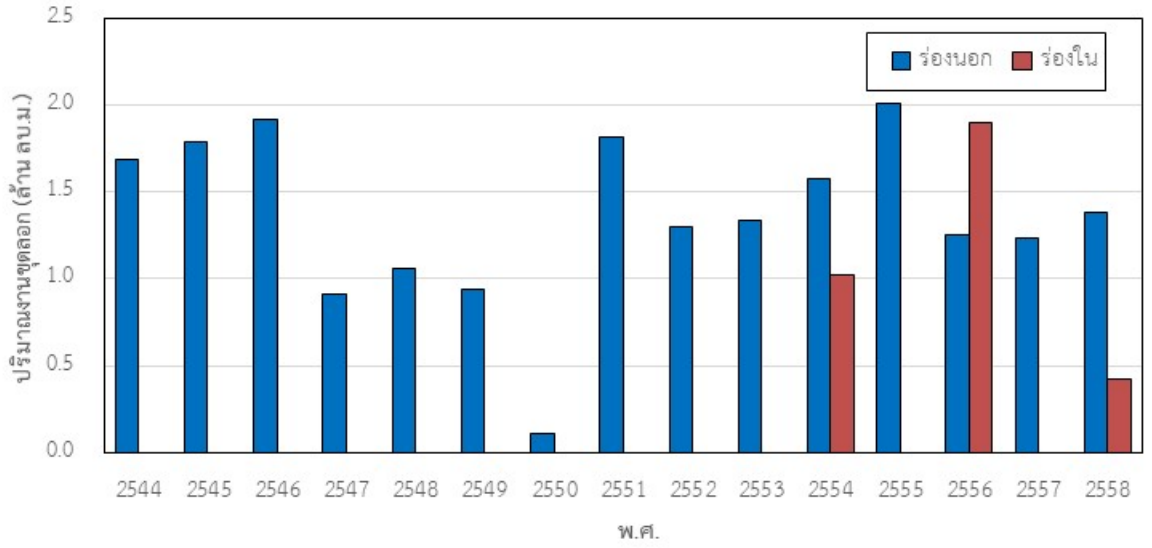
หมายเหตุ: “-” หมายถึง ไม่มีข้อมูล

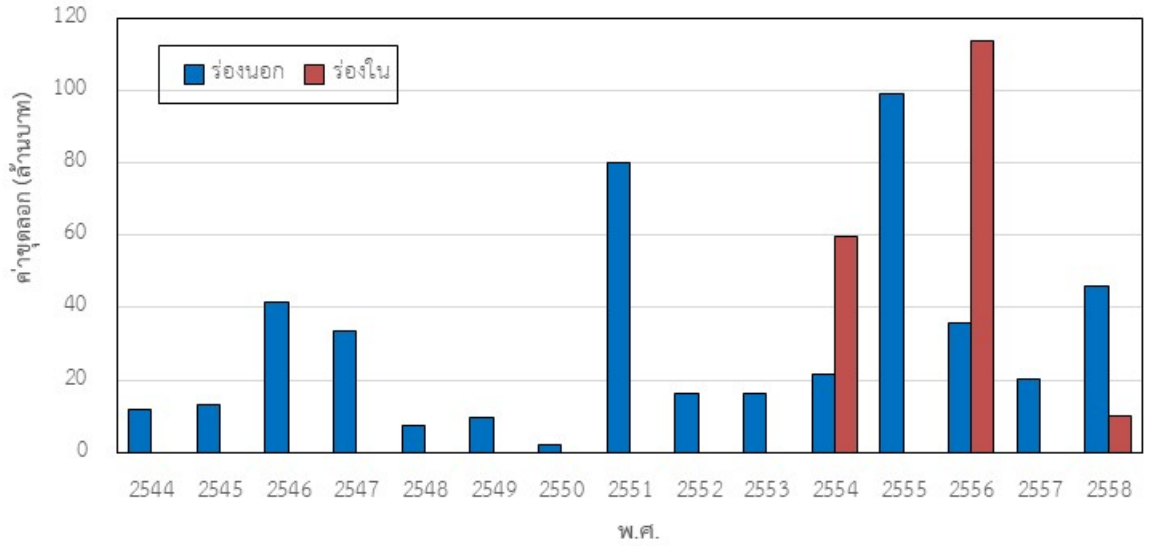
ที่มา: สำนักพัฒนาและบำรุงรักษาทางน้ำ กรมเจ้าท่า

ตารางที่ 2 - 6 สถิติงานขุดลอก ร่องใน

ปี	เริ่มขุด	หยุดขุด	ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณ (ลบ.ม.)	มูลค่า (บาท)	เครื่องจักร/ผู้รับจ้าง
2554	08 มี.ค. 54	04 ส.ค. 54	150	1,020,000	59,890,000	ซีเอ็มพี ดีเวลล็อปเม้นท์
2556				1,900,000	114,000,000	เอส แอนด์ เอ็ม เอส
2558	26 เม.ย. 58	23 ส.ค. 58	120	425,320	10,018,405	เรือขุดกรมเจ้าท่า ข.12

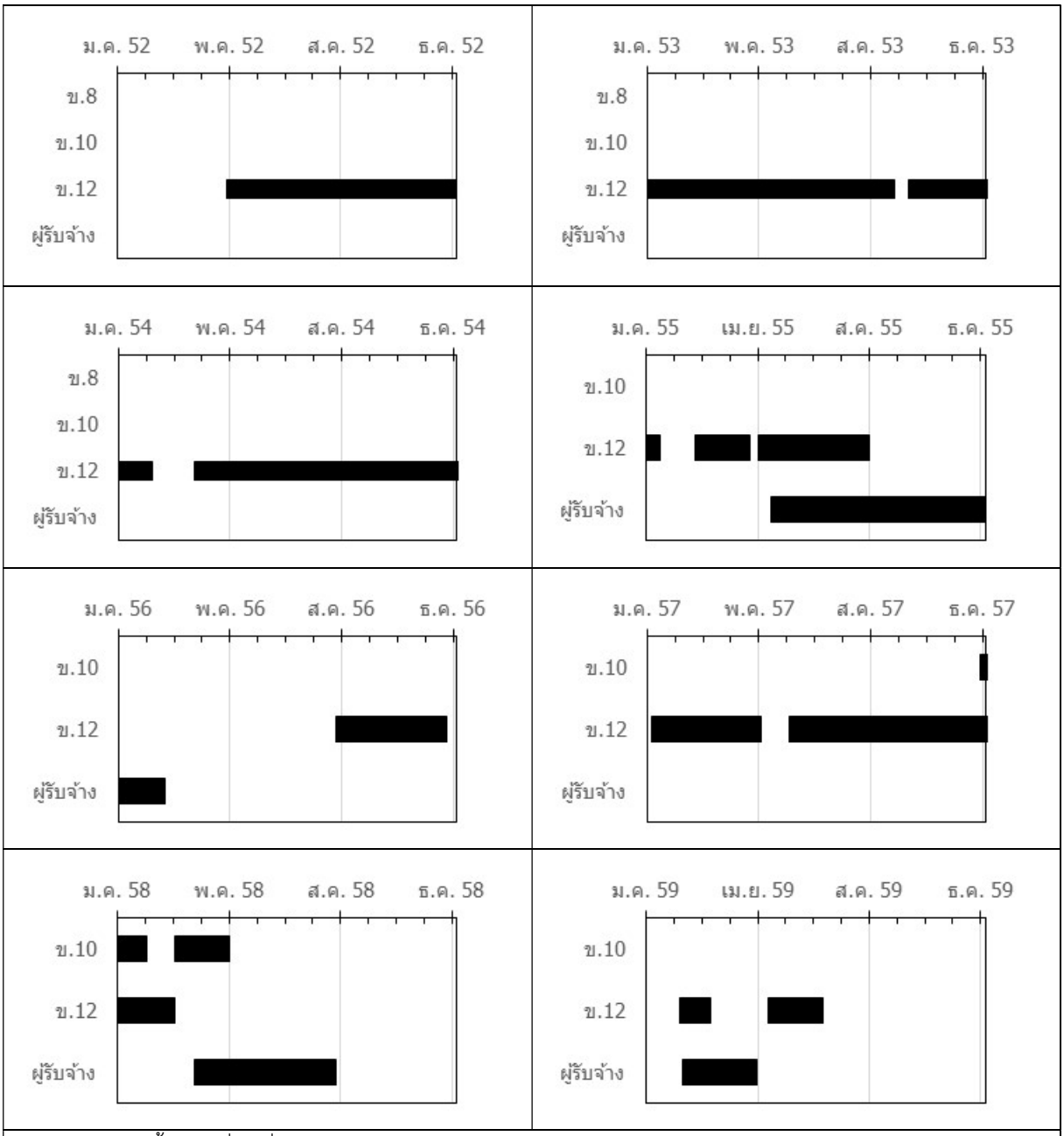
ที่มา: สำนักพัฒนาและบำรุงรักษาทางน้ำ กรมเจ้าท่า





ที่มา: ประมวลจากข้อมูลของสำนักพัฒนาและบำรุงรักษาทางน้ำ

รูปที่ 2 - 12 ปริมาณงานและงบประมาณค่างานขุดลอกรายปี



หมายเหตุ: แกนตั้งแสดงชื่อเครื่องมือขุดลอก แกนนอนแสดงระยะเวลาปฏิบัติงาน

ที่มา: ประมวลจากข้อมูลสำนักพัฒนาและบำรุงรักษาทางน้ำ

รูปที่ 2 - 13 การปฏิบัติงานขุดลอก พ.ศ. 2552 - 2559

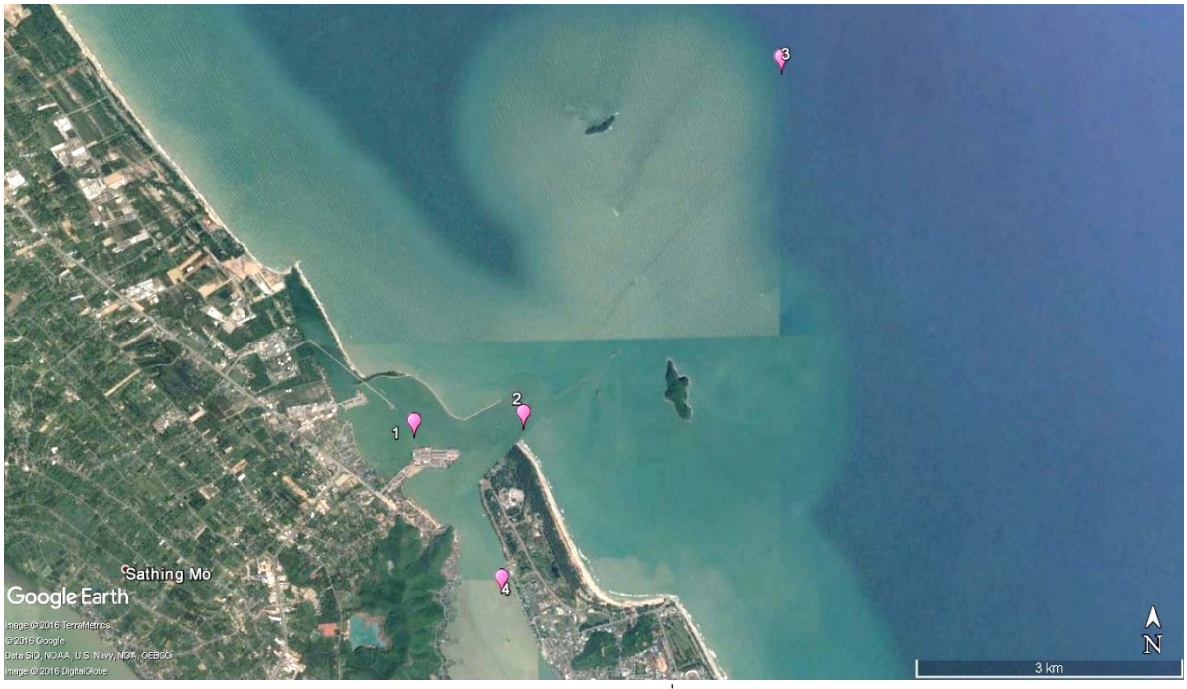
2.6 สถิติอุบัติเหตุ

การศึกษาข้อมูลอุบัติเหตุที่เกิดบริเวณร่องน้ำสงขลาของสำนักความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมระหว่างปี 2552 – 2559 ดังแสดงใน**รูปที่ 2–14** กับ**ตารางที่ 2–7** พบ 4 ครั้ง เกิดบริเวณร่องนอก 2 ครั้ง เกิดในแอ่งจอดเรือ 1 ครั้ง อีก 1 ครั้ง เกิดบริเวณร่องใน อัตราส่วนอุบัติเหตุ 1 ครั้งต่อการเดินเรือ 27,000 เที่ยว[12]

การตรวจสอบข้อมูลอุบัติเหตุพบรายละเอียด ดังนี้[13]

- ครั้งที่ 1 เกิดในแอ่งจอดเรือเป็นกรณี SAVOY TIDE สัญชาติ VANUATU เลื่อนเรือออกจากท่า
- ครั้งที่ 2 เกิดบริเวณทุ่นหมายเลข 12 เป็นกรณีเรือ KITI BHUM สัญชาติสิงคโปร์ ติดตื้นขณะเดินในร่องนอก ขาออก
- ครั้งที่ 3 เกิดบริเวณทุ่นหมายเลข 3 เป็นกรณีเรือส่งน้ำของฐานทัพเรือสงขลาเผชิญคลื่นลมแรง
- ครั้งที่ 4 เกิดบริเวณร่องใน เป็นกรณีจูงเรือป.ทรัพย์ประเสริฐ 25 ไปขึ้นอู่แล้วเกิดเชือกขาดจากเหตุคลื่นลมแรงทำให้เรือพลิกจม

การศึกษาข้อมูลอุบัติเหตุข้างต้นได้ข้อสรุปว่าสภาพแวดล้อมในพื้นที่และความตื้นเขินของร่องน้ำเป็นสาเหตุส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ



หมายเหตุ: เลขตำแหน่งเกิดอุบัติเหตุตรงกับลำดับเหตุการณ์ในตารางที่ 2 - 7

ที่มา: ประมวลจากสถิติอุบัติเหตุของสำนักความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

รูปที่ 2 - 14 ตำแหน่งเกิดอุบัติเหตุ

[12] ประเมินจากมีเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลาปีละ 500 ลำ (ไป-กลับ 1,000 เที่ยว) เรือประมงปีละ 7,300 เที่ยว แพขนานยนต์ปีละ 3,650 เที่ยว และเรือบริการอื่น ๆ ปีละ 1,825 เที่ยว

[13] หมายเลขอุบัติเหตุตรงกับลำดับเลขแสดงในรูปที่ 2 - 12 และตารางที่ 2 - 7

ตารางที่ 2 - 7 สถิติอุบัติเหตุบริเวณร่องน้ำสงขลา

ลำดับ	วัน เดือน ปี เวลาประมาณ	เรือเกิดอุบัติเหตุ	สถานที่	สาเหตุ
1	12 ก.ย. 2559 เวลา 17:07 น.	เรือชื่อ SAVOY TIDE สัญชาติ VANUATU ขนาด 2586 ตันกรอส	บริเวณแอ่งจอดเรือ	เรือชื่อ SAVOY TIDE ในขณะแล่นออกท่าเทียบเรือหมายเลข 5 ระหว่างนั้น เรือชื่อ SAVOY TIDE มีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจนกระทั่งส่วนของหัวเรือไปโดนส่วนท้ายเรือ SC BONGKOT สัญชาติ TUVALU เคลื่อนตัวไปกระแทกกับ SC WINTER สัญชาติ TUVALU ซึ่งจอดเรืออยู่ด้านหน้าอีกลำจึงเกิดรอยบุบเล็กน้อยและเชื่อกไกหัวขาด
2	29 พ.ย. 2557	เรือ KITI BHUM หมายเลขทะเบียนเรือ 1943453 สัญชาติสิงคโปร์	บริเวณทุ่นไฟหมายเลข 12 จ.สงขลา (ร่องนอก)	เรือ KITI BHUM ออกจากท่าเรือน้ำลึกสงขลา กระแสน้ำในร่องน้ำสงขลาแรงทำให้เรือควบคุมได้ยาก จนทำให้ติดตื้น
3	24 ก.พ. 2554 เวลา 08:45 น.	เรือส่งน้ำของฐานทัพเรือสงขลา	เกาะหนู-เกาะแมว (ทุ่นหมายเลข 3 ด้านซ้ายก่อนเข้าร่องน้ำ) ห่างจากฝั่งประมาณ 5 ไมล์ทะเล (ร่องนอก)	คลื่นลมแรงทำให้เรือจม มีผู้เสียชีวิต 1 ราย
4	10 ม.ค. 2552 เวลา 08:30 น.	เรือชื่อ ป.ทรัพย์ประเสริฐ 25 หมายเลขทะเบียนเรือ 309000929 ขนาด 15.11 ตันกรอส เจ้าของเรือ นายยาฝาด เซ่งฉิ้ว	บริเวณร่องน้ำสงขลา ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา (ร่องใน)	เรือจมทั้งลำเนื่องจากคลื่นลมแรงทำให้เชือกที่ลากจูงเรือ ป.ทรัพย์ประเสริฐ 25 ขาดเป็นเหตุให้เรือจมขณะมีการลากจูงไปขึ้นคานเรือ

ที่มา: ประมวลจากสถิติอุบัติเหตุของสำนักความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

2.7 ปัญหาที่ต้องการแก้ไข

การประมวลข้อมูลจำเพาะของร่องน้ำสงขลาร่วมกับข้อมูลประวัติการพัฒนาร่องน้ำ ขนาดเรือที่เดินผ่านร่อง ข้อกำหนดการนำเรือผ่านร่องน้ำ สถิติการขุดลอก และสถิติอุบัติเหตุ ได้ภาพรวมปัญหาที่ต้องการแก้ไข ดังนี้

(1) ร่องน้ำสงขลามีปัญหาร่องน้ำตื้นเขินต่อเนื่องตั้งแต่เปิดใช้งาน ภาระงานขุดลอกของร่องนอกกับร่องในรวมกันเฉลี่ย 2.0 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

(2) การเดินเรือเข้าออกแอ่งจอดเรือเผชิญกระแสน้ำที่ไหลจากร่องในตัดขวางทางเดินเรือทำให้การควบคุมเรือเข้าออกแอ่งจอดเรือทำได้ยากและสำหรับการเดินเข้าแอ่งจอดเรือเมื่อเลี้ยวผ่านจุดนี้ก็ถึงตำแหน่งท่าเทียบเรือพอดี การต้องชะลอเพื่อหยุดเรือทำให้การควบคุมเรือในโค้งทำได้ยากยิ่งขึ้น

(3) แบบแสดงแนวร่องนอกส่วนที่ตัดเข้ามาในแอ่งจอดเรือไม่ได้แยกส่วนที่ใช้เป็นพื้นที่จอดเรือหน้าท่าเรือสงขลาออกจากทางเดินเรือ (พื้นที่จอดเรือต้องไม่อยู่ในทางเดินเรือ) ทำให้แนวเรือเดินไม่ชัดเจน

(4) การพิจารณาแนวร่องน้ำพบว่าไม่สอดคล้องกับคำแนะนำการออกแบบร่องน้ำมาตรฐานประเด็นรัศมีโค้งกับประเด็นความยาวของทางตรงระหว่างโค้งโดย PIANC แนะนำให้รัศมีโค้งของเรือสินค้าที่อัตราส่วนความลึกน้ำต่อระยะกินน้ำลึกของเรือ 1.2 ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 5 เท่า[14] ของความยาวเรือ ซึ่งในกรณีร่องน้ำสงขลาร่องนอก เนื่องจากความยาวเรือลำใหญ่สุดที่ใช้ร่องน้ำ คือ 190 เมตร จึงต้องการรัศมีโค้งมากถึง 950 เมตร ยาวกว่ารัศมีของโค้งที่ 2 กับโค้งที่ 3

สำหรับระยะห่างระหว่างโค้ง PIANC แนะนำให้ทางตรงระหว่างโค้งควรยาวไม่น้อยกว่า 5 เท่าของความยาวเรือ โดยระยะดังกล่าวสามารถลดลงเหลือ 3 เท่า ของความยาวเรือหากเป็นโค้งด้านเดียวกัน[15] ความต้องการดังกล่าวทำให้ความยาวของทางตรงระหว่างโค้งควรมีค่าไม่น้อยกว่า 570 เมตร ในขณะที่ทางตรงระหว่างโค้งที่ 2 กับโค้งที่ 3 ของร่องนอกมีค่าเท่ากับ 259 เมตร สั้นกว่าข้อกำหนด

การศึกษาในโครงการจะพยายามหาแนวทางแก้ไขปัญหาร่องน้ำสงขลาตามปัญหาที่พบและตามขอบเขตการศึกษาที่กำหนด ปัญหาที่พบแต่ไม่อยู่ในขอบเขตการศึกษาจะจัดทำเป็นข้อเสนอแนะให้กรมเจ้าท่าพิจารณาหาทางแก้ไขในโอกาสต่อไป

---

[14] The World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC), 2014, Harbour Approach Channels Design Guidelines, p.91

[15] The World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC), 2014, Harbour Approach Channels Design Guidelines, p.77

2.8 บทสรุปท้ายบท

- การศึกษาข้อมูลจำเพาะร่องน้ำสงขลาและปัญหาที่ต้องการแก้ไข ได้ข้อสรุป 7 รายการ เกี่ยวกับ (1) แนวลและมิติร่องน้ำ (2) ประวัติการพัฒนาร่องน้ำ (3) ขนาดเรือที่ใช้ร่องน้ำ (4) ข้อกำหนดการใช้ร่องน้ำ (5) สถิติงานขุดลอก (6) สถิติอุบัติเหตุ และ (7) ปัญหาร่องน้ำสงขลา
- การตรวจสอบข้อมูลมิติและแนวร่องน้ำพบว่าร่องนอกกว้าง 120 เมตร ลึก 9 เมตร จากระดับน้ำลงต่ำสุด ส่วนร่องในกว้าง 200 เมตร ลึก 7 เมตรแนวร่องนอกตัดเข้ามาถึงพื้นที่หน้าท่าเรือสงขลา และพบว่าแนวกระแสน้ำที่ไหลเข้า-ออกร่องในตัดขวางทางเรือเดินเข้าแอ่งจอดเรือท่าเรือสงขลา
- การตรวจสอบประวัติการพัฒนาร่องน้ำพบว่าร่องน้ำสงขลามีปัญหาร่องน้ำตื้นเขินตั้งแต่เปิดใช้งาน ความพยายามแก้ปัญหาในอดีตมีข้อเสนอในงานศึกษาเพื่อขยายท่าเรือสงขลาปี 2541 ให้ก่อสร้างรอบังคับกระแสน้ำแต่ไม่ได้ดำเนินงานเพราะโครงการไม่มีเหมาะสมทางเศรษฐกิจ ในขณะที่งานศึกษาอื่นไม่มีข้อเสนอวิธีแก้ไขทางกายภาพ
- การศึกษาข้อกำหนดการใช้ร่องน้ำพบว่ากรมเจ้าท่ากำหนดให้เรือที่เดินผ่านเข้าออกท่าเรือสงขลามีความยาวตลอดลำไม่เกิน 180 เมตร ความกว้างที่ตำแหน่งกึ่งกลางลำไม่เกิน 26 เมตร กินน้ำลึกไม่เกิน 7.5 เมตร ส่วนเรือเดินผ่านเข้าออกทะเลสาบสงขลากำหนดเฉพาะความยาวตลอดลำไม่เกิน 110 เมตร กับระยะกินน้ำลึกของเรือไม่เกิน 5.5 เมตร
- การตรวจสอบข้อมูลเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลาปี 2559 พบว่าเรือบางลำใหญ่กว่าข้อกำหนดการใช้ร่องน้ำ โดยเรือลำใหญ่สุดที่ใช้ร่องน้ำมีความยาวตลอดลำ 190 เมตร ความกว้างที่ตำแหน่งกึ่งกลางลำ 32.3 เมตร กินน้ำลึก 7.9 เมตร ส่วนเรือที่ใช้ร่องในมีขนาดสอดคล้องกับข้อกำหนด คือ มีความยาวตลอดลำ 67.6 เมตร ความกว้าง 11.5 เมตร กินน้ำลึก 6.1 เมตร
- การศึกษาสถิติการขุดลอกพบว่ากิจกรรมขุดลอกร่องน้ำสงขลาเป็นกิจกรรมที่ทำเป็นประจำทุกปี ปริมาณงานขุดลอกตอนร่องนอกเฉลี่ยปีละ 1.3 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณงานขุดลอกตอนร่องในเฉลี่ยปีละ 0.7 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้างภาระเงินงบประมาณระหว่างปี 2544 – 2559 รวมกันเฉลี่ยปีละ 31.9 ล้านบาท และเป็นกิจกรรมที่มีการดำเนินการเฉลี่ยปีละ 9 เดือน
- การศึกษาสถิติอุบัติเหตุระหว่างปี 2552 – 2559 พบอุบัติเหตุ 4 ครั้ง ในจำนวนนี้ 1 ครั้ง เป็นอุบัติเหตุเรือติดตื้น อัตราส่วนอุบัติเหตุ 1 ครั้งต่อการเดินเรือ 27,000 เที่ยว
- การประมวลผลการศึกษาได้ข้อสรุปปัญหาร่องน้ำสงขลาที่ต้องแก้ไข 4 รายการ ประกอบด้วย (1) ปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำสร้างภาระให้งบประมาณขุดลอก (2) ปัญหากระแสน้ำไหลตัดขวางทางเรือเดินเข้าออกแอ่งจอดเรือท่าเรือสงขลา (3) แนวร่องนอกส่วนที่ตัดเข้ามาในแอ่งจอดเรือไม่ได้แยกส่วนที่ใช้เป็นพื้นที่จอดเรือหน้าท่าเรือสงขลาออกจากทางเดินเรือ (พื้นที่จอดเรือต้องไม่อยู่ในทางเดินเรือ) ทำให้แนวเรือเดินไม่ชัดเจน และ (4) มิติร่องน้ำไม่สอดคล้องกับคำแนะนำการออกแบบร่องน้ำ

มาตรฐานประเด็นรัศมีโค้งกับประเด็นความยาวของทางตรงระหว่างโค้งปัญหาบางส่วนเกิดจากขนาดเรือที่ใช้ร่องน้ำใหญ่กว่าข้อกำหนดตามระเบียบกรมเจ้าท่า

บทที่ 3 การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ

บทที่ 3
การศึกษารวบรวม
ข้อมูลทุติยภูมิ

เนื้อหาที่แสดงในรายงานบทที่ 3 การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการที่มีการศึกษาสำรวจรวบรวมไว้แล้ว แบ่งเป็น 6 ส่วน ได้แก่ (1) รายงานศึกษาที่เกี่ยวข้องในอดีต (2) ข้อมูลลุ่มน้ำสงขลา (3) ข้อมูลอุทกวิทยา (4) ข้อมูลอุทกศาสตร์ (5) ข้อมูลลมและคลื่น จากนั้น ส่วนที่ (6) ซึ่งเป็นเนื้อหาส่วนสุดท้ายเป็นบทสรุปท้ายบท

ข้อมูลทุติยภูมิที่ทำการศึกษารวบรวมข้างต้นจะนำไปรวมกับข้อมูลผลสำรวจภาคสนาม (เนื้อหาแสดงในบทที่ 4) เพื่อนำไปพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำและแนวทางดำเนินการที่เหมาะสมเสนอในลำดับต่อไป

3.1 รายงานศึกษาที่เกี่ยวข้องในอดีต

การศึกษาประวัติการพัฒนาร่องน้ำสงขลาเสนอในบทที่ 2 พบรายงานที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาร่องน้ำสงขลาและทะเลสาบสงขลาที่ควรนำมาศึกษาทบทวน 3 ฉบับ ประกอบด้วย (1) โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสำรวจออกแบบเพื่อขยายการก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกสงขลา-ภูเก็ต (2) โครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บทร่องน้ำชายฝั่งและการพัฒนาท่าเรือในประเทศไทย (The Master Plan Study for the Coastal Channels and Port Development in the Kingdom of Thailand) และ (3) โครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลาตอนล่าง

เนื้อหาที่แสดงต่อจากนี้เป็นผลการศึกษาทบทวนรายงานการศึกษาข้างต้น

3.1.1 โครงการขยายท่าเทียบเรือสงขลา

ช่วงระหว่างปี 2539 – 2541 กรมเจ้าท่าได้จ้างกลุ่มบริษัทที่ปรึกษาซึ่งประกอบด้วยบริษัท เซ้าท์อี๊สท์ เอเชีย เทคโนโลยี่ จำกัด บริษัท บางกอก เอ็นยิเนียริ่ง เซอร์วิส แอนด์ เทคโนโลยี จำกัด บริษัท แอสแพ็ค คอนซัลแตนทส์ จำกัด และบริษัท สก็อต วิลสัน เคอร์แพตทริก (ประเทศไทย) จำกัด ทำงานโครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสำรวจออกแบบเพื่อขยายการก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกสงขลา-ภูเก็ต การทบทวนรายงานการศึกษาฉบับดังกล่าวพบประเด็นสำคัญที่เกี่ยวข้องกับงานศึกษาโครงการดังนี้

(1) งานที่ศึกษาครอบคลุมทั้งข้อมูลภูมิประเทศ อุทกวิทยา สมุทรศาสตร์อุทกศาสตร์ ธรณีฐานราก และอุตุนิยมวิทยา ส่วนใหญ่เป็นการรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ โดยมีงานสำรวจภาคสนามเฉพาะการสำรวจความลึกพื้นท้องน้ำกับงานเจาะสำรวจดิน ข้อมูลที่นำมาพิจารณาเป็นผลเจาะสำรวจดินจำนวน

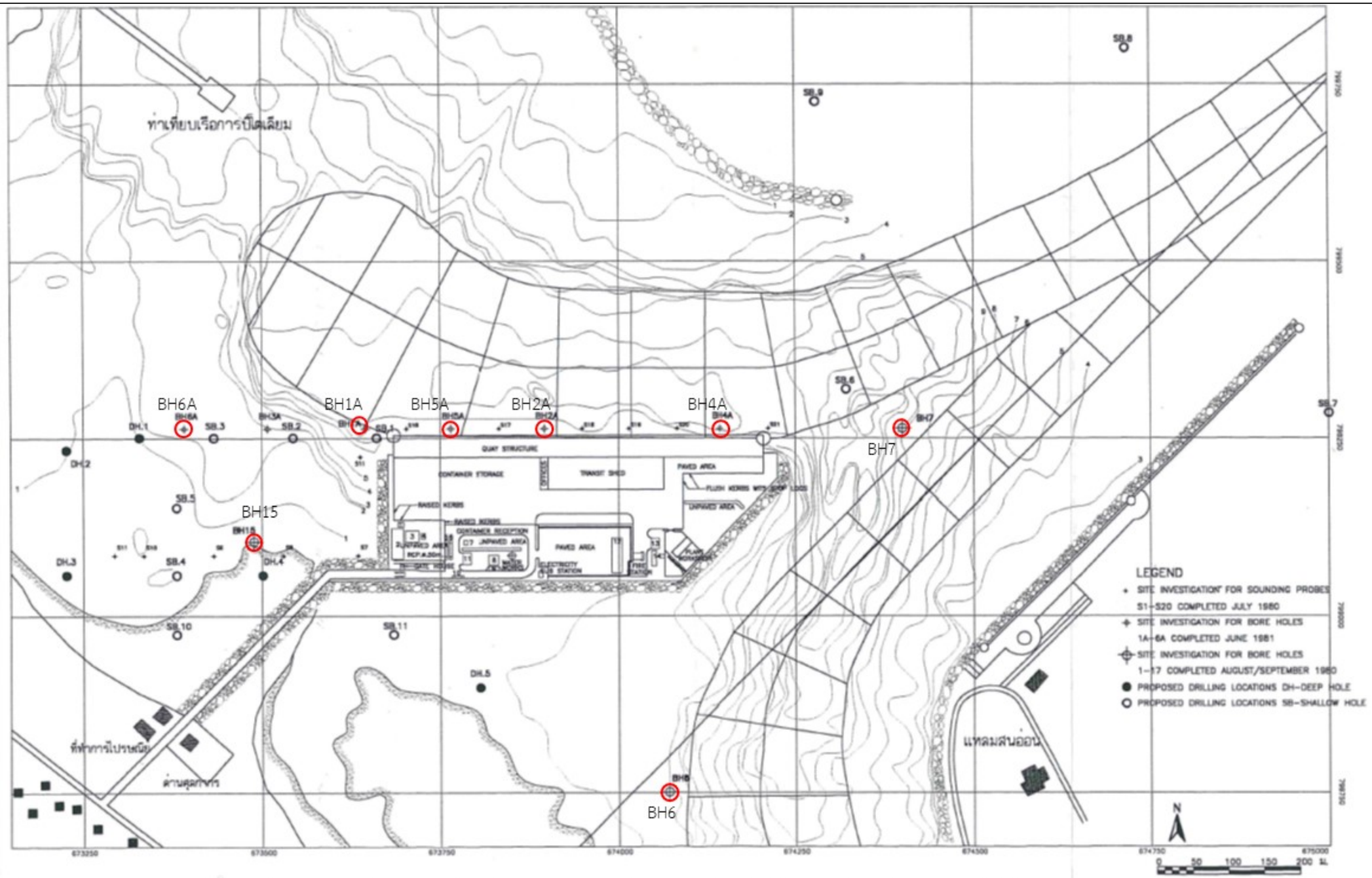
8 หลุม[1] ในจำนวนนี้ 6 หลุม อยู่ในแอ่งจอดเรือ อีก 2 หลุม (BH6 กับ BH7) อยู่บริเวณร่องใน ผังแสดงตำแหน่งหลุมเจาะแสดงใน**รูปที่ 3–1** (ตำแหน่งหลุมเจาะในวงกลมสีแดง) ส่วนข้อมูลคุณลักษณะทั่วไปของดินในหลุมเจาะแสดงใน**รูปที่ 3–2** ข้อมูลที่ได้จากการเจาะสำรวจสรุปว่าดินบริเวณแอ่งจอดเรือเป็นทรายแป้ง (silty sand) ผสมกับทรายแป้งปนดินเหนียว (silty clay) และดินเหนียว (clay) คล้ายกับบริเวณร่องใน (BH6 กับ BH7) คือ คละกันระหว่างทรายแป้งกับทรายแป้งปนดินเหนียว (silty sand to silty clay)

(2) ในงานศึกษาตะกอนร่องน้ำ ข้อมูลที่แสดงในรายงานเป็นทฤษฎีว่าด้วยสาเหตุที่ทำให้ตะกอนตกในร่องน้ำกับระบุว่าตามสถิติมีตะกอนตกในร่องน้ำปีละกว่า 500,000 ลูกบาศก์เมตร โดยไม่มีการประเมินปริมาณตะกอนที่ตกรายปี และระบุเพียงว่าเป็นพฤติกรรมตามธรรมชาติที่เกิดบริเวณปากแม่น้ำและปากทางเข้าทะเลสาบ ยากที่จะแก้ไขปัญหาได้อย่างเด็ดขาด

(3) ข้อเสนอวิธีแก้ไขปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำเป็นโครงสร้างชายทะเล 3 รายการ (ดู**รูปที่ 3–3**) ได้แก่ เขื่อนกันคลื่นด้านทิศเหนือยาว 450 เมตร รอบังคับกระแสน้ำด้านทิศใต้ยาว 150 เมตร และรอบังคับกระแสน้ำด้านทิศเหนือยาว 50 เมตร กับเสนอให้มีการเคลื่อนย้ายตะกอนข้ามร่องน้ำ (sand by-passing) ทุกปี โดยระบุว่าบริเวณพื้นที่โครงการมีตะกอนทรายถูกคลื่นพัดพามาตามหาดสมิหลาถึงแหลมสนอ่อนปีละประมาณ 167,000 ลูกบาศก์เมตร ส่วนใหญ่เกิดในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ การเคลื่อนย้ายตะกอนควรใช้เรือขุดซึ่งสามารถทำงานขุดลอกได้ 2,000 – 2,500 ลูกบาศก์เมตร/วัน ทำงานปีละ 2 – 3 เดือน

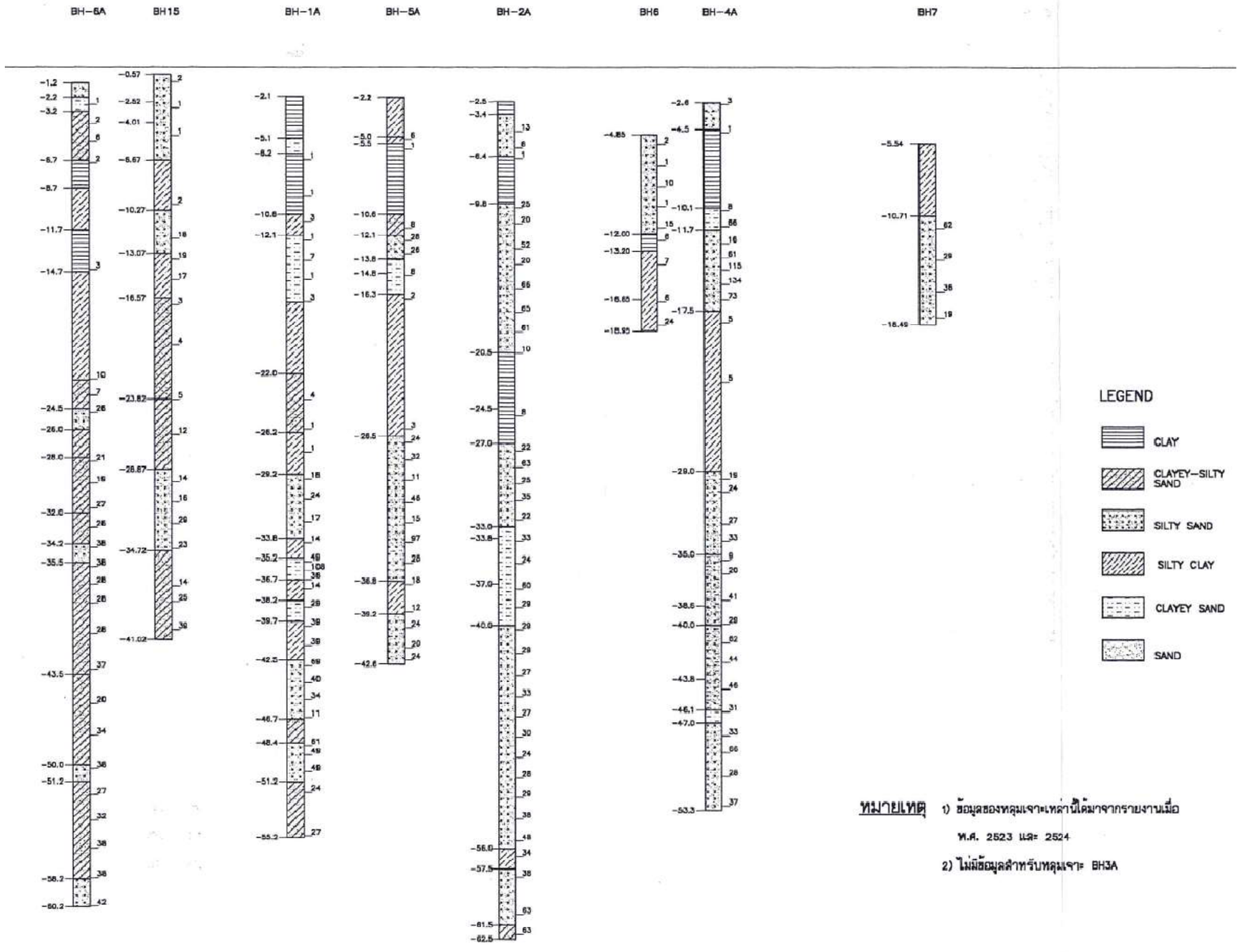
(4) มีการนำข้อเสนอของโครงการไปสู่ภาคปฏิบัติ 1 รายการ คือ งานก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นด้านทิศเหนือยาว 450 เมตร เพื่อลดปัญหาคลื่นลมให้ท่าเรือสงขลา ส่วนงานรายการอื่นตกไปในขั้นตอนศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (ไม่มีการขยายท่าเรือสงขลา) ทำให้ไม่มีการแก้ไขปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำท่าเรือสงขลา

[1] ข้อมูลผลเจาะสำรวจดินบางส่วนอ้างถึงรายงานการสำรวจออกแบบท่าเรือสงขลาปี 2523 - 2524



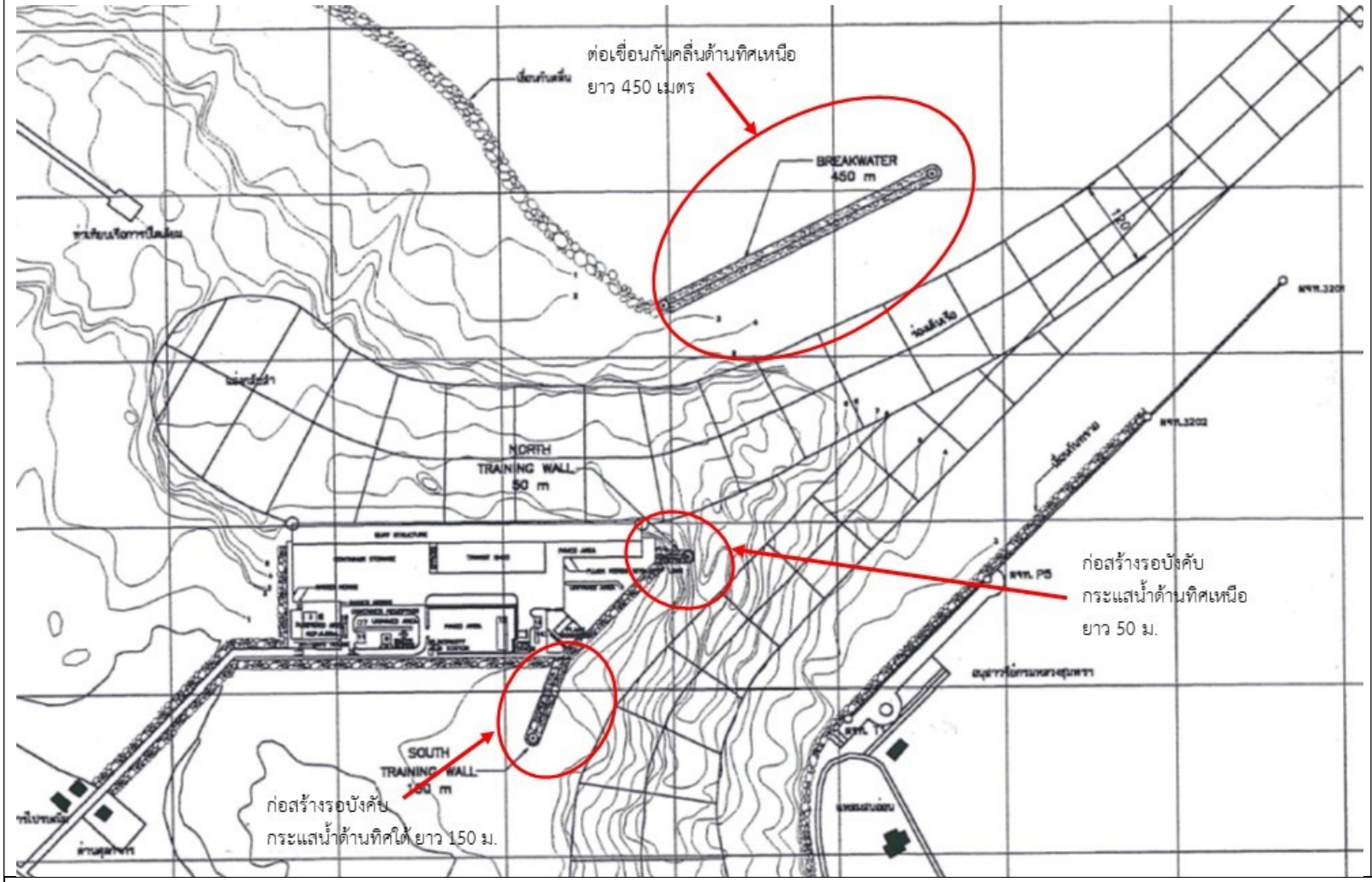
ที่มา: กรมเจ้าท่า, 2541, รายงานการออกแบบเบื้องต้น (ด้านวิศวกรรม) โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม และสำรวจออกแบบเพื่อขยายการก่อสร้างท่าเรือนำลึกสงขลา-ภูเก็ต ฉบับที่ 2 การขยายท่าเรือนำลึกสงขลา, หน้า 2-13

รูปที่ 3 - 1 ผังหลุมเจาะสำรวจดินโครงการสำรวจออกแบบท่าเรือสงขลา



ที่มา: กรมเจ้าท่า, 2541, รายงานการออกแบบเบื้องต้น (ด้านวิศวกรรม) โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสำรวจออกแบบเพื่อขยายการก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกสงขลา-ภูเก็ต ฉบับที่ 2 การขยายท่าเรือน้ำลึกสงขลา, หน้า 2-14

รูปที่ 3 - 2 คุณลักษณะทั่วไปของดินในหลุมเจาะ



ที่มา: กรมเจ้าท่า, 2541, รายงานการออกแบบเบื้องต้น (ด้านวิศวกรรม) โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม และสำรวจออกแบบเพื่อขยายการก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกสงขลา-ภูเก็ต ฉบับที่ 2 การขยายท่าเรือน้ำลึกสงขลา, หน้า 5-5

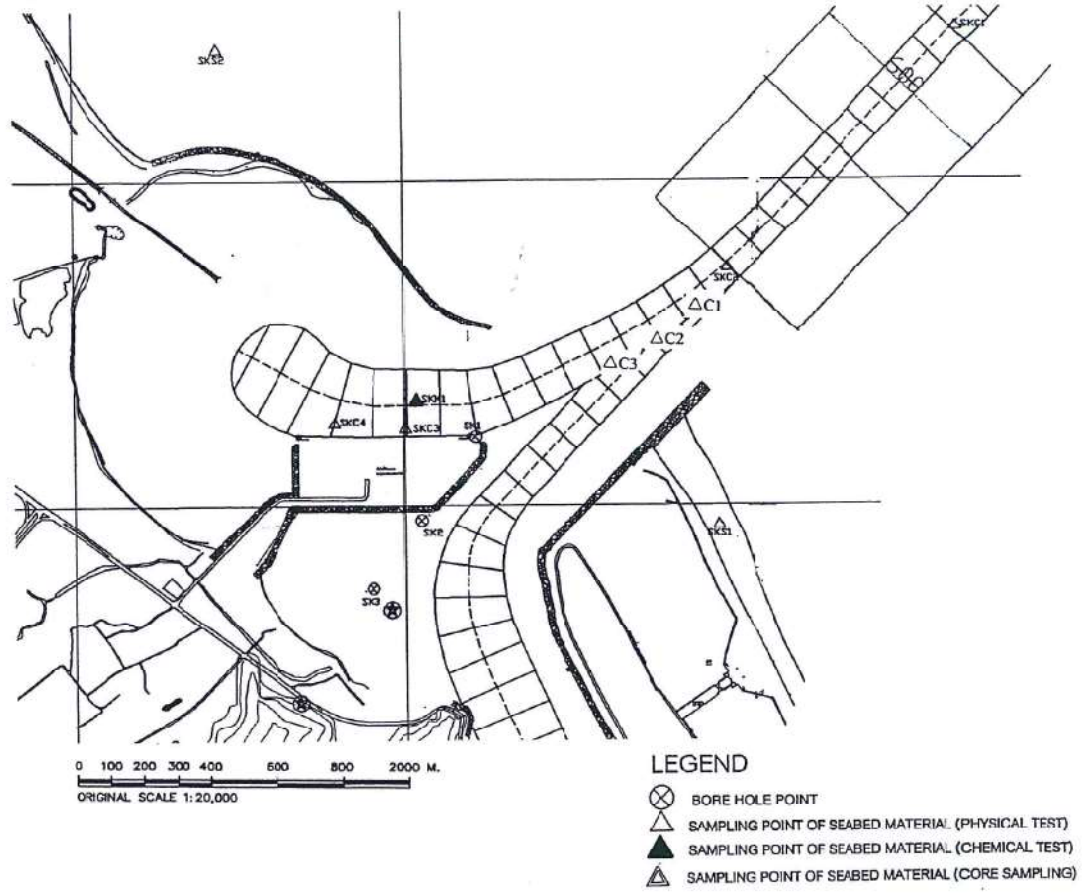
รูปที่ 3 - 3 ข้อเสนอวิธีแก้ไขปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำของโครงการสำรวจออกแบบท่าเทียบเรือสงขลา

3.1.2 แผนแม่บทการพัฒนาร่องน้ำและท่าเรือ

ช่วงปี 2544 - 2545 Japan International Cooperation Agency (JICA) ให้เงินสนับสนุนโครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาร่องน้ำชายทะเลและท่าเรือในประเทศไทย (The Master Plan Study for the Coastal Channels and Port Development in the Kingdom of Thailand) ให้กรมเจ้าท่า ผู้ทำการศึกษา คือ Pacific Consultants International (PCI) พื้นที่ศึกษาเป็นร่องน้ำและท่าเรือในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราช สงขลา ปัตตานี และนราธิวาส การศึกษาในโครงการเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลลักษณะการเดินเรือในพื้นที่ ต่อด้วยการศึกษาคุณลักษณะชายฝั่ง สภาพแวดล้อม เงื่อนไขทางภูมิศาสตร์ สิ่งอำนวยความสะดวกที่มีการปฏิบัติงานขุดลอกและบำรุงรักษาร่องน้ำ มาตรการป้องกันร่องน้ำเพื่อการเดินเรือ นำมาสังเคราะห์และวิเคราะห์เพื่อจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาร่องน้ำและท่าเรือ และศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการพัฒนาท่าเรือที่คัดเลือก การทบทวนรายงานประเด็นผลเจาะสำรวจดินลักษณะการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่ง ข้อสังเกตการปิดเขื่อนกันคลื่นเพื่อความปลอดภัยของท่าเรือ PTT และการปฏิบัติงานขุดลอกและบำรุงรักษาร่องน้ำได้ความโดยสรุปดังนี้

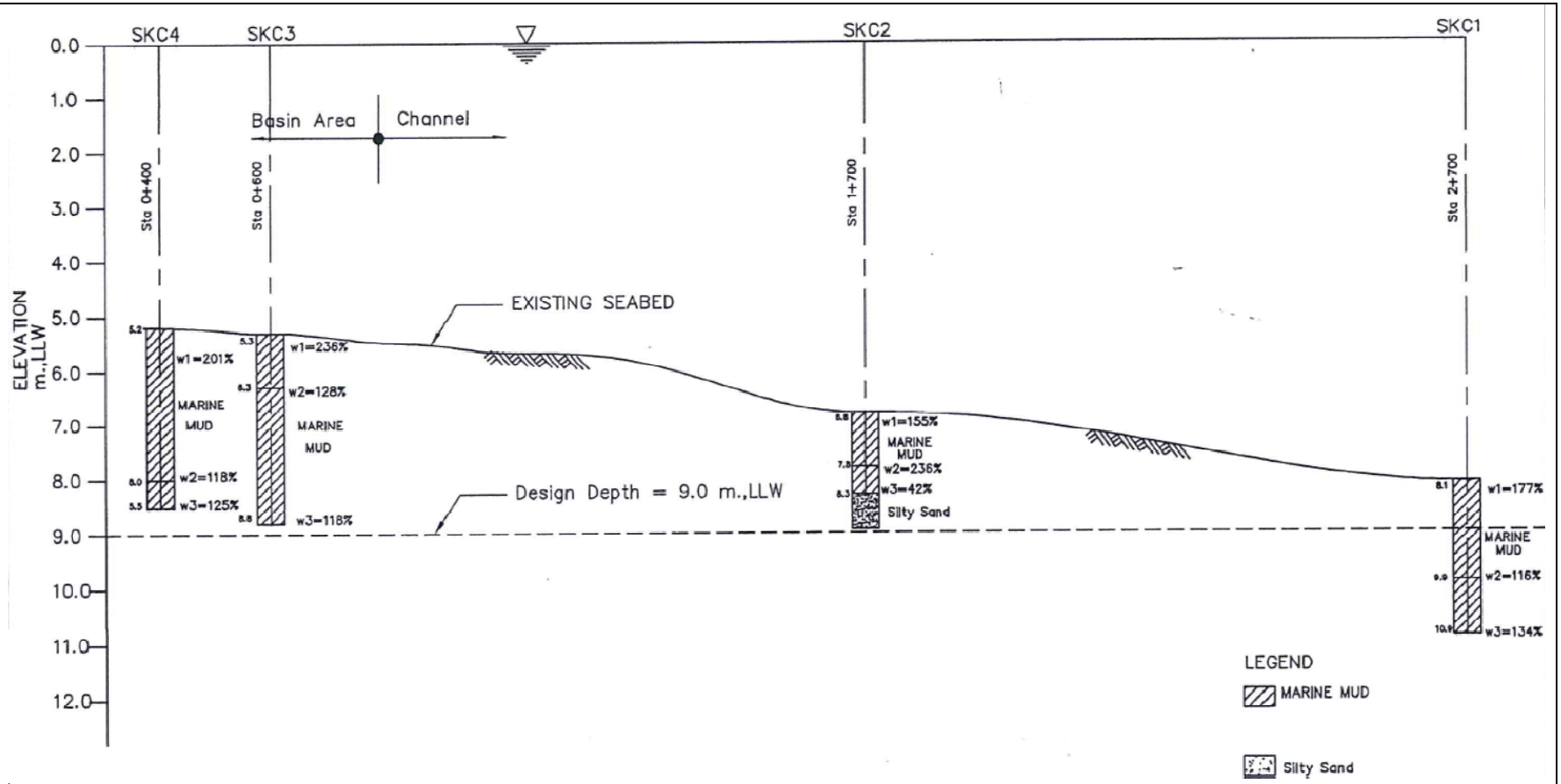
(1) โครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาร่องน้ำฯ มีงานเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างดินเพื่อตรวจสอบคุณลักษณะชั้นดินและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ รวมกัน 11 หลุม ตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจและเก็บตัวอย่างวัสดุพื้นท้องน้ำแสดงใน**รูปที่ 3–4** ผลตรวจสอบคุณลักษณะชั้นดิน (soil profile) ตามแนวร่องนอก แนวตั้งฉากกับท่าเรือสงขลา และบริเวณต่อเนื่องระหว่างร่องในกับร่องนอกแสดงใน**รูปที่ 3–5** ถึง**รูปที่ 3-7** ตามลำดับ ผลตรวจสอบคุณลักษณะชั้นดินในหลุมเจาะแสดงในรูปที่ **3–8** ลักษณะการกระจายตัวของขนาดตะกอนดินแสดงใน**ตารางที่ 3–1**

การทบทวนข้อมูลผลเจาะสำรวจดินข้างต้นได้ข้อสรุปว่าดินในร่องน้ำสงขลาเกือบทั้งหมดเป็นดินโคลนอ่อนชายทะเล (marine mud) ยกเว้นจุด C1 ที่พบทรายแป้ง (silty sand) สำหรับลักษณะการกระจายตัวของขนาดตะกอนพบว่าตะกอนชายหาดมีค่า d50 ระหว่าง 0.113 – 0.160 มิลลิเมตร ส่วนดินตะกอนในร่องน้ำมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.0015 – 0.0039 มิลลิเมตร



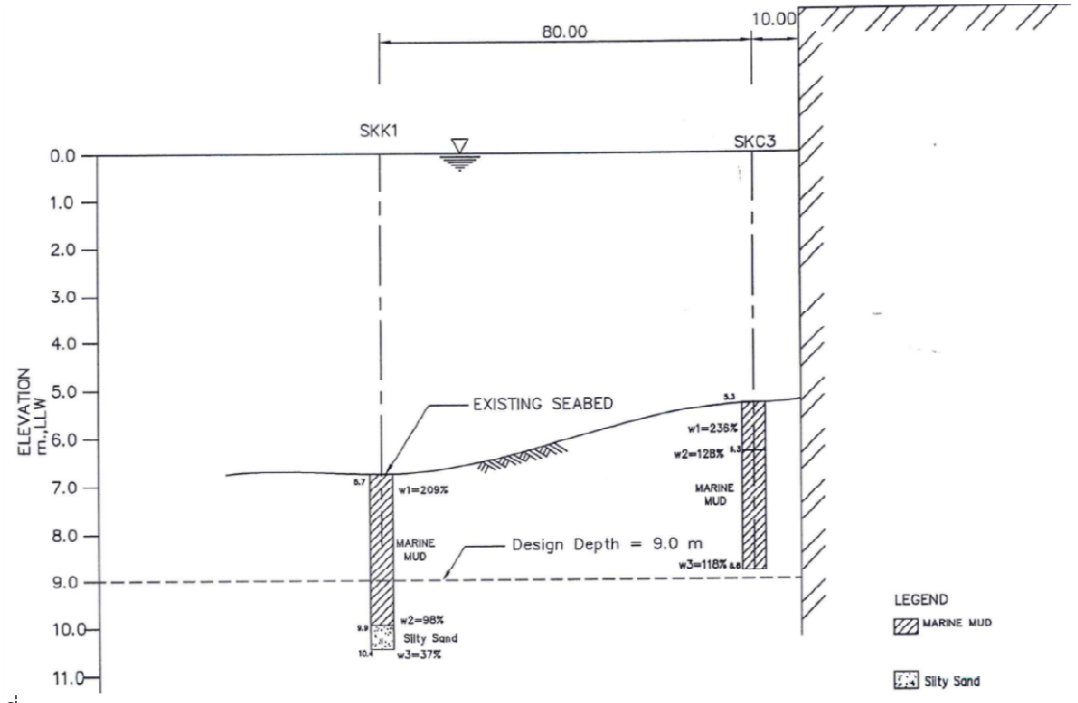
ที่มา: Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for The Coastal Channels and Ports Development in The Kingdom of Thailand, p.4-42

รูปที่ 3 - 4 ตำแหน่งเจาะสำรวจดินโครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาร่องน้ำและท่าเรือฯ



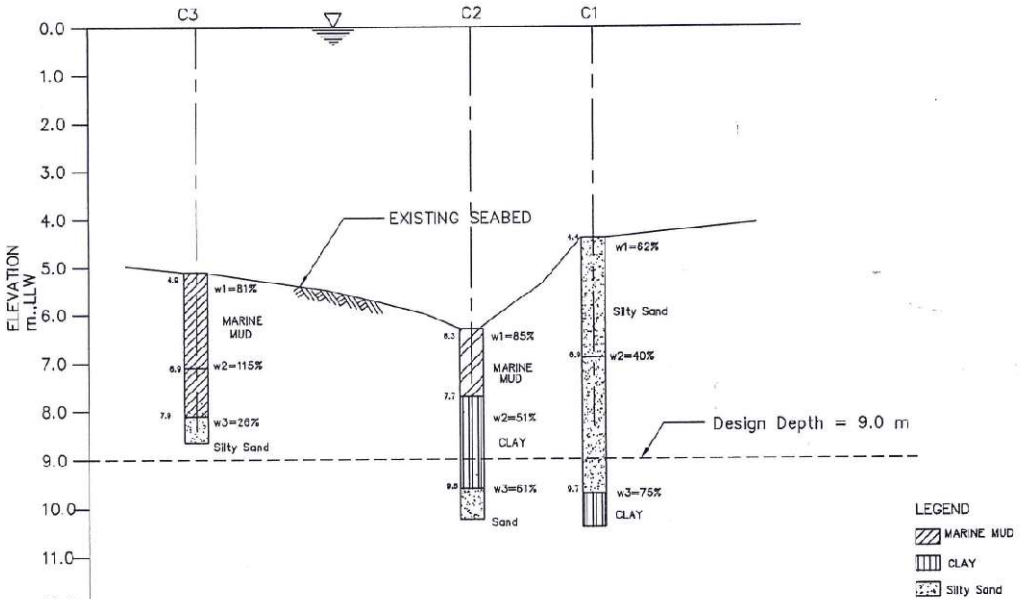
ที่มา: Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for The Coastal Channels and Ports Development in The Kingdom of Thailand, p.4-43

รูปที่ 3 - 5 ลักษณะชั้นดินตามแนวร่องนอก



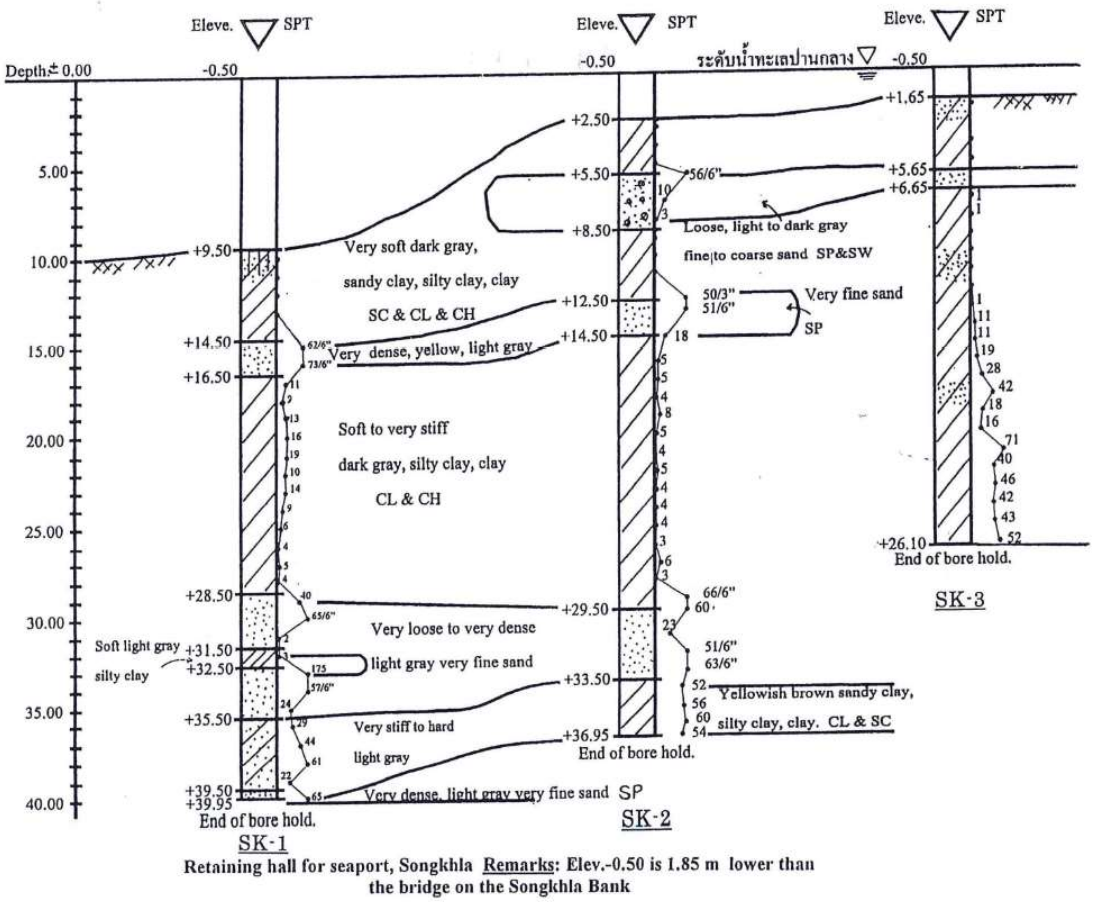
ที่มา: Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for The Coastal Channels and Ports Development in The Kingdom of Thailand, p.4-44

รูปที่ 3 - 6 ลักษณะชั้นดินแนวตั้งฉากกับแอ่งจอดเรือท่าเรือสงขลา



ที่มา: Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for The Coastal Channels and Ports Development in The Kingdom of Thailand, p.4-45

รูปที่ 3 - 7 ลักษณะชั้นดินบริเวณต่อเนื่องระหว่างร่องในกับร่องนอก



ที่มา: Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for The Coastal Channels and Ports Development in The Kingdom of Thailand, p.4-101

รูปที่ 3 - 8 คุณลักษณะชั้นดินจากหลุมเจาะ

ตารางที่ 3 - 1 ลักษณะการกระจายตัวของตะกอนพื้นท้องน้ำ

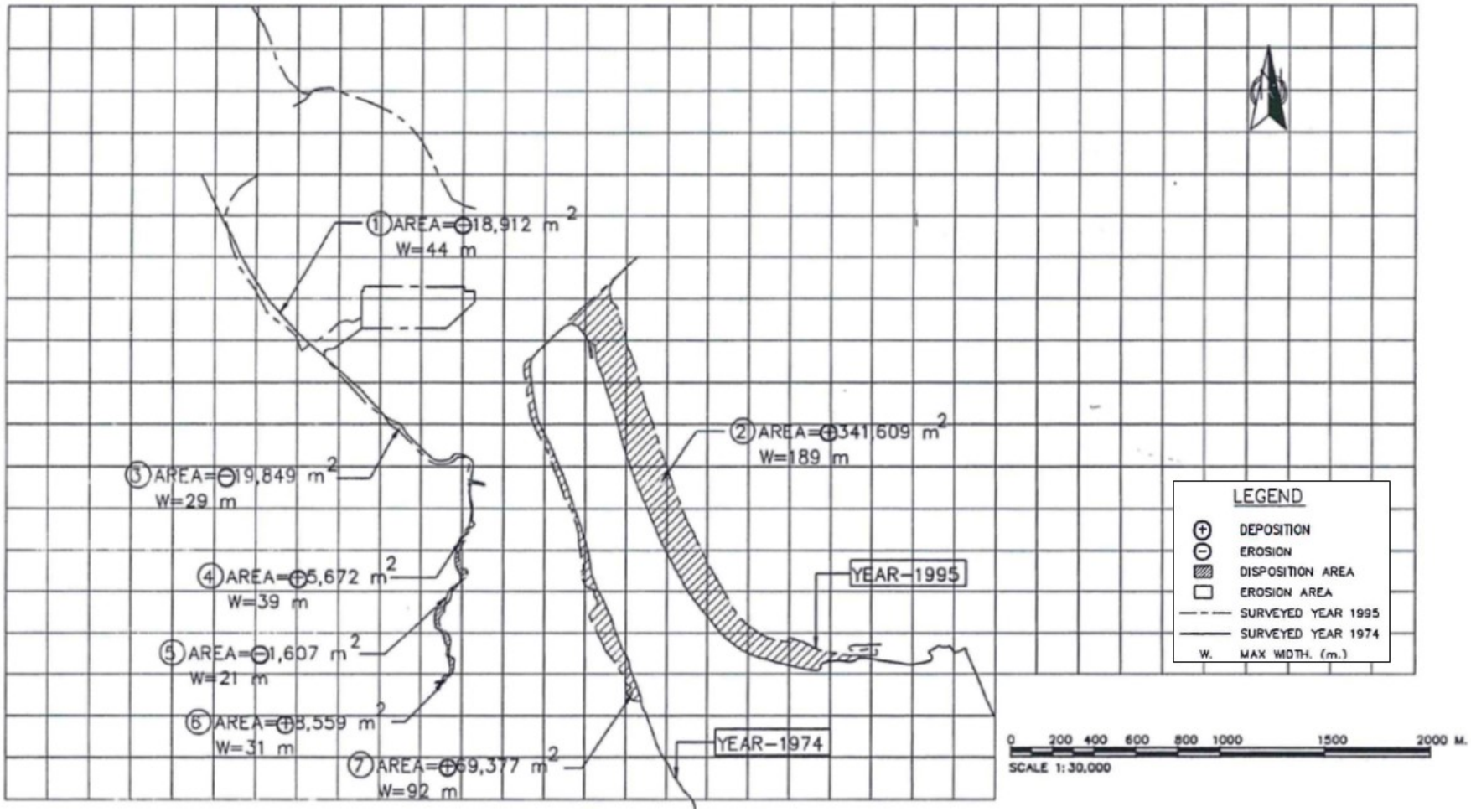
Area	Station	Gradation (mm)			Specific Gravity	Water content(%)
		D16	D50	D84		
Along shore	SKS1	0.090	0.113	0.260	2.67	1.2
	SKS2	0.150	0.160	0.210	2.64	30.2
Harbor basin & channel	SKC1		-	0.015	2.46	116.9
	SKC2		-	0.0026	2.31	100.8
	SKC3		0.0015	0.0047	2.49	128.7
	SKC4		0.0039	0.0092	2.49	118.6
	SKK1		-	-	2.24	98.5

ที่มา: Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for The Coastal Channels and Ports Development in The Kingdom of Thailand, p.4-47

(2) งานศึกษาลักษณะการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งจากภาพถ่ายทางอากาศระหว่างปี พ.ศ. 2517 – 2538 ดังแสดงใน**รูปที่ 3–9** พบว่าพื้นที่บริเวณแหลมสมิหลาถึงเขื่อนกันคลื่นด้านทิศใต้เป็นพื้นที่งอก ระยะที่งอก 189 เมตร พื้นที่ด้านทิศตะวันออกของร่องในก็เป็นพื้นที่งอกด้วย ระยะที่งอก 92 เมตร ส่วนพื้นที่ด้านทิศตะวันตกของร่องในถูกกัดเซาะ ระยะที่ถูกกัดเซาะ 21 – 39 เมตร

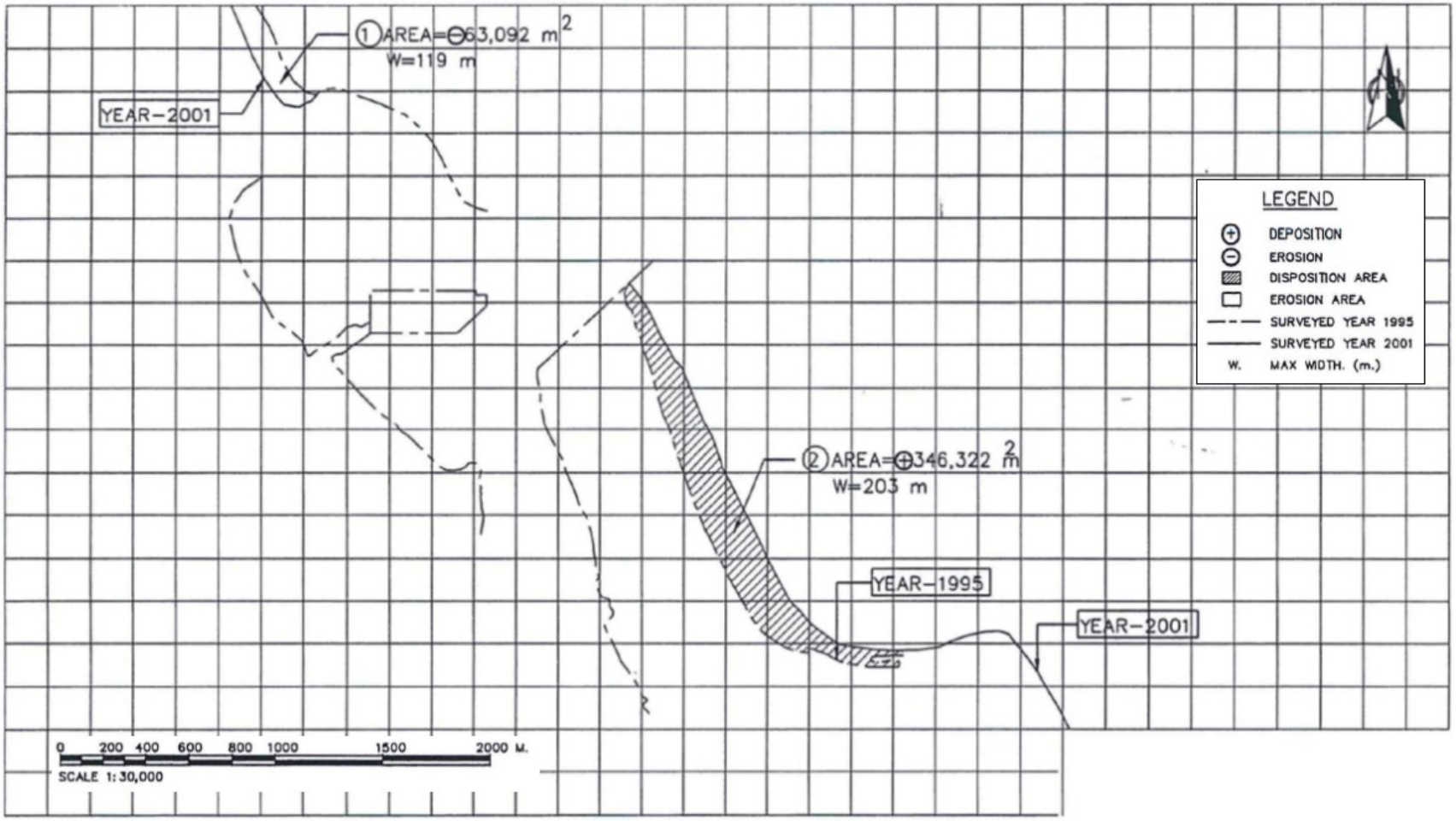
การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งช่วงเวลาถัดมาระหว่างปีพ.ศ. 2538 – 2544 ดังแสดงใน **รูปที่ 3–10** พบว่าพื้นที่บริเวณแหลมสมิหลาถึงเขื่อนกันคลื่นด้านทิศใต้ยังงอกต่อเนื่อง ระยะทางที่งอกเฉลี่ย203เมตร ส่วนพื้นที่ด้านเหนือเขื่อนกันคลื่นด้านทิศเหนือถูกกัดเซาะ ระยะที่ถูกกัดเซาะเฉลี่ย 119 เมตร

ลักษณะดังกล่าวแสดงว่าตะกอนชายฝั่งมีการเคลื่อนตัวสุทธิไปทางทิศเหนือ เมื่อมีเขื่อนกันทรายบริเวณปากร่องน้ำสงขลาก็ทำให้พื้นที่ด้านทิศใต้เขื่อนกันทรายเป็นพื้นที่งอก ส่วนพื้นที่ด้านทิศเหนือเขื่อนกันทรายถูกกัดเซาะ ตะกอนทรายที่เคลื่อนตัวไปทางเหนือและถูกดักที่เขื่อนกันทรายหลังสะสมจนขนาดพื้นที่งอกยื่นเกินเขื่อนกันทรายก็จะเคลื่อนที่ต่อไปตกในร่องนอก



ที่มา: Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for the Coastal Channels and Ports Development in the Kingdom of Thailand, p.4-111

รูปที่ 3 - 9 ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งจากภาพถ่ายทางอากาศ พ.ศ. 2517 - 2538

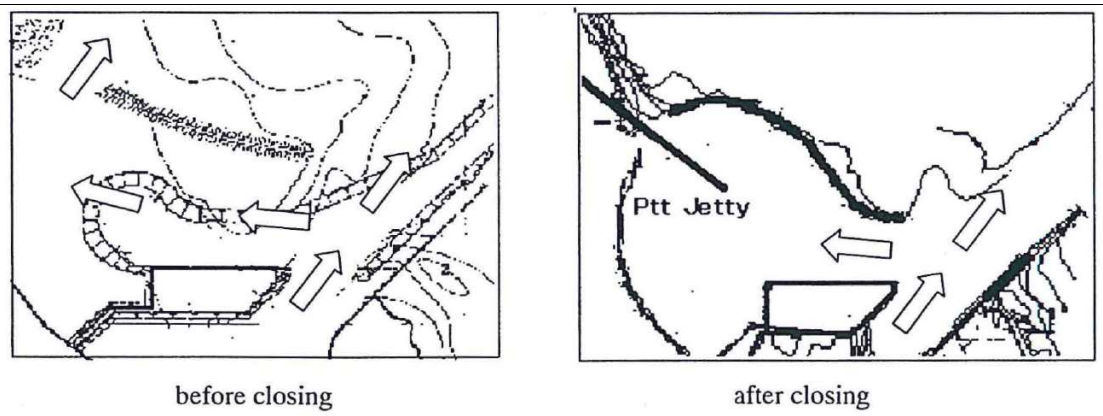


ที่มา: Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for the Coastal Channels and Ports Development in the Kingdom of Thailand, p.4-115

รูปที่ 3 - 10 ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงแนวชายฝั่งจากภาพถ่ายทางอากาศ พ.ศ. 2538 - 2544

(3) ที่ปรึกษา PCI มีข้อสังเกตเกี่ยวกับการปิดเขื่อนกันคลื่นด้านทิศเหนือเพื่อความปลอดภัยของ ปตท. จนน้ำไหลผ่านไม่ได้ (ดู**รูปที่ 3–10**) โดยเห็นว่าการปิดเขื่อนกันคลื่นดังกล่าวส่งผลทำให้น้ำในแอ่งจอดเรือกลายสภาพเป็นน้ำนิ่งพร้อมกับทำให้ตะกอนตกในแอ่งจอดเรือ แต่ไม่ได้วิเคราะห์ขนาดผลกระทบ

(4) ที่ปรึกษา PCI มีข้อสังเกตเกี่ยวกับประสิทธิภาพของงานขุดลอกหลายข้อครอบคลุมทั้งการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงาน การเลือกชนิดเครื่องมือขุดลอกให้เหมาะสมกับลักษณะงาน การซ่อมบำรุงเครื่องมือขุดลอกเชิงป้องกัน ฯลฯ ประเด็นที่ที่ปรึกษาสนใจเป็นเรื่องปริมาณงานขุดลอกที่บันทึกในสถิติ โดยที่ปรึกษา PCI ระบุว่า mud content ของเรือขุดแบบหัวสว่าน (Cutter Suction) C25 สังเกตที่ท่อส่งมีค่าเพียง 3%[2] และไม่สามารถเห็นตะกอนทรายใน Hopper ของเรือขุดแบบยุ้งดิน ข.10 ความจุ 800 ลูกบาศก์เมตร ขณะระดับน้ำใน Hopper ลดเหลือ 500 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเนื่องจากสถิติงานขุดลอกใช้วิธีคูณอัตราการไหลด้วยระยะเวลาปฏิบัติงาน กับคูณขนาดระวางเรือ Hopper ด้วยจำนวนเที่ยวที่ขนส่ง วิธีปฏิบัติดังกล่าวทำให้ปริมาณงานขุดลอกที่บันทึกสูงกว่าความเป็นจริง



ที่มา: Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for the Coastal Channels and Ports Development in the Kingdom of Thailand, p.7-46

รูปที่ 3 - 11 การปิดเขื่อนกันคลื่นด้านบนทำให้กระแสน้ำไหลผ่านไม่ได้

[2] Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for The Coastal Channels and Ports Development in The Kingdom of Thailand, p.7-20

3.1.3 แผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลาตอนล่าง

ช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2554 – 2557 กรมเจ้าท่าได้จ้างกลุ่มบริษัทที่ปรึกษา ซึ่งประกอบด้วย สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ บริษัท ซี เสปคตรัม จำกัด มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ และบริษัท เอส ที เอส เอ็นจิเนียริ่ง คอนซัลแตนท์ จำกัด ทำงานศึกษาเพื่อจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลาตอนล่าง รายละเอียดที่ศึกษาเริ่มตั้งแต่การรวบรวมข้อมูลด้านวิศวกรรมเพื่อใช้ออกแบบรายละเอียดร่องน้ำ ต่อด้วยการออกแบบรายละเอียดร่องน้ำ และการประเมินความเหมาะสมของโครงการ

ข้อมูลโครงการที่นำมาทบทวนมี 3รายการ ได้แก่ (1) ข้อมูลผลเจาะสำรวจดิน (2) ข้อมูลผลวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำ และ (3) ผลสำรวจระดับพื้นท้องน้ำทะเลสาบสงขลา ซึ่งมีรายละเอียดสรุปได้ ดังนี้

(1) โครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บทฯ ทำงานเจาะสำรวจดินในทะเลสาบสงขลารวมกันทั้งหมด 40 หลุม ที่ตั้งหลุมเจาะแสดงใน**รูปที่ 3–12** ผลสำรวจสรุปว่าพบดินเหนียว หรือทรายแป้ง ตั้งแต่พื้นทะเลสาบถึงความลึก 5.5 เมตร ทุกหลุมเจาะ ส่วนใหญ่เป็นดินอ่อน (ค่า SPT = 2) ยกเว้นบางหลุมชั้นดินอ่อนหนาเพียง 2 – 3 เมตร ก่อนจะเปลี่ยนเป็นดินเหนียวและทรายแป้งที่มีความแข็งระดับ stiff soil (ค่า SPT 7 – 10) โดยหลุมเจาะที่ชั้นดินอ่อนหนาน้อยกว่า 5.5 เมตร อยู่ห่างฝั่งและทะเลสาบบริเวณดังกล่าวลึกกว่าบริเวณอื่น (ความลึก 4.0 – 4.5 เมตร ในขณะที่บริเวณทั่วไปลึก 1 – 2 เมตร)[3]

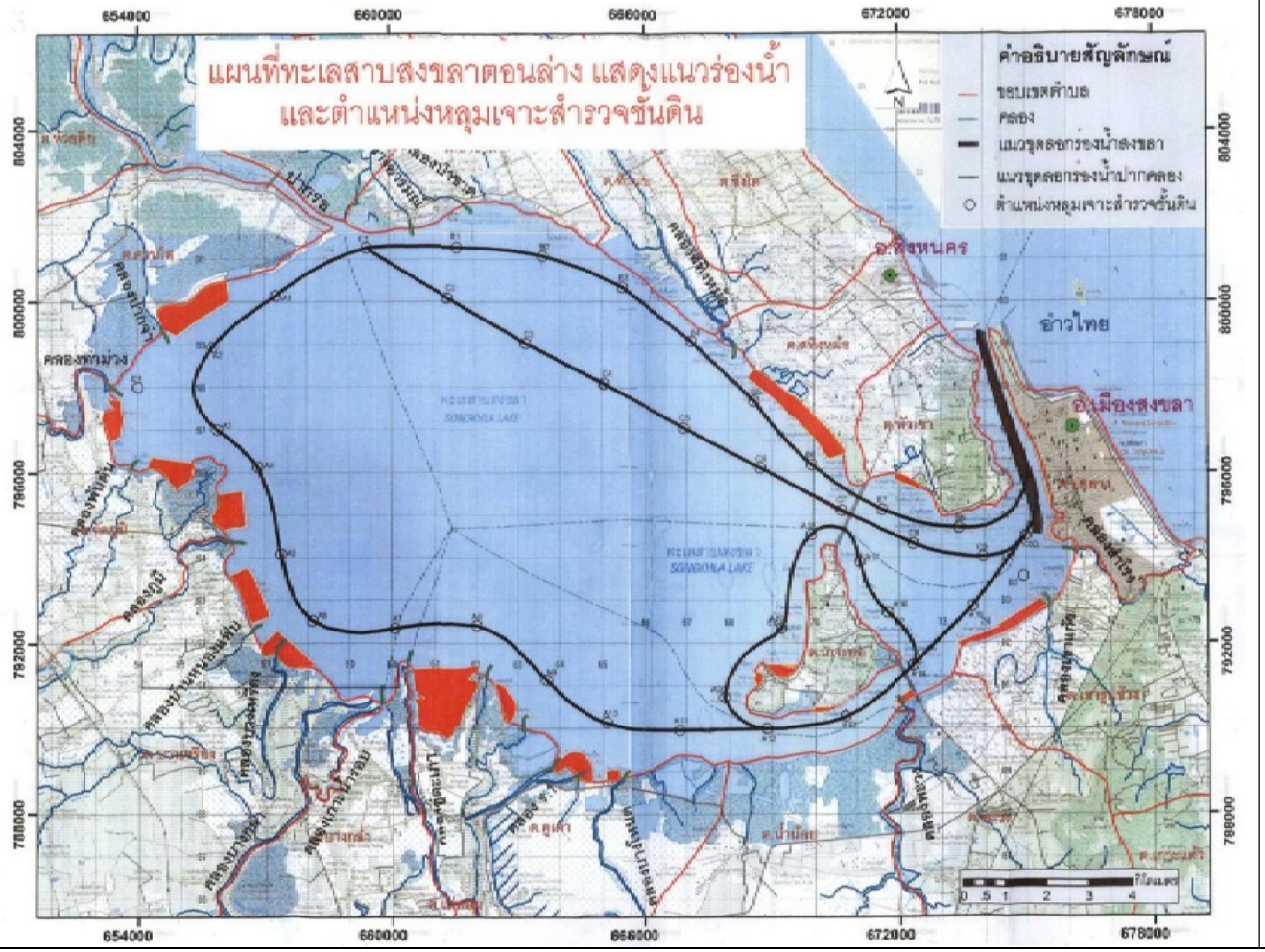
(2) การวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำครอบคลุมเฉพาะร่องน้ำในทะเลสาบสงขลา[4] ผลวิเคราะห์ดังแสดงใน**ตารางที่ 3–2** พบว่าปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำขณะยังไม่มีการขุดลอกของแต่ละบริเวณอยู่ระหว่าง 2.3 – 41.8 มิลลิเมตร/ปี แต่เมื่อมีการขุดลอกร่องน้ำในทะเลสาบสงขลาทำให้ความลึกน้ำเพิ่มจาก 1– 2 เมตร เป็น 4 เมตร แล้ว ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำจะเพิ่มขึ้นเป็น 122.7 – 269.4 มิลลิเมตร

(3) งานศึกษาจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลารวมถึงงานสำรวจระดับพื้นท้องน้ำในทะเลสาบสงขลาซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าเป็นงานสำรวจที่ดำเนินการล่าสุดและเป็นข้อมูลที่มีมาตรฐาน มีความน่าเชื่อถือ งานศึกษาในโครงการจึงนำผลสำรวจดังกล่าวมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองคณิตศาสตร์

---

[3] กรมเจ้าท่า, 2557, งานศึกษาเพื่อจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลาตอนล่าง, หน้า 2 - 46

[4] พื้นที่วิเคราะห์ของงานศึกษาแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลาต่างจากพื้นที่ศึกษาของโครงการที่ครอบคลุมบริเวณร่องในและร่องนอก แต่ก็พิจารณาว่าทำให้เห็นขนาดของตะกอนที่ตกตามปกติกับเมื่อมีการขุดลอกขยายความลึกร่องน้ำ



ที่มา: กรมเจ้าท่า, 2557, งานศึกษาเพื่อจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลาตอนล่าง, หน้า 2 - 45

รูปที่ 3 - 12 ผังเจาะสำรวจดินงานศึกษาจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกทะเลสาบสงขลาตอนล่าง

ตารางที่ 3 - 2 ผลวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ

ร่องน้ำ	กรณีไม่มีการขุดลอกร่องน้ำ (มิลลิเมตร/ปี)	กรณีมีการขุดลอกร่องน้ำ (มิลลิเมตร/ปี)	เปลี่ยนแปลง (มิลลิเมตร/ปี)
ร่องรอบทะเลสาบร่องบน	41.8	269.4	227.6
ร่องกลางทะเลสาบ	2.3	146.5	144.2
ร่องรอบทะเลสาบร่องล่าง	27.0	122.7	96.7
ร่องรอบเกาะยอ	38.8	142.2	103.4

ที่มา: กรมเจ้าท่า, 2557, งานศึกษาเพื่อจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลาตอนล่าง, หน้า 2 - 82

3.2 ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลามีพื้นที่ประมาณ 8,484.35 ตารางกิโลเมตร ความยาวจากทิศเหนือจรดทิศใต้ประมาณ 150 กิโลเมตร ความกว้างจากทิศตะวันออกจรดทิศตะวันตกประมาณ 65 กิโลเมตร เป็นแผ่นดินประมาณ 7,652.81 ตารางกิโลเมตร เป็นพื้นที่ทะเลสาบประมาณ 831.54 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 9.8 ของพื้นที่ลุ่มน้ำ

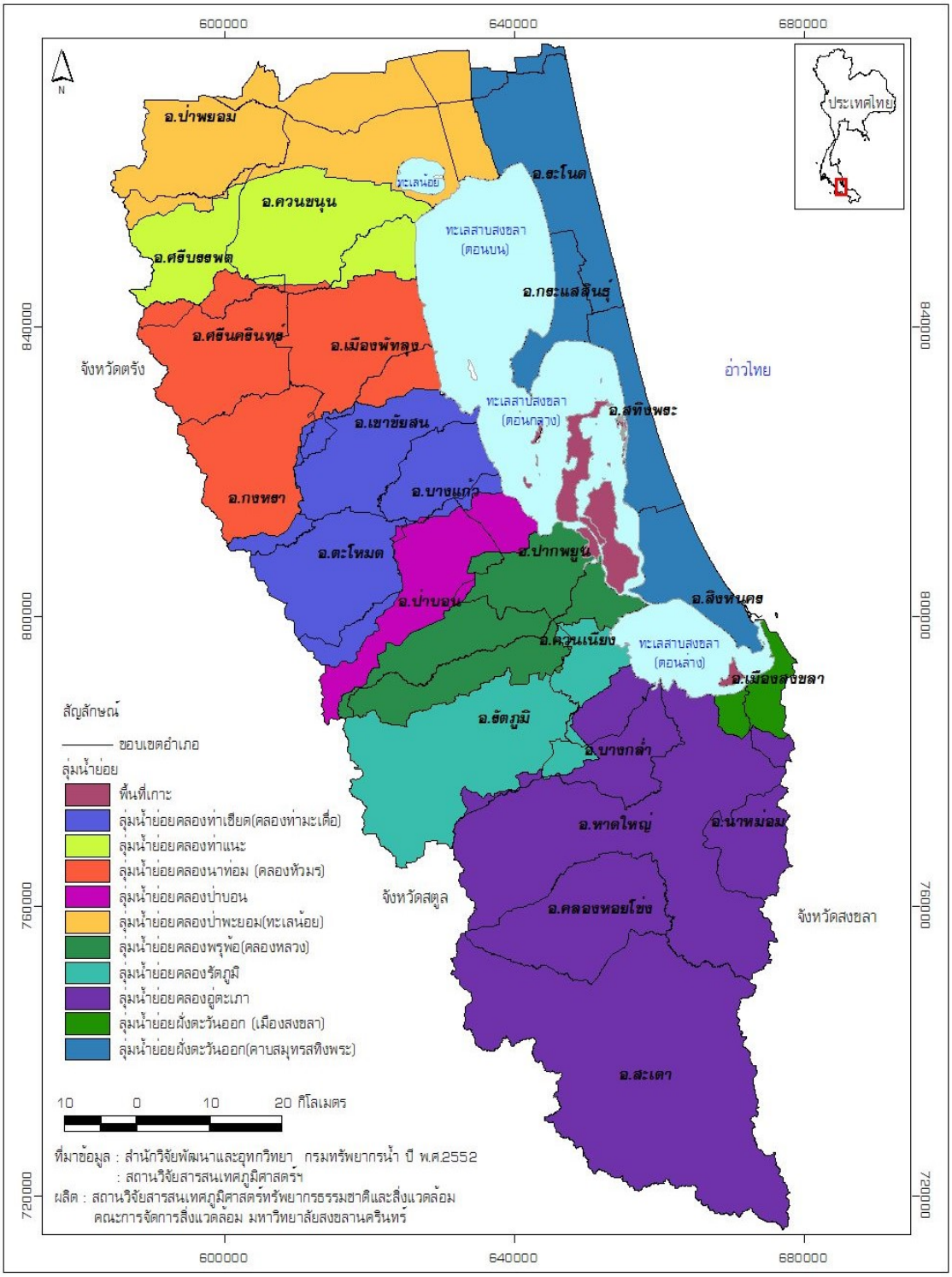
สภาพภูมิประเทศด้านทิศเหนือเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำขนาดใหญ่ ชื่อ “พรุควนเคร็ง” พื้นที่ด้านทิศตะวันออกเป็นที่ราบชายทะเล ทิศตะวันตกมีเทือกเขาบรรทัดเป็นแนวสันปันน้ำ ทิศใต้เป็นส่วนหนึ่งของแนวเทือกเขาสันกาลาคีรี

พื้นที่ในทะเลสาบสงขลาตามแผนที่ขอบเขตทะเลสาบกับลุ่มน้ำย่อยแสดงใน**รูปที่ 3–13** สามารถแบ่งได้เป็น 4ส่วน ประกอบด้วย

(1) ทะเลน้อย ตั้งอยู่ตอนบนสุดของทะเลสาบสงขลา มีพื้นที่ประมาณ 27 ตารางกิโลเมตร เป็นทะเลน้ำจืดตลอดทั้งปี ความลึกเฉลี่ย 1.2 เมตร มีคลองเชื่อมกับทะเลสาบตอนบน คือ คลองนางเรียม คลองบ้านกลาง และคลองยวน

(2) ทะเลสาบตอนบน (ทะเลหลวง) อยู่ถัดจากทะเลน้อยไปถึงตำบลเกาะใหญ่ อำเภอกระแสสินธุ์ จังหวัดสงขลา ขนาดพื้นที่ประมาณ 473 ตารางกิโลเมตร ความลึกเฉลี่ย 2 เมตร น้ำที่ไหลลงทะเลสาบมาจากคลองท่าแนะ คลองนาท่อม และคลองท่ามะเดื่อ พิสัยน้ำขึ้น-ลงน้อยมาก เฉลี่ยไม่เกิน 0.09 เมตร เป็นน้ำจืดเกือบตลอดปี ยกเว้นปีที่แล้งจัดจะมีการรุกของน้ำเค็มช่วงฤดูแล้งทำให้ค่าความเค็มสูงถึง 10 กรัม/ลิตร

(3) ทะเลสาบตอนกลาง (ทะเลสาบ) อยู่ถัดจากตำบลเกาะใหญ่ลงไปถึงบริเวณบ้านปากรอ ตำบลปากรอ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา มีขนาดพื้นที่ประมาณ 360 ตารางกิโลเมตร น้ำที่ไหลลงทะเลสาบมาจากคลองพรุพ้อ คลองพานไทร และคลองป่าบอน ทางน้ำที่เชื่อมกับทะเลสาบตอนล่าง คือ คลองหลวงกับอ่าวท้องแบน ความลึกน้ำเฉลี่ย 2 เมตร พิสัยน้ำขึ้น-น้ำลงบริเวณปากรอประมาณ 0.11 เมตร เป็นระบบนิเวศน้ำจืดและน้ำกร่อย ความเค็มอยู่ในช่วง 0 – 20 กรัม/ลิตร ขึ้นกับฤดูกาล



ที่มา: http://slbkb.psu.ac.th/jspui/bitstream/2558/543/24/เขตลุ่มน้ำย่อย.jpg[access online: 12 พ.ย. 60]

รูปที่ 3 - 13 การแบ่งพื้นที่ทะเลสาบสงขลาและลุ่มน้ำย่อย

(4) ทะเลสาบตอนล่าง (ทะเลสาบสงขลา) เริ่มจากบ้านปากรอ ตำบลปากรอ อำเภอสิงหนคร จังหวัดสงขลา ไปถึงจุดเชื่อมกับทะเลอ่าวไทย ขนาดพื้นที่ประมาณ 182 ตารางกิโลเมตร ความลึกน้ำเฉลี่ย 1.5 เมตร (ไม่รวมบริเวณร่องในและร่องนอก) น้ำที่ไหลลงทะเลสาบมาจากคลองอู่ตะเภา คลองรัตภูมิ คลองบางโหนด คลองพะวง เป็นต้นพิสัยน้ำขึ้น-ลงประมาณ 0.6 เมตร ค่าความเค็มในฤดูแล้ง 23 – 30 กรัม/ลิตร แต่ลดลงเกือบเป็นศูนย์ช่วงฤดูฝน

แผนที่แสดงแนวลำน้ำที่ไหลลงทะเลสาบสงขลาแบ่งเป็นแม่น้ำหรือคลองสายหลัก ลำน้ำที่มีน้ำไหลตลอดปี ลำน้ำที่มีน้ำไหลไม่ตลอดปี คลองที่มนุษย์สร้างขึ้น คลองชลประทาน อ่างเก็บน้ำ ฯลฯ แสดงใน**รูปที่ 3–14**

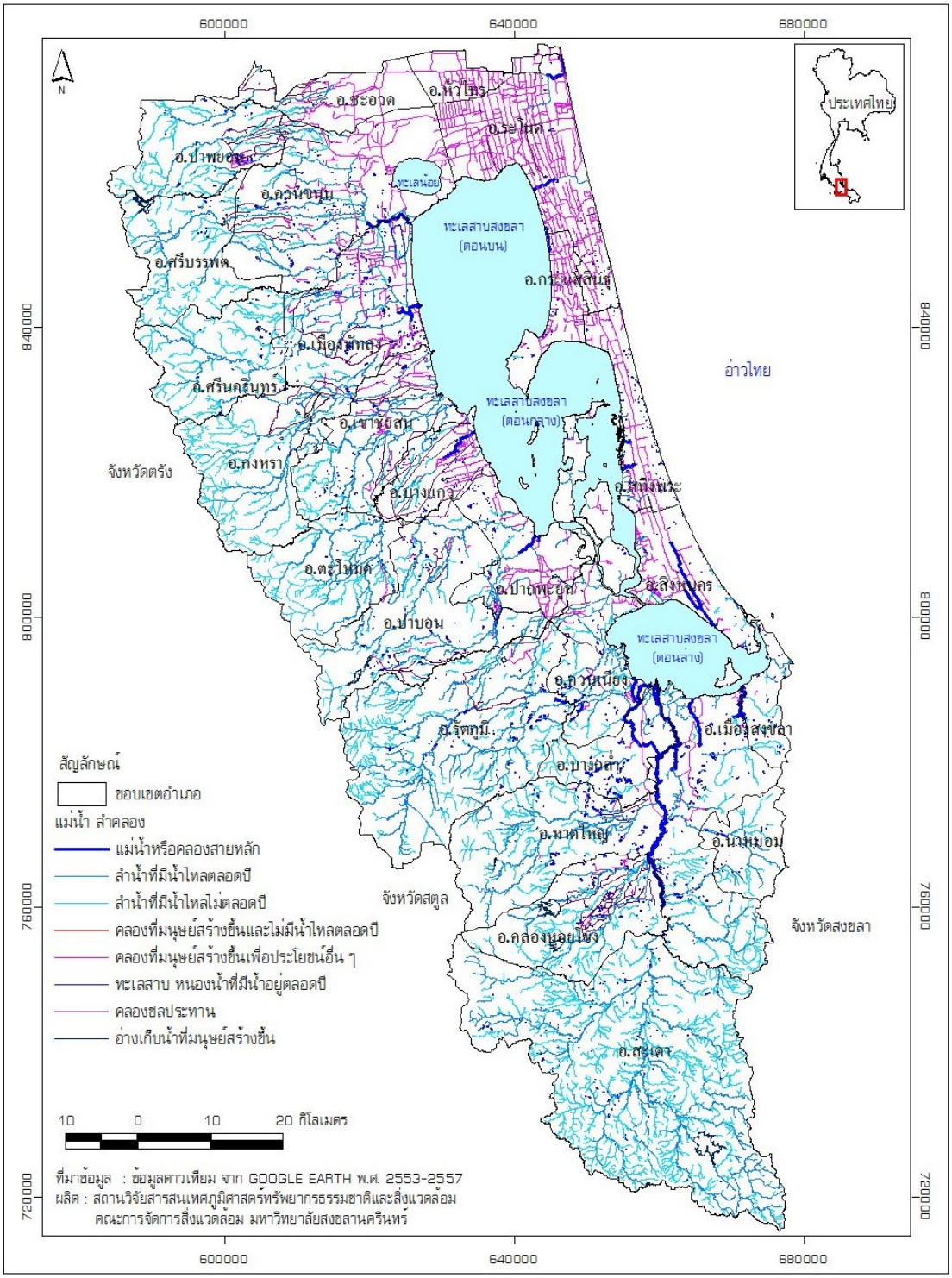
3.3 ข้อมูลอุทกวิทยา

ข้อมูลอุทกวิทยาที่รวบรวม มี5ส่วน ได้แก่ (1) ปริมาณน้ำฝน (2) ปริมาณน้ำท่า (3) ระดับน้ำ (4) ความเร็วกระแสน้ำ (5) อุณหภูมิ และ (6) ตะกอน ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

3.3.1 ปริมาณน้ำฝน

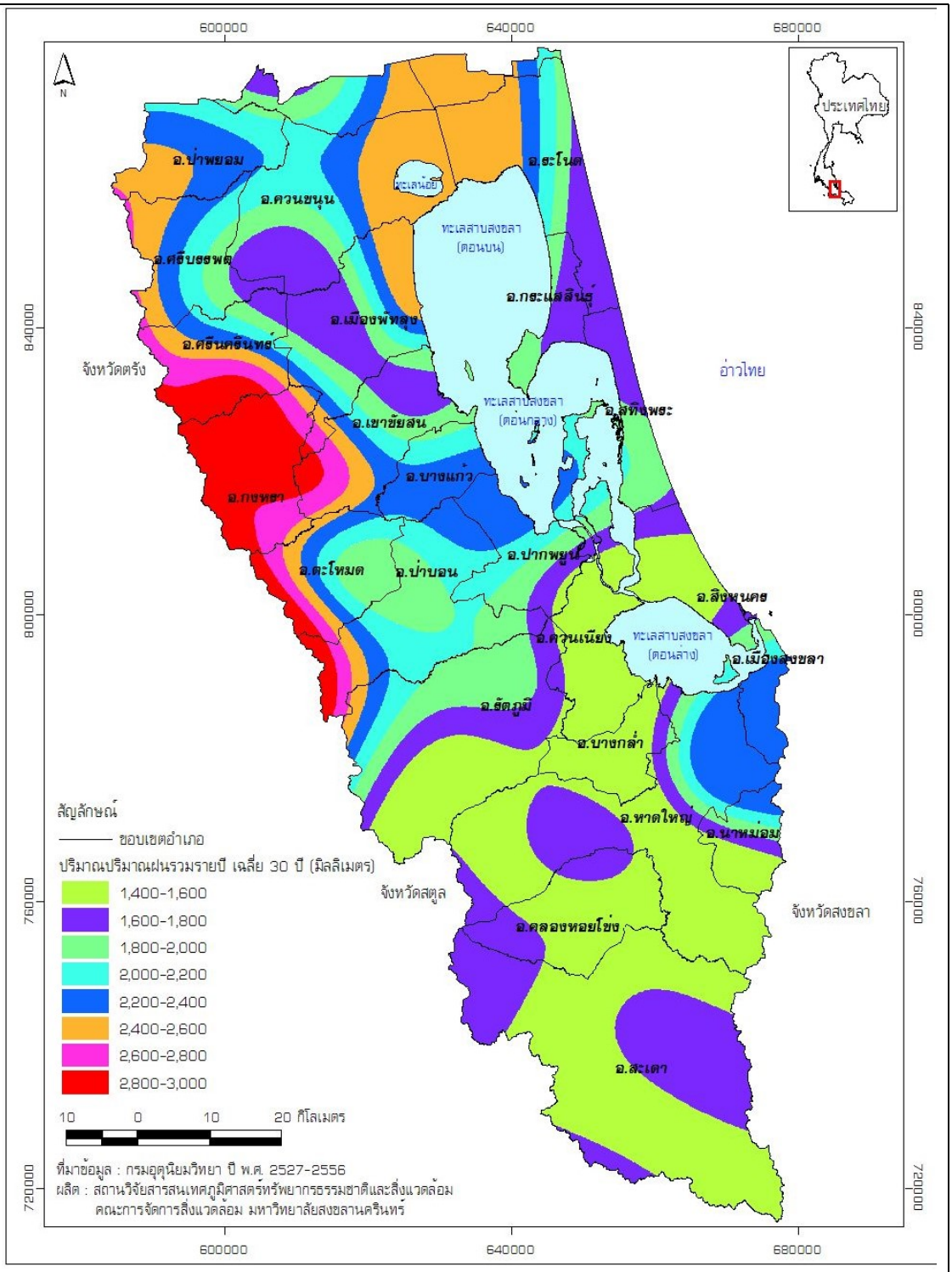
สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประมวลข้อมูลปริมาณน้ำฝนในเขตลุ่มน้ำสงขลาจากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาที่รวบรวมระหว่างปี พ.ศ. 2527 – 2556 (30 ปี) ดังแสดงใน**รูปที่ 3–15** พบว่าปริมาณฝนของพื้นที่รอบทะเลสาบสงขลาโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1,400 – 2,000 มิลลิเมตร/ปี บริเวณที่ฝนตกสูงกว่าค่าเฉลี่ยมี 2 บริเวณ คือ บริเวณพรุควนเคร็งซึ่งอยู่ทางตอนเหนือของพื้นที่ปริมาณฝนอยู่ระหว่าง 2,400 –2,600 มิลลิเมตร/ปี กับพื้นที่ด้านทิศตะวันตกในเขตเทือกเขาบรรทัดที่ปริมาณฝนอยู่ระหว่าง 2,800 – 3,000 มิลลิเมตร/ปี

ปริมาณน้ำฝนไม่ได้นำไปใช้ในแบบจำลองวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำโดยตรง แต่ปริมาณน้ำฝนก่อให้เกิดน้ำท่าไหลมาลงทะเลสาบสงขลาแสดงในข้อ 3.3.2 ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำร่วมกับค่าองค์ประกอบน้ำแสดงในข้อ 3.3.3 และเมื่อมีการชะล้างพังทลายของหน้าดินก็ทำให้มีตะกอนไหลลงทะเลสาบสงขลาดังแสดงในข้อ 3.3.5



ที่มา: http://slbkb.psu.ac.th/jspui/bitstream/2558/543/27/เส้นทางน้ำ.jpg[access only: 12 พ.ย. 60]

รูปที่ 3 - 14 เส้นทางน้ำที่ไหลลงทะเลสาบสงขลา



ที่มา: http://slbkb.psu.ac.th/jspui/bitstream/2558/543/68/ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย 30 ปี.jpg[access online: 12 พ.ย. 60]

รูปที่ 3 - 15 ปริมาณฝนในเขตลุ่มน้ำสงขลาเฉลี่ย 30 ปี

3.3.2 ปริมาณน้ำท่า

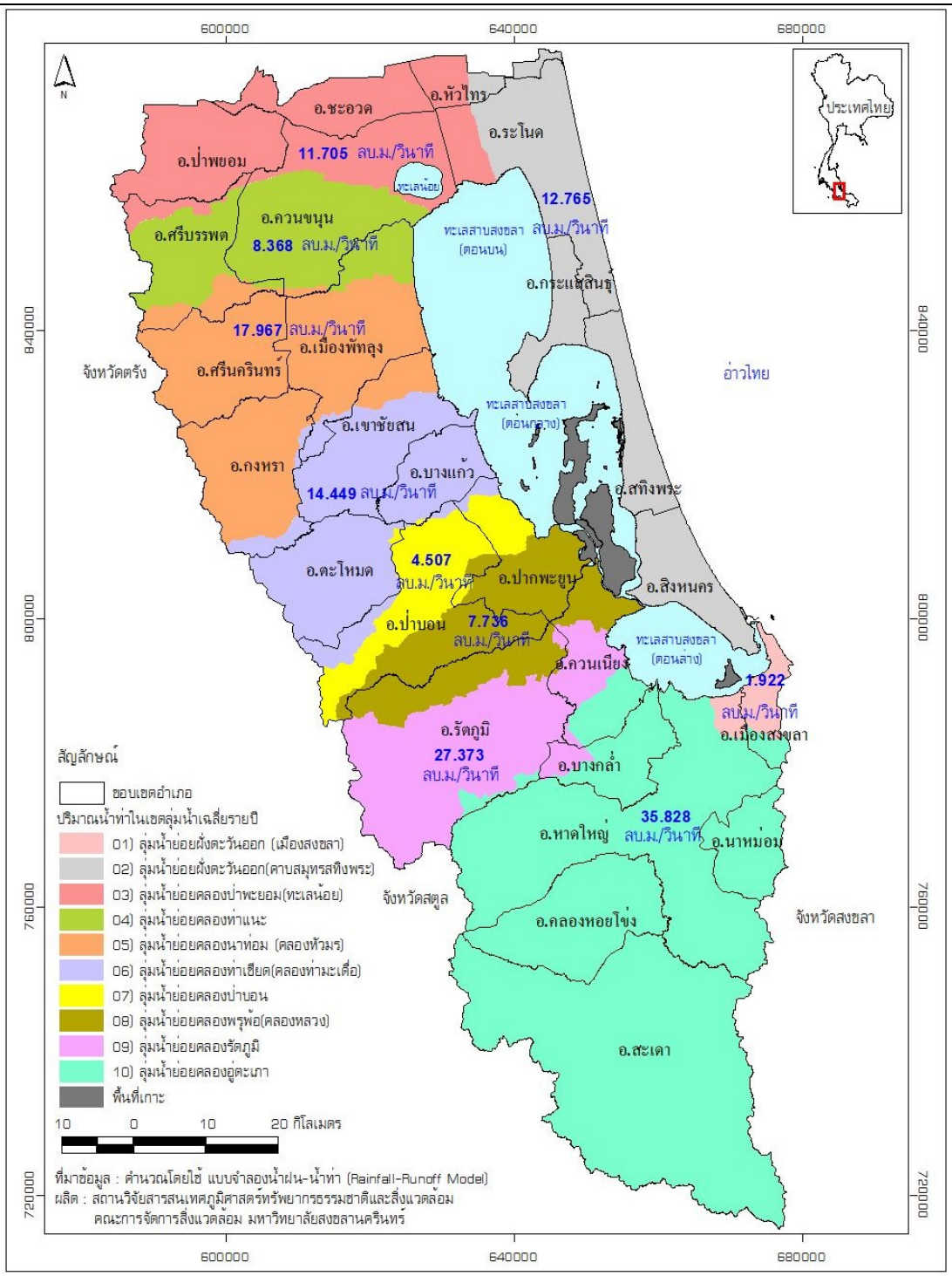
ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่แสดงมีที่มาจาก 2 แหล่ง คือ จากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่าที่เป็นงานวิจัยของสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กับจากข้อมูลจากสถานีตรวจวัดของกรมชลประทาน

สถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ได้ประเมินปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงทะเลสาบสงขลาจากแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า (Rainfall-Runoff Model) ได้ผลวิเคราะห์ ดังแสดงใน**รูปที่ 3–16** สรุปว่าน้ำท่าที่ไหลลงทะเลสาบสงขลาตอนล่างมีแหล่งและปริมาณ ดังนี้

- ลุ่มน้ำย่อยคลองอู่ตะเภา ปริมาณน้ำท่า 35.828 ลูกบาศก์เมตร/วินาที
- ลุ่มน้ำย่อยคลองรัตภูมิ ปริมาณน้ำท่า 27.373 ลูกบาศก์เมตร/วินาที
- ลุ่มน้ำย่อยฝั่งตะวันออก (เมืองสงขลา) ปริมาณน้ำท่า 1.922 ลูกบาศก์เมตร/วินาที

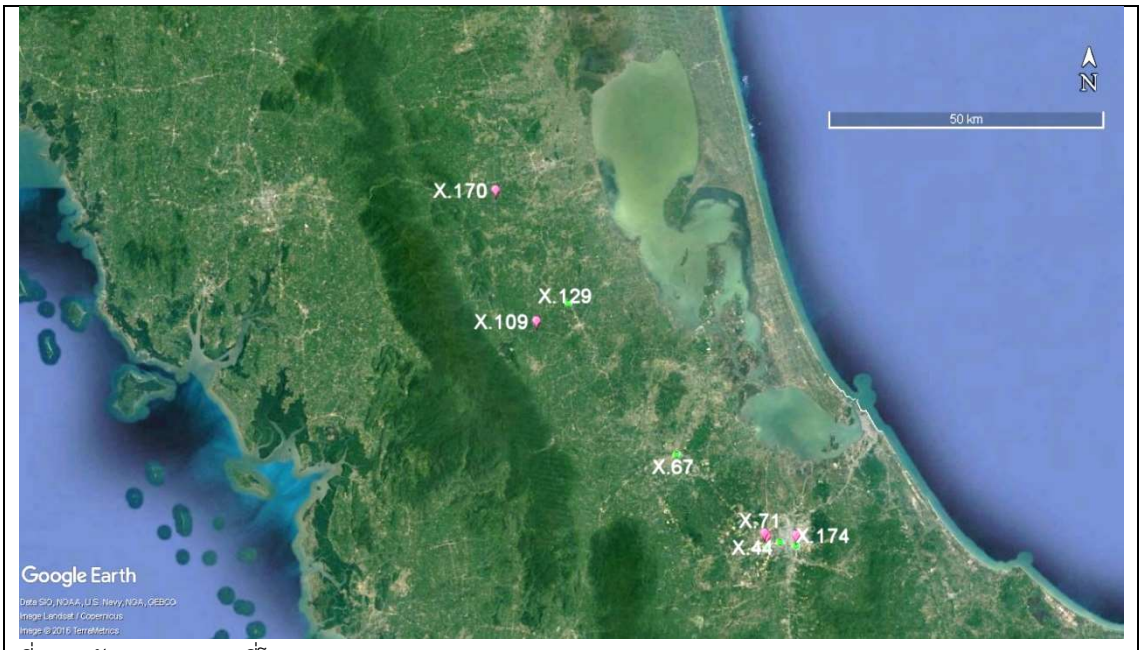
กรมชลประทานมีสถานีตรวจวัดน้ำท่าและตะกอนในลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา 7 สถานี ตำแหน่งสถานีตรวจวัดน้ำท่าแสดงใน**รูปที่ 3-17** การตรวจสอบปริมาณน้ำท่าตรวจวัดที่สถานีต่าง ๆ รายปี ดังแสดงใน**รูปที่ 3–18** พบว่าสถานี X44 คลองอู่ตะเภา มีปริมาณน้ำท่ามากที่สุด ปีที่มีปริมาณน้ำท่ามากที่สุดคือ ปี พ.ศ. 2544 การตรวจสอบอัตราการไหลของสถานี X44 เดือนต่าง ๆ ตามแสดงใน**รูปที่ 3–19** พบว่าฤดูน้ำหลากอยู่ระหว่างเดือนพฤศจิกายน - มกราคม อัตราการไหลสูงสุดเคยขึ้นไปถึง 800 ลบ.ม./วินาที

ข้อมูลปริมาณน้ำท่าที่ไหลลงทะเลสาบสงขลาข้างต้นจะนำไปใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำ



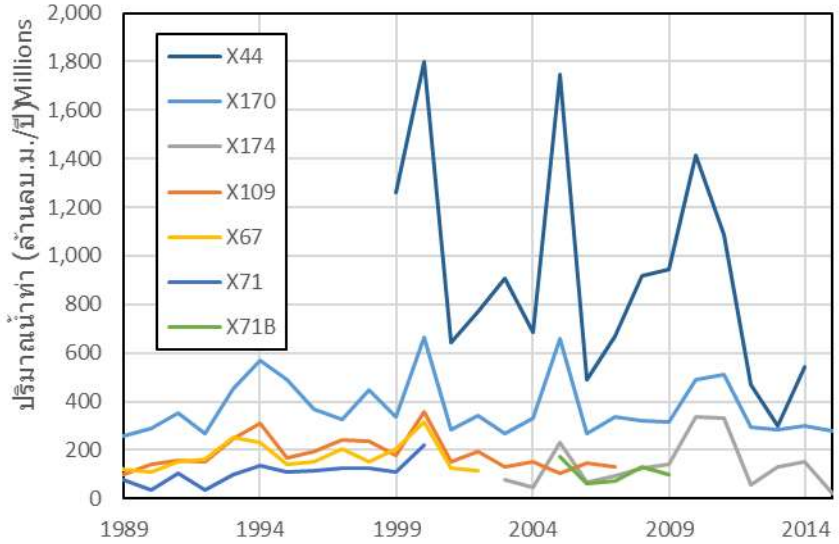
ที่มา: http://slbkb.psu.ac.th/jspui/bitstream/2558/543/67/ปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำย่อย.jpg[access online: 12 พ.ย. 60]

รูปที่ 3 - 16 ปริมาณน้ำท่าในเขตลุ่มน้ำย่อยสงขลา



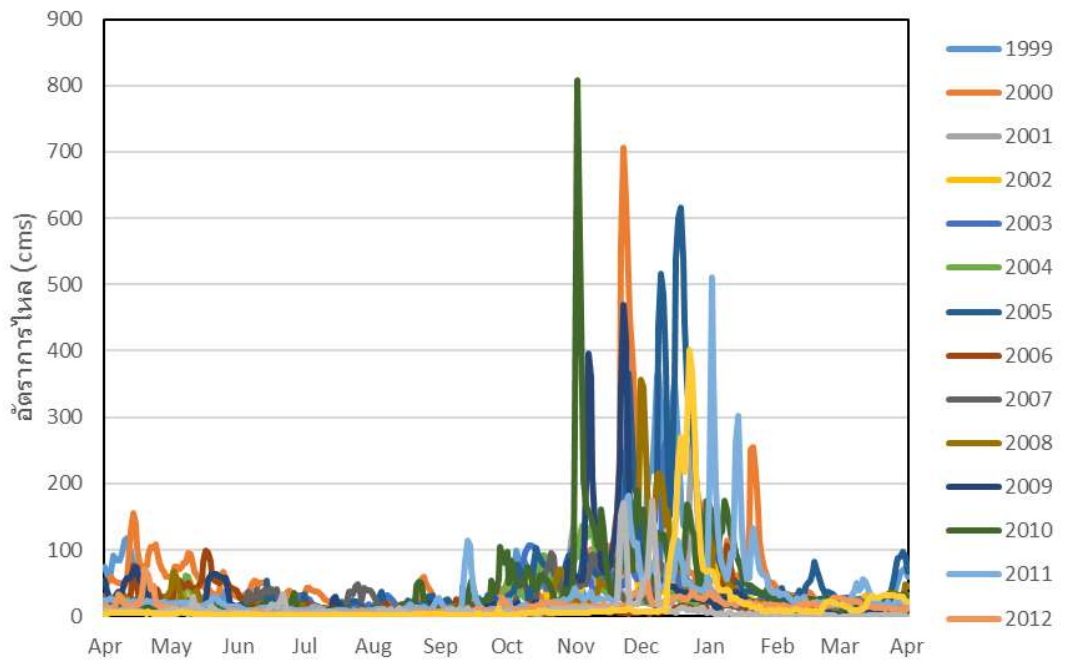
ที่มา: ปรับปรุงจากแผนที่โปรแกรม Google Earth

รูปที่ 3 - 17 สถานีตรวจวัดน้ำท่าและตะกอนของกรมชลประทานบริเวณที่ตั้งโครงการ



ที่มา: ประมวลจากข้อมูลของกรมชลประทาน

รูปที่ 3 - 18 ปริมาณน้ำท่าสถานีต่าง ๆ รายปี



ที่มา: ประมวลจากข้อมูลของกรมชลประทาน

รูปที่ 3 - 19 อัตราการไหลสถานี X44

3.3.3 ระดับน้ำ

น้ำท่าที่ไหลลงทะเลสาบสงขลากับค่าองค์ประกอบน้ำที่เป็นผลจากแรงดึงดูดระหว่างโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิในโครงการเป็นการนำข้อมูลระดับน้ำที่ตรวจวัดจริงรายชั่วโมงไปปรับเทียบและทานสอบแบบจำลองชลศาสตร์ ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลปี พ.ศ. 2557[5] แหล่งข้อมูลระดับน้ำที่ใช้ มี 2 แหล่ง[6] ประกอบด้วย

- กรมเจ้าท่า ข้อมูลที่นำไปใช้เป็นข้อมูลระดับน้ำตรวจวัดรายชั่วโมงที่สถานีต่าง ๆ ที่อยู่รอบทะเลอ่าวไทย บัญชีรายชื่อสถานีวัดน้ำของกรมเจ้าท่าแสดงใน**ตารางที่ 3-3**
- กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ข้อมูลที่นำไปใช้เป็นข้อมูลระดับน้ำตรวจวัดรายชั่วโมงที่สถานีสงขลาซึ่งอยู่ใกล้ที่ตั้งโครงการมากที่สุด ค่าระดับน้ำตรวจวัดที่สถานีสงขลาแสดงใน**รูปที่ 3–21**

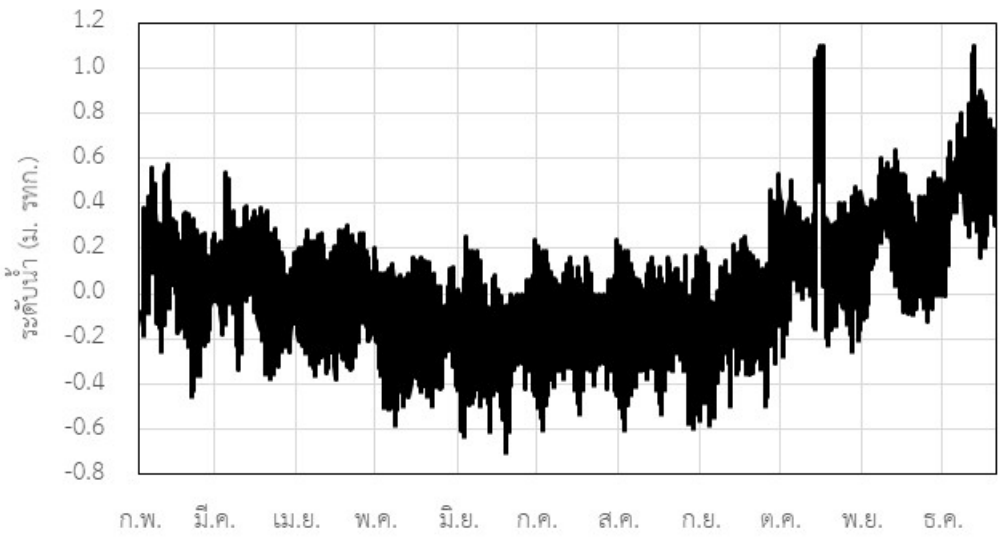
[5] การเลือกข้อมูลปี พ.ศ. 2557 เกิดจากเป็นปีที่มีข้อมูลครบทุกด้าน

[6] ไม่รวมการตรวจวัดระดับน้ำที่ดำเนินการในโครงการแสดงในบทที่ 4 การศึกษารวบรวมข้อมูลภาคสนาม

ตารางที่ 3 - 3 ที่ตั้งสถานีวัดน้ำของกรมเจ้าท่า

ลำดับ	สถานี	พิกัด		บริเวณที่ติดตั้งสถานีวัดน้ำ
		ลาจิจูด	ลองจิจูด	
1	คลองวาฬ	11° 43' 55"	99° 47' 08"	ท่าเทียบเรือประมง ต.คลองวาฬ อ.เมือง จ.ประจวบคีรีขันธ์
2	บางปะกง	13° 29' 00"	101° 00' 23"	แม่น้ำบางปะกง สะพานเทพหัสดินทร์ ต.ท่าข้าม อ.บางปะกง จ.ฉะเชิงเทรา
3	อ่าวอุดม	13° 07' 25"	100° 53' 46"	ท่าเทียบเรืออ่าวอุดม ต.ทุ่งสุขลา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี
4	ระยอง	12° 39' 30"	101° 16' 28"	แหลมเจริญ ต.ปากน้ำระยอง อ.เมือง จ.ระยอง
5	ประแสร์	12° 41' 41"	101° 42' 21"	ท่าเทียบเรือหน้าวัดสมมุติเทพ (แหลมสน) ต.ปากน้ำประแสร์ อ.แกลง จ.ระยอง
6	ท่าแฉลบ	12° 31' 54"	102° 03' 41"	ท่าเทียบเรือท่าแฉลบ ต.บางกะจะ อ.เมือง จ.จันทบุรี
7	แหลมงอบ	12° 10' 07"	102° 23' 45"	ท่าเทียบเรือแหลมงอบ ต.แหลมงอบ อ.แหลมงอบ จ.ตราด
8	หลังสวน	9° 56' 38"	99° 09' 38"	ท่าเรือข้ามฟากเทศบาลหลังสวน ต.ปากน้ำหลังสวน อ.หลังสวน จ.ชุมพร
9	เกาะสมุย	9° 32' 10"	99° 56' 02"	ท่าเทียบเรือเกาะสมุยแห่งที่ 2 ต.เกาะสมุย อ.เกาะสมุย จ.สุราษฎร์ธานี
10	สิชล	9° 00' 45"	99° 55' 07"	ท่าเรือเอกชน ต.สิชล อ.สิชล จ.นครศรีธรรมราช
11	ปากพนัง	8° 21' 11"	100° 12' 08"	หน้าเรือนจำ ถ.ชายน้ำ ต.ปากพนังตะวันออก อ.ปากพนัง จ.นครศรีธรรมราช
12	ปัตตานี	6° 54' 08"	101° 14' 57"	ท่าจอดเรือ ต.บานา อ.เมือง จ.ปัตตานี
13	นราธิวาส (บางนรา)	6° 25' 26"	101° 49' 48"	บ้านพักประมงจังหวัด ต.บางนาค อ.เมือง จ.นราธิวาส

ที่มา: กรมเจ้าท่า



หมายเหตุ: ไม่แสดงผลตรวจวัดระดับน้ำเดือนมกราคมเพราะอุปกรณ์วัดไม่ได้บันทึกข้อมูลช่วงเวลาดังกล่าว

ที่มา: ประมวลจากข้อมูลของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

รูปที่ 3 - 20 ระดับน้ำตรวจวัดที่สถานีสงขลาปี พ.ศ. 2557

3.3.4 ความเร็วกระแสน้ำและอุณหภูมิ

ข้อมูลความเร็วกระแสน้ำและอุณหภูมิที่ศึกษาเป็นข้อมูลผลสำรวจของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า ช่วงเวลาจัดเก็บข้อมูลพิจารณามี 7 ช่วง ประกอบด้วย

- ข้อมูลชุดที่ 1 ระหว่างวันที่ 15 ก.ค. – 4 ส.ค. 33
- ข้อมูลชุดที่ 2 ระหว่างวันที่ 7 ส.ค. – 9 ก.ย. 48
- ข้อมูลชุดที่ 3 ระหว่างวันที่ 13 – 22 พ.ย. 56
- ข้อมูลชุดที่ 4 ระหว่างวันที่ 12 – 18 ก.พ. 57
- ข้อมูลชุดที่ 5 ระหว่างวันที่ 25 เม.ย. – 2 พ.ค. 57
- ข้อมูลชุดที่ 6 ระหว่างวันที่ 24 – 31 ก.ค. 57
- ข้อมูลชุดที่ 7 ระหว่างวันที่ 19 – 25 พ.ค. 58

ข้อมูลที่จัดเก็บแต่ละครั้งมี 4 จุด คือจุด AL, AR, BL และ BR[7] (ตำแหน่งจัดเก็บข้อมูลแสดงใน **รูปที่ 3–21**) การเก็บข้อมูลดำเนินการที่ความลึกน้ำ 0.3 เมตร กับความลึกที่ 0.2, 0.5, 0.8 และ 0.93 เท่าของความลึกน้ำ ส่วนการเก็บตัวอย่างตะกอนดำเนินการ 2 แบบ คือ แบบที่ 1 ใช้กล่องดักตะกอนพื้นท้องน้ำที่เคลื่อนที่ตามทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันตก กับแบบที่ 2 ใช้กล่องดักตะกอนที่

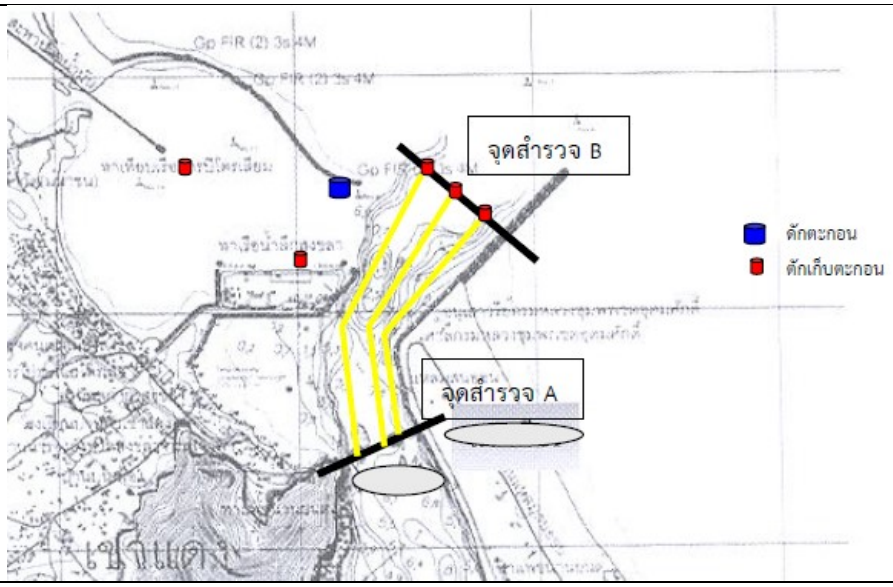
[7] จุดสำรวจ A, B อยู่บริเวณร่องใน กับร่องนอก ตามลำดับ ส่วนตัวอักษร L, R หมายถึงด้านซ้าย ด้านขวา ของร่องน้ำ

ตกตามแนวดิ่ง นอกจากนั้น มีการใช้ grab เก็บตัวอย่างตะกอนพื้นท้องน้ำเพื่อนำมาวิเคราะห์หาลักษณะการกระจายตัวของขนาดตะกอน

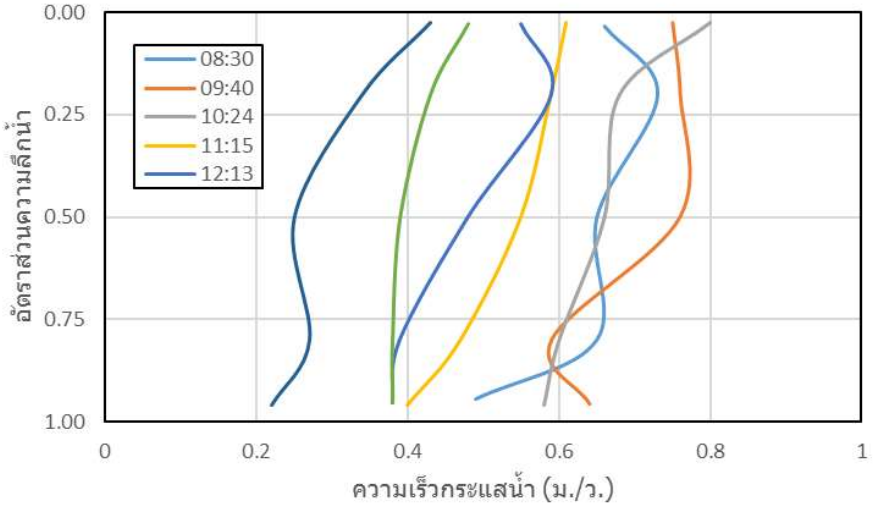
การพิจารณาความเป็นตัวแทนของข้อมูลเลือกใช้ข้อมูลชุดที่ 3 ระหว่างวันที่ 12 – 18 พฤศจิกายน เป็นตัวแทนช่วงเวลาในฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ข้อมูลชุดที่ 5 ระหว่างวันที่ 25 เมษายน –2 พฤษภาคม เป็นตัวแทนช่วงเวลาเปลี่ยนฤดูลมมรสุม และใช้ข้อมูลชุดที่ 6 ระหว่างวันที่ 24 – 31 กรกฎาคม เป็นตัวแทนช่วงเวลาในฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ การวิเคราะห์ข้อมูลที่จัดเก็บได้ข้อสรุปดังนี้

ระดับน้ำและความเร็วกระแสน้ำ

การตรวจสอบข้อมูลความเร็วกระแสน้ำซึ่งตรวจวัดที่ระดับ 0.3 เมตร จากผิวน้ำ กับที่ความลึก 0.2 0.5 0.8 และ 0.95 เท่า ของความลึกน้ำ ณ เวลาต่าง ๆ ตามแสดงใน**รูปที่ 3–22** พบว่าลักษณะการกระจายตัวของความเร็วกระแสน้ำที่วัดได้บางครั้งไม่สอดคล้องกับทฤษฎี คือ ควรมีค่าสูงสุดบริเวณใกล้ผิวน้ำ และมีค่าต่ำสุดบริเวณพื้นท้องน้ำ การประมวลผลข้อมูลจึงเลือกใช้ค่าเฉลี่ยตามสัดส่วนความลึกน้ำ (ดู**รูปที่ 3–23**) ผลวิเคราะห์ความเร็วกระแสน้ำช่วงเวลาที่ใช้เป็นตัวแทนของฤดูกาลแสดงใน**รูปที่ 3–24** ถึง**รูปที่ 3–26** สำหรับช่วงฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงเปลี่ยนฤดู และช่วงฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตามลำดับ การพิจารณาความเร็วกระแสน้ำพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 - 1.1 เมตร/วินาที และพบว่าความเร็วสูงสุดที่จุดตรวจวัดฝั่งซ้าย กับฝั่งขวา เกิดช่วงเวลาไม่ตรงกัน



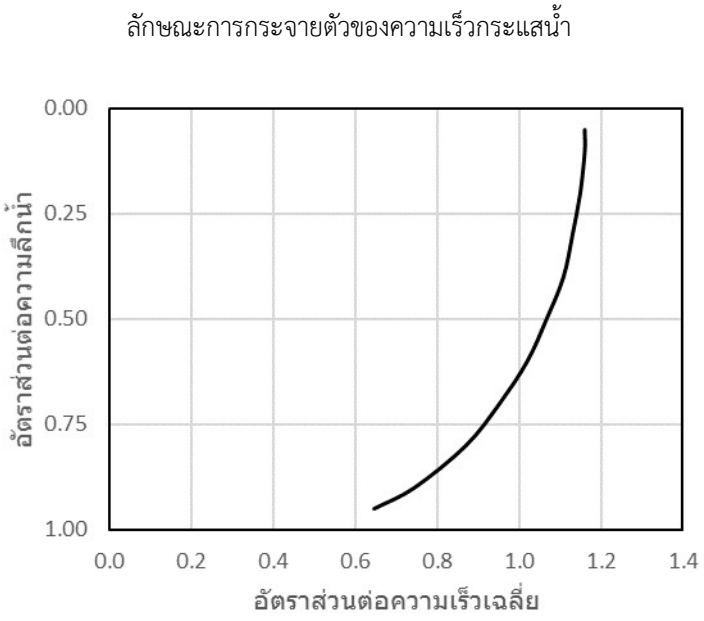
รูปที่ 3 - 21 จุด/แนวสำรวจอุทกวิทยา



ที่มา: ประมวลจากข้อมูลของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

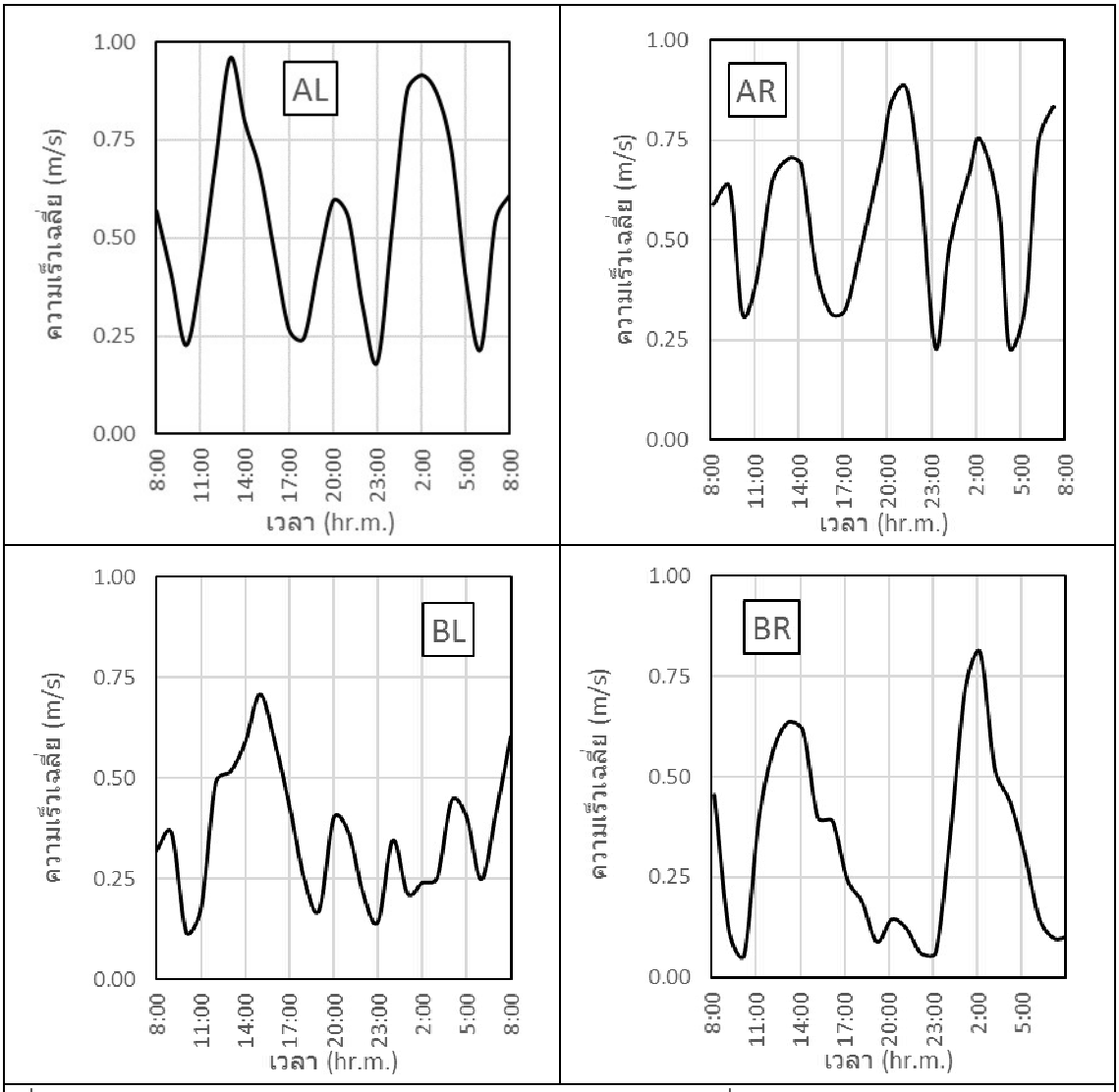
รูปที่ 3 - 22 ผลตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำที่เวลาและความลึกต่าง ๆ

อัตราส่วนความลึกน้ำ	อัตราส่วนต่อความเร็วเฉลี่ย
0.05	1.160
0.10	1.160
0.20	1.149
0.30	1.130
0.40	1.108
0.50	1.067
0.60	1.020
0.70	0.953
0.80	0.871
0.90	0.746
0.95	0.648



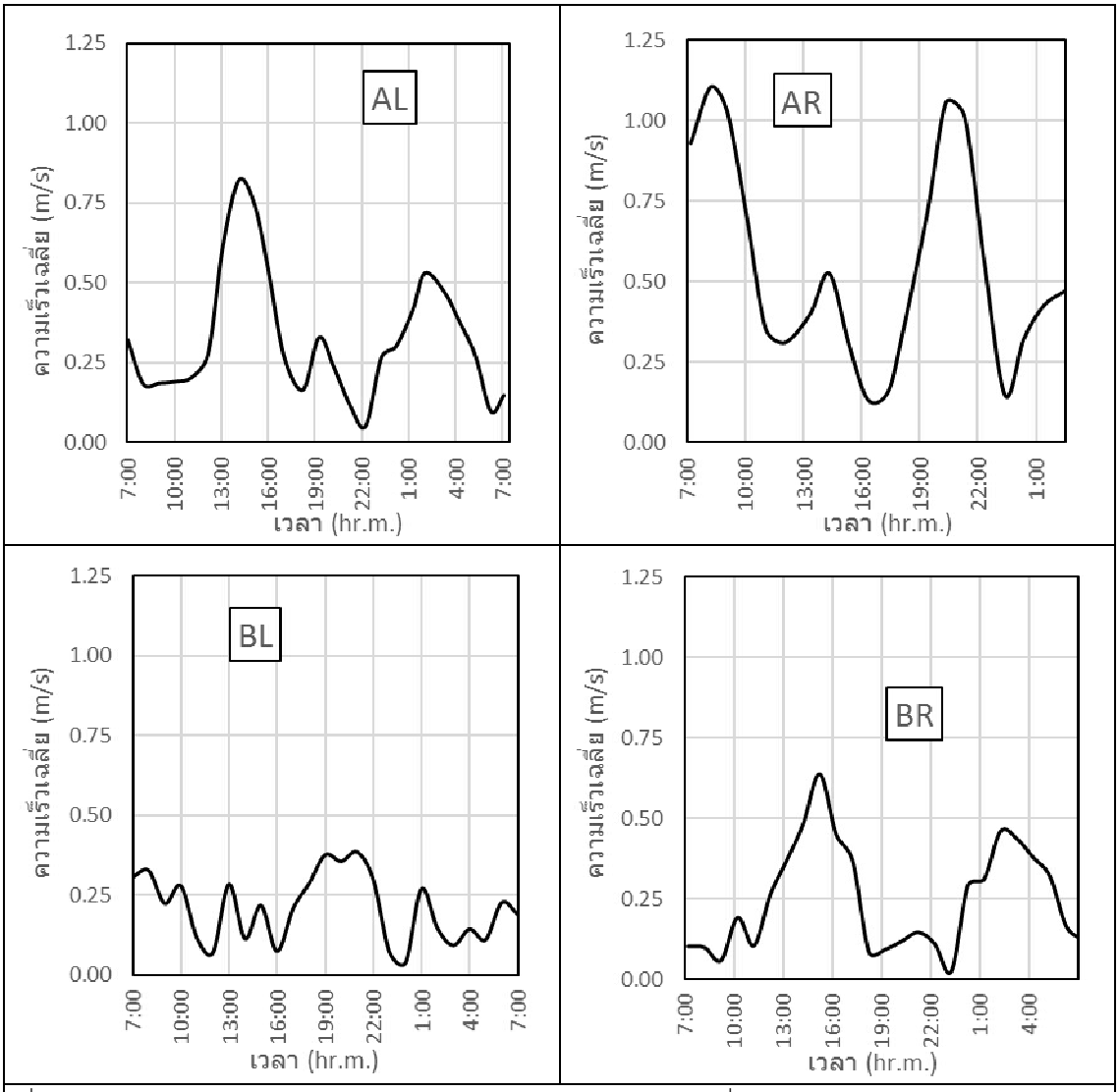
ที่มา: http://geographyfieldwork.com/River%20Discharge%20Methodology.htm

รูปที่ 3 - 23 การกระจายตัวของความเร็วกระแสน้ำ



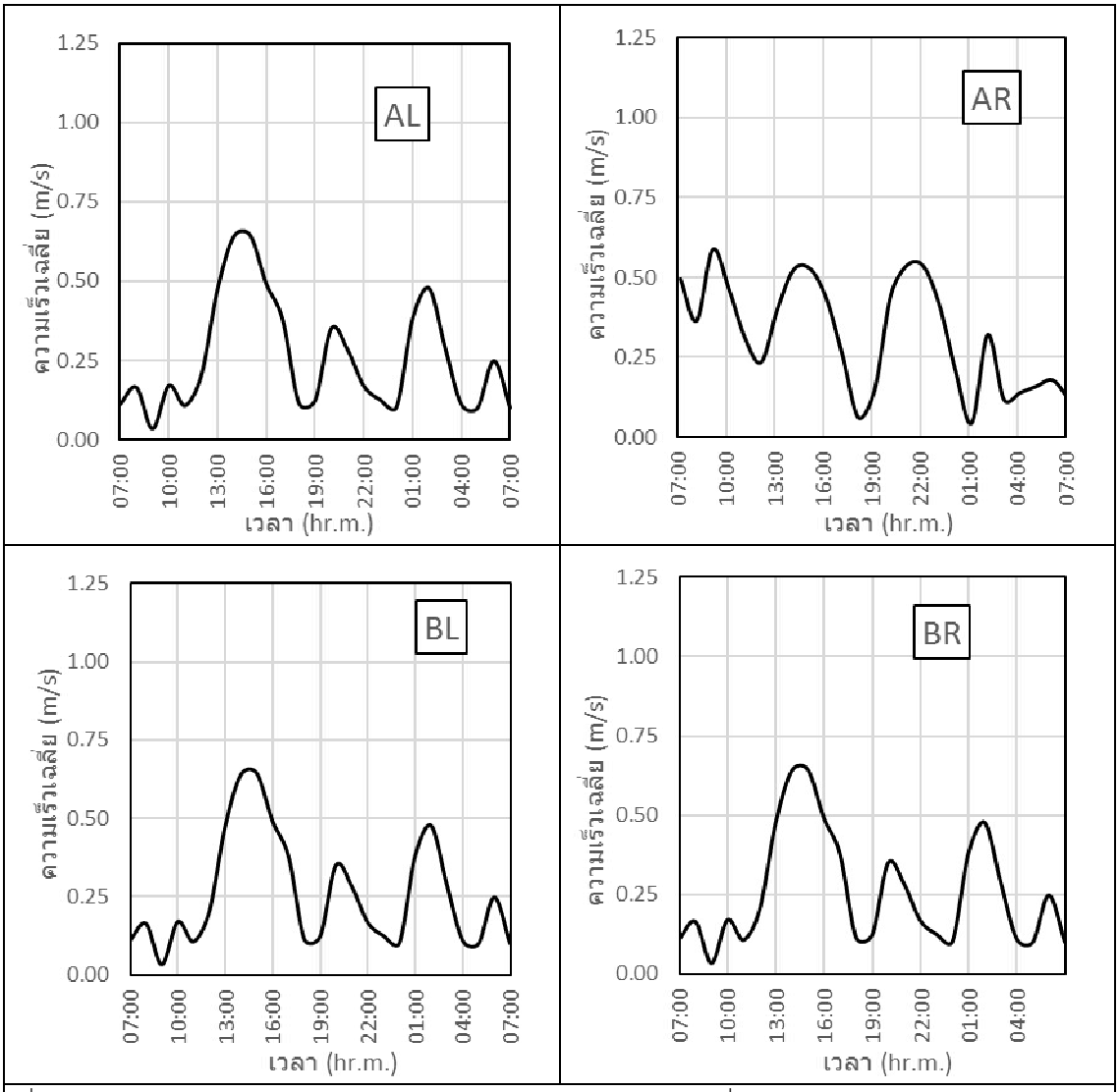
ที่มา: ประมวลจากข้อมูลผลสำรวจของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

รูปที่ 3 - 24 ผลตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



ที่มา: ประมวลจากข้อมูลผลสำรวจของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

รูปที่ 3 - 25 ผลตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำช่วงเปลี่ยนฤดู

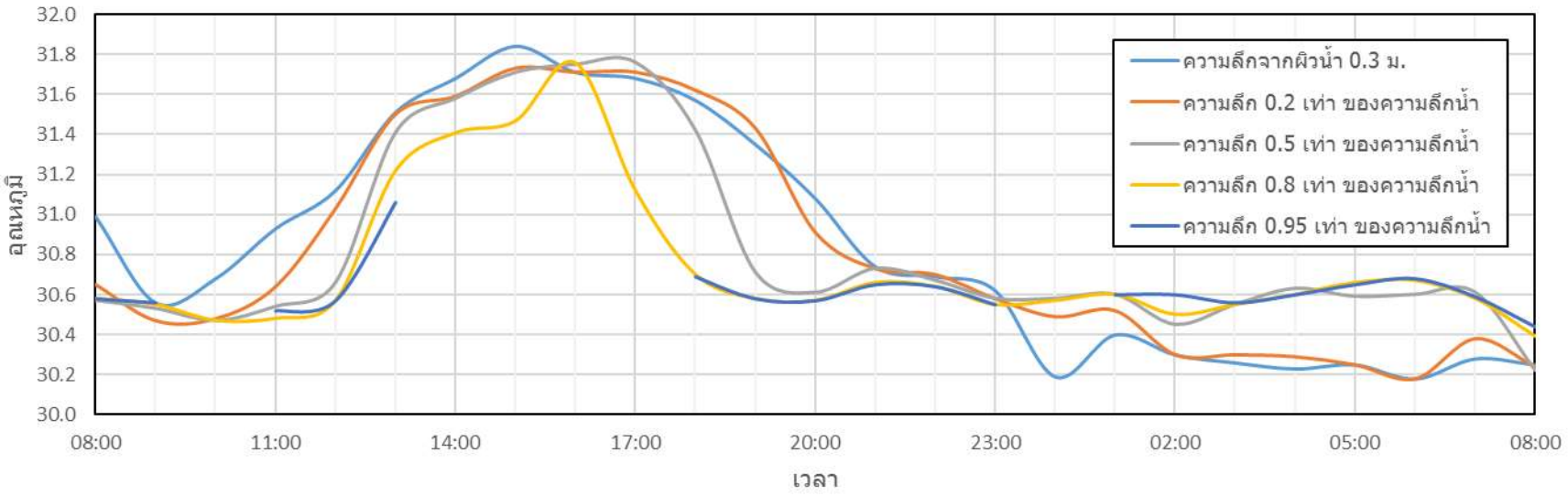


ที่มา: ประมวลจากข้อมูลผลสำรวจของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

รูปที่ 3 - 26 ผลตรวจวัดความเร็วกระแสน้ำช่วงฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

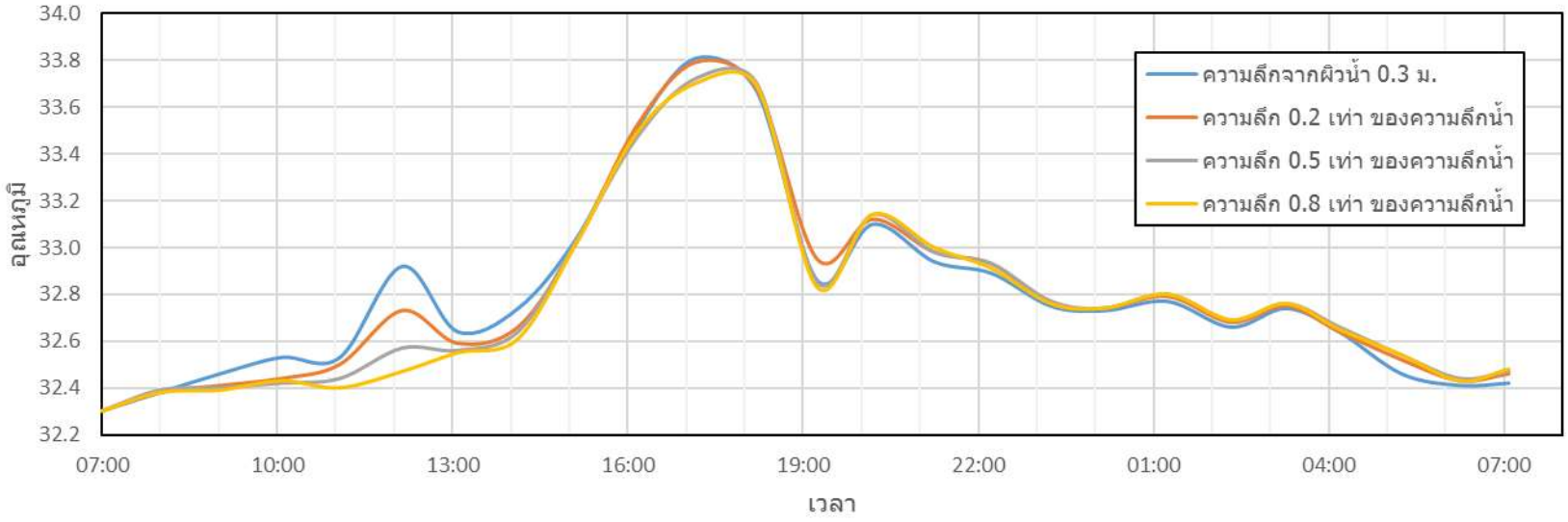
อุณหภูมิ

ผลตรวจวัดอุณหภูมิ ตามแสดงใน**รูปที่ 3–27** ถึง**รูปที่ 3–29** สำหรับช่วงฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ช่วงเปลี่ยนฤดู และช่วงฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ตามลำดับพบว่าทั้งหมดสอดคล้องกัน คือ อุณหภูมิมวลน้ำบริเวณใกล้ผิวน้ำในเวลากลางวันที่ได้รับแสงแดดมากกว่ามวลน้ำที่อยู่ด้านล่างมีอุณหภูมิสูงกว่า แต่เมื่อถึงเวลากลางคืน มวลน้ำที่อยู่ด้านล่างคายความร้อนได้ช้ากว่ามวลน้ำที่อยู่ด้านบนจึงมีอุณหภูมิสูงกว่า อุณหภูมิน้ำในฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าอยู่ระหว่าง 30 – 32 องศาเซลเซียส เพิ่มเป็นระหว่าง 32 – 34 องศาเซลเซียส ช่วงเปลี่ยนฤดูก่อนลดเหลือ 29 – 31 องศาเซลเซียส ช่วงฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้



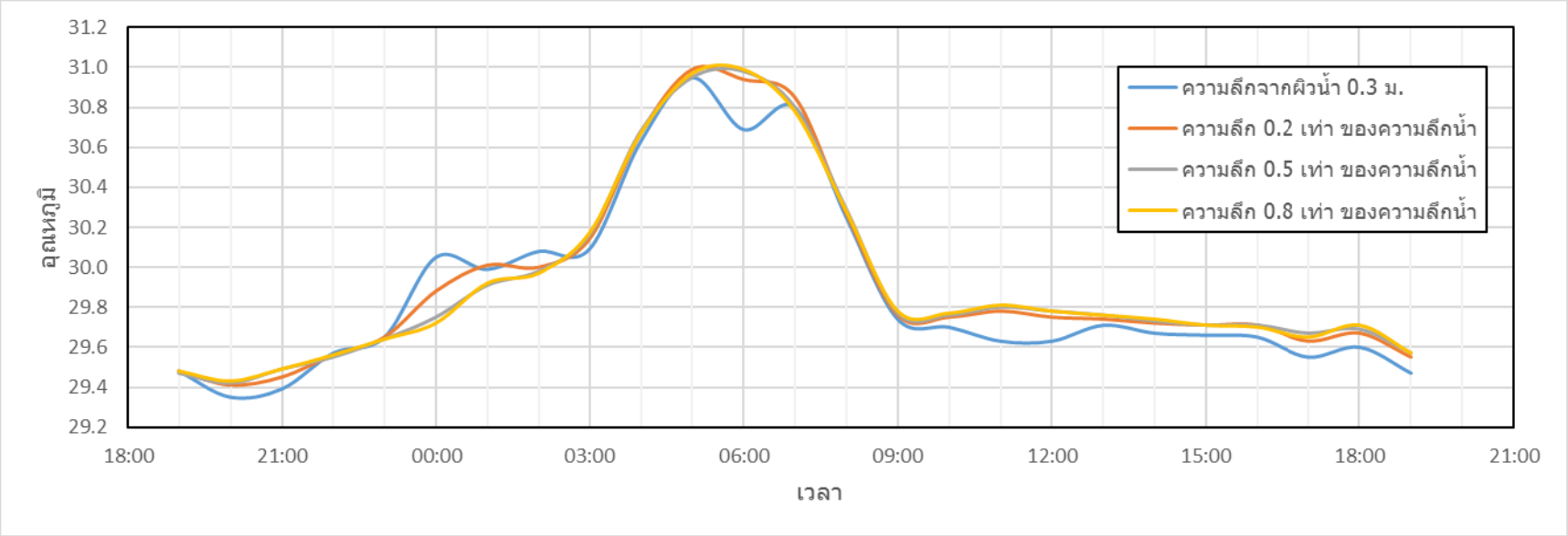
ที่มา: ประมวลจากข้อมูลผลสำรวจของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

รูปที่ 3 - 27 ผลตรวจวัดอุณหภูมิช่วงฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ



ที่มา: ประมวลจากข้อมูลผลสำรวจของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

รูปที่ 3 - 28 ผลตรวจวัดอุณหภูมิช่วงเปลี่ยนฤดู



ที่มา: ประมวลจากข้อมูลผลสำรวจของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

รูปที่ 3 - 29 ผลตรวจวัดอุณหภูมิช่วงฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

3.3.5 ตะกอน

ข้อมูลตะกอนที่แสดงแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ (1) ปริมาณตะกอนที่ไหลมากับน้ำท่าซึ่งเป็นข้อมูลของกรมชลประทาน (2) ความหนาตะกอนที่ตกในทะเลสาบสงขลาตามงานศึกษาของสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลา และ (3) ข้อมูลงานสำรวจของกลุ่มงานอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า ซึ่งครอบคลุมทั้งข้อมูลความเข้มข้นของตะกอนและขนาดตะกอน

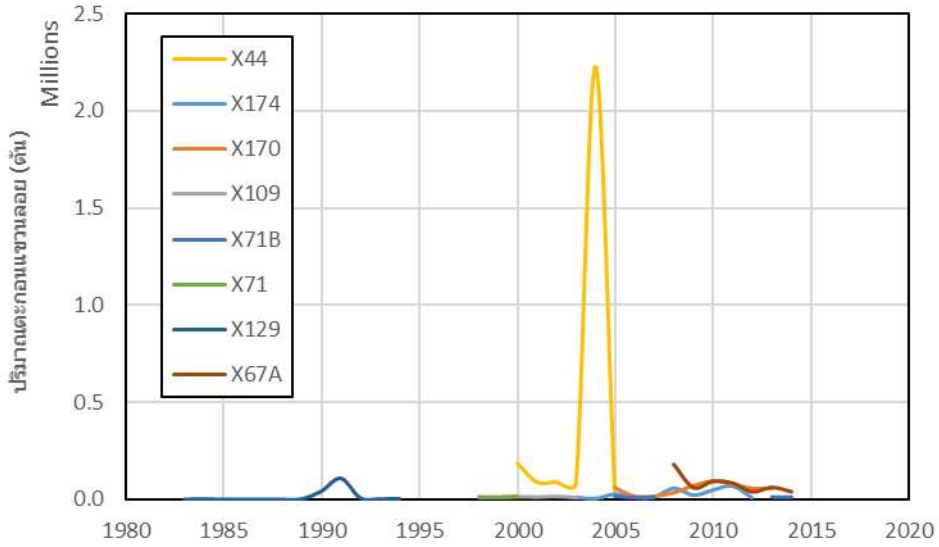
การตรวจสอบข้อมูลปริมาณตะกอนแขวนลอยของกรมชลประทาน ตามแสดงใน**รูปที่ 3–30** พบว่าสถานี X44 คลองอู่ตะเภาซึ่งมีปริมาณน้ำท่าสูงที่สุด ก็มีปริมาณตะกอนแขวนลอยสูงที่สุดด้วย ค่าสูงสุด 1.95 ล้านตัน เกิดในปี 2548 การตรวจสอบลักษณะการกระจายตัวของตะกอน ดังแสดงใน**รูปที่ 3-31** พบว่าปริมาณตะกอนแขวนลอยสูงสุดปกติเกิดช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมกราคมปีถัดไป

การพิจารณาผลวิเคราะห์ความหนาตะกอนที่ตกในทะเลสาบสงขลาตามงานวิจัยของสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลา ดังแสดงใน**รูปที่ 3–32** พบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 9 มิลลิเมตร/ปี บริเวณที่ตะกอนตกมากที่สุดอยู่ตอนกลางทะเลสาบสงขลา ส่วนบริเวณร่องในซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษาของโครงการ งานวิจัยของสถานวิจัยฯ ระบุว่าตะกอนตกประมาณ 5 มิลลิเมตร/ปี

การพิจารณาข้อมูลตะกอนของกลุ่มงานอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า พบว่าควรแบ่งเป็นข้อมูลความขุ่น/ความเข้มข้นของตะกอน กับข้อมูลขนาดตะกอนซึ่งเก็บโดยนำอุปกรณ์ไปวางที่พื้นท้องน้ำบริเวณต่าง ๆ รอให้ตะกอนตก จากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาขนาดตะกอน

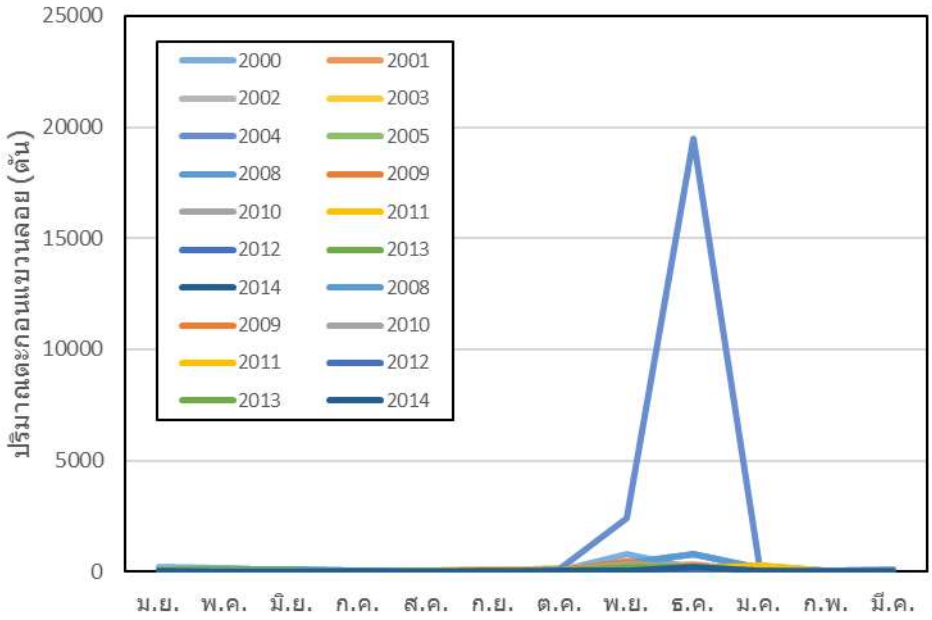
การตรวจสอบข้อมูลผลตรวจวัดปริมาณสารแขวนลอยในหน่วย “มิลลิกรัม/ลิตร” และความขุ่นในหน่วย “NTU” พบว่าผลตรวจวัดบางช่วงเวลาสอดคล้องกับทฤษฎี คือ ความเข้มข้นสารละลายสูงสุดบริเวณใกล้พื้นท้องน้ำ แต่บางช่วงเวลาก็ไม่สอดคล้องกับทฤษฎี (ดู**รูปที่ 3–33**) การพิจารณาค่าเฉลี่ยช่วงเวลาที่ตรวจวัดพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 1 – 30 มิลลิกรัม/ลิตร และปริมาณสารแขวนลอยในฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้มีความเข้มข้นสูงที่สุด (ดู**รูปที่ 3 – 34**)

การตรวจสอบลักษณะการกระจายตัวของตะกอน ดังแสดงใน**รูปที่ 3–35** ได้ค่า d_{50} ของพื้นที่บริเวณแอ่งกลับลำและพื้นที่หน้าท่า ระหว่าง 0.01 – 0.02 มิลลิเมตรคล้ายกับตะกอนบริเวณจุด B มีค่า d_{50} อยู่ระหว่าง 0.007 – 0.017 มิลลิเมตร ยกเว้นพื้นที่จุด B ฝั่งซ้าย ตะกอนหยาบกว่ามาก มีค่า d_{50} อยู่ระหว่าง 0.15 – 0.33 มิลลิเมตร กับจุด B กลางร่องในฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ที่พบตะกอนขนาด 0.17 มิลลิเมตร จำนวน 1 ตัวอย่าง



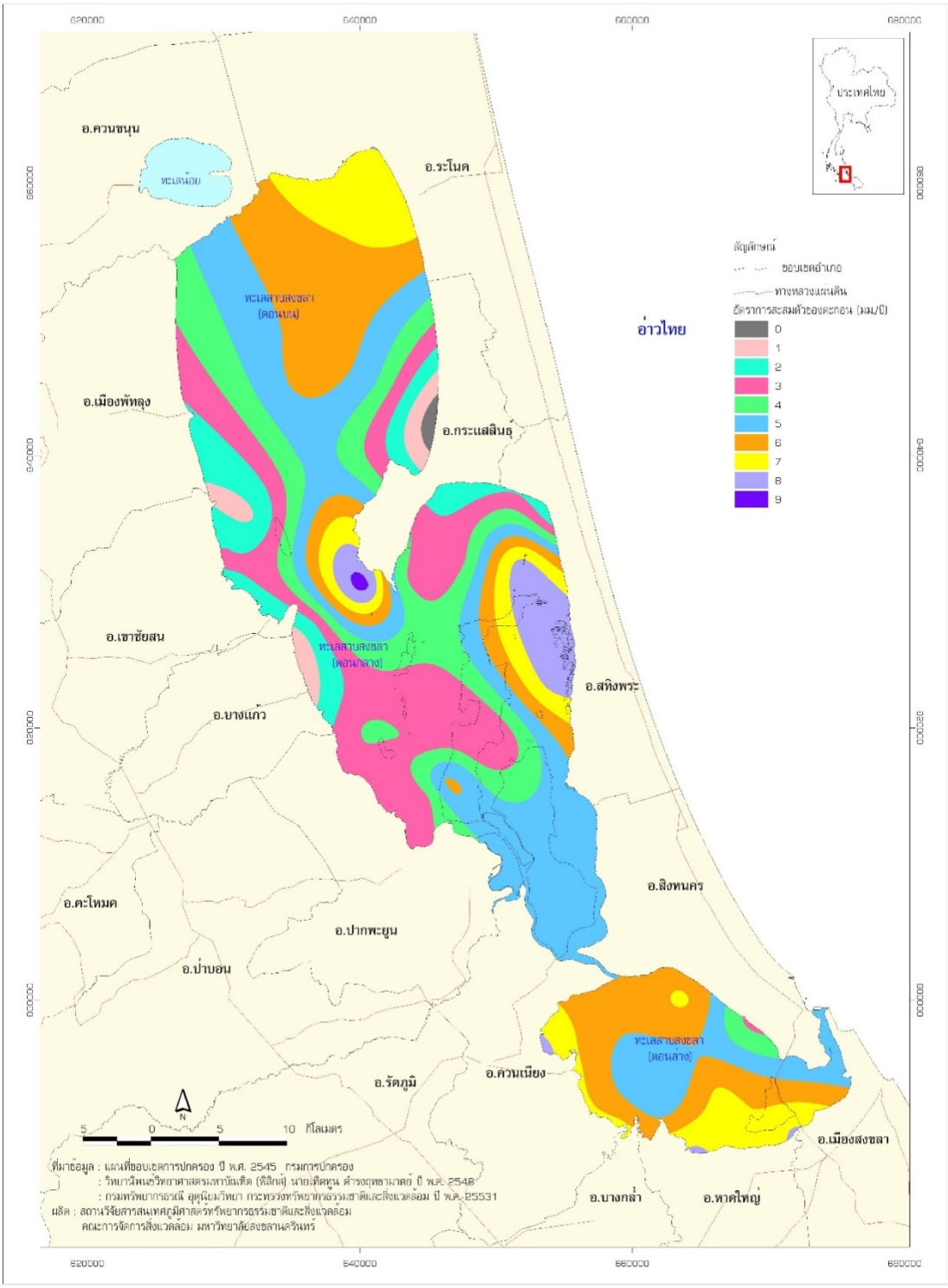
ที่มา: ประมวลจากข้อมูลของกรมชลประทาน

รูปที่ 3 - 30 ปริมาณตะกอนแขวนลอยสถานีต่าง ๆ รายปี



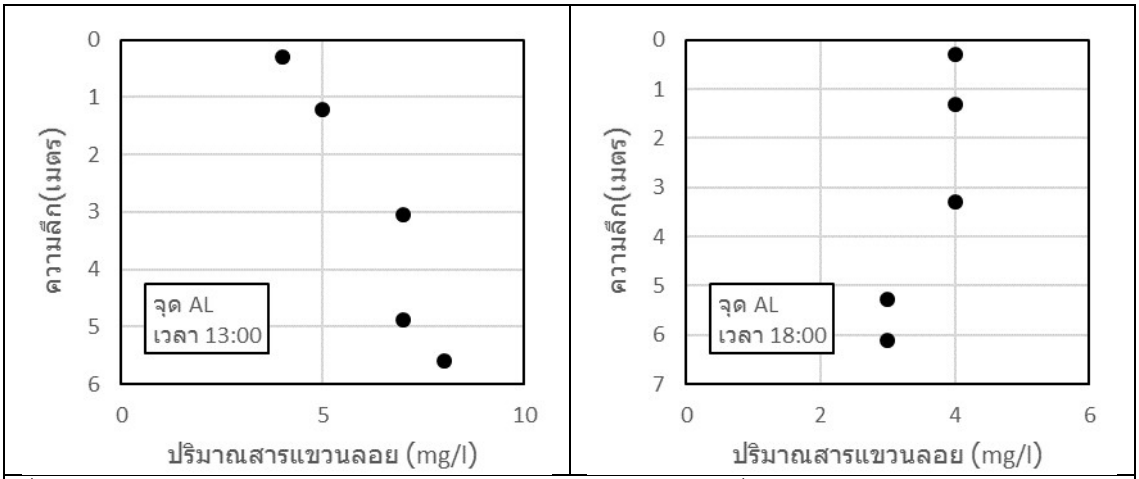
ที่มา: ประมวลจากข้อมูลของกรมชลประทาน

รูปที่ 3 - 31 ปริมาณตะกอนแขวนลอยสถานี X44



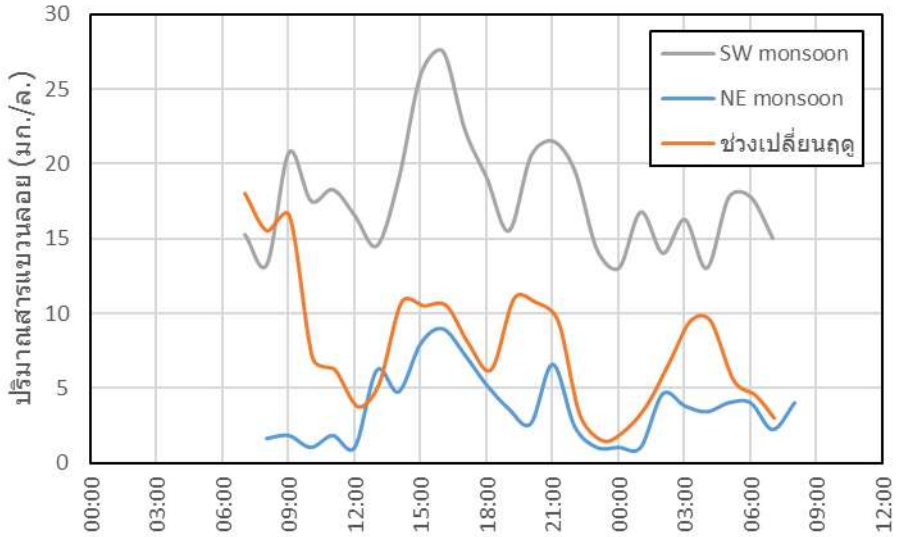
ที่มา: http://slbkb.psu.ac.th/jspui/bitstream/2558/543/67/อัตราการสะสมตัวของตะกอนในทะเลสาบสงขลา.jpg[access online: 12 พ.ย. 60]

รูปที่ 3 - 32 ผลวิเคราะห์ตะกอนที่ตกสะสมในทะเลสาบสงขลาของมหาวิทยาลัยสงขลา



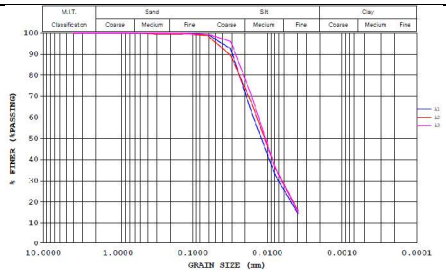
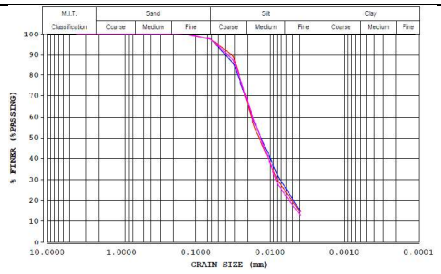
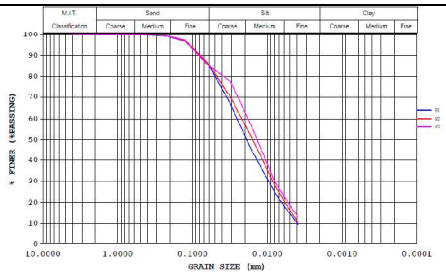
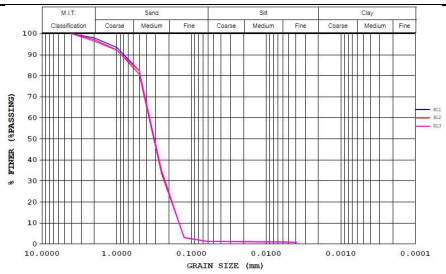
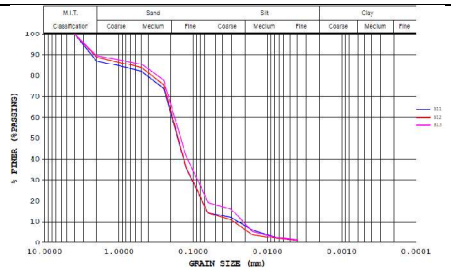
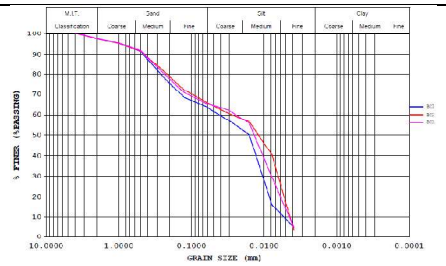
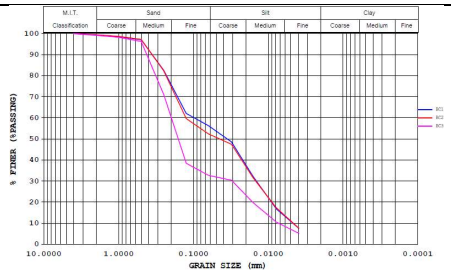
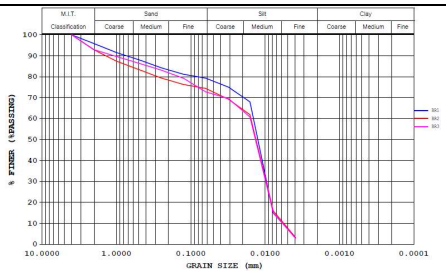
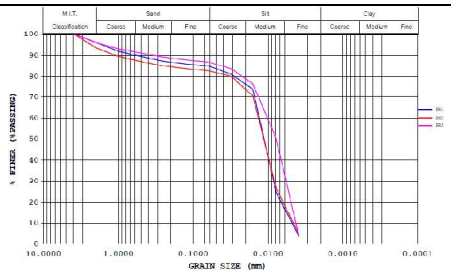
ที่มา: ประมวลจากข้อมูลผลสำรวจของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

รูปที่ 3 - 33 ผลตรวจวัดปริมาณสารละลาย



ที่มา: ประมวลจากข้อมูลผลสำรวจของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

รูปที่ 3 - 34 ผลตรวจวัดปริมาณสารละลายฤดูต่าง ๆ

พื้นที่	ฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ	ฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้
แอ่งกลับเรือ	 d_{50} = 0.010 – 0.013	 d_{50} = 0.013 – 0.016
พื้นที่หน้าท่า	 d_{50} = 0.015 – 0.020	 d_{50} = 0.014 – 0.018
จุด B ฝั่งซ้าย	 d_{50} = 0.30 = 0.33	 d_{50} = 0.15 = 0.18
จุด B กลางร่อง	 d_{50} = 0.013 – 0.017	 d_{50} = 0.023 – 0.17
จุด B ฝั่งขวา	 d_{50} = 0.013 – 0.015	 d_{50} = 0.007 – 0.013

ที่มา: ประมวลจากข้อมูลผลสำรวจของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

รูปที่ 3 - 35 ลักษณะการกระจายตัวของขนาดตะกอน

3.4 ข้อมูลอุทกศาสตร์

ข้อมูลทุติยภูมิด้านอุทกศาสตร์[8] ที่นำมาใช้ในโครงการมีที่มาจาก 4 แหล่ง ประกอบด้วย (1) ข้อมูลจาก webpage https://www.gebco.net (2) ข้อมูลจากรายงานการศึกษาโครงการแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลา (3) ข้อมูลจากรายงานการศึกษาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาและ (4) ข้อมูลผลสำรวจของกลุ่มงานอุทกศาสตร์ กองสำรวจและแผนที่

ข้อมูลจาก webpage https://www.gebco.net

คำ “GEBCO” ย่อมาจาก General Bathymetric Chart of the Ocean ข้อมูลที่สามารถ download จากwebsite https://www.gebco.netเป็นข้อมูลระดับพื้นดินทั้งในทะเลและบกบกครอบคุลมพื้นที่บริเวณต่าง ๆ ทั่วโลก การ download ข้อมูลไม่มีค่าใช้จ่าย (ธ.ค. 60) แต่ต้องสมัครเป็นสมาชิก British Oceanographic Data Centre ต้องแจ้งเหตุผลที่ download ข้อมูล และต้องแจ้งชื่อหน่วยงานที่ให้ทุน

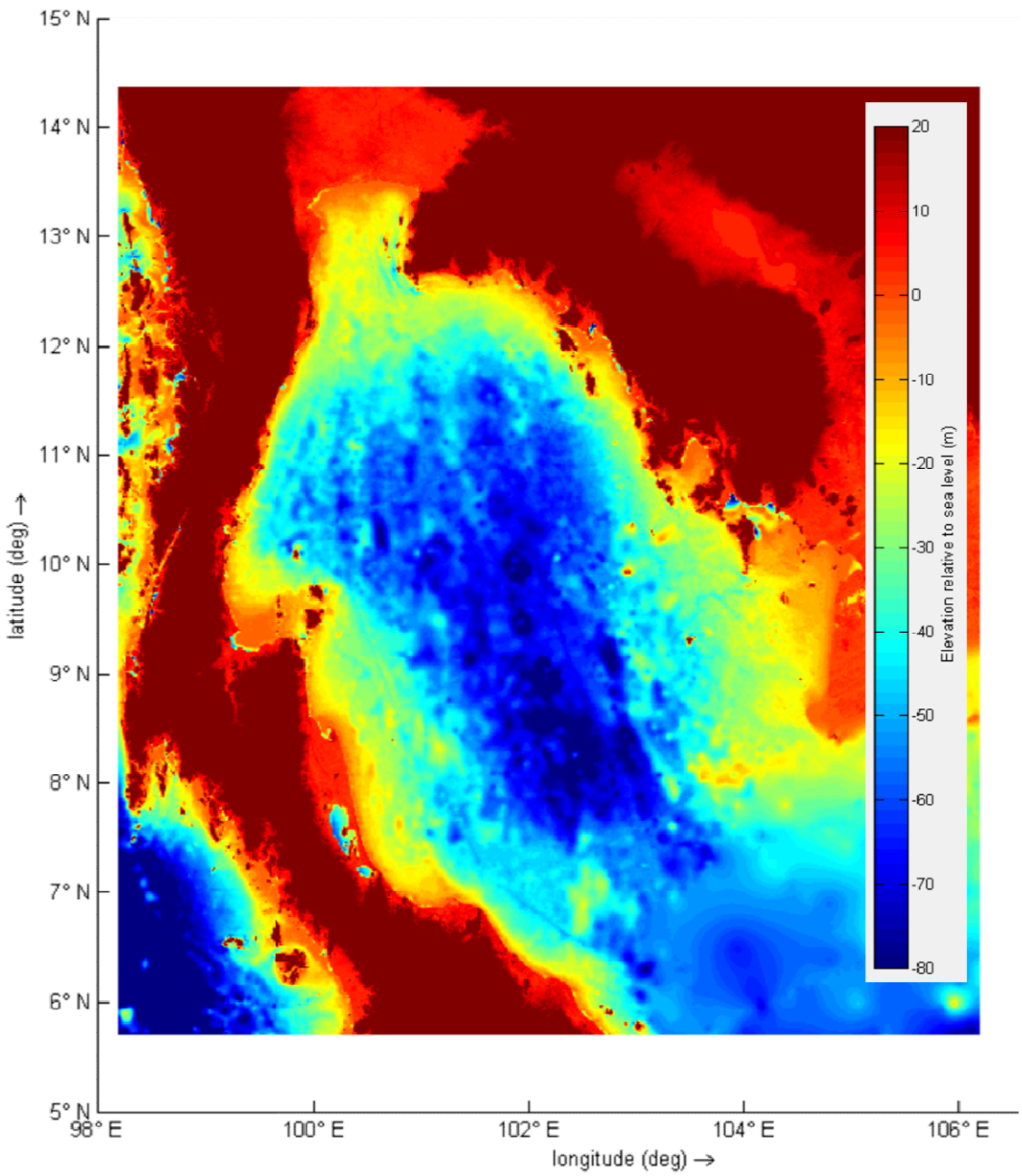
ข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำของ gebco โดยทั่วไปเป็นข้อมูลในทะเลที่ความลึกน้ำมากกว่า 200 เมตร ข้อมูลบริเวณที่ตื้นกว่า 200 เมตร มาจากแผนที่เดินเรืออิเล็กทรอนิกส์ (ENCs: Electronic Navigation Charts)ที่หน่วยงานสร้างและผลิตแผนที่ในประเทศต่าง ๆ ที่เป็นสมาชิก IHO (International Hydrographic Organization) ทำไว้

ข้อมูลที่สามารถ down load มี 2 รุ่น คือ GEBCO 2014 Grid ความละเอียดทุก 30 ฟิลิปดา กับ GEBCO 2008 ความละเอียดทุก 1 ลิปดา รูปแบบไฟล์ที่สามารถบันทึกมีให้เลือก 4 รูปแบบ คือ (1) 2D netCDF (2) 1D net CDF (3) INT16 Geo TIFF (data) และ (4) ESRI ASCII

ข้อมูลระดับพื้นทะเลจาก webpage gebco.net ที่นำมาใช้ในโครงการ ดังแสดงใน**รูปที่ 3-36** เป็นข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำในทะเลอ่าวไทยรุ่น GEBCO 2014 รูปแบบ 2D net CDF

---

[8] ใช้ตามความหมายที่แสดงในพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554 หมายถึง วิชาเกี่ยวกับการวัดหรือการสำรวจแผนที่ทะเล ในขณะที่คำ “อุทก” เป็นคำนามหมายถึง “น้ำ” และคำ “ศาสตร์” เป็นคำนาม หมายถึง “ระบบวิชาความรู้” ทำให้หากพิจารณาความหมายของคำที่นำมาประกอบกันจะมีความหมายไม่ต่างจากคำ “อุทกวิทยา”



ที่มา: http:s//www.gebco.net

รูปที่ 3 - 36 ข้อมูลระดับพื้นทะเลอ่าวไทยจาก GEBCO 2014

ข้อมูลรายงานการศึกษาโครงการแผนแม่บทฟื้นฟูทะเลสาบสงขลาฯ

ข้อมูลอุทกศาสตร์ที่นำมาจากรายงานโครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลาตอนล่าง เป็นผลสำรวจระดับพื้นท้องน้ำในทะเลสาบสงขลาซึ่งจัดทำในระบบพิกัด UTM WGS84 ไฟล์ข้อมูลที่ได้มาเป็นไฟล์ Autocad แสดงใน**รูปที่ 3-37**

การนำข้อมูลผลสำรวจที่แสดงในไฟล์ Autocad มาจัดเป็นข้อมูลพิกัดและระดับ (ENZ) ใช้คำสั่งพื้นฐานในโปรแกรม Autocad คือ คำสั่ง Data Extraction กับคำสั่ง List[9]

ข้อมูลรายงานการศึกษาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา

ข้อมูลอุทกศาสตร์ที่นำมาจากรายงานการศึกษาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาเป็นข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำในทะเลสาบสงขลาตอนบน ข้อมูลที่ได้มาเป็นแผนที่บนกระดาษขนาด A4 ดังแสดงใน**รูปที่ 3-38**

การนำข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำในทะเลสาบสงขลาตอนบนมาใช้ในโครงการเริ่มจาก scan รูปแผนที่เป็นไฟล์ raster image จากนั้นนำไฟล์raster image ไปใส่ในไฟล์ Autocad ทำการย่อ/ขยายภาพให้ได้ขนาดที่ถูกต้อง และหมุนรูปให้ทิศเหนือที่แสดงในรูปถูกต้อง คัดลอกเส้นระดับความสูงเท่ากันโดยสร้างเส้น polyline ทับเส้นในรูปแผนที่ จากนั้น นำข้อมูลพิกัดเส้น polyline มาจัดเป็นข้อมูลพิกัดและระดับ (ENZ) โดยใช้คำสั่ง List

ข้อมูลผลสำรวจกลุ่มงานอุทกศาสตร์ กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า

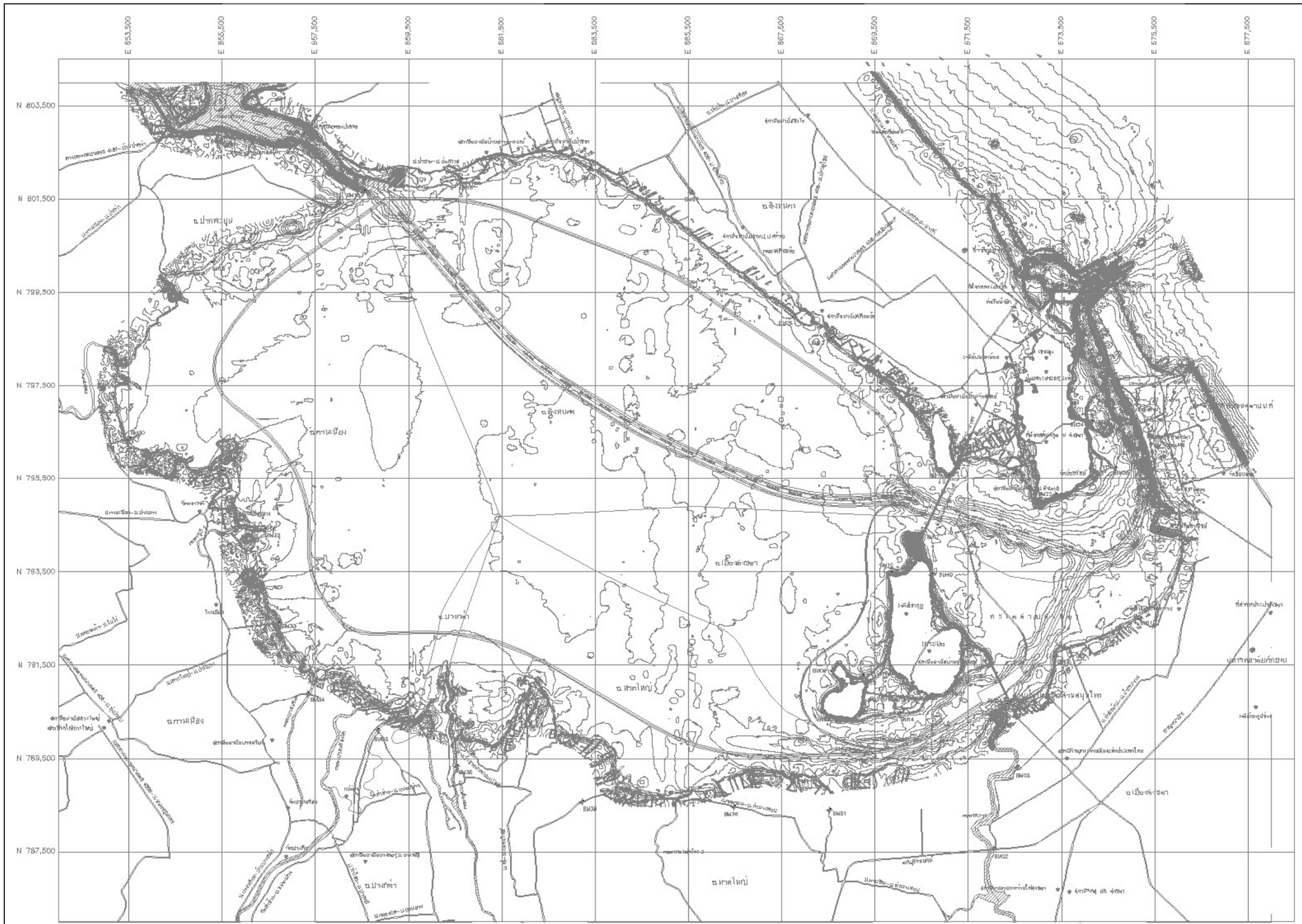
กลุ่มอุทกศาสตร์ กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า ทำงานสำรวจความลึกร่องน้ำสงขลาเพื่อตรวจสอบ/ติดตามการเปลี่ยนแปลงความลึกร่องน้ำหลายโอกาส (ดู**ตารางที่ 3-4**) ซึ่งเมื่อนำช่วงเวลาทำงานสำรวจมาประมวลร่วมกับช่วงเวลาที่มีการทำงานขุดลอกพบว่ามีช่วงเวลาที่มีผลสำรวจโดยไม่มีการขุดลอกติดกัน 2 ครั้ง หรือเหตุการณ์ตะกอนตกในร่องน้ำโดยอิสระ[10] 2 ช่วงเวลา ดังนี้

- ร่องนอก ระหว่างวันที่ 9 กันยายน – 2 ธันวาคม 2558 (ดู**รูปที่ 3-39**)
- ร่องใน ระหว่างวันที่ 9 กันยายน 2558 – 14 มีนาคม 2560

---

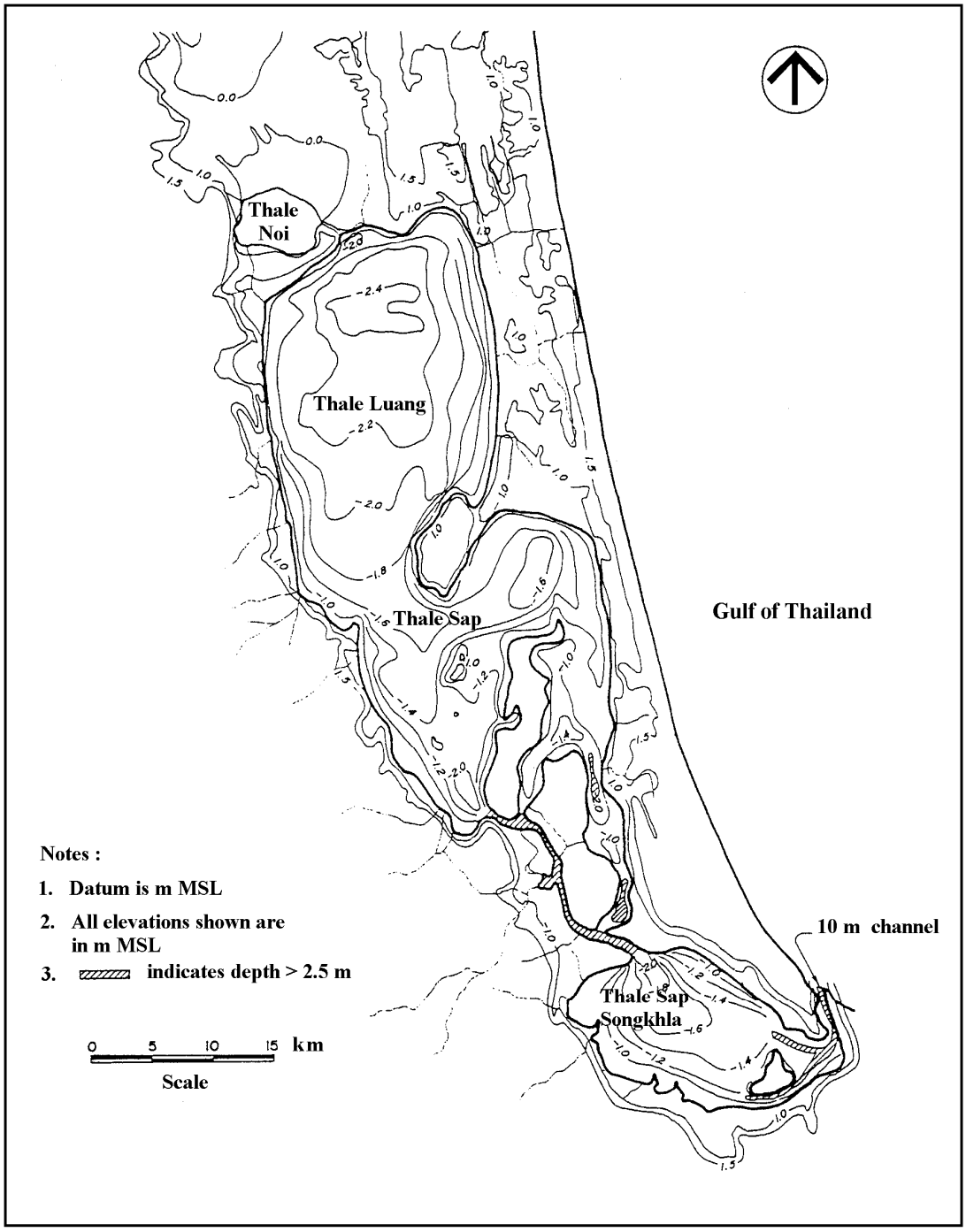
[9] คำสั่ง Data Extraction ใช้กับข้อมูลตัวเลขแสดงค่าระดับพื้นท้องน้ำ คำสั่ง List ใช้กับการแสดงข้อมูลพิกัดเส้นชั้นความสูง

[10] การเลือกพิจารณาเฉพาะช่วงเวลาไม่มีงานขุดลอกเกิดจากความไม่ชัดเจนว่างานขุดลอกทำบริเวณใด และความลึกของงานขุดลอกเท่าใด



ที่มา: กรมเจ้าท่า, 2557, รายงานโครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลาตอนล่าง, กรุงเทพ

รูปที่ 3 - 37 ข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำจากงานศึกษาปี 2557



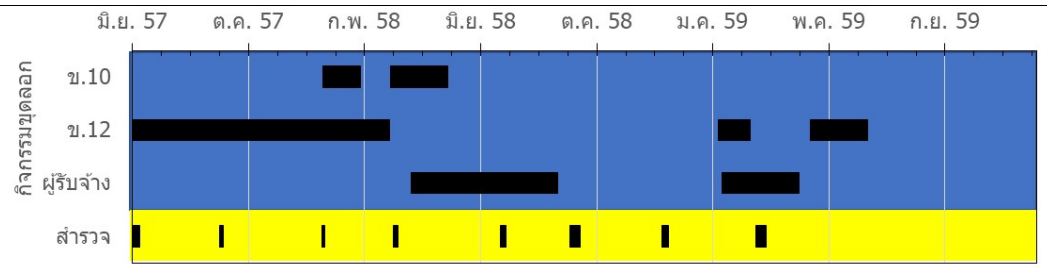
ที่มา: NESDB, 1985, Songkhla Lake Basin Planning Study, National Economic and Social Development Board, THAILAND

รูปที่ 3 - 38 ข้อมูลระดับพื้นทะเลสาบสงขลา

ตารางที่ 3 - 4 ช่วงเวลาปฏิบัติงานสำรวจร่องน้ำสงขลา

ลำดับ	ช่วงเวลาสำรวจ	ร่องนอก	ร่องใน
1	21 – 26 ต.ค. 56	X	
2	10 – 15 มิ.ย. 57	X	
3	6 – 9 ก.ย. 57	X	
4	10 – 16 ก.ย. 57		X
5	20 – 22 ก.ย. 57	X	
6	3 – 7 มี.ค. 58	X	
7	20 – 25 มิ.ย. 58	X	
8	30 ส.ค. – 9 ก.ย. 58	X	X
9	2 – 8 ธ.ค. 58	X	
10	7 – 17 มี.ค. 59	X	
11	25 – 28 มิ.ย. 59	X	
12	9 – 13 มี.ค. 60	X	
13	14 – 17 มี.ค. 60		X

ที่มา: ประมวลจากข้อมูลที่ได้รับจากกลุ่มอุทกศาสตร์ กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า



ที่มา: ประมวลจากข้อมูลของสำนักพัฒนาและบำรุงรักษาทางน้ำกับข้อมูลของกองสำรวจและแผนที่

รูปที่ 3 - 39 ช่วงเวลามีการขุดลอกและสำรวจบริเวณร่องนอก

การนำข้อมูลผลสำรวจรูปหน้าตัดร่องน้ำซึ่งใช้ระบบพิกัดที่อ้างอิงจากแนวร่องน้ำมาจัดเป็นข้อมูลพิกัดและระดับ (ENZ) ในระบบพิกัด UTM WGS 84 อาศัยข้อมูลพิกัดจุดเริ่มต้น มุมที่แนวร่องน้ำทำกับทิศเหนือ และหลักการคำนวณตามวิชาตรีโกณมิติ

3.5 ข้อมูลลมและคลื่น

ข้อมูลลมที่ใช้ในโครงการมีที่มาจาก 2 แหล่ง คือ จากสถานีตรวจอากาศ จังหวัดสงขลา ของกรมอุตุนิยมวิทยา ตั้งอยู่ที่พิกัด 7 องศา 12 ลิปดา 14 ฟิลิปดา เหนือ 100 องศา 36 ลิปดา 17 ฟิลิปดา ตะวันออก ระยะเวลาที่มีข้อมูล พ.ศ. 2528 – 2559 (ระยะเวลา 32 ปี) กับข้อมูลที่ได้จาก website ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) ซึ่งให้ข้อมูลสภาพอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั่วโลก

ข้อมูลลมของกรมอุตุนิยมวิทยา

การนำข้อมูลลมของกรมอุตุนิยมวิทยามาสังเคราะห์หาจำนวนครั้งของความเร็วลมตามทิศและระดับความเร็วต่าง ๆ ได้ผลลัพธ์ดังแสดงใน**ตารางที่ 3–5** การนำข้อมูลลมดังกล่าวมาสังเคราะห์หาคุณลักษณะคลื่นตามขั้นตอนที่ USACE แนะนำ ได้ผลลัพธ์ตามแสดงใน**ตารางที่ 3–6** กับ**รูปที่ 3–40**

ข้อมูลลมและคลื่นจาก website https://www.ecmwf.int

ข้อมูลที่สามารถ download จาก website https://ecmwf.int มีหลายรายการ เช่น ความเร็วลมที่ความสูง 10 เมตร ความกดอากาศ ความสูงคลื่น คาบเวลาคลื่น ทิศคลื่น อุณหภูมิ ฯลฯ ช่วงเวลาที่มีข้อมูลให้ download ย้อนหลังตั้งแต่ปี ค.ศ. 1979 – ปีปัจจุบัน ความละเอียดของข้อมูลสามารถเลือกได้ระหว่างทุก 0.125x0.125 องศา ถึง 3x3 องศา การ download ข้อมูลไม่มีค่าใช้จ่าย แต่ต้องสมัครเป็นสมาชิกของ website รูปแบบของข้อมูลที่สามารถบันทึกมี 2 แบบ คือ GRIB ไฟล์ กับ Net CDF

ตัวอย่างข้อมูลลมกับข้อมูลคลื่นในทะเลอ่าวไทยวันที่ 1 มิถุนายน 2557 เวลา 00:00 นาฬิกา ซึ่ง download จาก website https://ecmwf.int แสดงใน**รูปที่ 3-41** กับ**รูปที่ 3-42** ตามลำดับ

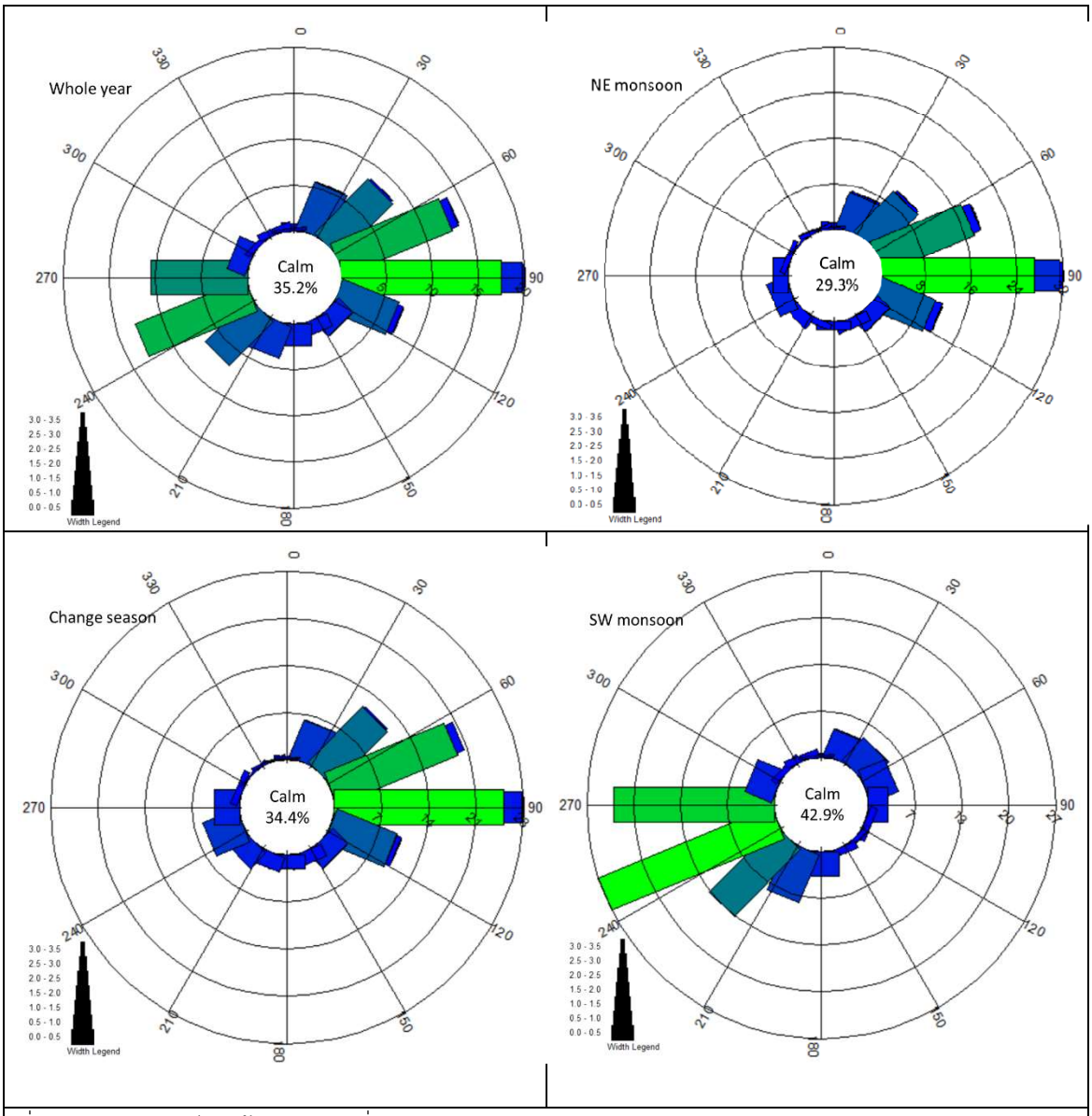
ตารางที่ 3 - 5 ผลสังเคราะห์ความเร็วลมแยกรายทิศทาง

Degrees	No at various speed (knots)																									Total	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	24	26	70	-		
10		126	76	47	93	47	28	17	6	15	4			1													460	0.5
20	5	229	142	117	179	95	62	39	14	18	4	9		2		1		2									918	1.0
30	6	456	301	311	513	327	180	132	68	70	12	24	6	5	6	1	1	2	1			1			1		2424	2.6
40	11	489	359	284	539	339	221	131	68	92	26	27	8	1	3	1				1							2600	2.8
50	9	370	353	329	504	395	231	131	69	92	17	31	14	7	4	2											2558	2.7
60	16	759	579	524	1053	545	406	303	192	296	81	118	42	26	13	4	4	2	1								4964	5.3
70	13	463	470	400	586	425	322	218	106	185	45	68	30	21	4	1	2	3									3362	3.6
80	28	469	430	423	516	459	357	224	133	155	69	85	24	14	6	4				1							3397	3.6
90	26	799	592	505	1077	720	511	468	254	605	148	297	129	53	64	4	7	4		1		1					6265	6.7
100	11	388	321	297	387	269	199	155	71	146	52	105	37	30	9	3	3	1		1	1					1	2487	2.7
110	3	227	167	147	243	170	122	120	57	134	23	99	40	16	10	4	1										1583	1.7
120	24	489	294	206	511	259	207	172	104	243	74	141	56	25	23	5	2	3									2838	3.0
130	9	183	105	80	106	85	65	45	13	34	12	25	6	2		1	1										772	0.8
140	21	185	88	62	61	55	30	19	12	21	4	12	1	1	1												573	0.6
150	6	210	77	46	87	43	22	19	10	23	4	6	4		1												558	0.6
160	20	189	64	38	22	18	12	5	3	2	1	1															375	0.4
170	16	178	65	36	12	9	7	3		1		2		1	1												331	0.4
180	16	307	85	69	47	40	15	10	6	9		1	2														607	0.6
190	18	279	86	64	38	32	15	6	3	5	1	1															548	0.6

Degrees	No at various speed (knots)																									Total	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	24	26	70	-		
200	31	325	121	94	53	41	13	12	4	5		5	1		1												706	0.8
210	12	679	242	158	200	117	54	35	21	34	12	7	2	2	1	1		1	2							1	1581	1.7
220	20	570	245	171	205	103	57	46	25	35	7	12	4	4	2	1		1					1				1509	1.6
230	35	834	498	315	319	209	112	88	37	62	13	30	4	6		3		3	1			1	2				2572	2.8
240	28	1321	724	500	658	406	282	233	136	165	44	69	18	22	12	5		1		2							4626	4.9
250	26	715	494	318	427	329	233	183	91	142	31	74	23	30	10	7	1	5		3			1				3143	3.4
260	16	460	266	224	337	215	166	127	65	105	27	83	17	21	9	4	1	3		1		2	2				2151	2.3
270	16	543	292	223	416	334	193	189	112	251	64	115	44	36	25	9	1	4	1	3				1			2872	3.1
280	7	260	162	138	195	137	92	95	38	80	20	35	14	11	8	3	3	5	2	1						2	1308	1.4
290	6	121	83	51	80	59	37	39	18	28	7	9	7	4	5	1	1	1									557	0.6
300	8	223	87	78	115	60	34	32	30	27	8	10	2		3												717	0.8
310	1	66	33	16	37	11	5	5	1	4		2				1											182	0.2
320	4	62	25	17	19	10	5	2	2	3	1			1		2											153	0.2
330	2	92	32	29	29	15	5	3	3	3		4	2	1				1		1						1	223	0.2
340	3	76	44	24	33	16	9	7	2	1		2															217	0.2
350	5	47	29	25	27	17	7	4	2	2		3															168	0.2
360	2	85	42	18	61	38	10	6	3	6	3	5															279	0.3
-			1				1		2											1						32915	32920	35.2
Total	480	13274	8074	6384	9785	6449	4327	3323	1781	3099	814	1517	537	343	221	68	28	42	8	16	1	5	6	1	1	32920	93504	100.0
%	0.5	14.2	8.6	6.8	10.5	6.9	4.6	3.6	1.9	3.3	0.9	1.6	0.6	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.2	100.0	

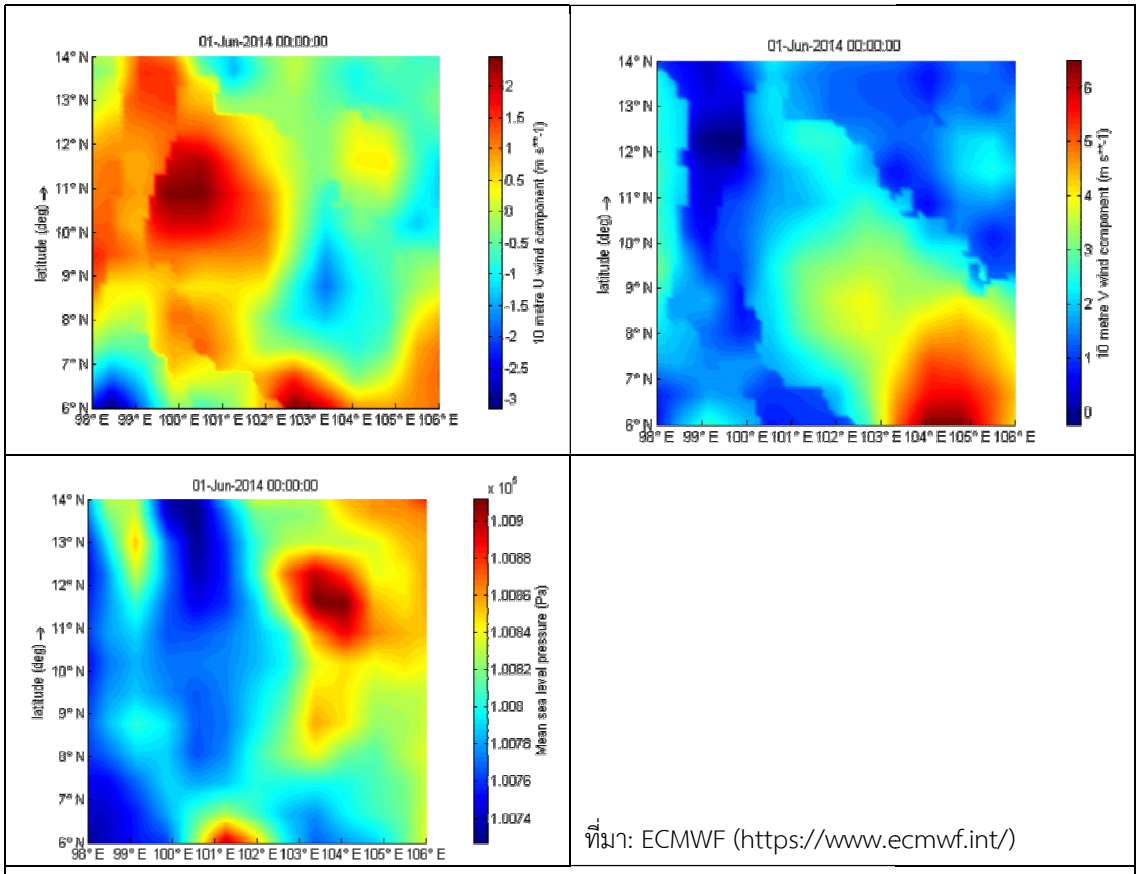
ตารางที่ 3 - 6 ผลสังเคราะห์ข้อมูลคลื่นจากข้อมูลลม

Direction	No of various significant-wave-height (Hs)				Total	%
	<0.5	0.5-1.5	1.5-2.5	2.5-3.5		
N	903	9			912	1.5
NNE	3268	72	1	1	3342	5.5
NE	4996	156	6		5158	8.5
ENE	7783	535	8		8326	13.7
E	10604	1530	14		12148	20.1
ESE	3955	463	3		4421	7.3
SE	1310	35			1345	2.2
SES	927	6			933	1.5
S	1486				1486	2.5
SWS	2286				2286	3.8
SW	4081				4081	6.7
WSW	7769				7769	12.8
W	6329				6329	10.4
WNW	1274				1274	2.1
NW	335				335	0.6
NWN	438	1			439	0.7
Total	57744	2807	32	1	60584	100.0
%	95.3	4.6	0.1	0.0	100.0	



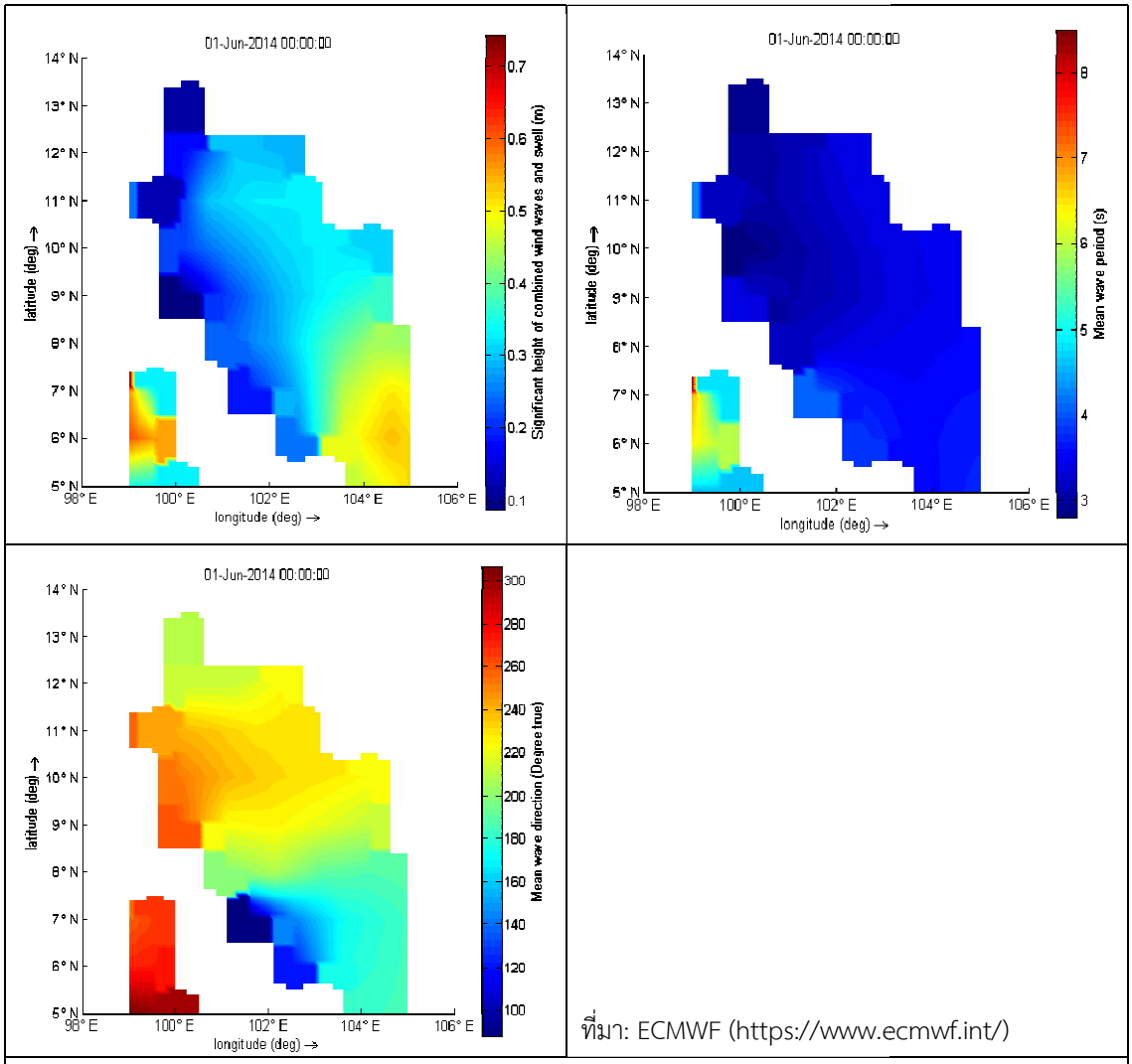
ที่มา: การสังเคราะห์จากข้อมูลลมของที่ปรึกษา

รูปที่ 3 - 40 ผังความสูงคลื่นสังเคราะห์จากข้อมูลลม



ที่มา: ECMWF (https://www.ecmwf.int/)

รูปที่ 3 - 41 ข้อมูลความเร็วลมและความดันอากาศวันที่ 1 มิ.ย. 57 เวลา 00:00 นาฬิกา



รูปที่ 3 - 42 ข้อมูลคลื่นวันที่ 1 มิ.ย. 57 เวลา 00:00 นาฬิกา

3.6 บทสรุปท้ายบท

- เนื้อหาที่เสนอในรายงานบทที่ 3 การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิแบ่งเป็น 5 ส่วน ประกอบด้วย (1) ข้อมูลรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้อง (2) ข้อมูลลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (3) ข้อมูลอุทกวิทยา (4) ข้อมูลอุทกศาสตร์ และ (5) ข้อมูลลมและคลื่น
- การศึกษาประวัติการพัฒนาร่องน้ำพบรายงานการศึกษาที่เกี่ยวข้อง 3 ฉบับ รายงานฉบับแรกเป็นโครงการศึกษาเพื่อขยายท่าเรือสงขลา รายงานฉบับนี้มีข้อเสนอวิธีแก้ไขปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำโดยก่อสร้างรอบังคับกระแสน้ำแต่เนื่องจากผลการศึกษาพบว่าการดำเนินโครงการไม่มีความเหมาะสมทางเศรษฐกิจ จึงไม่มีการดำเนินงานตามข้อเสนอ รายงานฉบับที่สองเป็นโครงการศึกษา

เพื่อจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาร่องน้ำและท่าเรือมีข้อสังเกตเกี่ยวกับปัญหาตะกอนที่ตกในแอ่งจอดเรือว่าเกิดจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นปิดทางไหลของกระแสน้ำแต่ไม่มีการประเมินขนาดผลกระทบ นอกจากนั้น มีข้อสังเกตเกี่ยวกับประสิทธิภาพของงานขุดลอกและบำรุงรักษาร่องน้ำ รายงานที่ทบทวนข้อมูลฉบับที่สามเป็นรายงานโครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกร่องน้ำเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลา ข้อมูลผลสำรวจระดับพื้นท้องน้ำในทะเลสาบสงขลาที่เสนอในรายงานฉบับนี้ถูกนำมาใช้ในโครงการ

- การศึกษารวบรวมข้อมูลลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาพบว่าลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาประกอบด้วยลุ่มน้ำย่อยหลายลุ่มน้ำ ขนาดพื้นที่ลุ่มน้ำ 8,484.35 ตารางกิโลเมตร โดยพื้นที่ทะเลสาบสงขลามีสัดส่วนร้อยละ 9.8 ของพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด น้ำในทะเลน้อยซึ่งอยู่ตอนบนของพื้นที่เป็นน้ำจืดตลอดปี พื้นที่ถัดลงมามีน้ำกร่อยช่วงฤดูแล้ง
- การศึกษารวบรวมข้อมูลอุทกวิทยาซึ่งครอบคลุมทั้งข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และข้อมูลของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ ทำให้ได้ข้อมูลปริมาณน้ำฝน ปริมาณน้ำท่า ระดับน้ำ ลักษณะการกระจายตัวของขนาดตะกอน ฯลฯ ข้อมูลเหล่านี้จะนำไปใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ
- การศึกษารวบรวมข้อมูลอุทกศาสตร์ครอบคลุมทั้งข้อมูลที่สามารถ download จาก website https://www.gebco.net ข้อมูลผลสำรวจความลึกพื้นท้องน้ำในโครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกร่องน้ำเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลาที่ได้มาเป็นไฟล์ autocad ข้อมูลแผนที่ทะเลสาบสงขลาตอนบนที่ได้มาเป็นกระดาษ และข้อมูลผลสำรวจรูปหน้าตัดร่องน้ำดำเนินการโดยกลุ่มอุทกศาสตร์ กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า ข้อมูลอุทกศาสตร์เหล่านี้จะนำไปใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์เช่นเดียวกับข้อมูลอุทกวิทยา
- การศึกษารวบรวมข้อมูลลมและคลื่นครอบคลุมทั้งข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลที่สามารถ download จาก website https://www.ecmwf.int ข้อมูลที่สามารถ download จาก website ของ ecmwf มีทั้งข้อมูลความเร็วลม ความกดอากาศ ความสูงคลื่น คาบเวลาคลื่น ฯลฯ ความละเอียดของข้อมูลสามารถตั้งได้ระหว่าง 0.125x0.125 องศา ถึง 3x3 องศา จึงเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญที่นำไปใช้ในแบบจำลองฯ

บทที่ 4 การสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม

บทที่ 4
การสำรวจรวบรวม
ข้อมูลภาคสนาม

เนื้อหาที่แสดงในรายงานบทที่ 4 การสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม เป็นรายละเอียดการปฏิบัติงานภาคสนามและข้อมูลปฐมภูมิที่ทำการสำรวจรวบรวมในโครงการ มี 4 รายการ ได้แก่ (1) งานสำรวจระดับน้ำ (2) งานสำรวจความลึกพื้นท้องน้ำ (3) งานเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตะกอนพื้นท้องน้ำ และ (4) งานสำรวจเส้นเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลา จากนั้นเนื้อหาส่วนสุดท้าย ข้อ (5) เป็นบทสรุปท้ายบท

ข้อมูลที่สำรวจรวบรวมภาคสนามรายการที่ (1) - (3) และข้อมูลทุติยภูมิที่เสนอไว้แล้วในบทที่ 3 ถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้า และ/หรือปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์และการวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำเสนอในบทที่ 5 ส่วนข้อมูลผลสำรวจเส้นเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลาจะนำไปใช้ในงานออกแบบร่องน้ำสงขลาเสนอในบทที่ 6

4.1 งานสำรวจระดับน้ำ

บริษัทที่ปรึกษาจัดเจ้าหน้าที่ทำงานสำรวจระดับน้ำในทะเลสาบสงขลาระหว่างวันที่ 24 – 27 พฤษภาคม 2560 วัตถุประสงค์ของงานสำรวจ คือ เพื่อใช้ปรับผลสำรวจความลึกน้ำที่ได้จากอุปกรณ์ echo sounder ให้เป็นข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำ กับเพื่อใช้ปรับเทียบแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ

เครื่องมือที่ใช้ทำงานสำรวจดังแสดงใน**รูปที่ 4–1** ประกอบด้วย

- อุปกรณ์อ่านค่าแรงดันน้ำ (pressure sensor) โดยเพื่อลดผลกระทบที่เกิดจากความสูงคลื่น เลือกติดตั้งอุปกรณ์อ่านค่าระดับน้ำในท่อพีวีซีให้ปลายด้านล่างจมอยู่ใต้น้ำตลอดเวลากับให้ปลายด้านบนโผล่พ้นน้ำตลอดเวลา
- เครื่องบันทึกข้อมูล (data logger) ใช้บันทึกข้อมูลที่อ่านลงในแผ่น SD Card โดยอัตโนมัติ

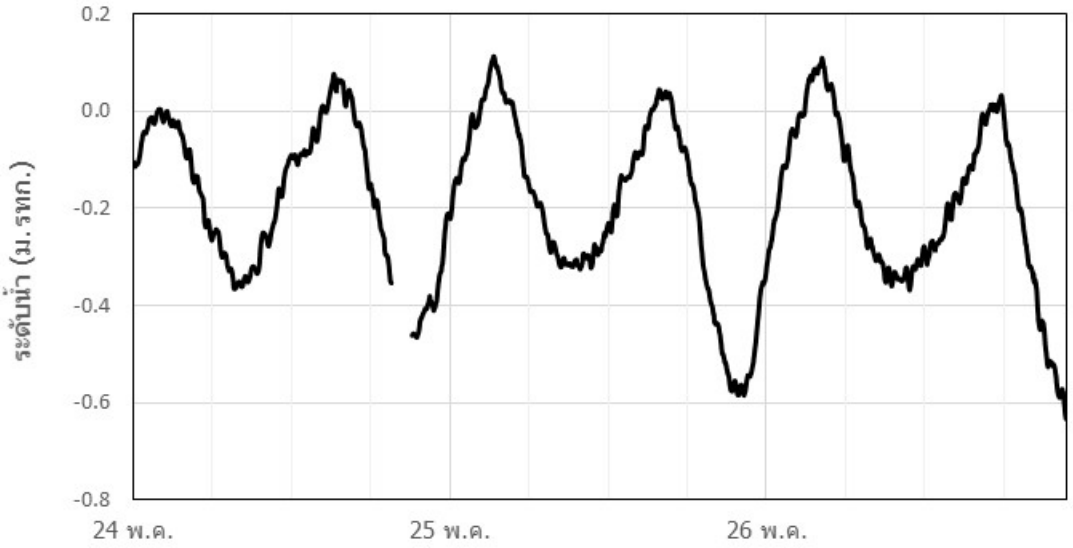
ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ ตามแสดงใน**รูปที่ 4–2** อยู่ที่พิกัด N 797626 E 673841 ส่วนผลตรวจวัดระดับน้ำเทียบกับระดับน้ำทะเลปานกลาง ตามแสดงใน**รูปที่ 4–3** พบว่าระดับน้ำในทะเลสาบสงขลาช่วงเวลาสำรวจมีค่าอยู่ระหว่าง +0.113 เมตร รทก. ถึง -0.635 เมตร รทก. พิสัยน้ำระหว่างค่าสูงสุดกับต่ำสุดเท่ากับ 0.748 เมตร

ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 4 - 1 เครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลระดับน้ำ

ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 4 - 2 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ



ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 4 - 3 ผลตรวจวัดระดับน้ำช่วงเวลาสำรวจ[1]

[1] ช่วงที่เส้นค่าระดับน้ำไม่ต่อเนื่องเป็นช่วงเวลาที่ตรวจพบความผิดปกติของอุปกรณ์จึงตัดข้อมูลช่วงเวลาดังกล่าวออก

4.2 งานสำรวจระดับพื้นท้องน้ำ

บริษัทที่ปรึกษาจัดเจ้าหน้าที่ทำงานสำรวจระดับพื้นท้องน้ำบริเวณร่องน้ำทางเดินเรือท่าเรือสงขลาครอบคลุมทั้งร่องใน ร่องนอก และพื้นที่ชายฝั่งระหว่างวันที่ 23 – 30 พฤษภาคม 2560 โดยเลือกช่วงเวลาดำเนินการขณะเข้าฤดูลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นช่วงเวลาคลื่นลมสงบของพื้นที่ชายทะเลด้านฝั่งตะวันออกของภาคใต้ การทำงานเริ่มจากติดตั้ง Echo Sounder บนเรือประมงที่หาเช่าในพื้นที่เพื่อใช้หาค่าระดับพื้นท้องน้ำบริเวณที่เรือเดินผ่าน ส่วนข้อมูลพิกัดใช้สัญญาณดาวเทียมที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจ RTK (Real Time Kinematic) โดยตั้งสถานีฐาน (base station) บนหมุดอ้างอิงของกรมเจ้าท่าชื่อ BM22 ที่พิกัดN 795143.699 E 673359.672 ระดับ +3.163 เมตร รทก. ตั้งอยู่ในสุสานอดีตเจ้าเมืองสงขลา ส่วนสถานีลูก (Rover) นำไปติดตั้งบนเรือสำรวจบริเวณใกล้หัวรับส่งสัญญาณ (Transducer) ของเครื่อง echo sounder โดยพร้อมกันนั้น ก็ติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลระดับน้ำแบบใช้แรงดันน้ำ (pressure sensor) ให้บันทึกค่าอย่างต่อเนื่องทุก 1 วินาที ตลอดระยะเวลาทำงานสำรวจเพื่อนำข้อมูลระดับน้ำมาปรับแก้ค่าระดับน้ำให้อ้างอิงกับระดับน้ำทะเลปานกลาง

ข้อมูลที่ได้จากงานสำรวจเป็นไฟล์ NMEA[2] ซึ่งบริษัทที่ปรึกษานำมาสังเคราะห์เพื่อตรวจสอบแนวเรือเดิน กับนำค่าความลึกน้ำไปประมวลผลร่วมกับค่าระดับน้ำที่บันทึกเพื่อปรับเป็นค่าระดับพื้นท้องน้ำสำหรับนำไปเตรียมแบบจำลองคณิตศาสตร์

แผนที่แสดงตำแหน่งหมุดอ้างอิงกับเส้นเรือสำรวจเดินแสดงใน**รูปที่ 4–4** ภาพถ่ายการติดตั้งอุปกรณ์บนเรือสำรวจแสดงใน**รูปที่ 4–5** แผนที่แสดงเส้นชั้นระดับพื้นท้องน้ำซึ่งได้จากงานสำรวจแสดงใน**รูปที่ 4–6**

ข้อมูลผลสำรวจระดับพื้นท้องน้ำข้างต้นจะนำไปรวมกับข้อมูลผลสำรวจระดับพื้นท้องน้ำที่มีผู้สำรวจรวบรวมไว้แล้ว ได้แก่ (1) ข้อมูลบริเวณทะเลสาบสงขลาที่ดำเนินการในโครงการจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลา (2) ข้อมูลบริเวณร่องใน-ร่องนอกที่ดำเนินการโดยกองสำรวจและแผนที่วาระต่าง ๆ และ (3) ข้อมูลบริเวณทะเลอ่าวไทยที่รวบรวมและเผยแพร่ใน website https://www.gebco.net เพื่อใช้เป็นข้อมูลสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์เสนอในบทที่ 5

---

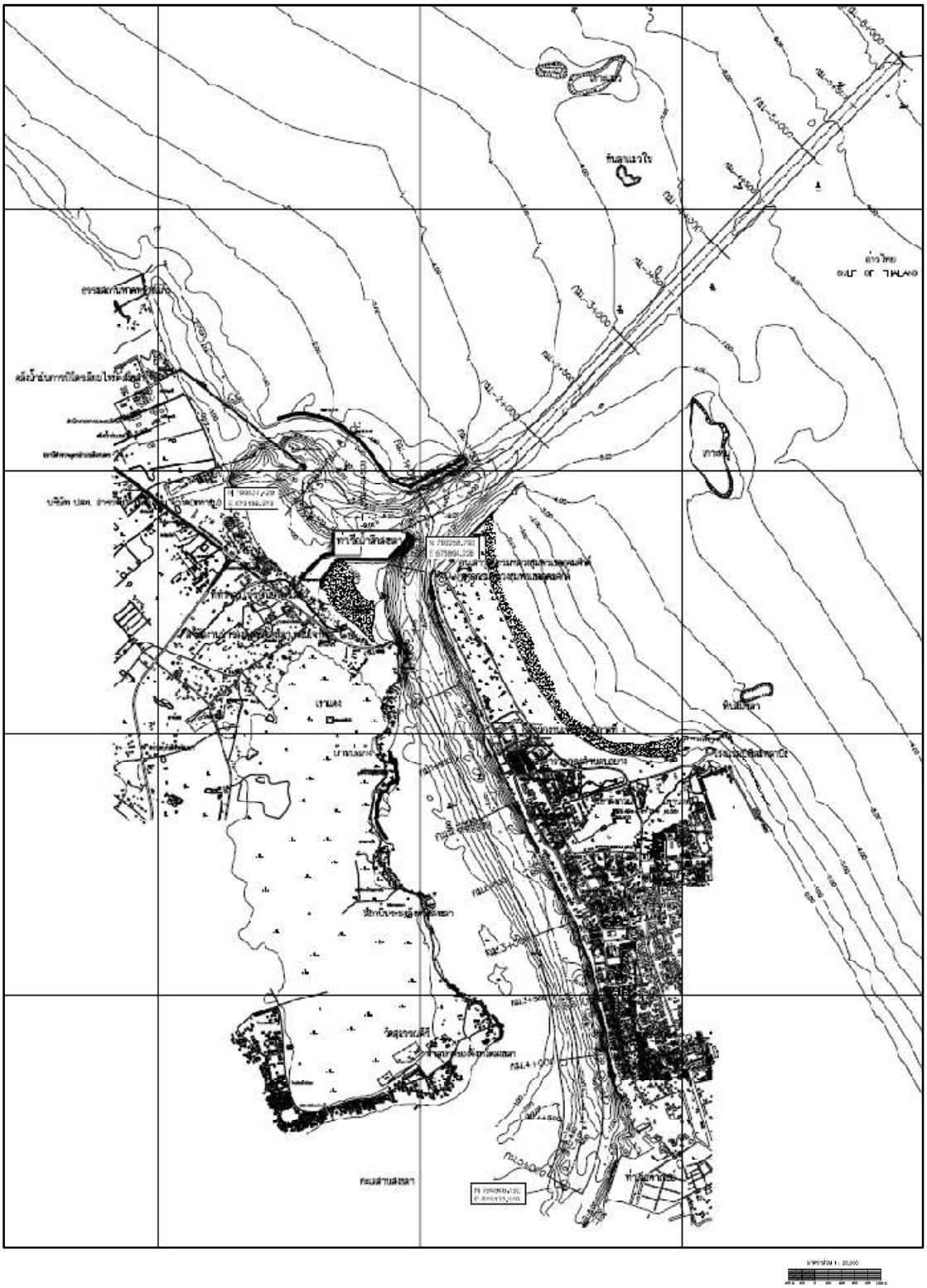
[2] NMEA เป็นข้อกำหนดรูปแบบข้อมูลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานในทะเล เช่น echo sounder, sonar, anemometer, gyrocompass, autopilot, GPS receiver ฯลฯ พัฒนาและควบคุมโดย National Marine Electronics Association

ที่มา: การสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจในโปรแกรม Google Earth โดยบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 4 - 4 ตำแหน่งหมุดอ้างอิงและเส้นเรือสำรวจเดิน

ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 4 - 5 ภาพถ่ายการทำงานสำรวจ



ที่มา: งานสำรวจของที่ปรึกษาวันที่ 24 – 27 พฤษภาคม 2560

รูปที่ 4 - 6 ผลสำรวจความลึกพื้นท้องน้ำ

4.3 งานเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตะกอนพื้นท้องน้ำ

บริษัทที่ปรึกษาจัดเจ้าหน้าที่ไปเก็บตัวอย่างตะกอนพื้นท้องน้ำบริเวณร่องน้ำสงขลาที่ความลึก 4 – 10 เมตร (ช่วงละ 1 เมตร) จำนวนความลึกน้ำละ 3 ตัวอย่าง รวม 21 ตัวอย่าง[3] เมื่อวันที่ 28 พฤษภาคม 2560 จากนั้นนำตัวอย่างมาทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์หาลักษณะการกระจายตัวของขนาดตะกอน การทดสอบเริ่มจากร่อนตะกอนที่อบแห้งด้วยตะแกรงเบอร์ 240 (ขนาดช่องเปิด 63 ไมครอน) มวลตะกอนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 240 นำไปแยกขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 8, 16, 30, 60, 120 และ 240[4] ตะกอนที่ลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 240 นำไปแยกขนาดด้วยวิธีปิเปต (pipet)

ภาพถ่ายการทำงานเก็บตัวอย่างตะกอนแสดงใน**รูปที่ 4–7** ตำแหน่งเก็บตัวอย่างตะกอนแสดงใน**ตารางที่ 4–1** กับ**รูปที่ 4–8** ผลวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของขนาดตะกอนแสดงใน**ตารางที่ 4–2** ส่วนค่า d_{50} ของตะกอนที่ความลึกน้ำต่าง ๆ แสดงใน**รูปที่ 4-9**

การพิจารณาค่า d_{50} ของตะกอนที่ความลึกน้ำต่าง ๆ พบว่าตะกอนส่วนใหญ่เป็นทรายแป้ง (ค่า d_{50}< 0.063 มิลลิเมตร) ยกเว้นช่วงความลึกน้ำ 5 – 7 เมตร ที่ตะกอนบางตัวอย่างเป็นทรายละเอียดถึงทรายหยาบ ได้แก่ ตัวอย่างที่ 5.1[5] เป็นทรายละเอียดมาก (ขนาดตะกอน 0.063– 0.125 มม.) ตัวอย่างที่ 7.1 – 7.3 เป็นทรายหยาบ (ขนาด 0.5 – 1.0 มม.) ส่วนตะกอนที่ความลึกน้ำ 6 เมตร มีความแปรปรวนมากที่สุด คือ พบทั้งเป็นทรายแป้ง ทรายขนาดปานกลาง (ขนาด 0.25 – 0.5 มม.) และทรายหยาบมาก (ขนาด 1.0 – 2.0 มม.) รายละเอียดผลการทดสอบแสดงในภาคผนวก

ผลวิเคราะห์ขนาดตะกอนข้างต้นจะนำไปใช้เป็นข้อมูลของแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ศึกษาวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำทางเดินเรือ

---

[3] การเก็บตัวอย่างตะกอนพื้นท้องน้ำโดยทั่วไปทำโดยหย่อน grab ลงไปตัก ยกเว้นที่ความลึกน้ำ 10 เมตร ใช้วิธีให้นักดำน้ำแบบ scuba ดำลงไปตักตะกอนด้วยกระบอกเก็บตัวอย่างตะกอน

[4] ขนาดช่องเปิดของตะแกรงเบอร์ 8, 16, 30, 60, 120 และ 240 เท่ากับ 2000, 1000, 500, 250, 125 และ 63 ไมครอน ตามลำดับ

[5] ตัวอย่างที่ 5.1 หมายถึง ตัวอย่างเก็บที่ความลึกน้ำ 5 เมตร ตัวอย่างที่ 1

ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 4 - 7 การทำงานเก็บตัวอย่างตะกอนพื้นท้องน้ำ

ตารางที่ 4 - 1 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างตะกอนพื้นท้องน้ำและค่า d_{50}

ตัวอย่าง	พิกัด		ขนาดd_{50} (มม.)
	N	E	
ตะกอนดินจุดที่ 4.1	794506	675076	0.0321
ตะกอนดินจุดที่ 4.2	794533	675282	0.0250
ตะกอนดินจุดที่ 4.3	794575	675455	0.0200
ตะกอนดินจุดที่ 5.1	795766	675132	0.0700
ตะกอนดินจุดที่ 5.2	795753	675245	0.0508
ตะกอนดินจุดที่ 5.3	795745	675379	0.0242
ตะกอนดินจุดที่ 6.1	797048	674602	0.4011
ตะกอนดินจุดที่ 6.2	797140	674716	2.0008
ตะกอนดินจุดที่ 6.3	797146	674855	0.0206
ตะกอนดินจุดที่ 7.1	798415	674015	0.8004
ตะกอนดินจุดที่ 7.2	798806	673979	0.8004
ตะกอนดินจุดที่ 7.3	798586	674147	0.7005
ตะกอนดินจุดที่ 8.1	800391	674996	0.0239
ตะกอนดินจุดที่ 8.2	800412	675123	0.0191
ตะกอนดินจุดที่ 8.3	800391	675253	0.0267
ตะกอนดินจุดที่ 9.1	802505	676861	0.0094
ตะกอนดินจุดที่ 9.2	802505	676979	0.0177
ตะกอนดินจุดที่ 9.3	802482	677045	0.0287
ตะกอนดินจุดที่ 10.1	803281	677472	0.0114
ตะกอนดินจุดที่ 10.2	803242	677447	0.0167
ตะกอนดินจุดที่ 10.3	803146	677478	0.0129

หมายเหตุ: ชื่อตัวอย่าง 4.1 หมายถึง ตะกอนเก็บที่ความลึกน้ำ 4 เมตร ตัวอย่างที่ 1

ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

หมายเหตุ: ชื่อตัวอย่าง 4.1 หมายถึง ตัวอย่างที่ความลึกน้ำ 4 เมตร ตัวอย่างที่ 1

ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 4 - 8 ตำแหน่งเก็บตัวอย่างตะกอนพื้นท้องน้ำ

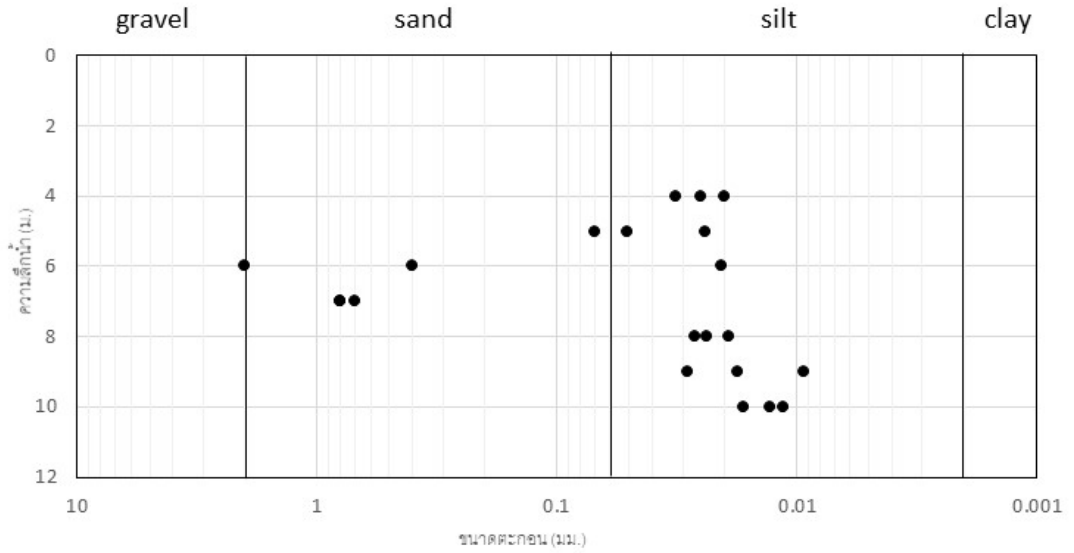
ตารางที่ 4 - 2 สัดส่วนของตะกอนขนาดต่าง ๆ

Unit: %

ขนาดตะกอน (มม.) / ตัวอย่าง	Granular	Sand					Silt				Clay
		Verycoarse	Coarse	Medium	Fine	Veryfine	Coarse	Medium	Fine	Veryfine	
	> 2.000	2.0000 - 1.0000	1.0000 - 0.5000	0.5000 - 0.2500	0.2500 - 0.1250	0.1250 - 0.0630	0.0630 - 0.0312	0.0312 - 0.0156	0.0156 - 0.0078	0.0078 - 0.0039	<0.0039
ตะกอนดินจุดที่ 4.1	0.8009	0.4676	0.4515	0.7151	3.9562	29.7692	16.2178	7.4445	21.4092	13.6015	5.1666
ตะกอนดินจุดที่ 4.2	2.7676	1.1400	0.7196	0.6028	1.9922	16.8231	12.3229	14.1704	34.9116	8.7579	5.7920
ตะกอนดินจุดที่ 4.3	0.0906	0.1289	0.0989	0.1160	0.1486	3.0899	8.7370	52.6938	21.1371	6.7178	7.0414
ตะกอนดินจุดที่ 5.1	2.4018	1.4465	1.8916	5.3806	16.7731	26.2128	9.6561	9.6230	15.3338	6.9706	4.3100
ตะกอนดินจุดที่ 5.2	15.1058	2.2264	2.4036	5.2605	9.0029	14.4486	9.4843	16.7765	16.7416	5.0216	3.5282
ตะกอนดินจุดที่ 5.3	0.9794	0.0877	0.0889	0.1687	0.5968	10.2834	13.9437	21.4906	40.5135	6.5047	5.3427
ตะกอนดินจุดที่ 6.1	35.2165	5.0498	7.4615	13.9575	6.6163	4.6451	3.3451	6.7018	14.1226	1.5149	1.3688
ตะกอนดินจุดที่ 6.2	54.0538	7.2866	4.9876	7.9475	8.5654	7.4811	1.8133	5.3630	1.3830	0.4917	0.6270
ตะกอนดินจุดที่ 6.3		0.0282	0.1016	0.3475	0.9393	11.8459	10.3469	42.9138	23.6584	4.1241	5.6944
ตะกอนดินจุดที่ 7.1	28.8617	16.8624	20.8184	28.7118	3.3839	0.3449	0.1898	0.0177	0.1594	0.1442	0.5060
ตะกอนดินจุดที่ 7.2	30.0991	15.4919	18.0478	20.3789	11.1064	3.0462	0.3163	0.1368	0.3206	0.1624	0.8934
ตะกอนดินจุดที่ 7.3	27.4542	14.7455	18.6687	23.1531	11.9289	2.5214	0.4179	0.3015	0.1671	0.1373	0.5044
ตะกอนดินจุดที่ 8.1	0.0330	0.0738	0.1480	0.1759	0.5057	16.1050	10.3252	19.2676	40.8975	7.3060	5.1626
ตะกอนดินจุดที่ 8.2	0.0384	0.0802	0.1167	0.1656	0.8849	7.4480	7.2298	21.1241	48.0058	8.7020	6.2045
ตะกอนดินจุดที่ 8.3	0.3677	0.4858	1.0858	2.9791	6.0363	25.6188	11.4565	14.4500	25.0935	7.4005	5.0261

ขนาดตะกอน (มม.)	Granular	Sand					Silt				Clay
		Verycoarse	Coarse	Medium	Fine	Veryfine	Coarse	Medium	Fine	Veryfine	
ตะกอนดินจุดที่ 9.1	0.0493	0.0287	0.0643	0.1262	0.2033	1.9464	5.8568	12.6031	44.4188	25.6988	9.0042
ตะกอนดินจุดที่ 9.2	0.0348	0.0875	0.1313	0.1331	0.2062	3.2393	11.3605	16.8361	49.2417	12.0642	6.6654
ตะกอนดินจุดที่ 9.3		0.0309	0.0532	0.0886	0.1604	3.5976	19.9678	31.1072	29.6376	9.3822	5.9744
ตะกอนดินจุดที่ 10.1		0.0029	0.0318	0.0505	0.0884	0.3434	4.0323	15.6200	50.7089	19.4893	9.6327
ตะกอนดินจุดที่ 10.2		0.0475	0.0836	0.1487	0.2029	1.6968	10.9951	25.1907	32.3143	17.7316	11.5888
ตะกอนดินจุดที่ 10.3		0.0185	0.0170	0.0389	0.0648	0.7746	1.9703	23.0694	45.8395	16.5102	11.6968

ที่มา: การทดสอบตัวอย่างตะกอนของบริษัทที่ปรึกษา



ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 4 - 9 ขนาด d_{50} ของตะกอนที่ความลึกน้ำต่าง ๆ

4.4 งานสำรวจเส้นเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลา

จากผลการศึกษาปัญหาที่ต้องการแก้ไข (รายงานการศึกษาบทที่ 2 ข้อ 2.7) ที่พบว่าปัญหาสำคัญประการหนึ่งของร่องน้ำสงขลา คือ เดินเรือไม่สะดวกมีความเสี่ยงเกิดอุบัติเหตุ ซึ่งเนื่องจากหน้าที่สำคัญของร่องน้ำ คือ เพื่อใช้เป็นทางให้เรือเดิน ดังนั้น เพื่อหาทางแก้ไขปัญหาบริษัทที่ปรึกษาจึงจัดเจ้าหน้าที่ไปสำรวจรวบรวมข้อมูลเส้นเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลาช่วงระหว่างวันที่ 15 – 21 กันยายน 2560 ว่าใช้เส้นทางเข้าออกท่าเรือสงขลาอย่างไร มีอาการเรือขณะเดินผ่านเข้าออกร่องน้ำอย่างไร สำหรับนำไปกำหนดวิธีแก้ไขที่เหมาะสมและเป็นไปได้

วิธีที่ใช้สำรวจ คือ นำ GPS Logger ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลพิกัด ความเร็ว ทิศทางการเคลื่อนที่ไปติดตั้งที่หัวเรือและท้ายเรือขณะเรือเดินเข้าเทียบท่า และออกจากท่า เวลาเริ่มติดตั้งอุปกรณ์และบันทึกข้อมูลของเรือเดินขาเข้า คือ เมื่อเรือเดินถึงตำบลรับ-ส่งเจ้าหน้าที่นำร่องที่พิกัดแลตติจูด 7 องศา 16.0 ลิปดา ลองติจุด 100 องศา 40.0 ลิปดา ตะวันออก (เปลี่ยนแปลงตามตำบลที่รับ-ส่งเจ้าหน้าที่นำร่องจริงขณะปฏิบัติงาน) และถอดอุปกรณ์ออกเมื่อเรือเดินเข้าถึงท่า ส่วนเวลาเริ่มติดตั้งอุปกรณ์และบันทึกข้อมูลเรือเดินขาออก คือ เมื่อเรือเดินออกจากท่า และถอดอุปกรณ์ออกเมื่อเรือเดินถึงตำบลรับส่งเจ้าหน้าที่นำร่องการทำงานตั้งค่าให้อุปกรณ์บันทึกข้อมูลต่าง ๆ ทุก 1 วินาที

ตารางที่ 4 - 3 ข้อมูลเรือที่สำรวจเส้นเรือเดิน

ลำดับที่	วันที่	ทิศเรือเดิน	ชื่อเรือ	Type	นำร่อง	LOA (เมตร)	W (เมตร)	Draft (เมตร)	GRT	DWT
1	15 ก.ย. 60	ออก	MAERSK WELLINGTON PANAMA	Container Ship	170	171.99	27.6	8.9	17280	21419
2	15 ก.ย. 60	เข้า	SUNSHINE BANDAMA PANAMA	Container Ship	170	171.99	27.6	9	17294	21470
3	16 ก.ย. 60	ออก	SUNSHINE BANDAMA PANAMA	Container Ship	186	171.99	27.6	9	17294	21470
4	17 ก.ย. 60	ออก	PIRA BHUM SINGAPORE	Container Ship	186/194	121.9	21.8	6.4	6393	7988
5	19 ก.ย. 60	เข้า	NANTA BHUM BANGKOK	Container Ship	170/194	145.65	25	5.5	11079	15152
6	20 ก.ย. 60	ออก	SALTLAKE	Reefer	194	96.78	16.2	5.7	3437	4269
7	20 ก.ย. 60	เข้า	PELAGICA	General Cargo	194	138.5	21	6.4	9627	12737
8	20 ก.ย. 60	ออก	NANTA BHUM BANGKOK	Container Ship	194	145.65	25	5.5	11079	15152
9	20 ก.ย. 60	ออก	PELAGICA	General Cargo	163	138.5	21	6.4	9627	12737
10	21 ก.ย. 60	เข้า	MAERSK WELLINGTON PANAMA	Container Ship	170	171.99	27.6	8.9	17280	21419
มากที่สุด					194	171.99	27.6	9	17280	21470
น้อยที่สุด					163	96.78	16.2	5.5	3434	4269
เฉลี่ย					182.9	147.49	24.04	7.17	12039	15381.3

ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

การสำรวจรวบรวมข้อมูลระหว่างวันที่ 15 – 21 กันยายน 2560 ตามรายละเอียดแสดงใน**ตารางที่ 4–3** ได้ข้อมูลเรือเดินขาเข้า 4 เที่ยว เรือเดินขาออก 6 เที่ยว ส่วนใหญ่เป็นเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ (ร้อยละ 70) รองลงมาเป็นเรือบรรทุกสินค้าทั่วไป กับเรือห้องเย็น (Reefer) สัดส่วนร้อยละ 20 กับร้อยละ 10 ตามลำดับ เรือที่สำรวจมีความยาวตลอดลำ 96.78 – 171.99 เมตร เฉลี่ย 147.49 เมตร กว้าง 16.2 – 27.6 เมตร เฉลี่ย 24.04 เมตร เมตร กินน้ำลึก 5.5 – 9.0 เมตร เฉลี่ย 7.17 เมตร เมตร ระวางบรรทุก 3437 – 17294 GRT เฉลี่ย 12039 GRT

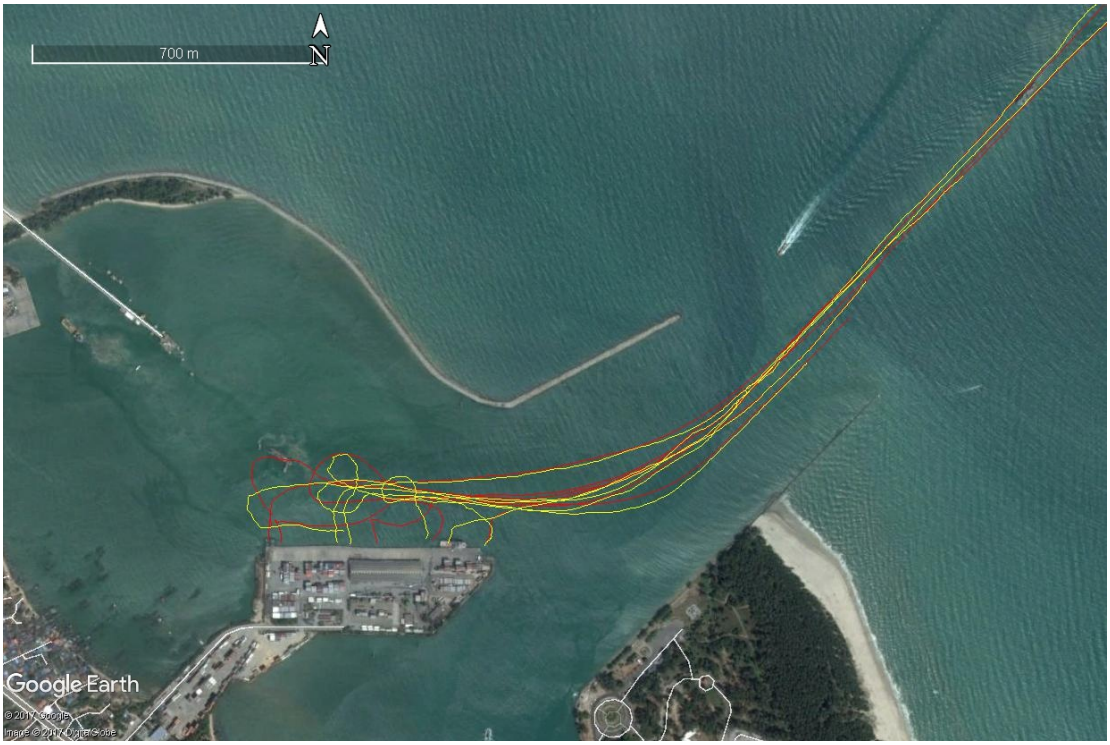
ผลสำรวจเส้นเรือเดินขาเข้า กับเส้นเรือเดินขาออก แสดงใน**รูปที่ 4–10** กับ**รูปที่ 4–11** ตามลำดับ

ผลสำรวจเส้นเรือเดินข้างต้นจะนำไปใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบร่องน้ำเสนอในบทที่ 6

หมายเหตุ: เส้นหัวเรือ (bow) เป็นเส้นสีแดง เส้นท้ายเรือ (stern) เป็นเส้นสีเหลือง

ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 4 - 10 เส้นเรือเดินขาเข้า



หมายเหตุ: เส้นหัวเรือ (bow) เป็นเส้นสีแดง เส้นท้ายเรือ (stern) เป็นเส้นสีเหลือง

ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 4 - 11 เส้นเรือเดินขาออก

4.5 บทสรุปท้ายบท

- เนื้อหาแสดงในบทที่ 4 การสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม แสดงรายละเอียดการปฏิบัติงานและข้อมูลปฐมภูมิที่ทำการสำรวจรวบรวมในโครงการ มี 4 รายการ ประกอบด้วย (1) ระดับน้ำ (2) ระดับพื้นท้องน้ำ (3) คุณลักษณะตะกอน และ (4) เส้นเรือเดินผ่านเข้าออกร่องน้ำสงขลา
- การตรวจวัดระดับน้ำในสนามดำเนินการระหว่างวันที่ 24 – 27 พฤษภาคม 2560 ผลตรวจวัดพบว่าระดับน้ำในทะเลสาบสงขลาช่วงเวลาสำรวจมีค่าอยู่ระหว่าง + 0.113 เมตร รทก. ถึง -0.635 เมตร รทก. พิสัยน้ำระหว่างค่าสูงสุดกับต่ำสุดเท่ากับ 0.748 เมตร
- การสำรวจระดับพื้นท้องน้ำในสนามซึ่งครอบคลุมทั้งพื้นที่ในร่องใน ร่องนอก แอ่งจอดเรือ และทะเลชายฝั่ง ดำเนินการระหว่างวันที่ 23 – 30 พฤษภาคม 2560 ผลตรวจวัดได้ข้อมูลพิกัดและระดับ (ENZ) สำหรับนำไปใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์เสนอในบทที่ 5
- การเก็บตัวอย่างตะกอนพื้นท้องน้ำซึ่งดำเนินการในวันที่ 28 พฤษภาคม 2560 ได้ตัวอย่างตะกอนที่ความลึกน้ำ 4 – 10 เมตร (ช่วงละ 1 เมตร) จำนวนความลึกน้ำละ 3 ตัวอย่าง รวม 21 ตัวอย่าง การพิจารณาค่า d_{50} ของตะกอนที่ความลึกน้ำต่าง ๆ พบว่าตะกอนส่วนใหญ่เป็นทรายแป้ง (ค่า

d_{50}<0.063 มิลลิเมตร) ยกเว้นช่วงความลึกน้ำ 5 – 7 เมตร ที่ตะกอนบางตัวอย่างเป็นทรายละเอียดถึงทรายหยาบ ได้แก่ ตัวอย่างที่ 5.1[6] เป็นทรายละเอียดมาก (ขนาดตะกอน 0.063– 0.125 มม.) ตัวอย่างที่ 7.1 – 7.3 เป็นทรายหยาบ (ขนาด 0.5 – 1.0 มม.) ส่วนตะกอนที่ความลึกน้ำ 6 เมตร มีความแปรปรวนมากที่สุด คือ พบทั้งเป็นทรายแป้ง ทรายขนาดปานกลาง (ขนาด 0.25 – 0.5 มม.) และทรายหยาบมาก (ขนาด 1.0 – 2.0 มม.) ข้อมูลขนาดตะกอนที่สำรวจจะนำไปรวมกับข้อมูลตะกอนทุติยภูมิเพื่อกำหนดขนาดตะกอนที่จะใช้ในแบบจำลองต่อไป

- การสำรวจเส้นเรือเดินดำเนินการระหว่างวันที่ 15 – 21 กันยายน 2560 ได้ข้อมูลเรือเดินขาเข้า 4 เที่ยว เรือเดินขาออก 6 เที่ยว ส่วนใหญ่เป็นเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ (ร้อยละ 70) รองลงมาเป็นเรือบรรทุกสินค้าทั่วไป กับเรือห้องเย็น (Reefer) สัดส่วนร้อยละ 20 กับร้อยละ 10 ตามลำดับ เรือที่สำรวจมีความยาวตลอดลำ 96.78 – 171.99 เมตร เฉลี่ย 147.49 เมตร กว้าง 16.2 – 27.6 เมตร เฉลี่ย 24.04 เมตร เมตร กินน้ำลึก 5.5 – 9.0 เมตร เฉลี่ย 7.17 เมตร เมตร ระวางบรรทุก 3437 – 17294 GRT เฉลี่ย 12039 GRT ผลสำรวจข้อมูลเส้นเรือเดินจะนำไปใช้ในการออกแบบร่องน้ำเสนอในบทที่ 6

[6] ตัวอย่างที่ 5.1 หมายถึง ตัวอย่างเก็บที่ความลึกน้ำ 5 เมตร ตัวอย่างที่ 1

บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ

บทที่ 5
การวิเคราะห์ปริมาณ
ตะกอนที่ตกในร่องน้ำ

เนื้อหาที่แสดงในรายงานบทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ เป็นรายละเอียดการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์หาปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ เนื้อหาที่แสดงแบ่งเป็น 5 ส่วน เริ่มจาก (1) กรอบการดำเนินงาน ต่อด้วย (2) การจำลองคุณลักษณะทางชลศาสตร์ (3) การจำลองคุณลักษณะคลื่น (4) การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของตะกอนและการเปลี่ยนแปลงสัณฐานพื้นท้องน้ำ และ (5) บทสรุปท้ายบท

ผลการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณตะกอนตกในร่องน้ำ รวมกับผลการศึกษาปัญหาที่ต้องการแก้ไขและการพิจารณาคำแนะนำการออกแบบร่องน้ำมาตรฐานนำไปสู่การออกแบบรายละเอียดร่องน้ำเสนอในบทที่ 6 การออกแบบร่องน้ำ

5.1 แนวความคิด

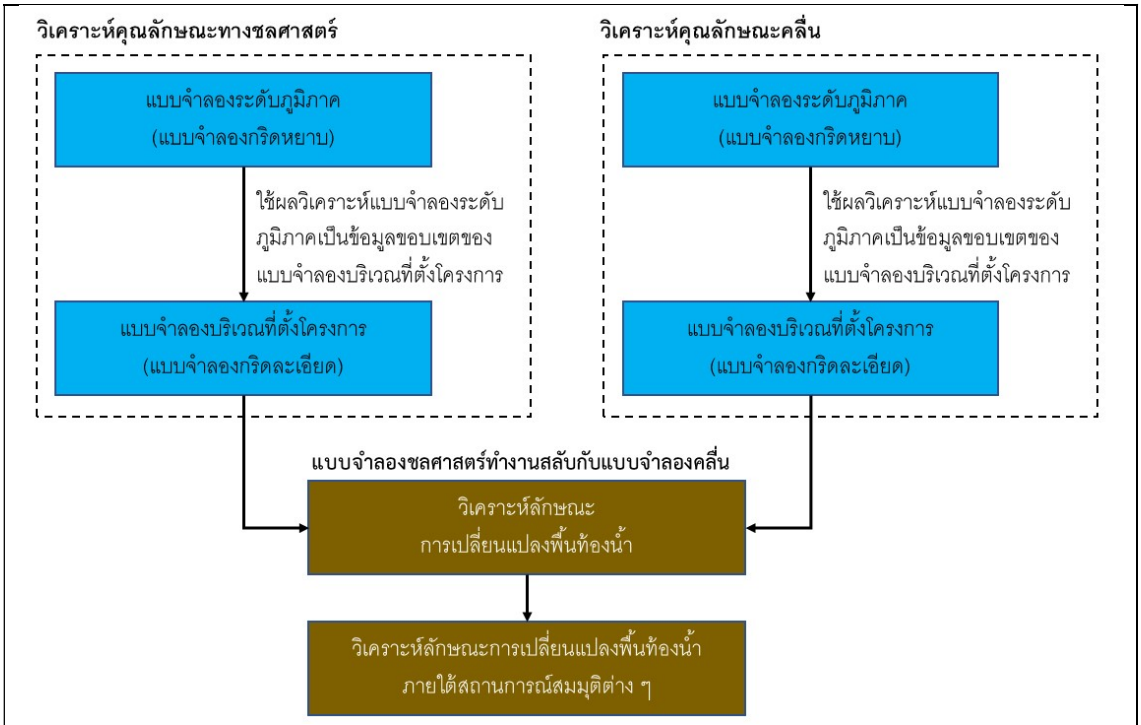
การวิเคราะห์หาปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ชื่อDelft3D เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์

แบบจำลอง Delft3D สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบ 2 มิติ และ3 มิติ ใช้สำหรับตรวจสอบ/วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางชลศาสตร์ (hydrodynamics) คลื่น การเคลื่อนตัวของตะกอนและการเปลี่ยนแปลงสัณฐานพื้นท้องน้ำ (sediment transport and morphology) และคุณภาพน้ำ (water quality) ของพื้นที่ในลำน้ำ ตลอดจนพื้นที่บริเวณปากแม่น้ำ และชายฝั่ง โดยตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2554 module ในโปรแกรม Delft3D ชื่อ FLOW (Delft3D flow), MOR (Delft3D morphology) และ WAVE (Delft3D waves) ถูกเผยแพร่เป็นโปรแกรมสาธารณะ (open source)

กรอบการดำเนินงาน ตามแสดงใน**รูปที่ 5–1** เริ่มจากนำ module FLOW ของโปรแกรม Delft3D มาสร้างแบบจำลองเพื่อใช้วิเคราะห์คุณลักษณะทางชลศาสตร์ของพื้นที่บริเวณร่องนอก แอ่งจอดเรือท่าเรือสงขลา และร่องใน โดยเพื่อให้ผลวิเคราะห์มีความละเอียดโดยไม่สิ้นเปลืองทรัพยากรมากเกินไป การทำงานเริ่มจากสร้างแบบจำลองระดับภูมิภาค (regional model) ซึ่งเป็นแบบจำลองกริดหยาบครอบคลุมพื้นที่ในทะเลอ่าวไทยทั้งหมดทำการปรับแก้และทานสอบแบบจำลองให้มั่นใจว่าแบบจำลองสามารถแสดงคุณลักษณะทางชลศาสตร์ของพื้นที่ได้เป็นอย่างดี เสร็จแล้วสร้างแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ (project model) ซึ่งเป็นแบบจำลองกริดละเอียด นำผลวิเคราะห์ค่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองระดับภูมิภาคเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองกริดละเอียดทำการปรับแก้แบบจำลองให้แน่ใจว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถแสดงคุณลักษณะทางชลศาสตร์ของพื้นที่บริเวณร่องนอก แอ่งจอดเรือ และร่องใน ได้เป็นอย่างดี

งานที่ดำเนินไปพร้อมกัน เป็นการนำmodule WAVE มาสร้างแบบจำลองเพื่อใช้จำลองคุณลักษณะคลื่นที่เคลื่อนตัวผ่านร่องนอกเข้าไปในแอ่งจอดเรือและร่องใน การทำงานเริ่มจากพัฒนาแบบจำลองระดับภูมิภาคซึ่งเป็นแบบจำลองกริดหยาบให้ขอบเขตของแบบจำลองมีความลึกน้ำมากกว่า 20 เมตร (คลื่นก่อตัวได้เต็มที่) ทำการปรับแก้แบบจำลองให้มั่นใจว่าโปรแกรมสามารถจำลองคุณลักษณะคลื่นจากข้อมูลคุณลักษณะคลื่นจากจุดที่มีข้อมูลสองจุดเสร็จแล้วสร้างแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการซึ่งเป็นแบบจำลองกริดละเอียด แล้วนำผลวิเคราะห์คุณลักษณะคลื่นที่ได้จากแบบจำลองกริดหยาบมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองกริดละเอียด

การทำงานลำดับสุดท้ายเป็นการนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงพื้นท้องน้ำ (การกัดเซาะและตกตะกอน) ในบริเวณพื้นที่ศึกษา เริ่มโดยนำผลวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ (ระดับน้ำ ทิศและความเร็วกระแสน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอน ระดับพื้นท้องน้ำ ฯลฯ) เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองคลื่น เสร็จแล้วนำผลวิเคราะห์ของแบบจำลองคลื่นซึ่งทำให้ทิศและความเร็วกระแสน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอนเปลี่ยนแปลง ฯลฯ เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองชลศาสตร์ ให้แบบจำลองทั้งสองทำงานสลับกันไปมาจนครบช่วงเวลาที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีข้อมูลผลสำรวจระดับพื้นท้องน้ำภายใต้แรงกระทำตามธรรมชาติเพียงอย่างเดียว (ไม่มีกิจกรรมขุดลอก) ทำการปรับแก้แบบจำลองให้มั่นใจว่าแบบจำลองสามารถทำนายการกัดเซาะและตกตะกอนของพื้นที่ได้เป็นอย่างดี เสร็จแล้วนำแบบจำลองไปประเมินตะกอนที่ตกในร่องน้ำภายใต้สถานการณ์สมมุติต่าง ๆ เพื่อนำไปหาทางเลือกในการออกแบบร่องน้ำที่เหมาะสมที่สุด



ที่มา: ที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 1 กรอบการวิเคราะห์หาปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ

5.2 การพัฒนาแบบจำลองชลศาสตร์

5.2.1 แบบจำลองระดับภูมิภาค

การพัฒนาแบบจำลองชลศาสตร์ระดับภูมิภาคมี 7 ขั้นตอน เริ่มจาก (1) เตรียมข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำ ต่อด้วย (2) เตรียมข้อมูลเส้นแนวชายฝั่ง (3) เตรียมข้อมูลสภาพอากาศ (4) สร้างกริดหยาบ (5) กำหนดบริเวณที่เป็น dry point (6) เตรียมข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง จากนั้นเป็นการทำงานลำดับที่ (7) วิเคราะห์คุณลักษณะทางชลศาสตร์ปรับแก้และทานสอบแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลระดับน้ำตรวจวัดจริงที่สถานีต่าง ๆ ในทะเลอ่าวไทย

5.2.1.1 ข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำ

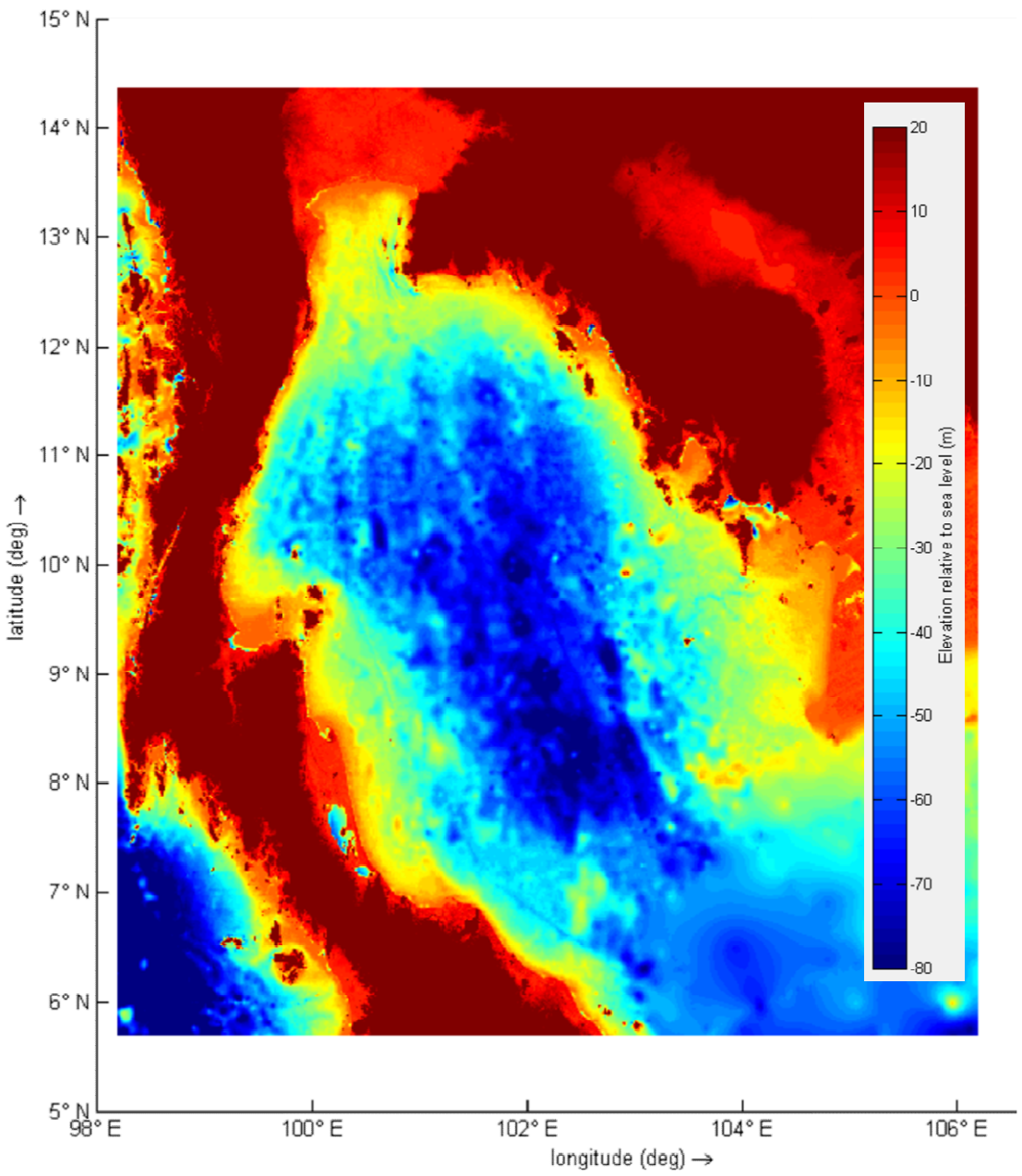
ข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำที่ใช้ในแบบจำลองระดับภูมิภาคเป็นข้อมูลที่รวบรวมและเผยแพร่ใน website GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) ซึ่งเป็นงานที่เกิดจากความร่วมมือขององค์กรอุทกศาสตร์ระหว่างประเทศ (IHO: International Hydrographic Organization) กับคณะกรรมาธิการทางทะเลระหว่างรัฐ (IOC: Intergovernmental Oceanographic Commission) ของ UNESCO(United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) โดยGEBCO ยอมให้ผู้สมัครเป็นสมาชิก download ข้อมูลแผนที่แสดงระดับพื้นท้องน้ำบริเวณที่ต้องการทางอินเตอร์เน็ตผ่าน webpage ชื่อ http://www.gebco.net ข้อมูลที่เผยแพร่มีความละเอียด 2 ระดับ คือ GEBCO One Minute Grid ความละเอียดทุก 1 ลิปดา กับ GEBCO 2014 Grid ความละเอียดทุก 30 ฟิลิปดา รูปแบบข้อมูลที่สามารถบันทึกมี 3 รูปแบบ คือ netCDF, Esri ASCII raster และ INT16 Geotiff

ข้อมูลของ GEBCO ที่นำมาใช้ในโครงการเป็นข้อมูล GEBCO 2014 Grid ความละเอียดทุก 30 ฟิลิปดา ระหว่างจุด 98.1877 E 5.6837 N (มุมล่างซ้าย) กับจุด 106.1974 E 14.373 N (มุมขวาบน) รูปแบบข้อมูลที่บันทึกคือ NetCDF ซึ่งเป็นไฟล์ประเภทbinary[1] จากนั้นนำข้อมูลมาเปิดในโปรแกรม Delft Dash Board[2] เพื่อสร้าง Grid หรือใช้โปรแกรม QUICKIN ซึ่งเป็น module ย่อยใน Delft3D export ข้อมูลแบบ NetCDF ให้เป็นไฟล์ข้อมูลแบบ Tekal (*.tek) หรือ Sample (*.xyz) ซึ่งแสดงค่าพิกัดในระบบแลตติจูด ลองจิจูด กับค่าระดับ (NEZ) ภาพข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำของ GEBCO ที่นำมาใช้ในโครงการแสดงใน**รูปที่ 5-2**

---

[1] ไฟล์ binary เป็นไฟล์ที่มีเพียง 2 ค่า คือ 0 กับ 1

[2] ผู้สนใจสามารถ download โปรแกรม Delft Dash Board จาก https://publicwiki.deltares.nl/display/DDB/Download ทั้งแบบเป็นไฟล์โปรแกรมทำงานได้เอง กับสั่งทำงานจากโปรแกรม Matlab



ที่มา: ข้อมูลของ GEBCO(https://www.gebco.net/)

รูปที่ 5 - 2 ข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำบริเวณทะเลอ่าวไทยของ GEBCO

5.2.1.2 ข้อมูลเส้นชายฝั่ง

ข้อมูลแนวชายฝั่งที่ใช้ในแบบจำลองระดับภูมิภาคครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งทะเลอ่าวไทยเริ่มตั้งแต่รัฐโกตาบารู (Kota Bharu) ในประเทศมาเลเซีย ผ่านชายฝั่งทะเลในประเทศไทยทั้งหมด ต่อด้วยชายฝั่งทะเลในประเทศกัมพูชา จนถึงแหลมเมา (Mau Cape) ในประเทศเวียดนาม

การเตรียมข้อมูลเส้นชายฝั่งของโครงการอาศัย World Vector Shoreline ที่ NGA (National Geospatial-Intelligence Agency) ซึ่งเป็นหน่วยงานของรัฐในประเทศสหรัฐอมริกาสร้างไว้ ความละเอียดของข้อมูล 500 เมตร การเข้าถึงข้อมูลดังกล่าวอาศัยเครื่องมือในโปรแกรม Delft Dash Board โดยสร้างรูปหลายเหลี่ยมปิด (polygon) ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการ แล้วใช้คำสั่ง Export เพื่อสร้างไฟล์ข้อมูลเส้นชายฝั่งในรูปแบบ *.ldb สำหรับใช้ในโปรแกรม Delft3D เส้นชายฝั่งของโครงการที่สร้างจากโปรแกรม Delft Dash Boardแสดงใน**รูปที่ 5–3**

ที่มา: การใช้โปรแกรม Delft Dash Board โดยที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 3 เส้นชายฝั่งของโครงการที่สร้างจากโปรแกรม Delft Dash Board

5.2.1.3 ข้อมูลสภาพอากาศ

ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในแบบจำลองระดับภูมิภาคเป็นแบบเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลา (space-time varying) ข้อมูลที่จัดเตรียมมี 5 ช่วงเวลา คือ

(1) ช่วงเวลาใช้สำหรับปรับแก้แบบจำลองระดับภูมิภาค กำหนดให้ตรงกับช่วงเวลาที่มีข้อมูลระดับน้ำในทะเลอ่าวไทยบริเวณที่ต้องการครบถ้วน การดำเนินงานเลือกใช้ช่วงเวลาระหว่างวันที่ 1 – 15 มิถุนายน 2557

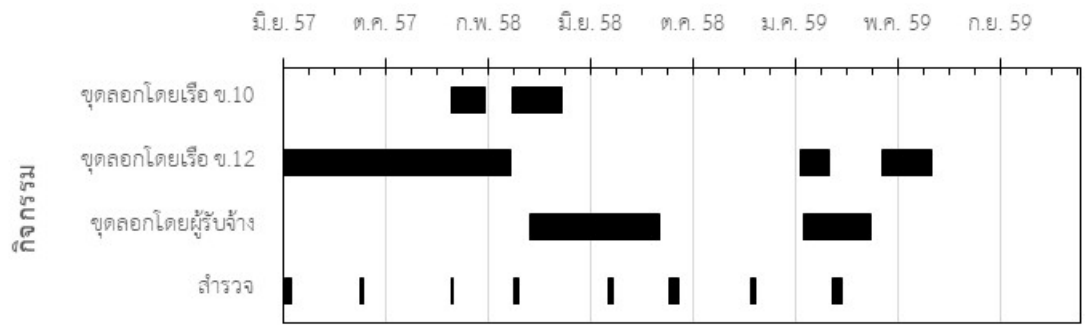
(2) ช่วงเวลาที่ใช้ทานสอบแบบจำลองระดับภูมิภาค กำหนดให้ตรงกับช่วงเวลาที่มีข้อมูลระดับน้ำในทะเลอ่าวไทยบริเวณที่ต้องการครบถ้วน แต่ไม่ตรงกับช่วงเวลาที่ใช้ปรับแก้แบบจำลอง การดำเนินงานเลือกใช้ช่วงเวลาระหว่างวันที่ 15- 30 ธันวาคม 2557

(3) ช่วงเวลาใช้สำหรับปรับแก้แบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ กำหนดตามช่วงเวลาที่มีการตรวจวัดข้อมูลระดับน้ำในสนามดำเนินการระหว่างวันที่ 24 – 27 พฤษภาคม 2560

(4) ช่วงเวลาใช้ปรับแก้แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสัณฐานพื้นท้องน้ำ กำหนดตามช่วงเวลาที่มีข้อมูลผลสำรวจร่องน้ำ โดยช่วงเวลาดังกล่าวไม่มีกิจกรรมขุดลอก การตรวจสอบช่วงเวลามีข้อมูลผลสำรวจโดยไม่มีกิจกรรมขุดลอก ตามแสดงใน**รูปที่ 5–4** พบช่วงเวลาเดียว คือ ระหว่างวันที่ 9 กันยายน ถึงวันที่ 8 ธันวาคม 2558

(5) ช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงพื้นท้องน้ำในรอบปี เลือกใช้ช่วงเวลาระหว่างวันที่ 1 มกราคม –31 ธันวาคม 2559

ข้อมูลสภาพอากาศที่จัดเตรียมทุกช่วงเวลาใช้ข้อมูลที่เผยแพร่ใน webpage[3] ของ ECMWF (European Cooperation in Science and Technology) ซึ่งเป็นองค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศในทวีปยุโรปด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ยอมให้ผู้สมัครเป็นสมาชิกสามารถบันทึกข้อมูลสภาพอากาศในช่วงเวลาและสถานที่ที่ต้องการ



ที่มา: การประมวลข้อมูลของสำนักพัฒนาและบำรุงรักษาทางน้ำ และกองสำรวจและแผนที่

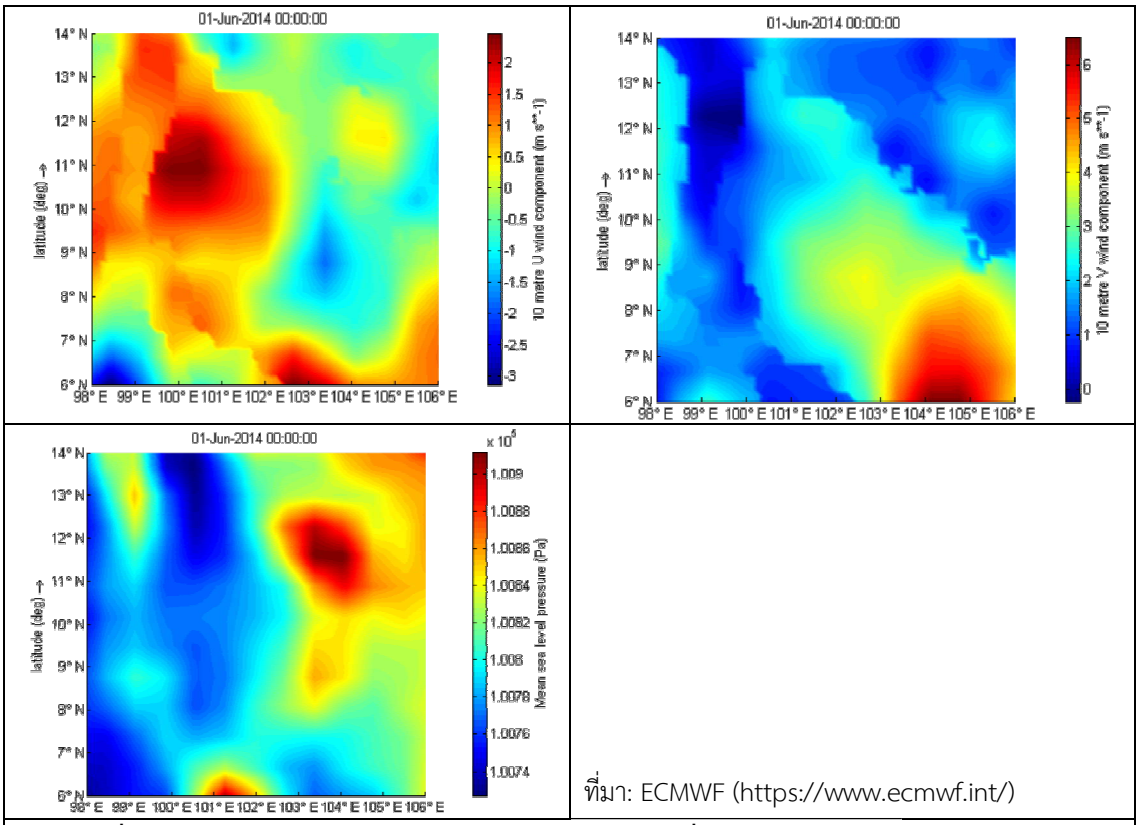
รูปที่ 5 - 4 ช่วงเวลาปฏิบัติงานขุดลอกและสำรวจร่องน้ำ

[3] https://www.ecmwf.int/

ข้อมูลที่จัดเตรียมมี 3รายการ ประกอบด้วย

- ความเร็วแกน u ที่ความสูง 10 เมตร
- ความเร็วแกน v ที่ความสูง 10 เมตร
- ความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง

บริเวณที่บันทึกข้อมูลเป็นพื้นที่ระหว่างพิกัด 6– 14 องศาเหนือ 98 – 106 องศาตะวันออก ตัวอย่างข้อมูลสภาพอากาศที่บันทึกจาก webpageของ ECMWF แสดงใน**รูปที่ 5–5** ข้อมูลที่บันทึกเป็นไฟล์ NetCDF ซึ่งต้องนำมาจัดเรียงให้อยู่ในรูปแบบของไฟล์ *.wnd ซึ่งเป็นไฟล์ประเภทข้อความ (รูปแบบไฟล์ *.wnd แสดงใน**รูปที่ 5–6**) ซึ่งเนื่องจากข้อมูลที่ต้องจัดเรียงมีขนาดใหญ่ การดำเนินงานจึงใช้ nctoolbox ใน MATLAB เป็นเครื่องมือ



ที่มา: ECMWF (https://www.ecmwf.int/)

รูปที่ 5 - 5 ข้อมูลความเร็วลมและความดันอากาศวันที่ 1 มิ.ย. 57 เวลา 00:00 นาฬิกา

```
Time = 0.0 minutes since 2014-01-01  00:00:00  +07:00        # Time definition
{267 records with 333 values each}                             # Wind component west to east
{267 records with 333 values each}                             # Wind component south to north
{267 records with 333 values each}                             # Atmospheric pressure
Time = 360.0 minutes since 2014-01-01  00:00:00  +07:00       # Time definition
{267 records with 333 values each}                             # Wind component west to east
{267 records with 333 values each}                             # Wind component south to north
{267 records with 333 values each}                             # Atmospheric pressure
Time = 720.0 minutes since 2014-01-01  00:00:00  +07:00       # Time definition
{267 records with 333 values each}                             # Wind component west to east
{267 records with 333 values each}                             # Wind component south to north
{267 records with 333 values each}                             # Atmospheric pressure
....
Time = 4320.0 minutes since 2014-01-01  00:00:00  +07:00      # Time definition
{267 records with 333 values each}                             # Wind component west to east
{267 records with 333 values each}                             # Wind component south to north
{267 records with 333 values each}                             # Atmospheric pressure
```

ที่มา: ปรับจาก Deltares, 2014, Delft3D FLOW User Manual, p.438

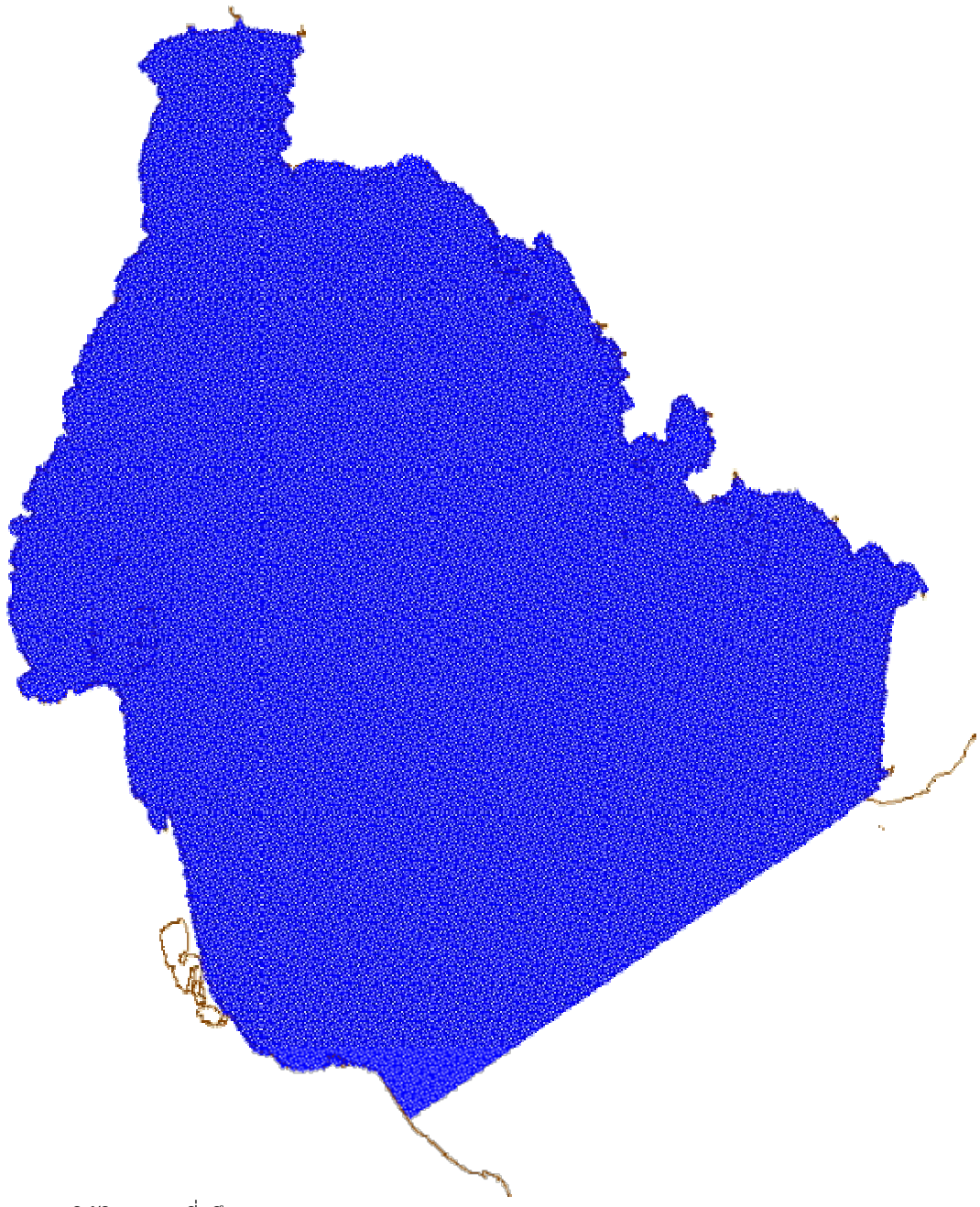
รูปที่ 5 - 6 รูปแบบไฟล์ *.wnd สำหรับใช้ในแบบจำลอง Delft3D

5.2.1.4 สร้าง grid หยาบ

Gridline ที่ใช้ในแบบจำลองระดับภูมิภาค (regional model) สร้างจากเครื่องมือที่มีใน Delft Dash Board Toolboxes – Model Maker โดยตั้งค่าพารามิเตอร์ของ grid ดังนี้

- ระบบพิกัด Spherical
- จุดกำเนิด 101.2764° E, 6.8333 N
- จำนวน grid ตามแกน M 266
- จำนวน grid ตามแกน N 332
- ระยะห่างระหว่าง grid ตามแกน M 0.025°
- ระยะห่างระหว่าง grid ตามแกน N 0.025°
- มุมเอียง 35 องศา

เส้น grid ที่สร้างจาก Delft Dash Boardเพื่อใช้กับแบบจำลองระดับภูมิภาคแสดงใน**รูปที่ 5–7**



ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 7 เส้น grid หยาบของแบบจำลองระดับภูมิภาค

5.2.1.5 ข้อมูล dry points

การเตรียมข้อมูล dry points ของแบบจำลองระดับภูมิภาคเป็นการกำหนดอาณาบริเวณส่วนที่เป็นเกาะขนาดใหญ่ในทะเลอ่าวไทย เช่น เกาะสมุย เกาะพะงัน หมู่เกาะอ่างทอง เกาะสีชัง เกาะช้าง เกาะกูด เกาะกง เกาะภูก๊อก เป็นต้น

รูปที่ 5–8 แสดง dry points ที่ใช้ในแบบจำลองระดับภูมิภาค

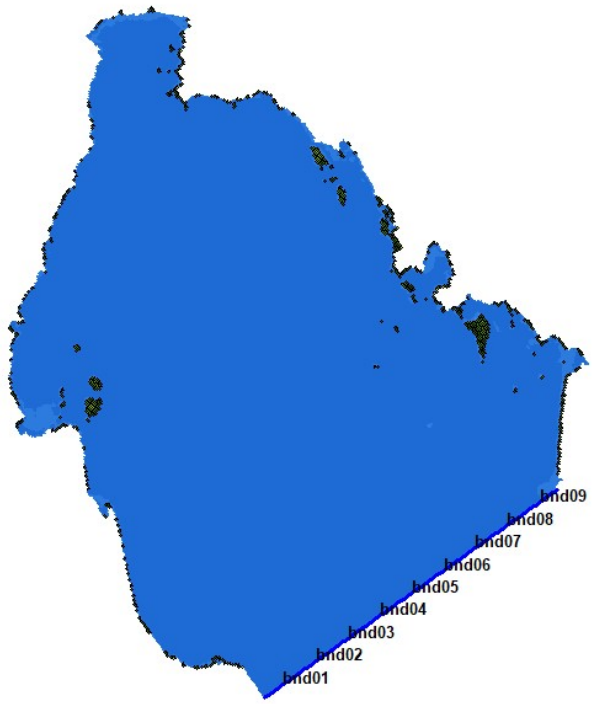
ที่มา: การปฏิบัติงานของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 8 Dry points ที่ตั้งในแบบจำลองระดับภูมิภาค

5.2.1.6 เงื่อนไขขอบเขต

แบบจำลองระดับภูมิภาคมีขอบเขตเปิดเป็นทะเลจีนใต้การเตรียมข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตใช้ค่าองค์ประกอบน้ำ (Tidal component) ที่สร้างขึ้นโดยโปรแกรม TPXO ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถทำนายค่าระดับน้ำในมหาสมุทรต่าง ๆ รอบโลก (global model of ocean tide) ประกอบด้วยค่าองค์ประกอบหลัก 8 ตัว (M2, S2, K2, K1, O1, P1 และ Q1) ค่าองค์ประกอบระยะยาว 2 ตัว (Mf, Mm) และค่าองค์ประกอบที่เปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเส้นตรง 3 ตัว (M4, MS4 และ MN4) รวม 13 ตัว ความละเอียดของตำแหน่งทุก 15 ลิปดา[4]

การนำผลวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบน้ำของโปรแกรม TPXO มาใช้เป็นขอบเขตเปิดของแบบจำลองทำโดยอาศัยเครื่องมือใน Delft Dash Boardเริ่มจากสร้างขอบเขตเปิดด้านทะเลจีนใต้ จากนั้นเลือก Making Boundary Conditions ให้สังเคราะห์ค่าองค์ประกอบน้ำทุก 20 grid[5] การกำหนดเงื่อนไขดังกล่าวได้ grid point ให้สังเคราะห์ 9 จุด ตำแหน่ง grid point ที่กำหนดให้สังเคราะห์ค่าองค์ประกอบน้ำแสดงใน**รูปที่ 5–9** ผลวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบน้ำที่ขอบเขตเปิดรายจุดแสดงใน**ตารางที่ 5–1**



ที่มา: ที่ปรึกษาโดยการใช้ tools ใน Delft Dashboard

รูปที่ 5 - 9 ตำแหน่ง grid point ที่สังเคราะห์ค่าองค์ประกอบน้ำ

[4] http://volkov.oce.orst.edu/tides/global.html

[5] หมายถึง สังเคราะห์ค่าองค์ประกอบน้ำจากโปรแกรมทุก 20 grid point บริเวณที่อยู่ตรงกลางคำนวณค่าระดับน้ำโดยวิธี linear interpolate จากค่าระดับน้ำที่ grid point

ตารางที่ 5 - 1 ผลวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบน้ำที่ขอบเขตเปิดจุดต่าง ๆ

Tidal component	Frequency (de./hr)	Bnd01		Bnd02		Bnd03		Bnd04		Bnd05		Bnd06		Bnd07		Bnd08		Bnd09	
		Amp. (m)	Phase (deg)	Amp. (m)	Phase (deg)	Amp. (m)	Phase (deg)	Amp. (m)	Phase (deg)	Amp. (m)	Phase (deg)	Amp. (m)	Phase (deg)	Amp. (m)	Phase (deg)	Amp. (m)	Phase (deg)	Amp. (m)	Phase (deg)
M2	28.9841	0.1317	29.3028	0.1277	24.2045	0.1205	16.4780	0.1021	5.4915	0.0832	350.5578	0.0697	326.6707	0.0777	287.4180	0.1324	258.8345	0.1795	246.4405
S2	30.0000	0.0584	66.2036	0.0588	60.8726	0.0585	53.7599	0.0538	43.5400	0.0482	31.5697	0.0436	15.7124	0.0431	349.9260	0.0547	320.9157	0.0643	301.9168
N2	28.4397	0.0394	6.0041	0.0375	3.5994	0.0334	359.5875	0.0264	353.4179	0.0191	343.8949	0.0123	322.6490	0.0107	258.8944	0.0250	219.2571	0.0388	207.8131
K2	30.0821	0.0182	66.7239	0.0176	61.3069	0.0166	52.7781	0.0145	39.5337	0.0128	22.6004	0.0123	1.1980	0.0145	334.4280	0.0213	313.8365	0.0263	304.4436
K1	15.0411	0.2306	237.1034	0.2460	238.6440	0.2636	240.3190	0.2704	241.9387	0.2761	244.6280	0.2865	247.7996	0.3040	251.8295	0.3287	258.3842	0.3547	263.5993
O1	13.9430	0.0951	179.3846	0.1043	186.9235	0.1174	193.0044	0.1267	198.8885	0.1353	205.4170	0.1474	211.7866	0.1679	218.0954	0.1992	225.4517	0.2288	230.8943
P1	14.9589	0.0563	257.4297	0.0612	254.7368	0.0675	253.4195	0.0711	252.1531	0.0746	252.4677	0.0791	253.1908	0.0856	253.7172	0.0939	255.7791	0.1005	257.7418
Q1	13.3987	0.0178	208.0399	0.0194	205.6594	0.0218	205.4641	0.0237	206.0097	0.0257	208.0692	0.0279	210.3210	0.0308	212.0708	0.0344	214.0512	0.0374	217.9137
MF	1.0980	0.0061	100.4255	0.0060	100.0212	0.0060	99.1775	0.0060	100.0757	0.0060	100.1935	0.0060	99.3377	0.0059	97.8942	0.0058	95.9291	0.0058	92.8706
MM	0.5444	0.0054	36.3194	0.0055	35.9909	0.0054	35.7912	0.0055	35.8826	0.0054	35.8226	0.0054	35.5609	0.0054	35.3254	0.0054	35.1290	0.0054	34.9322
M4	57.9682	0.0039	42.3749	0.0036	34.2453	0.0028	22.3805	0.0015	351.4131	0.0012	274.4494	0.0024	228.5272	0.0043	211.4929	0.0069	208.6800	0.0083	205.1883
MS4	58.9841	0.0032	91.3622	0.0030	83.2074	0.0023	72.0328	0.0014	47.0829	0.0008	349.7855	0.0013	289.7626	0.0024	262.2280	0.0040	255.0723	0.0048	249.3830
MN4	57.4238	0.0019	18.3683	0.0018	10.7233	0.0014	1.5475	0.0009	344.9361	0.0005	309.1667	0.0004	231.3105	0.0009	190.6837	0.0018	186.5665	0.0022	185.9917

หมายเหตุ: ค่าองค์ประกอบน้ำ M2 – Q1 เป็นค่าองค์ประกอบหลัก ค่า MF-MM เป็นค่าองค์ประกอบระยะยาว ส่วนค่า M4 – MN4 เป็นค่าองค์ประกอบแบบ non linear

ที่มา: การวิเคราะห์ของที่ปรึกษาโดยใช้โปรแกรม Delft Dash Board

5.2.1.7 การวิเคราะห์ปรับเทียบ และทานสอบแบบจำลอง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง Delft3D module FLOW ที่ใช้ปรับเทียบและทานสอบแบบจำลองเป็นค่าระดับน้ำที่ตำแหน่งสมนัยกับสถานีวัดน้ำที่อยู่ในทะเลอ่าวไทยเลือกพิจารณา 8 สถานีครอบคลุมทั้งสถานีที่อยู่ด้านฝั่งตะวันออก-ตะวันตกของทะเลอ่าวไทย และที่อยู่ใกล้โครงการ (ดู **ตารางที่ 5–2**) ว่าให้ผลสอบคล้องกันหรือไม่ ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่คำนวณจากค่าเฉลี่ยรากกำลังที่สองของความผิดพลาด (root mean square of error) มีค่าเท่าใด ปรับค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่พื้นทะเล (Chezy) จนค่าเฉลี่ยรากกำลังที่สองของค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าต่ำที่สุด

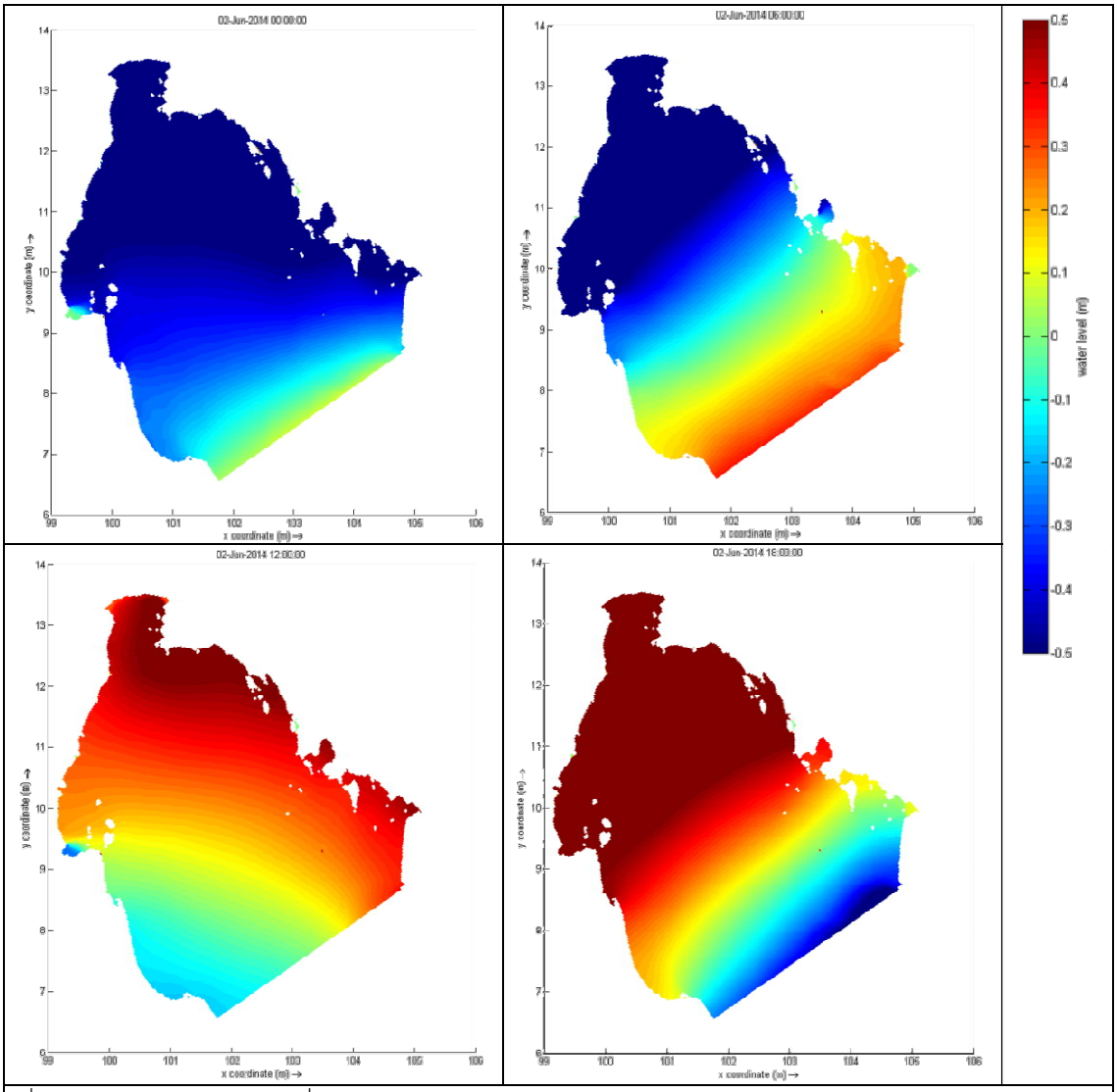
จากตัวอย่างผลวิเคราะห์ค่าระดับน้ำในทะเลอ่าวไทยวันที่ 2 มิถุนายน 2557 ระหว่างเวลา 0:00 – 18:00 นาฬิกา แสดงใน**รูปที่ 5–10** และจากผลวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนที่ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่พื้นทะเลต่าง ๆแสดงใน**รูปที่ 5–11** พบว่าค่า Chezy เท่ากับ 65 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนของผลวิเคราะห์ในการปรับเทียบแบบจำลองระหว่างวันที่ 1 – 15 มิถุนายน 2557 ต่ำที่สุด กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างค่าระดับน้ำที่วิเคราะห์กันตรวจวัดจริงแสดงใน**รูปที่ 5-12**

การทานสอบแบบจำลองซึ่งดำเนินการแบบเดียวกับการปรับเทียบแต่เลือกช่วงเวลาสำหรับเปรียบเทียบต่างกัน ตามผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่พื้นทะเลกับค่าความคลาดเคลื่อนแสดงใน**รูปที่ 5–13** พบว่าให้ผลสอดคล้องกัน

ตารางที่ 5 - 2 สถานีวัดน้ำในทะเลอ่าวไทยของกรมเจ้าท่า

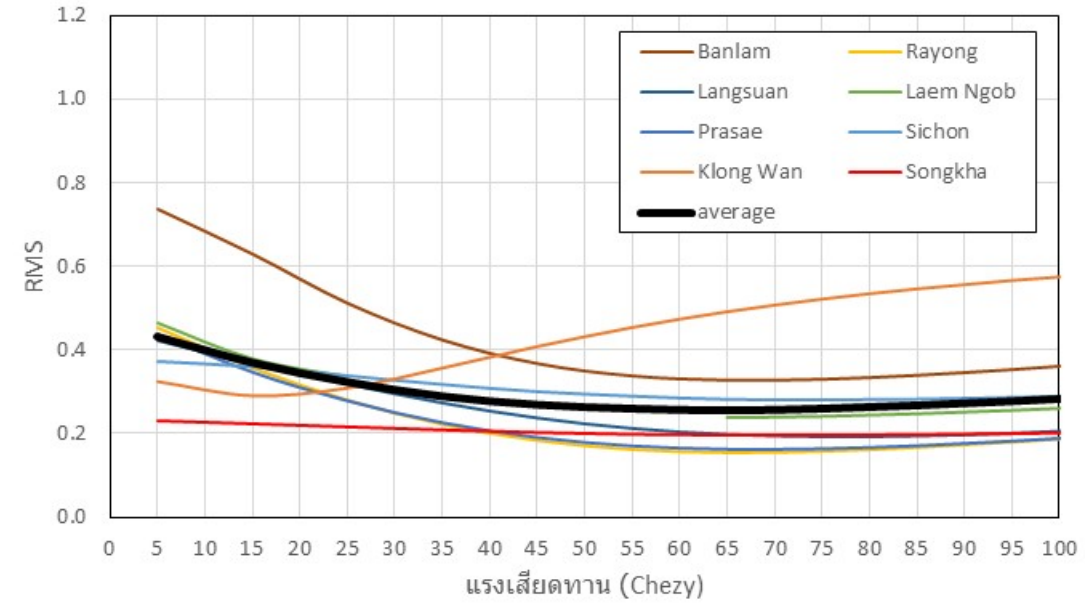
ชื่อสถานี	พิกัด		หน่วยงานเจ้าของสถานี
	เหนือ	ตะวันออก	
คลองวาฬ	11° 43' 55"	99° 47' 08"	กรมเจ้าท่า
ระยอง	12° 39' 30"	101° 16' 28"	กรมเจ้าท่า
ประแสร์	12° 41' 41"	101° 42' 21"	กรมเจ้าท่า
แหลมงอบ	12° 10' 07"	102° 23' 45"	กรมเจ้าท่า
หลังสวน	9° 56' 38"	99° 09' 38"	กรมเจ้าท่า
สิชล	9° 00' 45"	99° 55' 07"	กรมเจ้าท่า
สงขลา	7° 12' 58"	100° 34' 50"	กรมอุทกศาสตร์

ที่มา: ประมวลจากข้อมูลของกรมเจ้าท่าและกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ



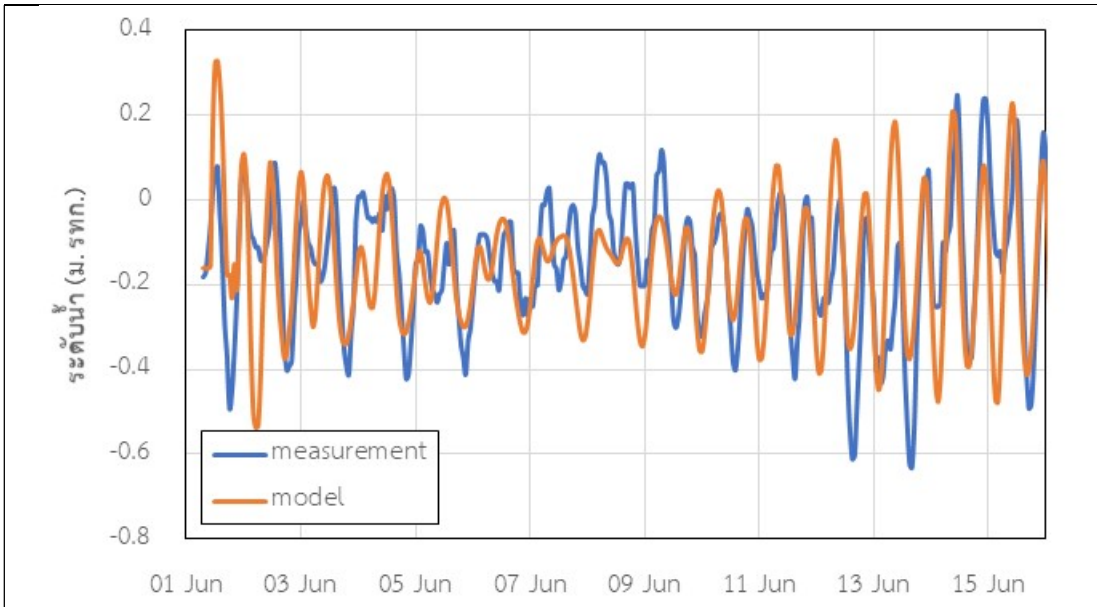
ที่มา: การวิเคราะห์ของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 10 ตัวอย่างผลวิเคราะห์ค่าระดับน้ำ



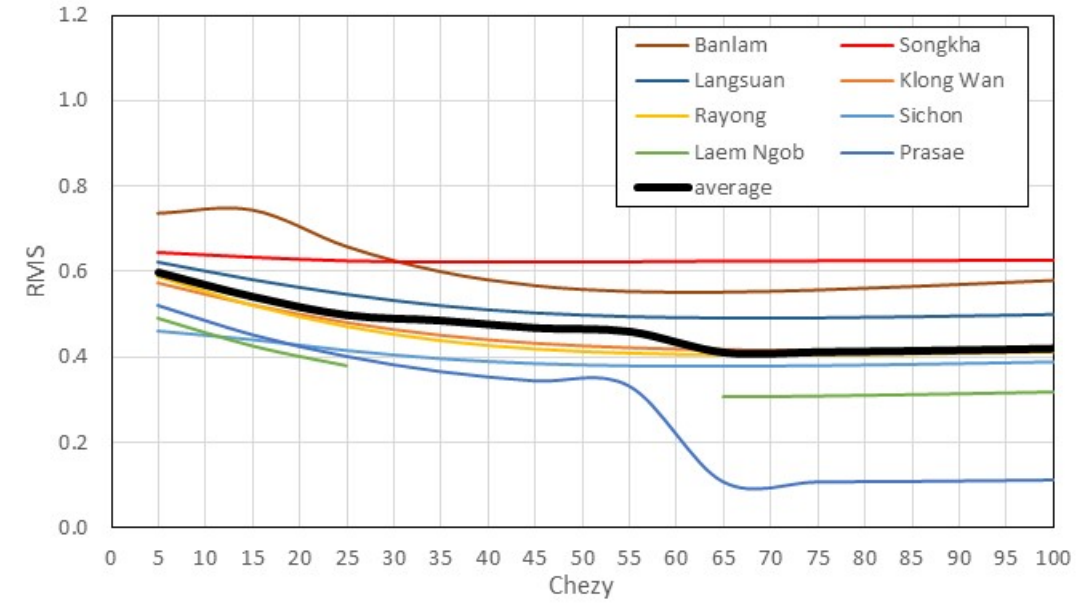
ที่มา: การวิเคราะห์ของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 11 การปรับเทียบแบบจำลองระดับภูมิภาคระหว่างวันที่ 1 – 15 มิ.ย. 2557



ที่มา: การวิเคราะห์ของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 12 การเปรียบเทียบระดับน้ำตรวจวัดจริงกับแบบจำลอง



ที่มา: การวิเคราะห์ของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 13 การทานสอบแบบจำลองระดับภูมิภาคระหว่างวันที่ 1 – 15 ธ.ค. 2557

5.2.2 แบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ

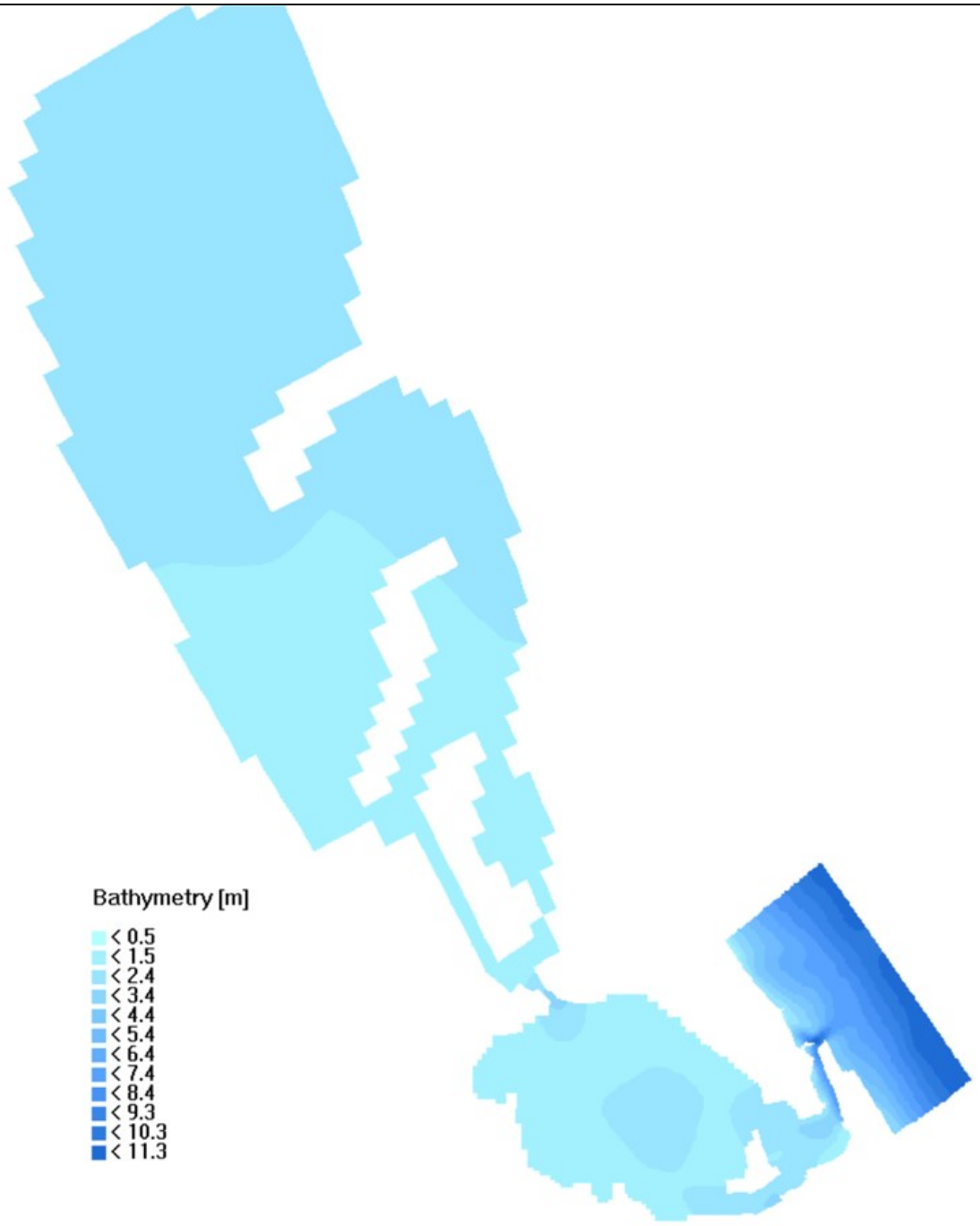
การพัฒนาแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการมีขั้นตอนดำเนินงานคล้ายการพัฒนาแบบจำลองระดับภูมิภาค โดยเพิ่มข้อมูลทางน้ำที่ไหลลงทะเลสาบ รวม 8 ขั้นตอน ประกอบด้วย (1) เตรียมข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำ (2) เตรียมข้อมูลเส้นชายฝั่ง (3) สร้างกริดละเอียด (4) เตรียมเงื่อนไขขอบเขต (5) เตรียมข้อมูล dry point และ thin dam (6) เตรียมข้อมูลสภาพอากาศ (7) เตรียมข้อมูลน้ำท่าไหลลงทะเลสาบ เมื่อเตรียมข้อมูลครบถ้วนแล้วก็ดำเนินงานลำดับที่ (8) วิเคราะห์และปรับเทียบแบบจำลอง

5.2.2.1 ข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำ

ข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำบริเวณที่ตั้งโครงการที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ ตามแสดงใน**รูปที่ 5–14** มาจากหลายแหล่งผสมกัน ดังนี้

- พื้นที่ในทะเลจากแนวชายฝั่งถึงขอบเขตเปิด รวมถึงบริเวณแอ่งจอดเรือ และร่องใน ใช้ผลสำรวจที่ดำเนินการในโครงการ
- พื้นที่ในทะเลสาบสงขลาใช้ผลสำรวจที่ดำเนินการในโครงการขุดลอกร่องน้ำ ร่องกลางทะเลสาบสงขลาตอนล่าง ของกรมเจ้าท่า ดำเนินการปี 2557
- พื้นที่ในทะเลสาบสงขลาตอนบนใช้วิธี digitized จากรูปแผนที่

นอกจากข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำแต่ละบริเวณข้างต้น ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับพื้นท้องน้ำที่เกิดจากการกัดเซาะและตกตะกอน ได้นำผลสำรวจร่องน้ำที่ดำเนินการขณะไม่มีกิจกรรมขุดลอกมาแทรก/ปรับปรุงเฉพาะพื้นที่



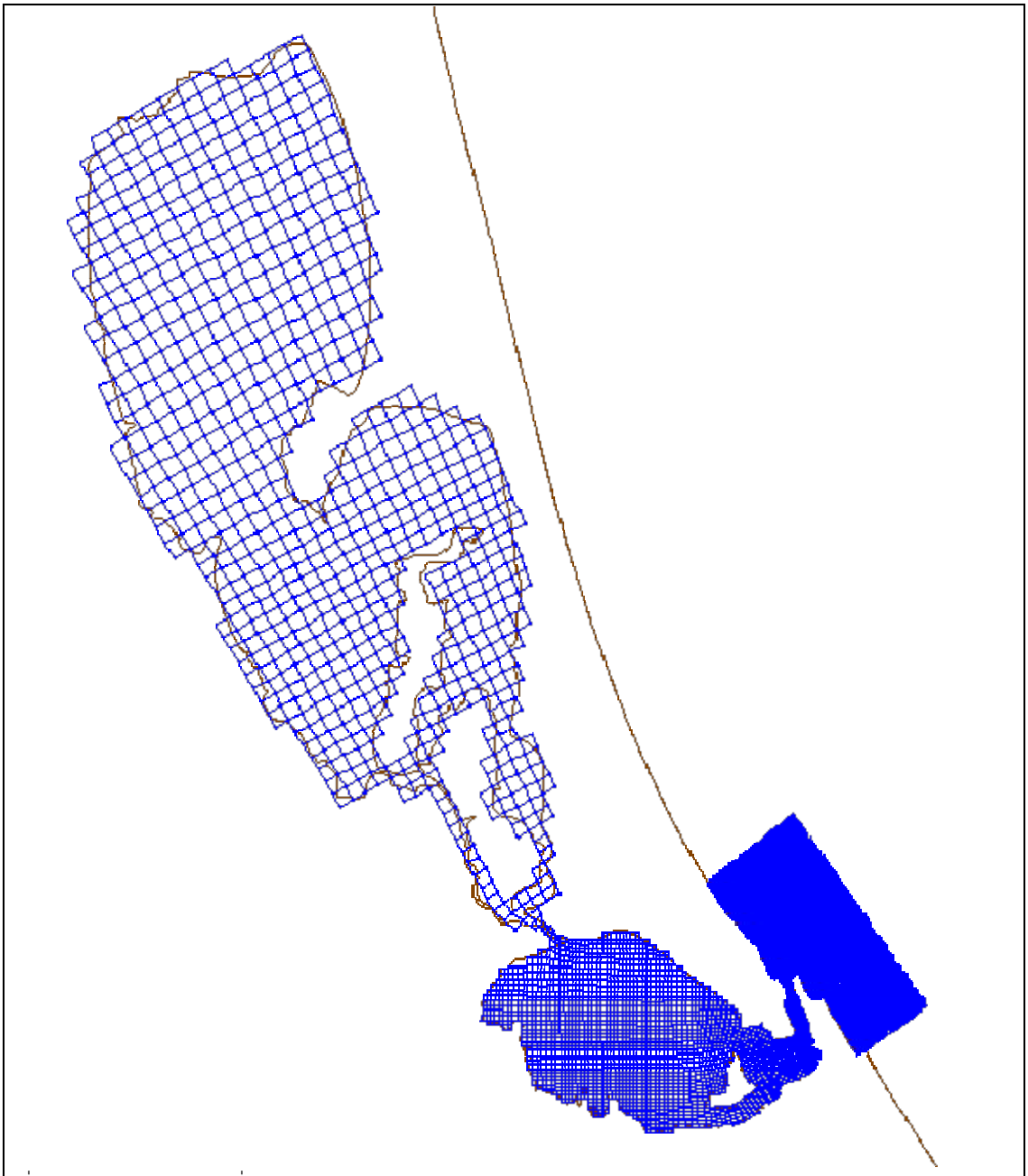
ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 14 ระดับพื้นท้องน้ำที่ใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ

5.2.2.2 ข้อมูลเส้นชายฝั่ง

ข้อมูลเส้นชายฝั่งที่ใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการส่วนที่อยู่ในทะเลสาบสงขลาตอนล่างใช้ผลสำรวจที่ดำเนินการในโครงการขุดลอกร่องน้ำ ร่องกลางทะเลสาบสงขลาตอนล่าง ของกรมเจ้าท่า ดำเนินการในปี 2557 ข้อมูลแนวชายฝั่งในทะเลสาบสงขลาตอนบนกับส่วนที่อยู่ในทะเลใช้ข้อมูล World Vector Shoreline ของ NGA (National Geospatial-Intelligence Agency)

เส้นชายฝั่งที่ใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการแสดงใน**รูปที่ 5–15**



ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 15 เส้นgrid และเส้นแนวชายฝั่งใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ

5.2.2.3 สร้าง grid ละเอียด

เส้น grid ที่ใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการแยกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- พื้นที่ในทะเลสาบสงขลาตอนล่าง ร่องใน และร่องนอก
- พื้นที่ในทะเลสาบสงขลาตอนบน
- พื้นที่ในทะเล

เส้น grid ที่ใช้ในทะเลสาบสงขลาตอนล่างเป็น curvilinear grid ที่สร้างด้วย module ย่อยในโปรแกรม Delft3D ชื่อ RGFGRID ลักษณะเป็นเส้นโค้งโดยจัดให้จุดตัดกันเป็นมุมฉาก ระยะห่างระหว่างเส้น grid ช่วงในร่องน้ำประมาณ 20x20 เมตรระยะห่างระหว่างเส้น grid ช่วงในทะเลสาบสงขลาประมาณ 250x250 เมตร

เส้น grid ที่ใช้ในทะเลสาบสงขลาส่วนที่เหลือจากตอนล่างทั้งหมด เป็น rectangular grid สร้างจากโปรแกรม Delft Dash Boardระยะห่างระหว่าง grid 1,000x1,000 เมตร

เส้น grid บริเวณทะเลใกล้ฝั่งเป็น curvilinear grid ที่สร้างด้วย module ย่อยในโปรแกรม Delft3D ชื่อ RGFGRID ยื่นออกไปในทะเลต่อกับขอบเขตของแบบจำลองระดับภูมิภาค ระยะห่างระหว่างเส้น grid ช่วงร่องนอก 20x20 เมตร ส่วนช่วงต่อกับขอบเขตเปิดเพิ่มระยะห่างระหว่างเส้น grid เป็น 100x200 เมตร

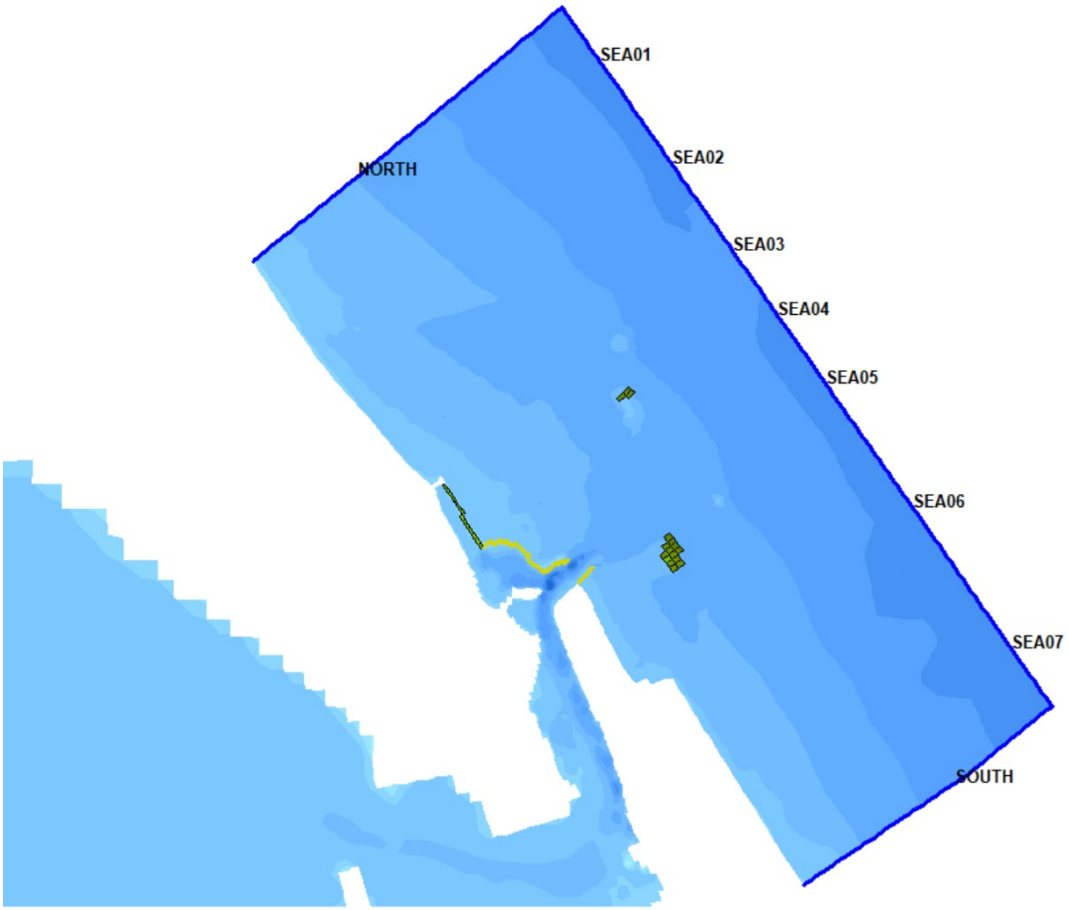
รูปเส้น grid ที่ใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการแสดงใน**รูปที่ 5–15**

5.2.2.4 เงื่อนไขขอบเขต

ข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ (project model) ด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือใช้ผลวิเคราะห์ระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองระดับภูมิภาค (regional model) ในช่วงเวลาที่ต้องการวิเคราะห์ แบ่งตามระยะห่างระหว่าง grid ของแบบจำลองระดับภูมิภาคเป็น 7 ช่วง ได้แก่ SEA01 – SEA07 (ดู**รูปที่ 5–16**) ส่วนขอบเขตแบบจำลองด้านทิศเหนือกับทิศใต้ตั้งเงื่อนไขเป็น Neumann condition หรือเงื่อนไขไม่มีกระแสน้ำไหลผ่านขอบเขตแบบจำลอง ทั้งนี้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดชั้นของ advection terms แนวตั้งฉากกับเส้นขอบเขตซึ่งเป็นคำแนะนำของ Deltares[6]

ตัวอย่างข้อมูลระดับน้ำที่ขอบเขตแบบจำลองส่วนที่ 1 ระหว่างวันที่ 23– 27 พฤษภาคม 2560 (ช่วงเวลาตรวจวัดระดับน้ำในสนาม) แสดงใน**รูปที่ 5-17**

[6] Deltares, 2014, Delft3D-FLOW User Manual version 3.15, p. 627



หมายเหตุ:

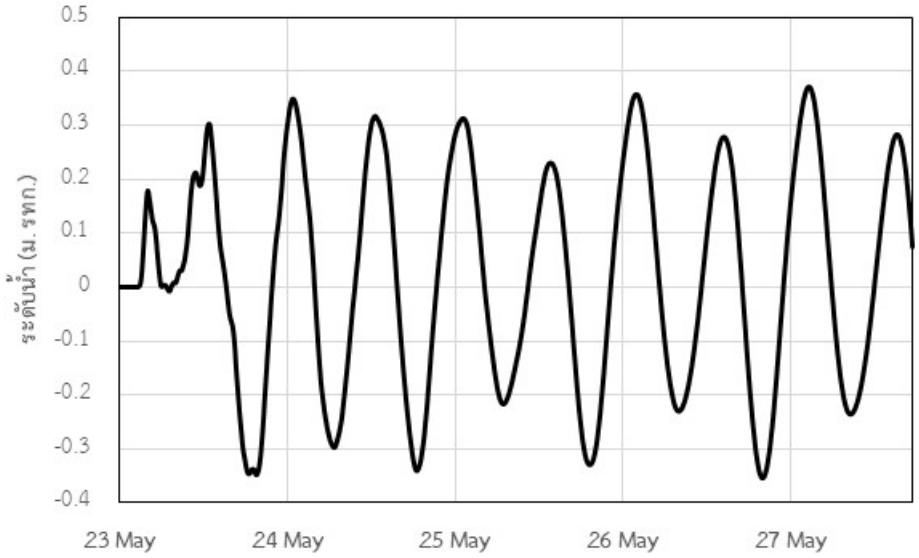
1. ขอบเขตเปิดของแบบจำลองด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นด้านที่ใช้ข้อมูลระดับน้ำจากผลวิเคราะห์ในแบบจำลองระดับภูมิภาคแสดงด้วยตัวอักษร SEA01 – SEA07

2. พื้นที่แห้ง (dry point) แสดงด้วยพื้นที่สีเขียว

3. แนวเส้นเขื่อน (thin dam) แสดงด้วยเส้นสีเหลือง

ที่มา: การปฏิบัติงานของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 5 -16 ขอบเขตเปิดdry points และ thin dam ที่ใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ



ที่มา: การปฏิบัติงานของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 5 -17 ค่าระดับน้ำที่ขอบเขตเขตแบบจำลอง SEA 01

5.2.2.5 ข้อมูล dry points และ thin dam

การเตรียมข้อมูล dry points หรือเป็นบริเวณที่น้ำทะเลไม่ท่วมถึงตลอดระยะเวลาคำนวณ ซึ่งในบริเวณที่ตั้งโครงการเป็นเกาะหนู กับเกาะแมวอาศัยเส้นชายฝั่งที่สังเคราะห์จาก World Vector Shoreline ดำเนินการในช่วงเตรียมข้อมูลเส้นชายฝั่ง

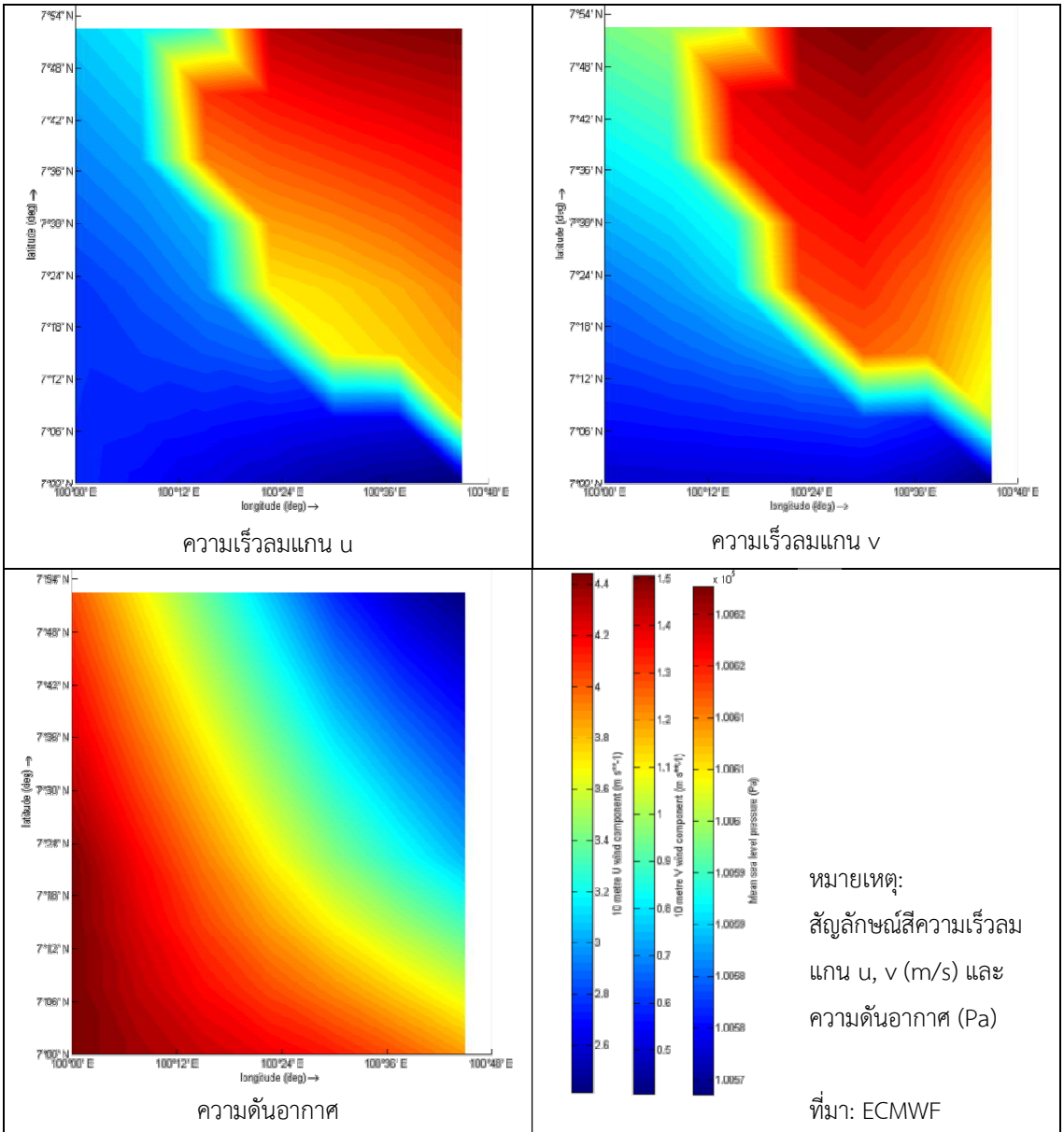
การเตรียมข้อมูล thin dam สำหรับใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการอาศัยผลสำรวจภูมิประเทศที่ดำเนินการในโครงการ

รูปที่ 5–16 แสดง dry points กับ thin dam ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ (local model)

5.2.2.6 ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ

ข้อมูลสภาพอากาศที่ใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการมีที่มาเหมือนที่ใช้ในแบบจำลองระดับภูมิภาค คือ ข้อมูลที่แสดงใน webpage ของ ECMWF โดยเลือกข้อมูลเฉพาะในขอบเขตแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ ซึ่งเนื่องจากข้อมูลที่ต้องจัดเรียงมีจำนวนมาก การจัดเรียงข้อมูลอาศัย nctoolbox ใน MATLAB เป็นโปรแกรมช่วยทำงาน

ตัวอย่างข้อมูลสภาพอากาศบริเวณที่ตั้งโครงการวันที่ 23 พฤษภาคม 2560 เวลา 09:00 นาฬิกา (ช่วงเวลาทำงานภาคสนาม) แสดงใน**รูปที่ 5–18**



รูปที่ 5 - 18 ตัวอย่างข้อมูลสภาพอากาศวันที่ 23 พ.ค.60 เวลา 09:00 น.

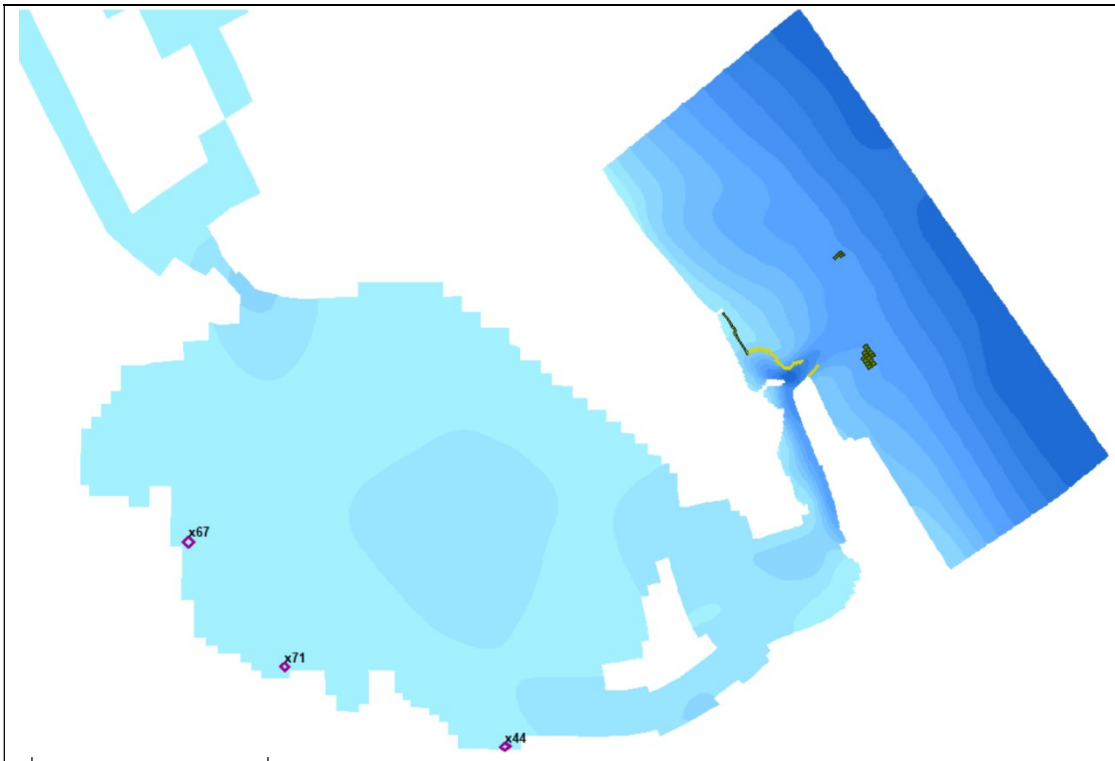
5.2.2.7 น้ำไหลลงทะเลสาบสงขลา

การพัฒนาแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการจัดให้มีทางน้ำไหลลงทะเลสาบสงขลา 3 ลำน้ำ ได้แก่ คลองรัตภูมิ (สถานี X67) คลองบ้านควนลัง (สถานี X71) และคลองตะเภา (สถานี X44) ข้อมูลตำแหน่งและขนาดพื้นที่รับน้ำฝนรายสถานีแสดงใน**ตารางที่ 5–3** ตำแหน่งปล่อยน้ำในแบบจำลองแสดงใน**รูปที่ 5–19** ข้อมูลที่นำเข้าแบบจำลองเป็นอัตราการไหลกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยรวบรวมโดยกรมชลประทาน การนำข้อมูลมาใช้ในแบบจำลองเลือกใช้ค่าเฉลี่ยรายเดือนแสดงใน**รูปที่ 5–20** กับ**รูปที่ 5–21** สำหรับอัตราการไหลกับความเข้มข้นของตะกอน ตามลำดับ

ตารางที่ 5 - 3 สถานีวัดน้ำท่าที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง

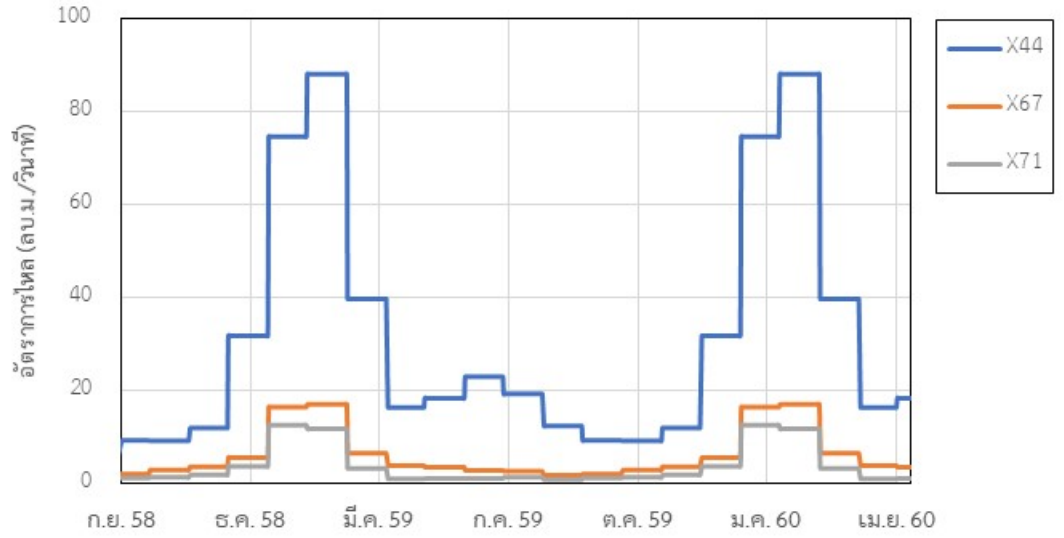
รหัส	ชื่อสถานี	พื้นที่ปกครอง	พิกัดสถานี		พื้นที่รับน้ำฝน (ตร. กม.)
			N	E	
X67	บ้านกำแพงเพชร	อ.รัตภูมิ จ.สงขลา	642320	789700	167
X71	บ้านควนลัง	อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	658271	773776	93
X44	บ้านหาดใหญ่ใน	อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา	661143	773999	845

ที่มา: http://slbkb.psu.ac.th/xmlui/bitstream/handle/2558/2988/สถานีวัดน้ำท่า.pdf [access online: 19 พ.ย. 60]



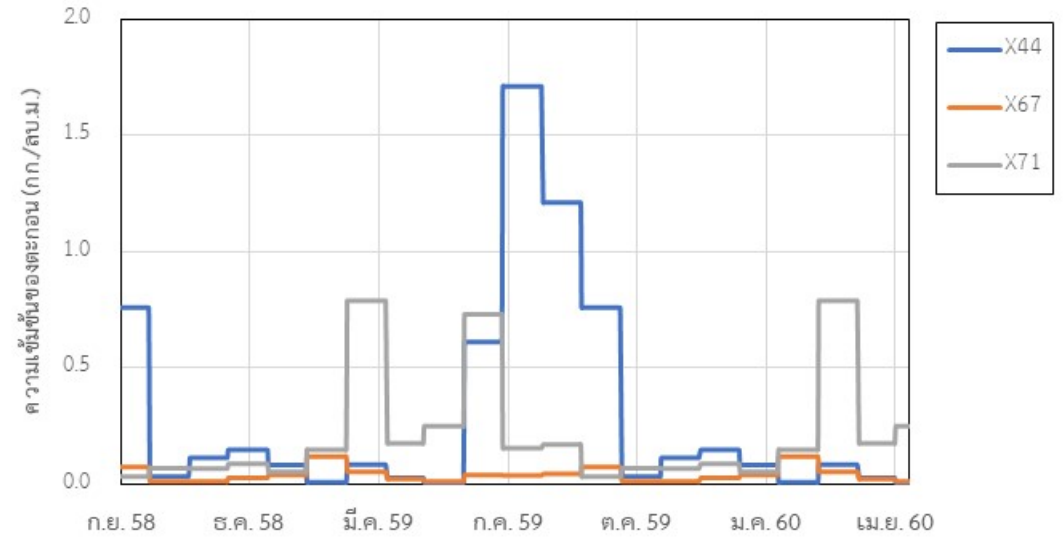
ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 19 ตำแหน่งปล่อยน้ำท่า X67, X71 และ X44



ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 20 อัตราการไหลของน้ำท่าที่สถานี X44, X67 และ X71

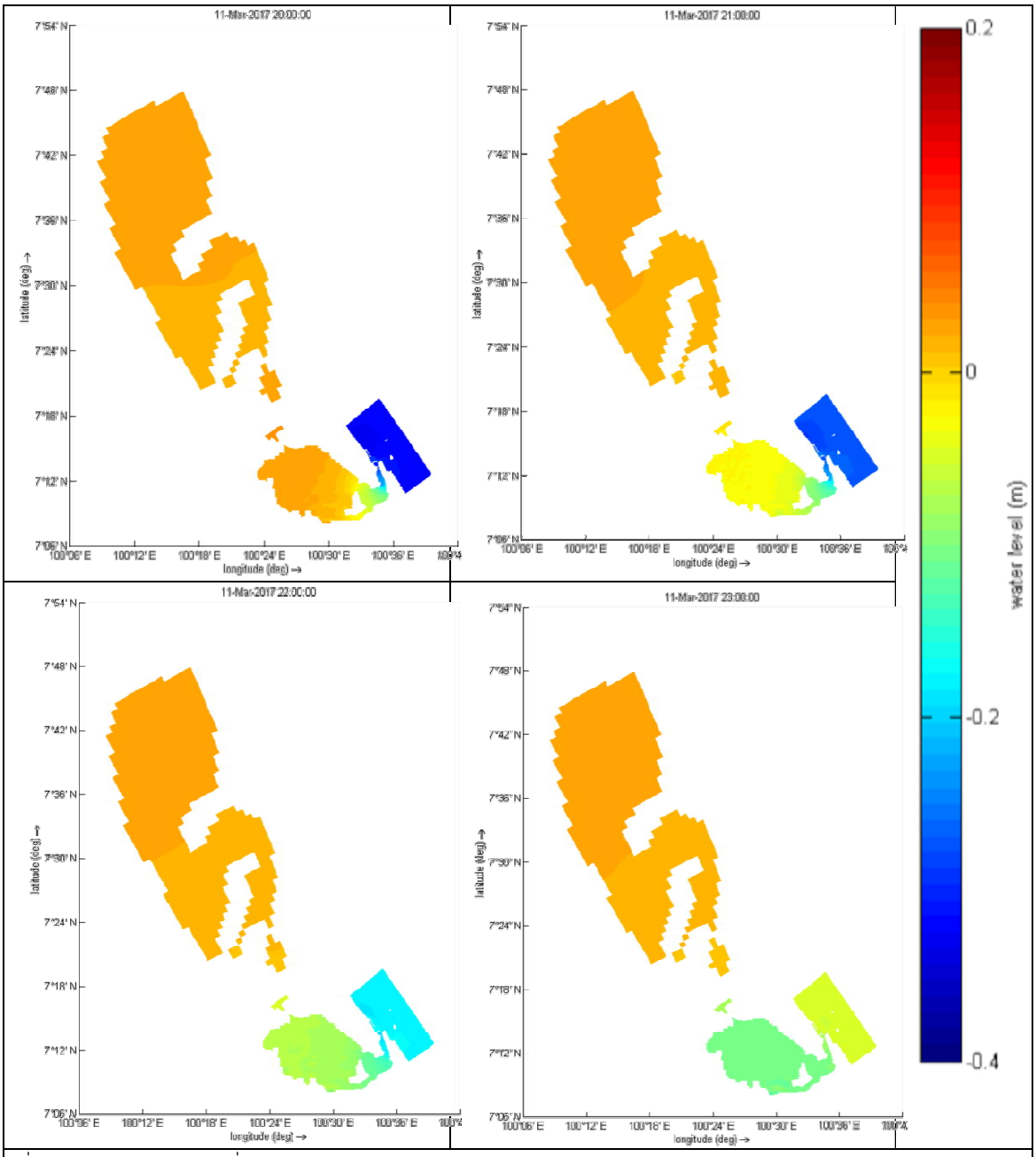


ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 21 ความเข้มข้นของตะกอนในน้ำท่าที่สถานี X44, X67 และ X71

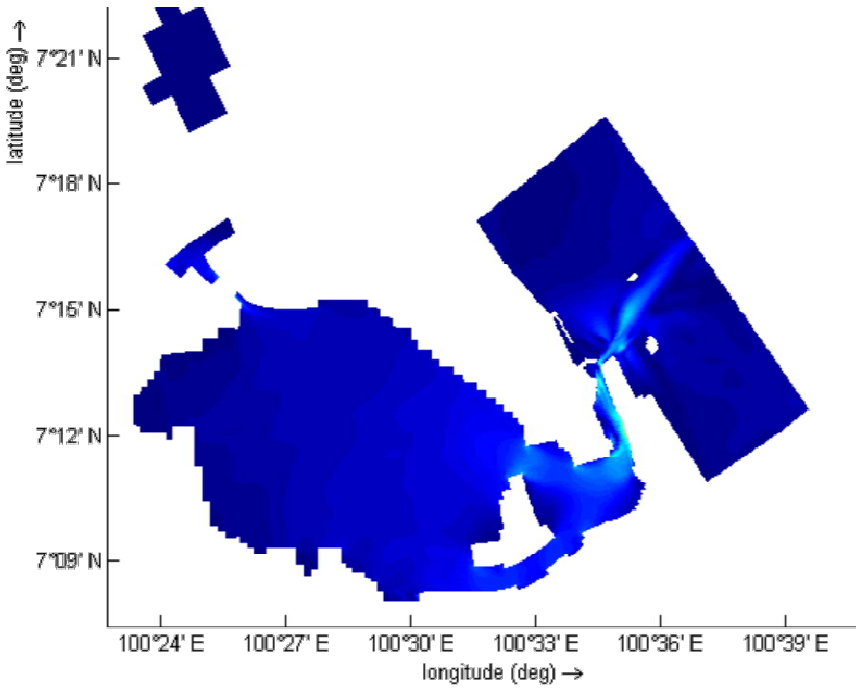
5.2.2.8 การวิเคราะห์และปรับเทียบแบบจำลอง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์คุณลักษณะทางชลศาสตร์ด้วยแบบจำลอง Delft3D FLOW เป็นระดับน้ำ ความเร็วกระแสน้ำ ฯลฯ ตัวอย่างผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าระดับน้ำเวลากับความเร็วกระแสน้ำ แสดงใน**รูปที่ 5–22** กับ**รูปที่ 5–23** ตามลำดับ

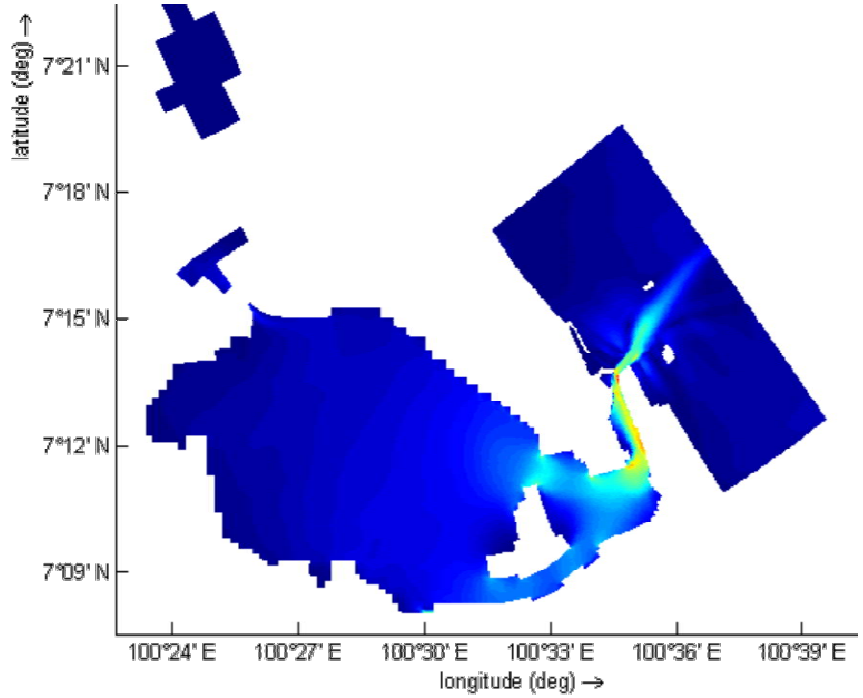


ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

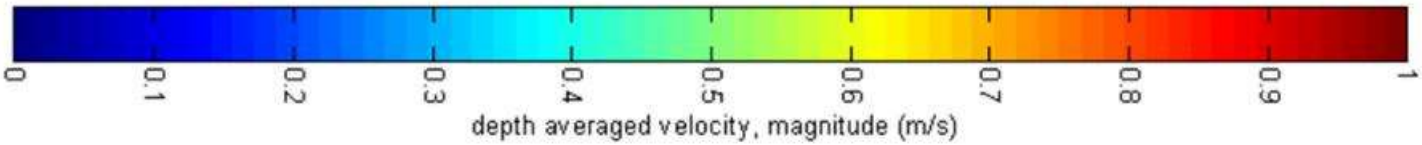
รูปที่ 5 - 22 ผลวิเคราะห์ระดับน้ำบริเวณที่ตั้งโครงการ

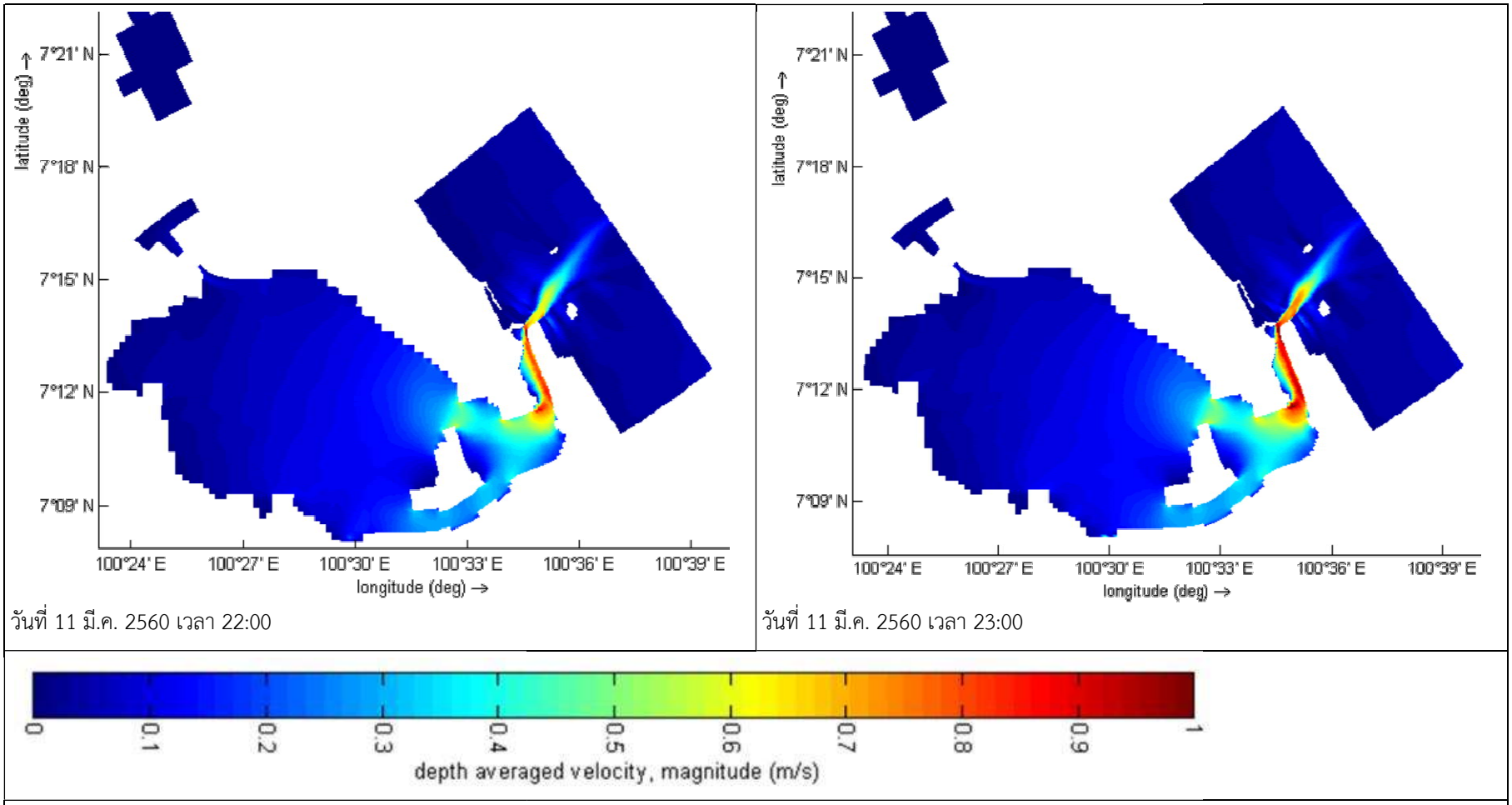


วันที่ 11 มี.ค. 2560 เวลา 20:00



วันที่ 11 มี.ค. 2560 เวลา 21:00



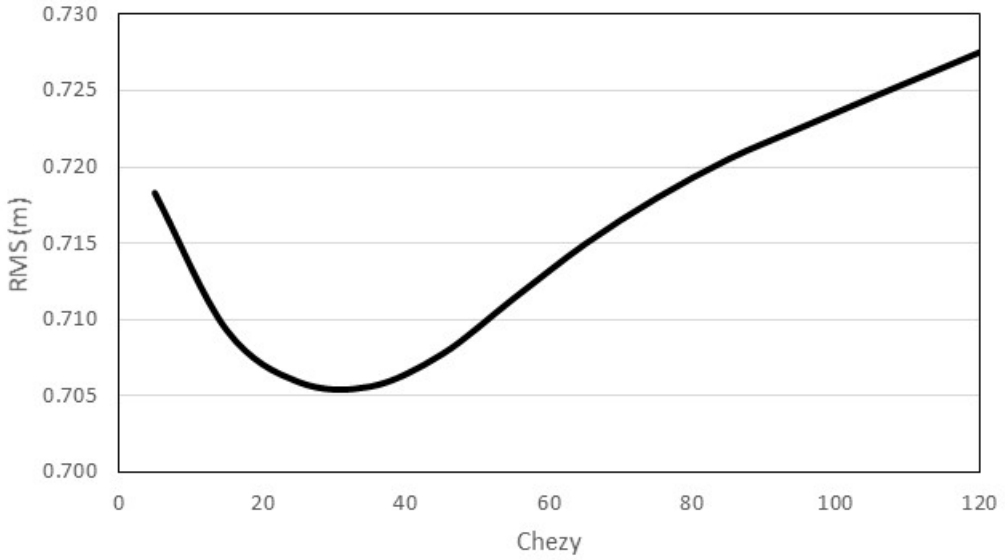


ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 23 ผลวิเคราะห์ขนาดความเร็วกระแสน้ำบริเวณที่ตั้งโครงการ

การปรับเทียบแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการทำแบบเดียวกับการปรับเทียบแบบจำลองระดับภูมิภาค คือ นำผลวิเคราะห์ค่าระดับน้ำมาเปรียบเทียบกับค่าตรวจวัดจริงในสนาม คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยใช้ค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (root mean square of error) ปรับค่าสัมประสิทธิ์ที่พื้นทะเลให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดโดยตามแสดงใน**รูปที่ 5 – 24** ค่าสัมประสิทธิ์ที่พื้นทะเล (Chezy) 35 ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด

แบบจำลองชลศาสตร์บริเวณที่ตั้งโครงการซึ่งปรับเทียบค่านี้จะนำไปคำนวณหาลักษณะการเปลี่ยนแปลงพื้นท้องน้ำ (การกัดเซาะและตกตะกอน) ร่วมกับแบบจำลองวิเคราะห์คุณลักษณะคลื่น



ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 24 การปรับแก้แบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ

5.3 แบบจำลองคุณลักษณะคลื่น

module ที่ใช้พัฒนาแบบจำลองคุณลักษณะคลื่นในโปรแกรม Delft3D คือ WAVE การพัฒนาแบบจำลองฯ มีรายละเอียดการดำเนินงานคล้ายการพัฒนาแบบจำลองคุณลักษณะทางชลศาสตร์ รวมถึงสามารถนำไฟล์ที่ใช้ในแบบจำลองคุณลักษณะทางชลศาสตร์บางไฟล์ ได้แก่ ไฟล์กริด (*.grd) ไฟล์พิกัดขอบเขตแบบจำลอง (*.enc) และไฟล์ข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำ (*.dep) มาใช้ในแบบจำลองคลื่น

ข้อมูลอื่นที่นำเข้าแบบจำลองคลื่นประกอบด้วย

(1) รายละเอียดสิ่งกีดขวางในพื้นที่ เช่น เขื่อนกันคลื่นนอกฝั่งรอดักทราย jetty เป็นต้น สิ่งกีดขวางในแบบจำลองคลื่นมีลักษณะคล้าย Thin dam ในแบบจำลองคุณลักษณะทางชลศาสตร์ แต่สร้างโดยใช้ polyline ทำให้ยืดหยุ่นมากกว่า thin dam ที่อาศัยเส้นกริดของแบบจำลองโดยนอกจากข้อมูล

ตำแหน่งสิ่งกีดขวางแล้ว การให้รายละเอียดรวมถึงการกำหนดความสูงสิ่งกีดขวาง (ต่ำกว่าหรือสูงกว่าระดับอ้างอิง) ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนกลับ (reflection coefficient) ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านคลื่น (transmission coefficient) และการกำหนดประเภทเขื่อนว่าค่าการสะท้อนกลับ/การส่งผ่านคลื่นเป็นค่าคงที่หรือขึ้นกับความสูงคลื่น เป็นต้น

(2) ข้อมูลคลื่นที่ขอบเขตแบบจำลอง ข้อมูลคุณลักษณะคลื่นที่ป้อนเข้าแบบจำลองประกอบด้วยความสูงคลื่น คาบเวลาคลื่น ทิศคลื่น และความกว้างของทิศคลื่น (directional spreading) การป้อนข้อมูลคุณลักษณะคลื่นในโปรแกรมทำได้จำกัด กรณีต้องการให้คุณลักษณะคลื่นที่เคลื่อนที่เข้าแบบจำลองเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาและพื้นที่ ผู้ใช้แบบจำลองสามารถเตรียมข้อมูลดังกล่าวใน text ไฟล์ให้แบบจำลองอ่านเช่น ไฟล์ *.bcw ทำให้สามารถกำหนดคุณลักษณะคลื่นให้เปลี่ยนแปลงทั้งตามพื้นที่และเวลา หรือกำหนดให้ใช้ค่าที่คำนวณจากแบบจำลองระดับภูมิภาคก็ได้

(3) ค่าพารามิเตอร์คลื่นที่ใช้คำนวณ เช่น สเปคตรัมคลื่น เกณฑ์คำนวณคลื่นแตกตัว ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่พื้นทะเล ค่าสัมประสิทธิ์การเลี้ยวเบน การผสมกันของคลื่น วิธีคำนวณการสลายพลังงาน การก่อตัวของคลื่น (wave growth) เป็นต้น ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการปรับแก้แบบจำลองให้ความสูงคลื่นที่จุดสังเกตซึ่งได้จากผลวิเคราะห์มีค่าสอดคล้องกับผลตรวจวัดจริงในสนาม

(4) ข้อมูลลม ผู้ใช้สามารถกำหนดให้ข้อมูลความเร็วและทิศลมคงที่ตลอดแบบจำลอง หรือเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลา กรณีกำหนดให้เปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และเวลา ผู้ใช้ต้องเตรียมข้อมูลใน text ไฟล์แต่ในกรณีที่กำหนดให้ module WAVE ทำงานควบคู่กับ module FLOW การคำนวณจะอาศัยผลวิเคราะห์จาก FLOW ซึ่งรวมผลกระทบจากแรงลม[7]

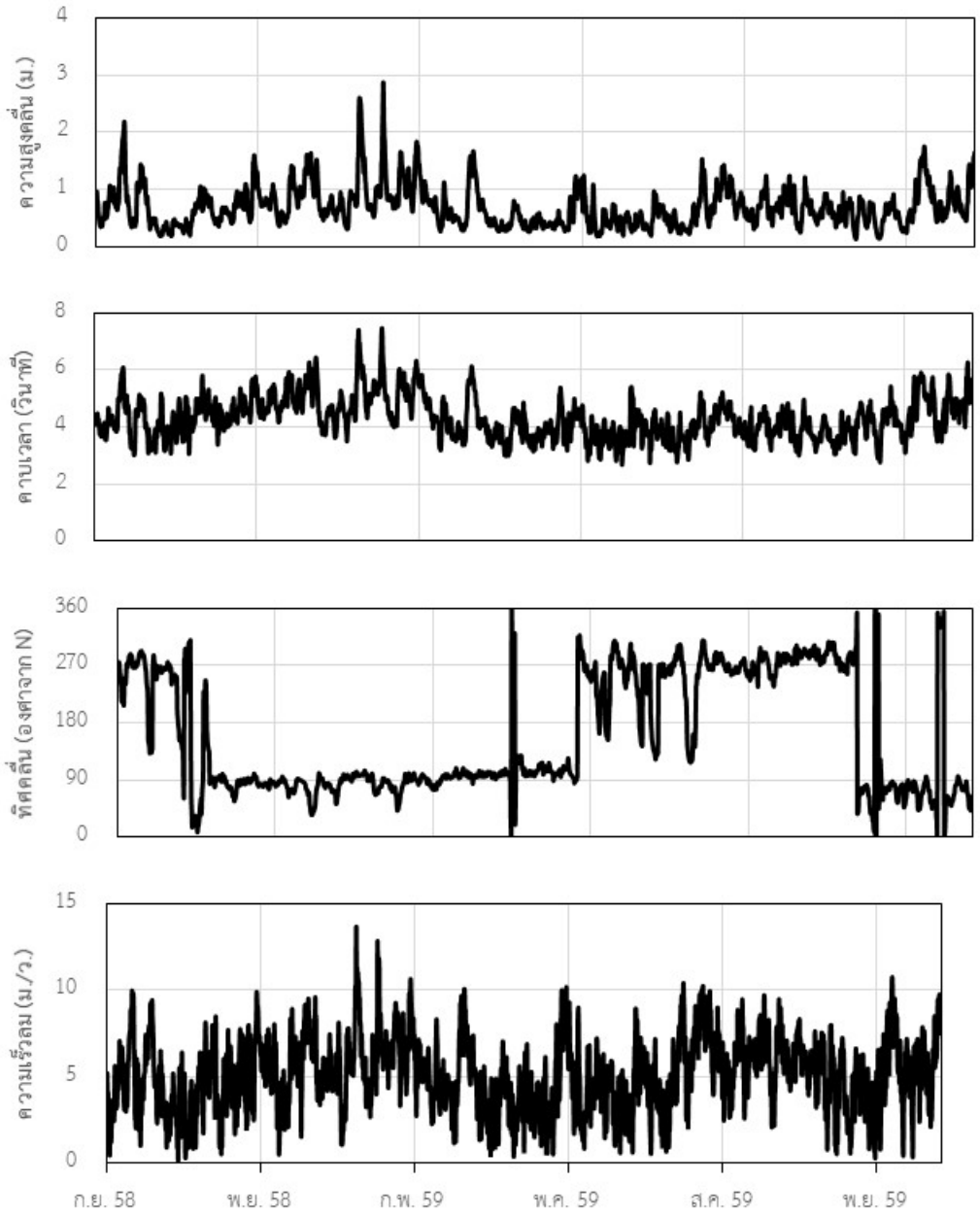
(5) ข้อมูลคุณลักษณะทางชลศาสตร์ ได้แก่ ระดับน้ำ ความเร็วกระแสน้ำตามแกน u และแกน v โดยแบบจำลองยอมให้ผู้ใช้ป้อนข้อมูลดังกล่าวในแบบจำลอง หรือใช้ข้อมูลใน text ไฟล์ หรือตั้งค่าให้รับข้อมูลดังกล่าวจาก module FLOW มาคำนวณก็ได้

ข้อมูลคลื่นที่นำเข้าแบบจำลองใช้ข้อมูลที่ webpage ของ ECMWF เผยแพร่ ครอบคลุมทั้งช่วงเวลาที่ใช้ปรับเทียบแบบจำลอง และช่วงเวลาที่ใช้วิเคราะห์ตะกอน โดย**รูปที่ 5–25** แสดงข้อมูลความสูงคลื่น คาบเวลาคลื่น ทิศคลื่น และความเร็วลม ที่นำมาจาก webpage ของ ECMWF ตัวอย่างผลวิเคราะห์คุณลักษณะคลื่นรายการความสูงคลื่น คาบเวลาคลื่น ทิศคลื่น บริเวณร่องน้ำสงขลาแสดงใน **รูปที่ 5–26** ถึง**รูปที่ 5–28** ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาว่าค่าตัวแปรและข้อมูลนำเข้าแบบจำลองมีความเหมาะสม สามารถจำลองคุณลักษณะคลื่นบริเวณร่องน้ำสงขลาได้เป็นอย่างดีแล้ว ก็นำแบบจำลองคลื่น (WAVE) ไปวิเคราะห์คุณลักษณะคลื่นควบคู่กับแบบจำลองคุณลักษณะทางชลศาสตร์ (FLOW) เพื่อประเมินลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพื้นทะเล (MORPHOLOGY) เสนอในหัวข้อถัดไป

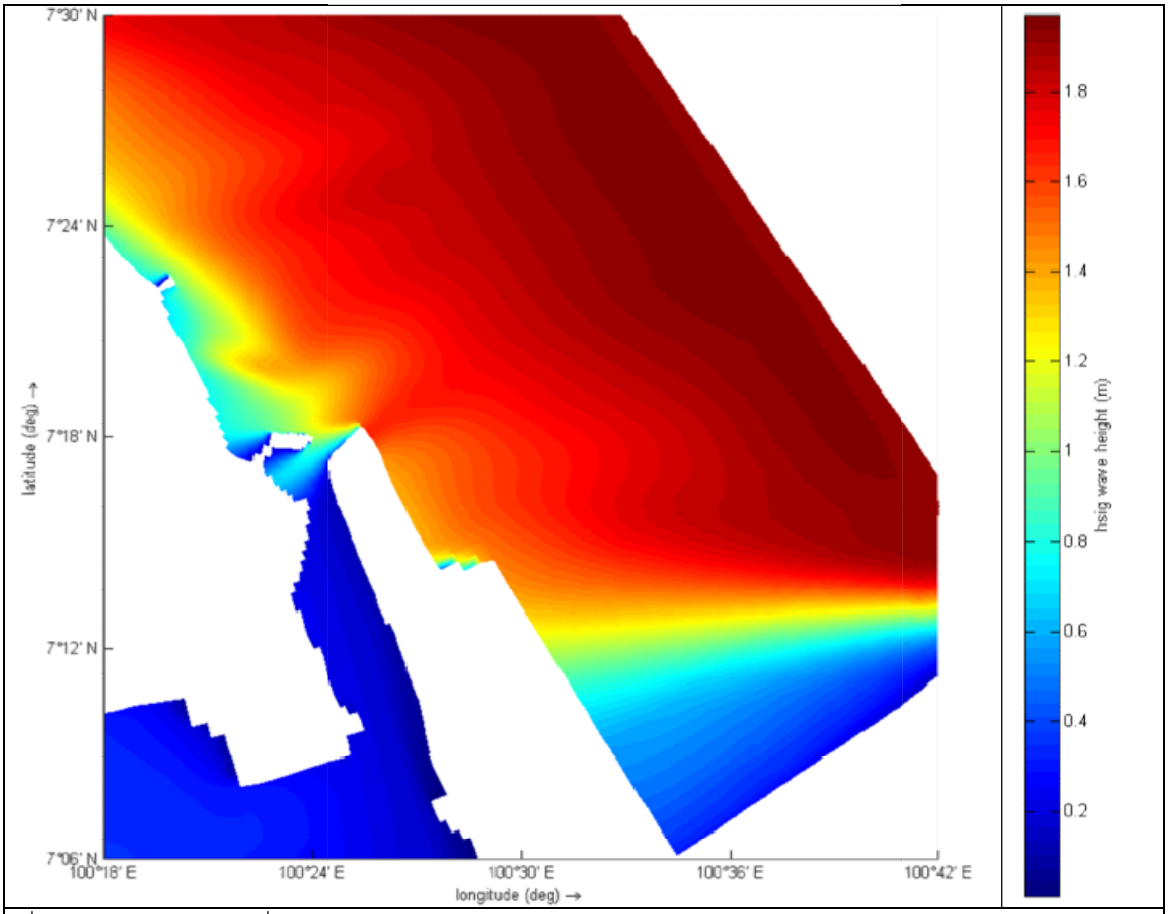
---

[7] กรณีโครงการเลือกให้ใช้ผลลัพธ์จาก Module Flow



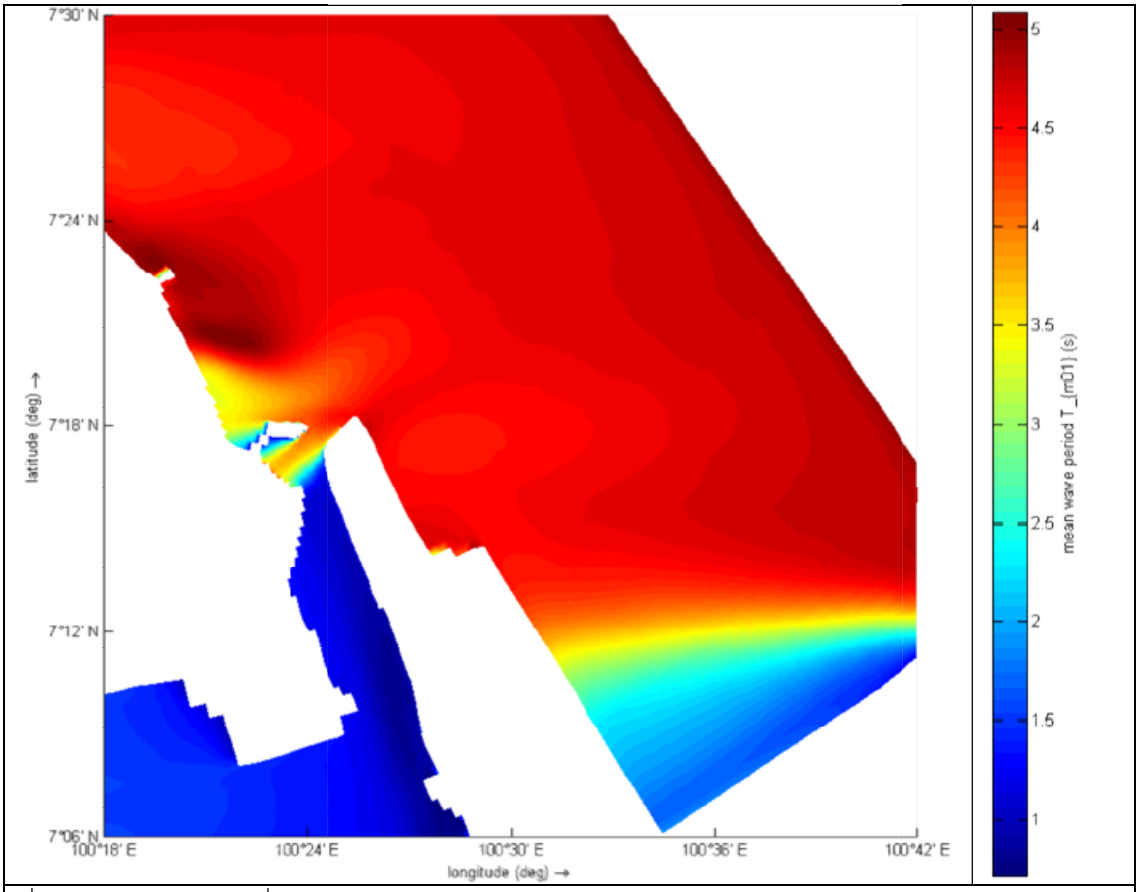
ที่มา: ประมวลจากข้อมูลของ ECMWF

รูปที่ 5 - 25 ข้อมูลคลื่นที่นำมาจาก webpage ของ ECMWF



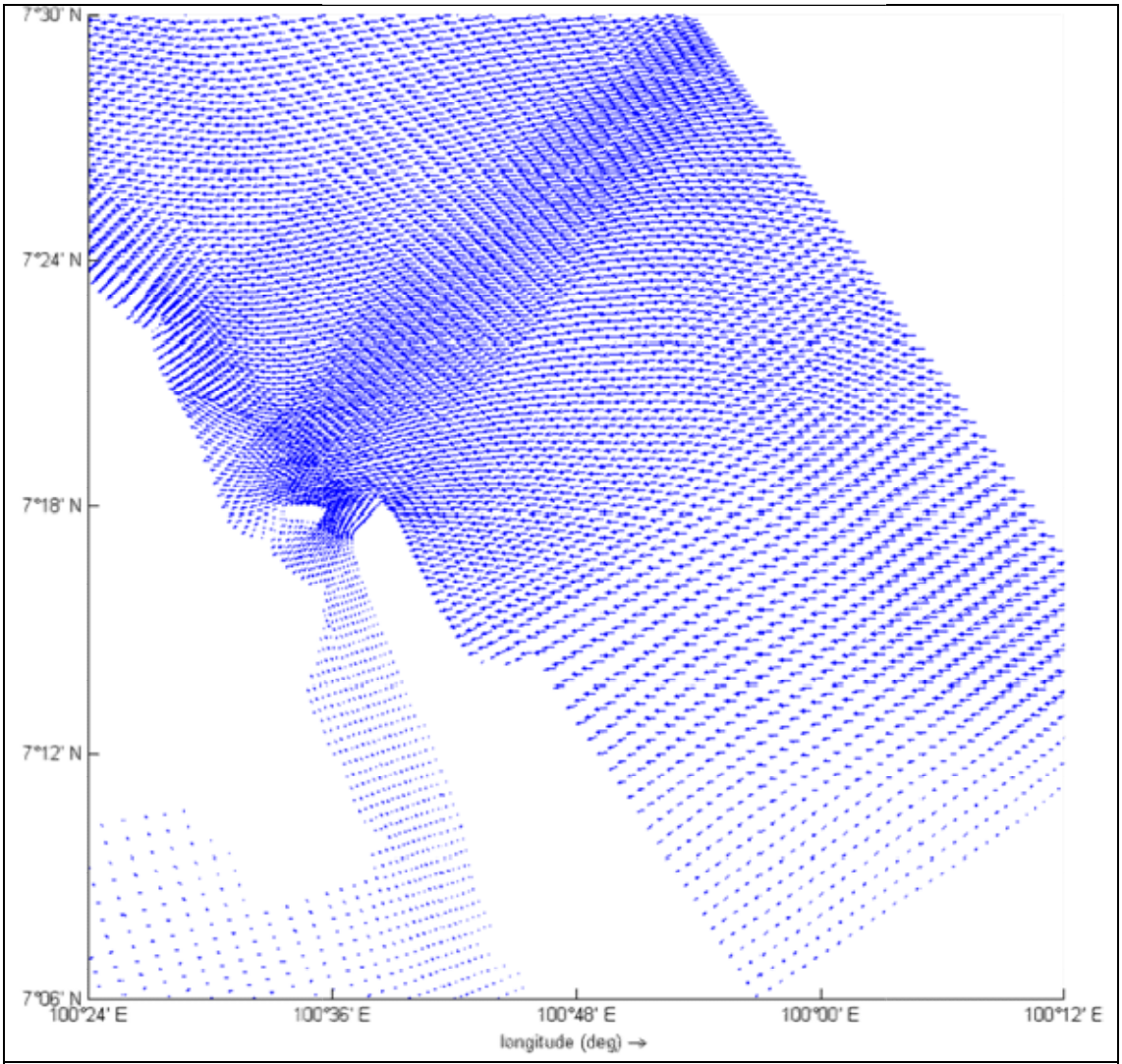
ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 26 ตัวอย่างผลวิเคราะห์ความสูงคลื่นนัยสำคัญจาก module WAVE



ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 27 ตัวอย่างผลวิเคราะห์คาบเวลาคลื่นจาก module WAVE



ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 28 ตัวอย่างผลวิเคราะห์ทิศคลื่นจาก module WAVE

5.4 การวิเคราะห์ตะกอน

การวิเคราะห์ตะกอนในโครงการ ดำเนินการ 2 ชั้น[8] คือ ชั้นที่ 1. วิเคราะห์ผลลัพธ์ของทางเลือกที่เป็นไปได้ด้วย module FLOW เมื่อได้ทางเลือกที่พิจารณาว่าควรทำการศึกษาอย่างละเอียดแล้วจึงดำเนินการชั้นที่ 2. การวิเคราะห์อย่างละเอียด ซึ่งโดยรวมเป็นการกำหนดให้ module FLOW ทำงานควบคู่กับ module WAVE โดยนำผลวิเคราะห์ค่าระดับน้ำ ความเร็วกระแสน้ำแกน x แกน y ที่ได้จาก module FLOW ที่เวลาใด ๆ มาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า module WAVE จากนั้นนำผลวิเคราะห์จาก module WAVE เช่น ความเร็วกระแสน้ำแรงที่เกิดจากคลื่น (wave induce force) มาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง module FLOW เวลาถัดไป

ผลวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย

(1) ตรวจสอบลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ทิศทางการไหล และความเร็วกระแสน้ำช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี

(2) แรงเฉือนที่พื้นท้องน้ำ (bed shear stress) บริเวณร่องใน ร่องนอก แอ่งจอดเรือ ขณะน้ำขึ้น-น้ำลง รวมถึงขนาดผลกระทบช่วงต่างฤดูกาล (การเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา)

(3) ปริมาณตะกอนที่ตก (หรือกัดเซาะ) ช่วงเวลาต่าง ๆ แยกเป็นร่องใน ร่องนอก แอ่งจอดเรือ ทั้งด้านโค้งนอก โค้งใน และลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา

(3) ผลกระทบที่เกิดจากการติดตั้งรอบังคับกระแสน้ำด้านทิศใต้และทิศเหนือตามข้อเสนอโครงการศึกษาเพื่อขยายท่าเรือสงขลาปี พ.ศ. 2541 ทั้งกรณีมีการดำเนินการเฉพาะรอบังคับน้ำด้านทิศเหนือ หรือทิศใต้ และมีการดำเนินการทั้งสองตัว

(4) ผลกระทบที่เกิดจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นปิดล้อมแอ่งจอดเรือตามข้อสังเกตงานศึกษาจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาร่องน้ำและท่าเรือในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545

(5) ผลกระทบที่เกิดจากการดำเนินการข้อ (3) กับข้อ (4) รวมกัน

การตรวจสอบลักษณะการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำ ทิศทางการไหล และความเร็วกระแสน้ำช่วงเวลาต่าง ๆ ของปี มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เลือกช่วงเวลาพิจารณาผลวิเคราะห์รายการอื่นอย่างละเอียด โดยจากผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำที่ กม. 0 ของร่องน้ำ ในภาพรวมทั้งปีแสดงใน**รูปที่ 5 – 29** ได้เลือกช่วงเวลาพิจารณาในรายละเอียดเป็นระหว่างวันที่ 1 – 15 มิถุนายน กับ 1 – 15 ธันวาคม 2559

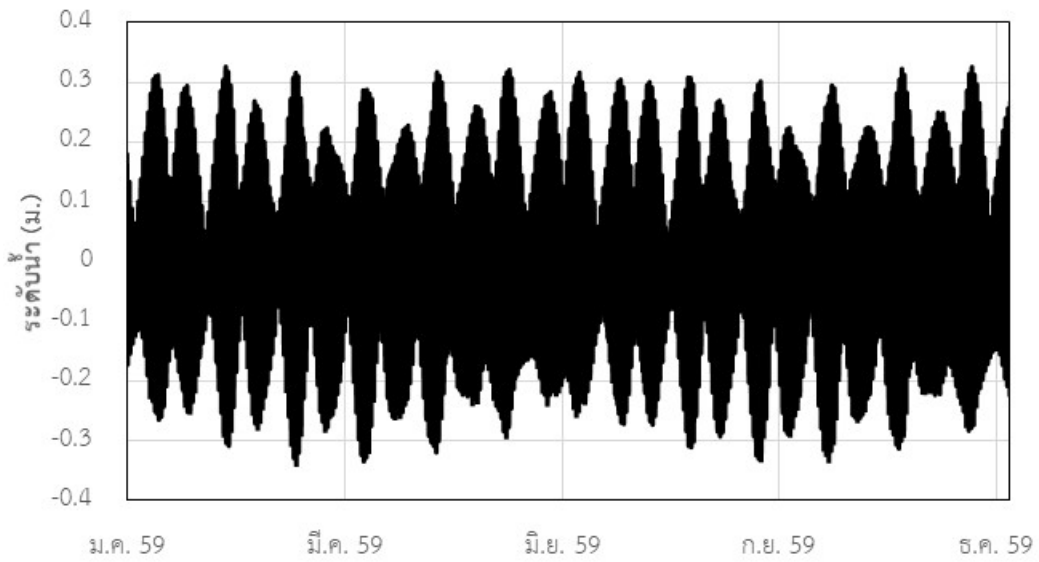
---

[8] การแยกการดำเนินงานเป็น 2 ชั้น เกิดจากเวลาที่ต้องใช้ในการวิเคราะห์แบบให้ module FLOW ทำงานควบคู่กับ module WAVE ใช้เวลาของเครื่องคอมพิวเตอร์นานกว่าการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง FLOW เพียงอย่างเดียวมาก เช่น การวิเคราะห์ด้วย module FLOW ให้จำลองการไหลและการเปลี่ยนแปลงพื้นท้องน้ำระยะเวลา 1 ปี ใช้เวลาทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์ประมาณ 5 ชั่วโมง ในขณะที่พบว่าการให้ทำงานควบคู่กันทั้ง module FLOW และ WAVE จำลองการไหลและการเปลี่ยนแปลงพื้นท้องน้ำในระยะเวลา 3 เดือน ใช้เวลาทำงานของเครื่องคอมพิวเตอร์นานประมาณ 4 วัน

การพิจารณาผลวิเคราะห์ด้วย module FLOW ระหว่างวันที่ 1 – 15 มิถุนายน 2559 ตามแสดงใน**รูปที่ 5 – 30** พบว่าระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ +0.32 เมตร กับ -0.29 เมตร ตามลำดับ ความเร็วกระแสน้ำสูงสุด 0.65 เมตร/วินาทีเกิดวันที่ 7 มิถุนายน 2559 เวลา 03:00 นาฬิกาเป็นเวลาน้ำไหลขึ้นสูงสุดกำลังจะไหลลง

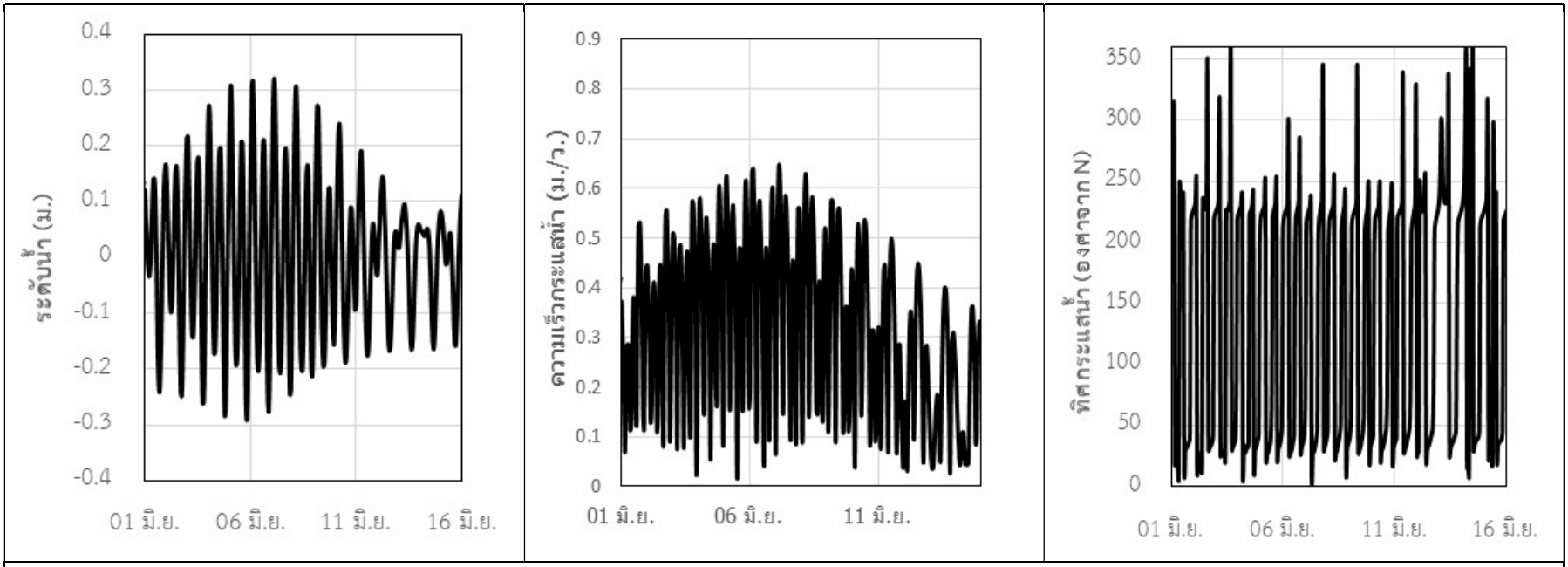
สำหรับระหว่างวันที่ 1 – 15 ธันวาคม 2559 ตามแสดงใน**รูปที่ 5 – 31** พบว่าระดับน้ำสูงสุด-ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ +0.33 เมตร กับ -0.28 เมตร ตามลำดับ ความเร็วสูงสุด 0.74 เมตร/วินาที เกิดวันที่ 15 ธันวาคม 2559 เวลา 08:00 นาฬิกา เป็นเวลาน้ำไหลต่ำสุดกำลังจะไหลขึ้น

การพิจารณาแรงเฉือนที่พื้นท้องน้ำเสนอในหัวข้อถัดไปเลือกแสดงเฉพาะช่วงเวลามีค่าสูงสุดขณะน้ำขึ้นกับขณะน้ำลงข้างต้น



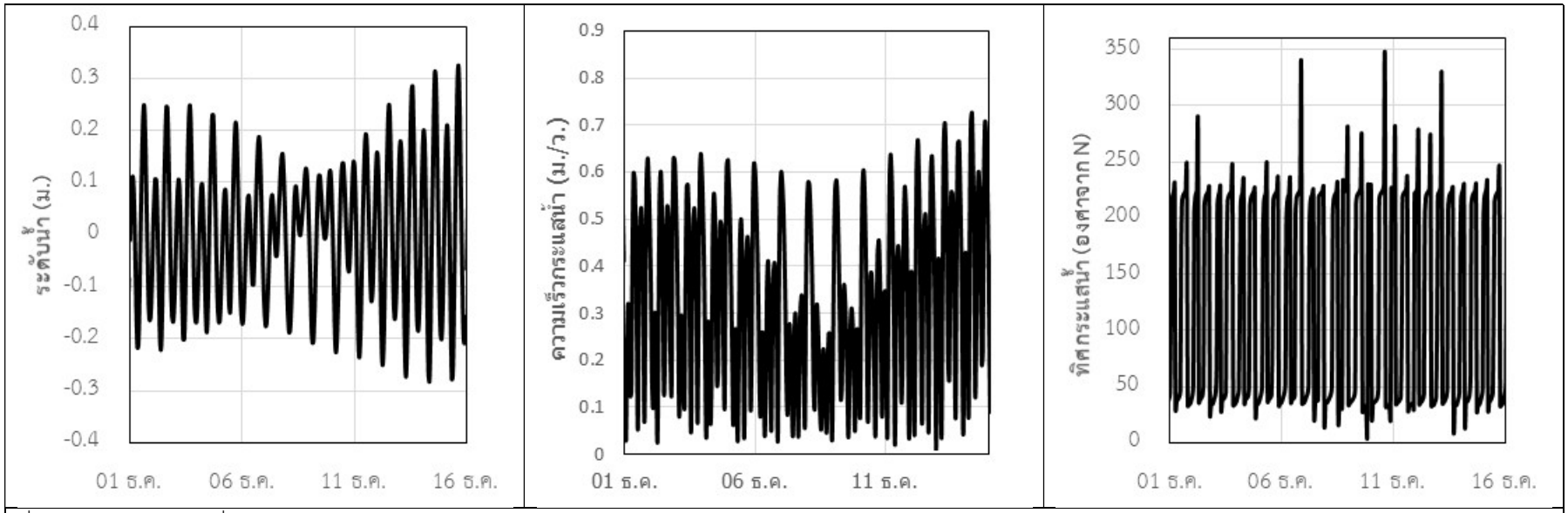
ที่มา: ผลวิเคราะห์ของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 29 ผลวิเคราะห์ค่าระดับน้ำ 1 ม.ค. – 31 ธ.ค. 2559



ที่มา: การวิเคราะห์ของที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 30 ผลวิเคราะห์ทางชลศาสตร์วันที่ 1 – 15 มิถุนายน 2559



ที่มา: การวิเคราะห์ของที่ปรึกษา

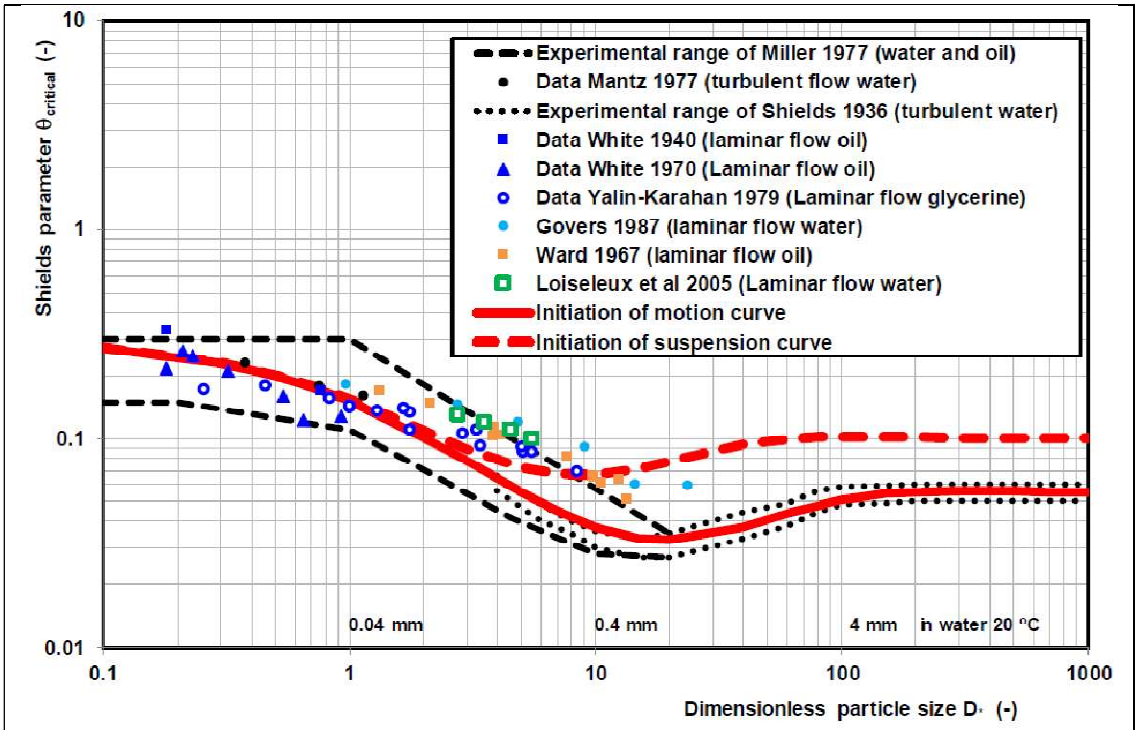
รูปที่ 5 - 31 ผลวิเคราะห์ทางชลศาสตร์วันที่ 1 – 15 ธันวาคม 2559

5.4.1 แรงเฉือนที่พื้นท้องน้ำ (bed shear stress)

แนวคิดพื้นฐาน คือ แรงเฉือนที่พื้นทะเล (bed shear stress) บริเวณใด ๆ หากสูงเกินค่าวิกฤต (critical shear stress) จะทำให้ตะกอนบริเวณดังกล่าวเริ่มเคลื่อนที่ซึ่งอาจเป็นการกลิ้ง กระโดด เลื่อน หรือลอยตัวขึ้นเป็นตะกอนแขวนลอย ทำให้พื้นที่บริเวณดังกล่าวเกิดการกัดเซาะ ในทางตรงข้ามหากค่าแรงเฉือนที่พื้นทะเลมีค่าต่ำก็จะทำให้พื้นที่บริเวณดังกล่าวกลายเป็นพื้นที่มีตะกอนตกทับถม

ค่าแรงเฉือนวิกฤตที่ทำให้ตะกอนเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นกับขนาดตะกอน (d_{50}) และรูปร่างตะกอน (particle shape) ซึ่งมีผลต่อขนาดแรงลากที่กระทำกับตะกอน (drag force) และขนาดแรงต้านทานการเคลื่อนที่ โดย Leo van Rign ได้สร้างแผนภูมิแสดงขนาดตะกอนกับค่าการเคลื่อนที่วิกฤต (critical mobility number) ดังแสดงใน**รูปที่ 5 – 32**[9]

ในกรณีโครงการ ผลวิเคราะห์แรงเฉือนที่พื้นท้องน้ำบริเวณร่องใน ร่องนอก และแอ่งจอดเรือ ขณะน้ำขึ้น (วันที่ 7 มิถุนายน 2559 เวลา 03:00 นาฬิกา) กับน้ำลง (วันที่ 15 ธันวาคม 2559 เวลา 08:00 นาฬิกา) แสดงใน**รูปที่ 5 – 33** กับ**รูปที่ 5 – 34** ตามลำดับ ได้ค่าแรงเฉือนสูงสุด 5 นิวตัน/ตารางเมตรเกิดบริเวณปากทางเข้าร่องใน ทิศแรงเฉือนตามทิศกระแสน้ำ จากผลวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงว่าพื้นที่บางบริเวณเกิดการกัดเซาะบางเวลา และเกิดการทับถมบางเวลา



ที่มา: Leo C. van Rijn, 2016, Initiation of motion and suspension of mud-sand mixtures, p.6

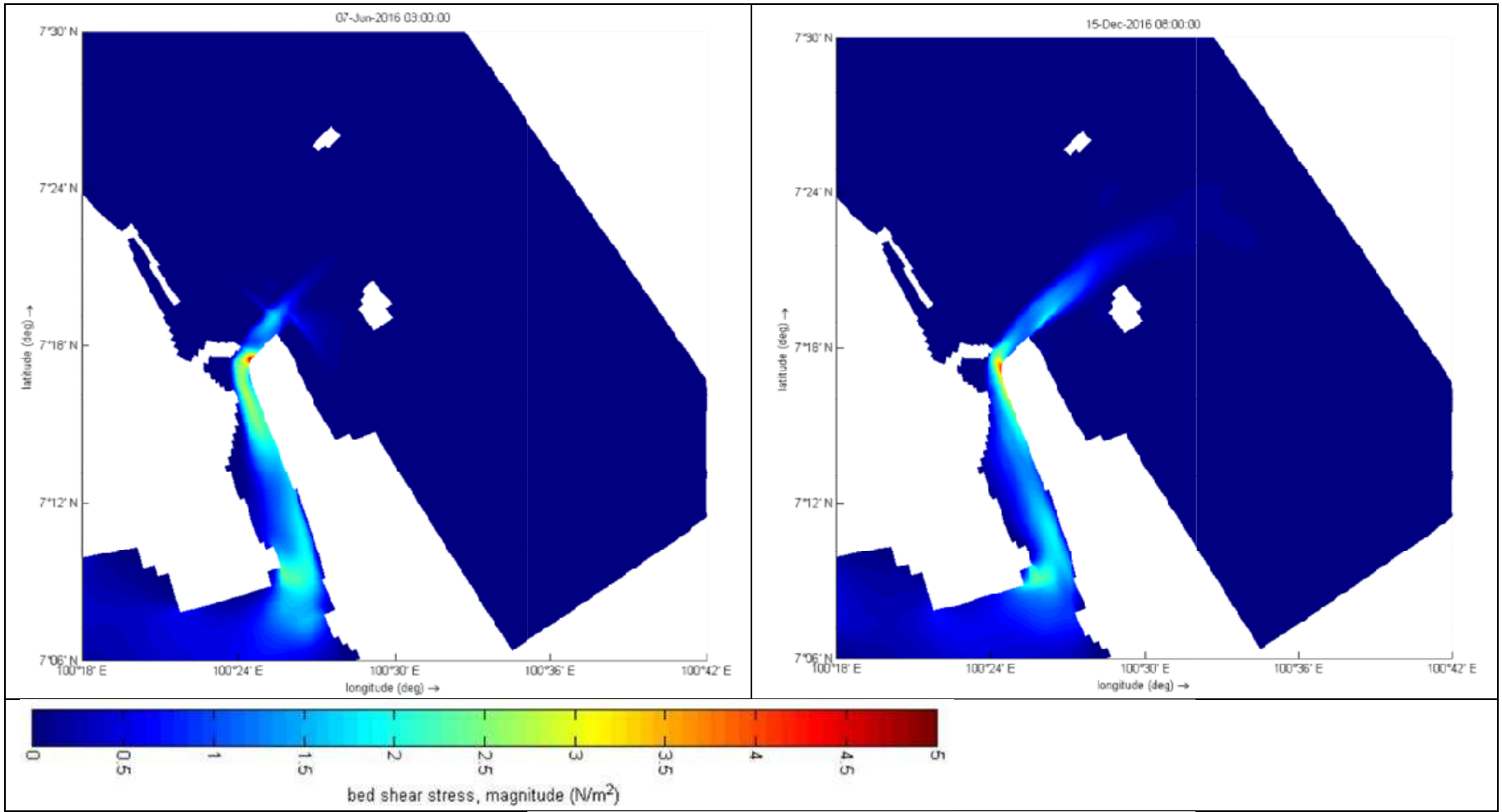
รูปที่ 5 - 32 Shields' curve กับขนาดตะกอน

[9] Leo C. van Rijn, 2016, Initiation of motion and suspension of mud-sand mixtures

ตารางที่ 5 - 4 ค่าแรงเฉือนวิกฤต

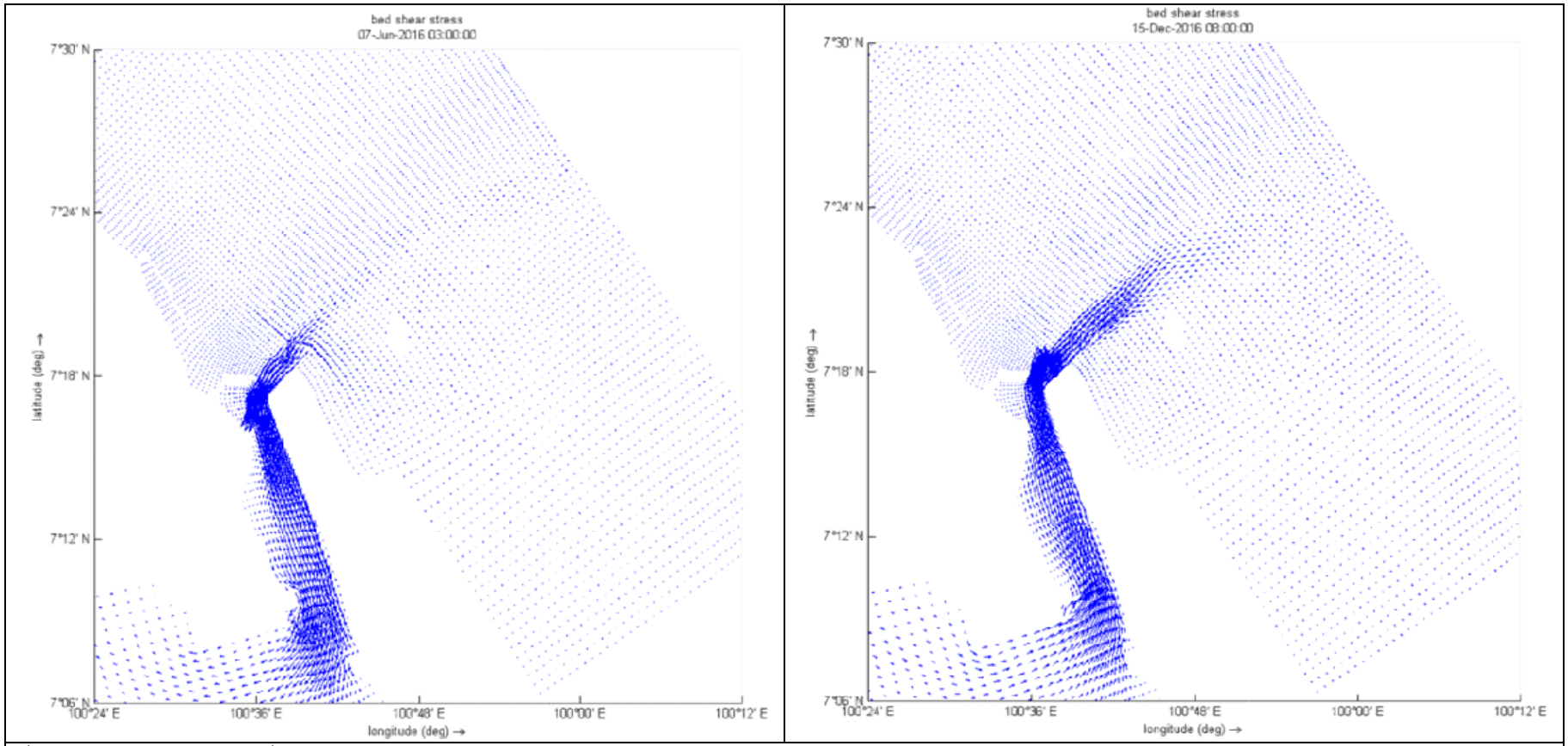
วัสดุพื้นท้องน้ำ	ขนาดอนุภาค		Shields parameters	Critical bed shear stress
	f	mm	(dimensionless)	(N/sqm)
Coarse cobble	-7 – -8	128 – 256	0.054 – 0.054	112 – 223
Fine cobble	-6 – -7	64 – 128	0.052 – 0.054	53.8 – 112
Very coarse gravel	-5 – -6	32 – 64	0.05 – 0.052	25.9 – 53.8
Coarse gravel	-4 – -5	16 – 32	0.047 – 0.05	12.2 – 25.9
Medium gravel	-3 – -4	8 – 16	0.044 – 0.047	5.7 – 12.2
Fine gravel	-2 – -3	4 – 8	0.042 – 0.044	2.7 – 5.7
Very fine gravel	-1 – -2	2 – 4	0.039 – 0.042	1.3 – 2.7
Very coarse sand	0 – -1	1 – 2	0.029 – 0.039	0.47 – 1.3
Coarse sand	1 – 0	0.5 – 1	0.033 – 0.029	0.27 – 0.47
Medium sand	2 – 1	0.25 – 0.5	0.048 – 0.033	0.194 – 0.27
Fine sand	3 – 2	0.125 – 0.25	0.072 – 0.048	0.145 – 0.194
Very fine sand	4 – 3	0.0625 – 0.125	0.109 – 0.072	0.110 – 0.145
Coarse silt	5 – 4	0.0310 – 0.0625	0.165 – 0.109	0.0826 – 0.110
Medium silt	6 – 5	0.0156 – 0.0310	0.25 – 0.165	0.0630 – 0.0826
Fine silt	7 – 6	0.0078 – 0.0156	0.3 – 0.25	0.0378 – 0.0630

ที่มา: https://pubs.usgs.gov/sir/2008/5093/table7.html [access online 27 พ.ย. 60)



ที่มา: การวิเคราะห์ของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 33 ผลวิเคราะห์ค่าแรงเฉือนที่พื้นทะเล



ที่มา: การวิเคราะห์ของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 34 ผลวิเคราะห์ทิศแรงเฉือนที่พื้นทะเล

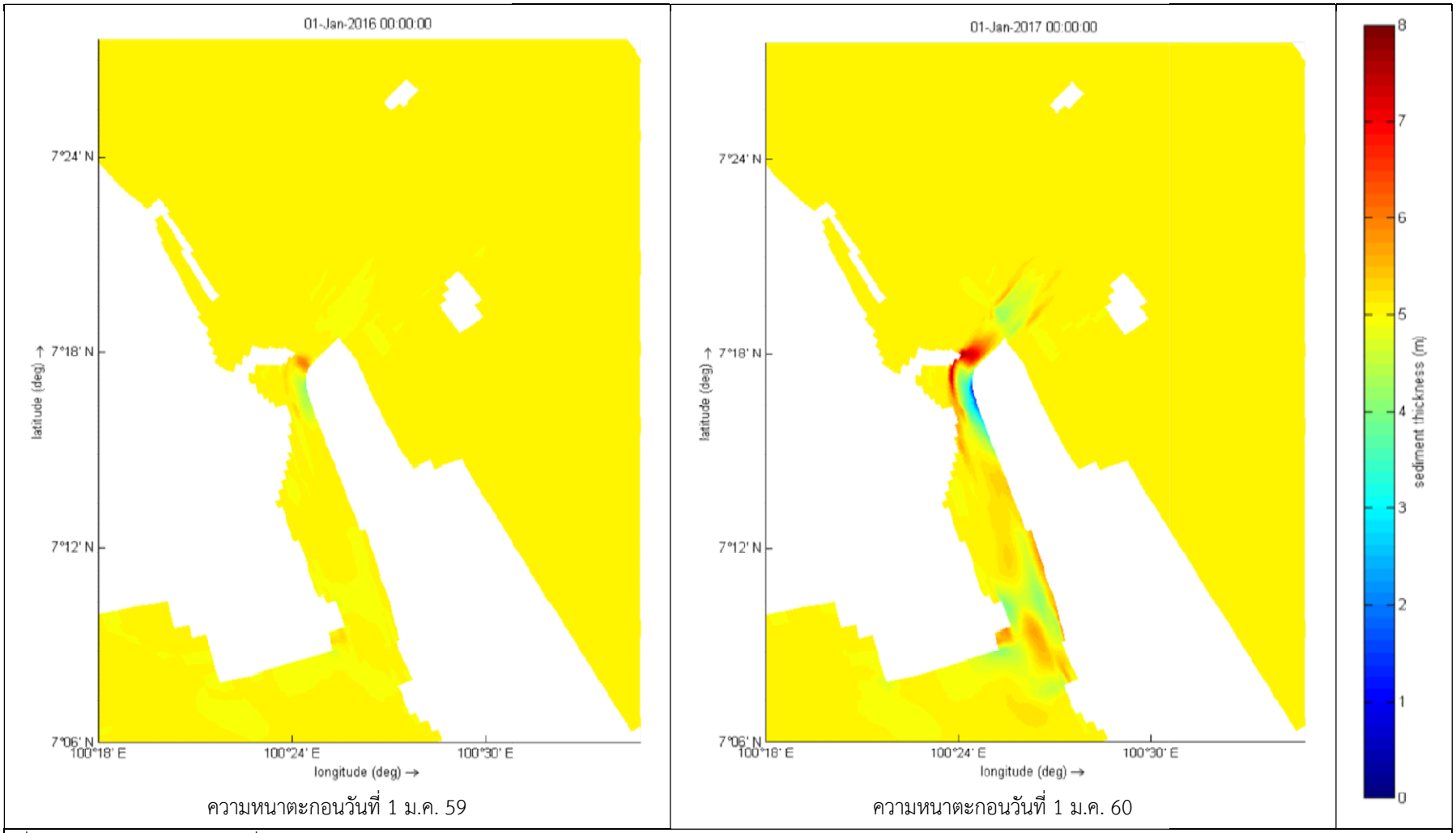
5.4.2 การเปลี่ยนแปลงพื้นท้องน้ำ

บริเวณร่องน้ำซึ่งมีความลึกน้ำมากกว่าพื้นที่ข้างเคียงมีตะกอนตกมากกว่าพื้นที่ซึ่งอยู่ติดกันทั้งจากเหตุความเร็วกระแสน้ำลดลงทำให้แรงเฉือนที่พื้นลดลง และจากเหตุร่องน้ำทำหน้าที่เป็นรางดักตะกอน ทำให้ตะกอนที่เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในร่องน้ำต้องไหลไปตามร่องน้ำซึ่งหากความเร็วกระแสน้ำเพียงพอก็สามารถพัดพาตะกอนพื้นท้องน้ำออกไปได้ แต่หากความเร็วกระแสน้ำไม่เพียงพอ ตะกอนเหล่านี้ก็จะตกในร่องน้ำ

ผลวิเคราะห์ตะกอนที่ตกบริเวณร่องใน ร่องนอก และแอ่งจอดเรือ ระหว่างวันที่ 1 มกราคม – 31 ธันวาคม 2559 แสดงใน**รูปที่ 5 – 35** สรุปว่าบางพื้นที่เกิดการกัดเซาะ บางพื้นที่มีการทับถม ความหนาของตะกอนที่ทับถมอยู่ระหว่าง 0.5 – 1.0 เมตร[10]

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนที่ตกกับระยะเวลา ตามแสดงใน**รูปที่ 5 – 36** พบว่าระดับการเปลี่ยนแปลงแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากันโดยช่วงฤดูน้ำหลากสัณฐานพื้นท้องน้ำเปลี่ยนแปลงเร็วกว่าช่วงฤดูแล้ง

[10] การวิเคราะห์ตะกอนสมมุติให้ความหนาตะกอนที่จุดเริ่มวิเคราะห์เท่ากับ 5 เมตร บริเวณที่ผลวิเคราะห์แสดงความหนาตะกอนมากกว่า 5 เมตร จึงหมายถึงพื้นที่มีตะกอนตก ในทางตรงข้ามบริเวณที่ผลวิเคราะห์แสดงความหนาตะกอนน้อยกว่า 5 เมตร จึงหมายถึงพื้นที่ถูกกัดเซาะ

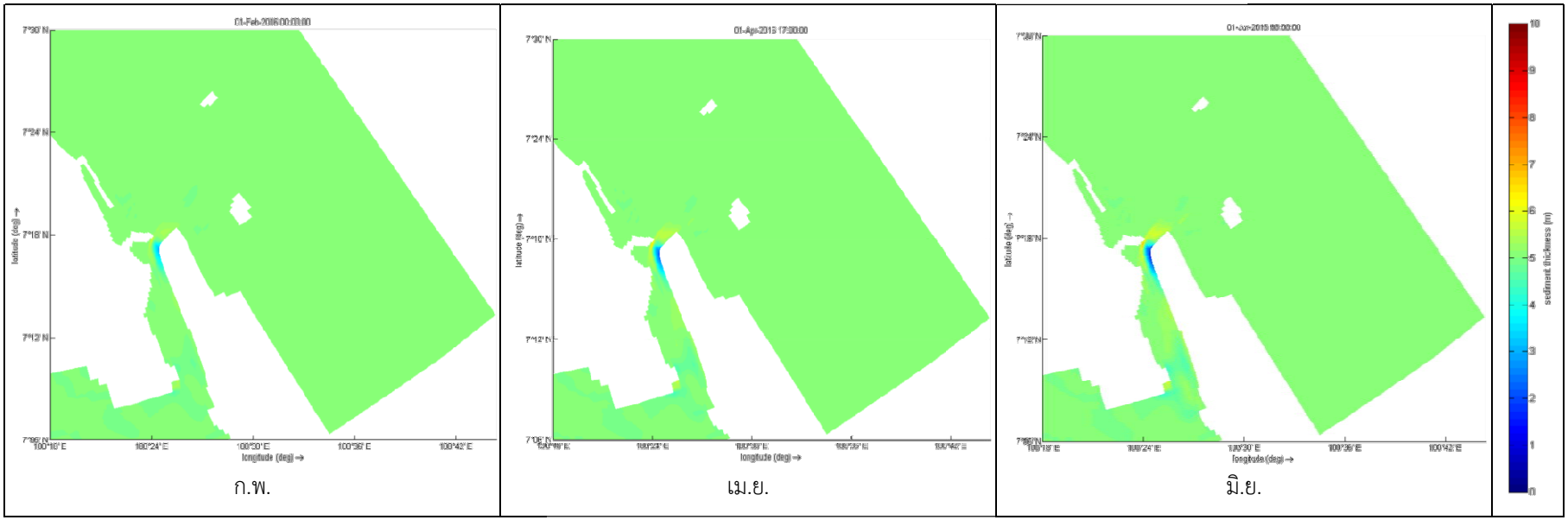


ความหนาตะกอนวันที่ 1 ม.ค. 59

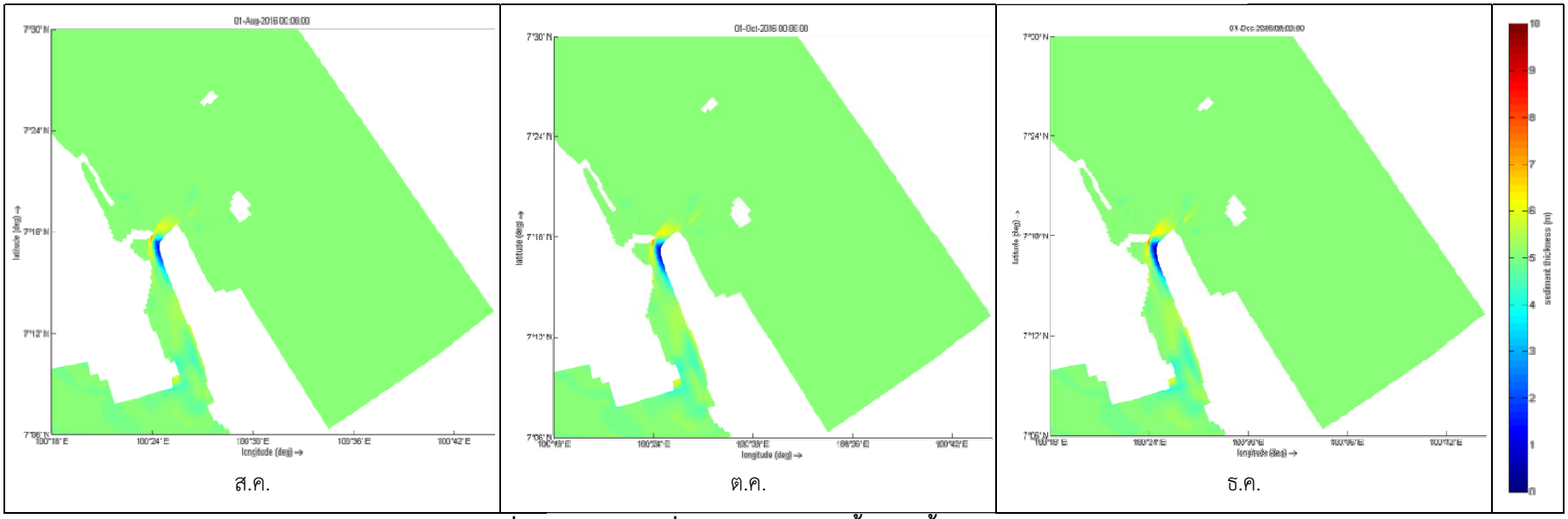
ความหนาตะกอนวันที่ 1 ม.ค. 60

ที่มา: การวิเคราะห์ของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 35 ผลวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำ


01-Feb-2016 00:00:00
latitude (deg)
longitude (deg)
01-Apr-2015 12:00:00
latitude (deg)
longitude (deg)
latitude (deg)
longitude (deg)
sediment thickness (m)

ก.พ. เม.ย. มิ.ย.



รูปที่ 5 - 36 การเปลี่ยนแปลงสัณฐานพื้นท้องน้ำแต่ละช่วงเวลา

5.4.3 ผลกระทบที่เกิดจากการติดตั้งรอบังคับกระแสน้ำ

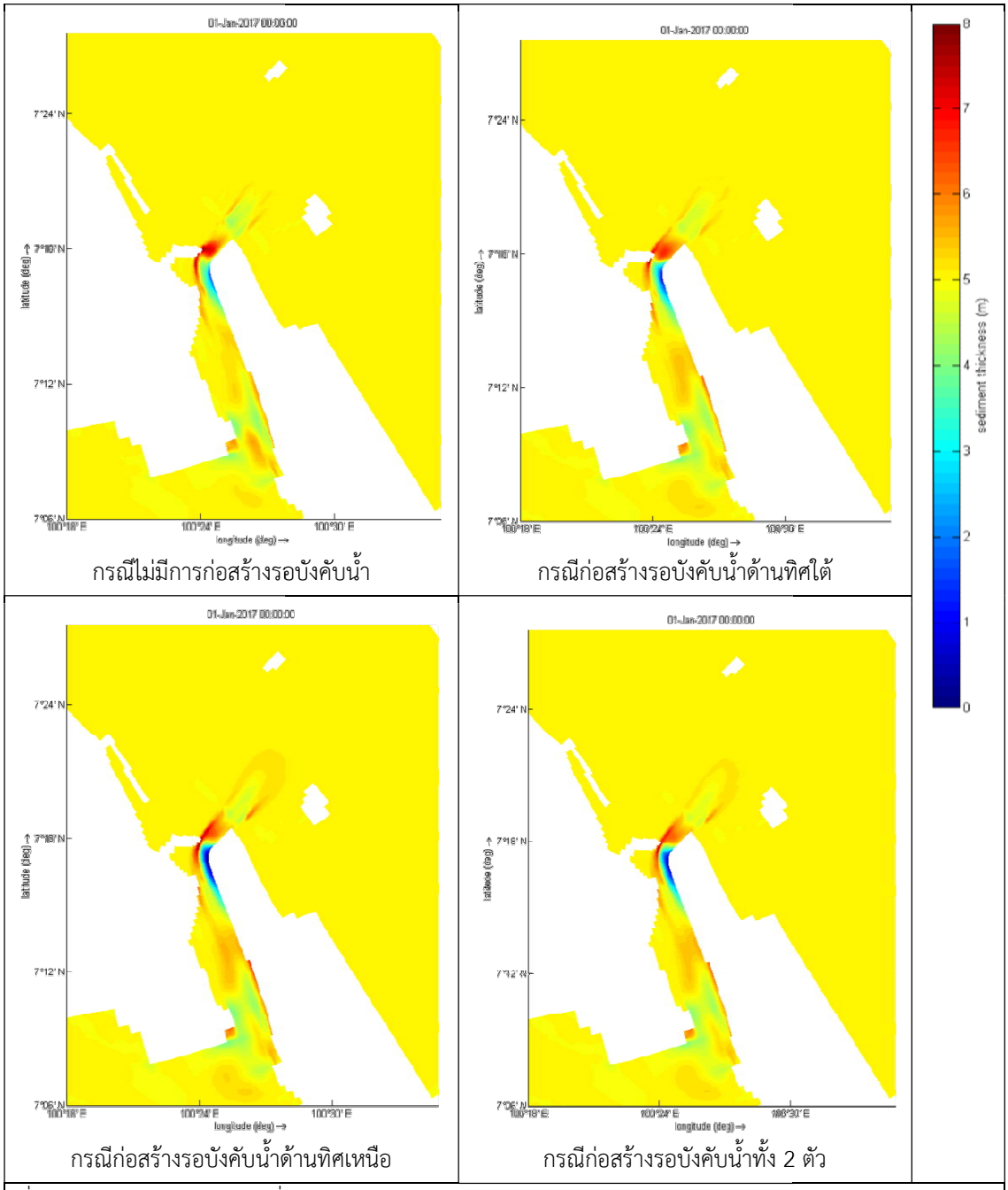
โครงการศึกษาออกแบบเพื่อขยายท่าเรือสงขลา ปี พ.ศ. 2541 มีข้อเสนอวิธีแก้ไขปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำโดยติดตั้งรอบังคับน้ำด้านทิศใต้ยาว 150 เมตร กับรอบังคับน้ำด้านทิศเหนือยาว 50 เมตร (ดู**รูปที่ 3 - 3**) รายละเอียดที่เสนอในข้อนี้เป็นการพิจารณาประสิทธิผลของการดำเนินงานตามข้อเสนอทั้งกรณีติดตั้งรอบังคับน้ำด้านทิศใต้เพียงตัวเดียว ทิศเหนือเพียงตัวเดียว และมีการติดตั้งรอบังคับน้ำทั้งสองตัว

ผลวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกบริเวณร่องใน ร่องนอก และแอ่งจอดเรือทั้ง 3 กรณีแสดงใน**รูปที่ 5 – 37** ได้ข้อสรุป ดังนี้

(1) การก่อสร้างรอบังคับน้ำด้านทิศใต้ช่วยลดค่าสูงสุดของตะกอนที่ตกในร่องน้ำพร้อมกับทำให้พื้นที่ตกตะกอนกระจายออกไป

(2) การก่อสร้างรอบังคับน้ำด้านทิศเหนือช่วยลดค่าสูงสุดของตะกอนที่ตกในร่องน้ำ (น้อยกว่ากรณีก่อสร้างรอบังคับน้ำด้านทิศใต้เพียงตัวเดียว) พร้อมกับทำให้พื้นที่ตกตะกอนกระจายออกไปบางส่วนก่อตัวปิดร่องนอก

(3) การก่อสร้างรอบังคับน้ำทั้งด้านทิศใต้และทิศเหนือได้ผลระหว่างก่อสร้างรอบังคับน้ำด้านทิศเหนือและทิศใต้ คือ ช่วยลดค่าสูงสุดของตะกอนที่ตกในร่องน้ำ พร้อมกับทำให้พื้นที่ตกตะกอนกระจายออกไป บางส่วนก่อตัวปิดร่องนอก (น้อยกว่ากรณีก่อสร้างรอบังคับน้ำด้านทิศเหนือเพียงอย่างเดียว)



กรณีไม่มีการก่อสร้างรอบังคับน้ำ

กรณีก่อสร้างรอบังคับน้ำด้านทิศใต้

กรณีก่อสร้างรอบังคับน้ำด้านทิศเหนือ

กรณีก่อสร้างรอบังคับน้ำทั้ง 2 ตัว

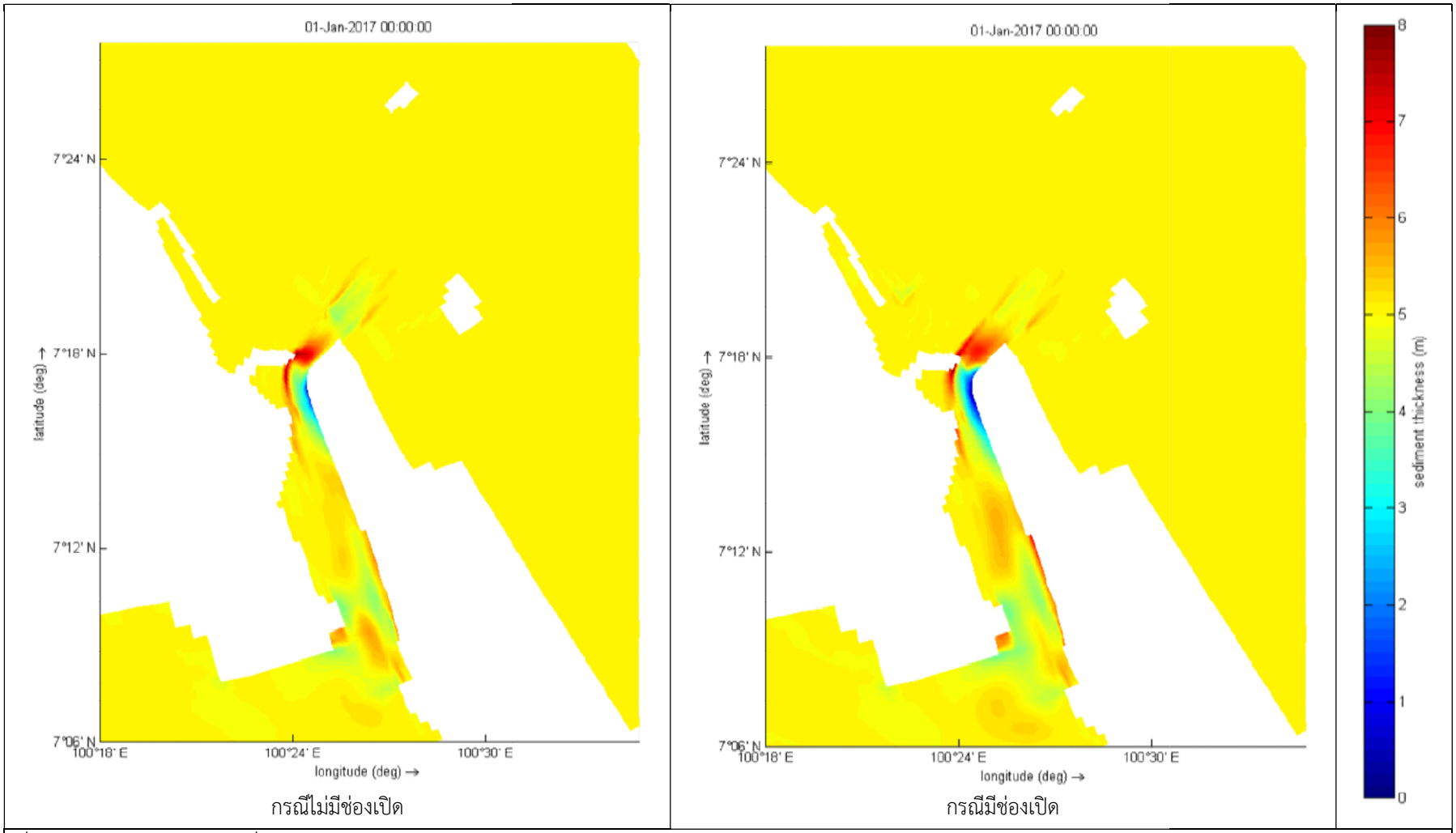
ที่มา: การวิเคราะห์ของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 37 ผลวิเคราะห์กรณีก่อสร้างรอบังคับน้ำตามข้อเสนอโครงการศึกษาปี 2541

5.4.4 ผลกระทบที่เกิดจากการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นปิดล้อมแอ่งจอดเรือ

โครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาร่องน้ำและท่าเรือในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545 มีข้อสังเกตว่าการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นปิดแอ่งจอดเรือด้านทิศเหนือเพื่อป้องกันคลื่นและกระแสน้ำให้ท่าเรือขนถ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมส่งผลทำให้ตะกอนตกในแอ่งจอดเรือเพิ่มขึ้น โครงการศึกษาและวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำนำข้อสังเกตดังกล่าวมาวิเคราะห์หาขนาดผลกระทบ

ตามผลวิเคราะห์แสดงใน**รูปที่ 5 – 38** พบว่าการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นปิดแอ่งจอดเรือด้านทิศเหนือไม่ได้ทำให้ตะกอนตกในร่องน้ำมากขึ้น



ที่มา: การวิเคราะห์ของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 5 - 38 ผลวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำกรณีมีช่องเปิดที่เขื่อนกันคลื่น

บทที่ 6 การออกแบบร่องน้ำสงขลา

บทที่ 6
การออกแบบร่องน้ำสงขลา

เนื้อหาที่แสดงในรายงานบทที่ 6 การออกแบบร่องน้ำสงขลาแบ่งเป็น 4 ส่วน เริ่มจาก (1) หลักการออกแบบร่องน้ำ ซึ่งโดยรวมเป็นคำแนะนำการออกแบบร่องน้ำตามมาตรฐานของ PIANC ต่อด้วย (2) แนวคิดการออกแบบ ซึ่งเป็นข้อสังเกตข้อจำกัดและขั้นตอนการออกแบบ เนื้อหาที่แสดงในสองข้อสุดท้าย ข้อ (3) กับข้อ (4) เป็นรายละเอียดการออกแบบร่องน้ำสงขลาเหมือนกัน ต่างกันตรงพื้นที่ โดยเนื้อหาที่แสดงในข้อ (3) เป็นพื้นที่ "ร่องนอกกับแอ่งจอดเรือ" ส่วนข้อ (4) เป็น "ร่องใน"

6.1 หลักการออกแบบร่องน้ำ

ในปี ค.ศ. 1997 (พ.ศ. 2540 PIANC[1] ร่วมกับ IAPH[2], IMPA[3] และ IALA[4] ได้จัดทำคำแนะนำการออกแบบร่องน้ำ (Approach Channels: A Guide for Design) ซึ่งต่อมาในปี ค.ศ.2014 (พ.ศ. 2557) มีการปรับปรุงเป็นคำแนะนำการออกแบบร่องน้ำทางเข้าท่าเรือ (Harbour Approach Channels Design Guidelines) สาระสำคัญที่ปรับปรุง คือ เพิ่มวิธีกำหนดขนาดร่องน้ำด้วยเทคนิคทางสถิติซึ่งเป็นการพิจารณาโอกาสเกิด (probabilistic) กับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ (acceptable risk) จากเดิมที่กำหนดเฉพาะวิธีคำนวณค่า (deterministic) เนื้อหารายงานฉบับนี้แสดงรายละเอียดเฉพาะวิธี คำนวณ

---

[1] PIANC ย่อมาจาก Permanent International Association of Navigation Congress ซึ่งเป็นการรวมตัวขององค์กรเทคนิคภาครัฐ สมาคม และเอกชน ระหว่างประเทศ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับการเมืองและไม่แสวงหากำไร มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมการเดินเรือในลำน้ำและทะเลโดยสนับสนุนกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวางแผน การออกแบบ การก่อสร้าง การปรับปรุง การบำรุงรักษา และการปฏิบัติงานเดินเรือในลำน้ำ ทะเล ท่าเรือ และชายฝั่ง มีสำนักงานอยู่ในประเทศเบลเยี่ยม (http://www.pianc-aipcn.org/pianc.php)

[2] IAPH ย่อมาจาก International Association of Ports and Harbours เป็นสมาคมที่ไม่ใช่ภาครัฐและไม่แสวงหากำไร มีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสร้างความร่วมมือระหว่างท่าเรือและองค์กรทางทะเลในประเทศต่างๆ ทั่วโลก มีสำนักงานตั้งอยู่ในประเทศญี่ปุ่น (http://www.iaphworldports.org/index.html)

[3] IMPA ย่อมาจาก International Maritime Pilots Association เป็นสมาคมวิชาชีพผู้ปฏิบัติงานนำร่อง ที่ไม่แสวงหากำไร มีวัตถุประสงค์เพื่อส่งเสริมความเป็นมืออาชีพและความปลอดภัยในการปฏิบัติงานนำร่อง มีสำนักงานตั้งอยู่ในประเทศอังกฤษ (http://www.impahq.org)

[4] IALA ย่อมาจาก International Association of Lighthouse Authorities ต่อมา เปลี่ยนชื่อเป็น International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities แต่ใช้คำย่อเหมือนเดิม เป็นองค์กรไม่แสวงหากำไร ทำหน้าที่เป็นศูนย์รวมหน่วยงานรัฐที่มีหน้าที่รับผิดชอบเกี่ยวกับเครื่องหมายช่วยการเดินเรือ รวมถึงผู้ผลิต และที่ปรึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เครื่องหมายช่วยการเดินเรือที่ติดตั้งในพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลกใช้มาตรฐานเดียวกัน กองทัพเรือเป็นตัวแทนของประเทศไทยใน IALA

ค่าซึ่งแนะนำให้ใช้กับการออกแบบเบื้องต้น (concept design) แบ่งเป็นมิติตามแนวดิ่ง (ความลึกร่องน้ำและความสูงช่องลอด) มิติตามแนวนอน (ความกว้างทางเรือเดินและระยะห่างตลิ่ง) และร่องน้ำช่วงทางโค้ง

6.1.1 มิติตามแนวดิ่ง

มิติตามแนวดิ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ความลึกร่องน้ำ กับความสูงช่องลอด

PIANC กำหนดความลึกร่องน้ำจาก 3 ปัจจัยโดยตามแสดงใน**รูปที่ 6 -1** ประกอบด้วย (1) ปัจจัยที่มาจากระดับน้ำ (2) ปัจจัยที่มาจากเรือ และ (3) ปัจจัยเกี่ยวกับพื้นท้องน้ำ ซึ่งมีรายละเอียดการพิจารณา ดังนี้

ปัจจัยด้านระดับน้ำ มี 2 องค์ประกอบ คือ ระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงขณะเรือเดินในร่องน้ำ กับสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวย โดยในกรณีที่ร่องน้ำยาวมากจนระดับน้ำเปลี่ยนแปลงอย่างสำคัญ PIANC แนะนำให้แยกพิจารณาร่องน้ำเป็นส่วน ๆ

ปัจจัยเกี่ยวกับเรือ มี 6 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) ความไม่แน่นอนในการระบุระยะกินน้ำลึกของเรือ (2) การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของน้ำ (3) การเปลี่ยนแปลงระยะกินน้ำลึกจาก squat[5] และ dynamic trim[6] (4) dynamic heel (5) ผลกระทบจากคลื่น และ (6) ช่องว่างใต้ท้องเรือสุทธิ ค่าที่ PIANC แนะนำให้ใช้สำหรับการออกแบบเบื้องต้นแสดงใน**ตารางที่ 6 - 1**

ปัจจัยเกี่ยวกับพื้นท้องน้ำ มี 3 องค์ประกอบ ได้แก่ (1) ความไม่แน่นอนของระดับพื้นท้องน้ำจากความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด แนะนำให้ไม่น้อยกว่า 0.1 เมตร (2) ตะกอนที่ตกระหว่างรอบการขุดลอก แนะนำให้ไม่น้อยกว่า 0.2 เมตร แต่ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของความลึกร่องน้ำ และ (3) ความคลาดเคลื่อนของการขุดลอก แนะนำให้อยู่ระหว่าง 0.2 – 0.5 เมตร ขึ้นกับคุณลักษณะตะกอนพื้นท้องน้ำและชนิดเครื่องมือขุดลอก[7]

สำหรับช่องว่างระหว่างส่วนที่สูงสุดของเรือถึงสิ่งกีดขวาง (ADC: Air Draft Clearance) PIANC แนะนำให้เท่ากับร้อยละ 5 ของระยะจากผิวน้ำถึงส่วนที่สูงสุดของเรือ (H_{st}) แต่ไม่น้อยกว่า 2 เมตร[8]

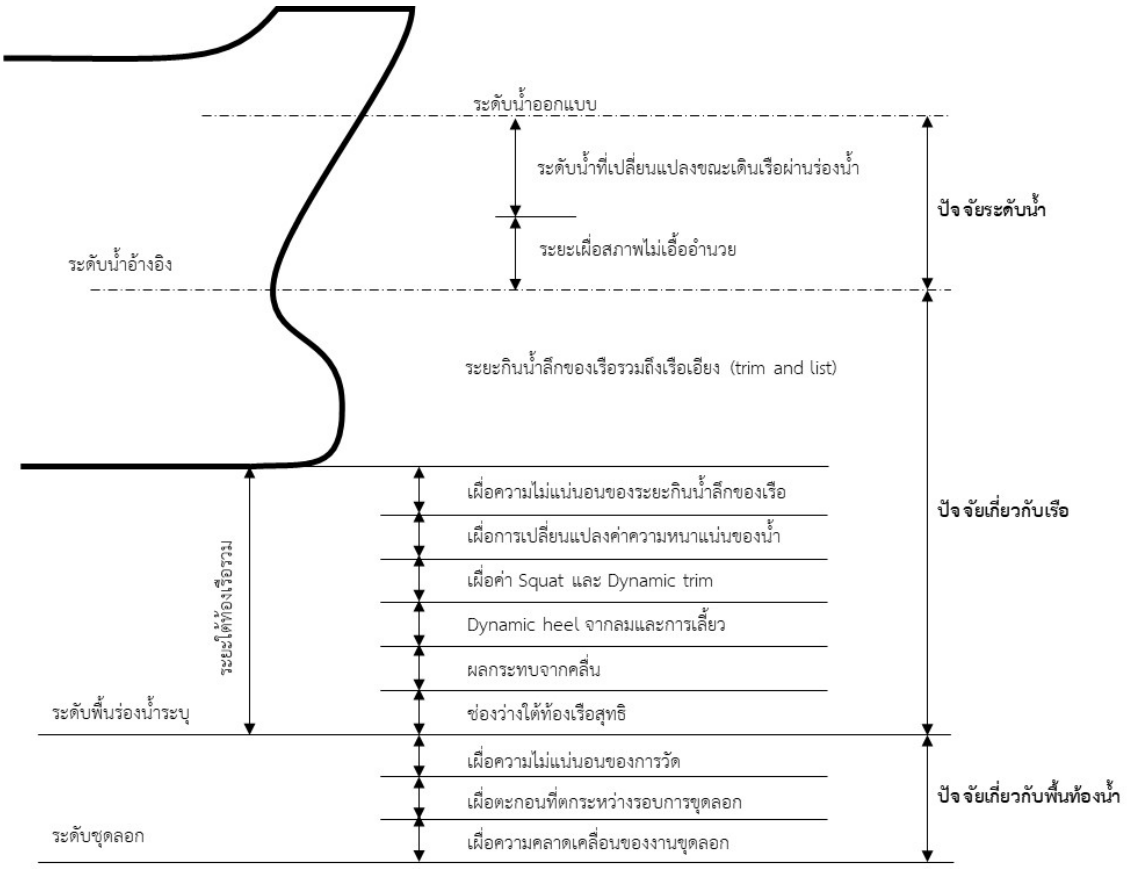
---

[5] เมื่อเรือเคลื่อนที่ มวลน้ำที่ถูกตัวเรือแทนที่จะเคลื่อนที่หลบออกไป ความเร็วน้ำที่เคลื่อนที่หลบออกไปทำให้แรงดันน้ำและระดับน้ำลดลง ลักษณะดังกล่าวทำให้เรือจมน้ำมากขึ้น เรียกว่า squat ระยะที่ตัวเรือจมมากขึ้นด้านหัวเรือปกติไม่เท่ากับด้านท้ายเรือขึ้นกับรูปทรงเรือ โดยเรือบรรทุกน้ำมันซึ่งมีค่า block coefficient > 0.8 มีระยะจมด้านหัวเรือมากกว่าด้านท้ายเรือ

[6] การ trim เรือ หมายถึง การถ่วงน้ำหนักสินค้า หรือน้ำอับเฉา ให้หัวเรือกับท้ายเรือจมไม่เท่ากัน วัตถุประสงค์ของการ trim เรือ คือ เพื่อเพิ่มเสถียรภาพ และ/หรือความสามารถในการควบคุมเรือ เช่น trim ท้ายเรือเพื่อให้ใบจักรจมน้ำมากขึ้น ต้องการเผื่อค่า squat ซึ่งปกติทำให้หัวเรือจมน้ำมากกว่าท้ายเรือ เป็นต้น dynamic trim หมายถึงตัวเรือเอียงมากขึ้นขณะเคลื่อนที่จากผลของ squat

[7] PIANC, 2014, Harbour Approach Channel Design Guidelines หน้า 61

[8] PIANC, 2014, Harbour Approach Channel Design Guidelines หน้า 39



ที่มา: ปรับจาก PIANC, 2014, Harbour Approach Channel Design Guidelines รูปที่ 2.1 หน้า 23

รูปที่ 6 - 1 ความลึกร่องน้ำ

ตารางที่ 6 - 1 คำแนะนำความลึกร่องน้ำและระยะพ้นน้ำในการออกแบบเบื้องต้นของ PIANC

รายการ	ความเร็วเรือ	คุณลักษณะคลื่น	ชนิดพื้นท้องน้ำ	ร่องด้านใน	ร่องด้านนอก
ความลึกร่องน้ำ	≤ 10 นอต	ทุกเงื่อนไข		1.10 T	
	10-15 นอต			1.12 T	
	> 15 นอต			1.15 T	
	ทุกเงื่อนไข	Low swell (Hs <1 m)			1.15 T – 1.2 T
		Mod. swell 1m < Hs < 2m			1.2 T – 1.3 T
		Heavy swell Hs > 2m			1.3 T – 1.4 T
	ความลึกส่วนเพิ่มจากชนิดพื้นท้องน้ำ				

รายการ	ความเร็วเรือ	คุณลักษณะคลื่น	ชนิดพื้นท้องน้ำ	ร่องด้านใน	ร่องด้านนอก
	ทุกเงื่อนไข	ทุกเงื่อนไข	Mud	-	-
			Sand/clay	0.4 m	0.5 m
			Rock/coral	0.6 m	1.0 m
ช่องว่างระหว่างส่วนสูงสุดของเรือกับอุปสรรค (ADC: Air draft clearance)					
ADC	ทุกเงื่อนไข	ทุกเงื่อนไข		0.05 H_{st}	$0.05H_{st}$ + 0.4 T

หมายเหตุ:

1. ค่าในตารางใช้ในกรณีระยะกินน้ำลึกของเรือมากกว่า 10 เมตร ถ้าระยะกินน้ำลึกของเรือน้อยกว่า 10 เมตร ใช้ 10 เมตร
2. Swell หมายถึง คลื่นที่มีคาบเวลานานกว่า 10 วินาที
3. ระยะกินน้ำลึกของเรือกรณีมี swell ใช้ค่าน้อยเมื่อคาบเวลาคลื่นสั้น และใช้ค่ามากเมื่อคาบเวลาคลื่นยาว
4. ความสูงคลื่นนัยสำคัญขุ้นกับ

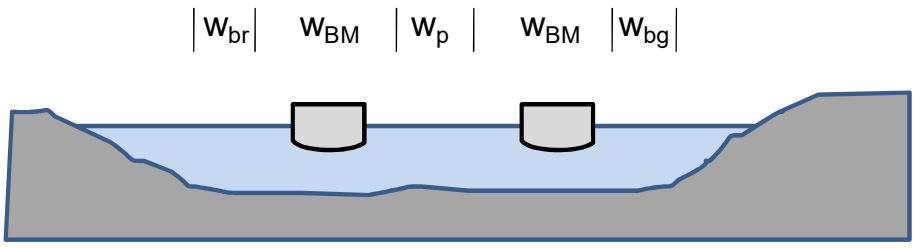
ที่มา: PIANC, 2014, Harbour Approach Channel Design Guidelines, หน้า 38

6.1.2 มิติตามแนวนอน

ตามนิยามของสัญลักษณ์แสดงใน**รูปที่ 6 – 2** PIANC แนะนำให้กำหนดความกว้างร่องน้ำช่วงทางตรงจากผลรวมของความกว้างทางเรือเดินพื้นฐาน (basic manoeuvring lane: W_{BM}) ความกว้างส่วนเพิ่มจากสภาพแวดล้อม ระยะห่างตลิ่ง (Width to bank: W_{bg}, W_{br}) และระยะห่างระหว่างเรือที่เดินสวนกันหรือแซงกัน (Passage Width: Wp) ดังสมการต่อไปนี้

ความกว้างร่องน้ำช่วงทางตรงกรณีเรือเดินทางเดียว

$$W = W_{BM} + \sum W_i + W_{BR} + W_{BG}$$



ที่มา: ประยุกต์จาก PIANC (1997) รูปที่ 5.11 หน้า 23

รูปที่ 6 - 2 มิติทางเดินเรือ

ความกว้างร่องน้ำช่วงทางตรงกรณีเรือเดินสวนทาง

$$W = 2W_{BM} + 2\sum W_i + W_{BR} + W_{BG} + \sum W_P$$

เมื่อ

W ความกว้างร่องน้ำ

W_{BM} ความกว้างทางเรือเดินพื้นฐาน (basic manoeuvring lane) ดู**ตารางที่ 6 - 2**

W_i ความกว้างส่วนเพิ่มจากสภาพแวดล้อม ดู**ตารางที่ 6 - 3**

W_{BR} W_{BG} ระยะห่างตลิ่งฝั่งซ้าย-ขวาดู**ตารางที่ 6 - 4**

W_P ระยะห่างระหว่างเรือที่เดินในพื้นที่เดียวกัน ดู**ตารางที่ 6 - 5**

ตารางที่ 6 - 2 ความกว้างทางเรือเดินพื้นฐาน

รายการ	ความสามารถในการควบคุมเรือ/ความคล่องตัว		
	ดี	ปานกลาง	ต่ำ
ทางเรือเดินพื้นฐาน (W_{BM})	1.3 B	1.5 B	1.8 B

หมายเหตุ:

1. B หมายถึง ความกว้างเรือ
2. เรือที่มีความสามารถในการควบคุม/ความคล่องตัวต่ำส่วนใหญ่เป็นเรือบรรทุกน้ำมัน เรือบรรทุกสินค้าเทกอง เรือที่มีความสามารถระดับปานกลางเป็นเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ เรือบรรทุกรถยนต์ เรือที่มีทางลาดให้รถวิ่งขึ้นลงเรือ เรือบรรทุก LNG และ LPG ส่วนเรือที่มีความสามารถระดับดีหมายถึงเรือ 2 ใบจักร เรือเฟอร์รี่ และเรือบรรทุกคนโดยสาร

ที่มา: PIANC, 2014, Harbour Approach Channel Design Guidelines หน้า 86

ตารางที่ 6 - 3 ความกว้างส่วนเพิ่มจากสภาพแวดล้อม

รายการ	ความเร็วเรือ	ร่องนอก (พื้นที่เปิด)	ร่องใน (พื้นที่ในแนวป้องกัน)
a) ความเร็วเรือเทียบกับน้ำ (V_S)			
$V_S \geq$ 12 นอต	เร็ว	0.1 B	
8 ≤ V_S< 12 นอต	ปานกลาง	0.0	
5 ≤ V_S<8 นอต	ช้า	0.0	
b) ความเร็วลมแนวตั้งฉากร่องน้ำ (V_{CW})			
ลมอ่อน (mild)	เร็ว	0.1 B	
V_{CW}< 15 นอต	ปานกลาง	0.2 B	

รายการ	ความเร็วเรือ	ร่องนอก (พื้นที่เปิด)	ร่องใน (พื้นที่ในแนวป้องกัน)
(< Beaufort 4)	ช้า	0.3 B	
ลมปานกลาง	เร็ว	0.3 B	
15 ≤ V_{CW}< 33 นอต	ปานกลาง	0.4 B	
(Beaufort 4 – Beaufort 7)	ช้า	0.6 B	
ลมแรง	เร็ว	0.5 B	
33 ≤ V_{CW} < 48 นอต	ปานกลาง	0.7 B	
(Beaufort 7 – Beaufort 9)	ช้า	1.1 B	
c) ความเร็วกระแสน้ำแนวขวางร่อง (V_{CC})			
ต่ำไม่ต้องเผื่อ V_{CC} < 0.2 m/s	ทุกเงื่อนไข	0.0	0.0
ต่ำ 0.2 ≤V_{CC} < 0.5 นอต	เร็ว	0.2 B	0.1 B
	ปานกลาง	0.25 B	0.2 B
	ช้า	0.3 B	0.3 B
ปานกลาง	เร็ว	0.5 B	0.4 B
0.5 ≤ V_{CC} < 1.5 นอต	ปานกลาง	0.7 B	0.6 B
	ช้า	1.0 B	0.8 B
ไหลแรง	เร็ว	1.0 B	-
1.5 ≤ V_{CC} < 2.0นอต	ปานกลาง	1.2 B	-
	ช้า	1.6 B	-
d) ความเร็วกระแสน้ำแนวร่องน้ำ (V_{lc})			
ต่ำ ไม่ต้องเผื่อ V_{lC} < 1.5 นอต	ทุกเงื่อนไข	0.0	
ปานกลาง	เร็ว	0.0	
1.5 ≤ V_{lC} <3 นอต	ปานกลาง	0.1 B	
	ช้า	0.2 B	
ไหลแรง	เร็ว	0.1 B	
V_{lC} ≥ 3 นอต	ปานกลาง	0.2 B	
	ช้า	0.4 B	
e) คลื่นเข้าด้านข้างลำถึง ¼ จากท้าย			
H_s ≤ 1 m	ทุกเงื่อนไข	0.0	0.0
1 < H_s< 3 m	ทุกเงื่อนไข	~ 0.5 B	-
H_s ≥ 3 m	ทุกเงื่อนไข	~ 1.0 B	-
f) เครื่องหมายช่วยการเดินเรือ			
ดีมาก		0.0	

รายการ	ความเร็วเรือ	ร่องนอก (พื้นที่เปิด)		ร่องใน (พื้นที่ในแนวป้องกัน)	
ดี		0.2 B			
ปานกลาง		0.4 B			
g) ลักษณะพื้นท้องน้ำ					
มากกว่า 1.5 T		0.0			
น้อยกว่า 1.5 T พื้นเรียบและอ่อน		0.1 B			
ขรุขระและแข็ง		0.2 B			
h) ความลึกน้ำ		h ≥ 1.5T	0.0	h ≥ 1.5T	0.0
		1.5T > h ≥ 1.25T	0.1 B	1.5T > h ≥ 1.15T	0.2 B
		H < 1.25T	0.2 B	H < 1.15T	0.4 B
i) ความอันตรายของสินค้า		ดูหมายเหตุด้านล่าง			

หมายเหตุ:

1) B หมายถึง ความกว้างเรือ
2) ข้อกำหนดรายการ b) ความกว้างส่วนเพิ่มกรณีความเร็วลมแนวตั้งฉากฯ ที่กำหนดเป็นกรณีเรือมีอัตราส่วนพื้นที่รับลมต่อพื้นที่ส่วนที่จมน้ำสมดุลกัน ได้แก่ เรือบรรทุกน้ำมัน เรือบรรทุกสินค้าเทกอง ในสภาพบรรทุกสินค้าเต็มระวาง รวมถึงเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ LNG และ LPG เรือที่มีพื้นที่รับลมมากเป็นพิเศษ เช่น เรือบรรทุกผู้โดยสาร เรือบรรทุกล้อเลื่อน และเรือบรรทุกรถยนต์ ต้องบวกความกว้างส่วนเพิ่มอีก 0.2 B
3) ข้อกำหนดรายการ c) และ d) หากความเร็วกระแสน้ำเปลี่ยนแปลงตามความยาว แนะนำให้แบ่งร่องน้ำเป็นส่วน ๆ ตามตำแหน่งที่ความเร็วกระแสน้ำเปลี่ยนแปลง และหากความเร็วกระแสน้ำแนวขวางร่องน้ำเร็วถึง 2 นอต แนะนำให้ปรับแนวร่องน้ำแทนการขยายความกว้างร่องน้ำ
4) ข้อกำหนดรายการ e) ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง คลื่นที่เคลื่อนตัวเข้าด้านหัวเรือกับท้ายเรือส่งผลต่อ heave และ pitch ซึ่งไม่เกี่ยวกับความกว้างร่องน้ำ ในขณะที่คลื่นที่เคลื่อนตัวเข้าด้านข้างส่งผลต่อ roll และ drift ซึ่งเกี่ยวข้องกับความกว้างร่องน้ำ
5) ข้อกำหนดรายการ f) ใช้นิยามดีมาก ดี และปานกลาง ดังนี้
   ดีมาก หมายถึง มีทุ่นกำกับร่องน้ำทั้งสองด้าน มีการติดตั้งวัสดุสะท้อนสัญญาณเรดาร์ที่ทุ่น มีไฟนำ (leading light) มีระบบควบคุมการจราจร (VTS: Vessel traffic services) มีเจ้าหน้าที่นำร่อง และมีอุปกรณ์แสดงตำแหน่งเรือจากสัญญาณดาวเทียม (DGPS: Differential global navigation satellite positioning systems) และมีแผนที่เดินเรืออิเล็กทรอนิกส์ (ECDIS: Electronic chart display and information system)
   ดี หมายถึง มีทุ่นกำกับร่องน้ำทั้งสองด้าน มีการติดตั้งวัสดุสะท้อนสัญญาณเรดาร์ที่ทุ่น มีไฟนำมีเจ้าหน้าที่นำร่อง และมีอุปกรณ์แสดงตำแหน่งเรือจากสัญญาณดาวเทียม
   ปานกลาง หมายถึง มีความสมบูรณ์ของระบบต่ำกว่าความต้องการข้างต้น
6) ข้อกำหนดรายการ g) มีผลกระทบเฉพาะในน้ำตื้น พื้นร่องน้ำที่เรียบและอ่อน รวมถึงทรายแป้งและโคลนมีผลต่อความสามารถในการควบคุมและกำลังขับเคลื่อนของเรือ พื้นร่องน้ำที่แข็ง เช่น หิน ปะการัง มีโอกาสทำให้ท้องเรือเสียหายถ้าติดตื้น แต่ถ้าความลึกน้ำมากกว่า 1.5 เท่า ของระยะกินน้ำลึกของเรือ ก็ไม่จำเป็นต้องเพิ่มความกว้าง

7) ข้อกำหนดรายการ h) การใช้คำแนะนำนี้ต้องตรวจสอบค่า Froude depth number และอัตราส่วน h/T การเพิ่มความกว้างเมื่อช่องว่างระหว่างท้องเรือกับพื้นท้องน้ำน้อย ๆ มีความจำเป็นเพราะมวลน้ำไหลผ่านใต้ท้องเรือขณะเคลื่อนที่ไม่สะดวก

8) ข้อกำหนดรายการ i) สินค้าอันตรายตามข้อกำหนด IMO ได้แก่ สารพิษ ระเบิด สารมีโอกาสก่อให้เกิดมลภาวะ สารติดไฟ และสารที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน โดยทั่วไปไม่มีข้อกำหนดให้เพิ่มความกว้างร่องน้ำสำหรับการขนส่งสินค้าอันตราย แนวทางปฏิบัติเป็นการเพิ่มมาตรการความปลอดภัย เช่น ลดความเร็ว การกำกับติดตามของเจ้าหน้าที่ VTS การมีเรือตรวจการ จนถึงการเปลี่ยนชนิดทางเดินเรือจากเดินเรือสองทางเป็นเดินเรือทางเดียว เป็นต้น

ที่มา: PIANC, 2014, Harbour Approach Channel Design Guidelines, หน้า 87 - 89

ตารางที่ 6 - 4 ระยะห่างตลิ่ง

ลักษณะตลิ่ง	ความเร็วเรือ	ร่องนอก (ทะเลเปิด)	ร่องใน (พื้นที่ในแนวป้องกัน)
ความลาดตลิ่งส่วนที่อยู่ใต้ผิวน้ำเปลี่ยนแปลงน้อย (น้อยกว่า 1: 10)	เร็ว	0.2 B	0.2 B
	ปานกลาง	0.1 B	0.1 B
	ช้า	0.0 B	0.0 B
ตลิ่งลาดมีขอบและที่ตื้น	เร็ว	0.7 B	0.7 B
	ปานกลาง	0.5 B	0.5 B
	ช้า	0.3 B	0.3 B
ตลิ่งแข็งและชัน	เร็ว	1.3 B	1.3 B
	ปานกลาง	1.0 B	1.0 B
	ช้า	0.5 B	0.5 B

หมายเหตุ: W_{BR} กับ W_{BG} หมายถึง ตลิ่งด้านที่ใช้เครื่องหมายทุ่นขอบร่องน้ำสีแดง กับสีเขียว ตามลำดับ

ที่มา: PIANC, 2014, Harbour Approach Channel Design Guidelines, หน้า 89

ตารางที่ 6 - 5 ระยะห่างระหว่างเรือที่เดินสวนกันหรือแซงกัน

ความเร็วเรือ	ร่องนอก (ทะเลเปิด)	ร่องใน (พื้นที่ในแนวป้องกัน)
$V_S \geq 12$ นอต	2.0 B	1.8 B
$8 \leq V_S < 12$ นอต	1.6 B	1.4 B
$5 \leq V_S < 8$ นอต	1.2 B	1.0 B

หมายเหตุ:

1. B หมายถึง ความกว้างเรือ
2. เรือเดินแซงกันต้องการความกว้างร่องน้ำมากกว่ากรณีเรือเดินสวนกัน แต่ปกติไม่พิจารณาความต้องการดังกล่าวในขั้นออกแบบเบื้องต้น

ที่มา: PIANC, 2014, Harbour Approach Channel Design Guidelines, หน้า 90

6.1.3 ทางเดินเรือช่วงทางโค้ง

การเดินเรือในทางโค้งภายใต้สภาพแวดล้อมน้ำนิ่ง ไม่มีลม และน้ำลึก เรือที่มีความคล่องตัวปานกลางถึงดีสามารถเลี้ยวโดยใช้รัศมีโค้งระหว่าง 2 – 3 เท่า ของความยาวเรือ แต่รัศมีโค้งที่เรือเดินเพิ่มเป็น 5 เท่า ของความยาวเรือ หรือมากกว่าถ้าอัตราส่วนความลึกน้ำต่อระยะกินน้ำลึกของเรือลดลงเหลือ 1.2 ส่วนความกว้างส่วนเพิ่มช่วงทางโค้งซึ่งขึ้นกับผลรวมของ drift angle กับการตอบสนองของผู้ควบคุมเรือเมื่อเรือ drift ออกนอกร่องน้ำ พบว่าแปรผันกลับกับรัศมีโค้ง คือ เมื่อรัศมีโค้งเพิ่มขึ้น ความกว้างส่วนเพิ่มก็ลดลง โดย PIANC แนะนำวิธีประเมินรัศมีโค้ง และความกว้างส่วนเพิ่มช่วงทางโค้ง ดังนี้

รัศมีโค้ง

$$R_C = \frac{L_{OA}}{(K_R \delta_R)}$$

ความกว้างส่วนเพิ่มเนื่องจาก drift angle

$$\Delta W_{DA} = \frac{L_{OA}^2}{aR_C}$$

ความกว้างสำหรับเวลาตอบสนอง

$$\Delta W_{RT} = 0.4B$$

เมื่อ

R_C รัศมีโค้ง

L_{OA} ความยาวเรือตลอดลำ

K_R ค่าดัชนีแสดงความสามารถในการเลี้ยว ไม่มีหน่วย ดู**ตารางที่ 6 - 6**

δ_R มุมเลี้ยวหางเสือ ปกติไม่เกิน 20 องศา[9]

ΔW_{DA} ความกว้างส่วนเพิ่มจาก drift angle ช่วงทางโค้ง

ΔW_{RT} ความกว้างส่วนเพิ่มจากเวลาที่ใช้ในการตอบสนอง

a ปัจจัยขึ้นกับชนิดเรือ = 8 กรณีเรือทั่วไป, = 4.5 สำหรับเรือมีค่า $C_B \geq 0.8$

B ความกว้างเรือ

ตารางที่ 6 - 6 ค่าดัชนีความสามารถในการเลี้ยวของเรือ

ลำดับ	ชนิดเรือ	K’
1	Cargo Ship	0.58
2	Small Cargo Ship	0.47
3	Container Ship (Over Panamax)	0.42
4	Container (Panamax)	0.52
5	Very Large Bulk Carrier	0.52
6	Large Bulk Carrier (Panamax)	0.49
7	Small Bulk Carrier	0.62
8	VLCC	0.62
9	Small Tanker	0.60
10	LNG Ship	0.75
11	Refrigerated Cargo Carrier	0.63
12	Passenger Ship (2 เพลา 2 ใบจักร)	0.66
13	Ferry boat (2 เพลา 1 ใบจักร)	0.55

หมายเหตุ: ประเมินจาก fully nonlinear equation กรณีอัตราส่วนความลึกน้ำต่อระยะกินน้ำลึกของเรือ = 1.2, K_R = K’

ที่มา: Inoue et al., 1981, A Practical Calculation Method of Ship Manoeuvring Motion, ISP (International Shipbuilding Progress), Vol.28, No.325 อ้างถึงโดย PIANC, 2014, Harbour Approach Channels Design Guidelines หน้า 293

[9] การใช้มุมหางเสือไม่เกิน 20 องศา มีวัตถุประสงค์เพื่อสำรองมุมหางเสือสำหรับคัดเรือให้สู้กับลม และทิศกระแสน้ำ

6.2 แนวคิดการออกแบบ

การศึกษาปัญหาร่องน้ำสงขลาที่ต้องการแก้ไขเสนอในบทที่ 2 รวมกับการศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิเสนอในบทที่ 3 การสำรวจภาคสนามเสนอในบทที่ 4 และการศึกษาวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำเสนอในบทที่ 5 บริษัทที่ปรึกษาพบข้อสังเกต/ข้อจำกัดซึ่งเป็นที่มาของแนวคิดในการออกแบบเกี่ยวกับ (1) ขนาดเรือใช้งาน (2) ปัญหาการเดินเรือผ่านร่องน้ำในปัจจุบัน (3) ข้อจำกัดการปรับปรุงร่องน้ำ (4) ข้อสังเกตบริษัทที่ปรึกษา และ (5) แนวทางปรับปรุงที่เป็นไปได้ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ขนาดเรือใช้งาน

การศึกษาข้อมูลเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลาของบริษัทเจ้าพระยาท่าเรือสากล จำกัด ปี พ.ศ. 2559 พบว่าเรือลำที่ยาวที่สุดเป็นเรือบรรทุกสินค้าทั่วไปชื่อเรือ ARSHAM ความยาวตลอดลำ 190 เมตร ความกว้างที่ตำแหน่งกึ่งกลางลำ 32.27 เมตร กินน้ำลึก 6.5 เมตร ขนาดระวางบรรทุก 32,474 ตันกรอส ส่วนเรือลำที่กินน้ำลึกมากที่สุดเป็นเรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ ชื่อเรือ SINAR BANDUNG ความยาวตลอดลำ 147 เมตร ความกว้างที่ตำแหน่งกึ่งกลางลำ 25 เมตร กินน้ำลึก 7.9 เมตร ขนาดระวางบรรทุก 12,563 ตันกรอส

ขนาดเรือที่เดินเข้าออกท่าเรือสงขลาข้างต้นใหญ่กว่าขนาดเรือตามข้อกำหนดของกรมเจ้าท่า[10] ที่กำหนดให้เรือเดินเข้าออกร่องน้ำสงขลาร่องนอกต้องมีความยาวตลอดลำไม่เกิน 180 เมตร (590 ฟุต 7 นิ้ว) ความกว้างที่ตำแหน่งกึ่งกลางลำไม่เกิน 26 เมตร (85 ฟุต 4 นิ้ว) และมีอัตรากินน้ำลึกสูงสุดไม่เกิน 7.5 เมตร (24 ฟุต 7 นิ้ว)

การพิจารณาความเหมาะสมของร่องนอกจึงพิจารณาทั้งขนาดเรือตามข้อกำหนด และขนาดเรือที่มีการใช้งานจริง

สำหรับเรือที่ใช้ร่องใน การตรวจสอบพบว่าเรือหะรินทรานสปอร์ต 14 มีขนาดใหญ่ที่สุด ความยาวตลอดลำ 67.55 เมตร ความกว้างที่ตำแหน่งกึ่งกลางลำ 11.5 เมตร กินน้ำลึก 6.1 เมตร ขนาดระวางบรรทุก 499.99 ตันกรอส ในขณะที่ข้อกำหนดของกรมเจ้าท่ากำหนดให้เรือที่เดินผ่านเข้าออกทะเลสาบสงขลาต้องมีความยาวตลอดลำไม่เกิน 110 เมตร (360 ฟุต 11 นิ้ว) และมีอัตรากินน้ำลึกไม่เกิน 5.5 เมตร ซึ่งเนื่องจากระยะกินน้ำลึกของเรือขึ้นกับน้ำหนักสินค้าที่บรรทุกจึงพิจารณาว่าเรือที่ใช้ร่องในอยู่ในเกณฑ์ตามข้อกำหนดของกรมเจ้าท่า

การพิจารณาความเหมาะสมของร่องในจึงพิจารณาเฉพาะขนาดเรือตามข้อกำหนด

---

[10] ระเบียบกรมเจ้าท่าว่าด้วยข้อกำหนด หลักเกณฑ์ การควบคุมและการขอใช้บริการนำร่องรัฐบาลเขตท่าเรือจังหวัดสงขลา พ.ศ. 2541

ปัญหาการเดินเรือผ่านเข้าออกร่องน้ำสงขลา

จากการศึกษาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ผนวกกับการสัมภาษณ์ผู้ควบคุมเรือและเจ้าหน้าที่นำร่อง สามารถสรุปปัญหาการเดินเรือผ่านเข้าออกร่องน้ำสงขลาได้ ดังนี้

(1) การเดินเรือผ่านเข้าออกแอ่งจอดเรือท่าเรือสงขลามีปัญหาทิศกระแสน้ำไหลขวางทางเรือเดิน (กระแสน้ำไหลเข้าออกทะเลสาบสงขลา) ทำให้การควบคุมเรือทำได้ยากโดยเฉพาะการเดินเรือขาเข้า เพราะเมื่อเลี้ยวโค้งผ่านร่องนอกก็ถึงตำแหน่งหยุดเรือเพื่อเทียบท่า[11]

(2) ความกว้างร่องนอกที่กำหนดไว้ 120 เมตร แคบกว่าความกว้างร่องตามคำแนะนำของ PIANC ซึ่งตามเงื่อนไขสภาพแวดล้อมของร่องน้ำควรกว้างไม่น้อยกว่า 5.1 เท่า ของความกว้างเรือลำที่กว้างที่สุด[12] ทั้งกรณีขนาดเรือตามข้อกำหนดกรมเจ้า (ความกว้างเรือไม่เกิน 26 เมตร) และกรณีขนาดเรือใช้งานจริง (ความกว้างเรือ 32.27 เมตร)

(3) รัศมีโค้งของร่องนอกของโค้งที่ 2 กับโค้งที่ 3 ต่ำกว่าค่าแนะนำของ PIANC ที่กำหนดไว้ 5 เท่าของความยาวเรือทั้งกรณีขนาดเรือตามข้อกำหนดของกรมเจ้าท่า (ความยาวเรือตลอดลำไม่เกิน 180 เมตร) และขนาดเรือใช้งานจริง (ความยาวตลอดลำ 190 เมตร)

(4) ความยาวของทางตรงที่อยู่ระหว่างทางโค้งน้อยกว่าคำแนะนำของ PIANC ที่กำหนดให้ไม่น้อยกว่า 5 เท่า ของความยาวเรือลำที่ยาวที่สุด[13] ทั้งกรณีความยาวเรือตามข้อกำหนดกรมเจ้าท่า และกรณีความยาวตลอดลำที่ใช้พื้นที่จริง

(5) ขอบเขตร่องน้ำไม่ได้แยกส่วนที่เป็นทางเดินเรือออกจากพื้นที่จอดเรือ ทำให้แนวร่องน้ำสำหรับทางเรือเดินไม่ชัดเจน แนวกึ่งกลางร่องห่างจากท่าเรือ 98 เมตร น้อยกว่าผลรวมของความกว้างเรือ ระยะห่างตลิ่ง และครึ่งหนึ่งของความกว้างร่อง

ข้อจำกัดการปรับปรุงร่องน้ำ

(1) แนวร่องนอกมีเขื่อนกันทรายและคลื่นซึ่งก่อสร้างไว้เดิมขนาบทั้งด้านซ้ายและด้านขวาทำให้การปรับปรุงแนวร่องน้ำทำได้ยากถึงทำไม่ได้ (ไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ)

(2) แนวร่องในถูกกำกับจากแนวตลิ่งและที่ตื้นตามธรรมชาติทำให้การออกแบบร่องในมีข้อจำกัดแบบเดียวกับร่องนอก คือ ปรับปรุงได้ยากถึงปรับปรุงไม่ได้ (ไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ)

---

[11] การควบคุมเรือความเร็วช้า (ลดความเร็วเพื่อเข้าเทียบท่า) ยากกว่าเรือความเร็วปกติเพราะเมื่อเดินด้วยความเร็วต่ำแรงที่กระทำกับหางเสือเรือจะมีค่าลดลงจึงควบคุมเรือให้เปลี่ยนทิศทางได้ยาก

[12] กำหนดจากเงื่อนไข (1) ความสามารถในการควบคุมเรือปานกลาง (2) ความเร็วลมแนวขวางร่องน้ำขนาดปานกลาง 15 – 33 นอต (3) กระแสน้ำไหลขวางแนวร่องน้ำ 0.5 – 1.5 นอต (3) ความสูงคลื่นนัยสำคัญ 1 – 3 เมตร (4) เครื่องหมายช่วยการเดินเรืออยู่ในระดับดี (5) พื้นท้องน้ำเรียบและอ่อน (6) ความลึกน้ำน้อยกว่า 1.25 เท่า ของระยะกินน้ำลึกของเรือ ความอันตรายของสินค้ามาก

[13] PIANC (2014), Harbour Approach Channels Design Guidelines, p.76

(3) งานศึกษาจัดทำแผนแม่บทร่องน้ำในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2545 ระบุว่าการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นปิดล้อมแอ่งจอดเรือด้านทิศเหนือเพื่อป้องกันคลื่นให้ท่าเรือขนถ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ตะกอนตกในแอ่งจอดเรือโดยไม่ได้ระบุขนาดผลกระทบ[14] การแก้ไขโดยเปิดเขื่อนกันคลื่นจะทำให้คลื่นเคลื่อนที่เข้ามาในแอ่งจอดเรือ เกิดผลเสียกับการนำเรือเข้าออกท่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ใช้งานในปัจจุบัน ดังนั้น แม้ข้อความที่ระบุในรายงานแผนแม่บทร่องน้ำในประเทศไทยจะเป็นความจริงก็ทำการรื้อเขื่อนกันคลื่นเพื่อแก้ไขไม่ได้

ข้อสังเกตบริษัทที่ปรึกษา

(1) งานศึกษาปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำสงขลา ปี พ.ศ. 2541 (เป็นส่วนหนึ่งของโครงการศึกษาเพื่อขยายท่าเทียบเรือสงขลา) มีข้อเสนอให้ก่อสร้างรอบังคับกระแสน้ำด้านทิศใต้ยาว 150 เมตร กับรอบังคับกระแสน้ำด้านทิศเหนือยาว 50 เมตร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมการไหลของกระแสน้ำให้ไม่ตัดขวางทางเรือเดินเข้าท่าเรือสงขลา กับเพื่อรักษาความเร็วกระแสน้ำที่ไหลในร่องให้สามารถพัดพาตะกอนออกไปได้ แต่เนื่องจากโครงการขยายท่าเรือสงขลามีความเป็นไปได้ต่ำ ในที่สุดจึงไม่มีการดำเนินงาน โครงการศึกษาวิเคราะห์ตะกอนตกในร่องน้ำสงขลาควรทบทวนข้อเสนอดังกล่าวเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพและประสิทธิผลของวิธีแก้ไขปัญหา

(2) การตรวจสอบแนวร่องในที่ปรากฏในแบบร่องน้ำปัจจุบันพบว่าแนวร่องน้ำช่วงทางตรงกับทางโค้งไม่ต่อเนื่องกัน คือ ทิศแนวร่องน้ำของทางตรงที่จุดเริ่มโค้งไม่เท่ากับทิศแนวร่องน้ำของทางโค้งที่จุดเดียวกัน

(3) การไม่ได้แยกทางเดินเรือออกจากแนวร่องน้ำทำให้พื้นที่หน้าท่าของท่าเรือสงขลาเป็นพื้นที่ต่อเนื่องรวมอยู่กับแอ่งท่าเรือ (Harbour basin) และร่องน้ำ (navigation channel) แนวทางที่เหมาะสม คือ แยกส่วนที่เป็นทางเดินเรือที่กรมเจ้าท่ามีภาระหน้าที่ต้องประกันความลึกร่องน้ำออกจากพื้นที่หน้าท่าซึ่งพิจารณาว่าเป็นภาระหน้าที่ของผู้บริหารท่า

(4) ขอบเขตงานศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำทางเดินเรือครอบคลุมถึงออกแบบร่องน้ำทางเดินเรือของท่าเรือสงขลาทั้งร่องน้ำด้านนอกและด้านใน แต่ข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติไม่ได้กำหนดให้รวมงานออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่น รอบังคับกระแสน้ำ ฯลฯ ซึ่งจำเป็นต้องมีผู้เชี่ยวชาญอีกหลายสาขาที่ข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติไม่ได้ระบุให้ที่ปรึกษาจัดให้อยู่ในคณะทำงาน การออกแบบร่องน้ำในโครงการจึงทำได้เฉพาะส่วนที่เป็นข้อจำกัดทางเดินเรือ จากที่บางส่วนไม่สอดคล้องกับคำแนะนำของ PIANC เป็นให้สอดคล้อง (เท่าที่เป็นไปได้) รวมถึงการประเมินปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำที่ออกแบบ การประเมินประสิทธิผลของรอบังคับน้ำที่เป็นข้อเสนอในโครงการขยายท่าเรือสงขลาปี พ.ศ. 2541 และผลกระทบจากการปิดกั้นเขื่อนกันคลื่นที่เป็นข้อสังเกตในงานศึกษาจัดทำแผนแม่บทร่องน้ำปี พ.ศ. 2545

---

[14] Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for the Coastal Channels and Ports Development in the Kingdom of Thailand, p.7 - 46

ขั้นตอนการออกแบบ

(1) ออกแบบร่องนอกให้ได้ความกว้างร่องน้ำ รัศมีโค้ง และความยาวของทางตรงระหว่างทางโค้ง ตามคำแนะนำของ PIANC และแยกทางเรือเดินออกจากพื้นที่หน้าท่า

(2) ออกแบบร่องในให้ทิศของแนวร่องน้ำช่วงทางตรงที่จุดเริ่มโค้งต่อเนื่องกับแนวร่องน้ำช่วงทางโค้ง

(3) จัดทำแบบแสดงแนวร่องน้ำและขอบเขตงานขุดลอก ครอบคลุมทั้งร่องใน ร่องนอก แอ่งจอดเรือ และพื้นที่หน้าท่าเรือสงขลา

(4) นำแบบร่องน้ำมาประเมินปริมาณตะกอนที่ตกในร่องนอกและร่องในหลังขุดลอกจนได้ความลึกร่องน้ำ 9 เมตร กับ 7 เมตร ตามลำดับ

(5) ให้คำแนะนำค่าระดับงานขุดลอกเผื่อปริมาณตะกอนที่ตกระหว่างรอบระยะเวลาขุดลอก (advance dredging)

6.3 รายละเอียดการออกแบบร่องน้ำสงขลา ร่องนอก

การออกแบบรายละเอียดร่องน้ำสงขลาร่องนอกตามผลลัพธ์แสดงใน**รูปที่ 6 – 3** กับ**ตารางที่ 6 – 7** มีรายละเอียดการดำเนินงาน ดังนี้

(1) รักษาแนวร่องน้ำจาก กม. 0 ถึง ทุ่นปากร่อง และยกเลิกแนวร่องน้ำที่เหลือทั้งหมด

(2) กำหนดความกว้างของพื้นที่ขุดลอกหน้าท่าก่อนถึงขอบร่องน้ำให้เท่ากับผลรวมของความกว้างเรือลำที่กว้างมากที่สุดกับระยะห่างระหว่างทางเดินเรือกับเรือที่จอดเทียบท่าตามคำแนะนำของ PIANC

(3) กำหนดความกว้างทางเดินเรือตามคำแนะนำของ PIANC เสร็จแล้วสร้างแนวกึ่งกลางร่องน้ำกับสร้างโค้งระหว่างทางตรงให้มีรัศมีโค้ง

(4) จัดพื้นที่กลับลำตามคำแนะนำของ PIANC (2 เท่าของความยาวเรือตลอดลำ)

ที่มา: การดำเนินงานของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 6 - 3 การออกแบบร่องนอก

ตารางที่ 6 - 7 รายละเอียดการออกแบบร่องนอก

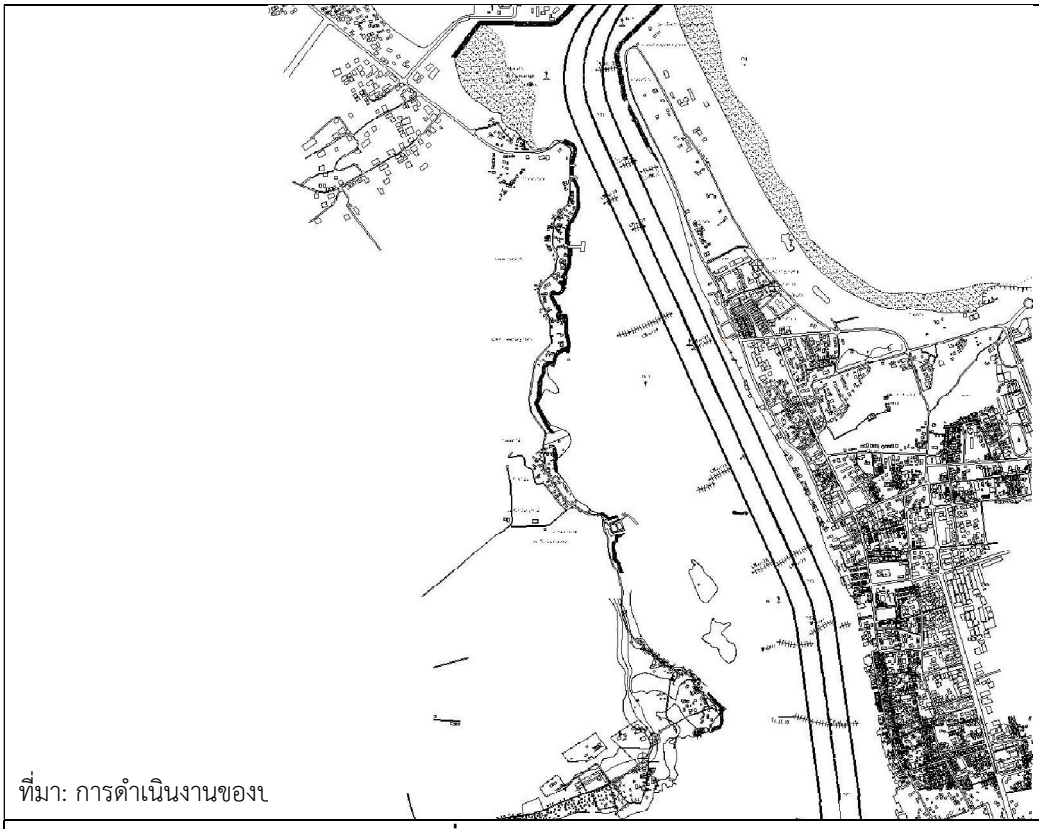
แนวร่องน้ำ	พิกัดจุดเริ่มต้น		พิกัดจุดสิ้นสุด		ระยะทาง (เมตร)	พิกัดจุดศูนย์กลางโค้ง		มุมโค้ง (องศา)	รัศมีโค้ง (เมตร)
	N	E	N	E		N	E		
O→PC1	803123.563	677650.639	799981.296	674613.529	4370.112	-	-	-	-
PC1→PT1	799981.296	674613.529	799691.623	673930.545	762.293	800641.520	673930.445	45.97492	950.000
PT1→PC2	799691.623	673930.545	799691.52	673360.085	570.36	-	-	-	-
รวม					5702.765				

ที่มา: การปฏิบัติงานของบริษัทที่ปรึกษา

6.4 รายละเอียดการออกแบบร่องน้ำสงขลา ร่องใน

การออกแบบรายละเอียดร่องน้ำสงขลาร่องในโดยรวมเป็นการปรับปรุงแนวร่องน้ำให้ต่อเนื่องกัน คือ กำหนดรัศมีโค้งกับจุดศูนย์กลางโค้งให้ทิศของทางเดินเรือช่วงทางโค้งที่จุดเริ่มโค้งมีค่าเท่ากับทิศร่องน้ำของทางเดินเรือช่วงทางตรง

รายละเอียดการออกแบบแสดงใน**รูปที่ 6 – 4** กับ**ตารางที่ 6 – 8**



ที่มา: การดำเนินงานของบ

รูปที่ 6 - 4 การออกแบบร่องใน

ตารางที่ 6 - 8 รายละเอียดการออกแบบร่องใน

แนวร่องน้ำ	พิกัดจุดเริ่มต้น		พิกัดจุดสิ้นสุด		ระยะทาง (เมตร)	พิกัดจุดศูนย์กลางโค้ง		มุมโค้ง (องศา)	รัศมีโค้ง (เมตร)
	N	E	N	E		N	E		
O→PC1	799981.296	674613.529	799403.985	674055.539	802.895	-	-	-	-
PC1→PT1	799403.985	674055.539	798794.268	673950.257	657.135	799021.750	674451.008	68.45644	550.000
PT1→PC2	798794.268	673950.257	796377.143	75048.309	2654.847	-	-	-	-
PC2→PT2	796377.143	75048.309	795256.426	675233.067	211.574	796075.213	674383.675	16.6059	730.000
PT2→PC3	795256.426	675233.067	795256.426	675233.067	926.812	-	-	-	-
PC3→PT3	795256.426	675233.067	794516.956	75107.554	761.780	795086.23	673994.708	34.91742	1250.000
รวม					6015.043				

ที่มา: การปฏิบัติงานของบริษัทที่ปรึกษา

บทที่ 7 การถ่ายทอดเทคโนโลยี

บทที่ 7
การถ่ายทอดเทคโนโลยี

เนื้อหาที่แสดงในบทที่ 7 การถ่ายทอดเทคโนโลยี แสดงรายละเอียดการถ่ายทอดเทคโนโลยีการศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำท่าเรือสงขลา ร่องในและร่องนอก แบ่งเป็น 5 ส่วน ประกอบด้วย (1) การถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยวิทยากรจาก Deltares (2) การเตรียมไฟล์ข้อมูล (3) การใช้แบบจำลองศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำ (4) การจัดทำวีดีทัศน์ และ (5) บทสรุปท้ายบท ซึ่งเป็นการสรุปความด้านการถ่ายทอดเทคโนโลยี

การถ่ายทอดเทคโนโลยีเป็นกิจกรรมสุดท้ายของการดำเนินงานโครงการ เนื้อหาที่แสดงในบทต่อไปเป็นการประมวลสรุปผลการดำเนินงานในโครงการ ซึ่งโดยรวมเป็นการสรุปเนื้อหาที่แสดงในบทที่ 1 ถึงบทที่ 7

7.1 การถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยวิทยากรจาก Deltares

บริษัทที่ปรึกษาจัดฝึกอบรมการใช้แบบจำลอง Delft3D ให้ข้าราชการและพนักงานกรมเจ้าท่าเกี่ยวกับการนำแบบจำลอง Delft3D มาศึกษาวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำสงขลา ระหว่างวันจันทร์ที่ 27 - วันศุกร์ที่ 31 มีนาคม 2560 รวม 5 วัน สถานที่ฝึกอบรม 4 วันแรก และพิธีเปิดการฝึกอบรมเป็นห้องประชุมของกรมเจ้าท่า สถานที่ฝึกอบรมวันสุดท้ายซึ่งรวมถึงพิธีแจกประกาศนียบัตรการเข้ารับการฝึกอบรมเป็นโรงแรมเซนธารา เซ็นทรัล สเตชั่น

วิทยากรที่ทำการฝึกอบรมเป็นวิทยากรจาก Deltares ซึ่งเป็นหน่วยงานที่พัฒนาโปรแกรม Delft3D มี 2 ท่าน คือ Mr. Roderik Hoekstra กับ Mr. Emiel Moerman ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเป็นข้าราชการ/พนักงานราชการของกองสำรวจและแผนที่ กองวิศวกรรม สำนักพัฒนาและบำรุงรักษาทางน้ำ และเจ้าหน้าที่บริษัทที่ปรึกษา

การฝึกอบรมมีทั้งภาคบรรยายและภาคปฏิบัติและมีการนำตัวอย่างจริงของโครงการศึกษาวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำสงขลามาเป็นโจทย์ให้ทดลองปฏิบัติโดยบริษัทที่ปรึกษาได้จัดหาโปรแกรม Delft3D ชนิดจำกัดอายุใช้งาน 3 เดือน มาให้ทดลองใช้ขณะฝึกอบรม ในเวลาต่อมาจึงส่งมอบโปรแกรมชนิดไม่จำกัดอายุใช้งานและไม่จำกัดจำนวนผู้ใช้ให้ผู้เข้ารับการฝึกอบรมนำไปใช้ประโยชน์ในราชการ

หัวข้อการฝึกอบรมครอบคลุมทั้ง Delft3D - FLOW, Delft3D - WAVE, Delft3D - WAVE/SED และ Delft3D – MOR รายละเอียดหัวข้อการฝึกอบรมแสดงใน**ตารางที่ 7–1** ภาพถ่ายการฝึกอบรมแสดงใน**รูปที่ 7-1**

การฝึกอบรมประสบผลสำเร็จด้วยดี มีผู้ได้รับประกาศนียบัตรการเข้ารับการฝึกอบรม จำนวน 14 คน เป็นข้าราชการ/พนักงานราชการของกรมเจ้าท่า จำนวน 8 คน อีก 6 คน เป็นเจ้าหน้าที่บริษัทที่ปรึกษา

7.2 การเตรียมไฟล์ข้อมูล

บริษัทที่ปรึกษาจัดฝึกอบรมการเตรียมไฟล์ข้อมูลเพื่อใช้กับโปรแกรม Delft3D สำหรับโครงการศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำทางเดินเรือ ท่าเรือสงขลา (ร่องในและร่องนอก) จังหวัดสงขลา ในวันที่ 18 พฤษภาคม 2560 ที่ห้องประชุมกองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเป็นเจ้าหน้าที่กองสำรวจและแผนที่ กองวิศวกรรม และเจ้าหน้าที่บริษัทที่ปรึกษา

หัวข้อที่ทำการฝึกอบรมมี 5 หัวข้อ ดังนี้

(1) การเตรียมข้อมูลเส้นแนวชายฝั่งจากแผนที่หรือภาพถ่ายทางอากาศที่เป็นแผ่นกระดาษซึ่งต้องมีการคัดลอก (Digitize) ให้เป็นข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

(2) การเตรียมข้อมูลความลึกพื้นท้องน้ำและเส้นแนวชายฝั่ง (Land Boundary) จากข้อมูลในไฟล์ที่สร้างโดยโปรแกรมเขียนแบบ (Auto Cad)

(3) การเตรียมข้อมูลเส้นแนวชายฝั่งจากรูปแผนที่ในโปรแกรม Google Earth และการแปลงข้อมูลพิกัดลาจิจูด ลองจิจูด เป็น UTM WGS84

(4) การจัดเรียงข้อมูลในโปรแกรม Excel โดยใช้คำสั่งบันทึก Macro

(5) การเตรียมไฟล์ข้อมูล grid, grid enclosure ไฟล์ข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำ ไฟล์ข้อมูลเส้นแนวชายฝั่ง ไฟล์ข้อมูลเงื่อนไขขอบเขตเปิดแบบ Astronomic ไฟล์ข้อมูลสถานีวัดน้ำ ฯลฯ ในโปรแกรม Delft Dashboard

(6) การเตรียมข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำและข้อมูลสภาพภูมิอากาศจาก website ที่เผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะ (ข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำเผยแพร่ใน website https://www.gebco.net ข้อมูลสภาพภูมิอากาศเผยแพร่ใน website https://www.ecmwf.int)

วิทยากรที่ทำการฝึกอบรมเป็นผู้เชี่ยวชาญและเจ้าหน้าที่บริษัทที่ปรึกษา จำนวน 4 คน ประกอบด้วย (1) ดร.สุริยัณห์ สาระมูล (2) นายชัยวัฒน์ เต็มมูล (3) นายสุริยา กิ่งแก้ว และ (4) นางสาวจิตรลดา เจริญสุข

ตารางที่ 7 - 1 หัวข้อฝึกอบรมวันที่ 27 – 31 มีนาคม 2560

Day 1: Delft3D general and -FLOW	Day 2: Delft3D - FLOW	Day 3: Delft3D - WAVE	Day 4: Delft3D – WAVE/SED	Day 5: Delft3D- MOR
- General introduction of the course - Lectures: general overview, modelling aspects, tasks	- Set the learning objectives of the day - Lecture Delft3D – FLOW GUI - Exercise: Defining hydrodynamic input for a Curved Bend Model -	- Set the learning objectives of the day - Lecture: general introduction to waves - Lecture: SWAN	- Set the learning objectives of the day - Exercise: setup a Delft3D FLOW – WAVE computation	- Set the learning objectives of the day - Exercise: Delft3D Estuary model
- Lecture and exercise: Creating a curvilinear grid in Delft3D - RGFGRID	- Exercise: Generating non-uniform bottom roughness for the Western Scheldt - Lecture: Hydrodynamics and Online Visualisation (Delft3D-FLOW) - Exercise: Include salinity before using Online Visualisation in Curved Bend Model - Lecture: Graphical User Interface, 3D model	- Lecture: Delft3D – WAVE GUI - Exercise: Delft3D WAVE GUI and set up an nested wave model	- Lecture: introduction to sediment transport - Exercise: Rousse profile	- Exercise: Delft3D Estuary model (continued)
Lunch break	**Lunch break**	**Lunch break**	**Lunch break**	**Lunch break**
- Lecture and exercise: Creating a model bathymetry in Delft3D - QUICKIN	- Exercise Changing the Curved Bend Model into a 3D model - Lecture: Input/output files and Temperature modelling - Exercise: Adding a power station to a Curved Bend Model	- Exercise: Bretschneider - Lecture: Example of a Delft3D - WAVE computation	- Introduction Delft3D morphodynamics - Exercise: channel migration	- Introduction to Delft3D open source community - Exercise: impacts of a new port
- Lecture and exercise: post processing with Delft3D – QUICKPLOT - Exercise: geometry adjustments in a Hong Kong model - Review and closure of the day	- Review of the day and Evaluation of the course - Review and closure of the day	- Exercise: Storm simulation with a wave timeries boundary condition - Lecture: coupling of Delft3D FLOW and WAVE - Review and closure of the day	- Exercise: channel widening - Review and closure of the day	- Exercise: impacts of a new port (continued) - Review and closure of the day/course

ที่มา: เอกสารประกอบการฝึกอบรมของ Deltares

ที่มา: การปฏิบัติงานของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 7 - 1 ภาพถ่ายการถ่ายทอดเทคโนโลยีโดยวิทยากรจาก Deltares

7.3 การศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำ

บริษัทที่ปรึกษาจัดฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการออกแบบและขุดลอกร่องน้ำภาคปฏิบัติ ให้ข้าราชการและพนักงานราชการ กรมเจ้าท่าจำนวน 2 วัน ระหว่างวันพุธที่ 6 ถึงวันพฤหัสบดีที่ 7 ธันวาคม 2560 สถานที่ฝึกอบรมเป็นห้องประชุม 2 ของกรมเจ้าท่าที่อาคารโทรคมนาคม (CAT Tower) ชั้น 23 เลขที่ 72 ซอยวัดม่วงแค ถนนเจริญกรุง แขวงบางรัก เขตบางรัก กรุงเทพมหานคร

หัวข้อฝึกอบรม ตามแสดงใน**ตารางที่ 7-2** มีรายละเอียดสรุปได้ ดังนี้

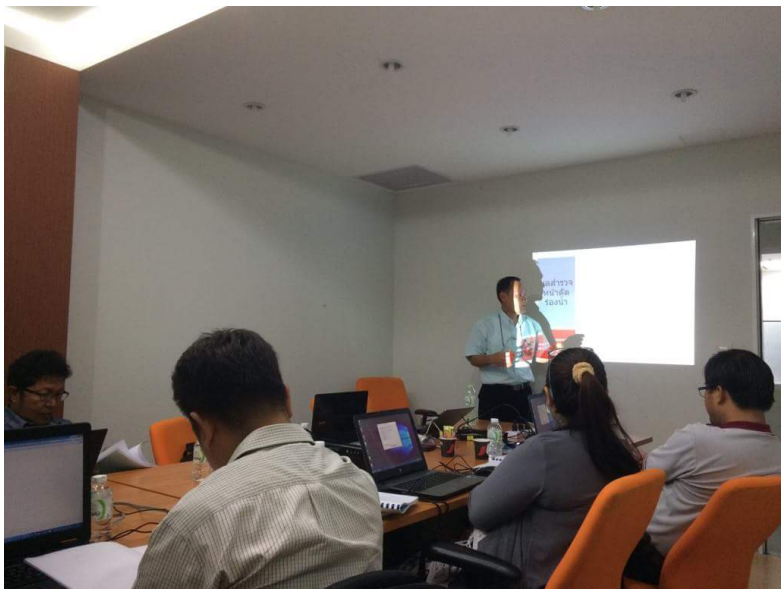
- ปัญหาร่องน้ำสงขลาและภาพรวมการฝึกอบรม
- การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในแบบจำลองครอบคลุมทั้งข้อมูลภูมิประเทศ ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลระดับน้ำ ฯลฯ การจัดเรียงข้อมูลสำหรับนำมาใช้ในโปรแกรม Delft3D แบบเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และระยะเวลา (space – time varying)
- การใช้โปรแกรม Delft3D – FLOW เตรียมแบบจำลองระดับภูมิภาค (ครอบคลุมพื้นที่ในทะเลอ่าวไทยถึงปลายแหลมมลายู) การปรับเทียบและทานสอบแบบจำลองจากข้อมูลสถานีตรวจวัดระดับน้ำของกรมเจ้าท่าและกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
- การใช้โปรแกรม Delft3D – FLOW เตรียมแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ การนำผลวิเคราะห์ระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองระดับภูมิภาคมาใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการและการปรับเทียบแบบจำลอง
- การใช้โปรแกรม Delft3D – WAVE จำลองคุณลักษณะคลื่นในแบบจำลองระดับภูมิภาคแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการและการปรับเทียบแบบจำลอง
- การวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงพื้นท้องน้ำโดยกำหนดให้โปรแกรม Delft3D – FLOW ทำงานควบคู่กับ Delft3D – WAVE
- การแปรผลแบบจำลอง การนำแบบจำลองไปวิเคราะห์ทางเลือกวิธีปรับปรุงร่องน้ำ และการวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ

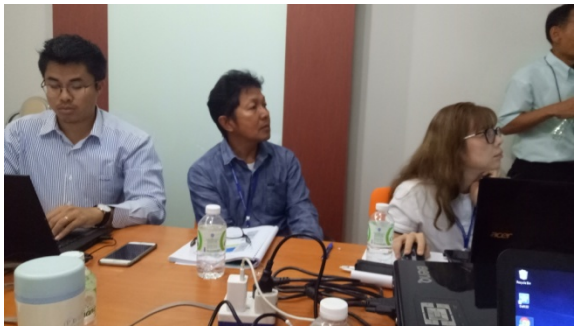
วิทยากรที่ทำการฝึกอบรมมี 3 นาย ประกอบด้วย (1) นายกัมปนาท ชีวะปรีชา (2) ดร.สุริยัณห์ สาระมูล และ (3) รศ.ดร.ปราโมทย์ โศจิศุภร ภาพถ่ายการฝึกอบรมแสดงใน**รูปที่ 7-2**

ตารางที่ 7 - 2 หัวข้อฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี

เวลา	วันพุธที่ 6 ธันวาคม	วันพฤหัสบดีที่ 7 ธันวาคม
09:00 – 10:30	พิธีเปิดการฝึกอบรม ปัญหาร่องน้ำสงขลาและภาพรวมการฝึกอบรม	การพัฒนาแบบจำลองชลศาสตร์บริเวณที่ตั้งโครงการและการปรับเทียบแบบจำลอง
10:30 – 10:45	พักดื่มน้ำชากาแฟ	
10:45 – 12:00	การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในแบบจำลอง: grid, shoreline, bathy, boundary condition, weather	การพัฒนาแบบจำลองคุณลักษณะคลื่น regional model, project model, การปรับเทียบและทานสอบแบบจำลอง
12:00 – 13:00	พักรับประทานอาหารกลางวัน	
13:00 – 14:30	การเตรียมแบบจำลองชลศาสตร์ระดับภูมิภาค การปรับเทียบแบบจำลอง	การวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำ FLOW FLOW+WAVE
14:30 – 14:45	พักดื่มน้ำชากาแฟ	
14:30 – 16:00	การทานสอบแบบจำลองและการนำผลวิเคราะห์จากแบบจำลองระดับภูมิภาคไปใช้บริเวณที่ตั้งโครงการ	การนำแบบจำลองมาออกแบบร่องน้ำ ทางเลือกการออกแบบร่องน้ำ การปรับข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำ การวิเคราะห์และแปรผล
16:00 – 16:30	ทบทวนการฝึกอบรม	ทบทวนการฝึกอบรม/พิธีปิดการฝึกอบรม

ที่มา: การปฏิบัติงานของบริษัทที่ปรึกษา





รูปที่ 7 - 2 ภาพถ่ายกิจกรรมฝึกอบรมการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ในการออกแบบและขุดลอกร่องน้ำภาคปฏิบัติ

7.4 วีดีทัศน์

บริษัทที่ปรึกษาจัดทำวีดีทัศน์แสดงกระบวนการจัดทำแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้วิเคราะห์ลักษณะการตกตะกอนทับถมในร่องน้ำสงขลา รวมถึงการวิเคราะห์เปรียบเทียบ และการปรับแก้เพื่อเสนอทางเลือกในการออกแบบร่องน้ำ แยกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นภาพรวมของการใช้แบบจำลอง Deflt3D ในโครงการ ส่วนที่ 2 เป็นกระบวนการจัดทำแบบจำลอง ซึ่งจัดทำและเผยแพร่โดย Deltares มี 10 ตอน

เนื้อหาโดยรวมของวีดีทัศน์ส่วนที่ 1 แสดงใน**ตารางที่ 7-3** หัวข้อวีดีทัศน์และความยาวของวีดีทัศน์ส่วนที่ 2 แสดงใน**ตารางที่ 7-4**

ตารางที่ 7 - 3 เนื้อหาวีดีทัศน์ภาพรวมโครงการ

ลำดับ	ภาพวีดีทัศน์	คำบรรยาย
1	Title page แสดงภาพสัญลักษณ์กรมเจ้าท่ากับตัวหนังสือชื่อโครงการ “โครงการศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำทางเดินเรือท่าเรือสงขลา (ร่องในและร่องนอก) จังหวัดสงขลา” บนพื้นหลังสีเข้ม	โครงการศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำทางเดินเรือท่าเรือสงขลา ร่องในและร่องนอก จังหวัดสงขลา
2	**ความสำคัญของร่องน้ำสงขลา** คลิปวีดีโอ/รูปเรือเดินผ่านเข้าออกร่องน้ำ ท่าเรือสงขลา สะพานปลา ต่อด้วยภาพชุมชนเมืองบริเวณทะเลสาบสงขลา	ร่องน้ำสงขลาเป็นทางเดินเรือเข้าท่าเรือสงขลา ท่าเรือขนถ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ท่าเรือบริการแท่นขุดเจาะสำรวจและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมในทะเลอ่าวไทย ท่าเรือขนส่งสินค้าชายฝั่ง สะพานปลา อีกทั้งเป็นทางเข้าออกทะเลสาบสงขลา ดังนั้น ร่องน้ำสงขลาจึงเป็นเสมือนเส้นทางหล่อเลี้ยงเศรษฐกิจสังคมของชุมชนสงขลา และพื้นที่ภาคใต้ตอนล่าง
3	**ปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำ** ภาพเรือเดินเข้าออกหน้าท่าเห็นความขุ่นข้นของตะกอน ภาพกิจกรรมขุดลอกร่องน้ำ/แพนภาพตารางการปฏิบัติงานขุดลอกร่องน้ำ หมุนมาเป็นภาพระเบียบกรมเจ้าท่า 2541 ส่วนสุดท้ายเป็นกราฟขนาดเรือที่เดินผ่านเข้าออกท่าเรือสงขลาปี 2559 ที่พบว่าส่วนใหญ่กว้างมากกว่าเกณฑ์ตามประกาศของกรมเจ้าท่า	การเดินเรือในร่องน้ำสงขลาพบปัญหามีตะกอนตกทับถมในร่องน้ำจำนวนมาก สร้างภาระด้านการงบประมาณทุกปี จากร่องน้ำที่ออกแบบให้มีความลึกจากระดับน้ำลงต่ำสุด 9 เมตร ในปี 2541 กรมเจ้าท่าออกระเบียบให้เรือที่เดินผ่านเข้าออกร่องน้ำสงขลากินน้ำลึกไม่เกิน 7.5 เมตร ยาวไม่เกิน 180 เมตร กว้างไม่เกิน 26 เมตร ซึ่งเมื่อเรือกินน้ำลึกเดินผ่านไม่ได้ ก็มีการใช้เรือกว้างขึ้น ยาวขึ้น จนทำให้ขนาดร่องน้ำไม่เหมาะสมกับขนาดเรือ

ลำดับ	ภาพวีดีทัศน์	คำบรรยาย
4	**การจ้างบริษัทที่ปรึกษา** รูปสัญลักษณ์กรมเจ้าท่า สัญลักษณ์โกลเด้น แพลน สัญญากรมเจ้าท่า ประกอบตัวหนังสือแสดงวัตถุประสงค์ของโครงการ “วัตถุประสงค์ (1) ศึกษาวิเคราะห์กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนในบริเวณร่องน้ำทางเดินเรือของท่าเรือสงขลา ร่องในและร่องนอก (2) ศึกษาและออกแบบร่องน้ำทางเดินเรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขุดลอกร่องน้ำ (3) สร้างกระบวนการดำเนินงานศึกษาวิเคราะห์ร่องน้ำอย่างต่อเนื่อง (4) เสริมสร้างและพัฒนาศักยภาพเจ้าหน้าที่กรมเจ้าท่าให้สามารถใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์วิเคราะห์และออกแบบร่องน้ำ”	จากปัญหาตะกอนที่ตกในร่องน้ำข้างต้น ในปี 2560 กรมเจ้าท่าจึงว่าจ้างบริษัทที่ปรึกษา โกลเด้น แพลน ทำงานศึกษาศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำทางเดินเรือท่าเรือสงขลา ร่องใน และร่องนอก จังหวัดสงขลาโดยกำหนดวัตถุประสงค์ไว้ 4 ประการ ได้แก่ (1) ศึกษาวิเคราะห์กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนในบริเวณร่องน้ำทางเดินเรือของท่าเรือสงขลา ร่องในและร่องนอก (2) ศึกษาและออกแบบร่องน้ำทางเดินเรือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขุดลอกร่องน้ำ (3) สร้างกระบวนการดำเนินงานศึกษาวิเคราะห์ร่องน้ำอย่างต่อเนื่องและ (4) เสริมสร้างและพัฒนาศักยภาพเจ้าหน้าที่กรมเจ้าท่าให้สามารถใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์วิเคราะห์และออกแบบร่องน้ำ
5	**การทำงานศึกษาวิเคราะห์ตะกอน** ภาพกิจกรรมศึกษาสำรวจข้อมูลต่าง ๆ - ห้องสมุด/ชั้นหนังสือ - ภาพงานสำรวจระดับน้ำ ความลึกพื้นท้องน้ำ การเก็บตัวอย่างตะกอน การทบสอบ/วิเคราะห์ตะกอน งานสำรวจเส้นเรือเดินเข้าออกทะเลสาบสงขลา	การทำงานศึกษาวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำเริ่มจากงานศึกษาทบทวนรายงานที่เกี่ยวข้อง ต่อด้วยการศึกษาข้อมูลลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ข้อมูลอุทกวิทยา ข้อมูลอุทกศาสตร์ ข้อมูลลมและคลื่น ตลอดจนการทำงานสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม ได้แก่ งานตรวจวัดระดับน้ำ งานสำรวจระดับพื้นท้องน้ำ งานเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ตะกอนแขวนลอยและตะกอนพื้นท้องน้ำ และงานสำรวจเส้นเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลา

ลำดับ	ภาพวีดีทัศน์	คำบรรยาย
6	**การอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี** - ภาพกิจกรรมฝึกอบรมและแจกประกาศนียบัตร - ภาพหน้าจอการเตรียมไฟล์ข้อมูล/การแสดงผลข้อมูลแต่ละประเภท	ในระหว่างปฏิบัติงาน บริษัทที่ปรึกษาได้จัดอบรมเทคโนโลยีการนำแบบจำลองคณิตศาสตร์มาใช้วิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำสงขลา 3 ครั้ง เริ่มจากพื้นฐานของการใช้โปรแกรม Delft3D โดยวิทยากรจาก Deltares ซึ่งเป็นผู้พัฒนาโปรแกรม Delft3D ต่อด้วยการเตรียมไฟล์ข้อมูล เช่น ไฟล์กริด ไฟล์ข้อมูลระดับน้ำ ไฟล์ข้อมูลเส้นแนวชายฝั่ง ไฟล์ข้อมูลระดับน้ำ ไฟล์ข้อมูลสภาพอากาศ เป็นต้น จากนั้น ส่วนสุดท้ายเป็นการจัดฝึกอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยีการใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการออกแบบและขุดลอกร่องน้ำภาคปฏิบัติ
7	**ทางเลือกโครงสร้างชายฝั่ง** ภาพทางเลือกโครงสร้างชายทะเลต่อด้วยผลลัพธ์ที่วิเคราะห์จากแบบจำลองเรียงต่อกัน 3 ทางเลือก 1) ก่อสร้างรอลดกระแสน้ำที่ไหลกีดขวางทางเรือเดินเข้าออกแอ่งจอดเรือ 2) ก่อสร้างรอบังคับทิศทางการไหลของกระแสน้ำ 3) เปิดช่องเขื่อนกันคลื่น	ในการศึกษาวิเคราะห์ทางเลือกของร่องน้ำสงขลามีการจำลองโครงสร้างชายทะเลในคอมพิวเตอร์เพื่อตรวจสอบขนาดและทิศทางของผลลัพธ์เพื่อกำหนดทางเลือกที่เหมาะสมได้แก่ 1. ก่อสร้างรอบังคับแนวกระแสน้ำไม่ให้ไหลกีดขวางทางเรือเดินเข้าออกแอ่งจอดเรือ 2. ก่อสร้างรอบังคับทิศทางการไหลของกระแสน้ำให้ความเร็วในร่องน้ำเพียงพอที่จะพัดพาตะกอนให้ออกไปพ้นร่องน้ำ 3. เปิดช่องเขื่อนกันคลื่นบางส่วนเพื่อเพิ่มการไหลหมุนเวียนของกระแสน้ำ

ลำดับ	ภาพวีดีทัศน์	คำบรรยาย
8	**ต้นแบบความสำเร็จ** ภาพเรือเดินออกจากร่องน้ำ แพนออกเป็นภาพน่านน้ำ แล้วขยายเป็นภาพแผนที่ประเทศไทย ขึ้นภาพสัญลักษณ์กรมเจ้าท่า สัญลักษณ์บริษัท โกลเด้น แพลน จำกัด	การศึกษาวิเคราะห์อย่างละเอียดและการนำเทคโนโลยีซึ่งปรับแก้แล้วมาใช้อย่างเหมาะสมในโครงการเป็นตัวอย่างความสำเร็จที่สามารถนำไปใช้ในร่องน้ำแห่งอื่น หรือโครงการอื่นที่มีรายละเอียดคล้ายกัน

ตารางที่ 7 - 4 วีดีทัศน์กระบวนการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์

ลำดับ	หัวข้อวีดีทัศน์	ความยาว นาที: วินาที
1	Introduction Delft3D-FLOW	16:22
2	Introduction Delft3D-RGFGRID	6:48
3	Introduction Delft3D-QUICKPLOT	7:40
4	Tutorial Delft3D-QUICKIN	4:27
5	Tutorial Delft3D-WAVE	9:19
6	Tutorial Nested Wave Model	4:58
7	Tutorial FLOW-DD Online WAVE	14:38
8	Rectangular Grid	1:07
9	Generating Dep File	4:30
10	Check Courant Number	2:51

ที่มา: oss.deltares.nl/web/delft3d/screen-casts

บทที่ 8 บทสรุป

บทที่ 8
บทสรุป

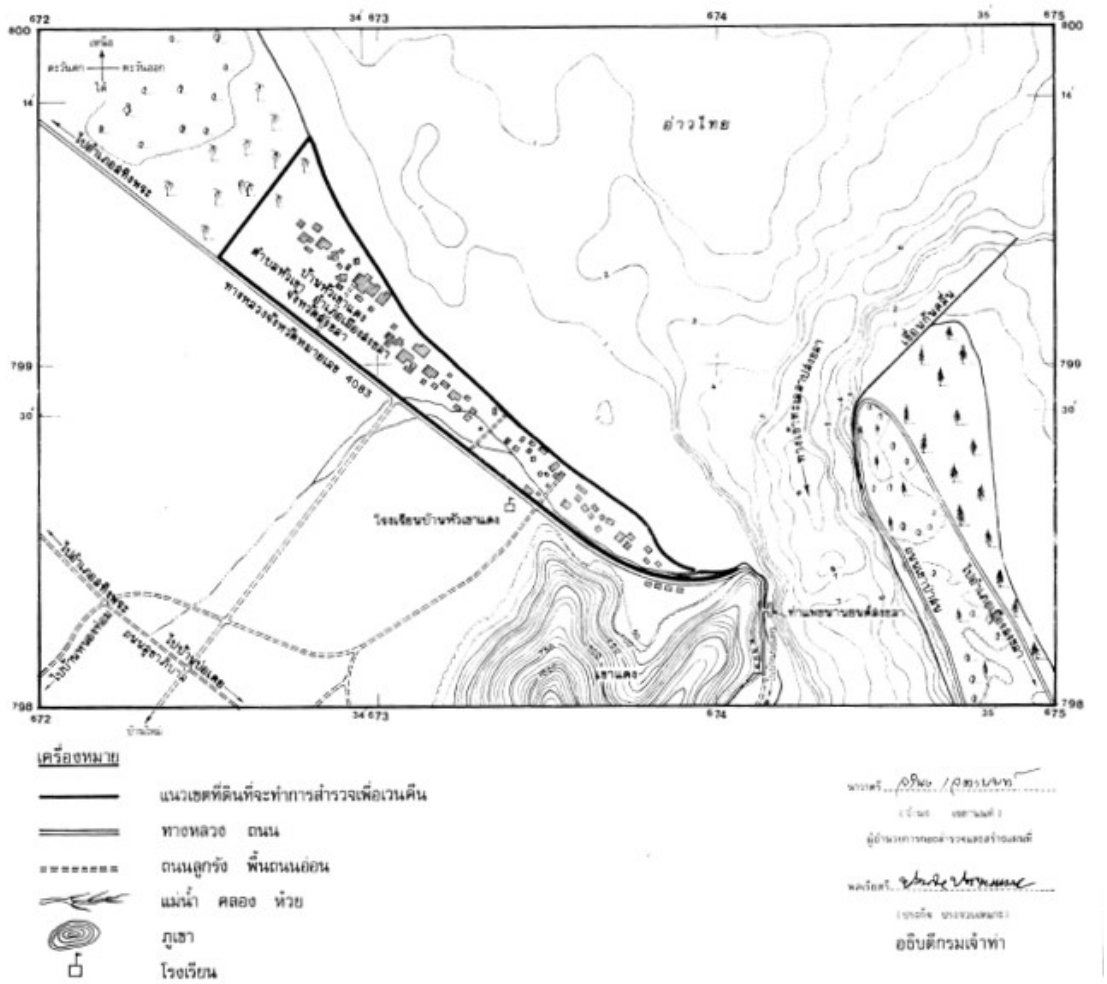
เนื้อหาที่แสดงในรายงานบทที่ 8 เป็นบทสรุปการทำงานศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำท่าเรือสงขลา ร่องในและร่องนอก แบ่งเป็น 7 หัวข้อ ได้แก่ (1) การศึกษาปัญหาร่องน้ำสงขลาที่ต้องการแก้ไข (2) การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ (3) การสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม (4) การใช้แบบจำลองวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำ (5) การออกแบบร่องน้ำ (6) การถ่ายทอดเทคโนโลยีการศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำให้กรมเจ้าท่าและ (7) การตรวจสอบความครบถ้วนของการปฏิบัติงานตามข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติ

8.1 การศึกษาปัญหาร่องน้ำสงขลาที่ต้องการแก้ไข

งานศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำท่าเรือสงขลา ร่องในและร่องนอก เริ่มที่การทบทวนปัญหาที่ต้องการแก้ไข วิธีที่ใช้ระบุปัญหาประกอบด้วยการตรวจสอบข้อมูลจำเพาะของร่องน้ำ การตรวจสอบประวัติการพัฒนาร่องน้ำ การศึกษาขนาดเรือที่ใช้ร่องน้ำ การตรวจสอบข้อกำหนดการนำเรือผ่านร่องน้ำ สถิติการขุดลอก และสถิติอุบัติเหตุ เพื่อนำมาประมวลสรุปเป็นปัญหาที่ต้องการแก้ไข

การประมวลข้อมูลจำเพาะได้ข้อสรุปว่าร่องน้ำสงขลาแบ่งได้เป็น 2 ตอน คือ ร่องใน กับร่องนอก โดยร่องในใช้กับการเดินเรือเข้าทะเลสาบสงขลา ส่วนร่องนอกใช้กับการเดินเรือเข้าออกท่าเรือสงขลาและท่าเรือขนถ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม การออกแบบกำหนดให้ร่องนอกลึก 9 เมตร จากระดับน้ำลงต่ำสุด ส่วนร่องในออกแบบให้ลึกจากระดับน้ำลงต่ำสุด 7 เมตร

การศึกษาประวัติการพัฒนาร่องน้ำพบว่าร่องน้ำสงขลามีความลึกน้ำตามธรรมชาติ (ก่อนพัฒนาท่าเรือสงขลา) ประมาณ 5 เมตร (ดูแผนที่แนบท้ายพระราชกฤษฎีกาเวนคืนที่ดินท่าเรือสงขลาแสดงใน **รูปที่ 8 – 1**) เมื่อขุดลอกให้ได้ความลึกออกแบบก็พบปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำเป็นจำนวนมากตั้งแต่เริ่มเปิดใช้งาน ในปี 2540 กรมเจ้าท่าจ้างกลุ่มบริษัทที่ปรึกษาให้ทำงานศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสำรวจออกแบบเพื่อขยายท่าเรือน้ำลึกสงขลาซึ่งรวมถึงความพยายามแก้ไขปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำแต่เนื่องจากการดำเนินงานโครงการไม่มีความคุ้มค่าข้อเสนอวิธีลดตะกอนตกในร่องน้ำโดยก่อสร้างรอบังคับน้ำจึงไม่มีการนำไปปฏิบัติ



ที่มา: พระราชกฤษฎีกากำหนดเขตที่ดินในบริเวณที่ที่จะเวนคืนในท้องที่ตำบลหัวเขา อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา พ.ศ. 2524 เล่มที่ 98 ตอนที่ 213 ราชกิจจานุเบกษา 28 ธันวาคม 2524

รูปที่ 8 - 1 แผนที่แนบท้ายพระราชกฤษฎีกาเวนคืนที่ดินท่าเรือสงขลา

การศึกษาเรือที่ใช้ร่องน้ำพบว่าเรือที่ใช้ท่าเรือสงขลาเป็นเรือที่มีขนาดใหญ่สุดที่ใช้ร่องนอก จากข้อมูลปี 2559 ของบริษัท เจ้าพระยาท่าเรือสากล จำกัด เรือที่ใหญ่ที่สุดที่ใช้ร่องนอกมีความยาวตลอดลำ 190 เมตร ความกว้างที่ตำแหน่งกึ่งกลางลำ 32.3 เมตร กินน้ำลึก 7.9 เมตร ส่วนขนาดเรือใหญ่สุดที่ใช้ร่องในมีความยาวตลอดลำ 67.5 เมตร ความกว้างที่ตำแหน่งกึ่งกลางลำ 11.5 เมตร กินน้ำลึก 6.1 เมตร

การตรวจสอบข้อกำหนดการนำเรือผ่านร่องน้ำพบว่าการเดินเรือผ่านร่องน้ำสงขลาของเรือความยาวตลอดลำมากกว่า 450 ฟุต (137.2 เมตร) ต้องใช้เจ้าหน้าที่นำร่องของรัฐบาล ทำให้ข้อสังเกต/ความเห็นเจ้าหน้าที่นำร่องสามารถแสดงระดับปัญหาของการเดินเรือในร่องน้ำได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้น พบว่าเรือลำใหญ่สุดที่ใช้ร่องน้ำปัจจุบันมีขนาดเกินกว่าระเบียบกรมเจ้าท่าว่าด้วยข้อกำหนด หลักเกณฑ์ การควบคุมและการขอใช้บริการนำร่องรัฐบาล เขตท่าเรือจังหวัดสงขลา พ.ศ. 2541 ที่กำหนดให้เรือที่ผ่านเข้า-ออก

ร่องน้ำท่าเรือจังหวัดสงขลามีความยาวตลอดลำไม่เกิน 180 เมตร กว้างไม่เกิน 26 เมตร และกินน้ำลึกไม่เกิน 7.5 เมตร

การศึกษาสถิติการทำงานขุดลอกร่องน้ำสงขลาระหว่างปี 2544 – 2559 พบว่ากรมเจ้าท่าจัดสรรทรัพยากรมาทำงานขุดลอกร่องน้ำสงขลาทั้งร่องในและร่องนอกจำนวนมาก ปริมาณงานขุดลอกตอนร่องนอกเฉลี่ยปีละ 1.3 ล้านลูกบาศก์เมตร ปริมาณงานขุดลอกตอนร่องในเฉลี่ยปีละ 0.7 ล้านลูกบาศก์เมตร สร้างภาระเงินงบประมาณระหว่างปี 2544 – 2559 รวมกันเฉลี่ยปีละ 31.9 ล้านบาท และเป็นกิจกรรมที่มีการดำเนินการเฉลี่ยปีละ 9 เดือน

การศึกษาสถิติอุบัติเหตุพบมีอุบัติเหตุเกิดในพื้นที่ศึกษา 4 ครั้ง (ตำแหน่งเกิดอุบัติเหตุแสดงใน **รูปที่ 8 – 2**) เกิดบริเวณร่องนอก 2 ครั้ง เกิดในแอ่งจอดเรือ 1 ครั้ง และเกิดบริเวณร่องในอีก 1 ครั้ง อัตราการเกิดอุบัติเหตุ 1 ครั้ง ต่อการเดินเรือ 27,000 เที่ยว

การศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องข้างต้นได้ข้อสรุปเกี่ยวกับปัญหาของร่องน้ำสงขลาที่ต้องการแก้ไขดังนี้

(1) ร่องน้ำสงขลามีปัญหาร่องน้ำตื้นเขินต่อเนื่องตั้งแต่เปิดใช้งาน ภาระงานขุดลอกของร่องนอกกับร่องในรวมกันเฉลี่ย 2.0 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี

(2) การเดินเรือเข้าออกแอ่งจอดเรือเผชิญกระแสน้ำที่ไหลจากร่องในตัดขวางทางเดินเรือทำให้การควบคุมเรือเข้าออกแอ่งจอดเรือทำได้ยากและสำหรับการเดินเข้าแอ่งจอดเรือเมื่อเลี้ยวผ่านจุดนี้ก็ถึงตำแหน่งท่าเทียบเรือพอดี การต้องชะลอเพื่อหยุดเรือทำให้การควบคุมเรือในโค้งทำได้ยากยิ่งขึ้น

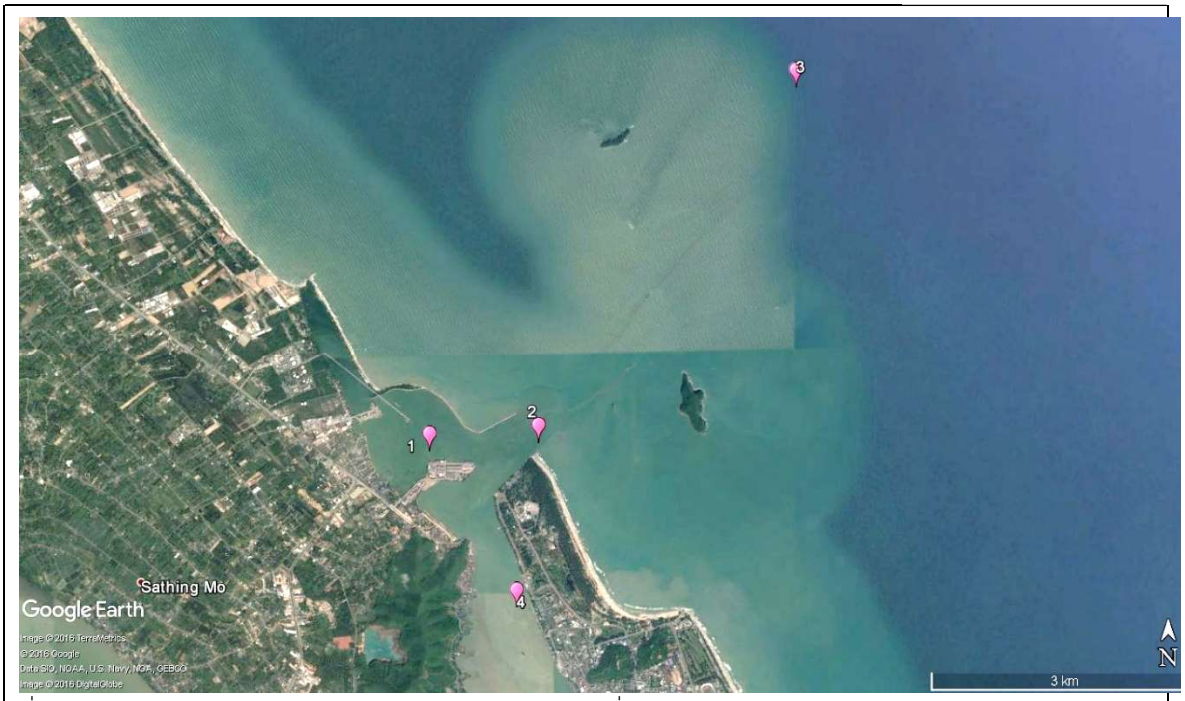
(3) แบบแสดงแนวร่องนอกส่วนที่ตัดเข้ามาในแอ่งจอดเรือไม่ได้แยกส่วนที่ใช้เป็นพื้นที่จอดเรือหน้าท่าเรือสงขลาออกจากทางเดินเรือ (พื้นที่จอดเรือต้องไม่อยู่ในทางเดินเรือ) ทำให้แนวเรือเดินไม่ชัดเจน

(4) การพิจารณาแนวร่องน้ำพบว่าไม่สอดคล้องกับคำแนะนำการออกแบบร่องน้ำมาตรฐานประเด็นรัศมีโค้งกับประเด็นความยาวของทางตรงระหว่างโค้งโดย PIANC แนะนำให้รัศมีโค้งของเรือสินค้าที่อัตราส่วนความลึกน้ำต่อระยะกินน้ำลึกของเรือ 1.2 ควรมีค่าไม่ต่ำกว่า 5 เท่า[1] ของความยาวเรือ ซึ่งในกรณีร่องน้ำสงขลาร่องนอก เนื่องจากความยาวเรือลำใหญ่สุดที่ใช้ร่องน้ำ คือ 190 เมตร จึงต้องการรัศมีโค้งมากถึง 950 เมตร ยาวกว่ารัศมีของโค้งที่ 2 กับโค้งที่ 3 ของร่องน้ำ สำหรับระยะห่างระหว่างโค้ง PIANC แนะนำให้ทางตรงระหว่างโค้งควรยาวไม่น้อยกว่า 5 เท่า ของความยาวเรือ โดยระยะดังกล่าวสามารถลดลงเหลือ 3 เท่า ของความยาวเรือหากเป็นโค้งด้านเดียวกัน[2] ความต้องการดังกล่าวทำให้ความยาวของทางตรงระหว่างโค้งควรมีค่าไม่น้อยกว่า 570 เมตร ในขณะที่ทางตรงระหว่างโค้งที่ 2 กับโค้งที่ 3 ของร่องนอกมีค่าเท่ากับ 259 เมตร สั้นกว่าข้อกำหนด

---

[1] The World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC), 2014, Harbour Approach Channels Design Guidelines, p.91

[2] The World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC), 2014, Harbour Approach Channels Design Guidelines, p.77



ที่มา: ประมวลจากสถิติอุบัติเหตุของสำนักความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม

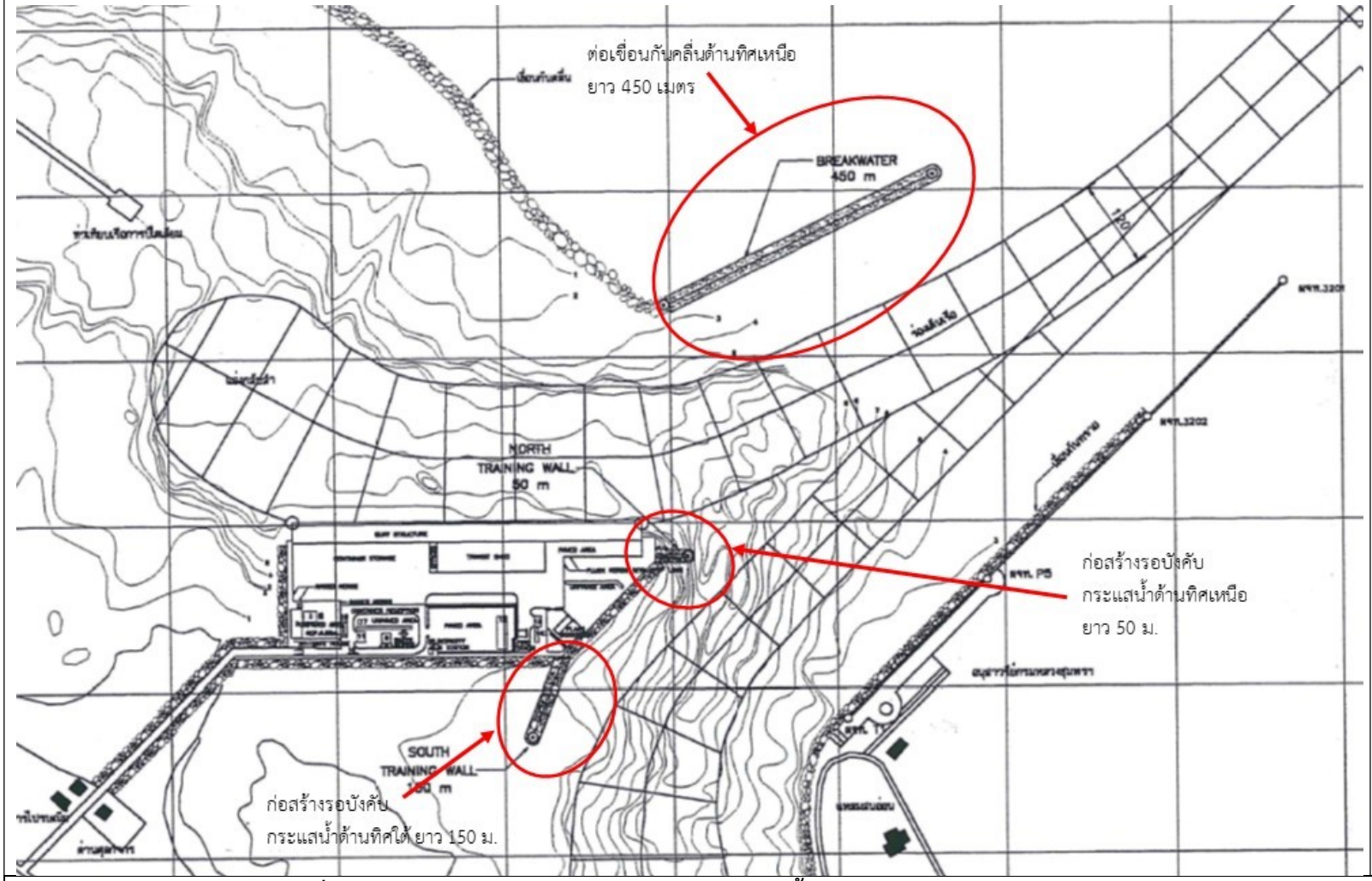
รูปที่ 8 - 2 ตำแหน่งเกิดอุบัติเหตุ

8.2 การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ

การทำงานในโครงการมีการศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิสำหรับนำมาใช้ศึกษาและวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำสงขลา รายการ ประกอบด้วย (1) รายงานการศึกษาเกี่ยวกับร่องน้ำสงขลาในอดีต (2) ข้อมูลลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา (3) ข้อมูลอุทกวิยา (4) ข้อมูลอุทกศาสตร์ และ (5) ข้อมูลลมและคลื่น

ในการศึกษาทบทวนรายงานโครงการขยายท่าเทียบเรือสงขลา ปี 2541 พบข้อเสนอวิธีแก้ไขปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำ 3 รายการ (ดู**รูปที่ 8 – 3**) ได้แก่ (1) การก่อสร้างเขื่อนกันทรายด้านทิศเหนือยาว 450 เมตร (2) งานก่อสร้างรอบังคับน้ำต่อจากแนวท่าเรือยาว 50 เมตร และ (3) งานก่อสร้างรอบังคับน้ำด้านทิศใต้ยาว 150 เมตร แต่เนื่องจากโครงการขยายท่าเรือสงขลามีความเป็นไปได้ต่ำ จึงมีการนำข้อเสนอดังกล่าวไปปฏิบัติเฉพาะการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นด้านทิศเหนือ ข้อมูลอื่นที่นำมาพิจารณาเป็นผลเจาะสำรวจดินเพื่อตรวจสอบชนิดและลักษณะการกระจายตัวของขนาดตะกอน

การศึกษาทบทวนรายงานการจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาร่องน้ำและท่าเรือของประเทศไทย ปี 2545 พบความเห็นที่ปรึกษาระบุว่าการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นปิดแอ่งจอดเรือเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ตะกอนตกในแอ่งจอดเรือ กับมีข้อสังเกตเกี่ยวกับประสิทธิผลของการใช้เครื่องมือขุดลอกเกี่ยวกับปริมาณตะกอนที่อยู่ใน slurry ของท่อทางส่ง และระวางเรือขุดแบบ hopper ว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ ส่งผลต่อสถิติงานขุดลอกที่บันทึก ข้อมูลอื่นที่นำมาพิจารณาเป็นผลเจาะสำรวจดินเพื่อตรวจสอบชนิดและลักษณะการกระจายตัวของขนาดตะกอน



ที่มา: กรมเจ้าท่า, 2541, รายงานการออกแบบเบื้องต้น (ด้านวิศวกรรม) โครงการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม และสำรวจออกแบบเพื่อขยายการก่อสร้างท่าเรือน้ำลึกสงขลา-ภูเก็ต ฉบับที่ 2 การขยายท่าเรือน้ำลึกสงขลา, หน้า 5-5

รูปที่ 8 - 3 ข้อเสนอวิธีแก้ไขปัญหาตะกอนตกในร่องน้ำของโครงการสำรวจออกแบบท่าเทียบเรือสงขลา

การศึกษาทบทวนรายงานการจัดทำแผนแม่บทการขุดลอกเพื่อพัฒนาและฟื้นฟูทะเลสาบสงขลา ได้ข้อมูลลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ข้อมูลผลสำรวจระดับพื้นท้องน้ำ และได้ข้อมูลลักษณะการกระจายตัวของขนาดตะกอนที่ค่อนข้างครอบคลุมและเป็นปัจจุบันมากที่สุด

การศึกษารวบรวมข้อมูลลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลาโดยรวมเป็นข้อมูลภาพกว้างของลุ่มน้ำ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศ องค์ประกอบของลุ่มน้ำย่อย สภาพภูมิอากาศ แม่น้ำ/ลำคลองที่ไหลลงทะเลสาบ สรุปว่าทะเลสาบสงขลามีขนาดพื้นที่รับน้ำประมาณ 8,484.35 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ตอนบนเป็นน้ำจืดตลอดปี จึงมีสภาพเป็นที่เก็บกักน้ำที่ไหลลงทะเลสาบสงขลาตอนล่างและร่องน้ำเชื่อมกับทะเลอ่าวไทย

การศึกษารวบรวมข้อมูลอุทกอุทกวิยาประกอบด้วยข้อมูลปริมาณน้ำฝน ข้อมูลปริมาณน้ำท่า ข้อมูลระดับน้ำ ความเร็วกระแสน้ำ และอุณหภูมิ และปริมาณตะกอนแขวนลอยข้อมูลส่วนใหญ่ได้จากงานศึกษาของสถานวิจัยสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ กับข้อมูลที่เป็นผลสำรวจของกลุ่มอุทกวิทยา กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า ข้อมูลปริมาณน้ำท่ากับข้อมูลตะกอนเป็นข้อมูลสำคัญที่นำไปใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำ

ข้อมูลอุทกศาสตร์ที่รวบรวมในโครงการทั้งหมดเป็นผลสำรวจระดับพื้นร่องน้ำที่ดำเนินการโดยกลุ่มอุทกศาสตร์ กองสำรวจและแผนที่ กรมเจ้าท่า ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2557 รวม 9 ครั้ง ข้อมูลนี้ถูกนำมาพิจารณาร่วมกับข้อมูลการทำงานขุดลอกเพื่อตรวจสอบช่วงเวลาที่ระดับพื้นท้องน้ำเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ (มีข้อมูลผลสำรวจ 2 ครั้ง ติดกันขณะไม่มีงานขุดลอก) ซึ่งในการตรวจสอบพบว่าเป็นช่วงเวลาระหว่างวันที่ 9 กันยายน –8 ธันวาคม 2558

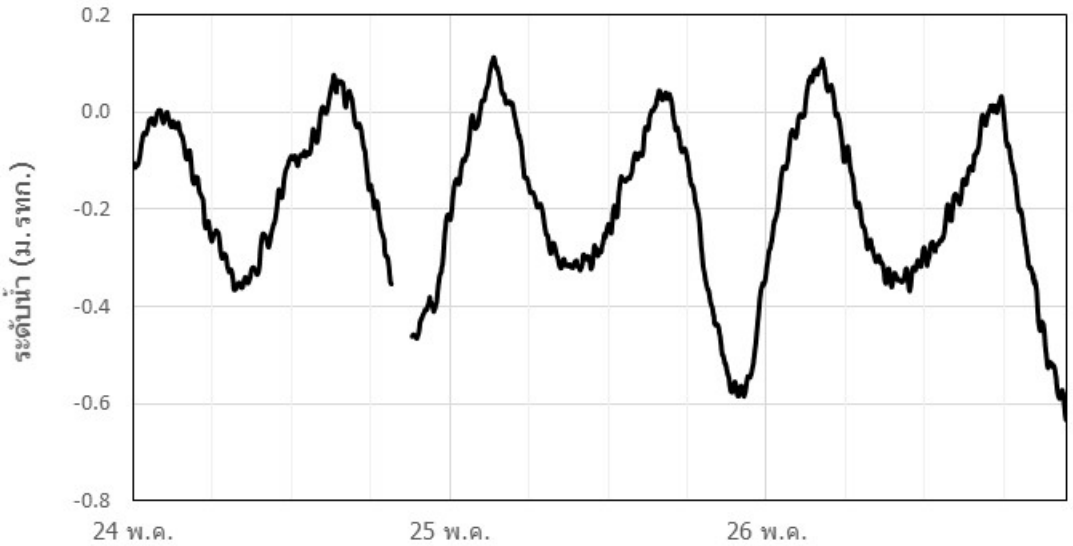
การศึกษาข้อมูลลมในโครงการมีทั้งข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศ จังหวัดสงขลา ของกรมอุตุนิยมวิทยา ซึ่งตั้งอยู่ที่พิกัด 7 องศา 12 ลิปดา 14 ฟิลิปดา เหนือ 100 องศา 36 ลิปดา 17 ฟิลิปดา ตะวันออก ระยะเวลาที่มีข้อมูล พ.ศ. 2528 – 2559 (ระยะเวลา 32 ปี) กับข้อมูลที่ได้จาก website ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) ซึ่งให้ข้อมูลสภาพอากาศที่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั่วโลก ที่ความละเอียดทุก 30 ฟิลิปดา ทำให้สามารถนำมาใช้ในแบบจำลองคณิตศาสตร์แบบเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งและระยะเวลา (space-time varying)

การศึกษาข้อมูลคลื่นในโครงการมีทั้งการสังเคราะห์ข้อมูลความสูงคลื่นจากข้อมูลลม และการนำข้อมูลของ ECMWF มาพิจารณา ข้อมูลลมและคลื่นข้างต้นถูกนำไปใช้ในการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้วิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำสงขลา

8.3 การสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม

การทำงานในโครงการมีการสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม 4 รายการ ได้แก่ (1) งานตรวจวัดระดับน้ำ (2) งานสำรวจความลึกพื้นท้องน้ำ (3) งานเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของตะกอนพื้นท้องน้ำ และ (4) งานสำรวจเส้นเรือเดินเข้าออกท่าเรือสงขลา

บริษัทที่ปรึกษาทำงานตรวจวัดระดับน้ำในทะเลสาบสงขลาระหว่างวันที่ 24 – 27 พฤษภาคม 2560 พร้อมกับการสำรวจระดับพื้นท้องน้ำโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำข้อมูลผลตรวจวัดระดับน้ำไปปรับแก้ผลสำรวจความลึกน้ำให้เป็นระดับพื้นท้องน้ำ กับเพื่อนำไปปรับเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์บริเวณที่ตั้งโครงการให้สามารถแสดงคุณลักษณะทางชลศาสตร์ได้สมจริง อุปกรณ์ที่ใช้วัดระดับน้ำเป็น pressure sensor ที่ทำงานได้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร ข้อมูลผลตรวจวัดระดับน้ำที่ปรับเทียบเป็นระดับน้ำทะเลปานกลางจากหมุดหลักฐานของกรมเจ้าท่า แสดงใน**รูปที่ 8 – 4**



ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 8 - 4 ผลตรวจวัดระดับน้ำช่วงเวลาสำรวจ[3]

บริษัทที่ปรึกษาทำงานสำรวจระดับพื้นท้องน้ำบริเวณร่องใน ร่องนอก และทะเลชายฝั่งระหว่างวันที่ 24 – 27 พฤษภาคม 2560 การสำรวจความลึกพื้นท้องน้ำทำโดยติดตั้ง Echo Sounder บนเรือประมงที่หาเช่าในพื้นที่ ส่วนข้อมูลพิกัดใช้สัญญาณดาวเทียมที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจ RTK (Real Time Kinematic) โดยตั้งสถานีฐาน (base station) บนหมุดอ้างอิงของกรมเจ้าท่าชื่อ BM22 ที่พิกัด N 795143.699 E 673359.672 ระดับ +3.163 เมตร รทก. ตั้งอยู่ในสุสานอดีตเจ้าเมืองสงขลา ส่วนสถานีลูก (Rover) นำไปติดตั้งบนเรือสำรวจบริเวณใกล้หัวรับส่งสัญญาณ (Transducer) ของเครื่อง echo

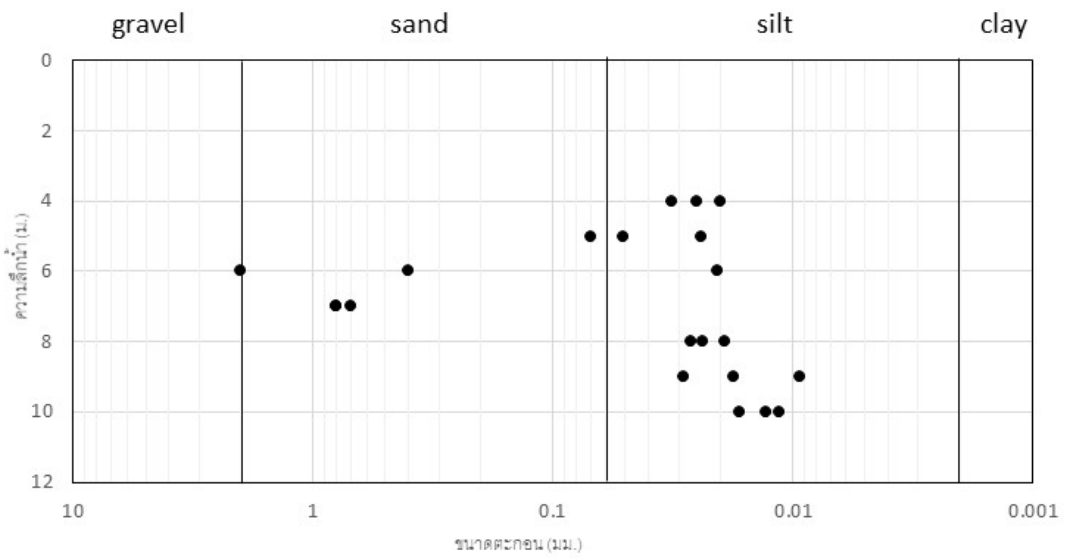
[3] ช่วงที่เส้นค่าระดับน้ำไม่ต่อเนื่องเป็นช่วงเวลาที่ตรวจพบความผิดปกติของอุปกรณ์ จึงตัดข้อมูลช่วงเวลาดังกล่าวออก

sounder โดยพร้อมกันนั้น ก็ติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลระดับน้ำแบบใช้แรงดันน้ำ (pressure sensor) ให้บันทึกค่าอย่างต่อเนื่องทุก 1 วินาที ตลอดระยะเวลาทำงานสำรวจเพื่อนำข้อมูลระดับน้ำมาปรับแก้ข้อมูลความลึกน้ำให้เป็นข้อมูลระดับพื้นท้องน้ำอ้างอิงกับระดับน้ำทะเลปานกลาง แนวเส้นเรือเดินซึ่งแสดงถึงความละเอียดของงานสำรวจแสดงใน**รูปที่ 8 – 5**

ที่มา: การสังเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์สำรวจในโปรแกรม Google Earth โดยบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 8 - 5 ตำแหน่งหมุดอ้างอิงและเส้นเรือสำรวจเดิน

บริษัทที่ปรึกษาเก็บตัวอย่างตะกอนพื้นท้องน้ำที่ความลึกน้ำ 4 – 10 เมตร (ทุก 1 เมตร) จำนวนความลึกน้ำละ 3 ตัวอย่าง นำมาวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของตะกอนพื้นท้องน้ำ การพิจารณาค่า d_{50}ของตะกอนที่ความลึกน้ำต่าง ๆ (ดู**รูปที่ 8 – 6**) พบว่าตะกอนส่วนใหญ่เป็นทรายแป้ง (ค่า d_{50}< 0.063 มิลลิเมตร) ยกเว้นช่วงความลึกน้ำ 5 – 7 เมตร ที่ตะกอนบางตัวอย่างเป็นทรายละเอียดถึงทรายหยาบ ได้แก่ ตัวอย่างที่ 5.1[4] เป็นทรายละเอียดมาก (ขนาดตะกอน 0.063 – 0.125 มม.) ตัวอย่างที่ 7.1 – 7.3 เป็นทรายหยาบ (ขนาด 0.5 – 1.0 มม.) ส่วนตะกอนที่ความลึกน้ำ 6 เมตร มีความแปรปรวนมากที่สุด คือ พบทั้งเป็นทรายแป้ง ทรายขนาดปานกลาง (ขนาด 0.25 – 0.5 มม.) และทรายหยาบมาก (ขนาด 1.0 – 2.0 มม.)



ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

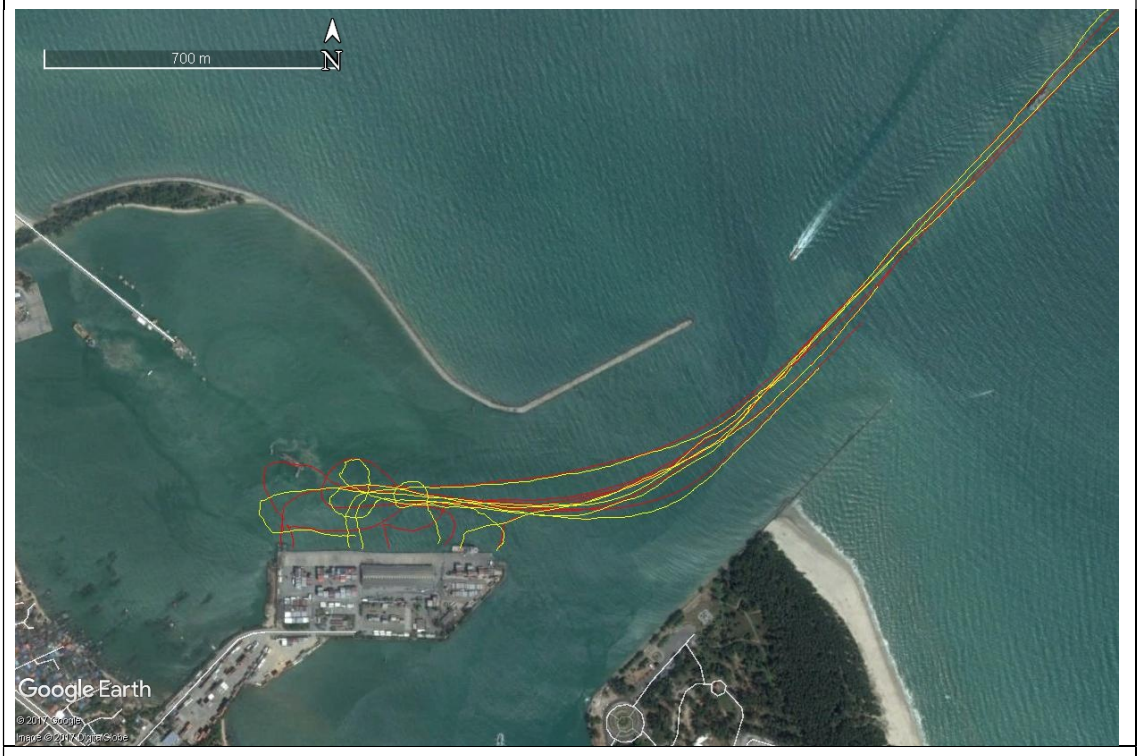
รูปที่ 8 - 6 ขนาด d_{50} ของตะกอนที่ความลึกน้ำต่าง ๆ

จากที่พบว่ารัศมีโค้งของแนวร่องน้ำสงขลา ร่องนอก โค้งที่ 2 กับโค้งที่ 3 และความยาวของทางตรงระหว่างโค้งที่ 2 กับโค้งที่ 3 ต่ำกว่าคำแนะนำของ PIANCบริษัทที่ปรึกษาจึงทำงานสำรวจเส้นเรือเดินโดยติดตั้ง GPS Logger บนเรือที่เดินเข้าออกท่าเรือสงขลาช่วงระหว่างวันที่ 15 – 21 กันยายน 2560 รวม 10 เที่ยว โดยจัดเจ้าหน้าที่ขึ้นและลงเรือพร้อมกับเจ้าหน้าที่นำร่อง

การดำเนินงานดังกล่าวได้เส้นเรือเดินขาเข้า-ขาออกดังแสดงใน**รูปที่ 8 – 7** แนวเส้นเรือเดินนำไปพิจารณาร่วมกับการออกแบบร่องน้ำเสนอในข้อ 8.5

[4] ตัวอย่างที่ 5.1 หมายถึง ตัวอย่างเก็บที่ความลึกน้ำ 5 เมตร ตัวอย่างที่ 1

เส้นเรือเดินขาเข้า



เส้นเรือเดินขาออก

หมายเหตุ: เส้นหัวเรือ (bow) เป็นเส้นสีแดง เส้นท้ายเรือ (stern) เป็นเส้นสีเหลือง

ที่มา: การปฏิบัติงานของที่ปรึกษา

รูปที่ 8 - 7 เส้นเรือเดินจากงานสำรวจระหว่างวันที่ 15 – 21 กันยายน 2560

8.4 การวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำ

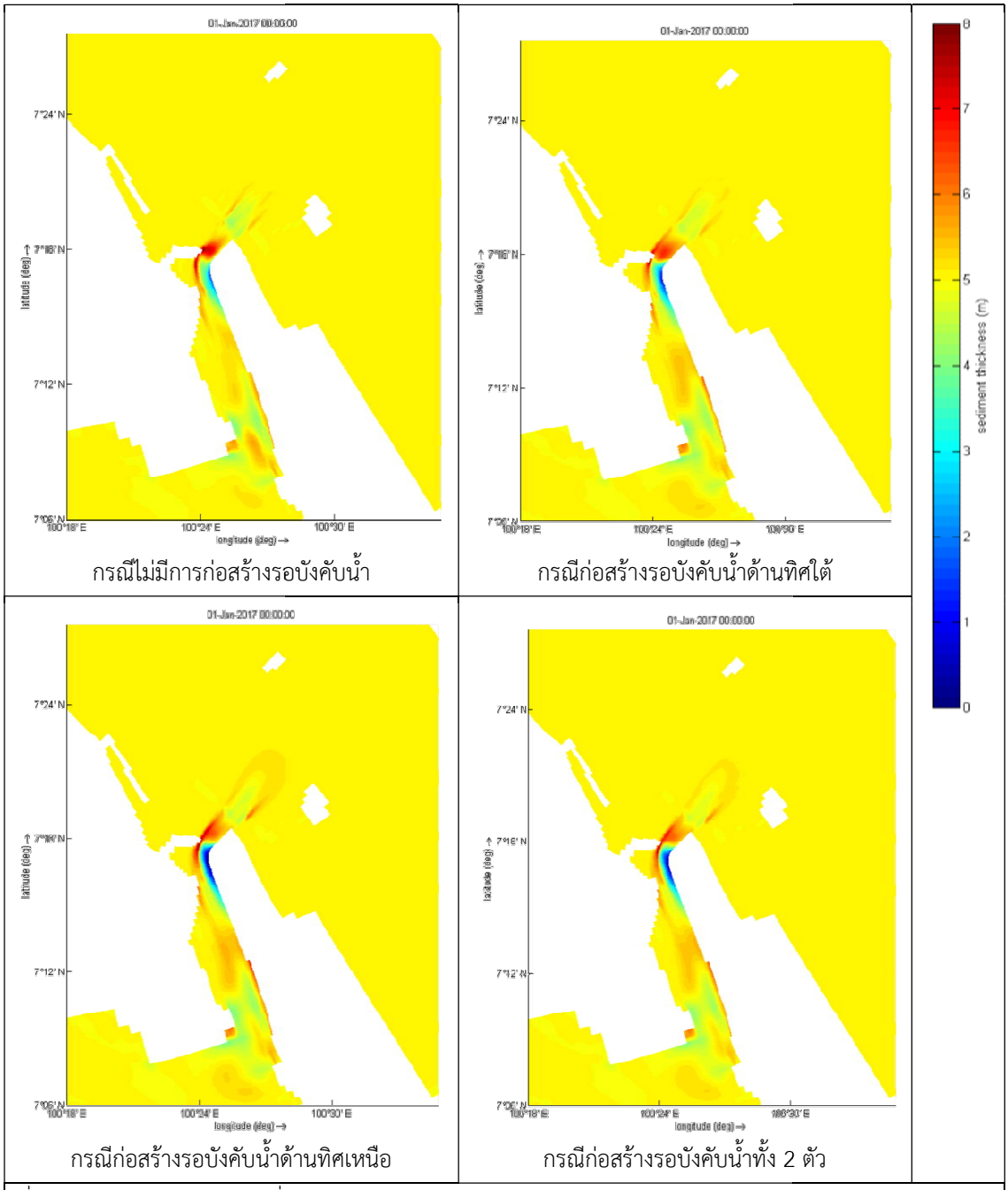
การวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ชื่อ Delft3D เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ โดยตามแสดงใน**รูปที่ 8 – 8** เริ่มจากนำ module FLOW ของโปรแกรม Delft3D มาสร้างแบบจำลองเพื่อใช้วิเคราะห์คุณลักษณะทางชลศาสตร์ของพื้นที่บริเวณร่องนอก แอ่งจอดเรือท่าเรือสงขลา และร่องใน โดยเพื่อให้ผลวิเคราะห์มีความละเอียดโดยไม่สิ้นเปลืองทรัพยากรมากเกินไป การทำงานเริ่มจากสร้างแบบจำลองระดับภูมิภาค (regional model) ซึ่งเป็นแบบจำลองกริดหยาบครอบคลุมพื้นที่ในทะเลอ่าวไทยทั้งหมด ทำการปรับแก้และทานสอบแบบจำลองให้มั่นใจว่าแบบจำลองสามารถแสดงคุณลักษณะทางชลศาสตร์ของพื้นที่ได้เป็นอย่างดี เสร็จแล้วสร้างแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ (project model) ซึ่งเป็นแบบจำลองกริดละเอียด นำผลวิเคราะห์ค่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองระดับภูมิภาคเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองกริดละเอียด ทำการปรับแก้แบบจำลองให้แน่ใจว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถแสดงคุณลักษณะทางชลศาสตร์ของพื้นที่บริเวณร่องนอก แอ่งจอดเรือและร่องใน

งานที่ดำเนินพร้อมกัน เป็นการนำ module WAVE มาสร้างแบบจำลองเพื่อใช้วิเคราะห์คุณลักษณะคลื่นที่เคลื่อนตัวผ่านร่องนอกเข้าไปในแอ่งจอดเรือและร่องใน การทำงานเริ่มจากพัฒนาแบบจำลองระดับภูมิภาคซึ่งเป็นแบบจำลองกริดหยาบให้ขอบเขตของแบบจำลองมีความลึกน้ำมากกว่า 20 เมตร (คลื่นก่อตัวได้เต็มที่) เสร็จแล้วสร้างแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการซึ่งเป็นแบบจำลองกริดละเอียด นำผลวิเคราะห์คุณลักษณะคลื่นที่ได้จากแบบจำลองกริดหยาบมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ

การทำงานลำดับสุดท้ายเป็นการนำแบบจำลองมาวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงพื้นท้องน้ำ (การกัดเซาะและตกตะกอน) ในบริเวณพื้นที่ศึกษา เริ่มโดยนำผลวิเคราะห์ทางชลศาสตร์ (ระดับน้ำ ทิศและความเร็วกระแสน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอน ระดับพื้นท้องน้ำ ฯลฯ) เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองคลื่น เสร็จแล้วนำผลวิเคราะห์ของแบบจำลองคลื่นซึ่งทำให้ทิศและความเร็วกระแสน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอนเปลี่ยนแปลง ฯลฯ เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองชลศาสตร์ ให้แบบจำลองทั้งสองทำงานสลับกันไปมาจนครบช่วงเวลาที่ต้องการวิเคราะห์ ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีข้อมูลผลสำรวจระดับพื้นท้องน้ำภายใต้แรงกระทำตามธรรมชาติเพียงอย่างเดียว (ไม่มีกิจกรรมขุดลอก) ทำการปรับแก้แบบจำลองให้มั่นใจว่าแบบจำลองสามารถทำนายการกัดเซาะและตกตะกอนของพื้นที่ได้เป็นอย่างดี เสร็จแล้วนำแบบจำลองไปประเมินตะกอนที่ตกในร่องน้ำภายใต้สถานการณ์สมมุติต่าง ๆ เพื่อนำไปหาทางเลือกในการออกแบบร่องน้ำที่เหมาะสมที่สุด

การตรวจสอบแนวทางปรับปรุงร่องน้ำเป็นการพิจารณาปริมาณตะกอนที่ตกในแบบจำลองคณิตศาสตร์จากผลของการก่อสร้างรอบังคับน้ำตามข้อเสนอโครงการขยายท่าเทียบเรือสงขลา ปี 2541 โดยสมมุติว่าการก่อสร้างเสร็จวันที่ 31 ธ.ค. 58 แล้วดูผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในระยะเวลา 1 ปี (ดู**รูปที่ 8 – 8**) กับข้อสังเกตการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นปิดกั้นแอ่งจอดเรือในโครงการศึกษาจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาร่องน้ำและท่าเรือในประเทศไทย พ.ศ. 2545 (ดู**รูปที่ 8 – 9**)

การพิจารณาพบว่าการก่อสร้างรอบังคับกระแสน้ำด้านทิศใต้ให้ผลดีที่สุด



กรณีไม่มีการก่อสร้างรอบังคับน้ำ

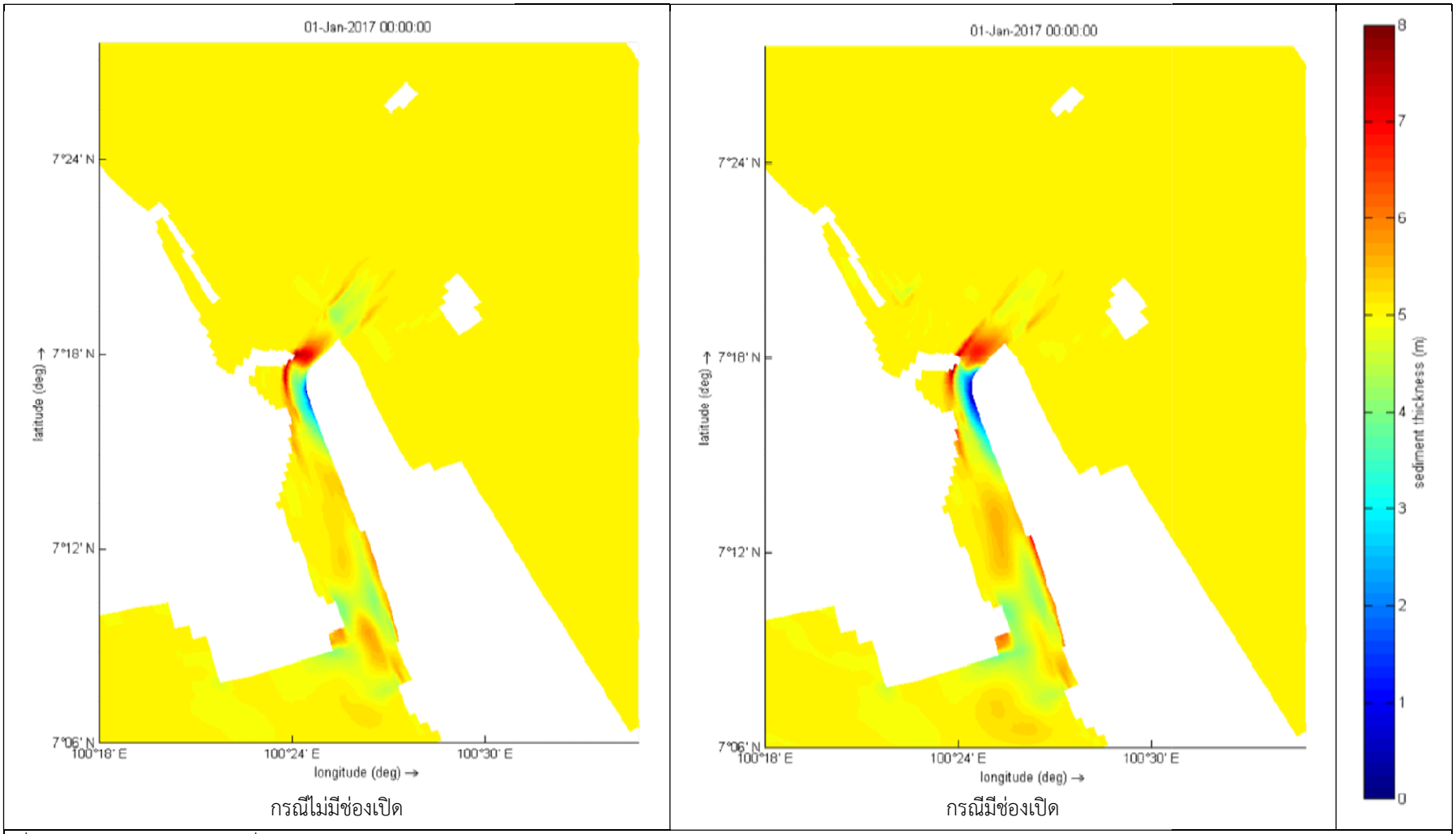
กรณีก่อสร้างรอบังคับน้ำด้านทิศใต้

กรณีก่อสร้างรอบังคับน้ำด้านทิศเหนือ

กรณีก่อสร้างรอบังคับน้ำทั้ง 2 ตัว

ที่มา: การวิเคราะห์ของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 8 - 8 ผลวิเคราะห์กรณีก่อสร้างรอบังคับน้ำตามข้อเสนอโครงการศึกษาปี 2541



ที่มา: การวิเคราะห์ของบริษัทที่ปรึกษา

รูปที่ 8 - 9 ผลวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำกรณีมีช่องเปิดที่เขื่อนกันคลื่น

8.5 การออกแบบร่องน้ำ

การออกแบบร่องน้ำมีข้อจำกัดหลายประการ ดังนี้

(1) แนวร่องนอกมีเขื่อนกันทรายและคลื่นซึ่งก่อสร้างไว้เดิมขนาบทั้งด้านซ้ายและด้านขวาทำให้การปรับปรุงแนวร่องน้ำทำได้ยากถึงทำไม่ได้ (ไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ)

(2) แนวร่องในถูกกำกับจากแนวตลิ่งและที่ตื้นตามธรรมชาติทำให้การออกแบบร่องในมีข้อจำกัดแบบเดียวกับร่องนอก คือ ปรับปรุงได้ยากถึงปรับปรุงไม่ได้ (ไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติ)

(3) พื้นที่หน้าท่าและแอ่งจอดเรือมีแนวเขื่อนกันคลื่นที่ก่อสร้างไว้เดิมขวางด้านทิศเหนือทำให้ไม่สามารถขยายแอ่งกลับลำ รวมถึงไม่สามารถขยายความกว้างของทางเรือเดินบริเวณหน้าท่า

(4) งานศึกษาจัดทำแผนแม่บทร่องน้ำในประเทศไทยปี พ.ศ. 2545 ระบุว่าการก่อสร้างเขื่อนกันคลื่นปิดล้อมแอ่งจอดเรือด้านทิศเหนือเพื่อป้องกันคลื่นให้ท่าเรือขนถ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ตะกอนตกในแอ่งจอดเรือโดยไม่ได้ระบุขนาดผลกระทบ[5] การแก้ไขโดยเปิดเขื่อนกันคลื่นจะทำให้คลื่นเคลื่อนที่เข้ามาในแอ่งจอดเรือ เกิดผลเสียกับการนำเรือเข้าออกท่าขนถ่ายผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ใช้งานในปัจจุบัน ดังนั้น แม้ข้อความที่ระบุในรายงานแผนแม่บทร่องน้ำในประเทศไทยจะเป็นความจริงก็ทำการรื้อเขื่อนกันคลื่นเพื่อแก้ไขไม่ได้

จากข้อจำกัดทางกายภาพประกอบกับจากข้อมูลที่ได้รับจากการตรวจสอบแบบแสดงผลสำรวจแนวร่องน้ำ บริษัทที่ปรึกษามีข้อสังเกตประกอบการปฏิบัติงานออกแบบร่องน้ำสงขลา ร่องในและร่องนอก ดังนี้

(1) การตรวจสอบแนวร่องในที่ปรากฏในแบบร่องน้ำปัจจุบันพบว่าแนวร่องน้ำช่วงทางตรงกับทางโค้งไม่ต่อเนื่องกัน คือ ทิศแนวร่องน้ำของทางตรงที่จุดเริ่มโค้งไม่เท่ากับทิศแนวร่องน้ำของทางโค้งที่จุดเดียวกัน

(2) การไม่ได้แยกทางเดินเรือออกจากแนวร่องน้ำทำให้พื้นที่หน้าท่าของท่าเรือสงขลาเป็นพื้นที่ต่อเนื่องรวมอยู่กับแอ่งท่าเรือ (Harbour basin) และร่องน้ำ (navigation channel) แนวทางที่เหมาะสม คือ แยกส่วนที่เป็นทางเดินเรือที่กรมเจ้าท่ามีภาระหน้าที่ต้องประกันความลึกร่องน้ำออกจากพื้นที่หน้าท่าซึ่งพิจารณาว่าเป็นภาระหน้าที่ของผู้บริหารท่า

(3) จากข้อจำกัดของระยะทางระหว่างเขื่อนกันทรายกันคลื่นที่ขนาบด้านซ้าย-ด้านขวาร่องน้ำและข้อจำกัดของระยะทางระหว่างเขื่อนกันคลื่นกับพื้นที่หน้าท่า พบว่าไม่สามารถออกแบบร่องนอกและแอ่งจอดเรือให้สอดคล้องกับมาตรฐานของ PIANC วิธีที่ดำเนินการที่เป็นได้ประกอบด้วย 1. ยอมรับให้ร่องน้ำสงขลา ร่องนอก มีมิติต่ำกว่าคำแนะนำของ PIANC หรือ 2. ลดขนาดเรือที่ใช้พื้นที่ให้สอดคล้องกับขนาดร่องน้ำ หรือ 3. รื้อโครงสร้างที่กีดขวางออกแล้วก่อสร้างใหม่

---

[5] Pacific Consultants International, 2002, The Master Plan Study for the Coastal Channels and Ports Development in the Kingdom of Thailand, p.7 - 46

(4) เนื่องจากการยอมรับให้ร่องน้ำสงขลา ร่องนอก มีมิติต่ำกว่าค่าแนะนำของ PIANC หมายถึงการยอมรับความเสี่ยงของการเกิดอุบัติเหตุซึ่งเป็นสิ่งที่ภาครัฐยอมรับได้ยาก[6] แนวทางดำเนินการที่เหมาะสมจึงเป็นทางเลือกที่ 2 ลดขนาดเรือที่เข้าใช้ท่า หรือทางเลือกที่ 3 รื้อโครงสร้างที่กีดขวางออกแล้วก่อสร้างใหม่ โดยบริษัทที่ปรึกษาเสนอให้กรมเจ้าท่าดำเนินการทางเลือกที่ 2 กรณีมีโครงการท่าเรือสงขลาแห่งที่ 2 หรือควรดำเนินการทางเลือกที่ 3 กรณีไม่สามารถดำเนินโครงการท่าเรือสงขลาแห่งที่ 2 หรือโครงการท่าเรือสงขลาแห่งที่ 2 เกิดความล่าช้าจนไม่สามารถประมาณการได้

(5) ขอบเขตงานศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำทางเดินเรือครอบคลุมงานออกแบบร่องน้ำทางเดินเรือของท่าเรือสงขลาทั้งร่องน้ำด้านนอกและด้านใน แต่ข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติไม่ได้กำหนดให้รวมงานออกแบบเขื่อนกันทรายและคลื่น รอบังคับกระแสน้ำ ฯลฯ ซึ่งจำเป็นต้องมีผู้เชี่ยวชาญอีกหลายสาขาที่ข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติไม่ได้ระบุให้ที่ปรึกษาจัดให้อยู่ในคณะทำงาน การออกแบบร่องน้ำในโครงการจึงทำได้เฉพาะส่วนที่เป็นข้อจำกัดทางเดินเรือ จากที่บางส่วนไม่สอดคล้องกับคำแนะนำของ PIANC เป็นให้สอดคล้อง (เท่าที่เป็นไปได้) หรือกำหนดขนาดเรือที่เหมาะสมกับขนาดร่องน้ำ รวมถึงการประเมินปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำที่ออกแบบ การประเมินประสิทธิผลของรอบังคับน้ำที่เป็นข้อเสนอในโครงการขยายท่าเรือสงขลาปี พ.ศ. 2541 และผลกระทบจากการปิดกั้นเขื่อนกันคลื่นที่เป็นข้อสังเกตในงานศึกษาจัดทำแผนแม่บทร่องน้ำปี พ.ศ. 2545

(6) กรณีกรมเจ้าท่าประสงค์ให้รื้อโครงสร้างที่กีดขวางออกแล้วสร้างใหม่ บริษัทที่ปรึกษาเสนอให้กรมเจ้าท่าตั้งงบประมาณดำเนินการสำรวจออกแบบร่องน้ำท่าเรือสงขลาและเขื่อนกันทรายกันคลื่นในโอกาสต่อไป

จากแนวคิดข้างต้น การทำงานออกแบบร่องน้ำสงขลา ร่องในและร่องนอกมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

(1) ประเมินขนาดเรือที่เหมาะสมกับขนาดร่องน้ำในปัจจุบัน และออกแบบร่องนอกให้ได้ความกว้างร่องน้ำ รัศมีโค้ง และความยาวของทางตรงระหว่างทางโค้ง ตามคำแนะนำของ PIANC ทั้งหมดนี้เพื่อเป็นข้อมูลให้กรมเจ้าท่าพิจารณาแนวทางดำเนินการ

(2) ออกแบบร่องในให้ทิศของแนวร่องน้ำช่วงทางตรงที่จุดเริ่มโค้งต่อเนื่องกับแนวร่องน้ำช่วงทางโค้ง

(3) นำแบบร่องน้ำมาประเมินปริมาณตะกอนที่ตกในร่องนอกและร่องในหลังขุดลอกจนได้ความลึกร่องน้ำ 9 เมตร กับ 7 เมตร ตามลำดับ

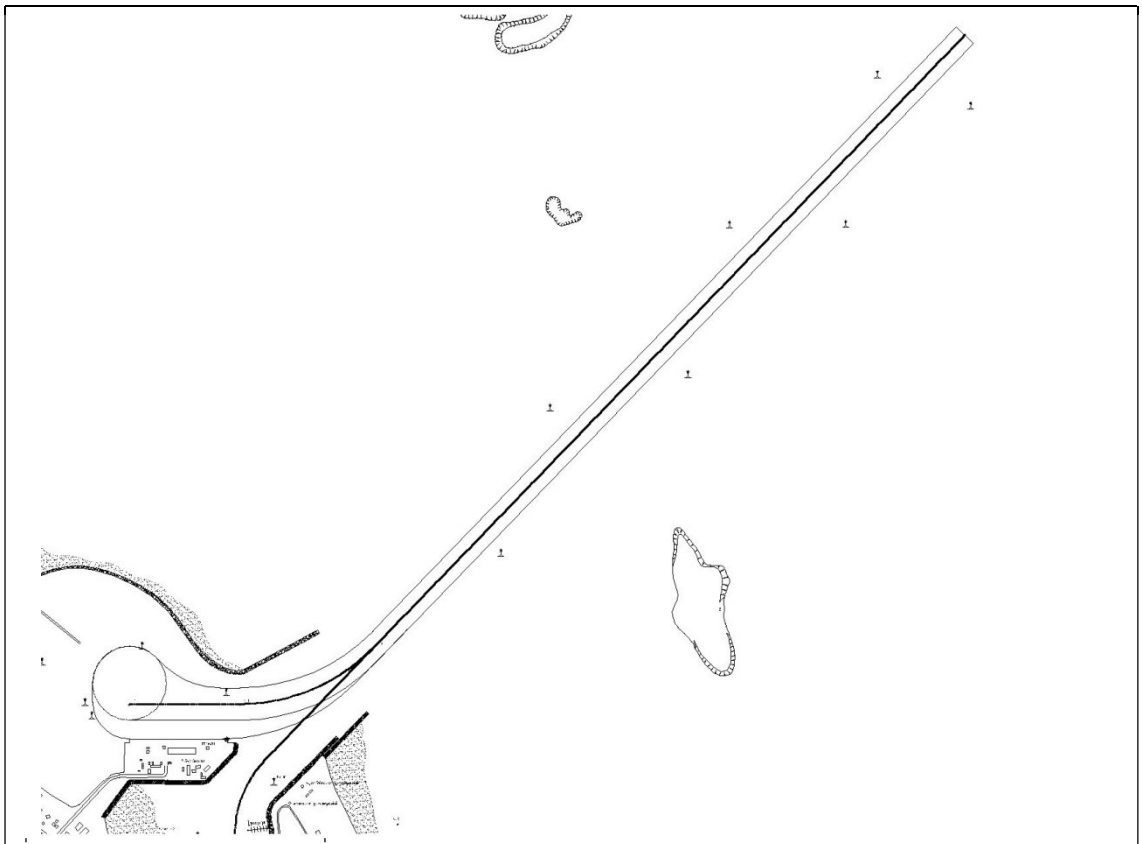
(4) ให้คำแนะนำค่าระดับงานขุดลอกเผื่อปริมาณตะกอนที่ตกระหว่างรอบระยะเวลาขุดลอก (advance dredging)

---

[6] แม้ในทางทฤษฎีสามารถกล่าวได้ว่าการยอมรับความเสี่ยงระดับต่ำกว่าค่ามาตรฐานเป็นประเด็นที่หน่วยงานภาครัฐยอมรับได้ยาก แต่ก็เป็นระดับความเสี่ยงที่เกิดจริงในปัจจุบัน

การประเมินขนาดเรือที่เหมาะสมกับขนาดร่องนอกในปัจจุบัน คือ เรือมีความยาวตลอดลำไม่เกิน 180 เมตร และมีความกว้างที่ตำแหน่งกึ่งกลางลำไม่เกิน 23.5 เมตร ส่วนการออกแบบร่องนอกตามขนาดเรือที่ใช้งานในปัจจุบัน (ความยาวตลอดลำ 190 เมตร ความกว้าง 32.3 เมตร) ตามคำแนะนำของ PIANC แสดงในรูปที่ 8 – 10 กับตารางที่ 8 – 1 ส่วนผลการออกแบบร่องในแสดงในรูปที่ 8 – 11 กับตารางที่ 8 – 2

ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำตามการออกแบบอยู่ระหว่าง 0.8 – 1.2 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี โดยเพื่อให้มั่นใจว่าความลึกร่องน้ำจะได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดตลอดเวลา กรมเจ้าท่าควรขุดลอกร่องน้ำล่วงหน้า (advance dredging) ให้ต่ำกว่าระดับที่กำหนด 0.3 – 0.5 เมตร[7]



ที่มา: การดำเนินงานของบริษัทที่ปรึกษา

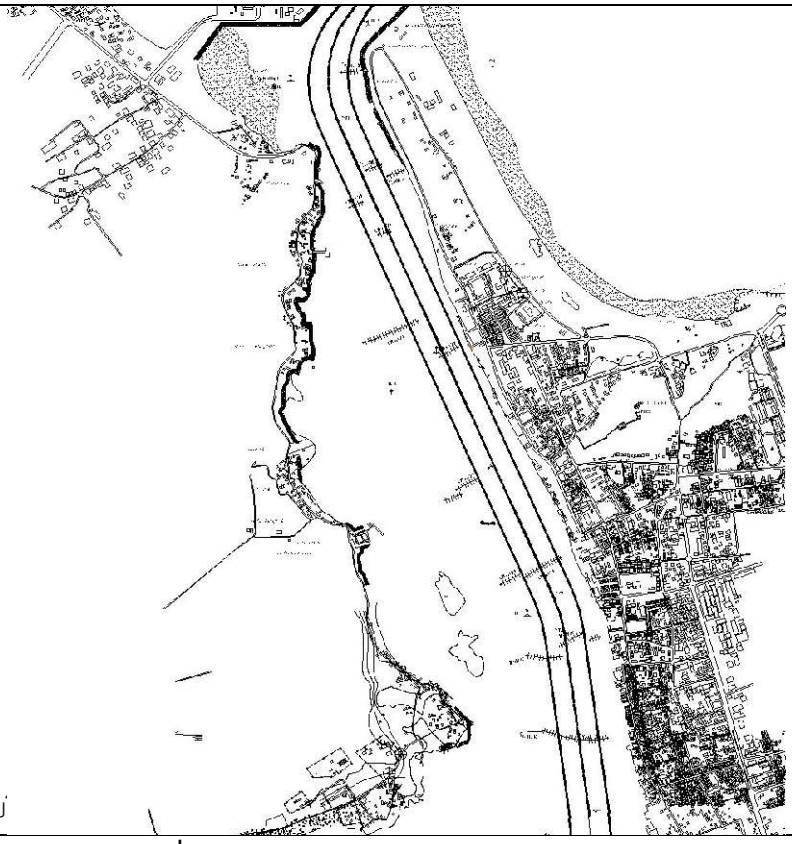
รูปที่ 8 - 10 การออกแบบร่องนอก

[7] ระยะเผื่อ 0.3 – 0.5 เมตร เป็นการเผื่อความคลาดเคลื่อนของงานหยั่งน้ำ ความคลาดเคลื่อนของงานขุดลอก และความหนาตะกอนที่ตกระหว่างรอบงานขุดลอก

ตารางที่ 8 - 1 รายละเอียดการออกแบบร่องนอก

แนวร่องน้ำ	พิกัดจุดเริ่มต้น		พิกัดจุดสิ้นสุด		ระยะทาง (เมตร)	พิกัดจุดศูนย์กลางโค้ง		มุมโค้ง (องศา)	รัศมีโค้ง (เมตร)
	N	E	N	E		N	E		
O→PC1	803123.563	677650.639	799981.296	674613.529	4370.112	-	-	-	-
PC1→PT1	799981.296	674613.529	799691.623	673930.545	762.293	800641.520	673930.445	45.97492	950.000
PT1→PC2	799691.623	673930.545	799691.52	673360.085	570.36	-	-	-	-
รวม					5702.765				

ที่มา: การปฏิบัติงานของบริษัทที่ปรึกษา



ที่มา: การดำเนินงานของบ

รูปที่ 8 - 11 การออกแบบร่องใน

ตารางที่ 8 - 2 รายละเอียดการออกแบบร่องใน

แนวร่องน้ำ	พิกัดจุดเริ่มต้น		พิกัดจุดสิ้นสุด		ระยะทาง (เมตร)	พิกัดจุดศูนย์กลางโค้ง		มุมโค้ง (องศา)	รัศมีโค้ง (เมตร)
	N	E	N	E		N	E		
O→PC1	799981.296	674613.529	799403.985	674055.539	802.895	-	-	-	-
PC1→PT1	799403.985	674055.539	798794.268	673950.257	657.135	799021.750	674451.008	68.45644	550.000
PT1→PC2	798794.268	673950.257	796377.143	75048.309	2654.847	-	-	-	-
PC2→PT2	796377.143	75048.309	795256.426	675233.067	211.574	796075.213	674383.675	16.6059	730.000
PT2→PC3	795256.426	675233.067	795256.426	675233.067	926.812	-	-	-	-
PC3→PT3	795256.426	675233.067	794516.956	75107.554	761.780	795086.23	673994.708	34.91742	1250.000
รวม					6015.043				

ที่มา: การปฏิบัติงานของบริษัทที่ปรึกษา

8.6 การถ่ายทอดเทคโนโลยี

การดำเนินงานโครงการมีการถ่ายทอดเทคโนโลยีการศึกษาและวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำให้ข้าราชการ/พนักงานราชการของกรมเจ้าท่า 3 ครั้ง โดยบริษัทที่ปรึกษาดำเนินการถ่ายทอดเทคโนโลยีไปแล้ว 2 ครั้ง การดำเนินการครั้งที่ 3 ปัจจุบันอยู่ในระหว่างเตรียมการ

การฝึกอบรมครั้งที่ 1

การฝึกอบรมครั้งแรกดำเนินการระหว่างวันจันทร์ที่ 27 - วันศุกร์ที่ 31 มีนาคม 2560 รวม 5 วัน สถานที่ฝึกอบรม 4 วันแรก และพิธีเปิดการฝึกอบรมทำในห้องประชุมของกรมเจ้าท่า สถานที่ฝึกอบรมวันสุดท้ายซึ่งรวมถึงพิธีแจกประกาศนียบัตรการเข้ารับการฝึกอบรมเป็นโรงแรมเซนธารา เซ็นทรัลสเตชั่น

วิทยากรที่ทำการฝึกอบรมเป็นวิทยากรจาก Deltares มี 2 ท่าน คือ Mr. Roderik Hoekstra กับ Mr. Emiel Moerman ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเป็นข้าราชการ/พนักงานราชการของกองสำรวจและแผนที่ กองวิศวกรรม สำนักพัฒนาและบำรุงรักษาทางน้ำ และเจ้าหน้าที่บริษัทที่ปรึกษา

การฝึกอบรมมีทั้งภาคบรรยายและภาคปฏิบัติ โดยมีการนำตัวอย่างจริงของโครงการศึกษาวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำสงขลามาเป็นโจทย์ให้ทดลองปฏิบัติ ทั้งนี้ บริษัทที่ปรึกษาได้จัดหาโปรแกรม Delft3D ชนิดจำกัดอายุใช้งาน 3 เดือน มาให้ทดลองใช้ขณะฝึกอบรม และต่อมาได้ส่งมอบโปรแกรมชนิดไม่จำกัดอายุใช้งานให้นำไปใช้ประโยชน์ในราชการกับผู้เข้ารับการฝึกอบรมทุกท่าน

หัวข้อการฝึกอบรมครอบคลุมทั้ง Delft3D - FLOW, Delft3D - WAVE, Delft3D - WAVE/SED และ Delft3D – MOR การฝึกอบรมประสบผลสำเร็จด้วยดี มีผู้ได้รับประกาศนียบัตรการเข้ารับการฝึกอบรม จำนวน 14 คน เป็นข้าราชการ/พนักงานราชการของกรมเจ้าท่า จำนวน 8 คน อีก 6 คน เป็นเจ้าหน้าที่บริษัทที่ปรึกษา

การฝึกอบรมครั้งที่ 2

การฝึกอบรมครั้งที่ 2 ซึ่งทำในวันที่ 18 พฤษภาคม 2560 ที่ห้องประชุมกองสำรวจและแผนที่ เป็นการเตรียมไฟล์ข้อมูลเพื่อใช้กับโปรแกรม Delft3D ผู้เข้ารับการฝึกอบรมเป็นเจ้าหน้าที่กองสำรวจและแผนที่ กองวิศวกรรม และเจ้าหน้าที่บริษัทที่ปรึกษา

หัวข้อที่ทำการฝึกอบรมมี 5 หัวข้อ ดังนี้

(1) การเตรียมข้อมูลเส้นแนวชายฝั่งจากแผนที่หรือภาพถ่ายทางอากาศที่เป็นแผ่นกระดาษซึ่งต้องมีการคัดลอก (Digitize) ให้เป็นข้อมูลอิเล็กทรอนิคส์

(2) การเตรียมข้อมูลความลึกพื้นท้องน้ำและเส้นแนวชายฝั่ง (Land Boundary) จากข้อมูลในไฟล์ที่สร้างโดยโปรแกรมเขียนแบบ (Auto Cad)

(3) การเตรียมข้อมูลเส้นแนวชายฝั่งจากรูปแผนที่ในโปรแกรม Google Earth และการแปลงข้อมูลพิกัดแลตติจูด ลองจิจูด เป็น UTM WGS84

(4) การจัดเรียงข้อมูลในโปรแกรม Excel โดยใช้คำสั่งบันทึกMacro

(5) การเตรียมและค้นหาข้อมูลที่เข้าถึงได้ทางอินเตอร์เน็ต เช่น ข้อมูลภูมิประเทศจาก GEBCO ข้อมูลภูมิอากาศจาก ECMWF ข้อมูลแนวชายฝั่งจาก Delft Dashboard ข้อมูลระดับน้ำจากแบบจำลองน้ำขึ้น-น้ำลงของโลก (Global tide model) เป็นต้น

วิทยากรที่ทำการฝึกอบรมเป็นผู้เชี่ยวชาญและเจ้าหน้าที่บริษัทที่ปรึกษา จำนวน 5 คน ประกอบด้วย (1) ดร.สุริยัณห์ สาระมูล (2) นายกัมปนาท ชีวะปรีชา (3) นายชัยวัฒน์ เต็มมูล (4) นายสุริยา กิ่งแก้ว และ (5) นางสาวจิตรลดา เจริญสุข

การฝึกอบรมครั้งที่ 3

บริษัทที่ปรึกษาวางแผนทำการถ่ายทอดเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำสงขลา ร่องในและร่องนอก ให้ข้าราชการ/พนักงานราชการกรมเจ้าท่า จำนวน 2 วัน ที่ห้องประชุมของกรมเจ้าท่าในเดือนธันวาคม 2560

หัวข้อฝึกอบรมมี ดังนี้

- การเตรียมข้อมูลเพื่อใช้ในแบบจำลองครอบคลุมทั้งข้อมูลภูมิประเทศ ข้อมูลภูมิอากาศ ข้อมูลระดับน้ำ ฯลฯ การจัดเรียงข้อมูลสำหรับนำมาใช้ในโปรแกรม Delft3D แบบเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และระยะเวลา (space – time varying)
- การใช้โปรแกรม Delft3D – FLOW เตรียมแบบจำลองระดับภูมิภาค(ครอบคลุมพื้นที่ในทะเลอ่าวไทยถึงปลายแหลมมลายู) การปรับเทียบและทานสอบแบบจำลองจากข้อมูลสถานีตรวจวัดระดับน้ำของกรมเจ้าท่าและกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ
- การใช้โปรแกรม Delft3D – FLOW เตรียมแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ การนำผลวิเคราะห์ระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองระดับภูมิภาคมาใช้ในแบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการและการปรับเทียบแบบจำลอง
- การใช้โปรแกรม Delft3D – WAVE จำลองคุณลักษณะคลื่นในแบบจำลองระดับภูมิภาค แบบจำลองบริเวณที่ตั้งโครงการ และการปรับเทียบแบบจำลอง
- การวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงพื้นท้องน้ำโดยกำหนดให้โปรแกรม Delft3D – FLOW ทำงานควบคู่กับ Delft3D – WAVE
- การแปรผลแบบจำลอง การนำแบบจำลองไปวิเคราะห์ทางเลือกวิธีปรับปรุงร่องน้ำ และการวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ

วิทยากรที่ทำการฝึกอบรมมี 4 นาย ประกอบด้วย (1) นายกัมปนาท ชีวะปรีชา (2) ดร.สุริยัณห์ สาระมูล (3) ผศ.ดร.จิระวัฒน์ กณะสุต และ (4) รศ.ดร.ปราโมทย์ โศจิศุภร

8.7 ข้อเสนอแนะ

การปฏิบัติงานโครงการศึกษาและวิเคราะห์การตกตะกอนในร่องน้ำทางเดินเรือท่าเรือสงขลา (ร่องในและร่องนอก) จังหวัดสงขลา มีข้อเสนอแนะเพื่อพิจารณา ดังนี้

(1) แบบจำลองคณิตศาสตร์ Delft3D ซึ่งนำมาใช้ในโครงการ เป็นแบบจำลองที่ใช้เทคโนโลยีก้าวหน้า และมีประสิทธิภาพสูง เพราะสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งแบบ 2D 3D และผลวิเคราะห์มีเสถียรภาพสูง นอกจากนั้นจากพื้นฐานที่เป็นโปรแกรมแบบopen source[8] การนำแบบจำลองดังกล่าวมาใช้ในภารกิจของกรมเจ้าท่าจึงมีความเหมาะสมเพราะสามารถนำมาสอนให้เจ้าหน้าที่กรมเจ้าท่าได้เรียนรู้ในวงกว้างโดยไม่มีข้อจำกัดด้านจำนวนผู้ใช้

(2) ข้อจำกัดสำคัญของโปรแกรม คือ แบบจำลองมีรายละเอียดทางเทคนิคค่อนข้างมาก ผู้ใช้จึงควรมีพื้นฐานโปรแกรมประยุกต์อื่น เช่น MATLAB EXCEL ขั้นประยุกต์[9] เป็นต้น จึงจะสามารถเตรียมไฟล์ข้อมูลและแปรผลข้อมูล นอกจากนั้น เนื่องจากการแจ้งจุดผิดพลาด (error) ของข้อมูลที่นำเข้าโปรแกรมมีตัวแบบไม่มาก ผู้ใช้จึงควรมีความรู้พื้นฐานทางชลศาสตร์และเข้าใจพฤติกรรมของของไหลเป็นอย่างดีจึงจะสามารถตรวจสอบจุดผิดพลาดของผลวิเคราะห์ได้

(3) เพื่อให้กรมเจ้าท่าสามารถใช้ประโยชน์จากโปรแกรม Delft3D ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กรมเจ้าท่าควรนำโปรแกรม Delft3D ไปวิเคราะห์ตะกอนที่ตกในร่องน้ำแห่งอื่น เพื่อทำให้การใช้งานเกิดความหลากหลาย และผู้ใช้มีความมั่นใจมากขึ้น รวมถึงควรมีการศึกษาให้สามารถใช้ module ย่อยของโปรแกรมให้เกิดความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง การดำเนินการดังกล่าวอาจเป็นการจ้างบริษัทที่ปรึกษาไทย หรือพยายามสร้างความร่วมมือกับ Deltares ซึ่งเป็นผู้พัฒนาโปรแกรม ก็ได้

(4) โดยที่ผลการศึกษาบางส่วนมีผลเกี่ยวข้องกับงานขุดลอกในความรับผิดชอบของสำนักพัฒนาและบำรุงรักษาทางน้ำ และการนำเรือเข้าออกท่าเรือสงขลาซึ่งอยู่ในความรับผิดชอบของสำนักนำร่อง เพื่อให้ผลการศึกษาเกิดประโยชน์สูงสุด กรรมการกำกับการศึกษาฯ จึงควรจัดประชุมพิจารณารายงานการศึกษาร่วมกับสองหน่วยงานดังกล่าวด้วย

---

[8] ถึงแม้ในการใช้งานจำเป็นต้องซื้อคุณสมบัติพิเศษบางรายการเพิ่มเติม เช่น RGFGRID QUICKIN เป็นต้น แต่เมื่อซื้อแล้วก็ไม่กำหนดจำนวนผู้ใช้ ซึ่งเป็นแนวคิดของ open source

[9] หมายถึงสามารถเขียน script ใน MATLAB และ/หรือเขียน MACRO ใน EXCEL

ตารางที่ 8 - 3 การตรวจสอบความครบถ้วนของงานตามข้อกำหนดที่ต้องปฏิบัติ

ความต้องการของกรมเจ้าท่า	เนื้อหารายงาน
วัตถุประสงค์ของโครงการ	
(1) ศึกษาวิเคราะห์กระบวนการสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการตกตะกอนทับถมในบริเวณร่องน้ำทางเดินเรือของท่าเรือสงขลา ทั้งร่องน้ำด้านนอกและด้านใน ทั้งทางด้านอุทกวิทยา สมุทรศาสตร์ การพัดพาของตะกอนทั้งที่มาจากน้ำท่าและตะกอนตามแนวชายฝั่ง โดยอาศัยหลักวิชาการที่เหมาะสม และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ทันสมัยเชื่อถือได้มาใช้ประกอบการศึกษา	บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ
(2) ศึกษาและออกแบบร่องน้ำทางเดินเรือ ทั้งบริเวณร่องด้านนอกและด้านใน เพื่อประกันความลึกร่องน้ำตลอดระยะเวลาการใช้งานตามการออกแบบร่องน้ำ ทำให้สามารถประหยัดงบประมาณในการขุดลอก อีกทั้ง ช่วยให้การขุดลอกเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถบำรุงรักษาร่องน้ำทางเดินเรือได้อย่างยั่งยืน	บทที่ 6 การออกแบบร่องน้ำ
(3) การดำเนินงานขุดลอกร่องน้ำทางเดินเรือ เป็นภารกิจที่ต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องเป็นประจำเพื่อรักษาความลึกร่องน้ำให้สามารถรองรับการเดินเรือได้อย่างสะดวก ปลอดภัย เรือสามารถสัญจรเข้า-ออก ร่องน้ำได้ตลอดระยะเวลาการใช้งานตามการออกแบบร่องน้ำ อย่างไรก็ดี ลักษณะการตกตะกอนทับถมพื้นท้องน้ำในบริเวณพื้นที่ชายฝั่ง โดยเฉพาะบริเวณปากร่องน้ำทางเดินเรือมีความเป็นพลวัตรสูง ปัจจัยต่าง ๆ ล้วนมีผลเกี่ยวข้องทำให้การตกตะกอนทับถมในร่องน้ำมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา จึงจำเป็นที่เจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงานของกรมเจ้าท่าจะต้องได้รับการถ่ายทอดองค์ความรู้และฝึกอบรมให้สามารถดำเนินงานศึกษา และวิเคราะห์ลักษณะการตกตะกอนทับถมของร่องน้ำทางเดินเรือ ภายใต้ความร่วมมือด้านวิชาการและเทคโนโลยีกับผู้เชี่ยวชาญในระยะดำเนินการจริงอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้การดำเนินการปรับปรุงรูปแบบการขุดลอกร่องน้ำครอบคลุมทุกร่องน้ำสำคัญและสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงได้อย่างเหมาะสมในอนาคต	บทที่ 7 การถ่ายทอดเทคโนโลยี
(4) เสริมสร้างและพัฒนาสมรรถนะเจ้าหน้าที่ของกรมเจ้าท่าให้สามารถใช้งานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ประกอบการวิเคราะห์และออกแบบร่องน้ำทางเดินเรือผ่านการฝึกอบรมตามหลักวิชาการ โดยมุ่งเน้นการถ่ายทอดเทคโนโลยี ทักษะ และองค์ความรู้ที่สำคัญให้แก่เจ้าหน้าที่ทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ โดยศึกษากรณีตัวอย่างการดำเนินการขุดลอกร่องน้ำที่ใช้เทคโนโลยีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ออกแบบจริง ทั้งนี้ เพื่อเตรียมความพร้อมในการรองรับการดำเนินการพัฒนางานสำรวจออกแบบร่องน้ำเศรษฐกิจและร่องน้ำสำคัญทั้งหมดในอนาคต ผลจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีแบบจำลองดังกล่าวช่วยให้สามารถกำหนดกระบวนการและกรอบเวลาของการสำรวจติดตาม ตรวจสอบ และปรับปรุงการออกแบบร่องน้ำให้เป็นไปอย่างมีระบบแบบแผนเพื่อให้การดำเนินการขุดลอกสามารถรักษาร่องน้ำทางเดินเรือให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดงบประมาณ และช่วยพัฒนาการเดินเรือ และการ	บทที่ 7 การถ่ายทอดเทคโนโลยี

ความต้องการของกรมเจ้าท่า	เนื้อหารายงาน
ขนส่งสินค้าทางน้ำให้เป็นไปอย่างยั่งยืน	
ขอบเขตของงาน	
1. งานจัดเตรียมข้อมูล	
1.1 วิเคราะห์ข้อมูลสถิติการขุดลอกร่องน้ำในบริเวณท่าเรือสงขลาในอดีต รวบรวมสถิติข้อมูลย้อนหลังการดำเนินการขุดลอกทั้งในเชิงปริมาณและขอบเขตพื้นที่ขุด รวมถึงตำแหน่งที่ทิ้งตะกอน ข้อมูลสถิติดังกล่าวจะใช้ในการตรวจสอบลักษณะตะกอนทับถมและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของร่องน้ำในแต่ละฤดูกาล ทั้งนี้ ยังขึ้นกับตำแหน่งพื้นที่และความถี่ในการขุดลอก	บทที่ 2 ข้อมูลจำเพาะร่องน้ำสงขลาและปัญหาที่ต้องการแก้ไข
1.2 จัดเตรียมแผนที่ความลึกพื้นท้องน้ำ (Bathymetric map) และแผนที่แสดงตำแหน่งของการตกตะกอนทับถม แผนที่ความลึกพื้นท้องน้ำและข้อมูลที่เกี่ยวข้องในบริเวณทะเลสาบสงขลาและท่าเรือสงขลา โดยรวบรวมข้อมูลเดิมจากแหล่งต่าง ๆ ที่มีชุดข้อมูลแผนที่ความลึกพื้นท้องน้ำให้นำมาซ้อนทับกับชุดข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศของท่าเรือและชายฝั่งในบริเวณข้างเคียง เพื่อจัดเตรียมข้อมูลนำเข้าของความลึกพื้นท้องน้ำในรูปแบบเชิงกริดสำหรับการวิเคราะห์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้ การวิเคราะห์ข้อมูลให้พิจารณาชุดแผนที่ข้างต้นร่วมกับข้อมูลขนาดตะกอนพื้นท้องน้ำ	บทที่ 3 การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ กับบทที่ 4 การสำรวจรวบรวมข้อมูลภาคสนาม
1.3 วิเคราะห์ลักษณะการตกตะกอนทับถมร่องน้ำทางเดินเรือ โดยข้อมูลสถิติย้อนหลังของแผนที่ร่องน้ำในช่วงเวลาที่ต่างกันให้นำมาใช้วิเคราะห์เพื่อศึกษาอัตราการตกตะกอนรวมถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพพื้นท้องน้ำที่เกิดขึ้นจากการตกตะกอนทับถมในร่องน้ำ ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสภาพพื้นท้องน้ำในบริเวณร่องน้ำทางเดินเรือจากข้อมูลแผนที่ร่องน้ำย้อนหลังจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ที่มาของแหล่งตะกอนที่ตกทับถมในร่องน้ำได้	บทที่ 3 การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ
1.4 ข้อมูลวิเคราะห์สภาพแวดล้อม ให้จัดเตรียมข้อมูลสภาพแวดล้อมที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการตกตะกอนทับถมในร่องน้ำ ได้แก่ คลื่นนัยสำคัญ กำลังและทิศทางลม และพิสัยระดับน้ำขึ้น-ลง ในรูปของฐานข้อมูลย้อนหลังไม่น้อยกว่า 30 ปี โดยเป็นข้อมูลตรวจวัดคลื่น/ลมในบริเวณอ่าวไทย ข้อมูลดังกล่าวใช้ประกอบการวิเคราะห์สภาพคลื่นลมในบริเวณร่องน้ำทางเข้าท่าเรือสงขลา	บทที่ 3 การศึกษารวบรวมข้อมูลทุติยภูมิ

ความต้องการของกรมเจ้าท่า	เนื้อหารายงาน
2. งานวิเคราะห์แบบจำลอง	
2.1 ให้ดำเนินการวิเคราะห์แบบจำลองชลศาสตร์ของไหล (ระดับน้ำขึ้น-ลง/กระแสน้ำ) เพื่อจำลองสภาพการไหลทางชลศาสตร์จากอิทธิพลน้ำขึ้น-ลงในบริเวณครอบคลุมพื้นที่ทะเลสาบสงขลาทั้งหมด ตลอดจนท่าเรือและทะเลเปิดในบริเวณใกล้เคียง โดยใช้แบบจำลองที่น่าเชื่อถือในระดับสากลและเปิดใช้โดยสาธารณะ ชนิดวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยผลการวิเคราะห์ต้องนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดจริงจากสถานีวัดระดับน้ำในพื้นที่ ภายหลังเปรียบเทียบแล้วให้นำมาจัดทำขอบเขตแบบจำลองครอบคลุมแผนที่เชิงกริด เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์แบบจำลองสภาพชลศาสตร์การไหลในพื้นที่ต่อไป ผลการวิเคราะห์แบบจำลองต้องสามารถนำเสนอเป็นภาพเคลื่อนไหว (Animation) เพื่อชี้แจงผลการวิเคราะห์ได้อย่างชัดเจนและเข้าใจง่าย	บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ ข้อ 5.2
2.2 ให้ดำเนินการจัดทำแผนที่ค่าความเค้นพื้นท้องน้ำ (Scaled shear stress) จากข้อมูลแผนที่ชนิดตะกอนที่มีเพื่อใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวิเคราะห์ลักษณะการตกตะกอนที่พิจารณาจากอิทธิพลของชลศาสตร์การไหลของกระแสน้ำในร่องน้ำ ทั้งนี้ แผนที่ค่าความเค้นพื้นท้องน้ำจะได้นำไปใช้เปรียบเทียบกับข้อมูลการวิเคราะห์สภาพการเปลี่ยนแปลงร่องน้ำได้จากข้อมูลสถิติย้อนหลังในข้อ 1.3	บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำข้อ 5.4.1
2.3 ในกรณีน้ำหลากซึ่งมีผลต่อการตกตะกอนในร่องน้ำอย่างมีนัยสำคัญ จึงให้ดำเนินการทดสอบอิทธิพลการไหลของน้ำท่าในช่วงฤดูน้ำหลากจากการวิเคราะห์ผลแบบจำลองด้วย	บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ (เป็นการวิเคราะห์ตลอดทั้งปี)
2.4 ให้นำผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองชลศาสตร์ของไหลมาประกอบการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองวิเคราะห์การพัดพาของตะกอน โดยกำหนดให้มีขอบเขตวิเคราะห์ครอบคลุมบริเวณท่าเรือ ร่องน้ำทางเดินเรือชายฝั่งโดยครอบคลุมทะเลเปิดในบริเวณใกล้เคียงเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของสภาพคลื่นลม กระแสน้ำในพื้นที่ที่มีผลต่อการพัดพาของตะกอน ช่วยให้สามารถอธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของพื้นท้องน้ำจากการตกทับถมของตะกอนที่ถูกพัดพาตามแนวชายฝั่ง และจากคลื่นลม อันจะช่วยยืนยันแหล่งตะกอนหลักที่เป็นต้นเหตุและลักษณะการตกตะกอนทับถมในร่องน้ำทางเดินเรือของท่าเรือสงขลาได้ ทั้งนี้ แบบจำลองการพัดพาของตะกอนจะต้องมีความน่าเชื่อถือและเปิดใช้โดยสาธารณะ และต้องสามารพิจารณาครอบคลุมปัจจัยสำคัญต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการตกตะกอนทับถมของร่องน้ำในพื้นที่ศึกษาได้ อนึ่ง ที่ปรึกษาจะต้องนำเสนอคุณสมบัติของแบบจำลองต่างๆ ที่จะใช้ในโครงการให้คณะกรรมการกำกับการทำงานและตรวจรับงานที่ปรึกษาพิจารณาอนุมัติก่อนจึงจะนำมาใช้ได้	บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำข้อ 5.1 ถึงข้อ 5.4

ความต้องการของกรมเจ้าท่า	เนื้อหารายงาน
2.5 ให้นำแบบจำลองดังกล่าวซึ่งได้กำหนดข้อมูลประกอบการวิเคราะห์สอดคล้องกับสภาพร่องน้ำทางเดินเรือของพื้นที่ศึกษาได้อย่างครบถ้วนเหมาะสมแล้ว มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อออกแบบ ปรับปรุงการขุดลอกร่องน้ำทางเดินเรือ โดยการจำลองสภาพปัจจัยทางชลศาสตร์และปริมาณการพัดพาของตะกอนที่ตกทับถมร่วมกับการออกแบบทางเลือกการขุดลอกร่องน้ำ เพื่อพิจารณารูปแบบร่องน้ำที่เหมาะสมที่สุดตามวัตถุประสงค์ต่อไป	บทที่ 5 การวิเคราะห์ปริมาณตะกอนที่ตกในร่องน้ำ ข้อ 5.4
3. งานออกแบบรายละเอียดและข้อเสนอแนะ	
ให้นำผลการศึกษาจากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งหมด ทั้งสถิติข้อมูลย้อนหลังของแผนที่ความลึกร่องน้ำ ปริมาณตะกอนขุดลอก ข้อมูลสภาพชลศาสตร์ และผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบและปรับแก้เพื่อนำเสนอทางเลือกการออกแบบรูปหน้าตัดการขุดลอกร่องน้ำ และข้อมูลอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ให้นำมาจัดทำเป็นสรุปรายงานผลครอบคลุมตลอดทั้งกระบวนการศึกษา และข้อเสนอแนะของรูปแบบรูปตัดการขุดลอกร่องน้ำที่เหมาะสม โดยนำเสนอรายงานตามจำนวนชุดที่กำหนด	บทที่ 6 การออกแบบร่องน้ำ