



กรมการขนส่งทางบก

รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report)

โครงการศึกษาออกแบบระบบสมาร์ทโลจิสติกส์
เพื่อยกระดับความปลอดภัยในการทำกับควบคุมยานพาหนะข้ามพรมแดน



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

สารบัญ	i
สารบัญรูป	iii
สารบัญตาราง.....	x
1. บทนำ	1-1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	1-1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	1-3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1-4
2. วิธีการและแผนการดำเนินงาน.....	2-1
2.1 ขอบเขตการศึกษา	2-3
2.2 การรายงานผลการศึกษา	2-5
3. การศึกษาและรวบรวมความคิดเห็นในการออกแบบอุปกรณ์	3-1
4. การศึกษาออกแบบฮาร์ดแวร์และระบบสื่อสารของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่น.....	4-1
4.1 การศึกษารายละเอียดของอุปกรณ์	4-1
4.2 การติดตามรถยนต์ในต่างประเทศ	4-24
4.3 การออกแบบแผนผังอุปกรณ์.....	4-34
5. การพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype)	5-1
5.1 การพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype)	5-1
5.2 การทดสอบ Gyroscope และ Accelerometer	5-37
5.3 การทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในสถานะแวดล้อมจริงในพื้นที่	5-40
5.4 ข้อมูลผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่นำร่อง	5-47
6. การวิเคราะห์ผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบ.....	6-1
6.1 ผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่นำร่อง.....	6-1
6.2 ผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ Gyroscope และ Accelerometer.....	6-6
6.3 เปรียบเทียบอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype) 4 รูปแบบ.....	6-13
6.4 ความถูกต้องในการตรวจวัดตำแหน่งยานพาหนะ	6-14
6.5 ความถี่/ความเร็วในการส่งข้อมูล และระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ โดยไม่ชาร์จแบตเตอรี่.....	6-17
6.6 เสถียรภาพของสัญญาณข้อมูลโดยเฉพาะบริเวณรอยต่อพรมแดนระหว่างประเทศ.....	6-25
6.7 ความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นบนรถยนต์และรถจักรยานยนต์ ..	6-27
6.8 ความทนทานของอุปกรณ์ฯ ในสถานะการใช้จริง.....	6-28
6.9 การป้องกันเจ้าของรถถอดหรือแยกอุปกรณ์ติดตามการเดินทางออกจากยานพาหนะ.....	6-28
6.10 การป้องกันการใช้เครื่องรบกวนสัญญาณ.....	6-28
7. การศึกษาวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ การเงิน และด้านวิศวกรรม.....	7-1
7.1 การวิเคราะห์ด้านการเงิน.....	7-1
7.2 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์	7-14
7.3 การวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม	7-56
7.4 แนวทางบริหารจัดการอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น.....	7-59

8. การจัดทำข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณ ของเทคโนโลยีที่ศึกษา.....	8-1
8.1 ความครอบคลุมการส่งสัญญาณ LoRa	8-1
8.2 ความครอบคลุมการส่งสัญญาณ NB-IoT	8-16
8.3 แนวทางการบูรณาการข้อมูลจากเครื่องอ่าน RFID ร่วมกับหน่วยงานอื่นๆ ในอนาคต.....	8-19
9. การจัดประชุมระดมความคิดเห็นและประชาสัมพันธ์โครงการ	9-1
9.1 การจัดประชุมระดมความคิดเห็น.....	9-1
10. การจัดทำวีดิทัศน์สรุปผลการศึกษาและประชาสัมพันธ์โครงการ	10-1
11. บทสรุป	11-1

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของระบบ.....	2-1
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของระบบต่อเนื่องจากการดำเนินงานในระยะที่ 1.....	2-2
รูปที่ 3.2 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 1.....	3-5
รูปที่ 3.3 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 2.....	3-6
รูปที่ 3.4 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 3.....	3-7
รูปที่ 3.5 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 4.....	3-8
รูปที่ 3.6 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 5.....	3-9
รูปที่ 3.7 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 5.....	3-10
รูปที่ 3.8 บรรยายภาพการประชุมสำรวจความคิดเห็น	3-11
รูปที่ 4.1 โมดูลจีพีเอสชนิดสายอากาศแพทช์.....	4-3
รูปที่ 4.2 โมดูลจีพีเอสชนิดสายอากาศเฮลิคอลล.....	4-3
รูปที่ 4.3 โมดูลจีพีเอสชนิดสายอากาศภายนอก.....	4-3
รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ตรวจวัดพิกัดจากดาวเทียมที่มีเซ็นเซอร์ตรวจจับการถอดอุปกรณ์.....	4-4
รูปที่ 4.5 ช่องเสียบ OBD II ในรถยนต์.....	4-4
รูปที่ 4.6 ติดตามที่มีปลั๊กเสียบกับช่อง OBD II.....	4-5
รูปที่ 4.7 วิวัฒนาการของเทคโนโลยี 1G ถึง 5G.....	4-5
รูปที่ 4.8 ลักษณะการนำเทคโนโลยี 4G มาประยุกต์ใช้.....	4-7
รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบช่วงความถี่และกำลังส่งของ LoRa ในแต่ละประเทศ.....	4-8
รูปที่ 4.10 รูปแบบการใช้งานเครือข่ายลอรา (LoRa).....	4-9
รูปที่ 4.11 องค์ประกอบของโปรโตคอล LoRa.....	4-9
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างเปรียบเทียบ Spreading Factors และ Bit Rate ของอุปกรณ์ LoRa.....	4-10
รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบระยะทางและอัตราการรับ-ส่งข้อมูลของเทคโนโลยีการเชื่อมต่อแต่ละประเภท.....	4-11
รูปที่ 4.14 ตัวอย่างอุปกรณ์เครือข่ายลอรา (LoRa).....	4-12
รูปที่ 4.15 พื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่ายลอรา ด้านพรมแดนแม่สอด	4-13
รูปที่ 4.16 พื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่ายลอรา ด้านพรมแดนแม่สาย	4-13
รูปที่ 4.17 พื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่ายลอรา ด้านพรมแดนบ้านพุน้ำร้อน	4-14
รูปที่ 4.18 พื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่ายลอรา ด้านพรมแดนคลองใหญ่	4-14
รูปที่ 4.19 พื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่ายลอรา ด้านพรมแดนบ้านฝักกาด.....	4-15
รูปที่ 4.20 พื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่ายลอรา ด้านพรมแดนคลองลึก.....	4-15
รูปที่ 4.21 ภาพรวมของระบบ RFID.....	4-17

รูปที่ 4.22 RFID แท็กในรูปแบบต่างๆ.....	4-17
รูปที่ 4.23 รูปตัวอย่าง Active Tag ที่มีแบตเตอรี่ Lithium 2 ก้อนอยู่ภายนอก.....	4-18
รูปที่ 4.24 รูปตัวอย่างเครื่องอ่านแบบต่างๆ.....	4-19
รูปที่ 4.25 รูปจำลอง RFID Tag แบบ Passive	4-21
รูปที่ 4.26 ผลจำลองการส่งสัญญาณของ RFID Tag เมื่ออยู่ในสัญญาณภาค.....	4-21
รูปที่ 4.27 รูปจำลอง RFID Tag แบบ Passive ติดตั้งบนแผ่นป้ายทะเบียน.....	4-22
รูปที่ 4.28 ผลจำลองการส่งสัญญาณของ RFID Tag เมื่อติดตั้งบนแผ่นป้ายทะเบียน.....	4-23
รูปที่ 4.29 ระบบ Telematics Insurance โดยการเชื่อมโยงข้อมูลจากกล่อง ECU ผ่านพอร์ท OBDII.....	4-26
รูปที่ 4.30 ระบบ Telematics Insurance แบบ GPS Black Box	4-26
รูปที่ 4.31 ภาพรวมระบบ Smart Tachograph	4-27
รูปที่ 4.32 ตัวอย่างกล่อง Smart Tachograph Vehicle Unit.....	4-27
รูปที่ 4.33 ตัวอย่างกล่อง Smart Tachograph Vehicle Unit.....	4-28
รูปที่ 4.34 International Circulation Permit ที่ออกโดย JPJ ของมาเลเซีย	4-29
รูปที่ 4.35 รถยนต์ต่างประเทศที่จะเดินทางเข้ามาเลเซียต้องขอ Vehicle Entry Permit (VEP) กับ JPJ.....	4-31
รูปที่ 4.36 ตัวอย่าง RFID Tag ของประเทศมาเลเซีย.....	4-32
รูปที่ 4.37 การติดตั้ง RFID Tag ของประเทศมาเลเซีย บริเวณกระจกหน้าของรถยนต์.....	4-32
รูปที่ 4.38 การติดตั้ง RFID Tag บริเวณกระจกหน้าของรถยนต์เมื่อมองจากด้านนอก.....	4-33
รูปที่ 4.39 การติดตั้ง RFID Tag ของประเทศมาเลเซีย เมื่อมองจากด้านในรถ.....	4-33
รูปที่ 4.40 แผนผังการทำงานของระบบโดยรวม	4-35
รูปที่ 4.41 แผนผังองค์ประกอบอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด NB-IoT.....	4-36
รูปที่ 4.42 แผนผังการเชื่อมต่อของวงจรไฟฟ้า.....	4-37
รูปที่ 4.43 แผนผังการเชื่อมต่อของวงจรจัดการพลังงาน	4-38
รูปที่ 4.44 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงสวิตช์สูงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสวิตช์ต่ำ.....	4-38
รูปที่ 4.45 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่.....	4-39
รูปที่ 4.46 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Buck-Boost.....	4-39
รูปที่ 4.47 วงจรโมดูลสื่อสารผ่าน LoRa พร้อมหน่วยประมวลผลหลัก	4-40
รูปที่ 4.48 วงจรโมดูลสื่อสารผ่าน NB-IOT พร้อมโมดูล GPS ในตัว และเสาอากาศ.....	4-40
รูปที่ 4.49 วงจรปรับระดับแรงดันสำหรับการสื่อสารสองทาง	4-41
รูปที่ 4.50 วงจรหน่วยเก็บข้อมูลผ่าน SD Card.....	4-41
รูปที่ 4.51 วงจรเสาอากาศภายในสำหรับการสื่อสารผ่าน LoRa.....	4-42
รูปที่ 4.52 แผนผังองค์ประกอบอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa.....	4-43
รูปที่ 4.53 แผนผังองค์ประกอบอุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa.....	4-45

รูปที่ 4.54 แผนผังองค์ประกอบอุปกรณ์สื่อสารชนิด RFID.....	4-46
รูปที่ 4.55 แผนผังระบบการทำงานของอุปกรณ์ระบุตัวตนผ่าน RFID.....	4-47
รูปที่ 4.56 วงจร RFID แบบ Battery assist	4-48
รูปที่ 5.1 แผนผัง PCB Top Layer.....	5-2
รูปที่ 5.2 แผนผัง PCB Inner Layer 1	5-2
รูปที่ 5.3 แผนผัง PCB Inner Layer 2.....	5-3
รูปที่ 5.4 แผนผัง PCB Bottom Layer.....	5-3
รูปที่ 5.5 แผนผัง PCB Top Overlay	5-4
รูปที่ 5.6 แผนผัง PCB Top Solder Paste	5-4
รูปที่ 5.7 แผนผัง PCB Top Solder Mask	5-5
รูปที่ 5.8 แผนผัง PCB Bottom Solder Mask.....	5-5
รูปที่ 5.9 แผนผัง PCB Keep-Out layer	5-6
รูปที่ 5.10 ภาพจำลอง 3D ของ PCB แบบ Single Board.....	5-6
รูปที่ 5.11 ภาพจำลอง 3D ของ PCB แบบ Panel board ที่ใช้สำหรับการผลิต.....	5-7
รูปที่ 5.12 อุปกรณ์เมื่อทำการผลิตออกมาแล้ว	5-7
รูปที่ 5.13 แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของอุปกรณ์ที่พร้อมใช้งาน.....	5-8
รูปที่ 5.14 รูปร่างและขนาดของกรอบพลาสติกภายนอกสำหรับจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบ	5-8
รูปที่ 5.15 ลักษณะของกรอบพลาสติกภายนอกสำหรับจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบ	5-9
รูปที่ 5.16 การส่งข้อมูลระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกผ่านเครือข่าย NB-IoT	5-15
รูปที่ 5.17 รูปแสดงโครงสร้างของ Firmware ของอุปกรณ์สื่อสารผ่าน NB-IOT	5-16
รูปที่ 5.18 รูปแสดงไฟล์ Driver ทั้งหมดที่ใช้ใน Firmware ของอุปกรณ์สื่อสารผ่าน NB-IOT	5-16
รูปที่ 5.19 รูปแสดงการเก็บข้อมูลของ server จำแนกเป็น file ตาม ID ของอุปกรณ์	5-17
รูปที่ 5.20 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูเก็บใน Server	5-18
รูปที่ 5.21 Flow chart การทำงานของอุปกรณ์ส่งข้อมูลผ่าน NB-IOT.....	5-19
รูปที่ 5.22 รูปอุปกรณ์ต้นแบบชนิด GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT	5-20
รูปที่ 5.23 ลักษณะภายในของอุปกรณ์ต้นแบบชนิด GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT.....	5-20
รูปที่ 5.24 การส่งข้อมูลระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกผ่านเครือข่ายลอรา (LoRa)	5-21
รูปที่ 5.25 รูปแสดงโครงสร้างของ Firmware ของอุปกรณ์สื่อสารผ่าน LoRa.....	5-22
รูปที่ 5.26 รูปแสดงไฟล์ Driver ทั้งหมดที่ใช้ใน Firmware ของอุปกรณ์สื่อสารผ่าน LoRa.....	5-22
รูปที่ 5.27 ตัวอย่างข้อมูลที่ส่งไปยัง server ของ CAT LoRa.....	5-23
รูปที่ 5.28 Flow chart การทำงานของอุปกรณ์ส่งข้อมูลผ่าน LoRa ผสมกับ GPS บวกพิกัด	5-24
รูปที่ 5.29 รูปอุปกรณ์ต้นแบบชนิด GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa	5-24

รูปที่ 5.30 ลักษณะภายในของอุปกรณ์ต้นแบบชนิด GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa.....	5-25
รูปที่ 5.31 การส่งข้อมูลระบบตรวจวัดผ่านเครือข่ายลอรา (LoRa).....	5-26
รูปที่ 5.32 รูปแสดงตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการหาตำแหน่งจาก LoRa Station	5-26
รูปที่ 5.33 แผนที่แสดงบริเวณอุปกรณ์ด้วยวิธีการประมาณตำแหน่งด้วย RSSI และ LRR ID.....	5-28
รูปที่ 5.34 Flow chart การทำงานของอุปกรณ์ส่งข้อมูลผ่าน LoRa โดยหาพิกัดจาก LoRa station	5-28
รูปที่ 5.35 รูปอุปกรณ์ต้นแบบชนิด Lora.....	5-29
รูปที่ 5.36 ลักษณะภายในของอุปกรณ์ต้นแบบชนิด Lora	5-30
รูปที่ 5.37 การส่งข้อมูลระบบตรวจวัดผ่านเครือข่ายระบบ RFID.....	5-31
รูปที่ 5.38 แผ่นผัง PCB ของ RFID Tag	5-31
รูปที่ 5.39 รูปแผ่น PCB แบบ 3D ของ RFID Tag ที่พร้อมนำไปผลิต	5-32
รูปที่ 5.40 รูป Enclosure ของ RFID Tag แบบ Battery Assist.....	5-32
รูปที่ 5.41 RFID Tag	5-35
รูปที่ 5.42 RFID Antenna	5-35
รูปที่ 5.43 Alien RFID Reader รุ่น ALR-9650	5-36
รูปที่ 5.44 อุปกรณ์ Embedded Linux Board ที่ใช้ร่วมกับการพัฒนาอุปกรณ์ระบุตัวตนผ่าน RFID	5-36
รูปที่ 5.45 องค์ประกอบ และแนวแกนของ Gyroscope.....	5-38
รูปที่ 5.46 ทิศทางแนวแกน X Y Z ของ Accelerometer.....	5-38
รูปที่ 5.47 ทิศทางแนวแกน X Y Z ของ Accelerometer ในการตรวจวัดพฤติกรรมการขับขี่.....	5-39
รูปที่ 5.48 อุปกรณ์ Gyroscope และ Accelerometer ที่ใช้ในการทดสอบ.....	5-40
รูปที่ 5.49 รถทดสอบคันที่ 1 รถกระบะ	5-41
รูปที่ 5.50 รถทดสอบคันที่ 2 รถกระบะ	5-42
รูปที่ 5.51 รถทดสอบคันที่ 3 รถกระบะ	5-42
รูปที่ 5.52 รถทดสอบคันที่ 4 รถจักรยานยนต์.....	5-43
รูปที่ 5.53 รถทดสอบคันที่ 5 รถจักรยานยนต์.....	5-43
รูปที่ 5.54 การส่งมอบอุปกรณ์แก่เจ้าของรถที่ใช้ในการทดสอบ.....	5-44
รูปที่ 5.55 การติดตั้งอุปกรณ์กับรถกระบะที่ใช้ในการทดสอบ.....	5-45
รูปที่ 5.56 การติดตั้งอุปกรณ์กับรถจักรยานยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ	5-45
รูปที่ 5.57 การติดตั้งอุปกรณ์ RFID Reader.....	5-46
รูปที่ 5.58 การติดตั้งอุปกรณ์ RFID Antenna.....	5-46
รูปที่ 6.1 ทิศทางการติดตั้ง Gyroscope และ Accelerometer มุมมองด้านบน.....	6-6
รูปที่ 6.2 ทิศทางการติดตั้ง Gyroscope และ Accelerometer มุมมองด้านข้าง.....	6-6
รูปที่ 6.3 Accelerometer กรณี จอดนิ่ง	6-7

รูปที่ 6.4 Gyroscope กรณี จอดนิ่ง	6-7
รูปที่ 6.5 ตัวอย่างผลลัพธ์ Accelerometer กรณียกตัวแรง.....	6-8
รูปที่ 6.6 ตัวอย่างผลลัพธ์ Gyroscope กรณียกตัวแรง	6-8
รูปที่ 6.7 ตัวอย่างผลลัพธ์ Accelerometer กรณีเบรกกะทันหัน	6-9
รูปที่ 6.8 ตัวอย่างผลลัพธ์ Gyroscope กรณีเบรกกะทันหัน	6-9
รูปที่ 6.9 ตัวอย่างผลลัพธ์ Accelerometer กรณีเบี่ยงกะทันหัน	6-10
รูปที่ 6.10 ตัวอย่างผลลัพธ์ Gyroscope กรณีเบี่ยงกะทันหัน	6-10
รูปที่ 6.11 ตัวอย่างผลลัพธ์ Accelerometer กรณีเลี้ยวขวา.....	6-11
รูปที่ 6.12 ตัวอย่างผลลัพธ์ Gyroscope กรณีเลี้ยวขวา.....	6-11
รูปที่ 6.13 ตัวอย่างผลลัพธ์ Accelerometer กรณีเลี้ยวซ้าย.....	6-12
รูปที่ 6.14 ตัวอย่างผลลัพธ์ Gyroscope กรณีเลี้ยวซ้าย	6-12
รูปที่ 6.15 พื้นที่การให้บริการสัญญาณ LoRa ของ CAT Telecom.....	6-14
รูปที่ 6.16 ผลการตรวจวัดความแม่นยำในการติดตามของอุปกรณ์ติดตาม	6-15
รูปที่ 6.17 การกระจายตัวของตำแหน่งในการทดสอบความแม่นยำในการติดตาม	6-16
รูปที่ 6.18 ความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดสะสม.....	6-17
รูปที่ 6.19 การวัดค่าโดย Oscilloscope	6-18
รูปที่ 6.20 กระแสช่วง idle	6-18
รูปที่ 6.21 กระแสช่วงรับ-ส่งข้อมูล	6-19
รูปที่ 6.22 Waveform ของอุปกรณ์ LoRa	6-19
รูปที่ 6.23 ระยะเวลาการส่งข้อมูล-อายุการใช้งานของอุปกรณ์ LoRa	6-21
รูปที่ 6.24 ระยะเวลาการส่งข้อมูล-อายุการใช้งานของอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa	6-22
รูปที่ 6.25 กระแสที่วัดได้จากอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IOT.....	6-23
รูปที่ 6.26 เครื่องมือ Coulomb Meter	6-23
รูปที่ 6.27 ระยะเวลาการส่งข้อมูล-อายุการใช้งานของอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT	6-24
รูปที่ 6.28 ข้อมูลจากอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IOT ในพื้นที่นำร่อง.....	6-25
รูปที่ 6.29 ข้อมูลจากอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT ในพื้นที่นำร่อง (รูปขยายในตัวเมือง).....	6-26
รูปที่ 6.30 ข้อมูลจากอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa ในพื้นที่นำร่อง.....	6-26
รูปที่ 6.31 ข้อมูลจากอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa ในพื้นที่นำร่อง (รูปขยายในตัวเมือง).....	6-27
รูปที่ 7.1 ตำแหน่งคาดการณ์ในการติดตั้ง RFID Reader (11 สถานี) ถนนเลนขาออกจาก จ.ตาก	7-5
รูปที่ 7.2 อัตราค่าธรรมเนียมแต่ละกรณี ที่อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 12%	7-10
รูปที่ 7.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ตามปริมาณรถ ที่ค่าธรรมเนียม 150 บาท/ปี	7-12
รูปที่ 7.4 จุดตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่นบริเวณขาออกจังหวัดตาก 5 จุด	7-22

รูปที่ 7.5 รายได้ทางเศรษฐศาสตร์ต่อรถ 1 คันที่ไม่ออกนอกพื้นที่.....	7-23
รูปที่ 7.6 รายได้ทางเศรษฐศาสตร์รวมของโครงการเมื่อมีรถออกนอกพื้นที่ 10%	7-24
รูปที่ 7.7 รายได้ทางเศรษฐศาสตร์รวมของโครงการเมื่อจำนวนรถออกนอกพื้นที่แตกต่างกันไปยัง กทม.....	7-25
รูปที่ 7.8 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม NB-IoT ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 100 กม.	7-51
รูปที่ 7.9 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม LoRaGPS ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 100 กม.....	7-51
รูปที่ 7.10 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม LoRa ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 100 กม.....	7-52
รูปที่ 7.11 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม RFID ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 100 กม.....	7-52
รูปที่ 7.12 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม NB-IoT ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 900 กม.....	7-53
รูปที่ 7.13 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม LoRaGPS ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 900 กม.....	7-53
รูปที่ 7.14 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม LoRa ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 900 กม.....	7-54
รูปที่ 7.15 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม RFID ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 900 กม.....	7-54
รูปที่ 7.16 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม เมื่อปริมาณรถตามที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ไปกลับกำแพงเพชร.....	7-55
รูปที่ 7.17 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม เมื่อปริมาณรถตามที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ไปกลับกรุงเทพฯ.....	7-55
รูปที่ 7.18 แนวทางการให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเข้ามามีส่วนร่วมในการดำเนินงาน	7-59
รูปที่ 7.19 แนวทางการประยุกต์ใช้กับประเทศไทยในการกำกับรถข้ามพรมแดน.....	7-60
รูปที่ 7.20 การยื่นขออนุญาตรถประจำถิ่นผ่านระบบออนไลน์.....	7-60
รูปที่ 8.1 ตำแหน่งเสาส่งสัญญาณ Lora ของ CAT ที่พบในการเก็บข้อมูลนาร่อง.....	8-2
รูปที่ 8.2 Lora Gateway 1.....	8-4
รูปที่ 8.3 Lora Gateway 2.....	8-5
รูปที่ 8.4 Lora Gateway 3.....	8-6
รูปที่ 8.5 Lora Gateway 4.....	8-7
รูปที่ 8.6 Lora Gateway 5.....	8-8
รูปที่ 8.7 Lora Gateway 6.....	8-9
รูปที่ 8.8 Lora Gateway 7.....	8-10
รูปที่ 8.9 Lora Gateway 8.....	8-11
รูปที่ 8.10 แผนที่ตำแหน่งส่งสัญญาณ LoRa สำเร็จในบริเวณพื้นที่นาร่อง	8-12
รูปที่ 8.11 แผนที่ข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณ LoRa.....	8-13
รูปที่ 8.12 แผนที่ข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณ LoRa (ภาพขยายในตัวเมือง).....	8-14
รูปที่ 8.13 แผนที่ข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณ LoRa จาก CAT Telecom.....	8-15
รูปที่ 8.14 แผนที่ตำแหน่งส่งสัญญาณ NB-IoT สำเร็จในบริเวณพื้นที่นาร่อง	8-16
รูปที่ 8.15 แผนที่ตำแหน่งส่งสัญญาณ NB-IoT สำเร็จในบริเวณพื้นที่นาร่อง (ภาพขยายในตัวเมือง)	8-17
รูปที่ 8.16 แผนที่ข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณ NB-IoT จาก TRUE.....	8-18

รูปที่ 9.1 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 1.....	9-4
รูปที่ 9.2 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 2.....	9-5
รูปที่ 9.3 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 3.....	9-6
รูปที่ 9.4 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 4.....	9-7
รูปที่ 9.5 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 5.....	9-8
รูปที่ 9.6 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 6.....	9-9
รูปที่ 9.7 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 7.....	9-10
รูปที่ 9.8 การประชุมสำรวจความคิดเห็น.....	9-11
รูปที่ 10.1 ตัวอย่างวิธีทัศน์สรุปผลการศึกษาและประชาสัมพันธ์โครงการความยาว 2 นาที	10-2
รูปที่ 10.2 ตัวอย่างวิธีทัศน์สรุปผลการศึกษาและประชาสัมพันธ์โครงการความยาว 4 นาที	10-2
รูปที่ 10.3 ตัวอย่างวิธีทัศน์สรุปผลการศึกษาและประชาสัมพันธ์โครงการความยาว 7 นาที	10-3

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดปัจจัยในการพิจารณา.....	3-2
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดระบบนำทางด้วยดาวเทียมบนพื้นโลก (GNSS).....	4-1
ตารางที่ 4.2 พื้นที่รองรับเครือข่าย LORA บริเวณด่านพรมแดนที่ใช้งานรถประจำถิ่น	4-12
ตารางที่ 5.1 รูปแบบและจำนวนอุปกรณ์ต้นแบบ	5-1
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงรายการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดที่อยู่ในแผงวงจรอุปกรณ์ติดตามสื่อสาร	5-10
ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงรายละเอียดของ Parameter ที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่าน CAT LoRa	5-23
ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงรายละเอียด Payload ที่ส่งไปยัง CAT LoRa.....	5-23
ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงรายการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดที่อยู่ในแผงวงจร RFID	5-33
ตารางที่ 5.6 เกณฑ์ที่แนะนำ กรณีเบรก แรงความเร็วหรือการเปลี่ยนทิศทาง	5-39
ตารางที่ 5.7 รายละเอียดรถและอุปกรณ์ที่ติดตั้งในรถทดสอบ.....	5-41
ตารางที่ 5.8 ตัวอย่างข้อมูลจาก GPS ผนวกกับ NB-IoT.....	5-47
ตารางที่ 5.9 ตัวอย่างข้อมูลจาก GPS ผนวกกับ LoRa.....	5-47
ตารางที่ 5.10 ตัวอย่างข้อมูลจาก LoRa.....	5-48
ตารางที่ 5.11 ตัวอย่างข้อมูลจาก RFID.....	5-48
ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างข้อมูลจาก GPS ผนวกกับ NB-IoT.....	6-2
ตารางที่ 6.2 อัตราความสำเร็จในการบันทึกข้อมูลจาก GPS ผนวกกับ NB-IoT.....	6-2
ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างข้อมูลจาก GPS ผนวกกับ LoRa.....	6-3
ตารางที่ 6.4 อัตราความสำเร็จในการบันทึกข้อมูลจาก GPS ผนวกกับ LoRa.....	6-3
ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างข้อมูลจาก LoRa.....	6-4
ตารางที่ 6.6 ระยะทางระหว่างเสาส่งสัญญาณ LoRa และอุปกรณ์ LoRa ที่ส่งข้อมูลสำเร็จจากรถแต่ละคัน	6-4
ตารางที่ 6.7 ตัวอย่างข้อมูลจาก RFID.....	6-5
ตารางที่ 6.8 เปรียบเทียบอุปกรณ์ต้นแบบ 4 รูปแบบ	6-14
ตารางที่ 6.9 เปรียบเทียบความถูกต้องในการตรวจวัดตำแหน่งยานพาหนะ	6-15
ตารางที่ 6.10 ผลสรุปความแม่นยำในการติดตามทางสถิติ	6-17
ตารางที่ 6.11 ระยะเวลาการส่งข้อมูล-อายุการใช้งาน (วัน) อุปกรณ์ LoRa.....	6-20
ตารางที่ 6.12 ระยะเวลาการส่งข้อมูล-อายุการใช้งาน อุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa.....	6-22
ตารางที่ 6.13 ระยะเวลาการส่งข้อมูล-อายุการใช้งาน อุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT.....	6-24
ตารางที่ 6.14 เปรียบเทียบความถี่/ความเร็วในการส่งข้อมูลและระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์อย่างต่อเนื่อง... 6-24	
ตารางที่ 6.15 เปรียบเทียบ เสถียรภาพของสัญญาณบริเวณรอยต่อพรมแดนระหว่างประเทศ.....	6-27

ตารางที่ 6.16 เปรียบเทียบ ความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น.....	6-27
ตารางที่ 6.17 เปรียบเทียบ ความทนทานของอุปกรณ์ฯ ในสถานะการใช้จริง	6-28
ตารางที่ 6.18 เปรียบเทียบ การป้องกันเจ้าของรถถอดหรือแยกอุปกรณ์ติดตามการเดินทาง	6-28
ตารางที่ 6.19 เปรียบเทียบ การป้องกันการใช้เครื่องรบกวนสัญญาณ	6-29
ตารางที่ 7.1 อัตราเงินเฟ้อประเทศไทย ปี พ.ศ. 2540 ถึง 2560	7-3
ตารางที่ 7.2 ตำแหน่งคาดการณ์ในการติดตั้ง RFID Reader (11 สถานี) ถนนเลนขาออกจาก จ.ตาก	7-5
ตารางที่ 7.3 ปริมาณรถคาดการณ์ บริเวณด่านพรมแดนแม่สอด จังหวัดตาก.....	7-5
ตารางที่ 7.4 การประเมินต้นทุนแบบง่ายของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น (RFID)	7-6
ตารางที่ 7.5 การประเมินต้นทุนแบบง่ายของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น.....	7-6
ตารางที่ 7.6 อัตราค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม ที่ผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 12.....	7-7
ตารางที่ 7.7 ประมาณการการรายได้และรายจ่ายอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT.....	7-7
ตารางที่ 7.8 ประมาณการการรายได้และรายจ่ายอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa.....	7-8
ตารางที่ 7.9 ประมาณการการรายได้และรายจ่ายอุปกรณ์ LoRa	7-8
ตารางที่ 7.10 ประมาณการการรายได้และรายจ่ายอุปกรณ์ RFID.....	7-9
ตารางที่ 7.11 อัตราค่าธรรมเนียมแต่ละกรณี ที่อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 12%.....	7-11
ตารางที่ 7.12 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ที่ค่าธรรมเนียม 150 บาท/ปี.....	7-13
ตารางที่ 7.13 ตารางแสดงมูลค่าอุบัติเหตุในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง.....	7-14
ตารางที่ 7.14 ปริมาณการเดินทางบนทางหลวงจำแนกตามประเภทรถ ปี 2562.....	7-15
ตารางที่ 7.15 โหลดเพลาดียวเทียบเท่า (ESAL) ของรถแต่ละประเภท.....	7-16
ตารางที่ 7.16 ตารางแสดง Total Esal	7-18
ตารางที่ 7.17 ตัวคูณสารมลพิษ (CO, NMVOC, Nox) ของรถยนต์แต่ละประเภท	7-19
ตารางที่ 7.18 ตัวคูณสารมลพิษ (PM, N2O, MH3) ของรถยนต์แต่ละประเภท.....	7-19
ตารางที่ 7.19 ตัวคูณสารมลพิษ (HC) ของรถยนต์แต่ละประเภท	7-20
ตารางที่ 7.20 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	7-20
ตารางที่ 7.21 การวิเคราะห์การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	7-21
ตารางที่ 7.22 ผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์ต่อรถ 1 คันที่ไม่ออกนอกพื้นที่	7-23
ตารางที่ 7.23 ผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์รวมของโครงการเมื่อมีรถออกนอกพื้นที่ 10%.....	7-24
ตารางที่ 7.24 ตัวปรับค่า (Conversion Factor) ราคาทางเศรษฐศาสตร์เป็นราคาทางเศรษฐกิจ	7-26
ตารางที่ 7.25 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ NB-IoT กรณีที่ 1 ไม่มีรถออกนอกพื้นที่ที่กำหนด	7-27
ตารางที่ 7.26 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRaGPS กรณีที่ 1 ไม่มีรถออกนอกพื้นที่ที่กำหนด	7-28
ตารางที่ 7.27 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRa กรณีที่ 1 ไม่มีรถออกนอกพื้นที่ที่กำหนด	7-29

ตารางที่ 7.28	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ RFID กรณีที่ 1 ไม่มีรถออกนอกพื้นที่ที่กำหนด	7-30
ตารางที่ 7.29	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ NB-IoT กรณีที่ 2 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5	7-31
	และเดินทางไปกลับกำแพงเพชร	
ตารางที่ 7.30	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRaGPS กรณีที่ 2 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5	7-32
	และเดินทางไปกลับกำแพงเพชร	
ตารางที่ 7.31	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRa กรณีที่ 2 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5	7-33
	และเดินทางไปกลับกำแพงเพชร	
ตารางที่ 7.32	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ RFID กรณีที่ 2 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5	7-34
	และเดินทางไปกลับกำแพงเพชร	
ตารางที่ 7.33	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ NB-IoT กรณีที่ 3 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10	7-35
	และเดินทางไปกลับกำแพงเพชร	
ตารางที่ 7.34	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRaGPS กรณีที่ 3 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10	7-36
	และเดินทางไปกลับกำแพงเพชร	
ตารางที่ 7.35	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRa กรณีที่ 3 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10	7-37
	และเดินทางไปกลับกำแพงเพชร	
ตารางที่ 7.36	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ RFID กรณีที่ 3 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10	7-38
	และเดินทางไปกลับกำแพงเพชร	
ตารางที่ 7.37	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ NB-IoT กรณีที่ 4 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5	7-39
	และเดินทางไปกลับกรุงเทพฯ	
ตารางที่ 7.38	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRaGPS กรณีที่ 4 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5	7-40
	และเดินทางไปกลับกรุงเทพฯ	
ตารางที่ 7.39	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRa กรณีที่ 4 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5	7-41
	และเดินทางไปกลับกรุงเทพฯ	
ตารางที่ 7.40	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ RFID กรณีที่ 4 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5	7-42
	และเดินทางไปกลับกรุงเทพฯ	
ตารางที่ 7.41	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ NB-IoT กรณีที่ 5 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10	7-43
	และเดินทางไปกลับกรุงเทพฯ	
ตารางที่ 7.42	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRaGPS กรณีที่ 5 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10	7-44
	และเดินทางไปกลับกรุงเทพฯ	
ตารางที่ 7.43	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRa กรณีที่ 5 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10	7-45
	และเดินทางไปกลับกรุงเทพฯ	
ตารางที่ 7.44	รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ RFID กรณีที่ 5 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10	7-46
	และเดินทางไปกลับกรุงเทพฯ	
ตารางที่ 7.45	ผลการวิเคราะห์ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์	7-47
ตารางที่ 7.46	สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบ	7-58

ตารางที่ 7.47 ประมาณการต้นทุนอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น	7-61
ตารางที่ 8.1 รายละเอียดเสาส่งสัญญาณ Lora ของ CAT ที่พบในการเก็บข้อมูลนำร่อง	8-3
ตารางที่ 8.2 ระยะทางระหว่างเสาส่งสัญญาณ LoRa และอุปกรณ์ LoRa ที่ส่งข้อมูลสำเร็จแต่ละสถานี	8-12
ตารางที่ 9.1 รายละเอียดปัจจัยในการพิจารณา	9-2

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

จากนโยบายรัฐบาลในการพัฒนาส่งเสริมพื้นที่เศรษฐกิจพิเศษบริเวณจังหวัดชายแดน ประกอบกับการส่งเสริมความร่วมมือด้านการขนส่งทางถนนระหว่างประเทศ และการเพิ่มขึ้นของจำนวนนักท่องเที่ยวที่นำรถส่วนบุคคลจดทะเบียนต่างประเทศเข้ามาใช้เพื่อการท่องเที่ยวในประเทศไทย ทำให้สถิติจำนวนยานพาหนะข้ามพรมแดนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี อาทิ ด้านพรมแดนแม่สาย จังหวัดเชียงราย มีจำนวนยานพาหนะข้ามพรมแดนจากประเทศเมียนมาร์เข้ามาในประเทศไทย จำนวนมากถึง 593,350 แขนงเที่ยวในปี 2560 โดยมีจำนวนยานพาหนะข้ามพรมแดนเพิ่มขึ้น 8.9% จากปี 2559 ในขณะที่ด้านพรมแดนบ้านคลองลึก จังหวัดสระแก้ว มีจำนวนยานพาหนะข้ามพรมแดนจากประเทศกัมพูชาเข้ามาในประเทศไทยจำนวน 233,672 แขนงเที่ยวในปี 2560 โดยมีจำนวนยานพาหนะ ข้ามพรมแดนเพิ่มขึ้นมากถึง 42.1% จากปี 2559

องค์การสหประชาชาติได้ประกาศทศวรรษแห่งความปลอดภัยทางถนน ค.ศ.2011-2020 (Decade of Action for Road Safety) ซึ่งประเทศไทยเองได้เห็นชอบตามกรอบปฏิญญามอสโกที่กำหนดให้ลดอัตราการเสียชีวิตจาก อุบัติเหตุทางถนนต่ำกว่า 10 คนต่อประชากรหนึ่งแสนคนในปี 2563 แต่จากข้อมูลของ The World Atlas (2560) พบว่าประเทศไทยมีอัตราการเสียชีวิตเฉลี่ย 36.2 คนต่อจำนวนประชากร 100,000 คน ซึ่งขึ้นเป็นอันดับหนึ่งของโลก จึงนับได้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความเสี่ยง ต่อการเกิดอุบัติเหตุทางถนนสูงสำหรับนักท่องเที่ยว (GRSP Road Safety, 2559) ซึ่งนักท่องเที่ยวต่างชาติ มีความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุทางถนนสูงเนื่องจากส่วนใหญ่ไม่คุ้นเคยและไม่ทราบกฎจราจรของประเทศไทย และมีอุปสรรคด้านภาษาในการสื่อสารให้เกิดความเข้าใจในการใช้รถใช้ถนน จากการศึกษา (ภาวิณี เอี่ยมตระกูล และคณะ, 2562) พบว่า มีนักท่องเที่ยวต่างชาติเพียงร้อยละ 6.8 ที่รับรู้ถึงสถานการณ์ความปลอดภัยทางถนนและไม่ทราบกฎหมายจราจรของประเทศไทยมากถึงร้อยละ 23.3 อีกทั้งไม่ตรวจสอบสภาพยานพาหนะก่อนเดินทางมากถึงร้อยละ 38.8 นอกจากนี้ยังพบพฤติกรรมเสี่ยงในการขับขี่ อาทิ ขับรถเร็ว เมาแล้วขับ ไม่สวมหมวกนิรภัย เป็นต้น ซึ่งชี้ให้เห็นถึงพฤติกรรมที่ไม่ตระหนักถึงความปลอดภัยทางถนนของนักท่องเที่ยวต่างชาติระหว่างการเดินทางในประเทศไทย นอกจากนี้จากข้อมูลด้านการประกันภัยสำหรับผู้ประสบอุบัติเหตุของบริษัทกลางคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถจำกัดพบว่าแนวโน้มผู้ประสบภัยที่เป็นนักท่องเที่ยวต่างชาติที่เข้ามา ขอความช่วยเหลือสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมูลค่าการจ่ายค่าชดเชยที่เพิ่มขึ้นอย่างมากจากปี พ.ศ.2551 ซึ่งมีจำนวน 464 คน เพิ่มขึ้นเป็น 2,183 คน ในปี พ.ศ.2555 หรือเพิ่มสูงขึ้น 4.70 เท่า เมื่อจำนวนผู้ประสบภัยเพิ่มขึ้นจำนวนเงินชดเชยก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย เห็นได้จากปี พ.ศ. 2551 จำนวนเงินชดเชยอยู่ที่ 4,980 ล้านบาท เมื่อมาถึง พ.ศ.2555 จำนวนเงินในส่วนนี้เพิ่มสูงขึ้นไปถึง 21,285 ล้านบาท อุบัติเหตุทางถนนที่เกิดขึ้นดังกล่าวส่งผลกระทบต่อรายได้และภาพลักษณ์ของประเทศไทยเนื่องจากความเชื่อมั่นที่ลดลงของนักท่องเที่ยว และประเทศไทยต้องเสียค่าใช้จ่ายชดเชยแก่นักท่องเที่ยวที่ได้รับบาดเจ็บเป็นจำนวนเงินหลายล้านบาท (บริษัท กลางคุ้มครองผู้ประสบภัยจากรถ, 2559)

จากผลการศึกษาโครงการศึกษาและจัดทำระบบการกำกับดูแลยานพาหนะข้ามพรมแดนเพื่อส่งเสริมการพัฒนาพื้นที่เขตเศรษฐกิจพิเศษพบว่ายานพาหนะข้ามพรมแดนที่ฝ่าฝืนเงื่อนไขการอนุญาต ฝ่าฝืนกฎจราจร หรือกระทำความผิดกฎหมายอื่น ๆ สามารถหลบหนีการกระทำความผิดออกนอกประเทศไทยโดยไม่ต้องชำระค่าปรับ เนื่องจากปัจจุบันยังขาดระบบกลไกในการกำกับติดตามยานพาหนะข้ามพรมแดนอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เป็นอุปสรรคต่อเจ้าหน้าที่ในการบังคับใช้กฎหมายและกฎจราจรของประเทศไทย ตัวอย่างเช่น ในปี 2559 มีกรณีตัวอย่างที่นักท่องเที่ยวชาวจีนขับรถยนต์บนเลนรถคนไทยในท้องที่ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่

ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการเดินทางของไทยแตกต่างจากประเทศจีน นอกจากนั้นยังพบกรณีการไม่รู้/ไม่เคารพกฎจราจรของประเทศไทย ทำให้รถนักท่องเที่ยวจากต่างประเทศขับออกจากถนนด้วยความเร็วสูงและตัดหน้ารถคนไทย ซึ่งอยู่บนทางเอกส่งผลให้รถคนไทยเสียหลักพลิกคว่ำ กรณีปัญหาอื่น ๆ ที่พบจากยานพาหนะข้ามพรมแดน เช่น การจอดรถในที่ห้ามจอดทำให้การจราจรติดขัดและเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ มาเป็นขบวนคาราวาน นอกจากนั้นผู้แทนจากหน่วยงานความมั่นคงยังแสดงความกังวลในการนำยานพาหนะข้ามพรมแดนมาใช้กระทำการผิดกฎหมายในประเทศไทย หรือการลักลอบนำพาหนะข้ามพรมแดนมาใช้ หรือสวมทะเบียนเพื่อขายในประเทศไทย

กรมการขนส่งทางบกตระหนักถึงความจำเป็นในการยกระดับการกำกับควบคุมยานพาหนะข้ามพรมแดนจากต่างประเทศเพื่อป้องกันปัญหาและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น อาทิ ปัญหาการไม่ปฏิบัติตามกฎจราจรและอุบัติเหตุจากรถต่างชาติ ปัญหาความสะอาดและสุขอนามัย ปัญหาด้านความมั่นคง ปัญหาการบรรทุกเกินพิกัดน้ำหนัก และปัญหาการกำกับดูแลรถต่างประเทศให้อยู่ในขอบเขตพื้นที่ได้รับอนุญาตหรือใช้เฉพาะเส้นทางอนุญาตตามที่กำหนด เป็นต้น ในการกำกับดูแลยานพาหนะข้ามพรมแดนให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ กรมการขนส่งทางบกจำเป็นต้องยกระดับการติดตามตรวจสอบการเดินทางของยานพาหนะข้ามพรมแดนจากต่างประเทศโดยการติดตั้งระบบติดตามการเดินทางไว้บนยานพาหนะข้ามพรมแดนแต่ละคันเพื่อจัดเก็บและจัดส่งข้อมูลโดยอัตโนมัติมายังกรมการขนส่งทางบก เพื่อวิเคราะห์และตรวจสอบปัญหาการใช้รถใช้ถนน ปัญหาการฝ่าฝืนเงื่อนไขและออกนอกพื้นที่ที่ได้รับอนุญาต รวมถึงปัญหาอาชญากรรมและภัยความมั่นคงจากรถจดทะเบียนต่างประเทศ อย่างไรก็ตามด้วยความสามารถของเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำให้ในปัจจุบันมีทางเลือกในการพัฒนาระบบติดตามการเดินทางของยานพาหนะข้ามพรมแดนที่หลากหลาย ทั้งโดยการใช้เทคโนโลยีระบบการกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) ซึ่งข้อมูลพิกัดการเดินทางของรถจะถูกตรวจวัดและจัดส่งมายังกรมการขนส่งทางบกแบบเรียลไทม์โดยอัตโนมัติผ่านเครือข่าย NB-IoT หรือการใช้เทคโนโลยี ระบบการกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) ร่วมกับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบลอรา (LoRa) ซึ่งเป็นเทคโนโลยี IoT ที่รองรับการสื่อสารระยะไกล (Long Range) ใช้พลังงานต่ำ (Low Power) ใช้แบนด์วิธต่ำ (Low Bandwidth) สามารถป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดี ติดตั้งได้ง่าย และมีต้นทุนต่ำ (Low Cost) นอกจากนั้นยังมีทางเลือกในการติดตามการเดินทางของยานพาหนะข้ามพรมแดนโดยใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแบบลอรา (LoRa) เพียงอย่างเดียว ซึ่งเป็นการบันทึกข้อมูลสถานีรับสัญญาณ (LoRa Gateway) ที่ยานพาหนะข้ามพรมแดนแต่ละคันวิ่งผ่านในแต่ละช่วงเวลา

จากผลการศึกษาโครงการศึกษาและจัดทำระบบการกำกับดูแลยานพาหนะข้ามพรมแดนเพื่อส่งเสริมการพัฒนาพื้นที่เขตเศรษฐกิจพิเศษพบว่าระบบติดตามการเดินทางแต่ละรูปแบบมีข้อดีและข้อเสียทางเทคนิคและทางการเงินที่แตกต่างกัน ทั้งในส่วนของงบประมาณค่าใช้จ่ายการลงทุนและการบำรุงรักษาระบบความรวดเร็วในการส่งข้อมูลและเสถียรภาพของสัญญาณข้อมูลโดยเฉพาะบริเวณรอยต่อพรมแดนระหว่างประเทศ ความยากง่ายในการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นที่จะต้องสามารถดำเนินการได้โดยสะดวกทั้งบนรถยนต์ และรถจักรยานยนต์รุ่นใหม่และรุ่นเก่า การใช้งานอุปกรณ์ฯ ได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาหลายสัปดาห์โดยไม่ต้องชาร์จแบตเตอรี่ ความทนทานของอุปกรณ์ฯ ในสภาวะการใช้งานจริงโดยเฉพาะกรณีที่ติดตั้งบนรถจักรยานยนต์ การป้องกันผู้ใช้อยอดหรือแยกอุปกรณ์ฯ ออกจากยานพาหนะ รวมถึงการติดตั้งเครื่องวัดหรือเซ็นเซอร์เพิ่มเติมในอุปกรณ์ เช่น การติดตั้ง Gyroscope และ Accelerometer ภายในอุปกรณ์เพื่อตรวจวัดพฤติกรรมรถขับขี่เมื่อมีการเบรคกะทันหันหรือการเร่งความเร็วหรือการเปลี่ยนทิศทางรถอย่างรวดเร็ว หรือการติด RFID Tag หรือ NFC Tag เพื่อช่วยในการตรวจสอบข้อมูลใบอนุญาตฯ และข้อมูลยานพาหนะฯ ที่ผูกติดกับอุปกรณ์ฯ

นอกจากรายละเอียดทางเทคนิคดังกล่าวแล้วกรมการขนส่งทางบกยังต้องคำนึงถึงกลไกในการตรวจสอบยานพาหนะข้ามพรมแดนที่ไม่ติดตั้งอุปกรณ์ฯ รวมถึงขั้นตอนในการแจกและการรับคืนอุปกรณ์ฯ จากเจ้าของยานพาหนะข้ามพรมแดน ซึ่งอาจส่งผลโดยตรงต่อการศึกษาออกแบบอุปกรณ์ฯ เช่น ถ้ากรมการขนส่งทางบกแจกอุปกรณ์ฯ ในวันที่ตัวแทนบริษัทนำเที่ยวมารับใบอนุญาตรถเพื่อการท่องเที่ยว อุปกรณ์ฯ อาจต้องได้รับการออกแบบให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 วันโดยไม่ต้องชาร์จแบตเตอรี่เพื่อให้อุปกรณ์ฯ สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงอายุใบอนุญาตฯ ที่ได้รับ หรือถ้ากรมการขนส่งทางบกใช้วิธีการให้เจ้าหน้าที่แจกอุปกรณ์ฯ ให้กับยานพาหนะข้ามพรมแดนทุกคันที่เข้ามาในประเทศไทยและรับคืนอุปกรณ์ฯ จากยานพาหนะทุกคันก่อนออกจากประเทศไทย การดำเนินการรูปแบบนี้อาจช่วยลดระยะเวลาการทำงานอย่างต่อเนื่องของอุปกรณ์ฯ แต่จะต้องคำนึงถึงวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ฯ ที่ต้องเป็นไปด้วยความสะดวกรวดเร็วและการบริหารจัดการในบริเวณด่านพรมแดนให้เป็นไปอย่างเหมาะสม เพื่อป้องกันการจราจรติดขัดบริเวณด่านพรมแดน

จากหลักการและเหตุผลดังกล่าวเบื้องต้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการศึกษาออกแบบระบบกลไกในการติดตามการเดินทางของยานพาหนะข้ามพรมแดนอย่างรอบคอบ ทั้งในส่วนการศึกษาออกแบบทางเทคนิค การศึกษาความเหมาะสมด้านการเงินและการลงทุน รวมถึงการกำหนดรูปแบบการบริหารจัดการ โดยจะต้องคำนึงถึงผลกระทบของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและจะต้องให้ความสำคัญอย่างสูงสุดต่อความสัมพันธ์ระหว่างประเทศ ทั้งนี้เพื่อให้การดำเนินงานเกิดผลสัมฤทธิ์สูงสุดเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนนของประเทศไทย ช่วยในการสืบสวนสอบสวนและตรวจสอบข้อมูลย้อนกลับในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุหรือการกระทำผิดกฎหมาย รวมทั้งยังเป็นการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านสมาร์ตโลจิสติกส์และเทคโนโลยี IoT ด้านคมนาคมขนส่งของประเทศไทย เพื่อพัฒนาต่อยอดไปสู่ระบบสมาร์ตชิพที่ตามยุทธศาสตร์ชาติด้านการสร้างความสามารถในการแข่งขันโดยใช้เทคโนโลยีเป็นตัวขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมสมัยใหม่ให้มีความน่าอยู่ ปลอดภัย และมีการจัดการอย่างเหมาะสม โดยจะดำเนินการศึกษากับรถประจำถิ่นก่อนซึ่งเป็นรถและรถจักรยานยนต์ที่จดทะเบียนในประเทศที่มีพรมแดนติดกับประเทศไทยและประเทศไทยไม่มีความตกลงระหว่างประเทศด้านการขนส่งทางถนน ได้แก่ ราชอาณาจักรกัมพูชาและสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา สำหรับในการศึกษาครั้งนี้จะใช้รถจากสาธารณรัฐแห่งสหภาพเมียนมา เนื่องจากมีจำนวนมากและมีความถี่ในการเดินทางเข้า-ออกสูง โดยเจ้าของรถประจำถิ่นส่วนใหญ่จะประกอบอาชีพรับจ้าง ค้าขายและจับจ่ายใช้สอยในประเทศไทย ซึ่งเป็นกลไกที่สำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและการค้าชายแดน

1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

เพื่อศึกษาออกแบบโครงสร้างพื้นฐานระบบสมาร์ตโลจิสติกส์สำหรับติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนน และป้องกันแก้ไขปัญหาการไม่ปฏิบัติตามกฎจราจรและการเกิดอุบัติเหตุ การออกนอกพื้นที่อนุญาต การฝ่าฝืนเงื่อนไข และปัญหาอาชญากรรมและภัยความมั่นคงจากรถจดทะเบียนต่างประเทศ โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1) เพื่อศึกษาออกแบบอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นและวิเคราะห์ทางเลือกเชิงวิศวกรรมและเทคโนโลยีที่เหมาะสม
- 2) เพื่อพัฒนาและทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype) สำหรับติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นในสถานะแวดล้อมจริง

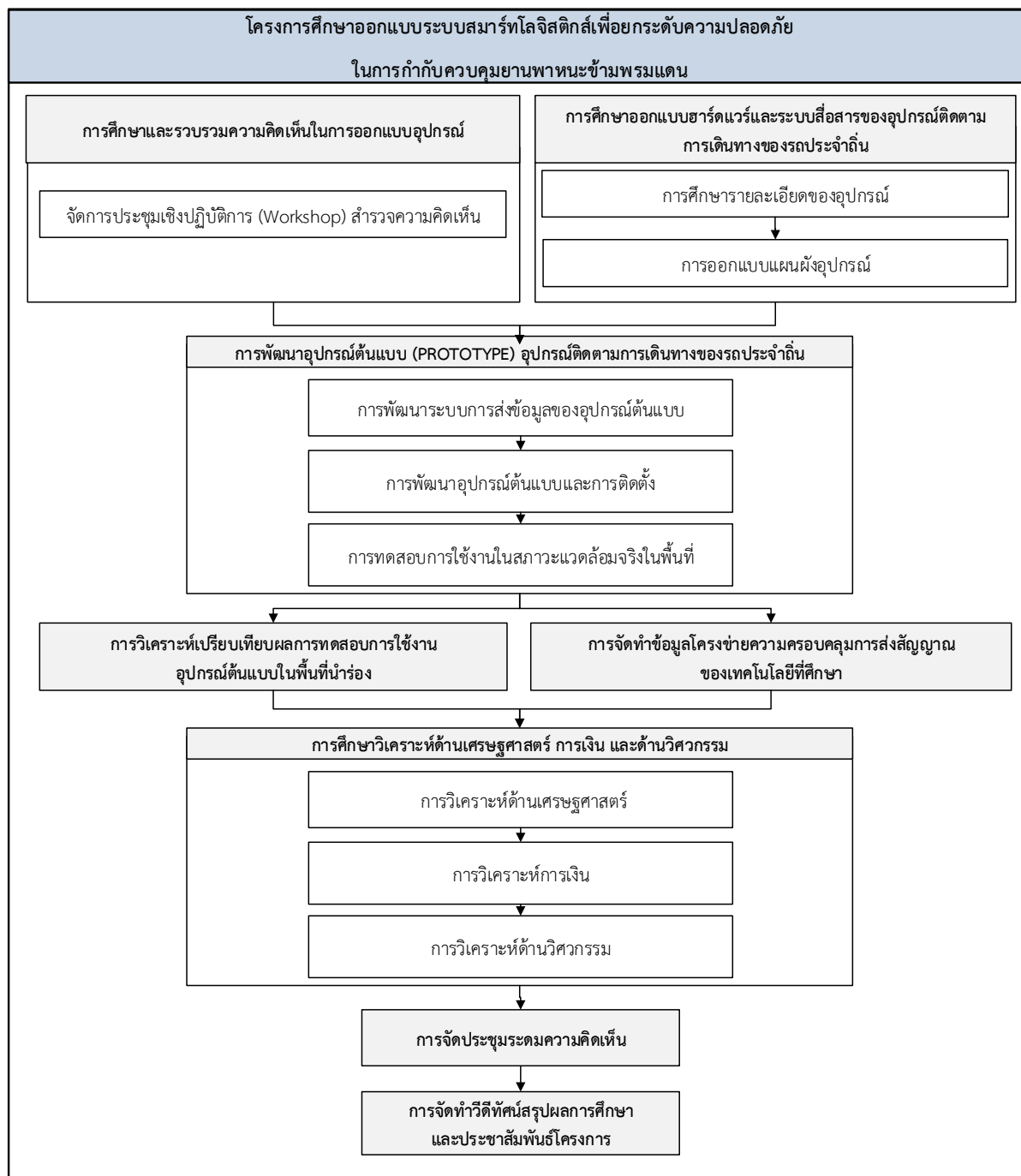
- 3) เพื่อศึกษาวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน รวมถึงระบบกลไกในการบริหารจัดการที่เหมาะสมในการนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางมาใช้กำกับการใช้รถประจำถิ่นในประเทศไทยให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประสิทธิผลสูงสุด
- 4) เพื่อศึกษาแนวทางการบริหารจัดการและการบังคับใช้กฎหมายในการติดตามยานพาหนะข้ามพรมแดนให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
- 5) ประชาสัมพันธ์ผลการศึกษาโครงการในการนำระบบสมาร์ตโลจิสติกส์มาใช้ในการกำกับควบคุมรถประจำถิ่น

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

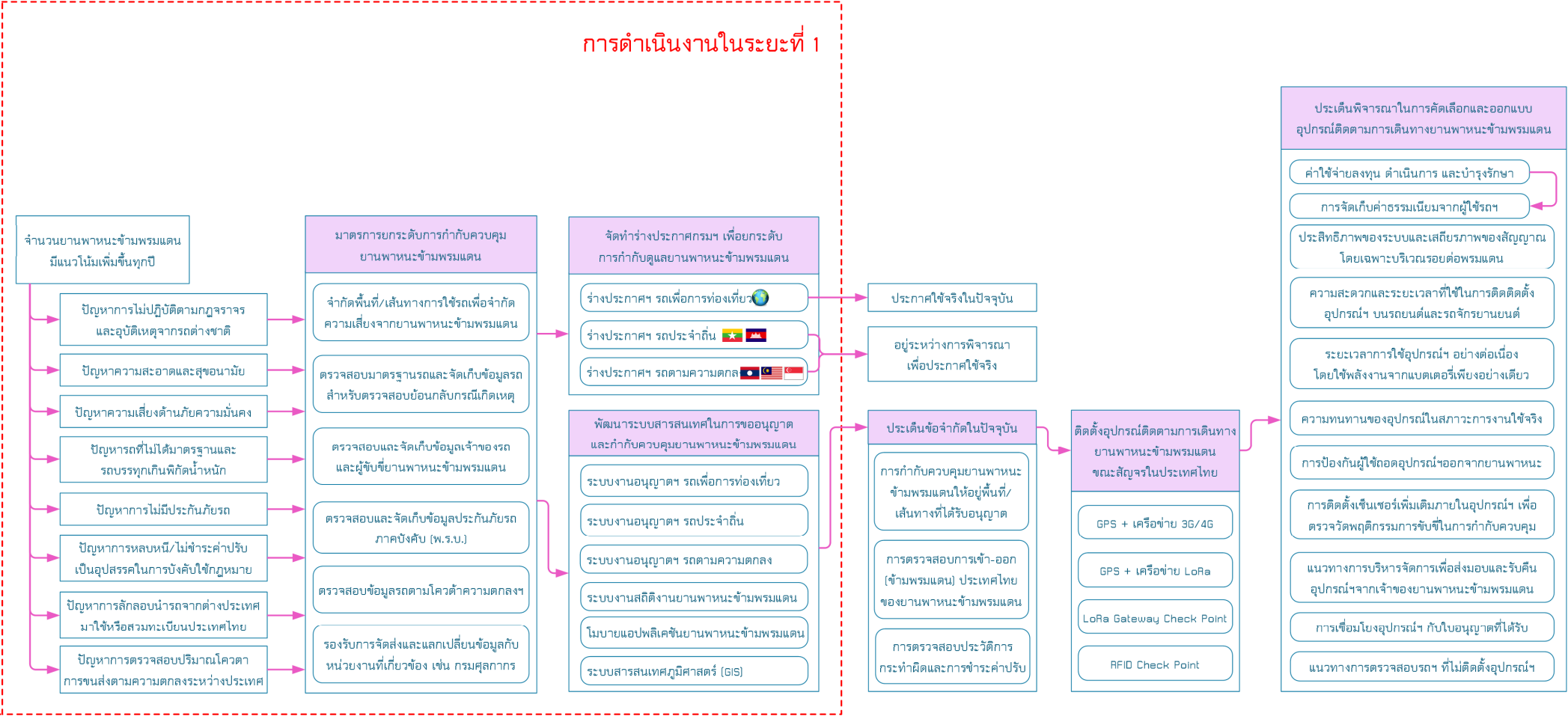
- 1) มีผลการศึกษาที่สามารถนำไปสู่การมีระบบกลไกที่สามารถติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนน ปัญหาการออกนอกพื้นที่อนุญาตและการฝ่าฝืนเงื่อนไข และปัญหาอาชญากรรมและภัยความมั่นคงจากระถดทะเบียนต่างประเทศ
- 2) มีผลการศึกษาที่สามารถนำไปสู่การมีเครื่องมือในการจัดเก็บข้อมูลรถจดทะเบียนต่างประเทศที่ผ่านเข้า-ออกด่านพรมแดนโดยอัตโนมัติเพื่อใช้ในการวางแผนยุทธศาสตร์และยกระดับมาตรการกำกับดูแลเพื่อลดผลกระทบต่อสังคมและประชาชนในพื้นที่
- 3) มีผลการศึกษาที่สามารถนำไปสู่การพัฒนากระบวนการตรวจสอบข้อมูลย้อนกลับเมื่อเกิดอุบัติเหตุหรือการกระทำผิดกฎหมาย
- 4) พัฒนางองค์ความรู้และโครงสร้างพื้นฐานด้านสมาร์ตโลจิสติกส์และเทคโนโลยี IoT ด้านคมนาคมขนส่งขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมสมัยใหม่ให้มีความน่าอยู่ ปลอดภัย และมีการจัดการอย่างเหมาะสม

2. วิธีการและแผนการดำเนินงาน

ที่ปรึกษาจะดำเนินโครงการศึกษาออกแบบระบบสมรรถนะโลจิสติกส์เพื่อยกระดับความปลอดภัยในการกำกับควบคุมยานพาหนะข้ามพรมแดน โดยที่ปรึกษาเสนอแนะขั้นตอนในการดำเนินการดังแสดงในรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของระบบ



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของระบบต่อเนื่องจากการดำเนินงานในระยะที่ 1

2.1 ขอบเขตการศึกษา

ที่ปรึกษาจะดำเนินการศึกษาโดยมีขอบเขตของการดำเนินงานอย่างน้อยดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1.1 การศึกษาและรวบรวมความคิดเห็นในการออกแบบอุปกรณ์

ที่ปรึกษาจะดำเนินการศึกษาและรวบรวมความคิดเห็นในการออกแบบอุปกรณ์ติดตามการเดินทาง พร้อมกำหนดแนวทางการบริหารจัดการในการส่งมอบอุปกรณ์ฯ ให้กับเจ้าของรถ การเชื่อมโยงอุปกรณ์ฯ กับข้อมูลใบอนุญาตที่ได้รับ การรับคืนอุปกรณ์ฯ จากเจ้าของรถ การกำหนดค่าธรรมเนียมการใช้งานและค่าปรับเมื่ออุปกรณ์เกิดการชำรุด รวมถึงแนวทางการบังคับใช้ให้เจ้าของรถติดตั้งและเปิดใช้งานอุปกรณ์ฯ อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่สัญจรในประเทศไทย โดยที่ปรึกษาจะดำเนินการศึกษาและสำรวจความคิดเห็นหน่วยงานภายในและภายนอกที่เกี่ยวข้อง อาทิ

- สำนักงานขนส่งจังหวัดในพื้นที่ด่านพรมแดน
- กรมศุลกากร
- สำนักงานตรวจคนเข้าเมือง
- ตำรวจทางหลวง
- หน่วยงานความมั่นคงในพื้นที่ด่านพรมแดน

ทั้งนี้เพื่อสังเคราะห์แนวคิดและข้อเสนอแนะทั้งหมดในการบริหารจัดการอุปกรณ์ติดตามรถให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเป็นข้อมูลประกอบการศึกษาออกแบบด้านวิศวกรรมให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานที่แท้จริงอย่างครบถ้วน

2.1.2 การศึกษาออกแบบฮาร์ดแวร์และระบบสื่อสารของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่น

ที่ปรึกษาจะดำเนินการศึกษาออกแบบฮาร์ดแวร์และระบบสื่อสารของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นในที่สัญจรในประเทศไทย โดยอุปกรณ์ฯ จะต้องสามารถติดตั้งบนรถประจำถิ่น ได้โดยสะดวก สามารถสื่อสารและจัดส่งข้อมูลมายังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายของกรมการขนส่งทางบกโดยอัตโนมัติ โดยที่ปรึกษาจะพิจารณาความทนทานของแบตเตอรี่หรือแนวทางการเชื่อมต่อกับแหล่งพลังงานภายในรถ ให้เป็นไปอย่างเหมาะสมกับเงื่อนไขระยะเวลาการใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริง และจะต้องพิจารณาแนวทางในการเชื่อมโยงข้อมูลติดตามการเดินทางจากอุปกรณ์ฯ กับใบอนุญาตการนำรถประจำถิ่นเข้ามาใช้ในราชอาณาจักรไทยเป็นการชั่วคราว รวมถึงแนวทางการป้องกันเจ้าของรถแยกอุปกรณ์ติดตามรถออกจากยานพาหนะ นอกจากนั้นที่ปรึกษาจะต้องพิจารณาความเหมาะสมในการติดตั้งเครื่องวัดหรือเซ็นเซอร์เพิ่มเติมในอุปกรณ์ เช่น การติดตั้ง Gyroscope และ Accelerometer เพื่อตรวจวัดพฤติกรรมการขับขี่เมื่อมีการเบรคกะทันหันหรือการเร่งความเร็วรถอย่างรวดเร็วเพื่อเพิ่มความปลอดภัย ในการใช้รถใช้ถนนของรถประจำถิ่นที่สัญจรในประเทศไทย หรือการติด RFID Tag หรือ NFC Tag เพื่อช่วยในการตรวจสอบข้อมูลใบอนุญาตฯ เป็นต้น โดยจะต้องศึกษาออกแบบอุปกรณ์ฯ อย่างน้อย 4 รูปแบบ โดยอาจเลือกใช้เทคโนโลยี ได้แก่ การใช้เทคโนโลยีระบบการกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT การใช้เทคโนโลยีระบบการกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านการสื่อสารแบบลอรา (LoRa) หรือการใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายแบบลอรา (LoRa) เพียงอย่างเดียวโดยตรวจสอบสถานีรับสัญญาณ (LoRa Gateway) ที่ยานพาหนะข้ามพรมแดนเดินทางผ่านในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงระบบ RFID โดยที่ปรึกษาสามารถเสนอแนะเทคโนโลยีอื่น ๆ ที่เหมาะสมเพิ่มเติมจากเทคโนโลยีดังกล่าวข้างต้น เพื่อให้อุปกรณ์ติดตาม

การเดินทางของรถประจำถิ่นสามารถทำงานได้ อย่างมีประสิทธิภาพในสภาวะแวดล้อมจริงการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype) อุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่น

2.1.3 การพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype)

ที่ปรึกษาจะต้องพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype) ตามที่ออกแบบไว้ โดยจะต้องจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype) อย่างน้อย 5 ชุดในแต่ละรูปแบบ เพื่อทดสอบการใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริงในพื้นที่ด่านพรมแดนนำร่องเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 30 วัน โดยที่ปรึกษาจะจัดหาเครือข่าย หรือสถานีรับสัญญาณ เพื่อให้สามารถจัดเก็บข้อมูลในระหว่างทดสอบการใช้งานในพื้นที่นำร่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ที่ปรึกษาจะต้องเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายระบบเครือข่ายหรือสถานีรับสัญญาณทั้งหมดในระหว่างดำเนินการทดสอบการใช้งานในพื้นที่ด่านพรมแดนนำร่อง

2.1.4 การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่นำร่อง

ที่ปรึกษาจะดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่ด่านพรมแดนนำร่อง เพื่อศึกษาวิเคราะห์ข้อดีและข้อจำกัดจากการใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริงในประเด็นต่าง ๆ อาทิ ความถูกต้องในการตรวจวัดตำแหน่งยานพาหนะ ความถี่/ความเร็วในการส่งข้อมูล เสถียรภาพของสัญญาณข้อมูลโดยเฉพาะบริเวณรอยต่อพรมแดนระหว่างประเทศ ความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นบนรถยนต์และรถจักรยานยนต์ ระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์อย่างต่อเนื่องโดยไม่ชาร์จแบตเตอรี่ ความทนทานของอุปกรณ์ฯ ในสภาวะการใช้จริง และการป้องกันเจ้าของรถถอดหรือแยกอุปกรณ์ติดตามการเดินทางออกจากยานพาหนะ รวมถึงการป้องกันการใช้เครื่องรบกวนสัญญาณ

2.1.5 การศึกษาวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ การเงิน และด้านวิศวกรรม

ที่ปรึกษาจะดำเนินการศึกษาวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินรวมถึงด้านวิศวกรรม เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบโครงสร้างต้นทุนของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางแต่ละรูปแบบ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาอุปกรณ์ฯ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการพิจารณาคัดเลือกระบบติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นที่เหมาะสม รวมถึงการพิจารณาอัตราค่าธรรมเนียมการใช้งานอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นที่เป็นธรรม ซึ่งสะท้อนต้นทุนที่แท้จริง นอกจากนี้ที่ปรึกษาจะดำเนินการศึกษาแนวทางการบริหารจัดการและการบังคับใช้กฎหมายในการติดตามยานพาหนะข้ามพรมแดนของกรมการขนส่งทางบกให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.1.6 การจัดทำข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณของเทคโนโลยีที่ศึกษา

ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณของเทคโนโลยีที่จะดำเนินการศึกษา

2.1.7 การจัดประชุมระดมความคิดเห็น

ที่ปรึกษาจะดำเนินการจัดประชุมระดมความคิดเห็นหน่วยงานภายในและภายนอกที่เกี่ยวข้องเพื่อนำเสนอผลการดำเนินงานในพื้นที่นำร่องและผลการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินรวมถึงวิศวกรรมของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางแต่ละรูปแบบ รวมถึงปัญหาอุปสรรคในการนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางใช้รถประจำถิ่น พร้อมรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่าง ๆ จากทุกหน่วยงานเพื่อกำหนดแนวทางและรูปแบบการบริหารจัดการที่เหมาะสมในการติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด

2.1.8 การจัดทำวิทัศน์สรุปผลการศึกษาและประชาสัมพันธ์โครงการ

ที่ปรึกษาจะต้องจัดทำวิทัศน์สรุปผลการศึกษาและประชาสัมพันธ์โครงการความยาว 2 นาที 4 นาที และ 7 นาที โดยวิทัศน์จะต้องมีคำบรรยาย (Subtitle) ภาษาอังกฤษเพื่อใช้ในการเผยแพร่และประชาสัมพันธ์กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศไทยและในต่างประเทศ

2.2 การรายงานผลการศึกษา

ที่ปรึกษาจะเริ่มดำเนินการศึกษาตามวันที่กรมการขนส่งทางบกกำหนด โดยจะจัดส่งรายงานผลการศึกษาและเอกสารต่างๆ ให้กรมการขนส่งทางบก ภายในเวลาที่กำหนด ดังต่อไปนี้

ที่ปรึกษาจะจัดส่งรายงานผลการศึกษาและเอกสารต่าง ๆ ให้กรมการขนส่งทางบกภายในเวลาที่กำหนด ดังต่อไปนี้

1) รายงานเริ่มต้นการศึกษา (Inception Report) จำนวน 15 ชุด ให้คณะกรรมการฯ พิจารณาภายใน 30 วัน นับจากวันที่กรมฯ ระบุไว้ในหนังสือแจ้งให้เริ่มปฏิบัติงานได้ (Notice to Proceed) โดยมีรายละเอียดแสดงถึงวิธีการศึกษา ขั้นตอน และแผนการดำเนินงานทั้งหมดที่ชัดเจนตลอดระยะเวลาการศึกษาโดยละเอียด

2) รายงานความก้าวหน้า (Progress Report) จำนวน 15 ชุด ให้คณะกรรมการฯ พิจารณาภายใน 90 วัน นับจากวันที่กรมฯ ระบุไว้ในหนังสือแจ้งให้เริ่มปฏิบัติงานได้ (Notice to Proceed) โดยที่ปรึกษาต้องจัดส่งสรุปผลการดำเนินงานข้อ 2.3.1 และ 2.3.2

3) รายงานความก้าวหน้าระยะกลาง (Interim Report) จำนวน 15 ชุด ให้คณะกรรมการฯ พิจารณาภายใน 180 วัน นับจากวันที่กรมฯ ระบุไว้ในหนังสือแจ้งให้เริ่มปฏิบัติงานได้ (Notice to Proceed) โดยที่ปรึกษาต้องจัดส่งสรุปผลการดำเนินงานข้อ 2.3.3

4) ร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ (Draft Final Report) และร่างรายงานสำหรับผู้บริหาร (Draft Executive Summary) จำนวน 15 ชุด ให้คณะกรรมการฯ พิจารณาภายใน 270 วัน นับจากวันที่กรมฯ ระบุไว้ในหนังสือแจ้งให้เริ่มปฏิบัติงานได้ (Notice to Proceed) โดยที่ปรึกษาต้องจัดส่งสรุปผลการดำเนินงานข้อ 2.3.1 ถึง 2.3.7 โดยระหว่างการจัดทำร่างรายงานฉบับสมบูรณ์ ที่ปรึกษาต้องจัดส่งสรุปความคืบหน้าในการดำเนินการให้กรมการขนส่งทางบกทราบ อย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง

5) รายงานฉบับสมบูรณ์ (Final Report) และรายงานสำหรับผู้บริหาร (Executive Summary) จำนวน 100 ชุดพร้อม CD โดยที่ปรึกษาต้องจัดส่งสรุปผลการดำเนินงานทั้งหมดในข้อ 3 พร้อมจัดทำวิทัศน์สรุปผลการศึกษาและประชาสัมพันธ์ผลการศึกษาโครงการความยาว 2 นาที 4 นาที และ 7 นาที ภายใน 300 วัน นับจากวันที่กรมฯ ระบุไว้ในหนังสือแจ้งให้เริ่มปฏิบัติงานได้ (Notice to Proceed) และห้ามมิให้ที่ปรึกษาทำการเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ใด ๆ ของข้อมูลที่ได้ เว้นแต่จะได้รับอนุญาตจากกรมการขนส่งทางบกเท่านั้น

3. การศึกษาและรวบรวมความคิดเห็นในการออกแบบอุปกรณ์

ที่ปรึกษาดำเนินการจัดการประชุมสำรวจความคิดเห็นผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง โครงการศึกษาออกแบบระบบสมาร์ตโลจิสติกส์เพื่อยกระดับความปลอดภัยในการกำกับควบคุมยานพาหนะข้ามพรมแดน เพื่อศึกษาและรวบรวมความคิดเห็น ตลอดจนสังเคราะห์แนวคิดและข้อเสนอแนะทั้งหมดในการบริหารจัดการอุปกรณ์ติดตามรถให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการศึกษาออกแบบด้านวิศวกรรมให้สอดคล้องความต้องการใช้งานที่แท้จริงอย่างครบถ้วน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

วัน-เวลา

วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2564 เวลา 13.30 น. – 16.30 น.

สถานที่

จัดการประชุมแบบ Online Conference

ผู้เข้าร่วมประชุม

ประกอบด้วยตัวแทนจากหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

- ตรวจคนเข้าเมืองจังหวัดตาก
- กรมการขนส่งทางบก
- ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมการขนส่งทางบก
- ด้านศุลกากรแม่สอด
- สภ.แม่สอด จ.ตาก
- สำนักงานขนส่งจังหวัดตาก
- สำนักงานจังหวัดตาก

หัวข้อการประชุม

เรื่อง การประชุมสำรวจความคิดเห็นผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง โครงการศึกษาออกแบบระบบสมาร์ตโลจิสติกส์เพื่อยกระดับความปลอดภัยในการกำกับควบคุมยานพาหนะข้ามพรมแดน

เนื้อหาการประชุม

- ที่มาโครงการและวัตถุประสงค์โครงการ
- ขั้นตอนการดำเนินงาน
- การศึกษาออกแบบฮาร์ดแวร์และระบบสื่อสารของอุปกรณ์
- การศึกษาและรวบรวมความคิดเห็นในการออกแบบอุปกรณ์
- การสำรวจความคิดเห็นจากผู้เข้าร่วมประชุม

ซึ่งมีรายละเอียดปัจจัยในการพิจารณา ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดปัจจัยในการพิจารณา

ลำดับ	ประเด็นพิจารณา	ทางเลือก 1 การส่งมอบให้อุปกรณ์แก่ผู้ครอบครองรถข้ามพรมแดนตลอดอายุใบอนุญาต	ทางเลือก 2 การส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์เป็นรายวัน
1	แนวทางในการส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์ฯ	สะดวก เพราะส่งมอบให้เจ้าของรถเมื่อมารับใบอนุญาตและรับคืนเมื่อใบอนุญาตหมดอายุ	ยุ่งยาก เนื่องจากต้องส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์ทุกครั้งเมื่อผ่านเข้าและออกด่านพรมแดน
2	จำนวนอุปกรณ์ฯ ที่จำเป็นต้องใช้	ใช้จำนวนอุปกรณ์มากกว่า (เท่ากับจำนวนใบอนุญาตฯ)	ใช้จำนวนอุปกรณ์น้อยกว่า (เท่ากับจำนวนรถประจำถิ่นเฉลี่ยที่สัญจรอยู่ในประเทศไทย)
3	ความยุ่งยากและต้นทุนการบริหารจัดการ	ต้นทุนต่ำกว่า เนื่องจากการส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์เพียงครั้งเดียว (ที่สำนักงานขนส่ง)	ต้นทุนสูงกว่า เนื่องจากต้องใช้เจ้าหน้าที่ประจำเพื่อส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์ที่ด่านพรมแดน
4	ขนาดความจุของแบตเตอรี่ภายในอุปกรณ์	ขนาดความจุสูงหรือจำเป็นต้องชาร์จพลังงานให้กับอุปกรณ์ระหว่างใช้งานเพื่อให้สามารถใช้งานต่อเนื่องตลอดอายุใบอนุญาตฯ (1 ปี)	ขนาดความจุลดลง เพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานต่อเนื่องตามระยะเวลาเฉลี่ยที่รถประจำถิ่นสัญจรในประเทศไทย
5	ความถี่ในการตรวจวัดพิกัดของรถประจำถิ่น	อาจจำเป็นต้องตรวจวัดที่ความถี่ต่ำ (เช่น ทุก 1-2 ชั่วโมง) เพื่อประหยัดพลังงานแบตเตอรี่	สามารถตรวจวัดที่ความถี่มากขึ้น (เช่น ทุก 15-30 นาที) เพราะมีพลังงานแบตเตอรี่เพียงพอ
6	การเชื่อมโยงอุปกรณ์กับข้อมูลใบอนุญาตฯ	สะดวก เพราะดำเนินการเพียงครั้งเดียว	ยุ่งยาก เพราะต้องดำเนินการทุกครั้งที่รถประจำถิ่นเข้าประเทศไทย
7	การติดตั้งและใช้งานอุปกรณ์	อาจยุ่งยาก เพราะอาจจำเป็นต้องเชื่อมต่อกับแหล่งพลังงานในรถและหรือชาร์จพลังงานระหว่างการใช้งาน	สะดวก เพราะไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับแหล่งพลังงานในรถและหรือชาร์จพลังงานระหว่างการใช้งาน
8	การรับคืนอุปกรณ์ฯ	สะดวก เพราะดำเนินการเพียงครั้งเดียว	ยุ่งยาก เพราะต้องดำเนินการทุกครั้งที่รถประจำถิ่นออกจากประเทศไทย
9	ค่าธรรมเนียม	คาดว่าจะต่ำกว่า เพราะค่าบริหารจัดการต่ำกว่าถึงแม้ว่าต้นทุนค่าอุปกรณ์จะสูงกว่า	คาดว่าจะสูงกว่า เนื่องจากต้นทุนค่าบริหารจัดการในการส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์สูง
10	ค่ามัดจำอุปกรณ์	อาจจำเป็นต้องจัดเก็บค่ามัดจำอุปกรณ์ฯ	ไม่จำเป็นต้องจัดเก็บค่ามัดจำ (แต่ต้องจ่ายค่าเสียหายหากทำอุปกรณ์ชำรุด)

ลำดับ	ประเด็น พิจารณา	ทางเลือก 1 การส่งมอบให้อุปกรณ์ แก่ผู้ประกอบการ ข้ามพรมแดนตลอดอายุใบอนุญาต	ทางเลือก 2 การส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์ เป็นรายวัน
11	การบังคับใช้ให้ เจ้าของรถติดตั้ง และเปิดใช้งาน อุปกรณ์ฯ	เจ้าของรถอาจลืมนำอุปกรณ์ติดรถเข้ามา ในประเทศไทย ทำให้อาจมีความยุ่งยาก ที่จะต้องกำหนดแนวทางในการตรวจ การติดตั้งอุปกรณ์	คาดว่าจะดำเนินการได้มีประสิทธิภาพ มากกว่า เพราะติดตั้งอุปกรณ์ทุกครั้ง ที่เข้ามาประเทศไทย
12	การป้องกันการ ถอดอุปกรณ์ ออกจากรถ	อาจทำได้ยากกว่าเพราะเป็นการใช้ อุปกรณ์ในระยะยาว	อาจทำได้ง่ายกว่าเพราะเป็นการใช้ อุปกรณ์ในระยะสั้น

การระดมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

ที่ปรึกษาดำเนินการจัดการประชุมสำรวจความคิดเห็นผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2564 โดยเป็นการประชุมแบบออนไลน์ โดยมีตัวแทนจากหน่วยงานประกอบด้วย ตรวจคนเข้าเมืองจังหวัดตาก, กรมการขนส่งทางบก, ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศ กรมการขนส่งทางบก, ด้านศุลกากรแม่สอด, สก.แม่สอด จ.ตาก, สำนักงานขนส่งจังหวัดตาก และสำนักงานจังหวัดตาก เพื่อศึกษาและรวบรวมความคิดเห็นตลอดจนสังเคราะห์แนวคิดและข้อเสนอแนะทั้งหมดในการบริหารจัดการอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการศึกษาออกแบบด้านวิศวกรรมให้สอดคล้องความต้องการใช้งานที่แท้จริงอย่างครบถ้วน โดยสามารถสรุปความคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากผู้เข้าร่วมประชุมในการพัฒนาระบบตามการเดินทางรถประจำถิ่น ดังนี้

- ในการนำเทคโนโลยีติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นมาใช้งานจริงมีความจำเป็นต้องพัฒนาปรับปรุงด้านกฎหมายกฎระเบียบควบคุมคู่กับการพัฒนาด้านเทคโนโลยี โดยเฉพาะการกำหนดนิยามรถประจำถิ่น พื้นที่อนุญาต รวมถึงหลักเกณฑ์และเงื่อนไขในการนำรถประจำถิ่นมาใช้งานในประเทศไทย
- ในการติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่น ไม่จำเป็นต้องติดตามเส้นทางการเดินทางโดยละเอียดเพราะอาจส่งผลกระทบต่อความรู้สึกลูกค้าความเป็นส่วนตัวของเจ้าของรถมากเกินไป ทั้งนี้ควรพิจารณากำหนดจุดตรวจสอบหลัก (Check Point) เพียง 3-4 จุดในการตรวจสอบการเข้า-ออกพื้นที่อนุญาตของรถแต่ละคันก็น่าจะเพียงพอ และควรพิจารณากลไกการแจ้งเตือนเมื่อรถประจำถิ่นออกนอกพื้นที่ซึ่งได้รับอนุญาต
- การส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นทุกวันทั้งบริเวณด่านพรมแดนเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมเพราะอาจส่งผลให้เกิดปัญหาจราจรติดขัดที่บริเวณด่านพรมแดนและก่อให้เกิดภาระที่เพิ่มขึ้นสำหรับเจ้าหน้าที่
- ในการติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นควรมีการจัดเก็บข้อมูลสถิติของรถประจำถิ่นโดยละเอียดทั้งในมิติของจำนวนและประเภทรถที่ผ่านเข้า-ออกในแต่ละวัน รวมถึงวัตถุประสงค์ของการนำรถประจำถิ่นมาใช้งานในประเทศไทย

- หน่วยงานสามารถจัดเก็บค่าธรรมเนียมรายปีในการใช้อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นได้ แต่ต้องพิจารณาเรื่องบรรยากาศในการค้าขายชายแดนและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อความสัมพันธ์ระหว่างประเทศ อย่างไรก็ตามถ้าภาครัฐสามารถช่วยสนับสนุนค่าธรรมเนียมการใช้อุปกรณ์ฯ ก็จะเป็นการช่วยส่งเสริมการท่องเที่ยวและเศรษฐกิจพื้นที่ชายแดน
- การจัดเก็บค่าธรรมเนียมรายปีในการใช้อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นควรต้องพิจารณาให้สอดคล้องกับต้นทุนที่แท้จริงทั้งในส่วนของงบประมาณลงทุน งบประมาณดำเนินงาน และงบประมาณที่ใช้ในการบำรุงรักษาของเทคโนโลยีที่นำมาใช้งาน
- ในกรณีที่รถประจำถิ่นที่มีได้ติดตั้งอุปกรณ์ติดตามการเดินทางฯ ก่อนผ่านด่านพรมแดนเข้ามาประเทศไทย ควรมีแผนสำรองในการบริหารจัดการดังกล่าว เช่น มีอุปกรณ์ฯ ให้รถประจำถิ่นขอยืมหรือเช่าชั่วคราวก่อนเข้าประเทศไทยเพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อการเดินทางและการค้าชายแดน
- การติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นผ่านทางโมบายแอปพลิเคชัน (Mobile Application) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถดำเนินการได้ซึ่งจะช่วยแก้ไขปัญหारेื่องการลงทุนและการจัดเก็บค่าธรรมเนียมการใช้อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น อย่างไรก็ตามเนื่องจากเจ้าของรถประจำถิ่นส่วนใหญ่จะใช้ระบบเครือข่ายของประเทศเมียนมาทำให้เกิดปัญหาการเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตในประเทศไทย รวมถึงโทรศัพท์มือถือที่ติดตั้งโมบายแอปพลิเคชันที่ใช้ติดตามรถประจำถิ่นอาจจะไม่ได้ถูกจัดเก็บอยู่ในรถตลอดเวลา และเจ้าของรถสามารถปิดการจัดส่งพิกัดตำแหน่ง (ปิด Location Service) ของโมบายแอปพลิเคชันที่ใช้ในการติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่น ทั้งนี้ทำให้เกิดข้อจำกัดในการนำโมบายแอปพลิเคชันมาใช้ในการติดตามตรวจสอบการเดินทางของรถประจำถิ่นให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการตอบแบบสำรวจความคิดเห็น

ผู้เข้าร่วมประชุมได้ดำเนินการตอบแบบสำรวจความคิดเห็น จำนวน 5 ข้อ โดยมีรายละเอียดและผลการตอบแบบสำรวจ ดังนี้

ข้อมูลแบบสอบถามความคิดเห็นหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

แนวทางปฏิบัติในการส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์ติดตามการเดินทางจากเจ้าของรถประจำถิ่น

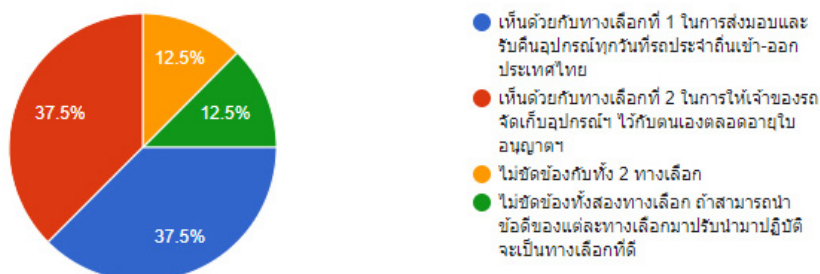
รูปแบบที่ 1 การส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์ทุกวันที่รถประจำถิ่นเข้า-ออกประเทศไทย โดยการดำเนินงานรูปแบบนี้มีข้อดีและข้อจำกัดดังต่อไปนี้

รูปแบบที่ 2 การส่งมอบอุปกรณ์ติดตามการเดินทางพร้อมกับใบอนุญาตฯ ให้กับเจ้าของรถ โดยจะให้เจ้าของรถจัดเก็บอุปกรณ์ติดตามการเดินทางไว้กับตนเอง และนำมาคืนเมื่อใบอนุญาตฯ หมดอายุ (โดยใบอนุญาตฯ จะมีอายุ 1 ปี) โดยการดำเนินงานรูปแบบนี้มีข้อดีและข้อจำกัดดังต่อไปนี้

1) การส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์ติดตามการเดินทาง

1.1) ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรในการส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์ติดตามการเดินทาง?

คำตอบ 8 ข้อ



1.2) เหตุผล/ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม (ถ้ามี) ของทางเลือกในการส่งมอบและรับคืนอุปกรณ์ติดตามการเดินทาง?

คำตอบ 5 ข้อ

หน่วยงานที่ต้องรับผิดชอบอุปกรณ์เป็นศุลกากรหรือสำนักงานขนส่งจังหวัด

จัดเก็บค่าธรรมเนียมอุปกรณ์ และมีเงื่อนไขตอนนำมาคืน อุปกรณ์ต้องสามารถใช้งานได้ ถึงจะได้รับค่าธรรมเนียม

เป็นการ เช็ควินิจฉัยไม่ให้อุปกรณ์และ ตรวจสอบอุปกรณ์ว่าใช้งานได้ดี ตลอดการใช้งานในประเทศไทย

จะต้องมีเจ้าหน้าที่ของ ขบ.ประจำด่านเข้า-ออก พรมแดน ซึ่งปัจจุบันไม่มีโครงสร้างรองรับ

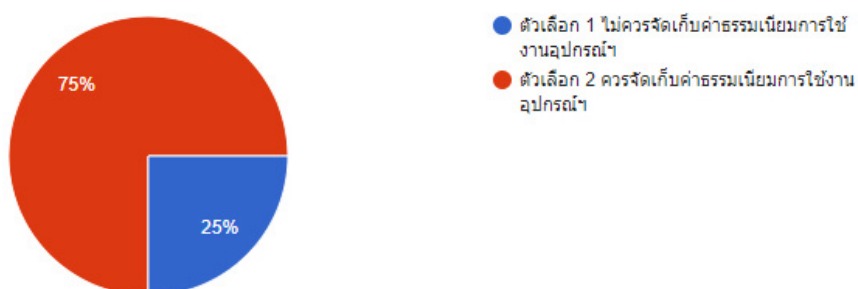
รูปแบบที่ 2 มีความเสี่ยงการนำไปสลับใช้กับรถที่ไม่ได้ขออนุญาตทะเบียนหรือไม่

รูปที่ 3.2 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 1

2) การจัดเก็บค่าธรรมเนียมการใช้งานอุปกรณ์ติดตามการเดินทางจากเจ้าของรถประจำถิ่นเพื่อเป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายภาครัฐ

2.1) ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมการใช้งานอุปกรณ์ติดตามการเดินทางจากเจ้าของรถประจำถิ่นเพื่อเป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายภาครัฐ

คำตอบ 8 ข้อ



2.2) เหตุผล/ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม (ถ้ามี) ในการจัดเก็บค่าธรรมเนียมการใช้งานอุปกรณ์ติดตามการเดินทางจากเจ้าของรถประจำถิ่นเพื่อเป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายภาครัฐ

คำตอบ 2 ข้อ

ควรดูกฎหมายที่รองรับด้วย เป็นการกีดกันทางการค้าหรือไม่

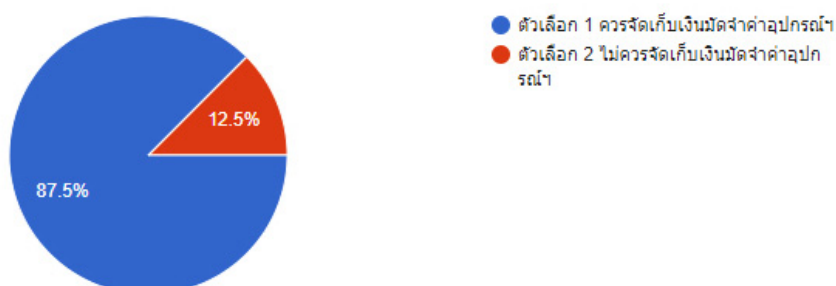
ควรเป็นการเจ้าของรถมิใช่ภาครัฐ

รูปที่ 3.3 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 2

3) การจัดเก็บเงินมัดจำค่าอุปกรณ์ติดตามการเดินทาง เพื่อให้ผู้ใช้งานเกิดความระมัดระวังในการใช้งานอุปกรณ์ยิ่งขึ้นเพื่อลดการชำรุดเสียหายและการสูญหายของอุปกรณ์ฯ

3.1) ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรในการจัดเก็บเงินมัดจำค่าอุปกรณ์ติดตามการเดินทาง เพื่อให้ผู้ใช้งานเกิดความระมัดระวังในการใช้งานอุปกรณ์ยิ่งขึ้นเพื่อลดการชำรุดเสียหายและการสูญหายของอุปกรณ์ฯ

คำตอบ 8 ข้อ



3.2) หากต้องจัดเก็บเงินมัดจำค่าอุปกรณ์ฯ โปรดระบุจำนวนเงินค่ามัดจำอุปกรณ์ที่เหมาะสม (บาท)

คำตอบ 4 ข้อ

ไม่เกิน 200 บาท

เท่าราคาอุปกรณ์

300

ค่าประกันอุปกรณ์ ต้องขึ้นอยู่กับมูลค่าอุปกรณ์

3.3) เหตุผล/ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม (ถ้ามี) ในการจัดเก็บเงินมัดจำค่าอุปกรณ์ติดตามการเดินทาง เพื่อให้ผู้ใช้งานเกิดความระมัดระวังในการใช้งานอุปกรณ์ยิ่งขึ้นเพื่อลดการชำรุดเสียหายและการสูญหายของอุปกรณ์ฯ

คำตอบ 0 ข้อ

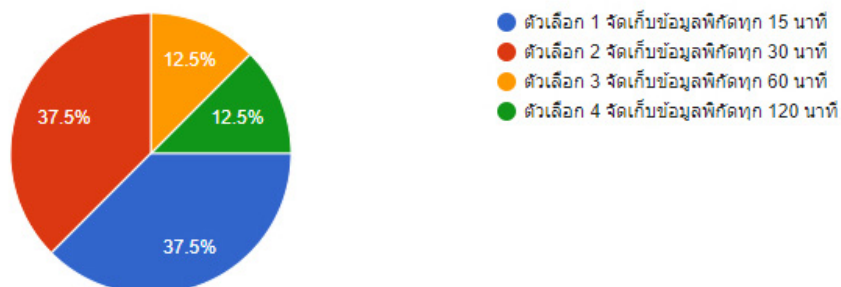
ยังไม่มีคำตอบสำหรับคำถามนี้

รูปที่ 3.4 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 3

4) ความถี่ที่เหมาะสมในการตรวจสอบพิกัดตำแหน่งของรถประจำถิ่น

4.1) ท่านคิดว่า ความถี่ที่เหมาะสมในการตรวจสอบพิกัดตำแหน่งของรถประจำถิ่น ควรเป็นทุกกี่นาที

คำตอบ 8 ข้อ



4.2) เหตุผล/ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม (ถ้ามี) ในกรณีการตั้งความถี่ที่เหมาะสมในการตรวจสอบพิกัดตำแหน่งของรถประจำถิ่น

คำตอบ 2 ข้อ

เพื่อทันต่อเหตุการณ์กรณีเมื่อมีการเกิดเหตุการณ์ขึ้น

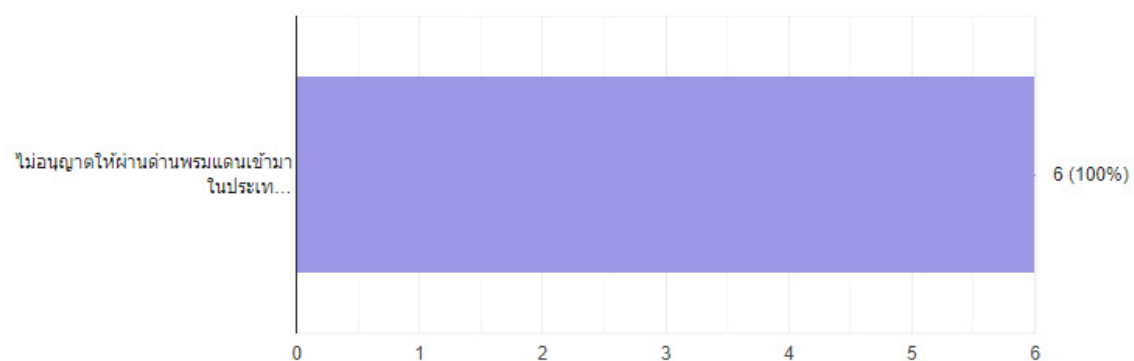
ลดการประมวลผล ระยะเวลา 30 นาทีแสดงพิกัดที่สามารถตรวจสอบเส้นทางคมนาคมได้

รูปที่ 3.5 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 4

5) ท่านคิดว่าควรมีมาตรการลงโทษหรือบังคับใช้อุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นอย่างไร

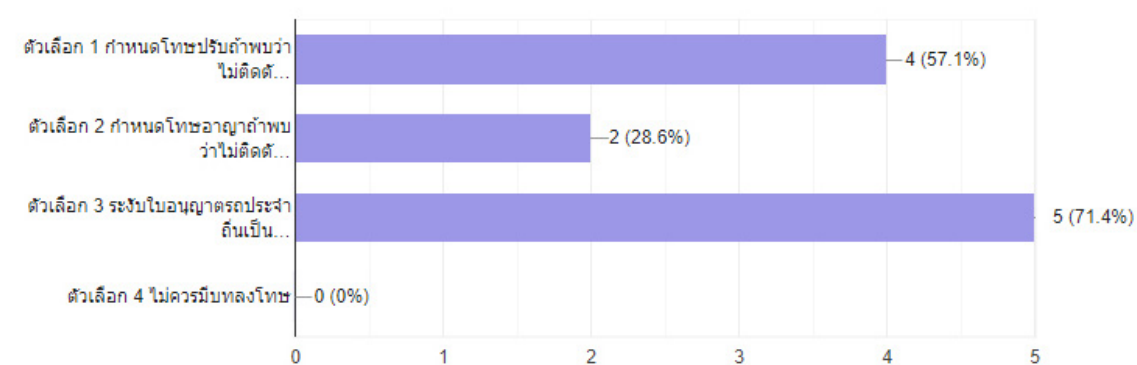
5.1) กรณียังไม่เข้ามาในราชอาณาจักร

คำตอบ 6 ข้อ



5.2) กรณีพบการกระทำความผิดในราชอาณาจักร

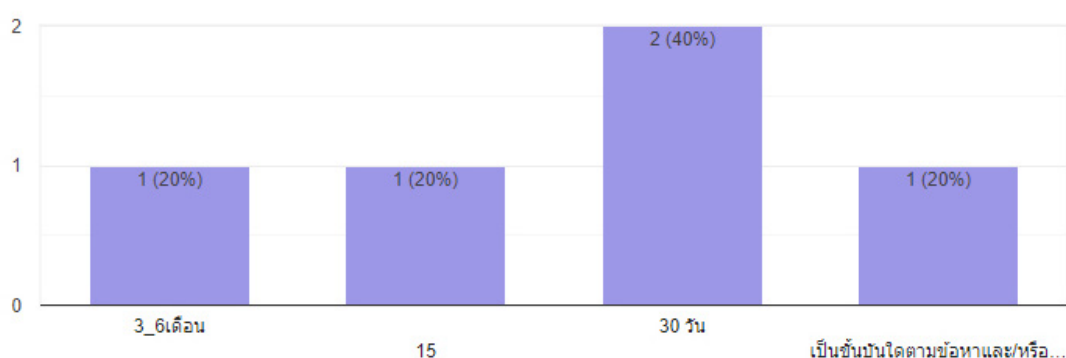
คำตอบ 7 ข้อ



รูปที่ 3.6 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 5

5.3) หากต้องรับใบอนุญาตรถประจำถิ่นเป็นการชั่วคราวเป็นช่วงเวลา ท่านคิดว่าเวลาระงับที่เหมาะสมควรเป็นเท่าไร (วัน)

คำตอบ 5 ข้อ



5.4) เหตุผล/ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม (ถ้ามี) ในเรื่องมาตรการลงโทษหรือบังคับใช้อุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่น

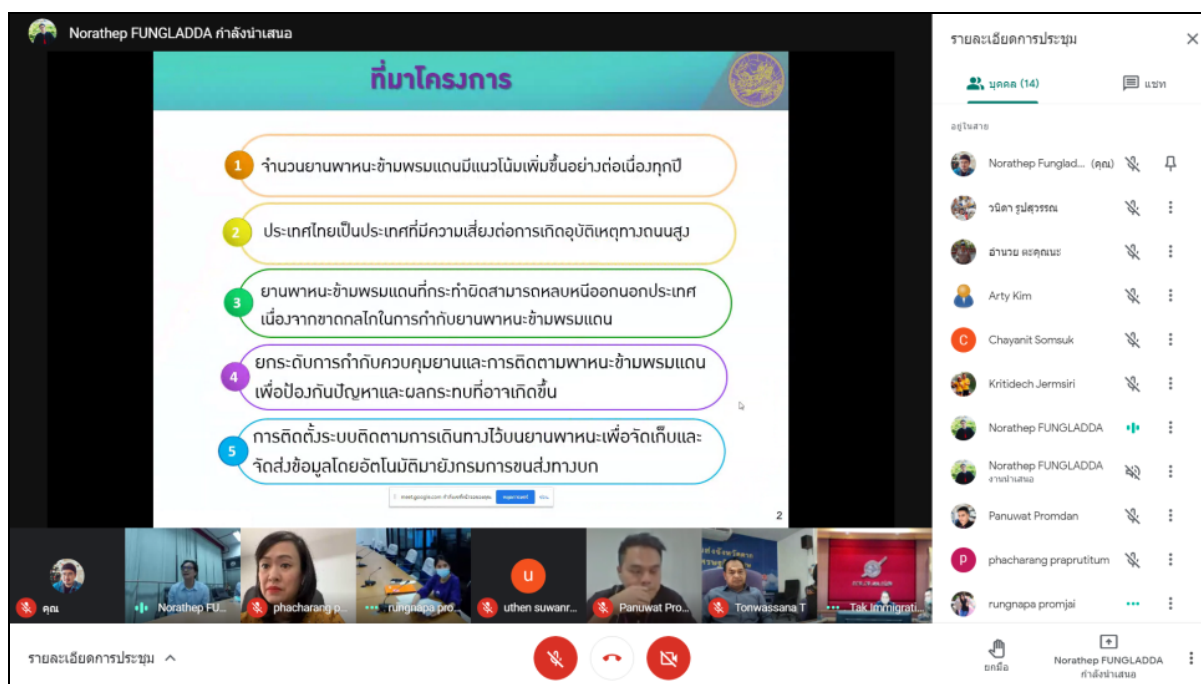
คำตอบ 2 ข้อ

บทลงโทษต้องหนักพอให้ผู้ประกอบการไม่กล้าเสี่ยงกระทำความผิด และมีแนวทางในการบังคับใช้ได้อย่างจริงจัง ต่อเนื่อง

จำเป็นต้องมีมาตรการบังคับทางกฎหมายและมาตรการระงับใบอนุญาตควบคู่กัน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการกำกับติดตาม

รูปที่ 3.7 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 5

โดยบรรยากาศการประชุมสำรวจความคิดเห็น ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 บรรยากาศการประชุมสำรวจความคิดเห็น

4. การศึกษาออกแบบฮาร์ดแวร์และระบบสื่อสารของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่น

ที่ปรึกษาจะดำเนินการศึกษาออกแบบฮาร์ดแวร์และระบบสื่อสารของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นในที่สัญจรในประเทศไทย โดยอุปกรณ์ฯ จะมีคุณลักษณะ ดังนี้

- ต้องสามารถติดตั้งบนรถประจำถิ่นได้โดยสะดวก
- สามารถสื่อสารและจัดส่งข้อมูลมายังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายของกรมการขนส่งทางบก โดยอัตโนมัติ

4.1 การศึกษารายละเอียดของอุปกรณ์

1) ระบบนำทางด้วยดาวเทียมบนพื้นโลก (Global Navigation Satellite System: GNSS)

หลักการทำงานของระบบนำทางด้วยดาวเทียมบนพื้นโลก ทำงานโดยรับข้อมูลสัญญาณเวลาที่ถูกส่งมาจากดาวเทียมและทำการคำนวณเวลาและตำแหน่ง (ลองจิจูด ละติจูด ความสูง) โดยใช้เครื่องรับสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์อย่างแม่นยำ ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับการทดลองทางวิทยาศาสตร์ โดยระบบนำทางด้วยดาวเทียมในปัจจุบันได้มีการพัฒนาขึ้นจากหลากหลายประเทศดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดระบบนำทางด้วยดาวเทียมบนพื้นโลก (GNSS)

ระบบ	ผู้พัฒนา	ความสูงวงโคจร (กม.)	จำนวนดาวเทียมในแผนการดำเนินการ	จำนวนดาวเทียมในการดำเนินการเต็มรูปแบบ	พื้นที่ครอบคลุมการใช้งาน
GPS	สหรัฐอเมริกา	21,000	32	31	ทั่วโลก
GLONASS	รัสเซีย	20,000	27	24	ทั่วโลก
GALILEO	สหภาพยุโรป	23,222	30	24	ทั่วโลก
BeiDou	จีน	21,528	35	35	ทั่วโลก
QZSS	ญี่ปุ่น	42,164	4	1	- ในประเทศญี่ปุ่น - เอเชียตะวันออก - ภูมิภาคโอเชียเนีย
IRNSS	อินเดีย	36,000	7	6	- ในประเทศอินเดีย - ภูมิภาครอบดินแดน 1,500 กิโลเมตร

ในปัจจุบันมีการใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System, GPS) เพื่อติดตามรถขนส่งเชิงพาณิชย์กันอย่างแพร่หลาย โดยการทำงานของระบบดังกล่าวอาศัยข้อมูลจากสัญญาณดาวเทียมและแปลงข้อมูลที่ได้ออกเป็นรูปพิกัดละติจูดและลองจิจูดสำหรับใช้ในการระบุตำแหน่งของรถ ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบความเร็ว ระยะทาง เส้นทางในการเดินทางและอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งเป็นระบบที่

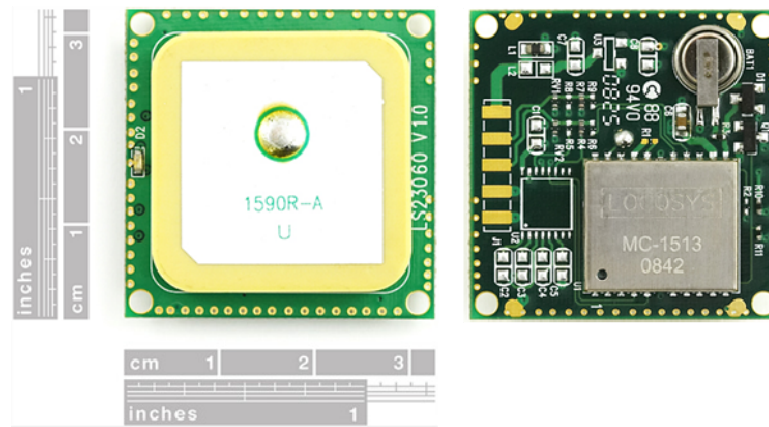
สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการติดตามเส้นทางของรถจดทะเบียนต่างประเทศที่เข้ามาใช้ในประเทศไทยได้เป็นอย่างดี เนื่องจากระบบนี้มีข้อดี คือ สามารถติดตามเส้นทางการเดินทางในช่วงเวลาต่างๆ รวมทั้งสามารถวิเคราะห์ความเร็วในการขับขี่ ทิศทางการขับขี่ และระยะทางรวมทั้งหมดได้อีกด้วย

การทำงานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกสามารถเกิดความคลาดเคลื่อนได้ โดยแหล่งกำเนิดความคลาดเคลื่อน (Error Sources) มีดังนี้

- Satellite errors เป็นแหล่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดจาก GPS เอง โดยเกิดจากตำแหน่งวงโคจรดาวเทียม และนาฬิกาอะตอมมิก (Atomic clock) ที่ใช้ในระบบ GPS
- Atmosphere เป็นแหล่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการ delay ของสัญญาณ เมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศ ความเร็วไม่เท่าความเร็วแสงในสุญญากาศ และผลกระทบจากโมเลกุลชั้นบรรยากาศ Ionosphere และ Atmospheric
- Multi-path Distortion เป็นแหล่งกำเนิดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการสะท้อนไปมาของคลื่นสัญญาณในบริเวณข้างเคียงจนเกิดเป็นสัญญาณรบกวน
- Receiver error เป็นแหล่งกำเนิดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจาก Receiver Clock หรือ Internal Noise ภายในตัวรับสัญญาณ GPS เอง
- Selective Availability (SA) เป็นการตั้งค่ารัศมีความแม่นยำของสัญญาณ GPS โดยนโยบายของรัฐบาลสหรัฐอเมริกา เพื่อเป็นการรักษาความมั่นคงทางทหาร

ที่ปรึกษาได้ศึกษาด้านเทคนิคในการนำระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System, GPS) มาใช้สำหรับติดตามรถจดทะเบียนต่างประเทศที่ได้รับอนุญาตให้สัญจรในประเทศไทย โดยระบบดังกล่าวสามารถบอกตำแหน่งของรถจดทะเบียนต่างประเทศบนพื้นผิวโลกด้วยดาวเทียม โดยอาศัยการคำนวณจากข้อมูลที่ส่งมาจากดาวเทียมที่โคจรรอบโลกจำนวน 24 ดวง ทำงานโดยการรับสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งสัญญาณดาวเทียมประกอบไปด้วย ข้อมูลที่ระบุตำแหน่ง และเวลาขณะส่งสัญญาณ และที่ตัวเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส จะต้องประมวลผลความแตกต่างของเวลาในการรับสัญญาณเทียบกับเวลาจริง ณ ปัจจุบันเพื่อแปรเป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียมแต่ละดวง และประมวลผลหาตำแหน่งของดาวเทียมที่ส่งมากับสัญญาณอุปกรณ์ตรวจวัดพิกัดจากดาวเทียมมีจำหน่ายกันตามท้องตลาดในปัจจุบัน ซึ่งมีรูปแบบสำเร็จรูปที่สามารถนำไปใช้งานได้ทันทีสำหรับบุคคลทั่วไป เช่น ระบบจีพีเอสบนมือถือ โดยระบบที่ใช้เป็นแบบที่เป็นชิปโมดูลขนาดเล็กสำหรับนักพัฒนาซึ่งมีรูปแบบดังต่อไปนี้

- โมดูลจีพีเอสแบบสายอากาศแพทช์ (Patch Antenna) โมดูลชนิดนี้จะเป็นที่นิยมใช้งานกันมากเนื่องจากมีขนาดกระทัดรัด ไม่ต้องต่อสายอากาศเพิ่มเติม ราคาถูก ใช้งานได้สะดวกดังแสดงในรูปที่ 4.1



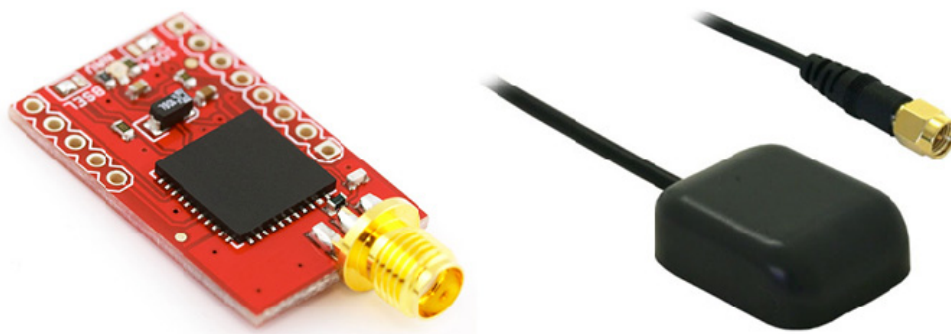
รูปที่ 4.1 โมดูลจีพีเอสชนิดสายอากาศแพทช์

- โมดูลจีพีเอสแบบสายอากาศเฮลิคอลล (Helical Antenna) โมดูลชนิดนี้จะมีขนาดโตกว่าแบบแพทช์ เนื่องจากต้องมีสายอากาศเพิ่มเติม แต่ช่วยทำให้การรับสัญญาณดีขึ้นในทุกทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 โมดูลจีพีเอสชนิดสายอากาศเฮลิคอลล

- โมดูลจีพีเอสแบบสายอากาศภายนอก (Ext Antenna) โมดูลชนิดนี้จะมีหัวต่อสายอากาศแบบ SMA ที่สามารถต่อกับสายอากาศภายนอกได้ นิยมใช้ในกรณีที่ต้องติดตั้งเครื่องรับสัญญาณในมุมอับ ไม่สามารถรับสัญญาณได้ เช่น การติดตั้งภายในอาคาร หรือในรถยนต์ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3

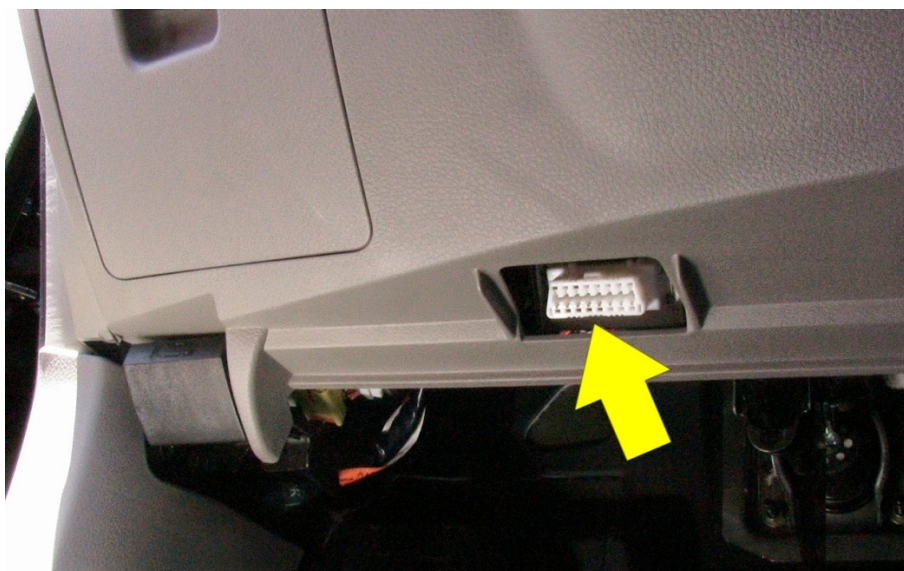


รูปที่ 4.3 โมดูลจีพีเอสชนิดสายอากาศภายนอก

การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดพิกัดจากดาวเทียมจะต้องออกแบบให้มีระบบเซ็นเซอร์ตรวจจับการถอดอุปกรณ์ตรวจวัดพิกัดจากดาวเทียมออกจากตัวรถดังแสดงในรูปที่ 4.4 โดยออกแบบอุปกรณ์ให้มีปลั๊กเสียบเชื่อมต่อที่ช่องเสียบ OBD II ที่ถูกติดตั้งสำหรับรถทุกรุ่นที่มีจำหน่ายในปัจจุบันเพื่อใช้ไฟฟ้าจากรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ตรวจวัดพิกัดจากดาวเทียมที่มีเซ็นเซอร์ตรวจจับการถอดอุปกรณ์



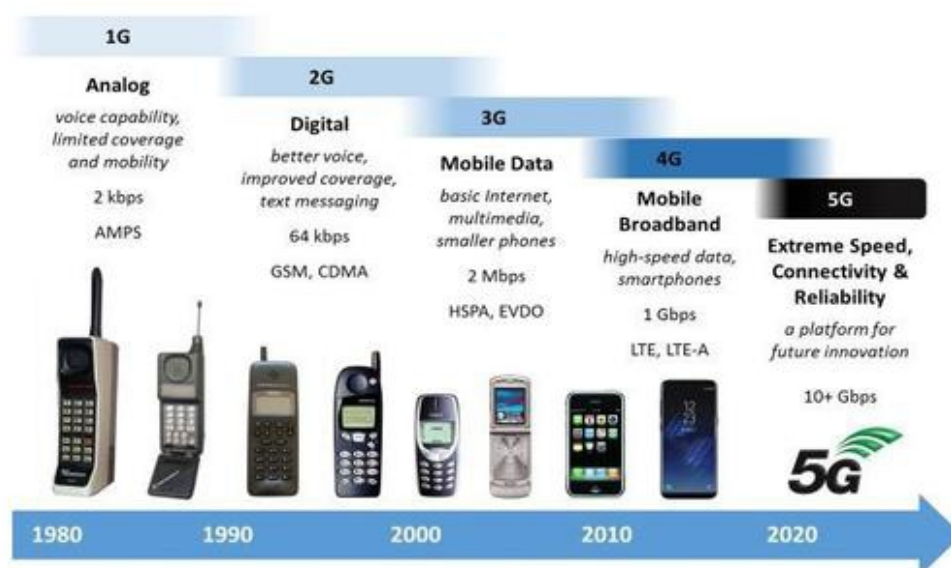
รูปที่ 4.5 ช่องเสียบ OBD II ในรถยนต์



รูปที่ 4.6 ติดตามที่มีปลั๊กเสียบกับช่อง OBD II

2) ระบบเครือข่ายไร้สายรุ่น 1G ถึง 5G และเทคโนโลยี NB-IoT

เครือข่ายระบบไร้สายรุ่นที่ 1 ถึง 5 เป็นผลมาจากการพัฒนาอย่างต่อเนื่องของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.7 โดยรายละเอียดต่างของแต่ละรุ่นมีดังนี้



รูปที่ 4.7 วิวัฒนาการของเทคโนโลยี 1G ถึง 5G

ที่มา: The Journal of Industrial Technology

เครือข่ายแบบ 1G (The First Generation of Mobile Communications Technology) ได้รับการพัฒนาขึ้นในหลายระบบ แต่ระบบที่ได้รับความนิยมสูงที่สุดชื่อว่า AMPS (Advanced Mobile Phone System) มอดูเลตสัญญาณแบบ FDMA (Frequency Division Multiple Access) และใช้ช่วงความถี่ย่าน 800-900 MHz สามารถรับส่งได้เพียงสัญญาณเสียง แต่ยังมีข้อจำกัดหลายประการอยู่ เช่น คุณภาพเสียงไม่ดี อุปกรณ์มีขนาดใหญ่ สิ้นเปลืองพลังงานในการใช้งาน รองรับหมายเลขและพื้นที่บริการต่ำ และส่งข้อมูลได้จำกัดเพียง 2 Kbps

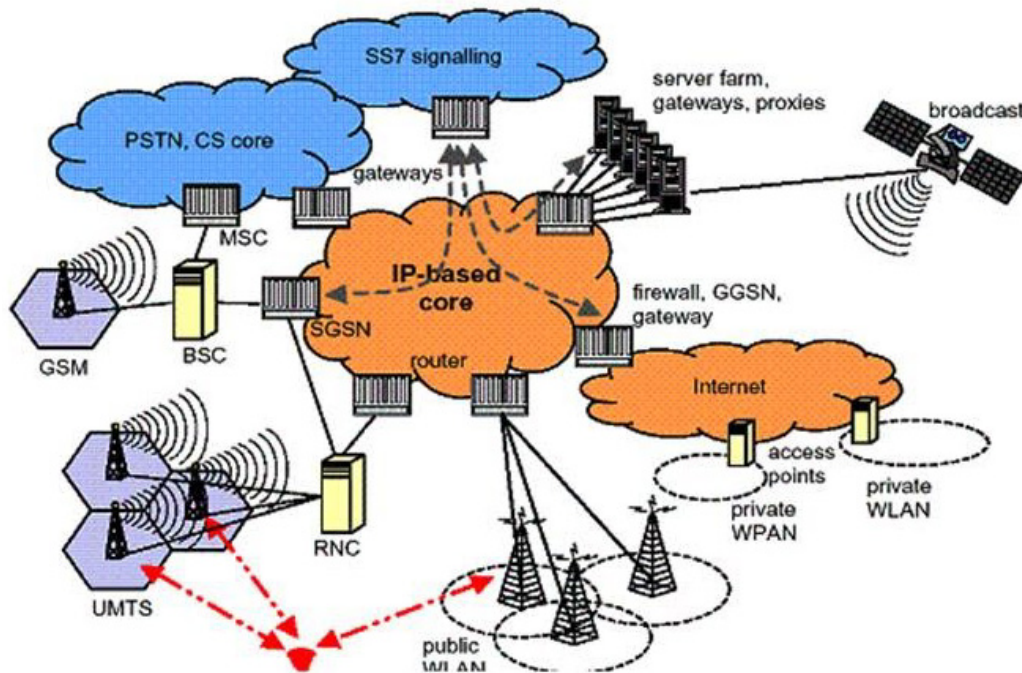
เครือข่ายแบบ 2G (The Second Generation of Mobile Communications Technology) มีการพัฒนาขึ้น 2 ระบบหลักคือ ระบบ GSM (Global System for Mobile Communications) มอดูเลตสัญญาณแบบ TDMA (Time Division Multiple Access) ส่วนอีกระบบคือ ระบบ CDMA (Code Division Multiple Access) ซึ่งใช้เทคนิค Spread Spectrum คือการใช้คลื่นความถี่เดียวกัน 2G เป็นระบบที่มีการสื่อสารแบบดิจิทัลอย่างสมบูรณ์ สามารถสื่อสารด้วยเสียงที่มีคุณภาพดีขึ้นและสามารถรับส่งข้อมูลได้ 64-144 Kbps สามารถรับส่งข้อความ (SMS) และภาพมัลติมีเดีย (MMS) ครอบคลุมพื้นที่บริการกว้างขึ้น อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง สามารถรับส่งอีเมลได้และเข้าเว็บไซต์ผ่าน GPRS และ EDGE

เครือข่ายแบบ 3G (The Third Generation of Mobile Communications Technology) ใช้มาตรฐาน IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศหรือ ITU (International Telecommunication Union) ระบบโทรศัพท์ 3G ได้ถูกพัฒนาและใช้งานในช่วงต้นปี 2000 คุณสมบัติเด่นคือความสามารถรองรับบริการรับส่งข้อมูลแบบมัลติมีเดียด้วยความเร็ว 2 Mbps จึงสามารถรองรับบริการและแอปพลิเคชันได้หลากหลายขึ้น เช่น วิดีโอสตรีมมิง วิดีโอคอล ในเวลาเดียวกันเครื่องโทรศัพท์ยังถูกพัฒนาขึ้นเป็นสมาร์ตโฟนทำให้รองรับการใช้งานอินเทอร์เน็ต อีเมล และแอปพลิเคชันสื่อสารสังคมออนไลน์ได้สะดวกยิ่งขึ้น

เครือข่ายแบบ 4G (The Fourth Generation of Mobile Communications Technology) ITU ได้ออกมาตรฐาน IMT-Advanced (International Mobile Telecommunications-Advanced) ในปี 2008 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา โดยเป้าหมายคือระบบ 4G จะต้องรองรับความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุด 100 Mbps ขณะเคลื่อนที่ และสูงสุด 1 Gbps ขณะอยู่กับที่ ระบบ 4G ในที่นี้รวมถึงมาตรฐาน LTE ที่ออกโดยองค์กรที่ชื่อว่า 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ออกมาในช่วงเวลาใกล้เคียงกันกับ IMT-Advanced ระบบ 4G เมื่อเทียบกับ 3G มีข้อได้เปรียบอย่างชัดเจนคือความเร็วการรับส่งข้อมูลส่งผลให้ผู้ใช้สามารถทำการถ่ายทอดสดผ่านสมาร์ตโฟน รวมทั้งรองรับแอปพลิเคชันและบริการที่มีการพัฒนาบนพื้นฐานของอินเทอร์เน็ตโพรโตคอลได้อย่างดี ในประเทศไทยได้เริ่มใช้ระบบ 4G ในบางพื้นที่ตั้งแต่ปี 2012 ขยายไปในหลายพื้นที่ของกรุงเทพฯ ในปี 2013 และมีการใช้งานอย่างเป็นทางการภายหลังการประมูลคลื่นความถี่สำหรับ 4G ในช่วงปลายปี 2015 โดยระบบเครือข่ายชนิดนี้มีคุณสมบัติการเชื่อมต่อเสมือนจริงในรูปแบบสามมิติ (three-dimensional) ระหว่างผู้ใช้งานด้วยกันเอง แต่นอกจากนั้นสถานการณ์ที่ท้าทายในการส่งผ่านสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่จากเครื่องหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่ง และมีความท้าทายการติดตั้งที่ค่อนข้างสูงโดยลักษณะการนำเทคโนโลยี 4G มาประยุกต์ใช้ ดังแสดงในรูปที่ 4.8

เครือข่ายแบบ 5G (The Fifth Generation of Mobile Communications Technology) เป็นเครือข่ายไร้สายที่ถูกพัฒนาและเริ่มใช้ในปี พ.ศ. 2561 เป็นต้นมา เทคโนโลยีพื้นฐานได้แก่คลื่นความถี่ (Millimeter wave bands 26, 28, 38, และ 60 GHz) มีประสิทธิภาพสูงสุดถึง 20 Gbps MIMO (Multiple Input Multiple Output - 64-256 antennas) 5G ย่านความถี่ต่ำและกลางใช้ความถี่ระหว่าง 600 MHz ถึง 6 GHz โดยเฉพาะระหว่าง 3.5-4.2 GHz ซึ่งข้อได้เปรียบของระบบ 5G เมื่อเปรียบเทียบกับ 4G คือ อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุดไม่น้อยกว่า 20 Gbps อัตราการรับส่งข้อมูลเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 100 Mbps สามารถใช้งานบนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่ต่ำกว่า 500 กม./ชม. เช่น รถไฟฟ้าหัวกระสุน ซึ่งดีกว่า 4G ที่รองรับได้สูงสุด 350 กม./ชม. ค่าประวิงเวลาภายในเครือข่ายไม่เกิน 1 มิลลิวินาที ซึ่งดีขึ้น 10 เท่า เครือข่ายสามารถรองรับการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ได้พร้อมกันไม่น้อยกว่า 1 ล้าน/ตร.กม. ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์

เดิม 10 เท่า มีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 100 เท่า รองรับการจราจรของข้อมูลในพื้นที่ 1 ตร.ม.ได้ไม่น้อยกว่า 10 Mbps ซึ่งเพิ่มขึ้น 100



รูปที่ 4.8 ลักษณะการนำเทคโนโลยี 4G มาประยุกต์ใช้

ที่มา : <http://datacommunicationand.blogspot.com/>

เทคโนโลยี NB-IoT

เทคโนโลยี NB-IoT (Narrow band Internet of Things) เป็นเทคโนโลยี IoT ซึ่งทำงานภายใต้เครือข่าย 3G/4G โดยออกแบบให้รับส่งข้อมูลได้ 100 kbps ทั้ง Uplink และ Downlink จุดเด่นของเทคโนโลยี NB-IoT คือ ใช้พลังงานต่ำมาก โดยสามารถออกแบบให้ใช้งานได้ยาวนานสูงสุดถึง 10 ปี มีความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่จำกัดได้ดี เช่น พื้นที่ห่างไกล ภายในส่วนลึกของตัวอาคาร หรือลานจอดรถชั้นใต้ดิน สามารถรองรับการเชื่อมต่อของอุปกรณ์จำนวนมากพร้อมกันได้สูงสุดถึง 1 แสนอุปกรณ์ต่อสถานี โดยมีรัศมีครอบคลุมของเครือข่ายต่อสถานีมากกว่า 10 ก.ม. รวมทั้งยังสามารถออกแบบอุปกรณ์ให้ใช้ร่วมกับโครงข่าย 3G/4G ในปัจจุบันได้ จึงมีความครอบคลุมพื้นที่บริการสูง ด้วยจุดเด่นดังกล่าวในปัจจุบันจึงมีการนำเทคโนโลยี NB-IoT ไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น อุปกรณ์ติดตาม ระบบเมืองอัจฉริยะ ระบบติดตามสภาพแวดล้อมเพื่อการเกษตรกรรม เป็นต้น

3) เครือข่ายลอรา (LoRa)

เครือข่ายลอรา (LoRa) เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมต่อไร้สายในรูปแบบผสมระหว่างดิจิทัลและอนาล็อก ซึ่งผู้คิดค้นคือ Semtech เครือข่ายลอรา (LoRa) เหมาะสำหรับงาน Internet of Things (IoT) เป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สาย ซึ่งมีจุดเด่นการสื่อสารได้ระยะทางไกล แต่ใช้พลังงานต่ำ ราคาประหยัด และยังป้องกันสัญญาณรบกวนได้ดี (Interference Robustness) โดยสมาคม LoRa Alliance ได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์ จัดทำข้อกำหนดและมาตรฐานของเครือข่ายลอรา (LoRa)

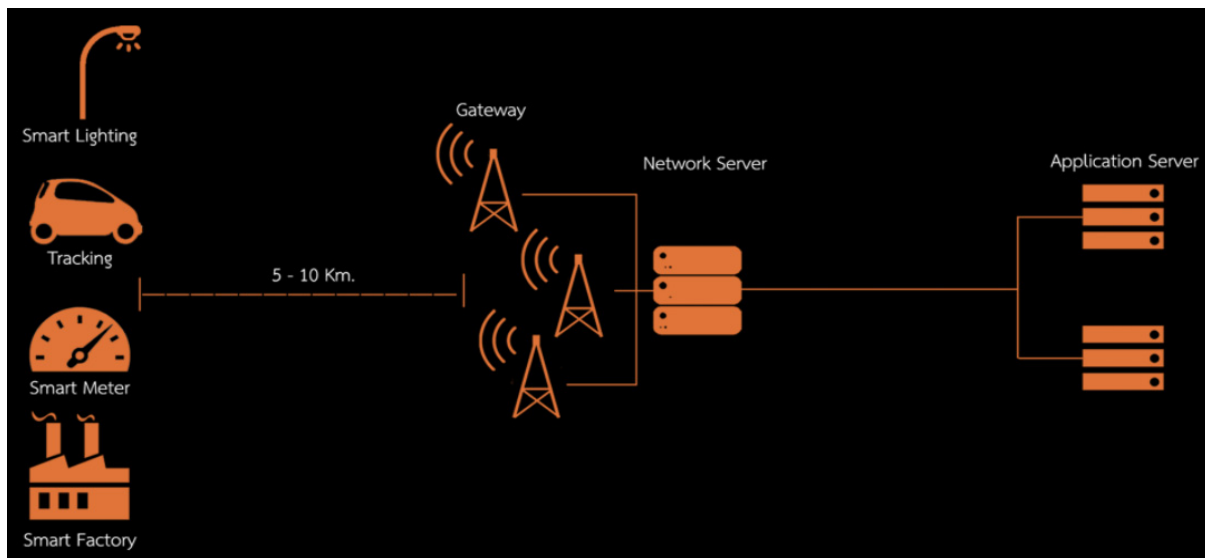
LoRa Alliance เป็นสมาคมไม่แสวงหาผลกำไรซึ่งเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วนับตั้งแต่ก่อตั้งขึ้นในเดือนมีนาคม 2558 ในปัจจุบันสมาคมมีสมาชิกมากกว่า 500 ราย อาทิ IBM, Cisco, HP, Foxconn, Semtech, Sagemcom, Schneider, Bosch, Diehl, Mueller เป็นต้น ซึ่งสมาชิกประกอบไปด้วยผู้ให้บริการระบบโทรคมนาคมชั้นนำในระดับโลก อีกทั้งเครือข่ายลอรา (LoRa) ถูกพัฒนาขึ้นตามพื้นฐานของระบบ Semtech จึงทำให้มาตรฐานของระบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้สะดวกขึ้นในหลากหลายหน่วยงานทั่วโลก ซึ่งในแต่ละพื้นที่ในโลกจะมีการใช้คลื่นความถี่กับอุปกรณ์ลอรา (LoRa) ในย่านที่แตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 4.9

Countries	Frequency band review	Max. output power
EU	868 MHz	14 dBm
USA	915 MHz	20 dBm
Korea	900 MHz	14 dBm
Japan	920 MHz	
Malaysia	862 to 875 MHz	20 dBm
Philippines	868 MHz	
Vietnam	920 to 925 MHz	
India	865 to 867 MHz	
Singapore	922 MHz	
Thailand	920 to 925 MHz	
Indonesia	922 MHz	
ANZ	915 to 928 MHz	
Taiwan	920 to 925 MHz	
China	470 to 510 MHz	17 dBm

รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบช่วงความถี่และกำลังส่งของ LoRa ในแต่ละประเทศ
ที่มา : STMicroelectronics

LoRaWAN ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ อุปกรณ์ (End-devices), เกตเวย์ (Gateway) และ เน็ตเวิร์คเซิร์ฟเวอร์ (Network Server) แสดงดังรูปที่ 4.10

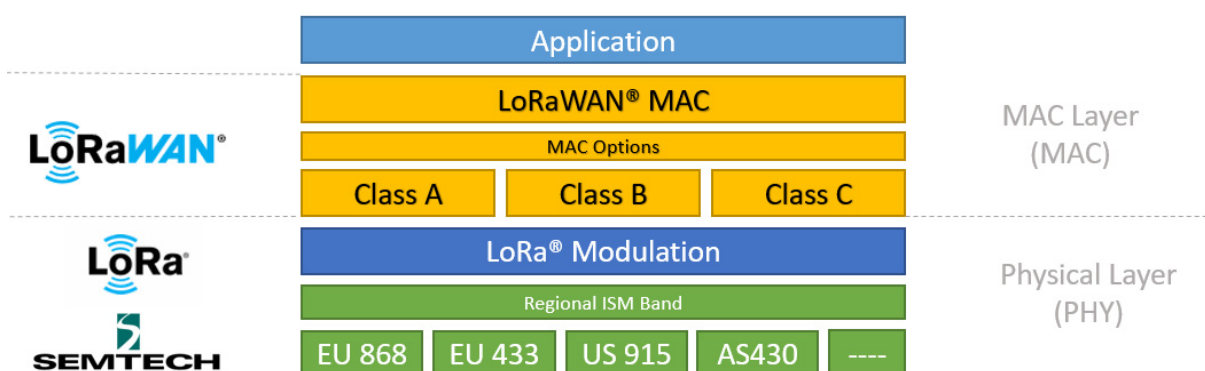
- **อุปกรณ์ (End-device)** เป็นอุปกรณ์พลังงานต่ำที่สื่อสารไปยังเกตเวย์ โดยไม่เจาะจงเกตเวย์ใดเกตเวย์หนึ่งโดยเฉพาะ (กรณีเกตเวย์มีมากกว่า 1 ตัว)
- **เกตเวย์ (Gateway)** ทำหน้าที่รับแพ็กเก็ตจากอุปกรณ์ LoRa (End-devices) เพื่อส่งต่อไปยัง (Network Server)
- **เน็ตเวิร์คเซิร์ฟเวอร์ (Network Server)** ทำหน้าที่กำจัดการแพ็กเก็ตที่เข้าและส่งแพ็กเก็ตกลับไปยังอุปกรณ์ปลายทางเพื่อรองรับการใช้งานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.10 รูปแบบการใช้งานเครือข่ายลอรา (LoRa)

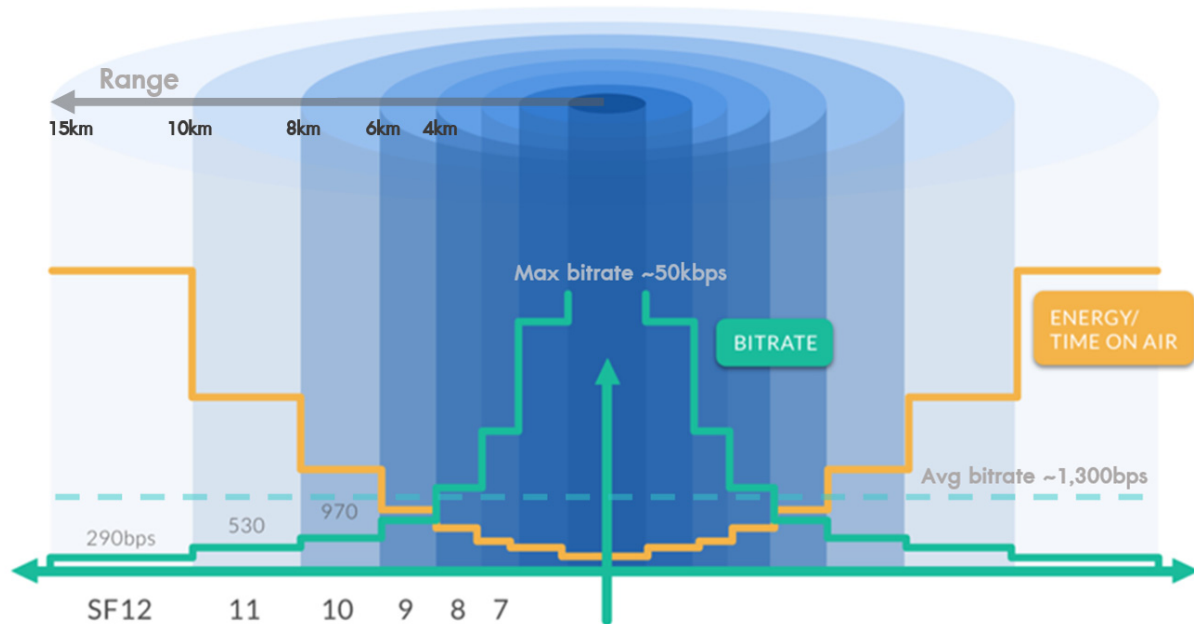
ที่มา : <https://loraiot.catttelecom.com/>

โปรโตคอล LoRa แบ่งออกได้เป็น 2 Layer หลัก ได้แก่ ส่วนของ Physical layer (PHY) และ MAC layer แสดงดังรูปที่ 4.11 การสื่อสารใน Physical layer (PHY) ของ LoRa รองรับการส่งระยะไกล ใช้พลังงานต่ำ โดยสามารถส่งข้อมูลที่อัตราเร็วสูงสุดประมาณ 50 Kbps เพื่อการใช้งานที่เหมาะสมสามารถปรับพารามิเตอร์ในส่วนของ Physical layer เพื่อให้ได้อัตราเร็วของการส่งข้อมูล (Data Rate) และค่าความไวต่อการรับสัญญาณให้เหมาะสมด้วยการปรับค่าแบนวิธ (Bandwidth), สเปรดแฟกเตอร์ (Spreading Factor: SF) โดยค่า Spreading Factor สามารถตั้งค่าได้ตั้งแต่ SF7-SF12 แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 4.12 ซึ่งหากต้องการใช้งานด้วยแบนวิธที่สูงจะต้องตั้งค่าเป็น SF7 ซึ่งจะทำให้ระยะทางของการส่งข้อมูลต่ำ แต่อัตราการส่งข้อมูลจะสูง (Bit rate) โดยการตั้งค่าพารามิเตอร์ SF ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบว่าต้องการให้ระยะทางและอัตราการรับ-ส่งข้อมูลสอดคล้องกับการใช้งานในรูปแบบใด



รูปที่ 4.11 องค์ประกอบของโปรโตคอล LoRa

ที่มา : <https://lora-developers.semtech.com/>



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างเปรียบเทียบ Spreading Factors และ Bit Rate ของอุปกรณ์ LoRa

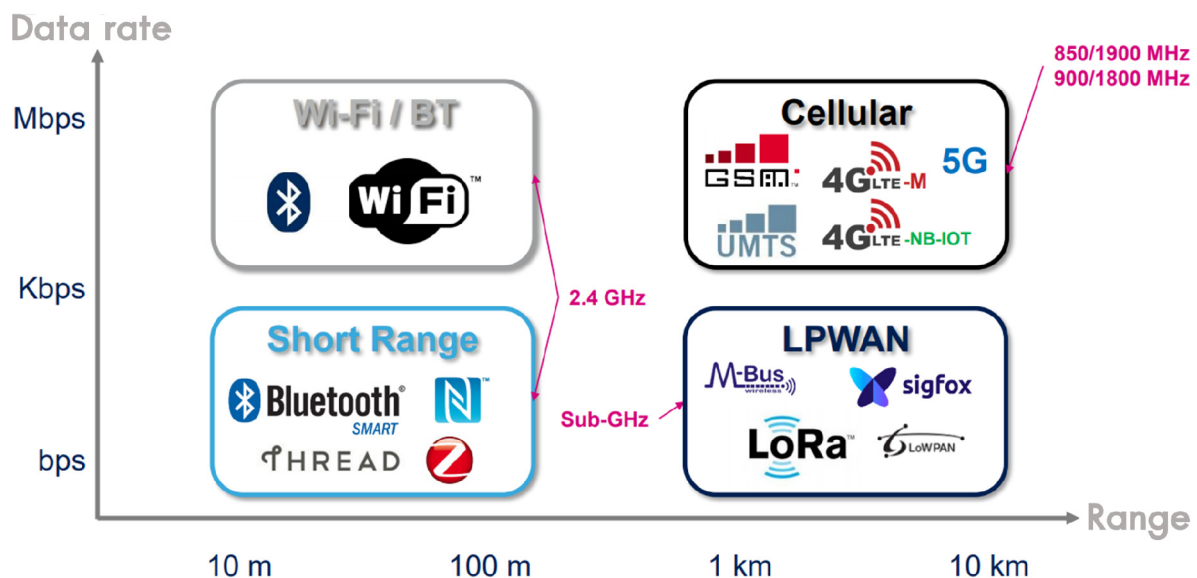
ที่มา : <https://www.thethingsnetwork.org/>

ในส่วนของ MAC Layer ของอุปกรณ์ LoRaWAN แบ่งออกเป็น 3 คลาส ได้แก่ Class A, Class B, Class C ซึ่งในปัจจุบันบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) (CAT Telecom Public Company Limited) เป็นรายแรกในประเทศไทยที่เปิดบริการเครือข่าย LoRa ในปี พ.ศ. 2561 ซึ่งรองรับ LoRa Class A และ Class C โดยในแต่ละคลาสจะมีลักษณะการทำงานที่แตกต่างกันดังนี้

- **Class A** จะเป็นการสื่อสารแบบสองทาง (Bi-directional) โดยการสื่อสาร Uplink ในแต่ละครั้ง จะตามด้วยการสื่อสาร Downlink ในช่วงเวลาสั้นๆ อีก 2 ครั้ง การสื่อสาร Downlink ในรอบถัดไปต้องรอ Uplink ทำงานอีกครั้ง ซึ่งทำให้การทำงานของ Class A ใช้พลังงานในการทำงานน้อยที่สุด
- **Class B** เป็นการสื่อสารแบบสองทาง (Bi-directional) พร้อมการใช้ (Beacon) จากเกตเวย์ เพื่อให้ Network server ทราบว่าเวลาใดที่อุปกรณ์ End-Device พร้อมที่จะรับข้อมูล ซึ่งอุปกรณ์ End-device จะเปิดช่วงเวลาของการรับข้อมูล (Receive Window) ตามเวลาที่กำหนด
- **Class C** เป็นการสื่อสารแบบสองทาง (Bi-directional) จะใช้วิธีกำหนดช่วงเวลารับข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous) ทำให้อุปกรณ์ปลายทาง End-device อยู่ในสภาวะทำงานอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้ใช้พลังงานมากที่สุด

เครือข่ายลอรา (LoRa) มีจุดเด่นในเรื่องของระยะทางในการสื่อสาร สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ในระยะไกลถึง 5-15 กิโลเมตร และใช้พลังงานต่ำ อีกทั้งยังสามารถกำหนดให้อุปกรณ์เข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานในกรณีที่ไม่ได้ส่งข้อมูล โดยการเปรียบเทียบระยะทางและอัตราการส่งข้อมูลของเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายแต่ละประเภทแสดงดังรูปที่ 4.13 ด้วยข้อดีดังกล่าวทำให้เครือข่ายลอรา (LoRa) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายในการใช้งาน ตัวอย่างอุปกรณ์เครือข่ายลอรา (LoRa) ของบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) แสดงดังรูปที่ 4.14 โดยรายละเอียดในการใช้งานเครือข่าย มีดังนี้

- **การครอบคลุมการใช้งาน** มีระยะสัญญาณที่ไกลโดยเฉลี่ยประมาณ 5 - 10 กิโลเมตร จึงช่วยลดข้อจำกัดของระยะทางในการส่งข้อมูลของอุปกรณ์สามารถตอบสนองการสื่อสารได้อย่างรวดเร็วด้วยโครงข่ายแบบ Star Network
- **พลังงาน** มีการจัดการพลังงานของอุปกรณ์ที่ดี ส่งผลให้อายุการใช้งานของ Battery ยาวนานขึ้นมากกว่า 10 ปี
- **ค่าใช้จ่าย** ลดค่าใช้จ่ายในการลงทุนโครงสร้างพื้นฐาน และประหยัดต้นทุนในการเปลี่ยนถ่าย Battery เนื่องจากค่าใช้จ่าย Connectivity ที่ถูกลง จึงส่งผลให้สามารถเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ ได้มาก
- **การใช้งาน** รองรับการรับส่งข้อมูลได้มากกว่า 1 ล้านข้อความต่อ Base Station ตอบสนองความต้องการของผู้ประกอบการเครือข่ายสาธารณะที่ให้บริการในตลาดขนาดใหญ่
- **การรักษาความปลอดภัย** มีการเข้ารหัส AES128 แบบ End-to-End การตรวจสอบความถูกต้องซึ่งกันและกันการป้องกันที่สมบูรณ์และการรักษาความลับ
- **ความถี่ใช้งาน** รองรับความถี่ 920-925 MHz (Regional Parameters AS 923)



รูปที่ 4.13 เปรียบเทียบระยะทางและอัตราการรับ-ส่งข้อมูลของเทคโนโลยีการเชื่อมต่อแต่ละประเภท
ที่มา : STMicroelectronics



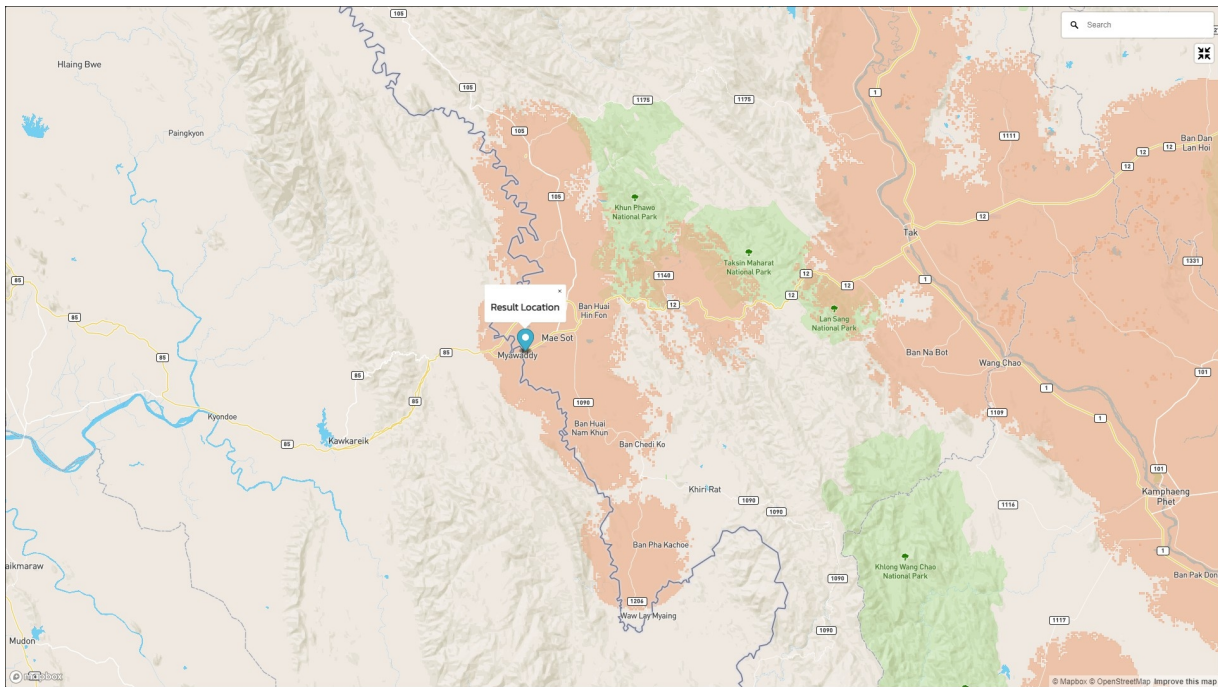
รูปที่ 4.14 ตัวอย่างอุปกรณ์เครือข่ายลอรา (LoRa)

ที่มา : <https://loraiot.cattelcom.com/>

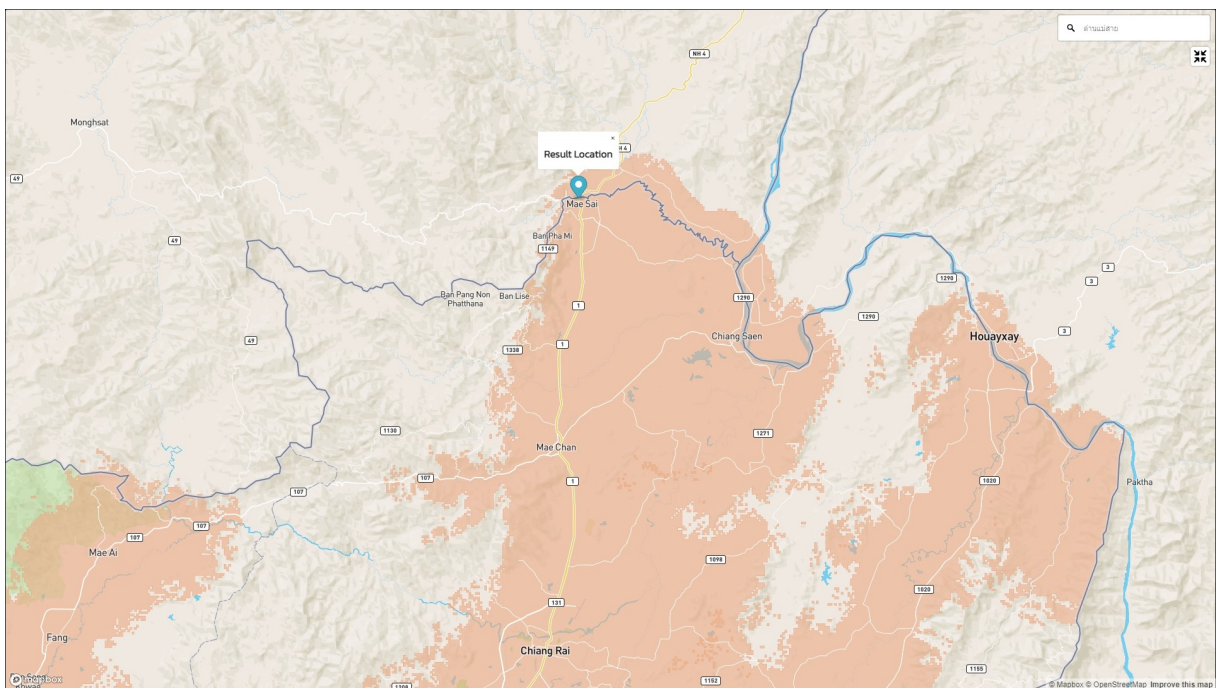
ปัจจุบันบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) (CAT Telecom Public Company Limited) ได้มีการติดตั้งสถานีรับสัญญาณ (LoRa Gateway) เพื่อรองรับการใช้งานเครือข่าย LoRa โดยพื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่าย LoRa บริเวณด่านพรมแดนเฉพาะที่มีการใช้งานรถประจำถิ่น แสดงดังตารางที่ 4.2 และความครอบคลุมพื้นที่ของเครือข่ายแสดงดังรูปที่ 4.15 ถึงรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.2 พื้นที่รองรับเครือข่าย LORA บริเวณด่านพรมแดนที่ใช้ใช้งานรถประจำถิ่น

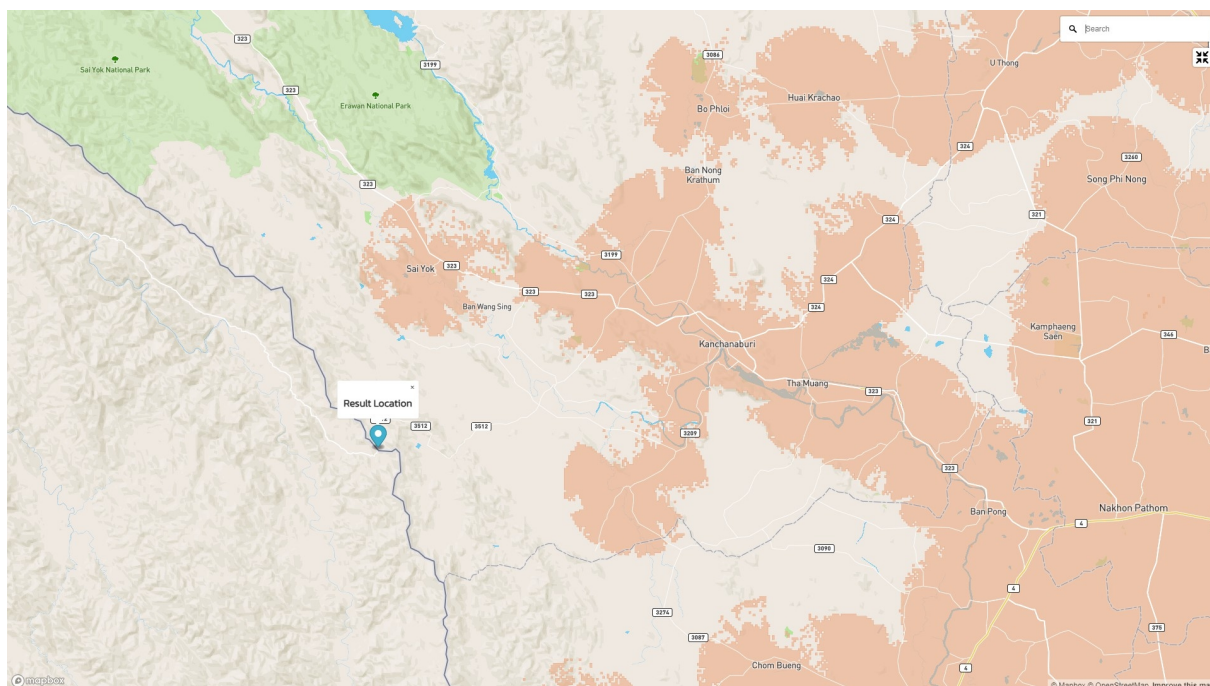
ลำดับ	ด่านพรมแดน	Latitude	Longitude	ประเทศ	เครือข่าย LORA
1	ด่านพรมแดนแม่สอด	16.6920374	98.5193084	เมียนมา	รองรับ
2	ด่านพรมแดนแม่สาย	20.4436906	99.8808034	เมียนมา	รองรับ
3	ด่านพรมแดนแม่สายแห่งที่ 2	20.4464536	99.9045489	เมียนมา	รองรับ
4	ด่านบ้านพุน้ำร้อน	13.8947686	99.0820469	เมียนมา	ไม่รองรับ
5	ด่านพรมแดนคลองใหญ่	11.6513551	102.9092843	กัมพูชา	รองรับ
6	ด่านพรมแดนบ้านฝักกาด	12.9264768	102.4934477	กัมพูชา	ไม่รองรับ
7	ด่านพรมแดนคลองลึก	13.6625088	102.5481476	กัมพูชา	รองรับ



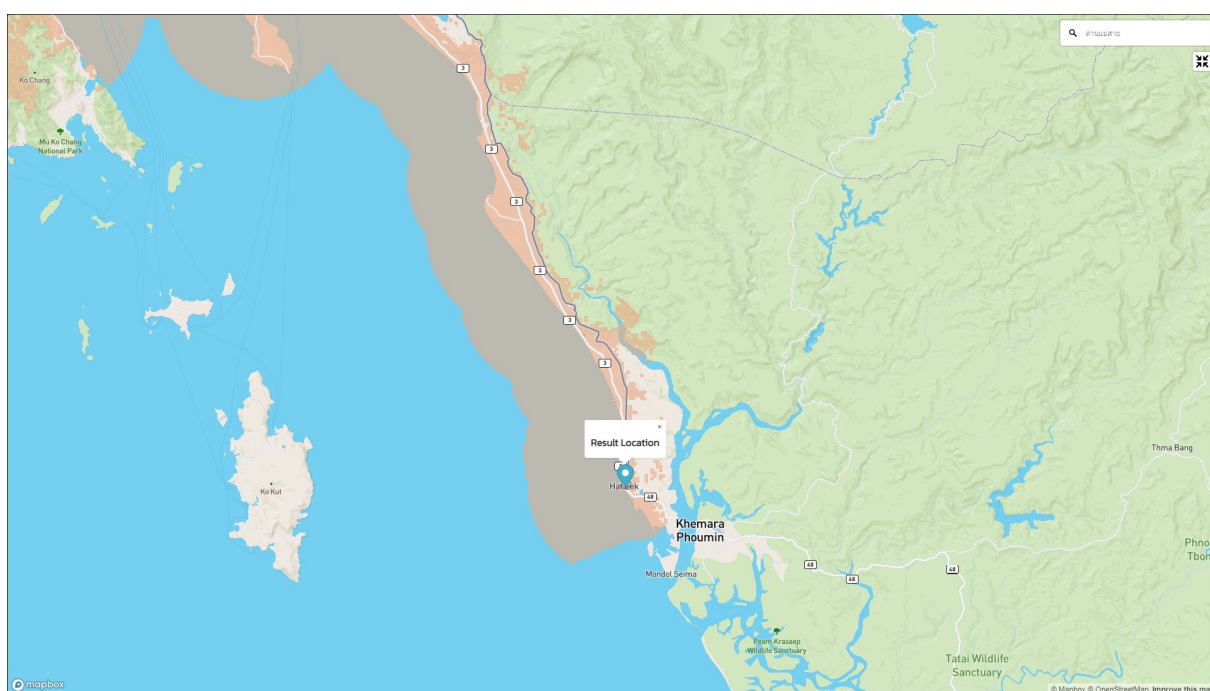
รูปที่ 4.15 พื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่ายลอรา ด้านพรมแดนแม่สอด
ที่มา : <https://loraiot.catttelecom.com/>



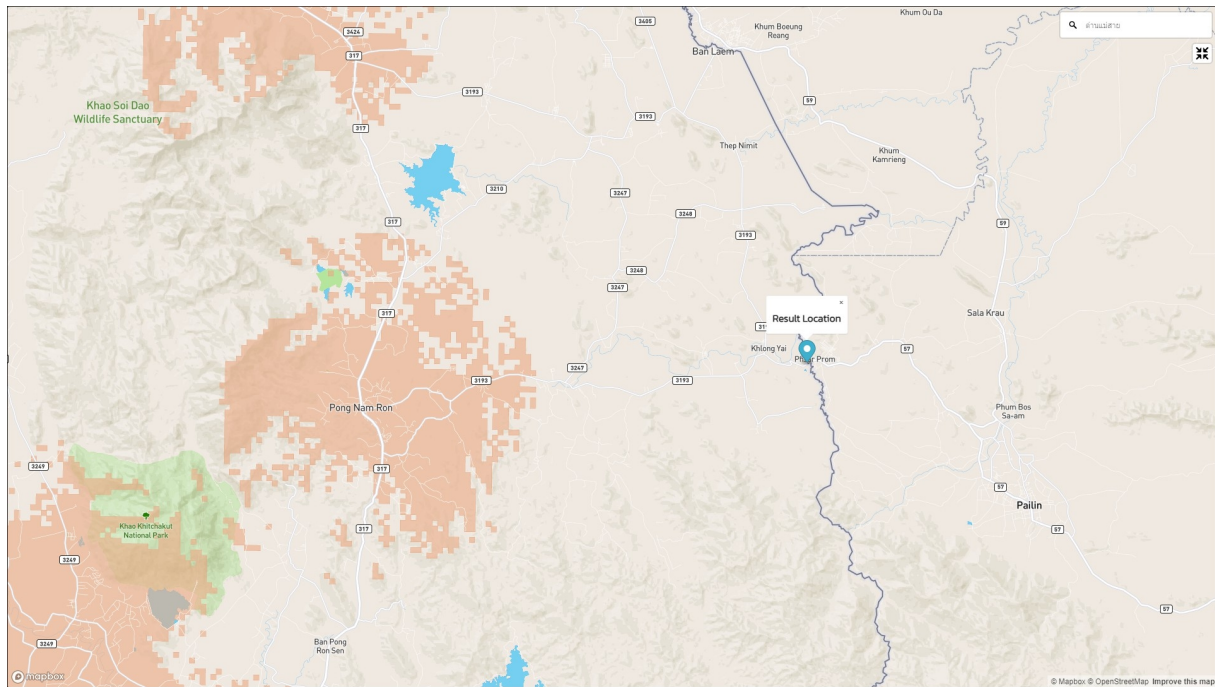
รูปที่ 4.16 พื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่ายลอรา ด้านพรมแดนแม่สาย
ที่มา : <https://loraiot.catttelecom.com/>



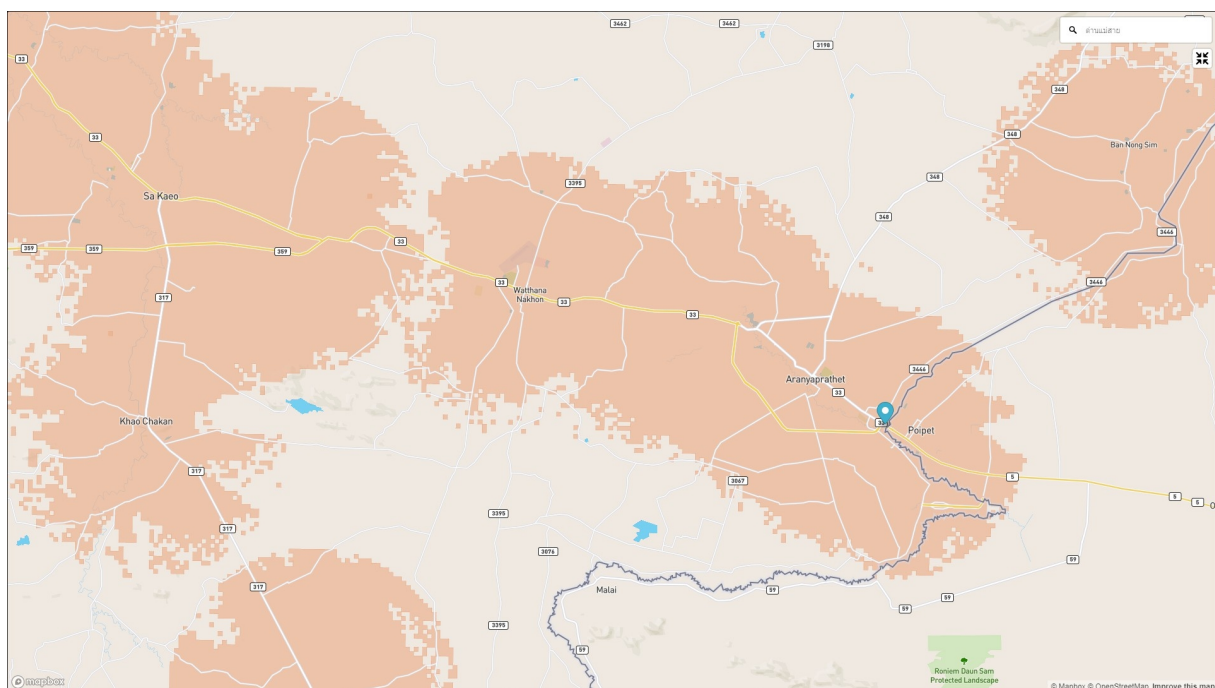
รูปที่ 4.17 พื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่ายลอรา ด้านพรมแดนบ้านพุน้ำร้อน
ที่มา : <https://loraiot.catttelecom.com/>



รูปที่ 4.18 พื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่ายลอรา ด้านพรมแดนคลองใหญ่
ที่มา : <https://loraiot.catttelecom.com/>



รูปที่ 4.19 พื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่ายลอรา ด้านพรมแดนบ้านฝักกาด
ที่มา : <https://loraiot.catttelecom.com/>



รูปที่ 4.20 พื้นที่รองรับการใช้งานเครือข่ายลอรา ด้านพรมแดนคลองลึก
ที่มา : <https://loraiot.catttelecom.com/>

4) ระบบ RFID

ระบบ RFID เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่กำลังมีบทบาทและความสำคัญเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การประยุกต์เทคโนโลยี RFID มีรูปแบบหลากหลายด้วยจุดประสงค์ที่ต่างกันแต่อยู่บนหลักการพื้นฐานเดียวกัน นั่นคือการใช้คลื่นความถี่วิทยุเพื่อการระบุอัตลักษณ์ของวัตถุหรือเจ้าของวัตถุที่ติดป้าย RFID แทนการระบุด้วยวิธีการอื่น ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกและเพิ่มประสิทธิภาพได้ดีกว่า

RFID ย่อมาจาก Radio Frequency Identification เป็นระบบระบุลักษณะของวัตถุด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อนำไปใช้งานแทนระบบบาร์โค้ด (Barcode) โดยจุดเด่นของ RFID อยู่กับการอ่านข้อมูลจากแท็ก (Tag) ได้หลายๆ แท็กแบบไร้สัมผัสและสามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้นแรงสั่นสะเทือน การกระแทกกระแทก สามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็กในปัจจุบันได้มีการนำ RFID ไปประยุกต์ใช้งานในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากนำมาใช้แทนระบบบาร์โค้ดแบบเดิม เช่น ใช้ในบัตรชนิดต่างๆ เช่น บัตรสำหรับใช้ผ่านเข้าออกสถานที่ต่างๆ บัตรที่จอดรถ ตามศูนย์การค้าต่างๆ ที่เราอาจพบเห็นอยู่ในรูปของแท็กสินค้า มีขนาดเล็กจนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษได้ หรือเป็นแคปซูลขนาดเล็กฝังเอาไว้ในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติต่างๆ เป็นต้น

(1) ส่วนประกอบของระบบ RFID

ในระบบ RFID จะมีองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน

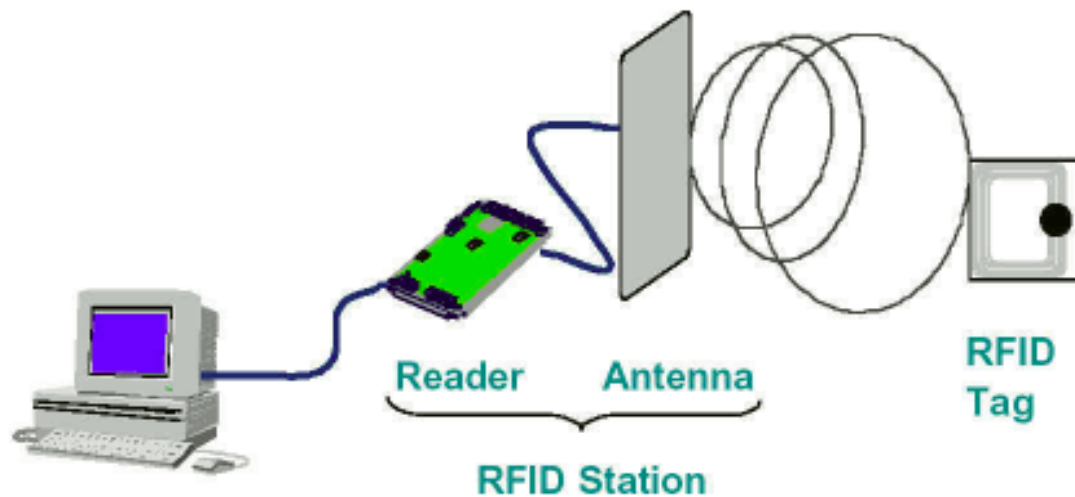
ส่วนแรก คือ ทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก (Transponder/Tag) ที่ใช้ติดกับวัตถุต่างๆ ที่เราต้องการ โดยแท็กจะบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ เอาไว้

ส่วนที่สอง คือ เครื่องสำหรับอ่าน/เขียนข้อมูลภายในแท็ก (Interrogator/Reader) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- แท็กในระบบ RFID คือ ตัวบาร์โค้ดที่ต้องติดตั้งบนตัวรถ
- เครื่องอ่านในระบบ RFID คือ เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Scanner)

โดยระบบ RFID จะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่านแท็ก ซึ่งสามารถอ่านแท็กได้ โดยไม่ต้องเห็นแท็ก หรือแท็กนั้นสามารถซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรงกับคลื่น เพียงอยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านแท็กในระบบ RFID สามารถอ่านได้หลาย ๆ แท็กในเวลาเดียวกัน



รูปที่ 4.21 ภาพรวมของระบบ RFID

1.1 แท็ก (Tag)

โครงสร้างภายในของแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของไมโครชิป (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุ เช่น รหัสสินค้า โดยทั่วไปตัวแท็กอาจอยู่ในชนิดทั้งเป็นกระดาษแผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำไปติด และมีหลายรูปแบบเช่น ขนาดเท่าบัตรเครดิต เหยียบยู่ กระดุม ฉลากสินค้า แคปซูล เป็นต้น ดังรูปรูปที่ 4.22 แต่โดยหลักการ อาจแบ่งแท็กที่มีการใช้งานกันอยู่ 2 ชนิดใหญ่ ๆ โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในแง่ของการใช้งานราคา โครงสร้างและหลักการทำงานอยู่ ซึ่งจะขอกล่าวถึงและอธิบายแยกเป็นหัวข้อดังนี้



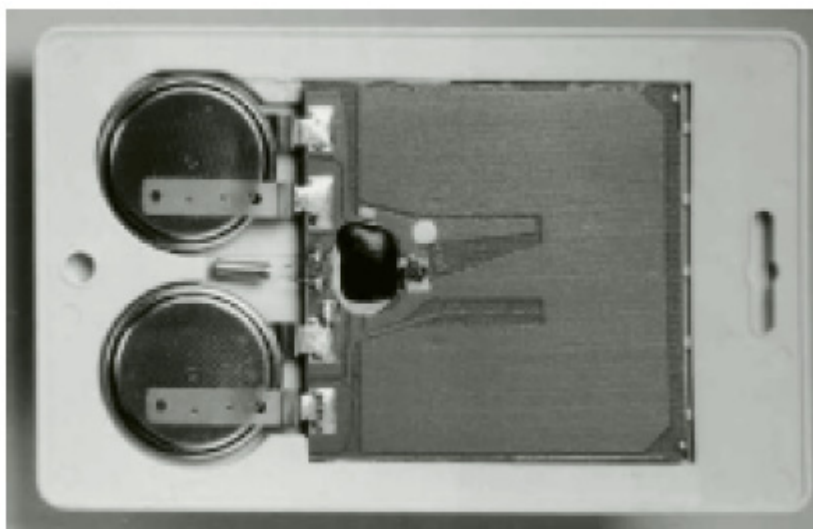
รูปที่ 4.22 RFID แท็กในรูปแบบต่างๆ

1.1.1 Passive RFID Tags

แท็กชนิดนี้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใด ๆ เพราะภายในแท็กจะมีวงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็กเป็นแหล่งจ่ายไฟในตัวอยู่ทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนักระยะอ่านสูงสุดประมาณ 1 เมตร ขึ้นอยู่กับความแรงของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ ปกติแท็กชนิดนี้มักมีหน่วยความจำขนาดเล็ก โดยทั่วไปประมาณ 16 ถึง 1,024 ไบต์ มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ราคาต่อหน่วยต่ำไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมา จะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นแท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน ส่วนโครงสร้างภายในที่เป็นไอซีของแท็กนั้น ก็จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนควบคุมการทำงานของภาครับ-ส่งสัญญาณวิทยุ (Analog Front-End) ส่วนควบคุมภาคลอจิก (Digital Control Unit) ส่วนของหน่วยความจำ (Memory) ซึ่งอาจจะ เป็นแบบ ROM หรือ EEPROM

1.1.2 Active RFID Tags

แท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรภายในทำงาน แท็กชนิดนี้ มีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ และสามารถอ่านได้ในระยะไกลสูงสุด ประมาณ 10 เมตร แม้ว่าแท็กจะมีข้อดีอยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียด้วยเช่นกัน เช่น มีราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด รูปที่ 4.23 นอกจากการแบ่งจากชนิดที่ว่ามาแล้วแท็กก็ยังถูกแบ่งประเภทจากรูปแบบในการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read-Write), แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-Once Read-Many หรือ WORM) และแบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only) ด้วย อย่างไรก็ตามแท็กชนิดพาสซีฟ จะนิยมใช้มากกว่า ดังนั้นจึงจะขอกกล่าวถึงเฉพาะแท็กชนิดนี้เป็นหลัก



รูปที่ 4.23 รูปตัวอย่าง Active Tag ที่มีแบตเตอรี่ Lithium 2 ก้อนอยู่ภายนอก

1.2 เครื่องอ่าน (Reader)

โดยหน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือ การเชื่อมต่อเพื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลลงในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย เสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับส่งสัญญาณภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุและวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูล จำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ
- วงจรจูนสัญญาณ
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์

หน่วยประมวลผลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรมจะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับและทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ลักษณะขนาดและรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็กหรือติดผนัง จนถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 รูปตัวอย่างเครื่องอ่านแบบต่างๆ

(2) คลื่นความถี่ RFID

1. Low Frequency (LF) ความถี่นี้จะอยู่ในช่วง 30 Khz ถึง 300 Khz. ในเทคโนโลยี RFID จะใช้คลื่น 125 KHz ถึง 134 KHz ซึ่งคลื่นความถี่ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในบัตรที่เรียกว่า Proximity Card ความสามารถในการส่งข้อมูลในคลื่นนี้ค่อนข้างช้า แต่สามารถใช้งานได้ดีในวัสดุที่เป็นของเหลว หรือโลหะ

2. High Frequency (HF) ความถี่นี้จะอยู่ในช่วง 3 MHz ถึง 30 MHz ความถี่ 13.56 Mhz ซึ่งคลื่นความถี่ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในบัตรที่เรียกว่า Mifare Card จะเป็นความถี่ที่มีการใช้งานมากที่สุดในเทคโนโลยี RFID เหมือนเช่นกับความถี่ LF ความถี่นี้ จะใช้กับ Passive tag เป็นส่วนมาก ความถี่นี้ใช้งานได้ปานกลางในวัสดุที่เป็นโลหะและของเหลว และมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในโรงพยาบาล เพราะความถี่นี้ไม่รบกวนอุปกรณ์ที่โรงพยาบาลใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

3. Ultra High Frequency (UHF) ความถี่นี้จะอยู่ในช่วง 300 MHz ถึง 1 GHz. ซึ่งนิยมใช้ความถี่ 915 MHz ในสหรัฐอเมริกา และนิยมใช้ความถี่ 868 MHz ในยุโรป ส่วนประเทศไทยความถี่ที่อนุญาตให้ใช้คือ 920-925 Mhz ซึ่งความถี่ในช่วงนี้สามารถจะส่งข้อมูลได้ค่อนข้างเร็ว แต่จะใช้งานไม่ดีในวัสดุที่เป็นโลหะ และของเหลว (ยกเว้น Active RFID) อย่างไรก็ตาม ความถี่นี้ได้มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีหลายหน่วยงานนำคลื่นความถี่มาใช้ หรือบังคับให้นำความถี่นี้มาใช้งาน เช่น กระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา

(3) การจำลองการส่งสัญญาณของ RFID Tag กับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ

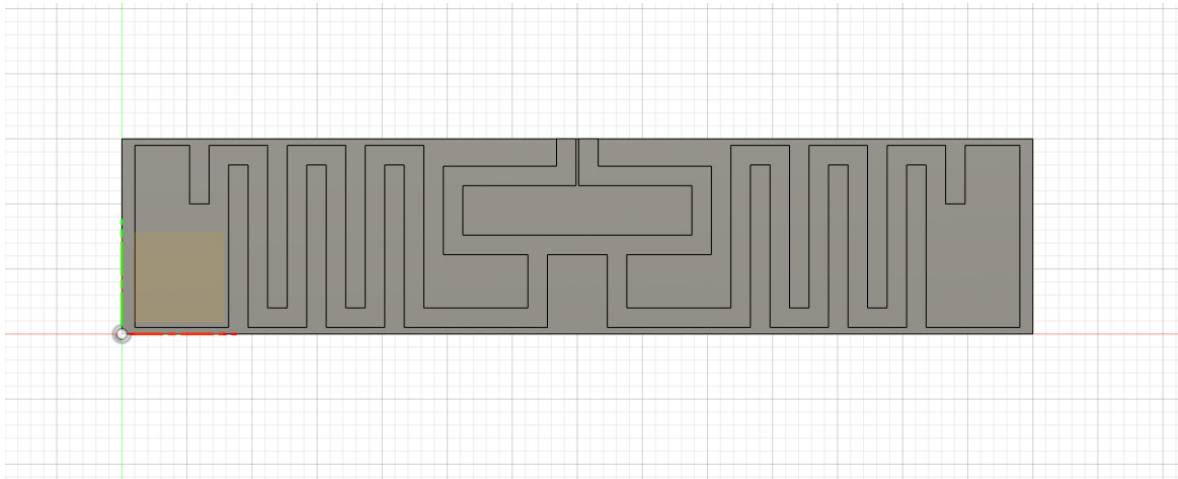
การติดตั้ง RFID Tag เพื่อระบุข้อมูลของรถยนต์นั้น สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การติดบนแผ่นป้ายทะเบียน การออกแบบป้ายภาษี (ป้ายวงกลม) ให้เป็น RFID Tag แม้กระทั่งทำป้ายทะเบียนทั้งชิ้นให้เป็น RFID Smart License Plate โดยการใส่วงจร RFID Tag และเสาอากาศลงไปในแผ่นป้ายเลยก็ได้เช่นกัน แต่การนำ RFID Tag เข้าไปติดตั้งบนแผ่นป้ายทะเบียนซึ่งเป็นโลหะนั้นจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูล จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการจำลอง (Simulation) การส่งสัญญาณเสียก่อน

3.1 การจำลองผล RFID Tag เมื่ออยู่ในสุญญากาศ

ที่ปรึกษาจะดำเนินการจำลองการส่งสัญญาณของ RFID Tag เมื่ออยู่ในสุญญากาศ เพื่อนำมาเป็นผลอ้างอิงเปรียบเทียบการส่งสัญญาณของ RFID Tag ในกรณีอื่น เช่น การนำ RFID Tag ไปติดตั้งตำแหน่งต่างๆ บนป้ายทะเบียน หรือแม้กระทั่งนำไปเทียบกับ RFID Smart License Plate เป็นต้น โดย RFID Tag ที่จะใช้ในการจำลองการส่งสัญญาณจะเป็นประเภท Passive ดังแสดงในรูปที่ 4.25

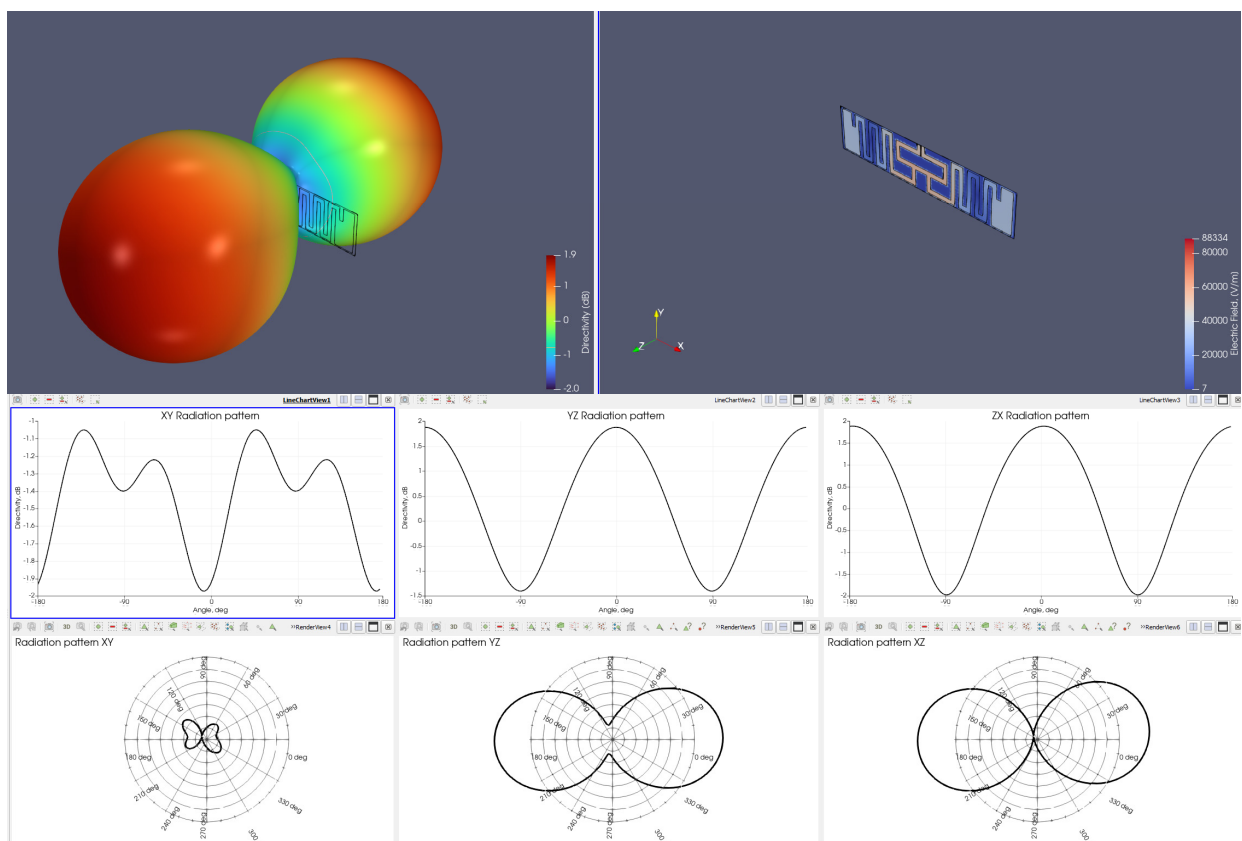
คุณสมบัติ RFID Tag ที่ใช้ในการจำลองการส่งสัญญาณ มีรายละเอียดดังนี้

- เสาอากาศชนิด Dipole ขนาด 68x14 mm
- ตัวนำลูมิเนียมความหนาอยู่ที่ 10 μ m
- Substrate ชนิด PET หนา 50 μ m



รูปที่ 4.25 รูปจำลอง RFID Tag แบบ Passive

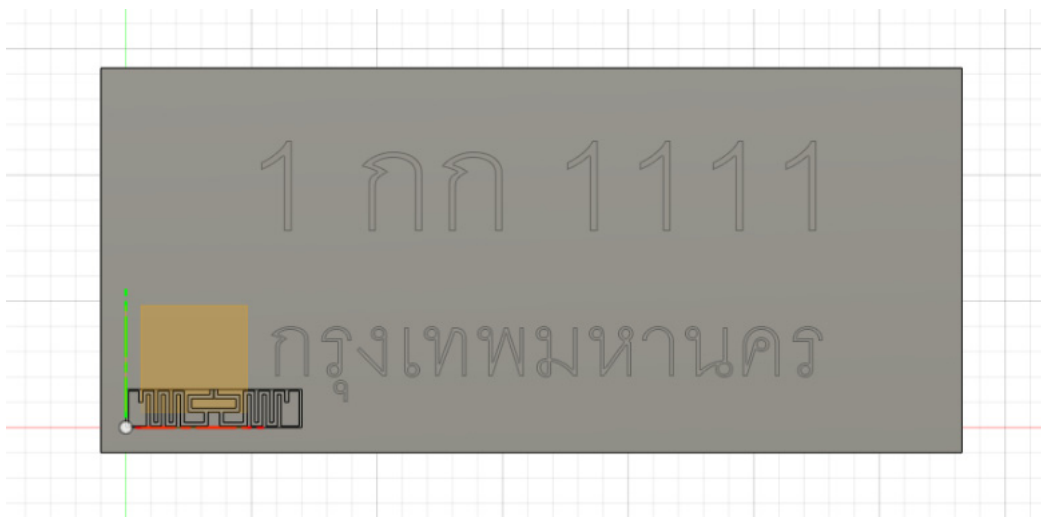
จากผลการจำลองจะพบว่าสัญญาณถูกส่งออกมาในแนวแกน Z ทั้งสองด้าน หมายความว่า RFID Tag ขึ้นนี้สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ดี โดยการหันระนาบ XY ออกไปด้านนอก สามารถใช้งานได้ทั้งด้านหน้า และด้านหลังตาม Radiation Pattern ที่ได้จากการผลการจำลองดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ผลจำลองการส่งสัญญาณของ RFID Tag เมื่ออยู่ในสุญญากาศ

3.2 การจำลองผล RFID Tag เมื่อแปะติดอยู่กับแผ่นป้ายทะเบียน

จากการจำลองการส่งสัญญาณ RFID Tag ในสุญญากาศ ที่ปรึกษาได้ทำการเพิ่มแผ่นป้ายทะเบียนขนาดกว้าง 6 นิ้ว ยาว 13.5 นิ้ว หนา 0.6 มิลลิเมตร วัสดุทำจากอลูมิเนียมเข้าไปในแบบจำลอง โดยใช้ RFID Tag ชนิดเดิมแปะบนแผ่นป้ายทะเบียนตำแหน่ง 25,15 มิลลิเมตร จากมุมซ้ายล่างของป้ายทะเบียน และลอยอยู่เหนือป้ายทะเบียน 1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.27

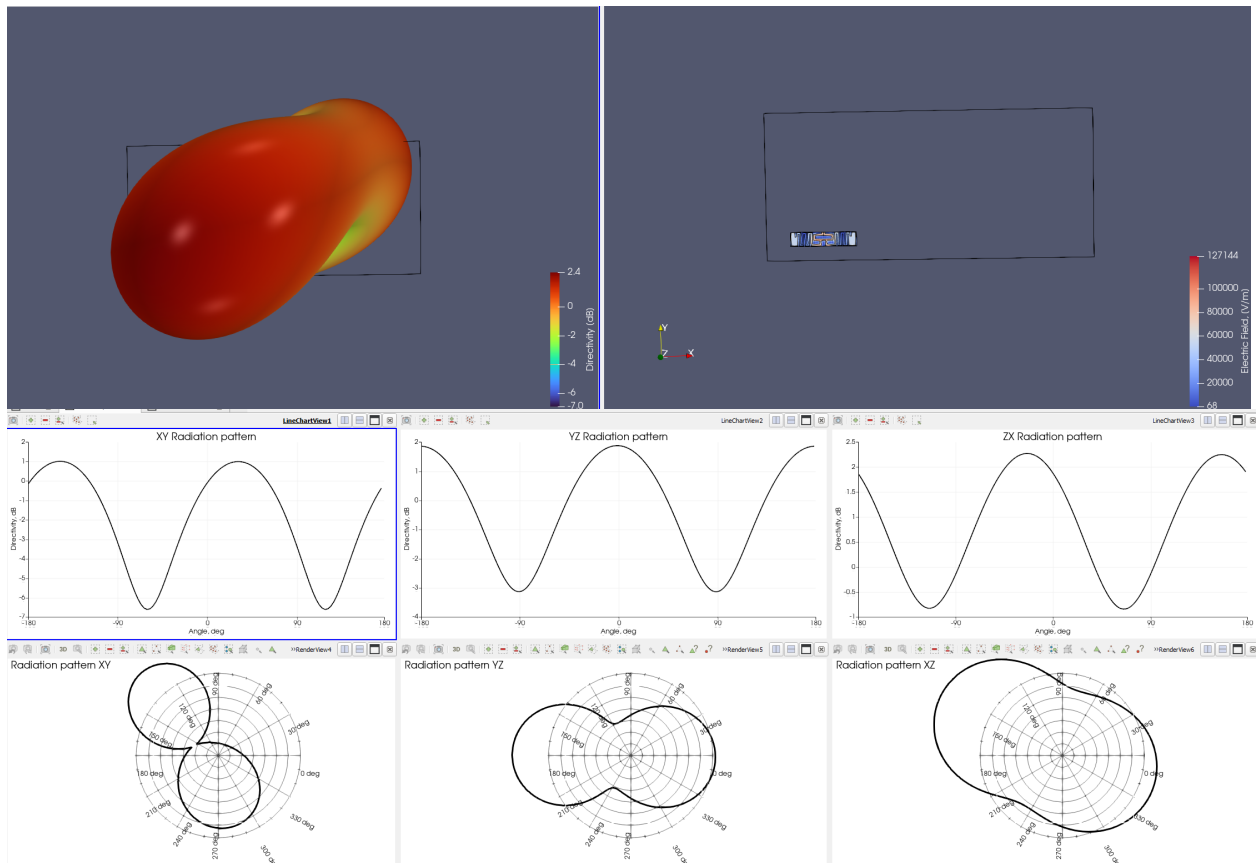


รูปที่ 4.27 รูปจำลอง RFID Tag แบบ Passive ติดตั้งบนแผ่นป้ายทะเบียน

จากผลการจำลองที่ได้จะพบว่า Radiation Pattern ที่ถูกปล่อยออกมานั้นเกิดการลดทอนสัญญาณด้านหลังของแผ่นป้ายทะเบียน ส่วนด้านหน้าของแผ่นป้ายทะเบียนยังคงมีความหนาแน่นของสัญญาณที่ดีอยู่ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการนำ RFID Tag ติดที่แผ่นป้ายทะเบียนรถสามารถใช้งานได้ โดย RFID Reader จะสามารถอ่านค่าสัญญาณจาก RFID Tag ได้ตามปกติ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสัญญาณด้านหน้าของแผ่นป้ายทะเบียนรถเกิดการบิดเบี้ยวดังรูปที่ 4.28 จึงมีความจำเป็นต้องปรับองศาทิศทางระหว่าง RFID Reader และ RFID Tag ให้เหมาะสมและสอดคล้องกับทิศทางสัญญาณด้านหน้าของแผ่นป้ายทะเบียนรถเพื่อให้เกิดการรับส่งสัญญาณด้วยความแรงสูงสุด

ในการป้องกันการปลอมแปลงไม่ให้เกิดการลอกเลียนแบบ RFID Tag ของกรมการขนส่งทางบก เนื่องจากเทคโนโลยี RFID ที่ใช้งานในปัจจุบันจะเป็นเทคโนโลยีแบบ EPC Gen 2 (Electronics Product Code Generation 2) ซึ่งเพิ่มความสามารถของการ Anti-counterfeiting (ป้องกันการปลอมแปลง) ที่จะใช้การยืนยันการเข้ารหัสด้วยกุญแจแบบ 128 bit โดยผู้ที่ต้องการจะปลอมแปลงกุญแจนี้จะต้องทดลองสุ่มกุญแจจำนวน 3.4×10^{38} หรือ 340 ล้านล้านล้านล้านล้านครั้ง ทั้งนี้ทราบได้ที่กรมการขนส่งทางบกทำการเก็บกุญแจนี้เอาไว้เป็นความลับ ก็เป็นไปได้ยากที่ผู้อื่นจะสามารถเปิดเข้าไปดูเพื่อลอกเลียนแบบข้อมูล RFID Tag ของกรมการขนส่งทางบก นอกจากนั้นการเข้ารหัสข้อมูล (Data Encryption) โดยการใช้เทคโนโลยี AES-128 หรือ Grain-128A จะช่วยให้ข้อมูลที่ถูกลบทิ้งลงใน RFID Tag นั้นเป็นข้อมูลที่ไม่สามารถอ่านรู้เรื่อง ซึ่งผู้ปลอมแปลงจะไม่สามารถรู้ได้เลยว่าจะต้องเขียนข้อมูลอะไรลงไปใน RFID Tag เพื่อลอกเลียนแบบ

ในการป้องกันการสับเปลี่ยน RFID Tag แบบ Passive ไปติดรถคันอื่นสามารถทำได้โดยการ ใช้กาที่มีความเหนียวกับ RFID Tag แบบ Passive ดังนั้นเมื่อ RFID Tag ถูกแกะออกจากพื้นผิวที่ยึดติดจะทำให้เสาอากาศของ RFID Tag เกิดการเสียหายและไม่สามารถใช้งานต่อไปได้ หากแต่วิธีนี้ยังมีข้อโหว่คือผู้ไม่ประสงค์ดียังคงสามารถถอด Chip RFID ไปใส่ยังเสาอากาศอื่นๆ และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ อย่างไรก็ตามการถอด Chip RFID ไปใส่ยังเสาอากาศอื่นๆ จำเป็นต้องใช้ความเชี่ยวชาญและใช้เครื่องมือพิเศษที่มีความแม่นยำสูง ทั้งนี้อาจป้องกันโดนการออกแบบ RFID Tag ให้ทั้งเสาอากาศและ Chip RFID ได้รับความเสียหายทันที เมื่อมีการลอกสติ๊กเกอร์ RFID Tag ออกจากผิวที่ยึดติด



รูปที่ 4.28 ผลจำลองการส่งสัญญาณของ RFID Tag เมื่อติดตั้งบนแผ่นป้ายทะเบียน

4.2 การติดตามรถยนต์ในต่างประเทศ

4.2.1 ระบบ Telematics Insurance (Black Box Car Insurance) ติดตั้งบนรถส่วนบุคคลในอังกฤษ

ระบบ Telematics Insurance เป็นการติดตามการเดินทางและพฤติกรรมการขับขี่ของรถส่วนบุคคลในประเทศอังกฤษ โดยระบบฯ จะจัดเก็บข้อมูลโดยอัตโนมัติ เช่น ระยะทางการขับขี่ ระยะเวลากการขับขี่ ข้อมูลการเบรก ข้อมูลการเข้าโค้ง (Cornering) ข้อมูลการควบคุมพวงมาลัย (Steering) ข้อมูลการเร่งเครื่อง และลดความเร็ว เป็นต้น โดยบริษัทประกันภัยจะวิเคราะห์ข้อมูลและให้คะแนนการขับขี่เพื่อใช้เป็นส่วนลดเบี้ยประกันภัยของแต่ละบุคคล ผู้ที่ขับรถปลอดภัยจะได้รับส่วนลดมาก ถ้าระยะทางการขับขีน้อยจะจ่ายเบี้ยประกันน้อย ส่วนผู้ที่ขับรถเสี่ยงอันตรายจะต้องจ่ายค่าเบี้ยประกันสูงขึ้น (Penalty) ปัจจุบันในประเทศอังกฤษมีรถมากกว่า 450,000 คันที่ติดตั้งระบบ Telematics Insurance เพื่อหวังส่วนลดค่าเบี้ยประกันภัย โดยกลุ่มคนส่วนใหญ่ที่ติดตั้งระบบ Telematics Insurance เป็นคนหนุ่มสาวซึ่งเป็นกลุ่มที่ต้องจ่ายค่าเบี้ยประกันสูง นอกจากนี้ในประเทศอิตาลีมีคนใช้ระบบ Telematics Insurance มากกว่า 2,000,000 ครัวเรือน ในขณะที่สหรัฐอเมริกาที่มีแนวโน้มจำนวนผู้ใช้ Telematics Insurance เพิ่มขึ้นโดยปัจจุบันมีมากกว่า 1,000,000 ครัวเรือน (Telematics trends in the UK, 2021)

ระบบ Telematics Insurance ใช้เทคโนโลยีการเชื่อมโยงข้อมูลจาก ECU (ผ่าน CAN Bus Protocol) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) Electronic Control Unit (ECU) มีหน้าที่ติดตามสถานะและควบคุมการทำงานของ Sensor ทั้งหมดภายในรถ โดยสามารถเชื่อมต่อข้อมูลจาก ECU ผ่านพอร์ท OBDII (CAN Bus Protocol) เพื่อรวบรวมวิเคราะห์การทำงานของรถยนต์และพฤติกรรมการขับขี่โดยอัตโนมัติ
- 2) ระบบ Telematics Insurance สามารถเชื่อมโยงจาก ECU เช่น ความเร็วรถ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ ความเร็วล้อ แรงกดเบรก (Break Pressure) อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง อุณหภูมิหม้อน้ำ มุมของพวงมาลัย (Steering Angle) แรงดันเครื่องยนต์ แรงดันลมยาง ระบบเกียร์ ระบบห้ามล้อ (ABS) ระบบถุงลมนิรภัย แบตเตอรี่ ค่าไอเสีย (Emission) รวมถึงการแจ้งเตือนอาการผิดปกติของรถยนต์ เป็นต้น
- 3) ข้อมูลจากระบบ Telematics Insurance เป็นข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือสูงเพราะเป็นการตรวจวัดของระบบคอมพิวเตอร์ภายในตัวรถ นอกจากนี้การดึงข้อมูลจาก ECU ยังสามารถดึงข้อมูลหมายเลขตัวถังรถยนต์ (VIN) โดยอัตโนมัติเพื่อแก้ไขปัญหาการสวมทะเบียนรถ
- 4) อาจติดตั้ง GPS Module เพิ่มเติมภายในอุปกรณ์ Telematics Insurance เพื่อติดตามตำแหน่งการเดินทางของรถ
- 5) อาจติดตั้ง 4G/5G Module เพิ่มเติมภายในอุปกรณ์ Telematics Insurance เพื่อจัดส่งข้อมูลแบบ Real Time
 - ในกรณีที่มีความกังวลเรื่องของความเป็นส่วนตัวของเจ้าของรถส่วนบุคคลและในกรณีที่ไม่ต้องการสร้างภาระให้กับประชาชนในการจ่ายค่าสัญญาณ 4G/5G
 - สามารถออกแบบเชื่อมต่อผ่าน Bluetooth หรือ Wifi เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลเข้าโทรศัพท์มือถือของเจ้าของรถ
 - จะแสดงข้อมูลก็ต่อเมื่อเจ้าหน้าที่เรียกตรวจเมื่อกระทำผิดกฎจราจร หรือเมื่อนำรถเข้าตรวจสอบสภาพรถปีละ 1 ครั้งเท่านั้นเพื่อตรวจสอบการกระทำผิด

- 6) ข้อมูลจากระบบ Telematics Insurance สามารถใช้เป็นหลักฐานเชิงประจักษ์เมื่อเกิดอุบัติเหตุ เพราะเปรียบเสมือนกล่องดำ (Black Box) ที่ติดบนเครื่องบิน
- 7) ข้อมูลจากระบบ Telematics Insurance สามารถแจ้งเตือนการทำงานผิดปกติของรถยนต์และวิเคราะห์สาเหตุของความผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับผู้ใช้งานโดยตรงและเพื่อยกระดับความปลอดภัยของผู้ใช้รถ
- 8) ข้อมูลจากระบบ Telematics Insurance สามารถแจ้งเตือนระบบการเผาไหม้ที่ผิดปกติหรือมีระบบกรองไอเสียที่ผิดปกติซึ่งทำให้มีปริมาณไอเสียเกินมาตรฐาน ทั้งนี้สามารถช่วยแก้ปัญหาการปล่อยมลพิษจากการใช้รถในสหภาพยุโรป (EU) สำหรับรถยนต์มาตรฐาน Euro 6 ดีกว่า อนุญาตให้ตรวจสอบค่าความทึบแสงของไอเสียโดยการอ่านข้อมูลจากกล่อง ECU
- 9) ข้อมูลจากระบบ Telematics Insurance จะเป็น Feedback ที่ดีให้กับผู้ขับขี่ เปรียบเสมือนครูสอนขับรถเพื่อแนะนำให้ทราบว่าผู้ขับขี่มีจุดบกพร่องในเรื่องอะไรที่ต้องปรับปรุง
- 10) ข้อมูลจากระบบ Telematics Insurance จะเป็นฐานข้อมูล Big Data ในการวิเคราะห์เชิงลึกเกี่ยวกับประสิทธิภาพและพฤติกรรมการใช้รถและพฤติกรรมในการขับขี่
- 11) สามารถใช้ข้อมูลจากระบบ Telematics Insurance ร่วมกับพิกัด GPS และฐานข้อมูล GIS โครงข่ายถนนเพื่อตรวจสอบการฝ่าฝืน Speed Limit ของรถ
- 12) ในประเทศเยอรมนีใช้ระบบ Telematics (เชื่อมต่อข้อมูลกล่อง ECU ผ่าน CAN bus protocol) ติดตั้งบนรถบรรทุก รถโดยสาร และเครื่องจักรก่อสร้าง เพื่อติดตามวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการทำงานของรถและเครื่องจักรก่อสร้าง (Easy Truck Fleet Telematics, 2021)
 - ช่วยประหยัดการใช้เชื้อเพลิง
 - เพิ่มความปลอดภัยในการขับขี่
 - ลดค่าบำรุงรักษารถและโอกาสที่รถจะเสียระหว่างทาง
 - ช่วยควบคุมระยะเวลาและพฤติกรรมในการขับขี่ ลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุ
 - มีฐานข้อมูล Big Data เพื่อใช้ในการวิเคราะห์เชิงลึกเกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้รถ
- 13) ระบบ Telematics Insurance ของบริษัทประกันภัยบางแห่งอาจไม่ใช่วิธีการเชื่อมโยงข้อมูลจาก ECU แต่อาจใช้วิธีการดังต่อไปนี้
 - บริษัทประกันภัยบางแห่งพัฒนากล่อง (Black Box) บรรจุ GPS Module ร่วมกับ Motion Sensors เช่น Accelerometer และ Gyroscope ในการติดตามตรวจวัดพฤติกรรมในการขับขี่ โดยติดตั้ง 4G/5G Module เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลแบบออนไลน์ Real Time
 - บริษัทประกันภัยบางแห่งพัฒนา Mobile Application โดยใช้ GPS และ Motion Sensors บนโทรศัพท์มือถือเพื่อใช้เป็นระบบ Telematics Insurance
 - อย่างไรก็ตามข้อมูลผลการตรวจวัดด้วยวิธีการนี้จะไม่ละเอียดถูกต้องเท่ากับข้อมูลจากกล่อง ECU



รูปที่ 4.29 ระบบ Telematics Insurance โดยการเชื่อมโยงข้อมูลจากกล่อง ECU ผ่านพอร์ท OBDII



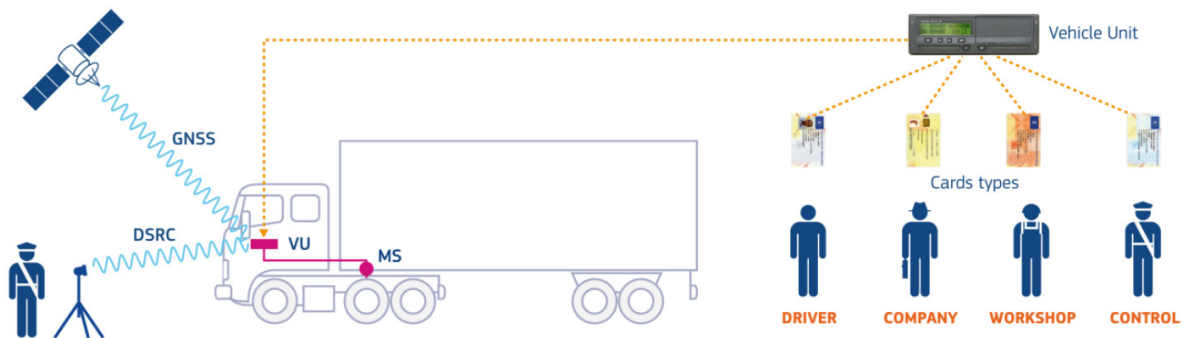
รูปที่ 4.30 ระบบ Telematics Insurance แบบ GPS Black Box

4.2.2 ระบบ Smart Tachograph สำหรับติดตามพนักงานขับรถ (Professional Driver) ในสหภาพยุโรป (EU)

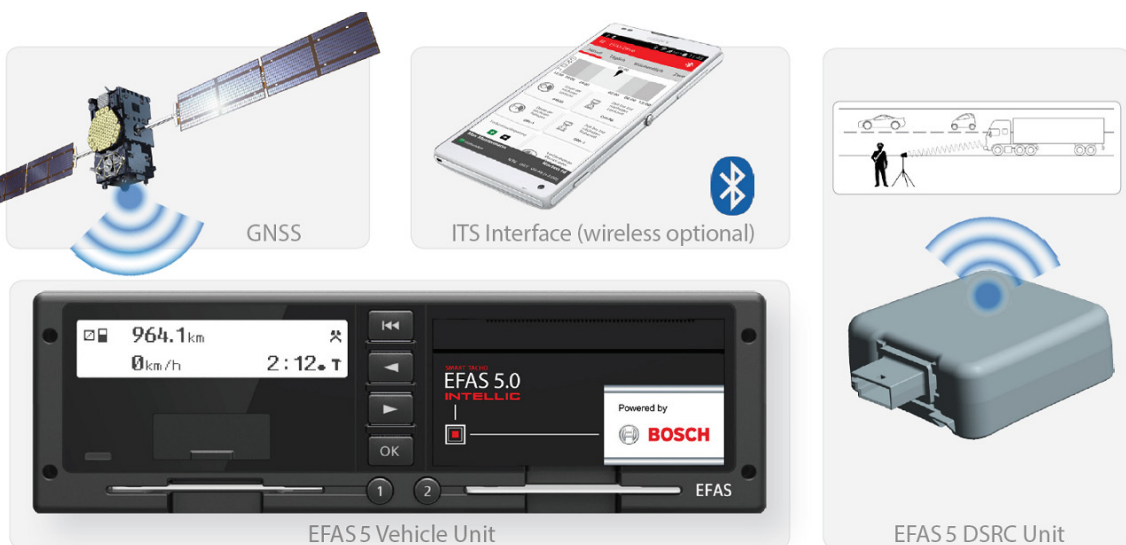
ระบบ Smart Tachograph เป็นระบบบันทึกข้อมูลการเดินทางอัตโนมัติตามกฎหมายสหภาพยุโรป (EU) โดยรถเชิงพาณิชย์ทุกคันที่จดทะเบียนตั้งแต่วันที่ 15 มิถุนายน 2019 และมีพิกัดบรรทุกเกิน 3.5 ตัน จะต้องติดตั้งกล่อง Smart Tachograph Vehicle Unit เพื่อใช้ในการติดตามตรวจสอบการทำงานของพนักงานขับรถ (Driver Activities) และระยะเวลาขับรถ (Resting Time) ให้เป็นไปตามกฎหมาย โดยเครื่อง Smart Tachograph Vehicle Unit ประกอบด้วย GNSS (GPS), DSRC Module (Dedicated Short Range Communication), Motion Sensor (เช่น Accelerometer) เครื่องอ่านบัตร (Tachograph Card Reader) และรองรับการเชื่อมต่อข้อมูลผ่าน CAN bus

ระบบ Smart Tachograph ไม่ใช้วิธีการจัดส่งข้อมูลแบบออนไลน์ แต่ใช้วิธีการเขียนข้อมูลลงบน Tachograph Card โดยแบ่งบัตรออกเป็น 4 ระดับคือ Driver, Control Officer, Workshop และ Company ซึ่งบัตรแต่ละระดับจะมีสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลที่ไม่เท่ากัน เช่น เมื่อเจ้าหน้าที่ที่ต้องการตรวจสอบการเดินทางของรถคันใด เจ้าหน้าที่จะใส่บัตรเข้าไปในเครื่อง Smart Tachograph Vehicle Unit ซึ่งติดตั้งอยู่บนรถ โดยระบบจะทำการตรวจสอบสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลและเขียนข้อมูลประวัติการเดินทางของรถคันนั้นลงในบัตรของเจ้าหน้าที่ นอกจากนี้เครื่อง Smart Tachograph Vehicle Unit ยังรองรับการส่งข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless Data Transmission) ให้กับเจ้าหน้าที่ หลักการทำงานนี้ช่วยให้เจ้าของรถไม่ต้องมีภาระค่าสัญญาณ 4G/5G Data ประกอบกับรถแต่ละคันอาจต้องเดินทางข้ามพรมแดนไปหลายประเทศในสหภาพยุโรป (EU) ทำให้อาจไม่สะดวกถ้าต้องส่งข้อมูลแบบออนไลน์

เครื่อง Smart Tachograph Vehicle Unit ติดตั้งอุปกรณ์ DSRC Module (ซึ่งเป็นอุปกรณ์ RFID รูปแบบเดียวกับที่ใช้กับระบบ Easypass) เพื่อเป็นกลไกในการติดตามรถข้ามพรมแดน กล่าวคือ ถ้าแต่ละประเทศมีการติดตั้ง DSRC Reader ไว้ที่พรมแดนประเทศของตนเอง จะทำให้ทราบว่ามีรถเชิงพาณิชย์คันใดบ้างข้ามพรมแดนเข้ามาในประเทศในวันเวลาใดโดยอัตโนมัติ ถ้าประเทศใดต้องการทราบข้อมูลการเดินทางของรถเชิงพาณิชย์ภายในประเทศของตนเองก็สามารถติดตั้ง DSRC Reader ในจุด Check Point ที่สำคัญตามแนวทางหลวงสายหลัก นอกจากนี้ อุปกรณ์ DSRC Module ยังใช้เป็นกลไกในการชำระเงินค่าทางด่วนหรือค่าจอดรถโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 4.31 ภาพรวมระบบ Smart Tachograph



รูปที่ 4.32 ตัวอย่างกล่อง Smart Tachograph Vehicle Unit



รูปที่ 4.33 ตัวอย่างกล่อง Smart Tachograph Vehicle Unit

4.2.3 ระบบติดตามรถยนต์ประเทศมาเลเซีย

ประเทศไทยกับมาเลเซียได้มีข้อตกลงระหว่างกันตั้งแต่ปี 2536 ที่มาเลเซียอนุญาตให้รถยนต์ของไทยเข้ามาในดินแดนของมาเลเซียได้ภายในระยะทางไม่เกิน 2 กิโลเมตรจากพรมแดนไทย-มาเลเซียฝั่งรัฐกลันตัน รัฐเคดาห์รัฐปะลิส โดยรถยนต์ของไทยไม่ต้องขอใบอนุญาตนำรถยนต์จดทะเบียนต่างประเทศเข้ามาใช้ในมาเลเซียชั่วคราว (International Circulation Permit หรือ ICP) อย่างไรก็ตาม นับตั้งแต่ปี 2557 เป็นต้นมา มาเลเซียเพิ่มความเข้มงวด ในการจัดระเบียบรถยนต์ส่วนบุคคลของไทยที่เข้าไปดินแดนมาเลเซียมากขึ้น โดยกำหนดให้รถยนต์ส่วนบุคคลที่จะเดินทางเข้าไปในมาเลเซีย (ทั้งบริเวณระยะ 2 กิโลเมตรจากพรมแดน และพื้นที่ถัดจากนั้นเป็นต้นไป) ต้องขออนุญาต และได้รับ International Circulation Permit



รูปที่ 4.34 International Circulation Permit ที่ออกโดย JPI ของมาเลเซีย

ที่มา: <http://www.aroundtheworldin800days.com/malaysia.html>

นอกจากนี้ ตามกฎระเบียบว่าด้วยรถยนต์ Motor Vehicles (International Circulation) Rules 1967 กำหนดให้ผู้ขับขี่ชาวต่างชาติและรถยนต์ที่จดทะเบียนในประเทศไทยที่ประสงค์จะเดินทางเข้ามาในดินแดนมาเลเซียต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบ โดยต้องติดต่อกับกรมการขนส่งทางถนน (JPJ) เพื่อขอใบอนุญาตนำรถยนต์จดทะเบียนต่างประเทศเข้ามาใช้ในมาเลเซียเป็นการชั่วคราว (International Circulation Permit หรือ ICP)

โดยกรอกแบบฟอร์ม JP JK9 Form รวมถึงได้รับอนุญาตจากเจ้าหน้าที่ศุลกากรที่ประจำการอยู่ ณ ด่านพรมแดน โดย ICP มีอายุไม่เกิน 90 วัน และสามารถขยายอายุการอนุญาตได้หากได้รับความเห็นชอบจากอธิบดี JPJ ได้อีก 90 วัน (ในแต่ละปี จะมีวันที่ได้รับอนุญาตรวมไม่เกิน 180 วัน) อย่างไรก็ตามสำหรับรถยนต์ที่จดทะเบียนในประเทศบรูไนกับประเทศสิงคโปร์ ได้รับยกเว้นจากรัฐบาลมาเลเซียให้ไม่ต้องขอใบอนุญาต ICP

กรณีรถยนต์ส่วนบุคคลจากประเทศไทยที่ต้องการเดินทางเข้าไปในมาเลเซีย JPD จะเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

- (1) รถยนต์ต้องจดทะเบียนในประเทศไทย
- (2) ต้องแสดงเลขทะเบียนเป็นตัวอักษรโรมัน
- (3) สำเนาทะเบียนรถต้องได้รับการแปลจากใบทะเบียนรถยนต์ที่แสดงเป็นภาษาไทยมาเป็นภาษาอังกฤษหรือภาษามลายู

- (4) รถยนต์ที่เข้ามาในมาเลเซียจะต้องทำประกันภัยภาคบังคับหรือการประกันภัยบุคคลที่สามกับบริษัทประกันภัยที่จดทะเบียนในมาเลเซีย
- (5) ต้องมีมาตรฐานรถยนต์เป็นไปตามกฎระเบียบการสร้างและใช้รถยนต์ 1959 Constructions and Use Rules
- (6) กระจกหน้ามีความใสไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ขณะที่กระจกด้านข้างและด้านหลังต้องมีความใสไม่น้อยกว่าร้อยละ 50
- (7) ผู้ขับขี่รถยนต์ต้องมีใบอนุญาตขับขี่ที่แสดงเป็นภาษาอังกฤษหรือภาษามลายู
- (8) ผู้ขับขี่ต้องคาดเข็มขัดนิรภัยตลอดเวลาที่ปฏิบัติงานขับขี่รถยนต์อยู่ในมาเลเซีย

กรณีรถบรรทุกเพื่อการพาณิชย์ (Commercial Vehicle) ที่ต้องการเดินทางเข้าไปในมาเลเซีย JPJ กำหนดเงื่อนไขดังต่อไปนี้

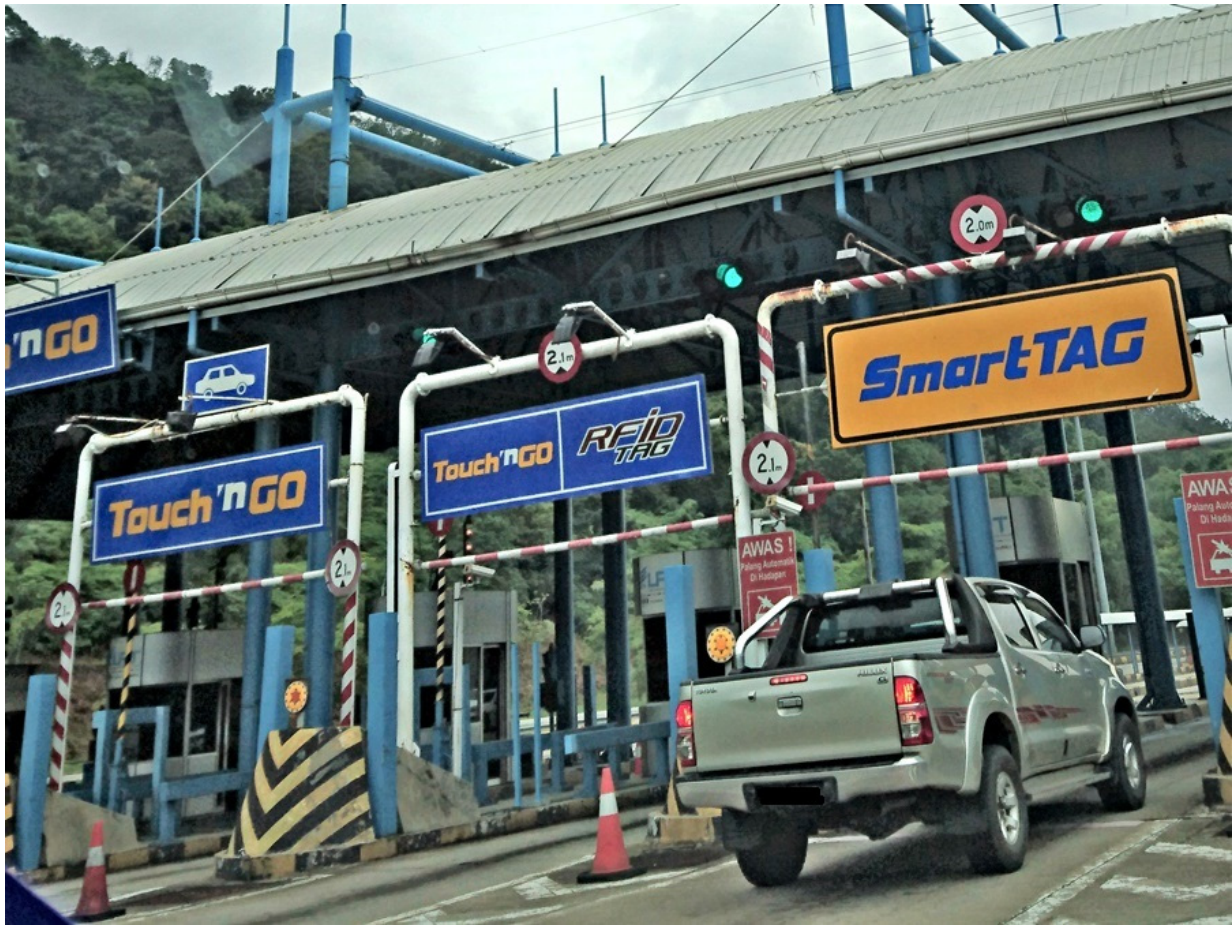
- (1) เจ้าของรถยนต์และคนขับรถบรรทุกเพื่อการพาณิชย์ได้รับยกเว้นไม่ต้องขอใบอนุญาต ICP
- (2) รถยนต์บรรทุกสินค้าหรือรถขนส่งผู้โดยสารสาธารณะต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบที่ออกโดย SPAD กรมการขนส่งทางถนน (JPJ) และกระทรวงวัฒนธรรมและการท่องเที่ยว
- (3) ผู้ขับขี่รถยนต์หรือรถบรรทุกต้องมีใบอนุญาตขับขี่รถบรรทุกสินค้า (Goods Driving Licenses – GDL) ที่ออกให้โดย JPJ หรือเป็นใบขับขี่รถบรรทุกได้รับความเห็นชอบจากรัฐบาลมาเลเซียเท่านั้น

โดย JPJ กำหนดให้ผู้ขับขี่รถบรรทุกสินค้าต้องขอใบอนุญาตขับขี่เฉพาะรถบรรทุก (Goods Driving License หรือ GDL) โดยผู้ขับขี่รถบรรทุกจะต้องขอใบอนุญาตขับรถบรรทุกกับสำนักงาน JPJ และชำระค่าธรรมเนียมในอัตรา 20 ริงกิต (RM) ใบอนุญาตขับรถบรรทุกฯ มีอายุคราวละไม่เกิน 1 ปี และกรณีขอสำเนาใบอนุญาตขับรถบรรทุกฯ จะเสียค่าธรรมเนียมในอัตรา 5 ริงกิต

นอกจากนี้ กฎหมายการขนส่งทางถนนของมาเลเซียกำหนดให้รถยนต์ของต่างประเทศที่อยู่ภายใต้ความตกลงที่รัฐบาลมาเลเซียทำกับต่างประเทศสามารถเข้ามาในดินแดนมาเลเซียได้ โดยรถบรรทุกของต่างชาติต้องได้รับใบอนุญาตจากคณะกรรมการอนุญาตใช้รถยนต์เพื่อการพาณิชย์ (Commercial Vehicle Licensing Board) โดยรถบรรทุกที่ไม่ได้รับใบอนุญาตที่เข้ามาในดินแดนมาเลเซียจะถูกปรับในอัตราไม่เกิน 2,000 ริงกิต โดยภายใต้หนังสือรับรองที่คณะกรรมการ Commercial Vehicle Licensing Board ออกให้จะอนุญาตให้นำรถบรรทุกคันดังกล่าวบรรทุกสินค้าจากต่างประเทศเข้ามา/ออกจากในมาเลเซีย ตลอดจนยอมรับใบอนุญาตขับขี่ของรัฐภาคี

รถยนต์เพื่อการพาณิชย์ที่จดทะเบียนในประเทศอื่น ได้แก่ ไทย บรูไนและสิงคโปร์ ที่นำเข้ามาขับขี่ในดินแดนมาเลเซียเป็นการชั่วคราวต้องทำ Vehicle Entry Permit (VEP) กับกรมการขนส่งทางถนน (JPJ) โดยเจ้าของรถยนต์ต่างประเทศหรือตัวแทนเจ้าของรถยนต์ต่างประเทศที่ประสงค์จะขับขี่เข้ามาในดินแดนคาบสมุทรมลายู (ไม่รวมเกาะบอร์เนียว) ต้องกรอกใบสมัครพร้อมแสดงหลักฐาน ได้แก่

- (1) สำเนาหนังสือเดินทางที่มีอายุเกิน 6 เดือน
- (2) สำเนาทะเบียนรถยนต์ที่ออกโดยรัฐต่างประเทศ (พร้อมใบแปลสำเนาทะเบียนรถยนต์เป็นภาษาอังกฤษจากกรมการขนส่งทางถนน)
- (3) ประกันภัยบุคคลที่สาม
- (4) ข้อมูลกิจการหรือเจ้าของรถยนต์
- (5) ข้อมูลผู้ขับขี่รถยนต์
- (6) การชำระค่าธรรมเนียมการใช้ถนนจำนวน 20 ริงกิต



รูปที่ 4.35 รถยนต์ต่างประเทศที่จะเดินทางเข้ามาเลเซียต้องขอ Vehicle Entry Permit (VEP) กับ JPJ

JPJ จะออกเอกสารอนุญาตการนำยานพาหนะเข้ามาเลเซียเป็นการชั่วคราว (VEP) นอกจากนี้ ในการขนส่งสินค้า ผู้ขับขี่รถยนต์เพื่อการพาณิชย์ของต่างประเทศจะต้องมีใบอนุญาตขับขี่รถบรรทุก (Goods Driving License – GDL) ที่ออกโดยรัฐบาลมาเลเซีย

โดย VEP จะให้แผ่น RFID Tags ขนาด 110 มม. X 55 มม. ให้สำหรับรถแต่ละคัน (ห้ามถ่ายโอนหรือเปลี่ยน RFID ให้ผู้อื่น โดย RFID Tags มีอายุใช้งานไม่เกิน 5 ปี) และเครื่องอ่านข้อมูล ณ ด่านพรมแดนของมาเลเซีย สามารถอ่านข้อมูลได้

ประเทศมาเลเซียนำ GPS และ RFID มาใช้ในการติดตามการขนส่ง โดยนับตั้งแต่ปี 2556 เป็นต้นมา SPAD กำหนดให้รถโดยสารสาธารณะทุกคันต้องติดตั้ง GPS นอกจากนี้ มาเลเซียโดยคณะกรรมการสื่อสารโทรคมนาคมและมัลติมีเดียของ มาเลเซีย (Malaysian Communications and Multimedia Commission) ยังสนับสนุนการนำ RFID มาใช้ในการตรวจสอบย้อนกลับสินค้าที่ผลิตขึ้นในมาเลเซีย โดยความถี่ของ RFID ที่อนุญาตให้ใช้ในมาเลเซียอยู่ในช่วง 919-923 MHz. ซึ่งเป็นความถี่ที่อนุญาตให้ใช้ได้



รูปที่ 4.36 ตัวอย่าง RFID Tag ของประเทศมาเลเซีย



รูปที่ 4.37 การติดตั้ง RFID Tag ของประเทศมาเลเซีย บริเวณกระจกหน้าของรถยนต์



รูปที่ 4.38 การติดตั้ง RFID Tag บริเวณกระจกหน้าของรถยนต์เมื่อมองจากด้านนอก



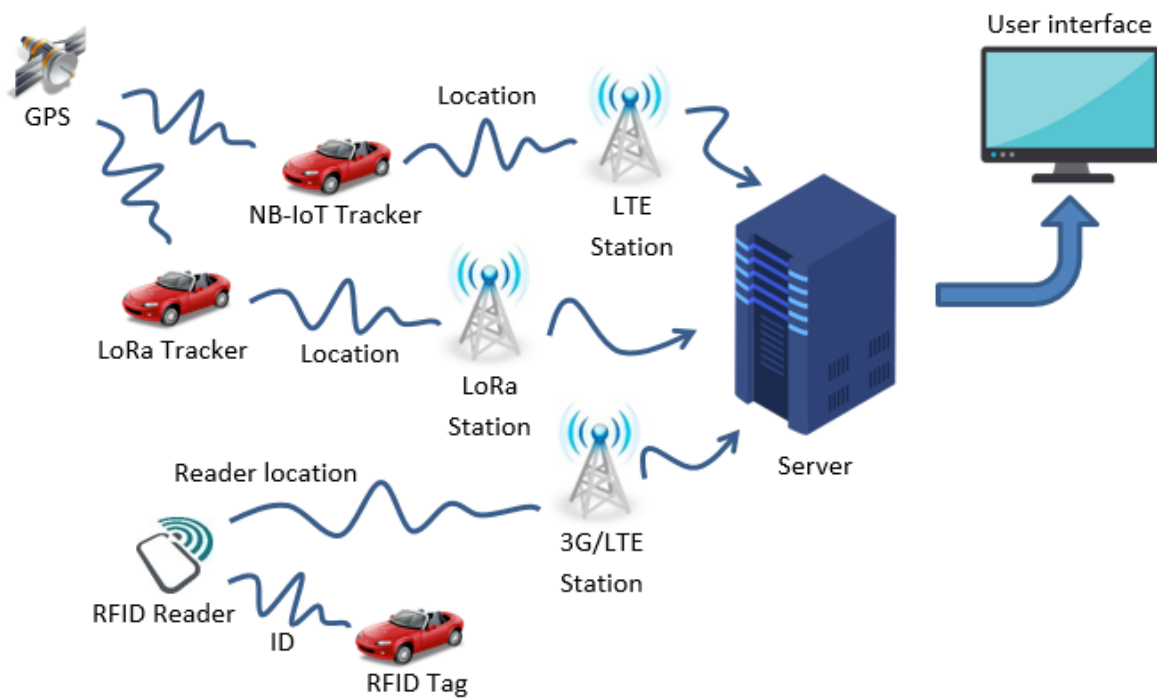
รูปที่ 4.39 การติดตั้ง RFID Tag ของประเทศมาเลเซีย เมื่อมองจากด้านในรถ

4.3 การออกแบบแผนผังอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่จะทำการพัฒนาขึ้นมาจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 4 ชนิด ได้แก่

1. **การใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย NB-IoT** โดย GPS จะทำหน้าที่ตรวจวัดพิกัดตำแหน่งของรถผ่านระบบดาวเทียม ส่วนเครือข่าย NB-IoT จะทำหน้าที่จัดส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งของรถเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) เพื่อใช้ในการติดตามตรวจสอบการเดินทางของรถประจำถิ่น โดยเครือข่าย NB-IoT ทำงานบนคลื่นความถี่ (ใช้ Bandwidth) บนระบบ 4G ทำให้สามารถจัดส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งของรถแบบเรียลไทม์ (Real Time)
2. **การใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย LoRa** โดย GPS จะทำหน้าที่ตรวจวัดพิกัดตำแหน่งของรถผ่านระบบดาวเทียม ส่วนเครือข่าย LoRa จะทำหน้าที่จัดส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งของรถเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) โดยข้อมูลพิกัดตำแหน่งของรถจะถูกส่งเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server) ก็ต่อเมื่อรถประจำถิ่นอยู่ในรัศมีสัญญาณของสถานี LoRa (LoRa Gateway)
3. **การใช้เครือข่าย LoRa เพียงอย่างเดียว (ไม่มี GPS)** เพื่อตรวจสอบสถานี LoRa (LoRa Gateway) ที่รถประจำถิ่นสัญจรผ่านว่ายังอยู่ในพื้นที่อนุญาตของรถประจำถิ่นหรือไม่ โดยจะไม่มี การตรวจสอบพิกัดการเดินทางของรถประจำถิ่น
4. **การใช้เทคโนโลยี RFID** เพื่อตรวจสอบสถานี RFID Reader ที่รถประจำถิ่นสัญจรผ่านว่ายังอยู่ในพื้นที่อนุญาตของรถประจำถิ่นหรือไม่ โดยจะไม่มี การตรวจสอบพิกัดการเดินทางของรถประจำถิ่น

โดยแบบ NB-IoT และ LoRa นั้นจะใช้หน่วยประมวลผลหลักคือ STM32L072 จากผู้ผลิต STMicroelectronics ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลที่ใช้พลังงานต่ำ ตรวจหาตำแหน่งบนพื้นโลกจากระบบ GNSS หรือ Global Navigation Satellite System ด้วยมาตรฐาน GPS, Galileo และ Glonass เป็นหลัก ส่วนอุปกรณ์ติดตามชนิด RFID นั้นจะใช้มาตรฐาน EPC Gen 2 หรือ Electronic Product Code Generation 2 ซึ่งเป็นมาตรฐานในการระบุตัวตนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และจะใช้ chip ของ NXP รุ่น SL3S1013 ที่รองรับคลื่นความถี่ RFID ภายในประเทศไทยที่ 920-925 MHz โดยหาตำแหน่งของอุปกรณ์จากสถานตรวจจับ RFID ที่ได้รับการระบุตัวตนของรถยนต์คันนั้นๆ ซึ่งมีแผนผังการทำงานของระบบดังนี้

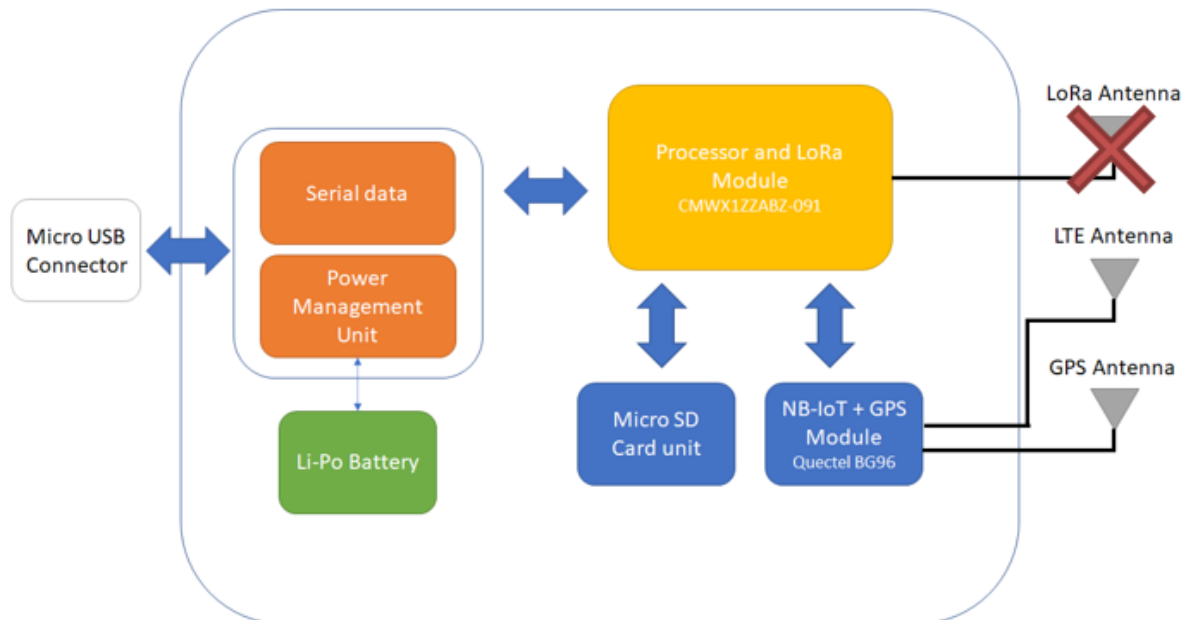


รูปที่ 4.40 แผนผังการทำงานของระบบโดยรวม

โดยอุปกรณ์แต่ละแบบจะมีแผนผังอุปกรณ์ในส่วนของฮาร์ดแวร์ดังนี้

1) อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT

อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด NB-IoT ที่จะนำมาทดสอบใช้งาน มีองค์ประกอบภายในอุปกรณ์ และคุณสมบัติทางด้านฮาร์ดแวร์ดังแสดงในรูปที่ 4.41 และมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.41 แผนผังองค์ประกอบอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด NB-IoT

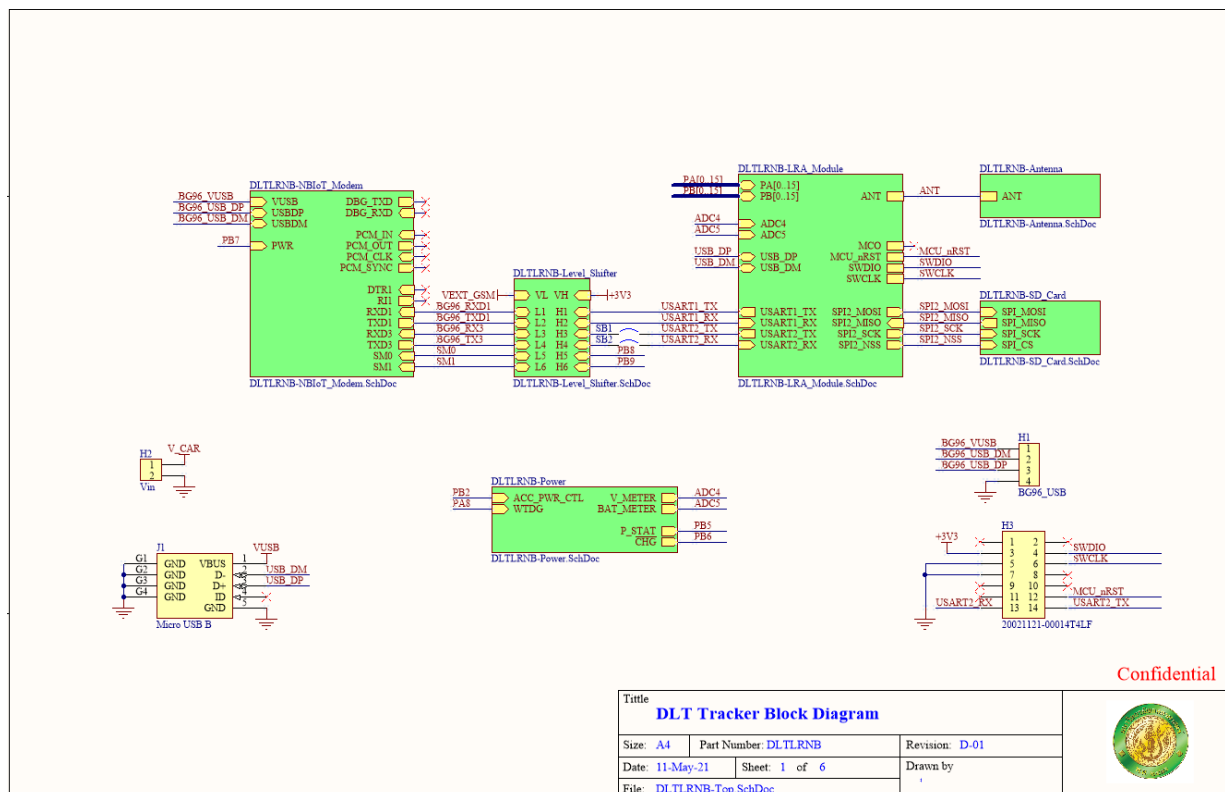
1.1) คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าของอุปกรณ์

- ทำงานภายใต้เครือข่าย 4G
- โมดูลสื่อสารผ่าน NB-IoT ยี่ห้อ Quectel รุ่น BG96
 - เทคโนโลยีสื่อสารแบบ LTE Cat M1/Cat NB1/EGPRS
 - มี GPS ภายในตัวรองรับรูปแบบ GPS, GLONASS, BeiDou/Compass, Galileo, QZSS
- โมดูลสื่อสารผ่าน LoRa WAN ยี่ห้อ Murata รุ่น CMWX1ZZABZ-091
 - พร้อมหน่วยประมวลผล STM32L072 ภายใน
 - ความถี่ใช้งานในย่าน 868 MHz, 915MHz ซึ่งรองรับภายในประเทศ
 - ได้รับการอนุญาตจาก กสทช
- หน่วยความจำภายในชนิด Micro SD Card ขนาด 32GB
- เชื่อมต่อแหล่งพลังงานผ่านไฟรถยนต์ 12V และ Micro USB port เพื่อใช้งานและทำการอัดประจุ พร้อมวงจรอัดประจุ
- แบตเตอรี่ Li-Po (Lithium-ion polymer battery) สำหรับการสำรองไฟ

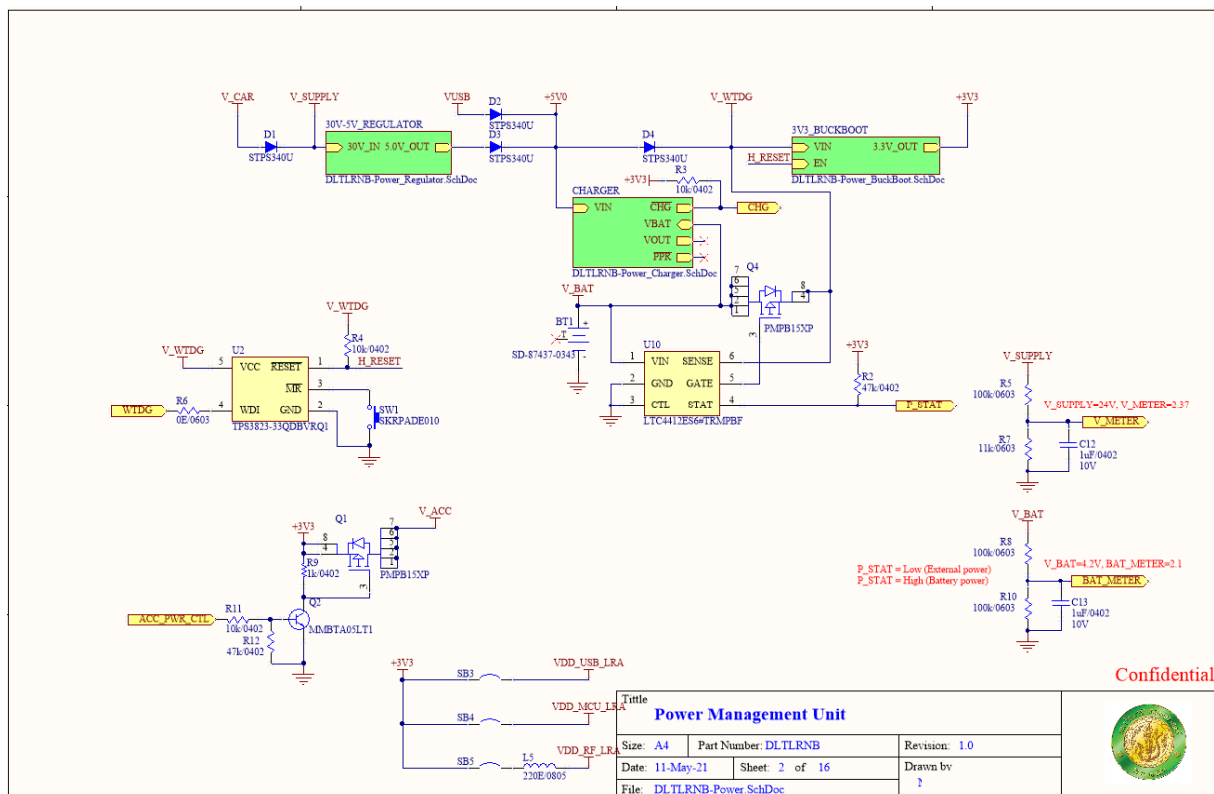
1.2) การออกแบบและพัฒนาทางด้าน Hardware

การออกแบบ schematic จากแผนผังองค์ประกอบอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด NB-IOT จะแสดงองค์ประกอบภายในของอุปกรณ์ประกอบไปด้วย

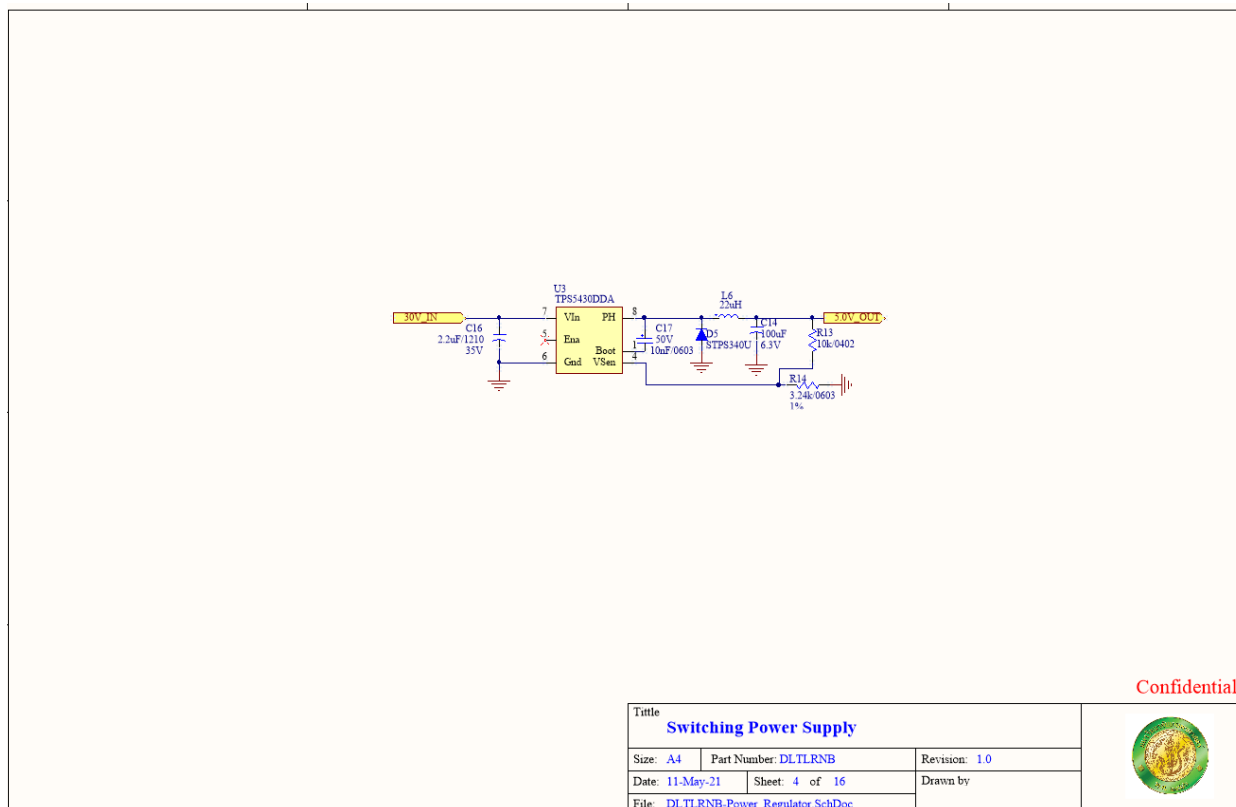
- แผงผังการเชื่อมต่อของวงจรไฟฟ้า
- แผงผังการเชื่อมต่อของวงจรจัดการพลังงาน
- วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงสัสูงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสัต่ำ
- วงจรอัดประจุแบตเตอรี่
- วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Buck-Boost
- วงจรโมดูลสื่อสารผ่าน LoRa พร้อมหน่วยประมวลผลหลัก
- วงจรโมดูลสื่อสารผ่าน NB-IOT พร้อมโมดูล GPS ในตัว และเสาอากาศ
- วงจรปรับระดับแรงดันสำหรับการสื่อสารสองทาง
- วงจรหน่วยเก็บข้อมูลผ่าน MMC card หรือ SD Card
- วงจรเสาอากาศภายในสำหรับการสื่อสารผ่าน LoRa



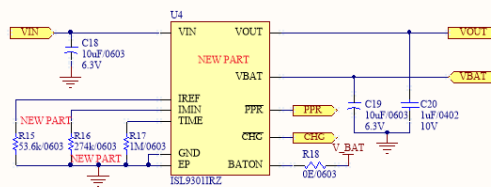
รูปที่ 4.42 แผงผังการเชื่อมต่อของวงจรไฟฟ้า



รูปที่ 4.43 แผงผังการเชื่อมต่อของวงจรจัดการพลังงาน



รูปที่ 4.44 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงสวิตช์สูงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงสวิตช์ต่ำ

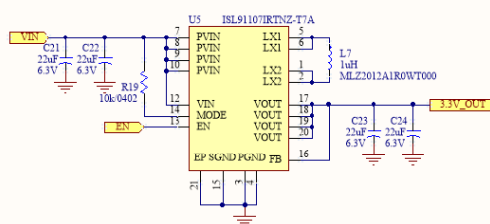


Confidential

Title		
Li-Pi Battery Charger and Power Path		
Size: A4	Part Number: DLTLRNB	Revision: 1.0
Date: 11-May-21	Sheet: 6 of 16	Drawn by N
File: DLTLRNB-Power_Charger_SchDoc		



รูปที่ 4.45 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่

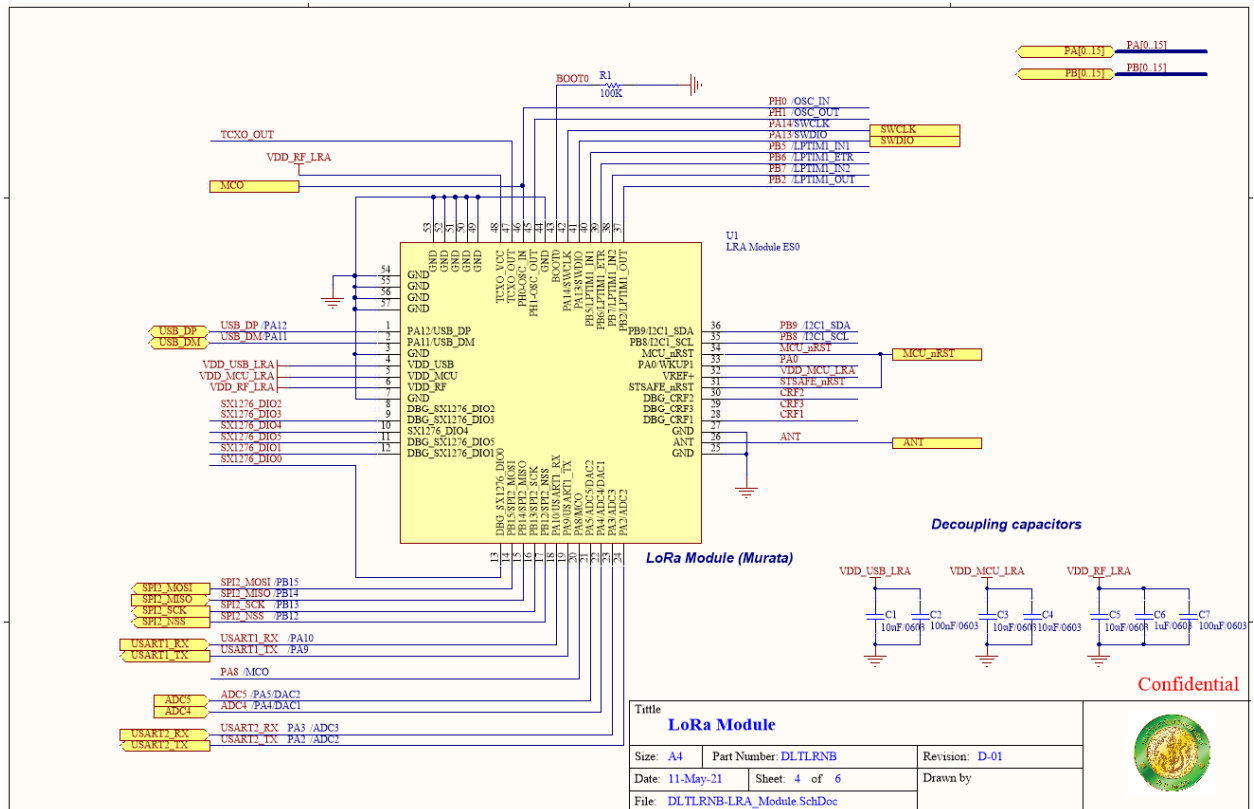


Confidential

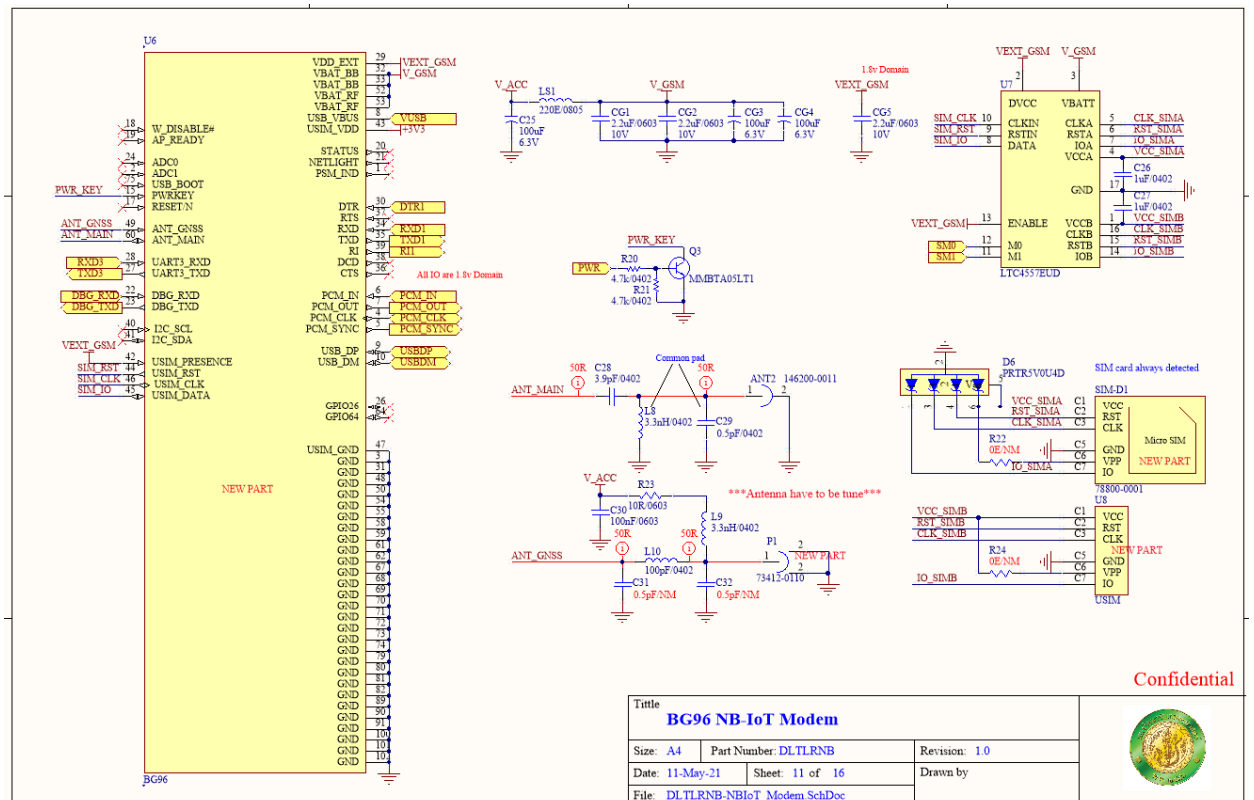
Title		
Buck-Boost Converter		
Size: A4	Part Number: DLTLRNB	Revision: 1.0
Date: 11-May-21	Sheet: 7 of 16	Drawn by
File: DLTLRNB-Power_BuckBoost_SchDoc		



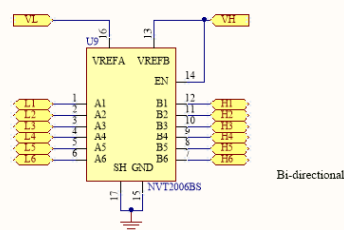
รูปที่ 4.46 วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงแบบ Buck-Boost



รูปที่ 4.47 วงจรโมดูลสื่อสารผ่าน LoRa พร้อมหน่วยประมวลผลหลัก



รูปที่ 4.48 วงจรโมดูลสื่อสารผ่าน NB-IOT พร้อมโมดูล GPS ในตัว และเสาอากาศ

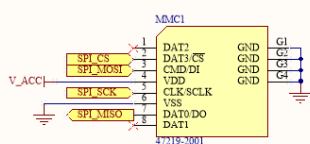


Confidential

Title Level Shifter		
Size: A4	Part Number: DLTLRNB	Revision: 2.1
Date: 11-May-21	Sheet: 20 of 23	Drawn by
File: DLTLRNB-Level_Shifter SchDoc		



รูปที่ 4.49 วงจรปรับระดับแรงดันสำหรับการสื่อสารสองทาง

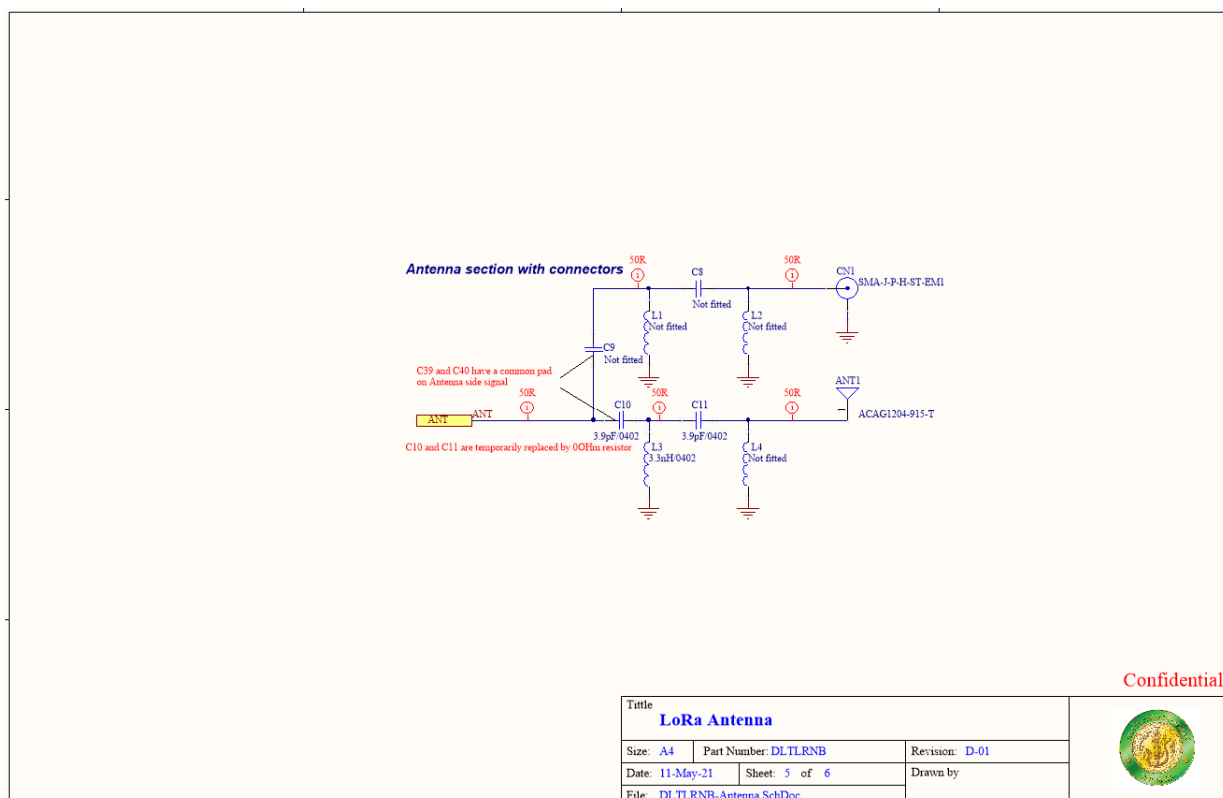


Confidential

Title LoRa USB - Antenna		
Size: A4	Part Number: DLTLRNB	Revision: D-01
Date: 11-May-21	Sheet: 5 of 6	Drawn by
File: DLTLRNB-SD_Card.SchDoc		



รูปที่ 4.50 วงจรหน่วยเก็บข้อมูลผ่าน SD Card



รูปที่ 4.51 วงจรเสาอากาศภายในสำหรับการสื่อสารผ่าน LoRa

การออกแบบ PCB

ในการพัฒนาครั้งนี้เราจะใช้เทคโนโลยีการผลิตแผ่น PCB แบบ 4 Layers มีความหนาที่ 1.6 Mm. มี Blind Via และ Buried Via เพื่อลดขนาดของอุปกรณ์ให้เล็กลง

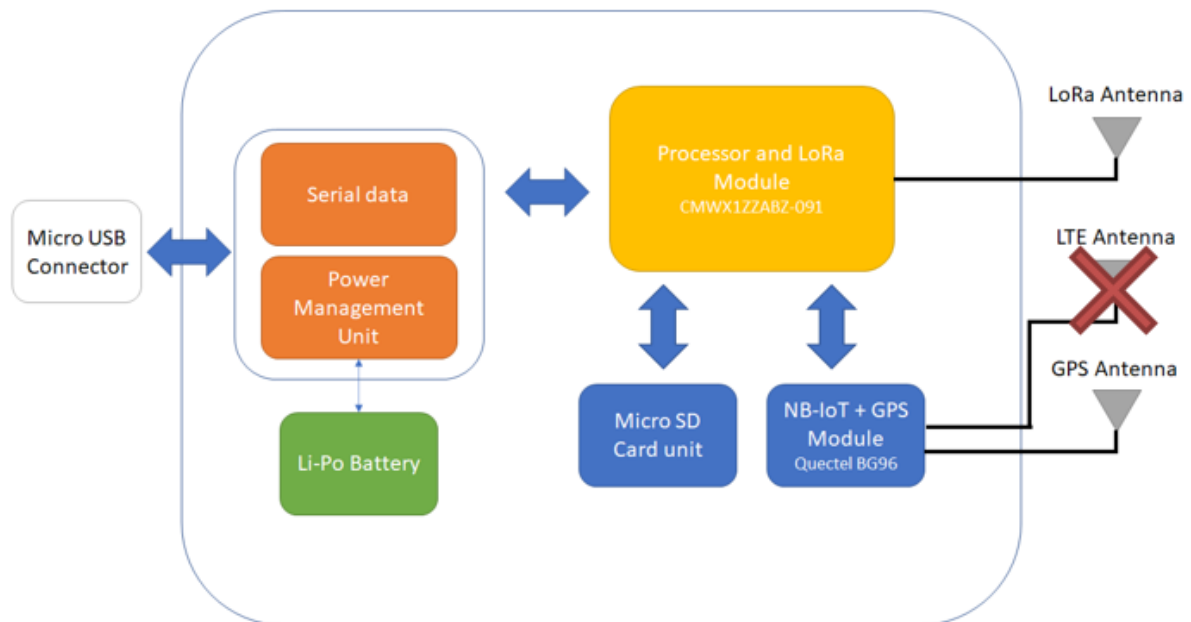
1.3) การพัฒนา Firmware

ภาษา C จะเป็นภาษาหลักที่ใช้ในการพัฒนา Firmware โดย Firmware ที่จะได้รับการพัฒนาจะแบ่งเป็นส่วน ๆ ได้แก่

- Driver ที่ใช้ควบคุม Hardware
- Protocol ที่ใช้ในการสื่อสาร
- Application อื่น ๆ ที่ใช้สำหรับการ operate อุปกรณ์

2) อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa

หากพิจารณาจากแผนผังจะทราบว่า องค์ประกอบพื้นฐานจะคล้ายกับอุปกรณ์ก่อนหน้านี้ หากแต่จะแตกต่างกันในส่วนของอุปกรณ์โมดูลสื่อสารเท่านั้น โดยอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa ที่จะนำมาทดสอบใช้งาน มีองค์ประกอบภายในอุปกรณ์ และคุณสมบัติทางด้านฮาร์ดแวร์ดังแสดงในรูปที่ 4.52 และมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.52 แผนผังองค์ประกอบอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa

อุปกรณ์สื่อสารผ่าน LoRa จะมีความคล้ายคลึงกับแบบ NB-IOT แต่จะมีความแตกต่าง คือ โมดูลที่ใช้ในการสื่อสารและตัวประมวลผลที่จะเข้าไปอยู่ภายในตัวโมดูลสื่อสารเลยไม่จำเป็นต้องแยกออกมา

2.1) คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าของอุปกรณ์

- โมดูลสื่อสารผ่าน LoRa WAN ยี่ห้อ Murata รุ่น CMWX1ZZABZ-091
 - o พร้อมหน่วยประมวลผล STM32L072 ภายใน
 - o ความถี่ใช้งานในย่าน 868 MHz, 915MHz ซึ่งรองรับภายในประเทศ
 - o ได้รับการอนุญาตจาก กสทช
- ใช้ GPS ภายในโมดูลสื่อสาร NB-IOT BG96 รองรับรูปแบบ GPS, GLONASS, BeiDou/Compass, Galileo, QZSS
- หน่วยความจำภายในชนิด Micro SD Card ขนาด 32GB
- เชื่อมต่อแหล่งพลังงานผ่านไฟรถยนต์ 12V และ Micro USB port เพื่อใช้งานและทำการอัดประจุ พร้อมวงจรอัดประจุ
- แบตเตอรี่ Li-Po สำหรับการสำรองไฟ

2.2) การออกแบบและพัฒนาทางด้าน Hardware

การออกแบบ schematic จากแผนผังองค์ประกอบอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa จะแสดงองค์ประกอบภายในของอุปกรณ์ประกอบไปด้วย

- วงจรจัดการพลังงานพร้อมวงจรอัดประจุ
- วงจรสื่อสารผ่าน serial port ผ่านช่องทาง Micro USB
- วงจรโมดูลสื่อสารผ่าน LoRa พร้อมหน่วยประมวลผลหลัก
- วงจรหน่วยเก็บความจำ
- วงจรโมดูล GPS พร้อมเสาอากาศแบบ active

โดยวงจรจัดการพลังงาน วงจรอัดประจุ วงจรสื่อสารผ่าน serial port และวงจรเก็บความจำ จะเหมือนกับอุปกรณ์ติดตามสื่อสารผ่าน NB-IOT แตกต่างกันเพียงแค่ว่าไม่ได้ใช้คุณสมบัติการสื่อสารผ่าน NB-IOT เท่านั้น (ไม่ได้ใส่ Sim Card)

การออกแบบ PCB

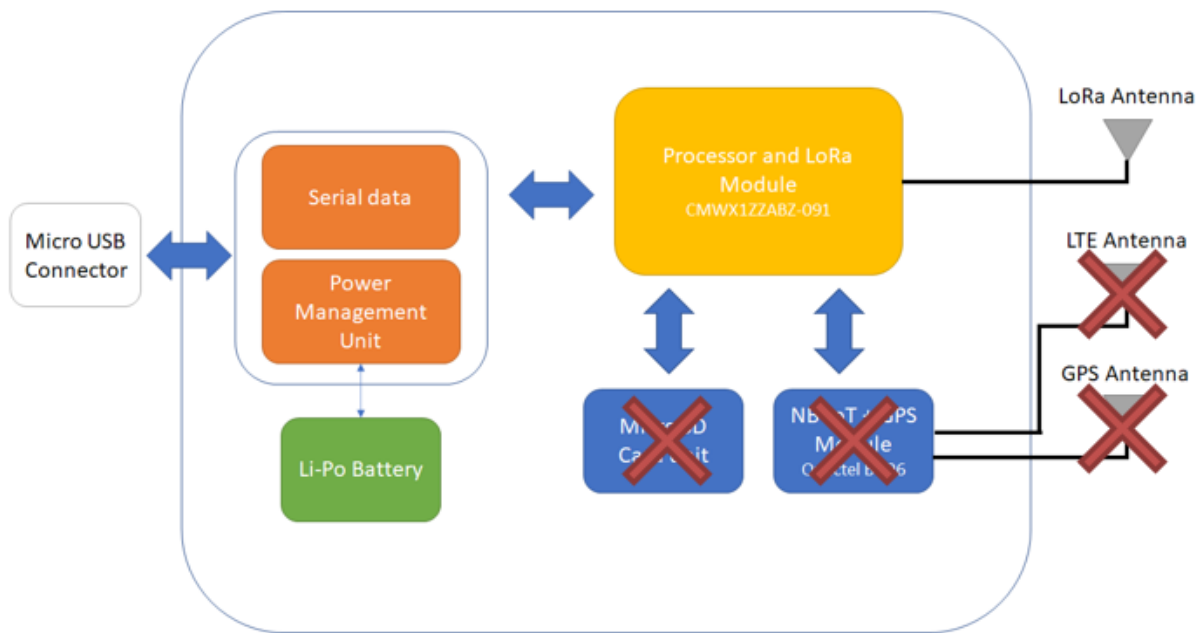
เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์ติดตามสื่อสารผ่าน NB-IOT ในส่วนของอุปกรณ์ติดตามการสื่อสารแบบ LoRa นั้นก็จะใช้เทคโนโลยีเดียวกัน ในการออกแบบและผลิต PCB

2.3) การพัฒนา Firmware

อุปกรณ์ติดตามสื่อสารผ่าน GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa ใช้ภาษา C เป็นภาษาคอมพิวเตอร์หลักในการพัฒนา แต่การติดต่อสื่อสารผ่าน LoRa นั้น จำเป็นต้องเพิ่มในส่วนของการสื่อสารระหว่าง Server และ LoRa Gateway เข้าไปด้วย ซึ่งในส่วนของการสื่อสารนี้จะต้องพัฒนาบนเครื่อง server ซึ่งจะใช้ภาษา C#, html และ SQL ในการพัฒนา

3) อุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa

แผนผังอุปกรณ์นั้นจะคล้ายกันกับอุปกรณ์ประเภท GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa เพียงแต่ตัดในส่วนของ GPS Module ออกและทำการหาพิกัดตำแหน่งจากสถานี LoRa ที่อุปกรณ์สามารถติดต่อได้



รูปที่ 4.53 แผนผังองค์ประกอบอุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa

อุปกรณ์สื่อสารผ่าน LoRa จะมีความคล้ายคลึงกับแบบ NB-IoT แต่จะมีความแตกต่าง คือ โมดูลที่ใช้ในการสื่อสารและตัวประมวลผลที่จะเข้าไปอยู่ภายในตัวโมดูลสื่อสารเลยไม่จำเป็นต้องแยกออกมา

3.1) คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าของอุปกรณ์

- โมดูลสื่อสารผ่าน LoRa WAN ยี่ห้อ Murata รุ่น CMWX1ZZABZ-091
 - พร้อมหน่วยประมวลผล STM32L072 ภายใน
 - ความถี่ใช้งานในย่าน 868 MHz, 915MHz ซึ่งรองรับภายในประเทศ
 - ได้รับการอนุญาตจาก กสทช
- เชื่อมต่อแหล่งพลังงานผ่านไฟรถยนต์ 12V และ Micro USB port เพื่อใช้งานและทำการอัดประจุ พร้อมวงจรอัดประจุ
- แบตเตอรี่ Li-Po สำหรับการสำรองไฟ

3.2) การออกแบบและพัฒนาทางด้าน Hardware

การออกแบบ schematic จากแผนผังองค์ประกอบอุปกรณ์การสื่อสารชนิด LoRa จะแสดงองค์ประกอบภายในของอุปกรณ์ประกอบไปด้วย

- วงจรจัดการพลังงานพร้อมวงจรอัดประจุ
- วงจรสื่อสารผ่าน serial port ผ่านช่องทาง Micro USB
- วงจรโมดูลสื่อสารผ่าน LoRa พร้อมหน่วยประมวลผลหลัก
- วงจรหน่วยเก็บความจำ

โดยวงจรจัดการพลังงาน วงจรอัดประจุ วงจรสื่อสารผ่าน Serial Port และวงจรเก็บความจำ จะเหมือนกับอุปกรณ์ติดตามสื่อสารผ่าน NB-IoT แตกต่างกันเพียงแค่ว่าไม่ได้ใช้คุณสมบัติการสื่อสารผ่าน NB-IoT, GPS, MMC Card เท่านั้น (ไม่ได้ใส่ sim card และ MMC Card)

การออกแบบ PCB

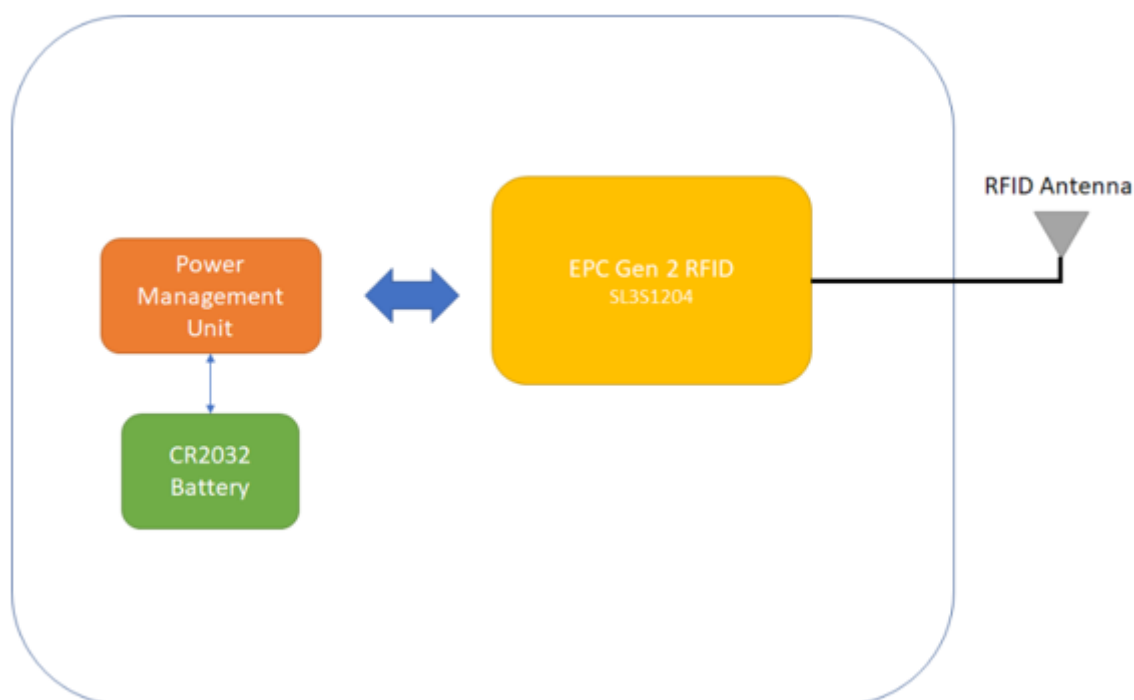
เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์ติดตามสื่อสารผ่าน NB-IoT ในส่วนของอุปกรณ์ติดตามการสื่อสารแบบ LoRa นั้นก็จะใช้เทคโนโลยีเดียวกัน ในการออกแบบและผลิต PCB

2.3) การพัฒนา Firmware

อุปกรณ์ติดตามสื่อสารชนิด LoRa ใช้ภาษา C เป็นภาษาคอมพิวเตอร์หลักในการพัฒนา แต่การติดต่อสื่อสารผ่าน LoRa นั้น จำเป็นต้องเพิ่มในส่วนของการสื่อสารระหว่าง Server และ LoRa Gateway เข้าไปด้วย ซึ่งในส่วนของการสื่อสารนี้จะต้องพัฒนาบนเครื่อง server ซึ่งจะใช้ภาษา C#, html และ SQL ในการพัฒนา

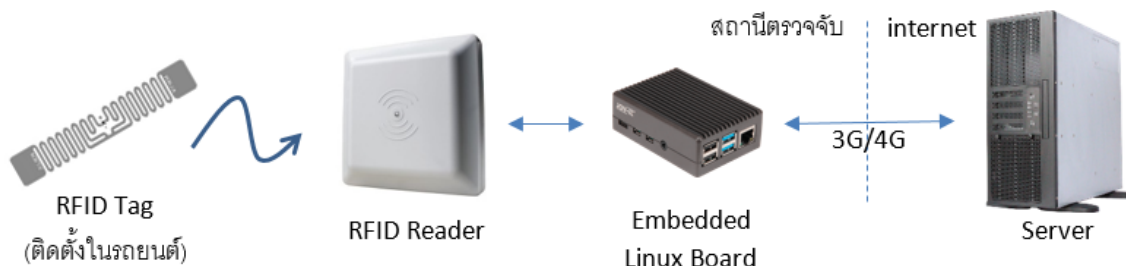
4) อุปกรณ์สื่อสารชนิด RFID

อุปกรณ์สื่อสารชนิด RFID ที่จะนำมาทดสอบใช้งาน มีองค์ประกอบภายในอุปกรณ์ และคุณสมบัติทางด้านฮาร์ดแวร์ ดังนี้



รูปที่ 4.54 แผนผังองค์ประกอบอุปกรณ์สื่อสารชนิด RFID

โครงสร้างของระบบ RFID ประกอบไปด้วย Tag และ Reader โดย Tag ที่จะพัฒนาจะใช้มาตรฐานการระบุตัวตนแบบ EPC Gen 2 ส่วน Reader จะเป็นการจัดหาเข้ามาใช้งานโดยทำการเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมและรับส่งข้อมูลที่ทำงานด้วยระบบ Embedded Linux เพื่อควบคุม reader และส่งค่าไปยังระบบผ่าน Internet



รูปที่ 4.55 แผนผังระบบการทำงานของอุปกรณ์ระบุตัวตนผ่าน RFID

4.1) คุณสมบัติทางด้านไฟฟ้าของอุปกรณ์

- RFID Chip ยี่ห้อ NXP รุ่น SL3S1013FTB0, 115
 - การสื่อสารและระบุตัวตนแบบ EPC Gen 2
 - รองรับการใช้งานแบบ Battery Assist Mode
 - มี Sensitivity ต่ำสุดในการอ่านและเขียนที่ -27dbm
- แบตเตอรี่ขนาด CR2450 แบบถอดเปลี่ยนได้
- รองรับการใช้งานขั้นต่ำ 6 เดือน

4.2) การออกแบบและพัฒนาทางด้าน Hardware

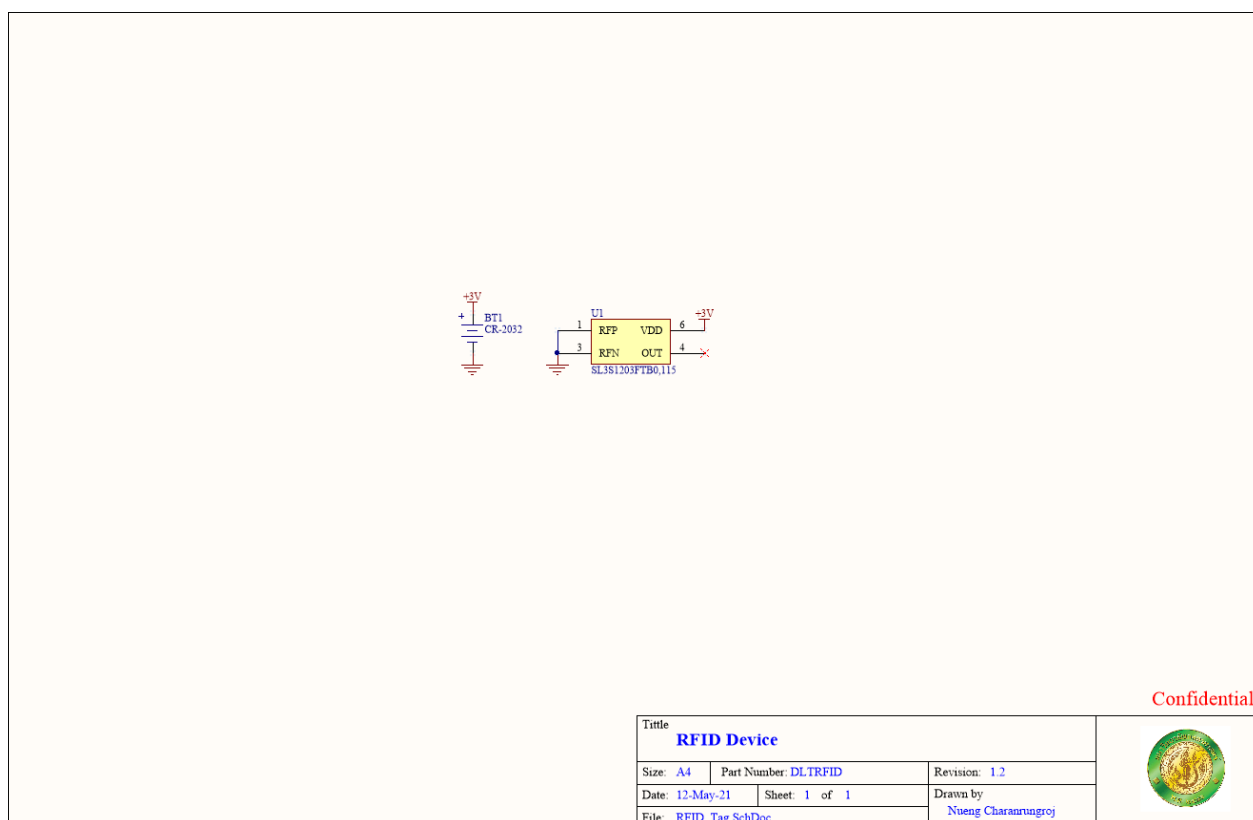
อุปกรณ์ RFID Reader

ในส่วนของการอ่าน RFID Tag เราจะนำ Reader ที่มีอยู่ในท้องตลาดมาใช้งานโดยจะมีคุณสมบัติดังนี้

- ระยะอ่าน tag สูงสุดไม่ต่ำกว่า 10 เมตร
- รองรับความเร็วของรถสูงสุด 120 กิโลเมตร ต่อชั่วโมง
- มีช่องทางการสื่อสารกับ Embedded Linux Board เพื่อทำการส่งข้อมูลไปยังแม่ข่ายได้

อุปกรณ์ Embedded Linux Board

ในส่วนของการ Embedded Linux Board จะนำ Raspberry PI model 4 มาใช้งานเนื่องจากสามารถหาได้ในท้องตลาด มีความเสถียร สามารถเพิ่มอุปกรณ์ได้ผ่านช่อง USB พร้อมทั้งสามารถหา Enclosure ที่สามารถกันน้ำกันฝุ่นในระดับ IP65 ได้



รูปที่ 4.56 วงจร RFID แบบ Battery assist

4.3) การพัฒนา Software และการตั้งค่าระบบ

ตัว RFID Tag นั้นไม่จำเป็นต้องมีการเขียน Firmware ลงไป เนื่องจาก Tag นั้นมีหน้าที่เพียงแค่ส่งค่า ID ที่มีการตั้งเอาไว้กลับมายัง RFID reader หากแต่จะต้องทำการพัฒนา Software บนระบบ Linux ใน Embedded Linux Board เพื่อทำการดึงค่าที่ได้จาก Tag ใน Reader ส่งไปยัง Server ผ่าน 4G LTE ตามลำดับ

5. การพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype)

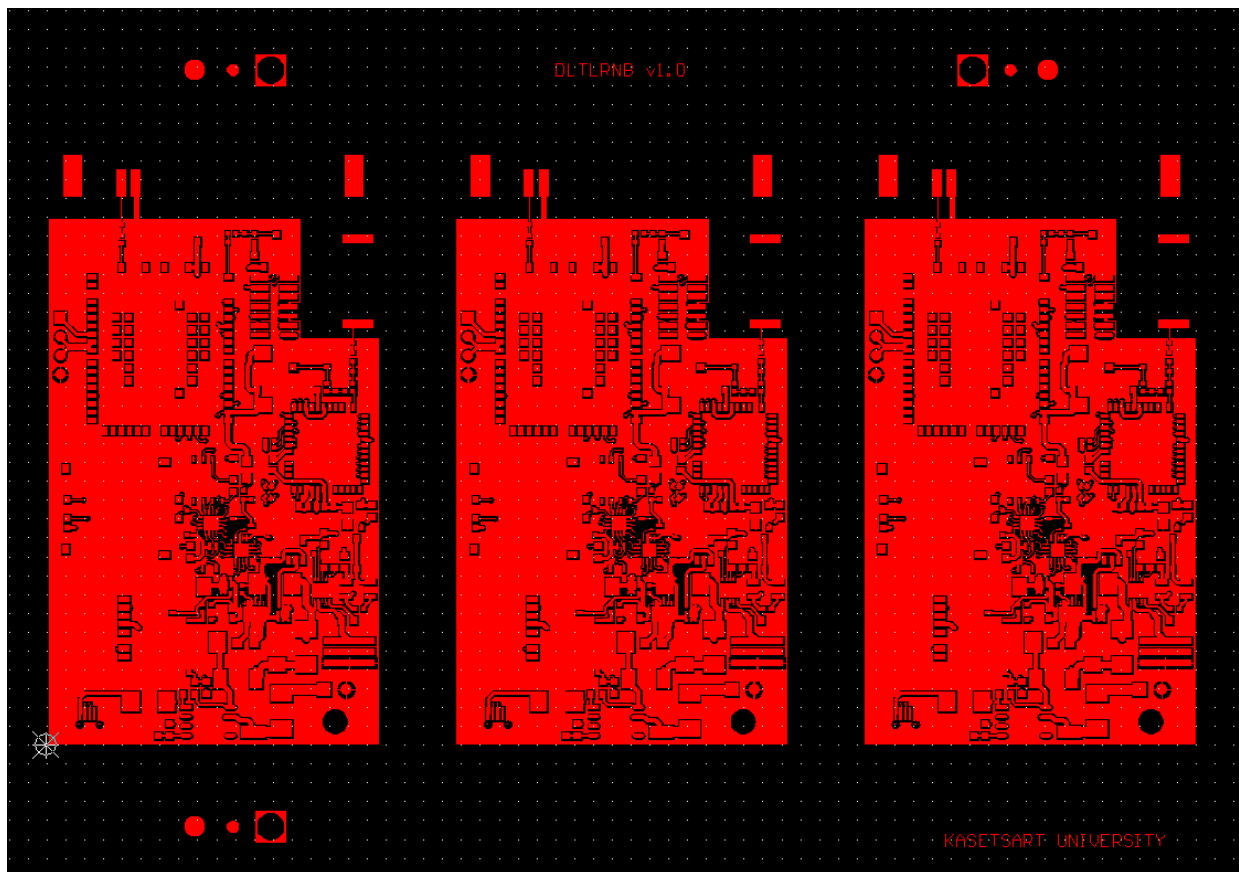
5.1 การพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype)

ที่ปรึกษาดำเนินการจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype) จำนวน 5 ชุดในแต่ละรูปแบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5.1 โดยในการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบที่ปรึกษาคำนึงถึงความแข็งแรงและความปลอดภัยของอุปกรณ์ภายใน ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความละเอียดอ่อนสามารถทนทานต่อแรงกระแทกได้ไม่มากนัก และเนื่องด้วยตัวอุปกรณ์มีเงื่อนไขในการติดตั้ง จึงจำเป็นต้องใช้แหล่งพลังงานภายในอุปกรณ์ที่มาจากแบตเตอรี่ โดยตัวอย่างแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบไว้ดังแสดง ในรูปที่ 5.1 ถึงรูปที่ 5.13 กรอบพลาสติกภายนอกของอุปกรณ์เป็นกรอบพลาสติกเหนียวแข็งอย่างดี มีขนาดความกว้าง 51.18 มม. ขนาดความยาว 86.18 มม. ขนาดความสูง 21.50 มม. มีความหนาของพลาสติกประมาณ 2 มม. ดังแสดงในรูปที่ 5.14

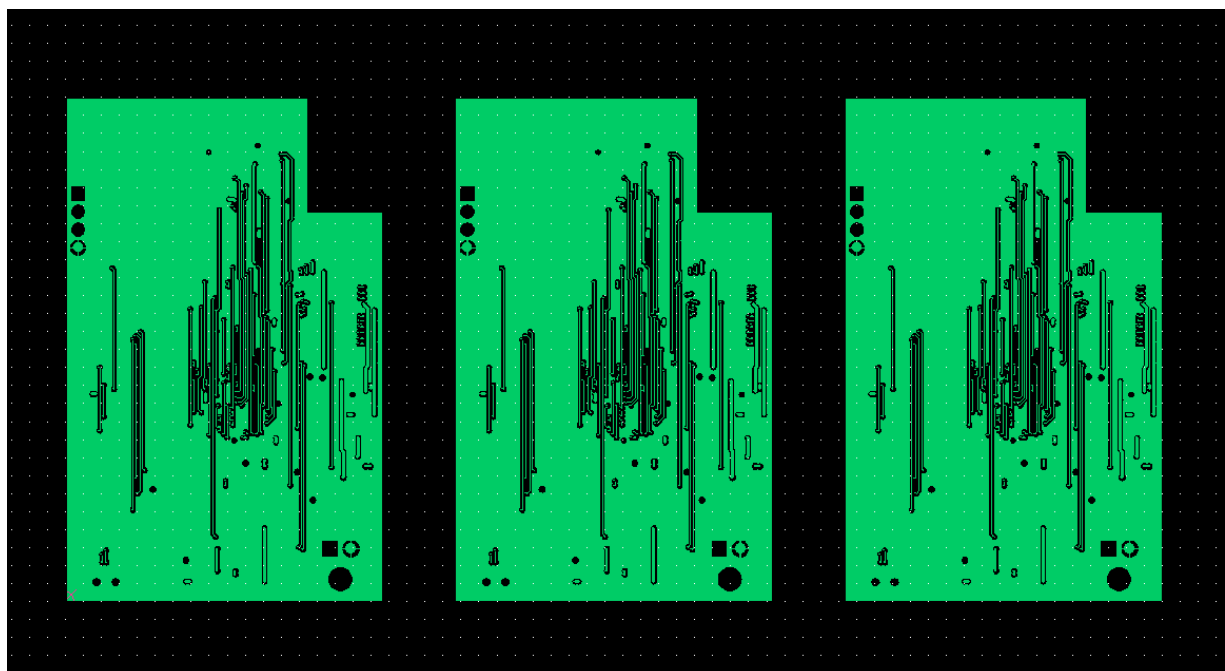
ตารางที่ 5.1 รูปแบบและจำนวนอุปกรณ์ต้นแบบ

อุปกรณ์	จำนวน (ชุด)
1) อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT	5
2) อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa	5
3) อุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa	5
4) RFID Tag	5

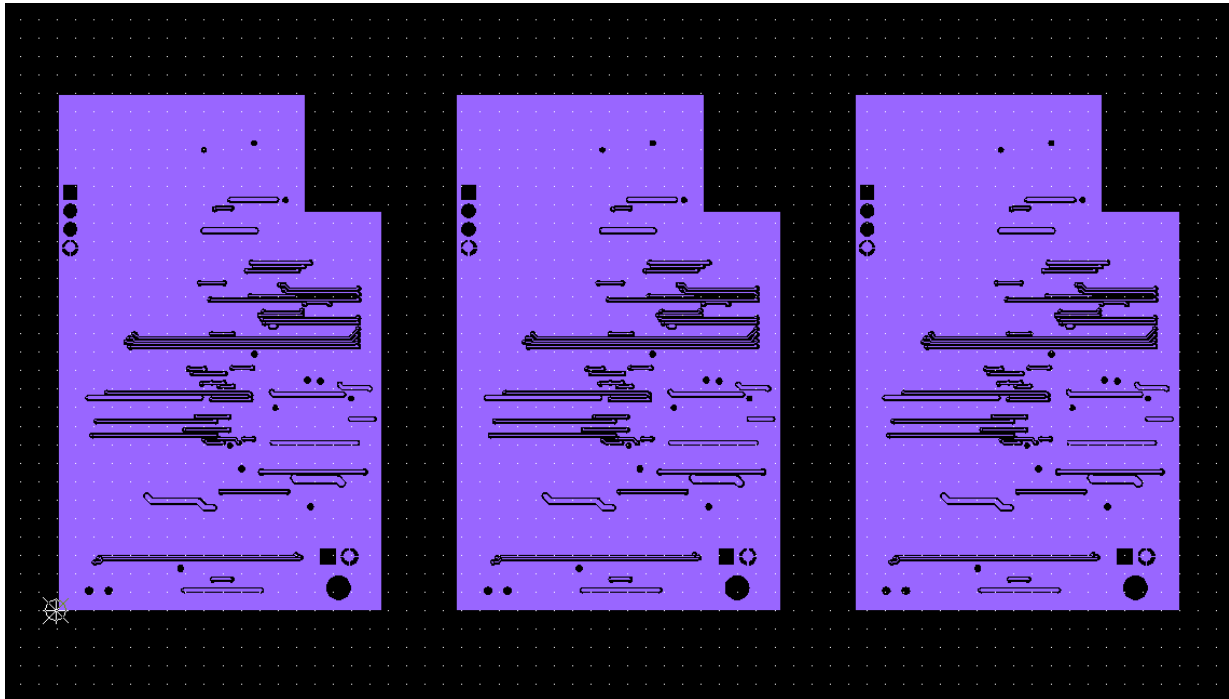
ในการพัฒนาครั้งนี้ได้ใช้เทคโนโลยีการผลิตแผ่น PCB แบบ 4 layers มีความหนาที่ 1.6 mm. มี Blind Via และ Buried via เพื่อลดขนาดของอุปกรณ์ให้เล็กลง โดยมีรายละเอียดแต่ละ Layer ดังนี้



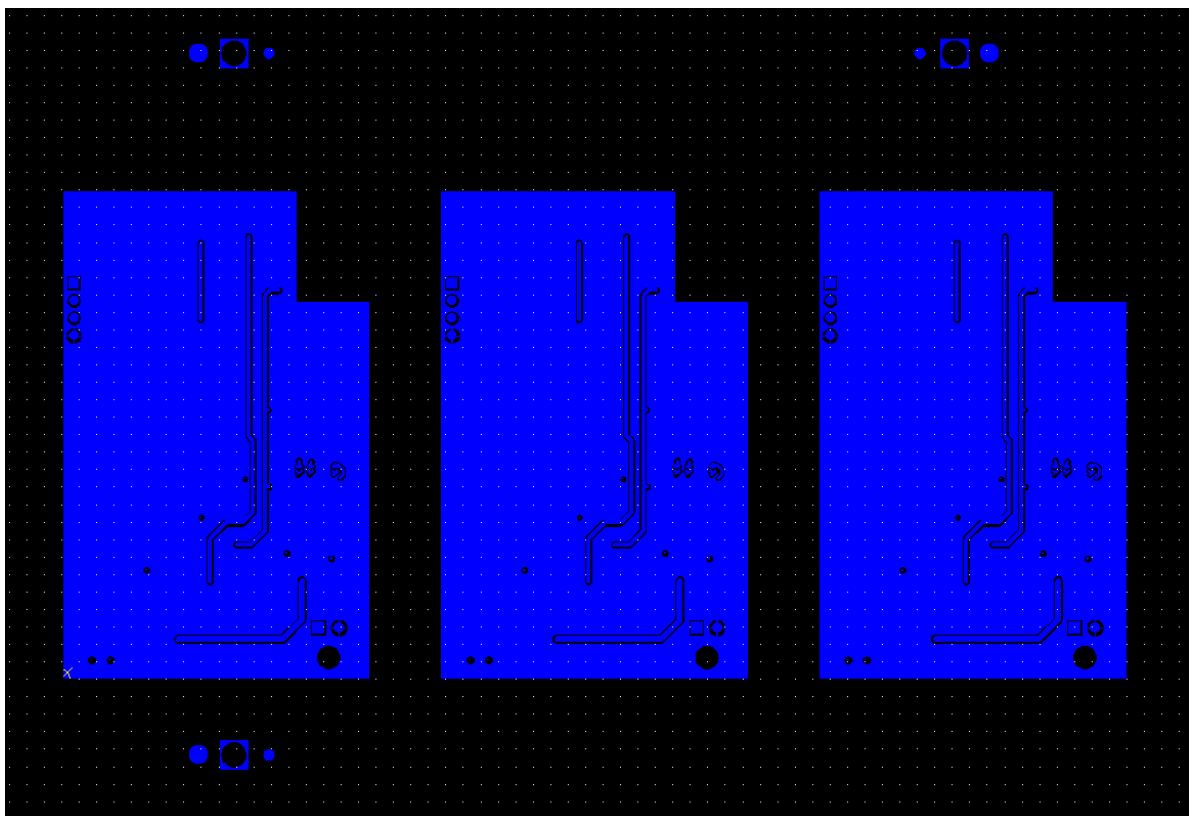
รูปที่ 5.1 แผ่นผัง PCB Top Layer



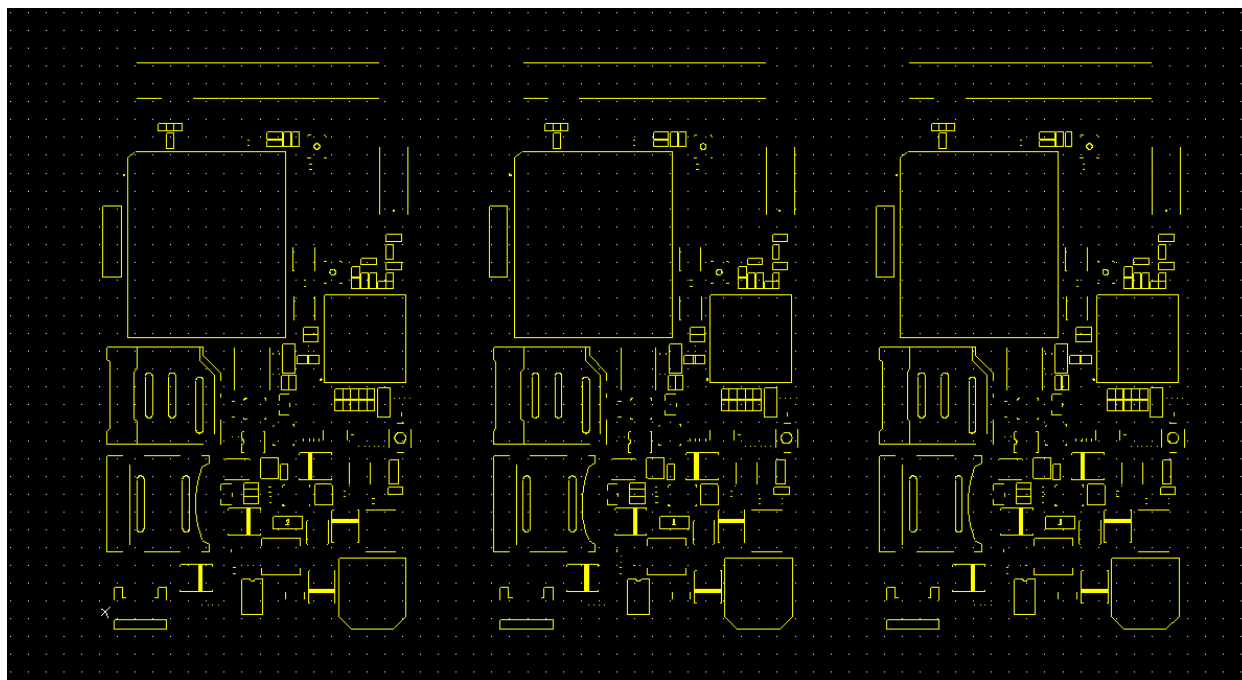
รูปที่ 5.2 แผ่นผัง PCB Inner Layer 1



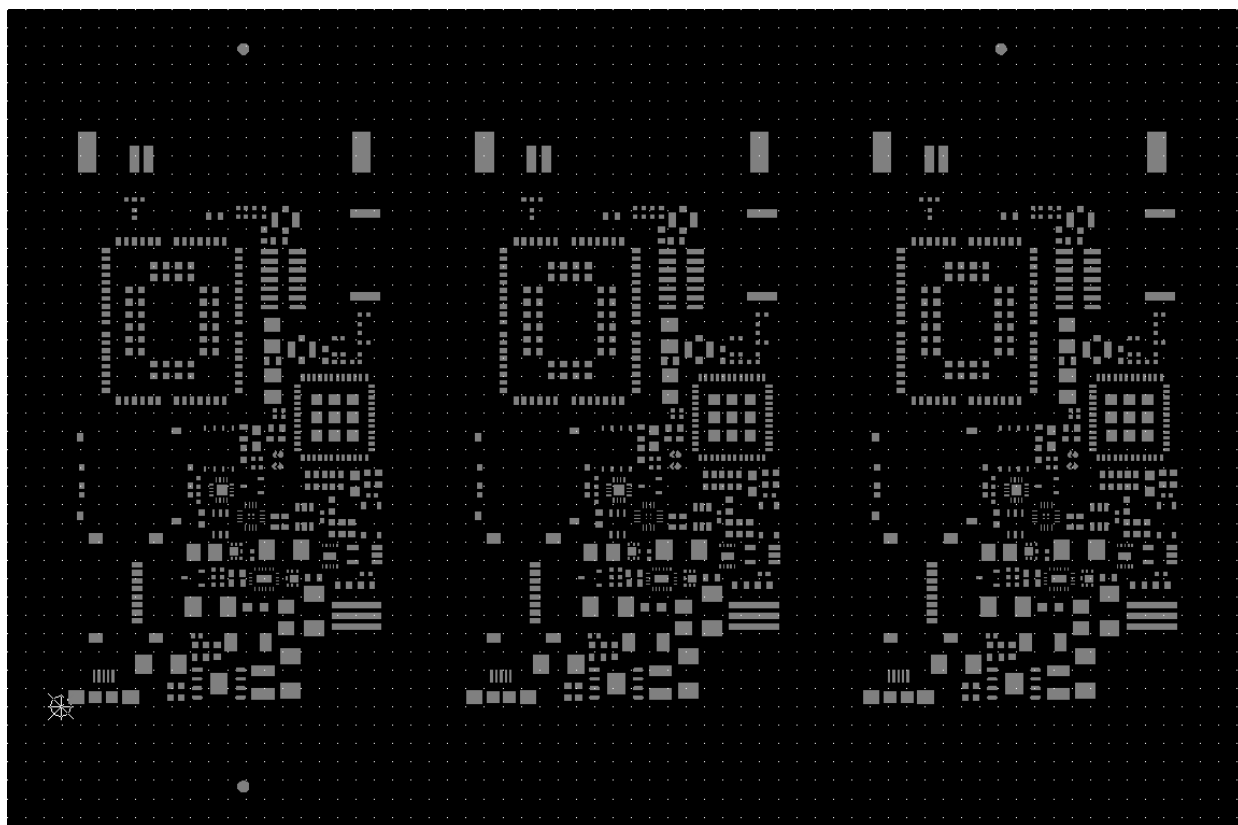
รูปที่ 5.3 แผ่นผัง PCB Inner Layer 2



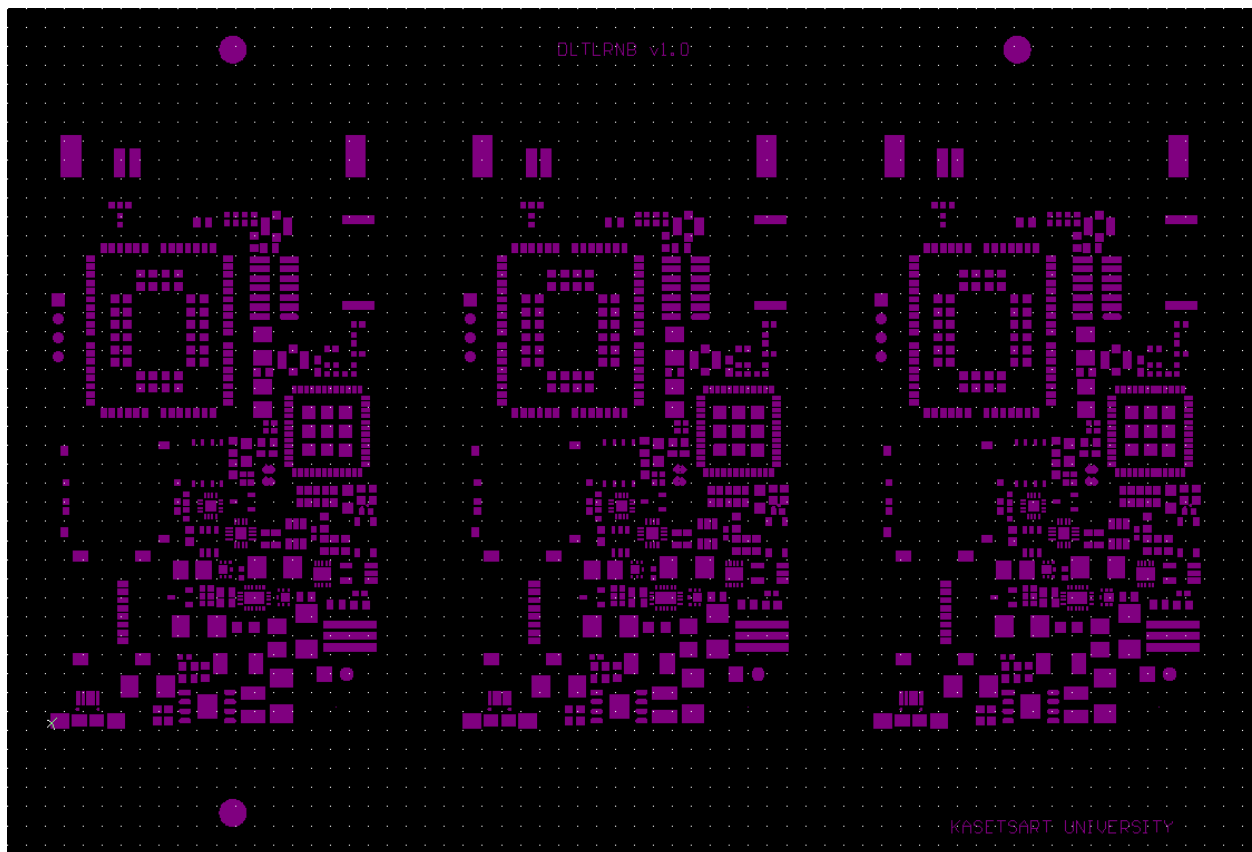
รูปที่ 5.4 แผ่นผัง PCB Bottom Layer



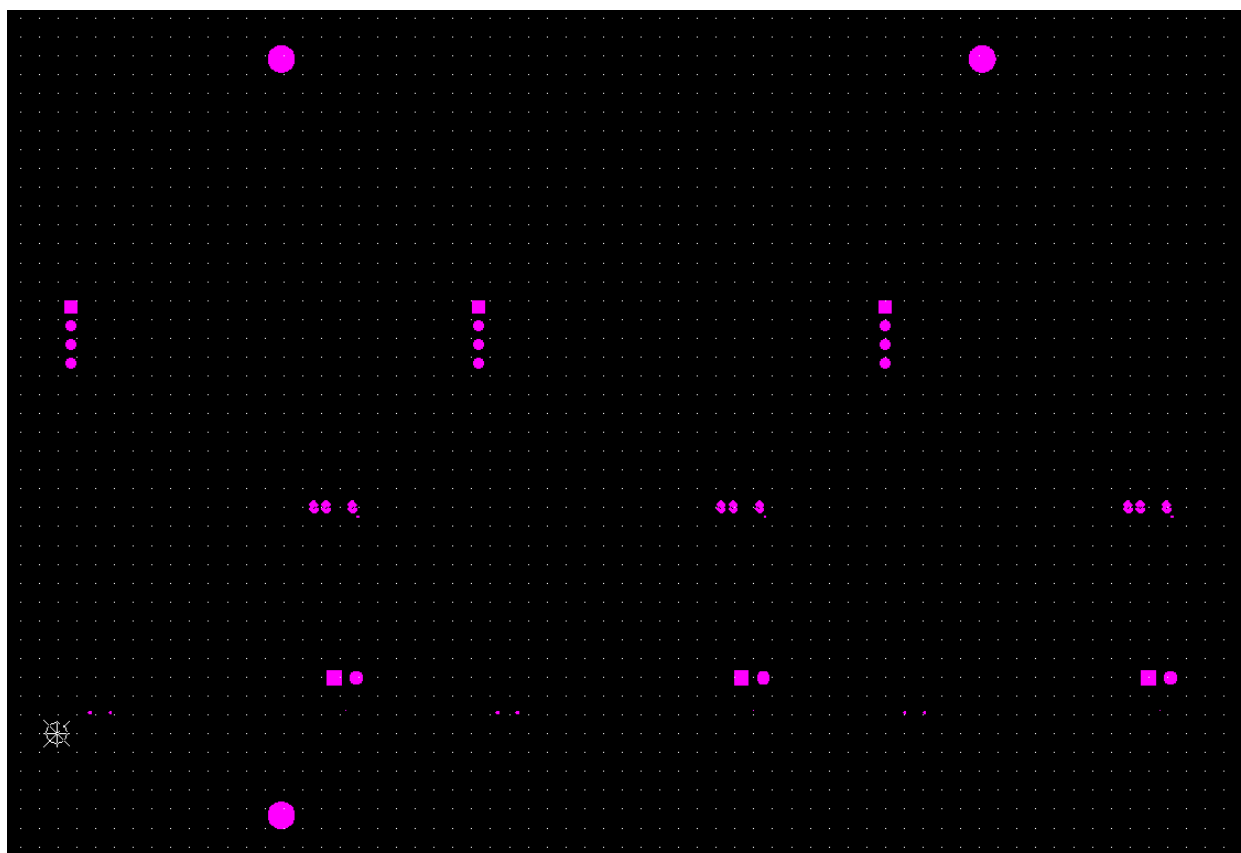
รูปที่ 5.5 แผ่นผัง PCB Top Overlay



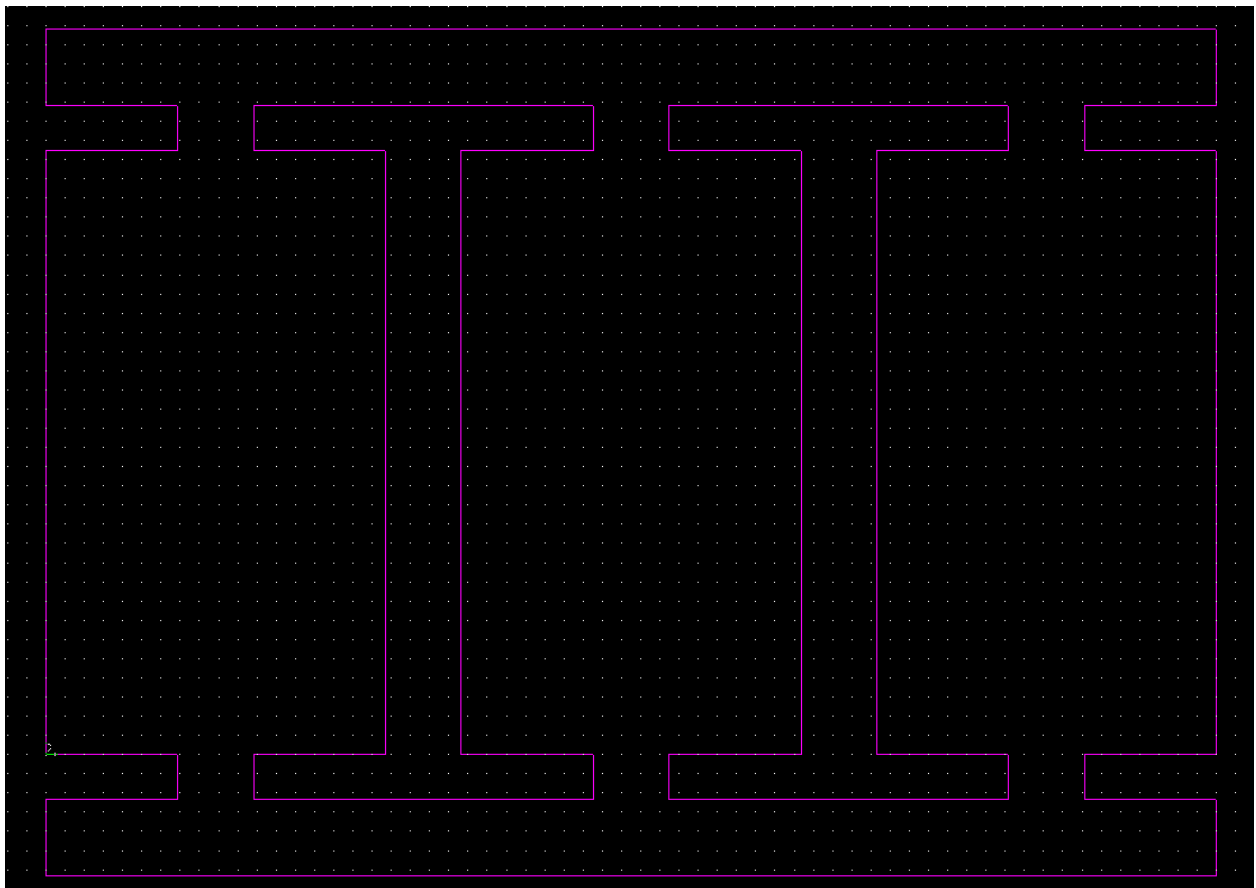
รูปที่ 5.6 แผ่นผัง PCB Top Solder Paste



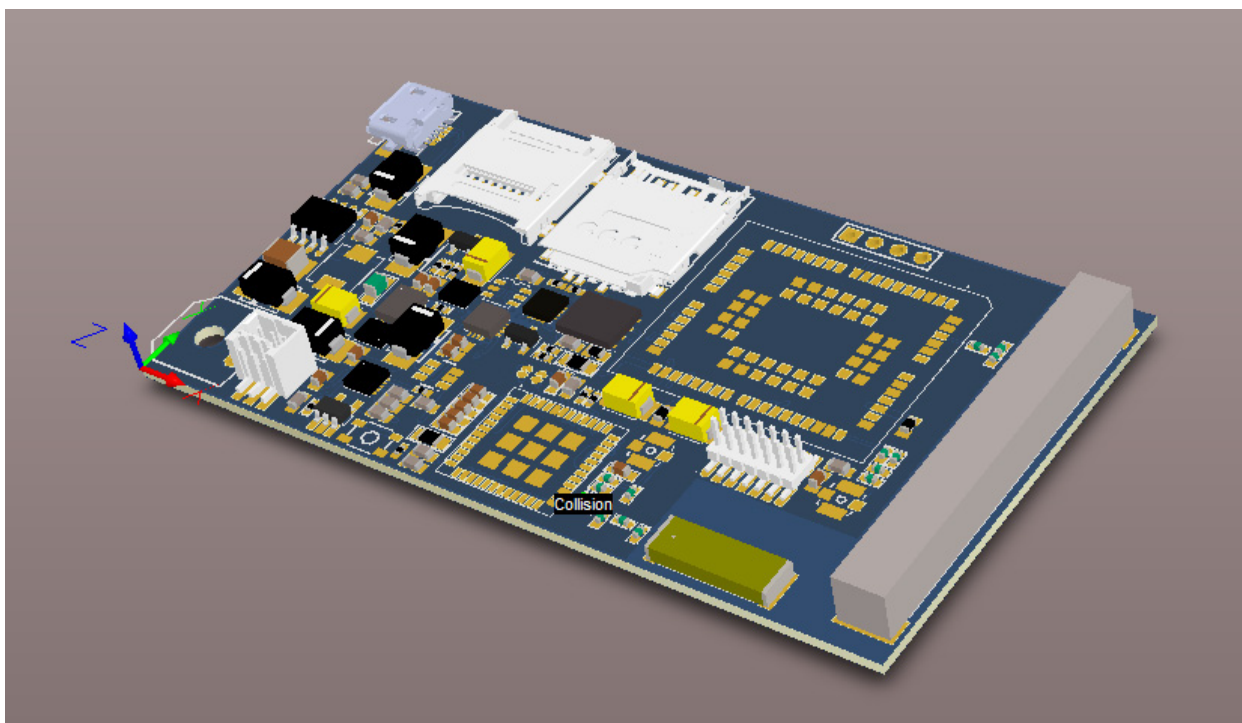
รูปที่ 5.7 แผ่นผัง PCB Top Solder Mask



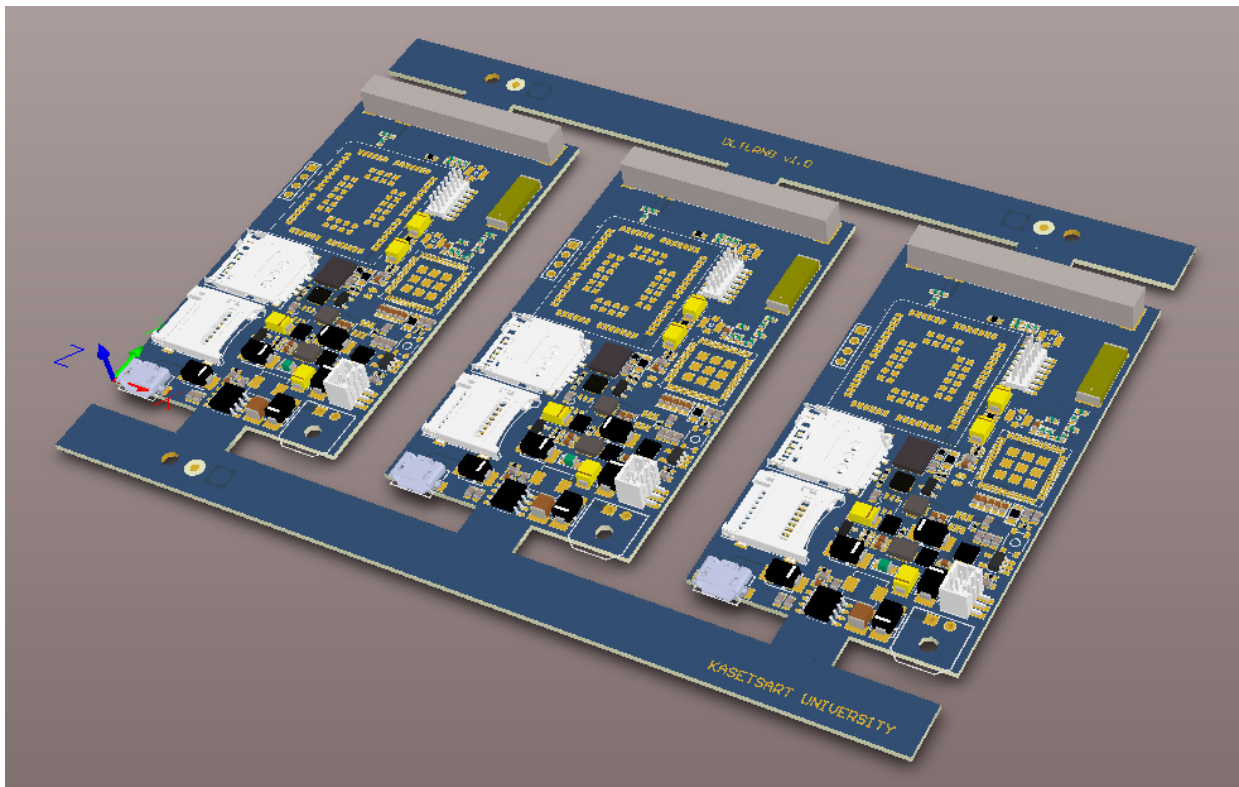
รูปที่ 5.8 แผ่นผัง PCB Bottom Solder Mask



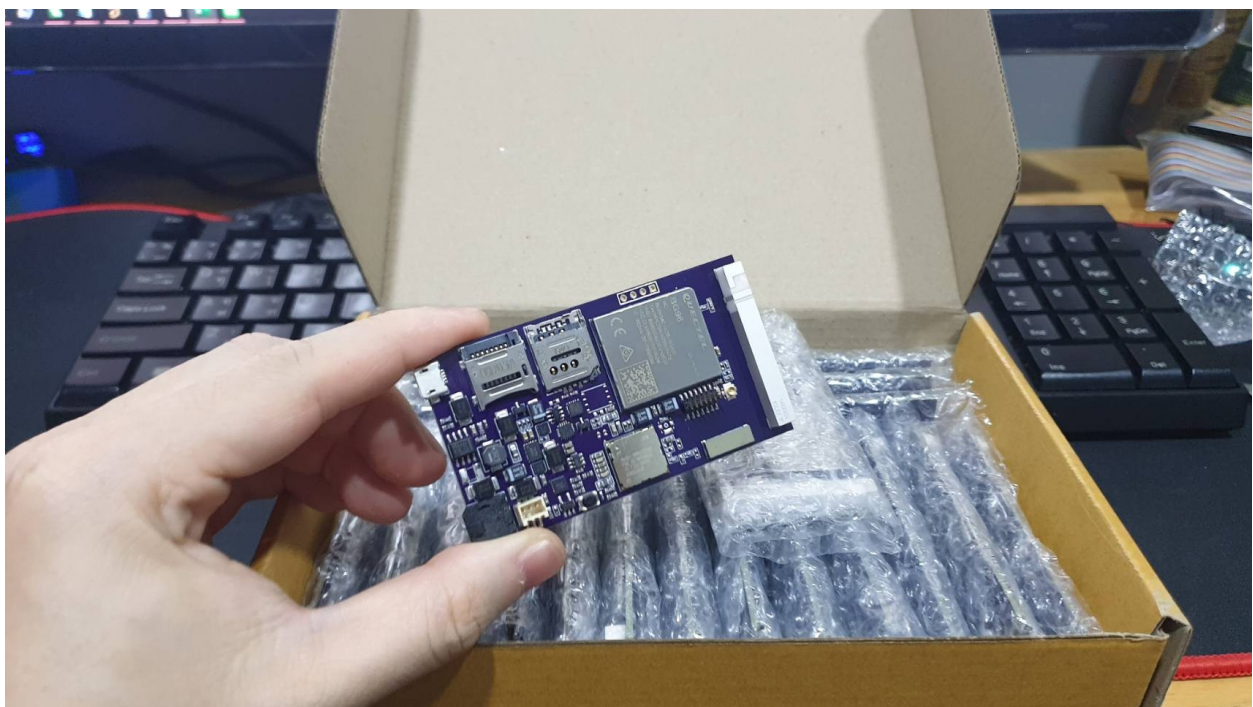
รูปที่ 5.9 แผ่นผัง PCB Keep-Out layer



รูปที่ 5.10 ภาพจำลอง 3D ของ PCB แบบ Single Board



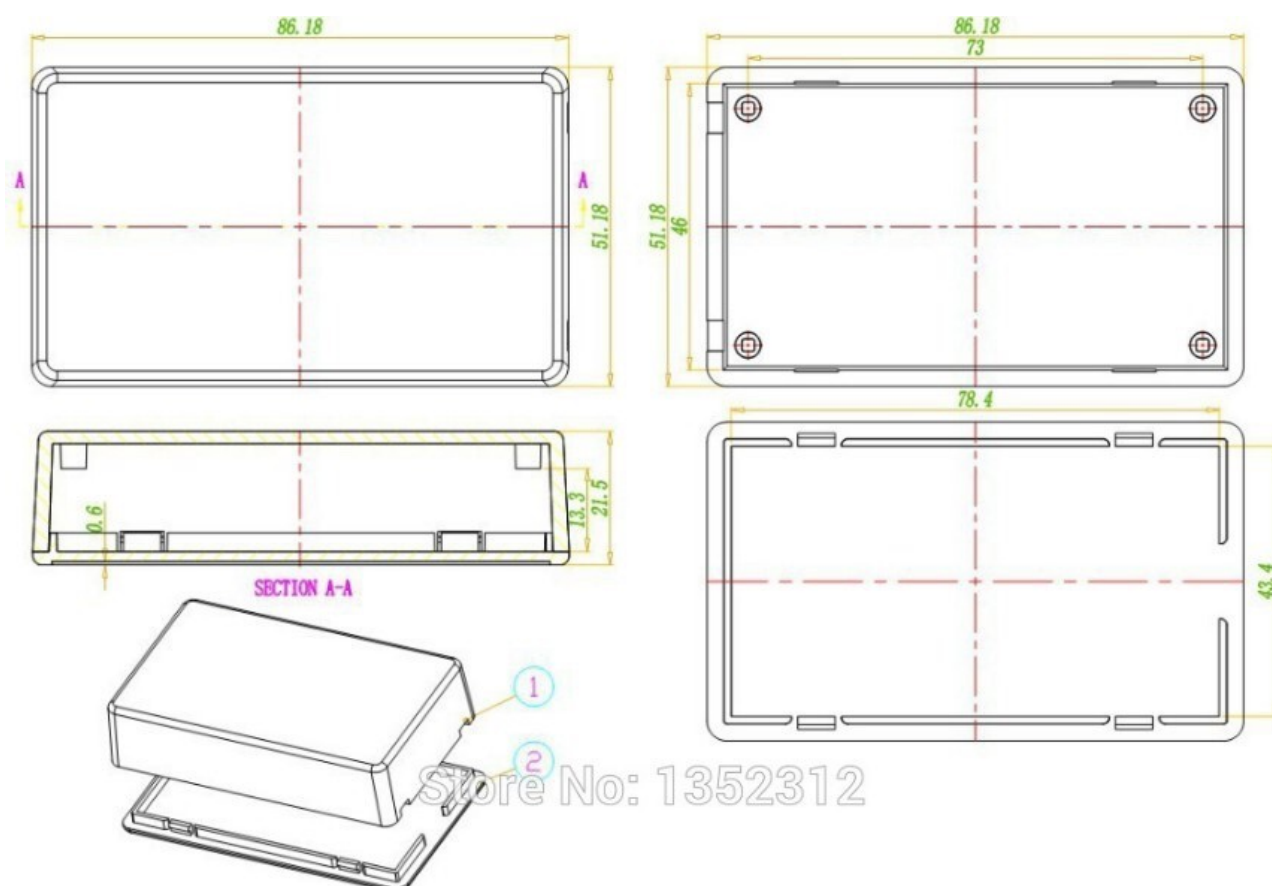
รูปที่ 5.11 ภาพจำลอง 3D ของ PCB แบบ Panel board ที่ใช้สำหรับการผลิต



รูปที่ 5.12 อุปกรณ์เมื่อทำการผลิตออกมาแล้ว



รูปที่ 5.13 แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของอุปกรณ์ที่พร้อมใช้งาน



รูปที่ 5.14 รูปร่างและขนาดของกรอบพลาสติกภายนอกสำหรับจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบ



รูปที่ 5.15 ลักษณะของกรอบพลาสติกภายนอกสำหรับจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบ

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงรายการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดที่อยู่ในแผงวงจรอุปกรณ์ติดตามสื่อสาร

No.	Description	Part No.	Manufacturer	Quantity	Designator
Capacitor					
1	SMT Ceramic Cap 10uF/6.3V, 0603	GRM188R60J106ME84J	MURATA	6	C1, C3, C4, C5, C18, C19
2	SMT Ceramic Cap 100nF/50V, 0603	06035C104KAZ2A	AVX	4	C2, C7, C6, C30
3	SMT Ceramic Cap 3.9pF/50V, 0402	04025A3R9BAT2A	AVX	3	C10, C11, C28
4	SMT Ceramic Cap 1uF/6.3V, 0402	04026D105KAT2A	AVX	5	C12, C13, C20, C26, C27
5	SMT Tantalum Cap 100uF/6.3V, 1411	TP3B107K6R3C1700AS	Vishay	4	C14, C25, CG3, CG4
6	SMT Ceramic Cap 10nF/100V, 0603	C1608X7R2A103K080AA	TDK	1	C17
7	SMT Ceramic Cap 22uF/6.3V, 0603	GRM188R60J226MEA0J	MURATA	4	C21, C22, C23, C24
8	SMT Ceramic Cap 0.5pF/50V, 0402	04025A0R5BAT2A	AVX	1	C29
9	SMT Ceramic Cap 2.2uF/10V, 0603	GRM188R61E225KA12D	MURATA	3	CG1, CG2, CG5
10	SMT Ceramic Cap 100pF/50V, 0402	04025A101JAT2A	AVX	1	L10
			Subtotal	32	
Resistor					
11	SMT Resistor 100k Ohm 1%, 0603	RC0603FR-07100KL	Yageo	4	R1, R5, R8, R10
12	SMT Resistor 47k Ohm 1%, 0402	RC0402FR-0747KL	Yageo	2	R2, R12
13	SMT Resistor 10k Ohm 1%, 0402	RC0402FR-0710KL	Yageo	5	R3, R4, R11, R13, R19
14	SMT Resistor 0 Ohm, 0603	RC0603JR-070RL	Yageo	2	R6, R18
15	SMT Resistor 11k Ohm 1%, 0603	RC0603FR-0711KL	Yageo	1	R7
16	SMT Resistor 1k Ohm 1%, 0402	RC0402FR-071KL	Yageo	1	R9
17	SMT Resistor 3.48k Ohm 1%, 0603	RC0603FR-073K48L	Yageo	1	R14
18	SMT Resistor 53.6k Ohm 1%, 0603	RC0603FR-0753K6L	Yageo	1	R15

No.	Description	Part No.	Manufacturer	Quantity	Designator
19	SMT Resistor 274k Ohm 1%, 0603	RC0603FR-07274KL	Yageo	1	R16
20	SMT Resistor 1M Ohm 1%, 0603	RC0603FR-071ML	Yageo	1	R17
21	SMT Resistor 4.7k Ohm 1%, 0402	RC0402FR-074K7L	Yageo	2	R20, R21
22	SMT Resistor 10 Ohm 1%, 0603	RC0603FR-7W10RL	Yageo	1	R23
			Subtotal	22	
Inductor					
23	SMD High Frequency Inductor, 3.3 nH, $\pm 5\%$, 0402	LQG15HN3N3S02D	MURATA	3	L3, L8, L9
24	SMD FERRITE BEAD, 220Ohm@100MHZ, 0805	BLM21PG221SN1D	MURATA	2	L5, LS1
25	SMD Power Inductor, 15uH/2.5A, SMT	ECS-MPIL0630-150MC	ECS	1	L6
26	SMD Inductors for decoupling circuits, 1uH, $\pm 20\%$, 0805	MLZ2012A1R0WT000	TDK	1	L7
			Subtotal	7	
Discrete devices					
27	SMT Power Schottky rectifier, SMB	B340LB-13-F	Diodes Inc	5	D1, D2, D3, D4, D5
28	4-CH Low-cap ESD Protection, SOT457	PRTR5V0U4D,125	Nexperia	1	D6
29	12 V, single P-channel Trench MOSFET	PMPB15XP	NXP	2	Q1, Q4
30	Driver transistor 0.5A NPN, SOT-23	MMBTA05LT1G	Onsemi	2	Q2, Q3
			Subtotal	10	
IC					
31	RF Modules Type ABZ LoRa Module MCU - STM32L082	CMWX1ZZABZ-078	Murata Electronics	1	U1

No.	Description	Part No.	Manufacturer	Quantity	Designator
32	PROCESSOR SUPERVISORY CIRCUITS	TPS3823-33QDBVRQ1	TI	1	U2
33	6-36V Step Down Converter	TPS5430DDA	TI	1	U3
34	Battery Management BATRY CHRGR W/PWR PATH	ISL9301IRZ	Renesas	1	U4
35	High Efficiency Buck-Boost Regulator with 4.1A Switches	ISL91107IRTNZ-T7A	Renesas	1	U5
36	Lte Cat.M1 Module For Global Sku	BG96MC-128-SGNS	Quectel	1	U6
37	Dual SIM/Smart Card Power Supply and Interface	LTC4557EUD#PBF	Linear Tech	1	U7
38	Bidirectional voltage-level translator	NVT2006BS,118	NXP	1	U9
39	Low Loss PowerPath Controller in ThinSOT	LTC4412ES6#TRMPBF	Linear Tech	1	U10
			Subtotal	9	
Miscellaneous					
40	Antennas RF ANT 915MHZ CHIP SOLDER SMD	ACAG1204-915-T	ABRACON	1	ANT1
41	829MHz, 1.9GHz, 2.4GHz, 2.6GHz LTE Chip RF Antenna	146200-0011	Molex	1	ANT2
42	Wire-To-Board Connector, Header, 3 Contacts, 1.5 mm	87437-0343	MOLEX	1	BT1
43	WAFER Connector 2 Pins, Pitch 3.00mm, Right Angle	CP3502P1H00-S-LF	CVILUX CORP	1	H2
44	Headers & Wire Housings 1.27mm BTB, 14 Pos	20021121-00014T4LF	Amphenol	1	H3

No.	Description	Part No.	Manufacturer	Quantity	Designator
45	Micro B USB 5Pins Right Angle SMT Shell	MRUMRB05FTKTY-30U	GTK	1	J1
46	Memory Card Connectors TFR READER	47219-2001	MOLEX	1	MMC1
47	RF / Coaxial Connector, MCX Coaxial, Straight Jack	73412-0110	Molex	1	P1
48	SIM Socket, 16 Contacts, Gold Plated Contacts	78800-0001	Molex	1	SIM-D1
49	Tactile Switches 4.2x3.2x2.5mm 408gf	SKRPADE010	ALPS	1	SW1
			Subtotal	10	
			Total	90	

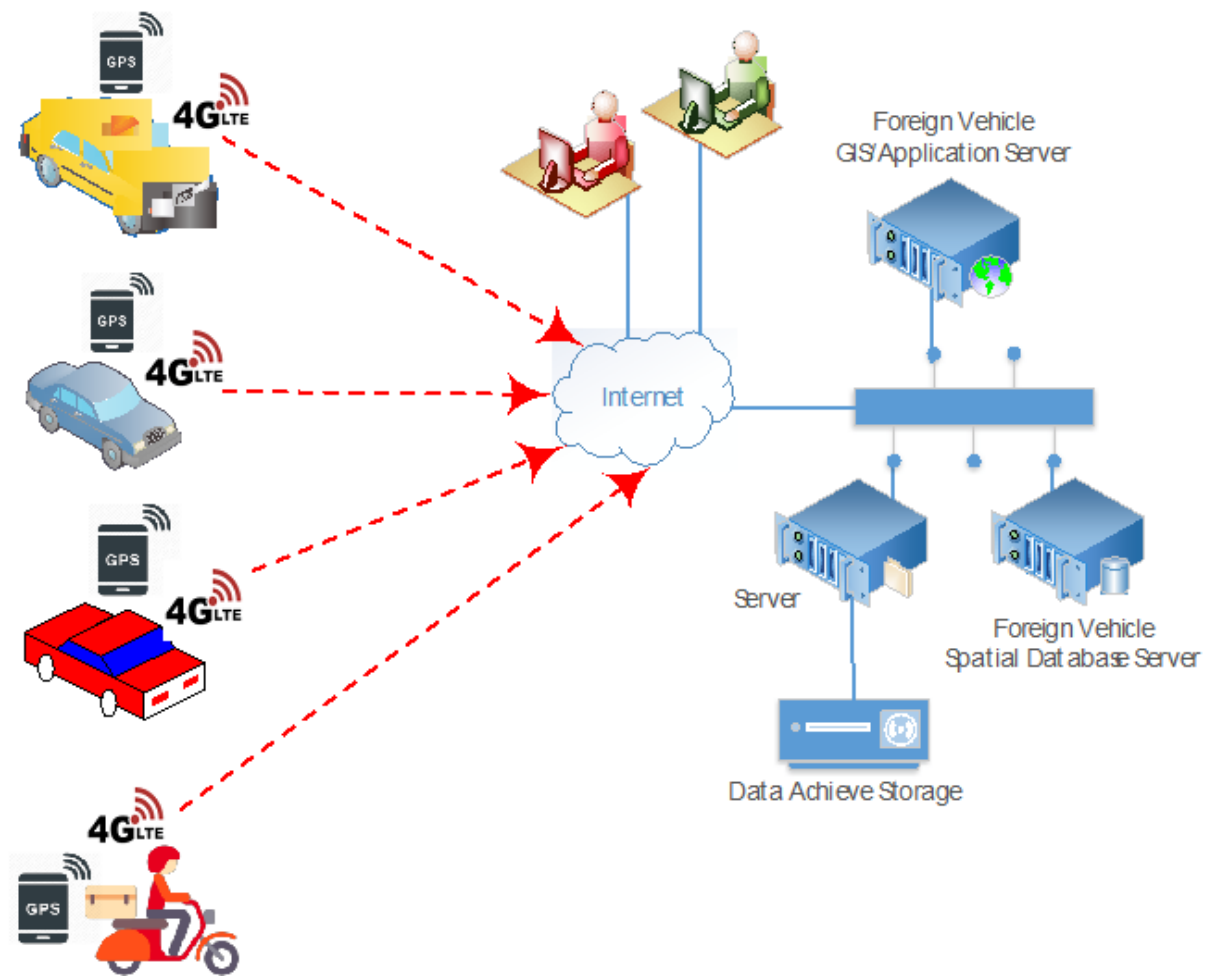
โดยในการออกแบบอุปกรณ์ที่ปรึกษาพิจารณาถึงคุณลักษณะต่างๆ ของฮาร์ดแวร์และระบบสื่อสารของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นในที่สัญจรในประเทศไทย ดังนี้

- 1) ความทนทานของแบตเตอรี่
- 2) แนวทางการเชื่อมต่อกับแหล่งพลังงานภายในรถ โดยที่ปรึกษาจะศึกษาแนวทางการเชื่อมต่อกับแหล่งพลังงานภายในรถให้เป็นไปอย่างเหมาะสมกับเงื่อนไขระยะเวลาการใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริง
- 3) แนวทางในการเชื่อมโยงข้อมูลติดตามการเดินทางจากอุปกรณ์ฯ กับใบอนุญาตการนำรถประจำถิ่นเข้ามาใช้ในราชอาณาจักรไทยเป็นการชั่วคราว
- 4) แนวทางการป้องกันเจ้าของรถแยกอุปกรณ์ติดตามรถออกจากยานพาหนะ
- 5) ความเหมาะสมในการติดตั้งเครื่องวัดหรือเซ็นเซอร์เพิ่มเติมในอุปกรณ์ เช่น
 - การติดตั้ง Gyroscope และ Accelerometer เพื่อตรวจวัดพฤติกรรมการขับขี่เมื่อมีการเบรคกะทันหันหรือการเร่งความเร็วรถอย่างรวดเร็วเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนนของรถประจำถิ่น ที่สัญจรในประเทศไทย
 - การติด RFID Tag หรือ NFC Tag เพื่อช่วยในการตรวจสอบข้อมูลใบอนุญาตฯ

โดยมีรายละเอียดในการจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบในแต่ละประเภท ดังนี้

5.1.1 การจัดทำต้นแบบอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT

การใช้เทคโนโลยีระบบการกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT ทางเลือกนี้เป็นการส่งข้อมูลจากระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกมายังฐานข้อมูลของกรมการขนส่งทางบกตามเวลาจริง (Real Time) ผ่านเครือข่าย NB-IoT ซึ่งเป็นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สายความเร็วสูงที่มีความเร็วการรับส่งข้อมูลสูงสุดที่ 100 Kbps โดยใช้ซิม 3G/4G แบบเคลื่อนที่ (3G/4G Mobile SIM) ติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์ตรวจวัดพิกัดจากดาวเทียม โดยมีรูปแบบการรับส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 การส่งข้อมูลระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกผ่านเครือข่าย NB-IoT

ขั้นตอนการศึกษา

- ศึกษาหาไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เหมาะสมสำหรับงาน
- ศึกษาการสื่อสารแบบ NB-IoT และเลือกโมดูลที่เหมาะสม
- ศึกษารูปแบบผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ในการสร้างอุปกรณ์

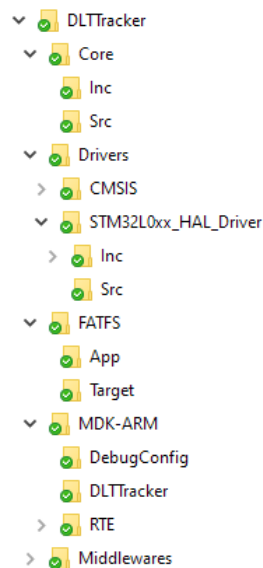
การพัฒนาทางด้านฮาร์ดแวร์

- ออกแบบวงจรทางไฟฟ้าสำหรับโมดูลแต่ละส่วนตามแผนผังอุปกรณ์
- ออกแบบวงจรทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ทั้งหมด
- ออกแบบแผ่น PCB สำหรับอุปกรณ์ตามรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้ศึกษาไว้
- ทำการผลิตแผ่น PCB
- สั่งซื้อชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับการประกอบอุปกรณ์
- ประกอบอุปกรณ์ต้นแบบ
- ทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ

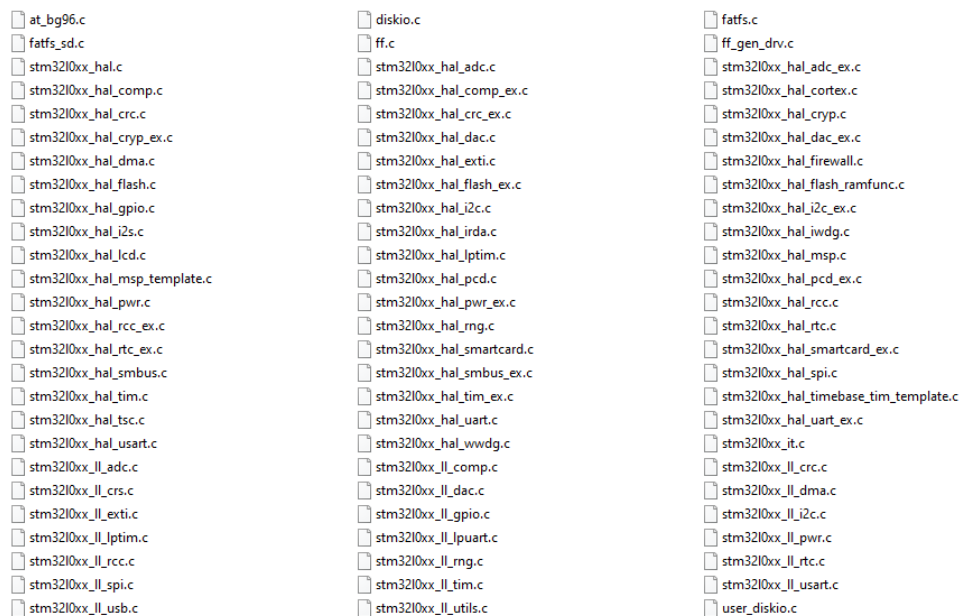
การพัฒนาทางด้านเฟิร์มแวร์

ภาษา C จะเป็นภาษาหลักที่ใช้ในการพัฒนา Firmware และใช้ Keil เป็น IDE สำหรับการพัฒนา โดย Firmware ที่จะได้รับการพัฒนาจะแบ่งเป็นส่วนๆได้แก่

- Driver ที่ใช้ควบคุม hardware
- Protocol ที่ใช้ในการสื่อสาร
- Application อื่นๆที่ใช้สำหรับการ operate อุปกรณ์



รูปที่ 5.17 รูปแสดงโครงสร้างของ Firmware ของอุปกรณ์สื่อสารผ่าน NB-IOT



รูปที่ 5.18 รูปแสดงไฟล์ Driver ทั้งหมดที่ใช้ใน Firmware ของอุปกรณ์สื่อสารผ่าน NB-IOT

UDP (User Datagram Protocol) ถูกเลือกขึ้นมาให้ใช้เป็น Protocol หลักในการสื่อสารระหว่าง NB-IOT model และ server โดยส่งแบบ ASCII base และมี format ดังนี้

[ID],[Epoch time in UTC], [Latitude*100,000],[Longitude*100,000],[Speed*10]

ตัวอย่างข้อมูล

1003, 1621491878, 1648417, 9831997, 540

อุปกรณ์ทำการติดต่อกับ server ใน port 5651 โดย server ได้ทำการนำ data เก็บไว้ใน file และจำแนกชื่อ file ตาม ID ของอุปกรณ์ดังนี้

Index of /dlt

Name	Last modified	Size	Description
 Parent Directory		-	
 1001.log	2021-05-11 19:12	10K	
 1002.log	2021-05-11 06:01	12K	
 1003.log	2021-05-08 11:03	20K	
 1004.log	2021-05-09 10:57	9.3K	
 1005.log	2021-04-20 22:58	21K	
 9999.log	2021-05-07 17:22	759	

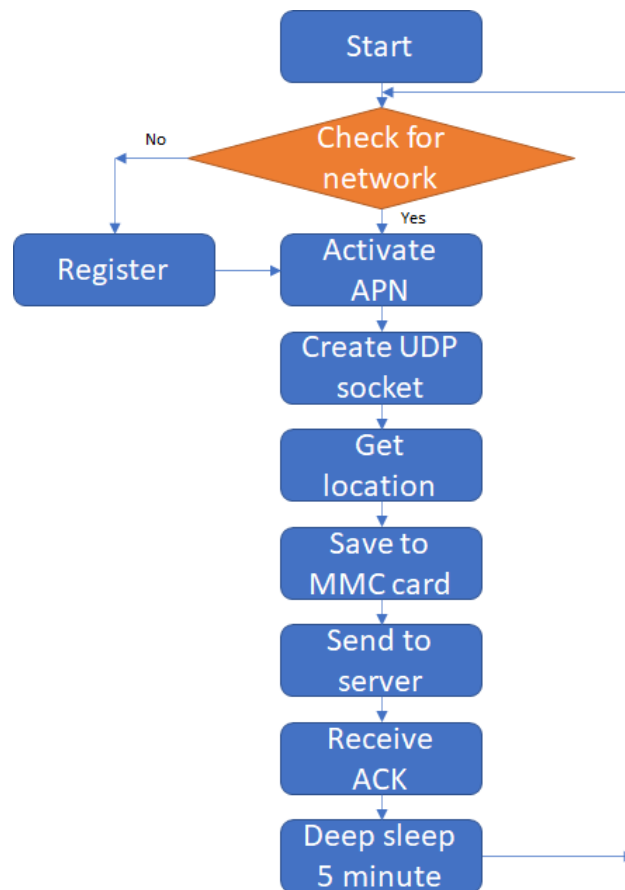
รูปที่ 5.19 รูปแสดงการเก็บข้อมูลของ server จำแนกเป็น file ตาม ID ของอุปกรณ์

```

2021-04-20,04:44:04,1003, 1621485817, 1643188, 9834625, 300
2021-04-20,04:48:53,1003, 1621486128, 1642666, 9834156, 100
2021-04-20,04:53:53,1003, 1621486428, 1642662, 9833946, 50
2021-04-20,04:59:27,1003, 1621486729, 1642662, 9833990, 0
2021-04-20,05:10:21,1003, 1621487337, 1642639, 9834098, 90
2021-04-20,05:14:35,1003, 1621487637, 1642665, 9833990, 0
2021-04-20,05:19:26,1003, 1621487939, 1642665, 9833990, 0
2021-04-20,05:24:14,1003, 1621488238, 1642695, 9833991, 90
2021-04-20,05:29:11,1003, 1621488547, 1642864, 9833792, 0
2021-04-20,05:34:14,1003, 1621488847, 1642864, 9833794, 0
2021-04-20,05:39:17,1003, 1621489147, 1642864, 9833794, 0
2021-04-20,05:44:20,1003, 1621489458, 1642863, 9833794, 0
2021-04-20,05:49:22,1003, 1621489757, 1642863, 9833794, 0
2021-04-20,05:57:41,1003, 1621490057, 1643107, 9833980, 220
2021-04-20,05:59:41,1003, 1621490357, 1644354, 9834461, 510
2021-04-20,07:50:31,1003, 1621490967, 1645992, 9835125, 520
2021-04-20,07:50:32,1003, 1621490667, 1645299, 9835004, 0
2021-04-20,07:50:37,1003, 1621491268, 1645595, 9832794, 570
2021-04-20,07:50:38,1003, 1621491569, 1646378, 9832183, 530
2021-04-20,07:50:42,1003, 1621491878, 1648417, 9831997, 540
2021-04-20,07:50:43,1003, 1621492178, 1648667, 9832429, 0
2021-04-20,07:50:52,1003, 1621492478, 1648709, 9832456, 0
2021-04-20,07:50:54,1003, 1621492781, 1648714, 9832455, 0
2021-04-20,07:57:48,1003, 1621493687, 1648689, 9832443, 0
2021-04-20,07:58:00,1003, 1621493387, 1648689, 9832443, 0
2021-04-20,07:58:02,1003, 1621493990, 1648689, 9832444, 0
2021-04-20,07:58:17,1003, 1621494298, 1648692, 9832450, 0
2021-04-20,07:58:20,1003, 1621494598, 1647718, 9831848, 420
2021-04-20,07:58:32,1003, 1621494897, 1645938, 9832144, 0
2021-04-20,07:58:35,1003, 1621495207, 1645933, 9832148, 0
2021-04-20,07:58:52,1003, 1621495507, 1645936, 9832142, 0
2021-04-20,07:58:57,1003, 1621495808, 1645935, 9832146, 0
2021-04-20,07:59:09,1003, 1621496108, 1645935, 9832144, 0
2021-04-20,07:59:12,1003, 1621496410, 1645527, 9832404, 230
2021-04-20,07:59:32,1003, 1621496711, 0, 0, 0
2021-04-20,07:59:35,1003, 1621497018, 1643510, 9834187, 630
2021-04-20,07:59:50,1003, 1621497325, 1642967, 9834307, 0
2021-04-20,08:00:56,1003, 1621497626, 1642969, 9834298, 0
2021-04-20,08:05:55,1003, 1621497927, 1642969, 9834302, 0
2021-04-20,08:10:51,1003, 1621498227, 1642967, 9834306, 0
2021-04-20,08:15:49,1003, 1621498536, 1642972, 9834288, 0
2021-04-20,08:20:54,1003, 1621498838, 1642976, 9834287, 0
2021-04-20,08:26:21,1003, 1621499141, 1642963, 9834366, 290
2021-04-20,08:30:58,1003, 1621499442, 1643640, 9834225, 560
2021-04-21,01:18:17,1003, 1621558295, 1642953, 9834123, 0
2021-04-21,01:18:26,1003, 1621558595, 1642952, 9834123, 0
2021-04-21,01:18:30,1003, 1621558896, 1642949, 9834124, 0
2021-04-21,01:18:38,1003, 1621559205, 1642948, 9834124, 0
2021-04-21,01:18:39,1003, 1621559505, 1642949, 9834126, 0
2021-04-21,01:18:47,1003, 1621559805, 1642951, 9834124, 0
2021-04-21,01:21:58,1003, 1621560116, 1643404, 9835060, 0
2021-04-21,01:27:02,1003, 1621560418, 1643497, 9835255, 0
2021-04-21,01:32:16,1003, 1621560713, 1643499, 9835257, 0
2021-04-21,01:37:07,1003, 1621561023, 1643495, 9835260, 0
2021-04-21,01:42:18,1003, 1621561323, 1643495, 9835260, 0
2021-04-21,01:47:12,1003, 1621561623, 1643495, 9835259, 0
2021-04-21,01:52:27,1003, 1621561924, 1643497, 9835258, 0

```

รูปที่ 5.20 ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกเก็บใน Server



รูปที่ 5.21 Flow chart การทำงานของอุปกรณ์ส่งข้อมูลผ่าน NB-IOT

โดยรายละเอียดภายนอกของอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 5.22 ซึ่งอุปกรณ์มีกรอบพลาสติกภายนอกที่เป็นพลาสติกเหนียวแข็งอย่างดี มีความหนาของพลาสติกประมาณ 2 mm.ซึ่งมีความแข็งแรงสามารถป้องกันอุปกรณ์แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์และแบตเตอรี่ซึ่งถูกติดตั้งไว้ภายในจากการถูกกระแทกหรือตกหล่นให้มีความปลอดภัยและสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี โดยกรอบพลาสติกภายนอกของอุปกรณ์สามารถเปิดออกเพื่อบำรุงรักษาได้อุปกรณ์ภายในได้ รูปที่ 5.23 แสดงแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT และแบตเตอรี่ ซึ่งมีความละเอียดอ่อน ทั้งนี้แผงวงจรไม่ควรถูกกระแทกโดยตรง อาจทำให้แผงวงจรเสียหายส่งผลให้อุปกรณ์ไม่สามารถใช้งานได้ และแบตเตอรี่สามารถถอดแยกออกจากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อสามารถเป็นแบตเตอรี่ได้เมื่อแบตเตอรี่เสื่อมสภาพ



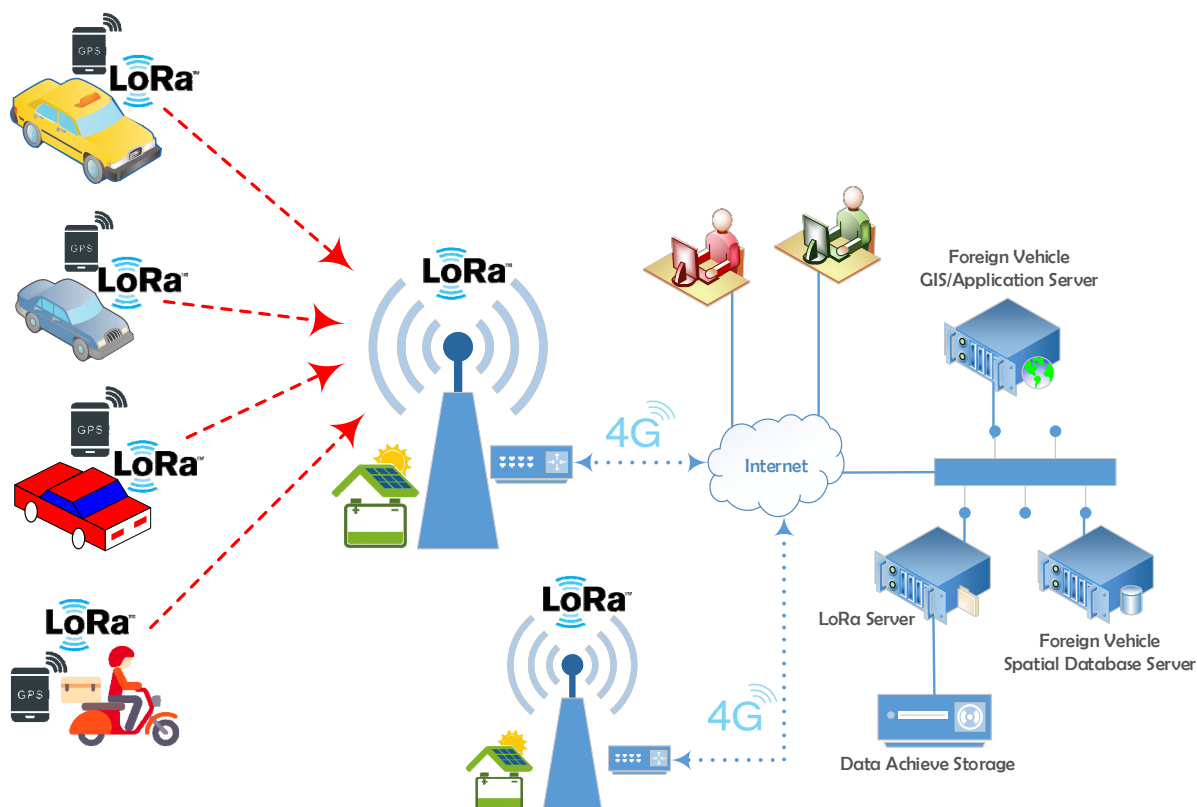
รูปที่ 5.22 รูปอุปกรณ์ต้นแบบชนิด GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT



รูปที่ 5.23 ลักษณะภายในของอุปกรณ์ต้นแบบชนิด GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT

5.1.2 การจัดทำต้นแบบอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa

การใช้เทคโนโลยีระบบการกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านการสื่อสารแบบ ลอรา (LoRa) ทางเลือกนี้เป็นการส่งข้อมูลจากระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกมายังฐานข้อมูล ของกรรมการขนส่งทางบกตามช่วงเวลาในขณะที่รถสัญจรผ่านตำแหน่งที่ติดตั้งเสารับสัญญาณที่เครือข่าย LoRa (Long Range Gateway) ซึ่งเทคโนโลยีนี้เป็นเครือข่ายสื่อสาร แบบกว้างที่มีการใช้พลังงานต่ำ โดยในปัจจุบัน บริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) (CAT Telecom Public Company Limited) เป็นรายแรกที่เปิด บริการเครือข่าย LoRa ในปี พ.ศ. 2561 และจะเปิดให้บริการครอบคลุมทั่วประเทศในปี 2563 โดยมีรูปแบบการ รับส่งข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 5.24



รูปที่ 5.24 การส่งข้อมูลระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกผ่านเครือข่ายลอรา (LoRa)

ขั้นตอนการศึกษา

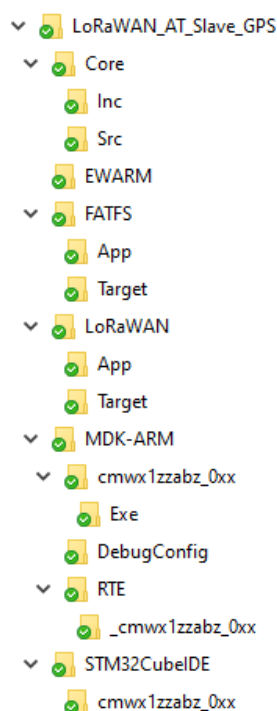
- ศึกษาการสื่อสารแบบอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa และเลือกโมดูลที่เหมาะสม
- ศึกษารูปแบบผลิตภัณฑ์ที่จะใช้ในการสร้างอุปกรณ์

การพัฒนาทางด้านฮาร์ดแวร์

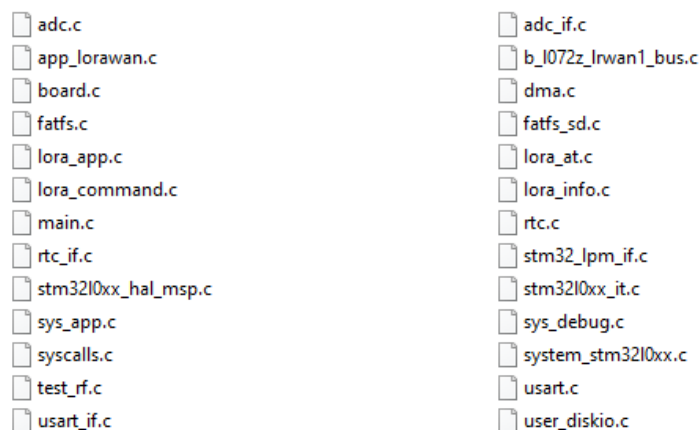
- ออกแบบวงจรทางไฟฟ้าสำหรับโมดูลเพิ่มเติม
- ออกแบบวงจรทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ทั้งหมด
- ออกแบบแผ่น PCB สำหรับอุปกรณ์ตามรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้ศึกษาไว้
- ทำการผลิตแผ่น PCB
- สั่งซื้อชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับการประกอบอุปกรณ์
- ประกอบอุปกรณ์ต้นแบบ
- ทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ

การพัฒนาทางด้านเฟิร์มแวร์

การพัฒนา firmware ของอุปกรณ์ติดตามสื่อสารผ่าน LoRa จะใช้โครงสร้างของ firmware เดียวกันกับแบบสื่อสารผ่าน NB-IOT แต่จะมีรูปแบบการสื่อสารที่ต่างกันโดยสิ้นเชิง ซึ่งการพัฒนาในครั้งนี้ได้ใช้โครงข่าย LoRa ของทาง CAT Telecom เป็นโครงข่ายหลัก และส่งข้อมูลไปยัง server ของทาง CAT Telecom



รูปที่ 5.25 รูปแสดงโครงสร้างของ Firmware ของอุปกรณ์สื่อสารผ่าน LoRa



รูปที่ 5.26 รูปแสดงไฟล์ Driver ทั้งหมดที่ใช้ใน Firmware ของอุปกรณ์สื่อสารผ่าน LoRa

รูปแบบการส่งข้อมูลของ LoRa ที่เลือกใช้ในการพัฒนาครั้งนี้จะเป็นแบบ ABP ซึ่งเหมือนกับการ Broadcast ข้อมูลออกไปยังเครือข่าย LoRa ซึ่งต้องมีการกำหนด Device Address เข้ามาเพิ่มเติม โดยมีรายละเอียดของ Parameter ที่ใช้ดังนี้

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงรายละเอียดของ Parameter ที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่าน CAT LoRa

Activation Type	ABP
Device EUI	393435375D37640F*
Device Address	386F0320*
Network Session Key	2B7E151628AED2A6ABF7158809CF4F3C
Application Session Key	2B7E151628AED2A6ABF7158809CF4F3C
Device Profiles	LoRaWAN 1.0 Class A – AS923 - Generic

*ขึ้นอยู่กับแต่ละอุปกรณ์

ข้อมูล Payload ที่อุปกรณ์ส่งไปยัง CAT Server นั้นจะเป็นในรูปของ Payload ขนาด 10 Byte ซึ่งเวลาของข้อมูลที่จะนำมาใช้เป็นเวลาที่ Server ได้รับค่า และมี Format ดังนี้

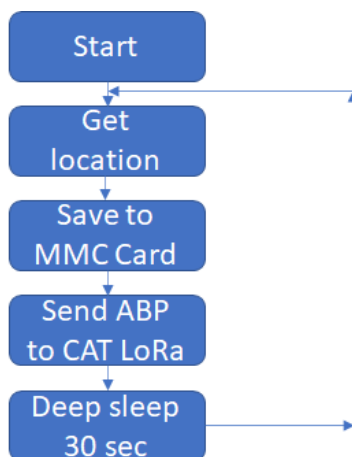
ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงรายละเอียด Payload ที่ส่งไปยัง CAT LoRa

Byte 0	Byte 1	Byte 2	Byte 3	Byte 4	Byte 5	Byte 6	Byte 7	Byte 8	Byte 9
Latitude * 1,000,000				Longitude * 1,000,000				Speed * 10	

Logger Data

Timestamp	Device Address	DevEUI	Payload	FPort	FCnt A	FCnt W	RSSI	SNR	SubBand	Channel	LRR ID	Ack	Delivery Status	RX1	RX2	Beacon
11/05/2021 19:05:38	386F0320	393435375D37640F	00ce0f305fb386800d5	1	32	3	-103.000000	-2.000000	G1	LC1	10000787	-	-	-	-	-
11/05/2021 19:05:07	386F0320	393435375D37640F	00ce0f9e05fb3e00009d	1	31	3	-113.000000	1.000000	G1	LC2	10000787	-	-	-	-	-
11/05/2021 19:03:36	386F0320	393435375D37640F	00ce10a905fb41d000f1	1	28	3	-116.000000	-8.500000	G1	LC2	10000787	-	-	-	-	-
11/05/2021 19:03:05	386F0320	393435375D37640F	00ce0fb805fb38b00124	1	27	3	-103.000000	-9.500000	G1	LC1	10000787	-	-	-	-	-
11/05/2021 19:00:03	386F0320	393435375D37640F	00ce04405fb38a8011e	1	21	2	-112.000000	-1.000000	G1	LC2	10000787	-	-	-	-	-
11/05/2021 18:55:59	386F0320	393435375D37640F	00ce0e6305fb2d180107	1	13	2	-103.000000	-13.250000	G1	LC1	10000787	-	-	-	-	-
11/05/2021 18:54:58	386F0320	393435375D37640F	00ce0e4205fb35e0009e	1	11	1	-110.000000	2.750000	G1	LC2	10000787	-	-	-	-	-
11/05/2021 12:14:48	2735033A	3934353763378E10	00fae80e05dc86000000	1	304	27	-119.000000	-14.750000	G1	LC2	100002E1	-	-	-	-	-
11/05/2021 12:13:47	2735033A	3934353763378E10	00fae80605dc86000000	1	302	26	-119.000000	-16.000000	G1	LC2	100002E1	-	-	-	-	-
11/05/2021 12:12:15	2735033A	3934353763378E10	00fae80505dc86000000	1	299	25	-119.000000	-9.250000	G1	LC2	100002E1	-	-	-	-	-
11/05/2021 12:10:44	2735033A	3934353763378E10	00fae77605dc84000000	1	296	24	-119.000000	-12.000000	G1	LC1	100002E1	-	-	-	-	-
11/05/2021 12:10:14	2735033A	3934353763378E10	00fae77605dc84000000	1	295	24	-117.000000	-15.000000	G1	LC1	100002E1	-	-	-	-	-
11/05/2021 12:09:43	2735033A	3934353763378E10	00fae77905dc84000000	1	294	23	-118.000000	-13.000000	G1	LC1	100002E1	-	-	-	-	-
11/05/2021 12:09:13	2735033A	3934353763378E10	00fae77a05dc83d80000	1	293	23	-120.000000	-12.750000	G1	LC1	100002E1	-	-	-	-	-
11/05/2021 12:07:42	2735033A	3934353763378E10	00fae76605dc83d80000	1	290	23	-119.000000	-12.500000	G1	LC2	100002E1	-	-	-	-	-

รูปที่ 5.27 ตัวอย่างข้อมูลที่ส่งไปยัง server ของ CAT LoRa



รูปที่ 5.28 Flow chart การทำงานของอุปกรณ์ส่งข้อมูลผ่าน LoRa ผนวกกับ GPS บอภพักัด

โดยรายละเอียดภายนอกของอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 5.29 ซึ่งอุปกรณ์มีกรอบพลาสติกภายนอกที่เป็นพลาสติกเหนียวแข็งอย่างดี มีความหนาของพลาสติกประมาณ 2 mm.ซึ่งมีความแข็งแรงสามารถป้องกันอุปกรณ์แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์และแบตเตอรี่ซึ่งถูกติดตั้งไว้ภายในจากการถูกกระแทกหรือตกหล่นให้มีความปลอดภัยและสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี โดยกรอบพลาสติกภายนอกของอุปกรณ์สามารถเปิดออกเพื่อบำรุงรักษาได้อุปกรณ์ภายในได้ รูปที่ 5.30 แสดงแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa และแบตเตอรี่ ซึ่งมีความละเอียดอ่อน ทั้งนี้แผงวงจรไม่ควรถูกกระแทกโดยตรง อาจทำให้แผงวงจรเสียหายส่งผลให้อุปกรณ์ไม่สามารถใช้งานได้ และแบตเตอรี่สามารถถอดแยกออกจากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสามารถเป็นแบตเตอรี่ได้เมื่อแบตเตอรี่เสื่อมสภาพ



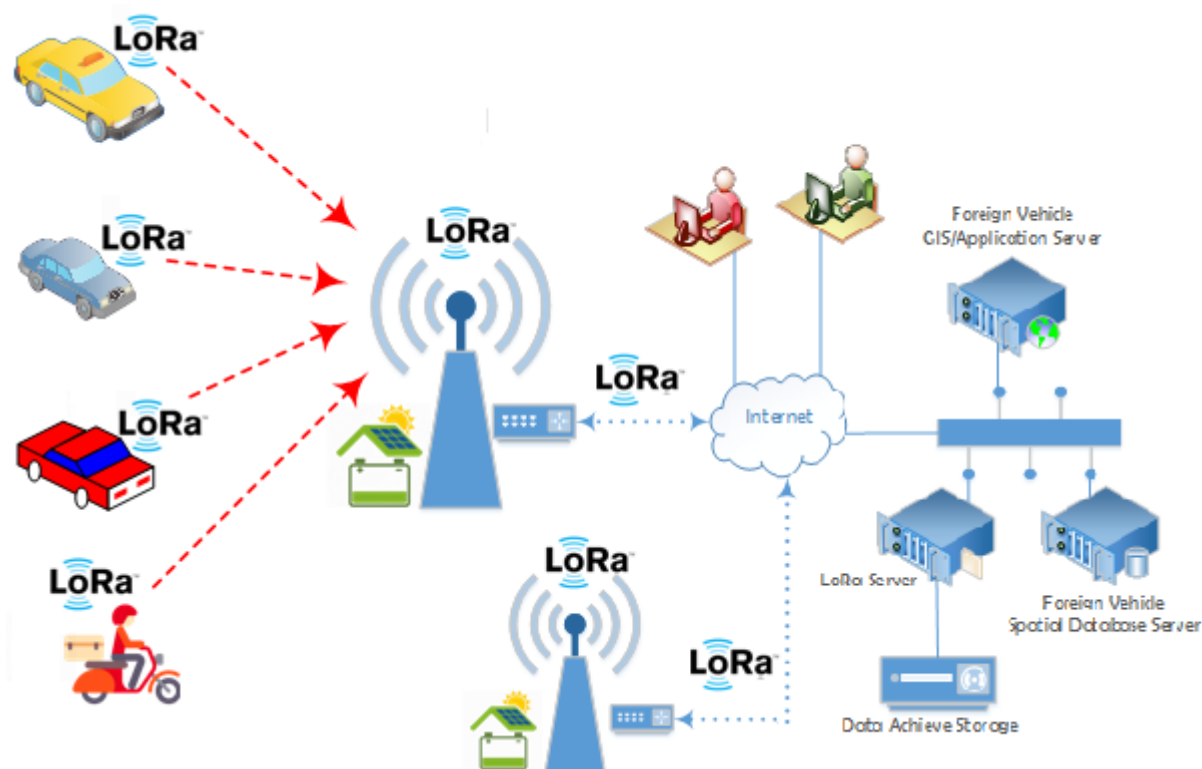
รูปที่ 5.29 รูปอุปกรณ์ต้นแบบชนิด GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa



รูปที่ 5.30 ลักษณะภายในของอุปกรณ์ต้นแบบชนิด GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa

5.1.3 การจัดทำต้นแบบอุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa

การใช้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายแบบลอรา (LoRa) เพียงอย่างเดียวโดยตรวจสอบสถานีรับสัญญาณ (LoRa Gateway) ที่ยานพาหนะข้ามพรมแดนเดินทางผ่านในแต่ละช่วงเวลา ทางเลือกนี้เป็นการส่งข้อมูลจากระบบเครือข่าย LoRa (Long Range Gateway) มายังฐานข้อมูลของกรมการขนส่งทางบกตามช่วงเวลาในขณะที่รถสัญจรผ่านตำแหน่งที่ติดตั้งเสารับสัญญาณที่เครือข่าย LoRa (Long Range Gateway) ซึ่งเทคโนโลยีนี้เป็นเครือข่ายสื่อสารแบบกว้างที่มีการใช้พลังงานต่ำ โดยในปัจจุบันบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) (CAT Telecom Public Company Limited) เป็นรายแรกที่เปิดบริการเครือข่าย LoRa ในปี พ.ศ. 2561 และจะเปิดให้บริการครอบคลุมทั่วประเทศในปี 2563 โดยมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 5.31



รูปที่ 5.31 การส่งข้อมูลระบบตรวจวัดผ่านเครือข่ายลอรา (LoRa)

หากอุปกรณ์มีความต้องการในด้านการประหยัดพลังงานสูงสุด อุปกรณ์จะไม่สามารถนำความสามารถของ GPS มาใช้ในการบอกตำแหน่งได้ แต่จากการทดสอบนั้นเราสามารถระบุพิกัดโดยคร่าวๆของอุปกรณ์ได้ผ่าน LoRa Station ID และค่าบ่งชี้ความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (Received Signal Strength Indicator, RSSI) โดยเราจำเป็นต้องรู้พิกัดของ LoRa Station นั้นๆ ก่อน ผสมกับค่า RSSI เพียงเท่านี้เราก็จะสามารถหาตำแหน่งของอุปกรณ์อย่างคร่าวๆได้ ตัวอย่างเช่น

Logger Data

	Timestamp	Device Address	RSSI	LRR ID
↑	11/05/2021 19:05:38	386F0320	-103.000000	10000787
↑	11/05/2021 19:05:07	386F0320	-113.000000	10000787

รูปที่ 5.32 รูปแสดงตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการหาตำแหน่งจาก LoRa Station

จากรูป จะทราบได้ว่า ณ เวลา 19:05:39 อุปกรณ์ Device Address 386F0320 สามารถส่งข้อมูลมายัง LRR ID 10000787 โดยมีความแรงสัญญาณที่ -103 ซึ่งสามารถคำนวณหาระยะห่างจากสัญญาณได้จาก

$$\text{Distance} = 10^{\left(\frac{\text{Measure Power} - \text{RSSI}}{10 \times N}\right)}$$

โดยที่

Distance คือระยะระหว่างอุปกรณ์และ LoRa Station

Measure Power คือ ค่า RSSI ที่วัดได้ในระยะ 1 เมตร

RSSI คือ ค่า RSSI ที่อุปกรณ์วัดได้

N คือ ค่าคงที่ ที่ขึ้นอยู่ในสภาพแวดล้อม (มีค่าประมาณ 2-4)

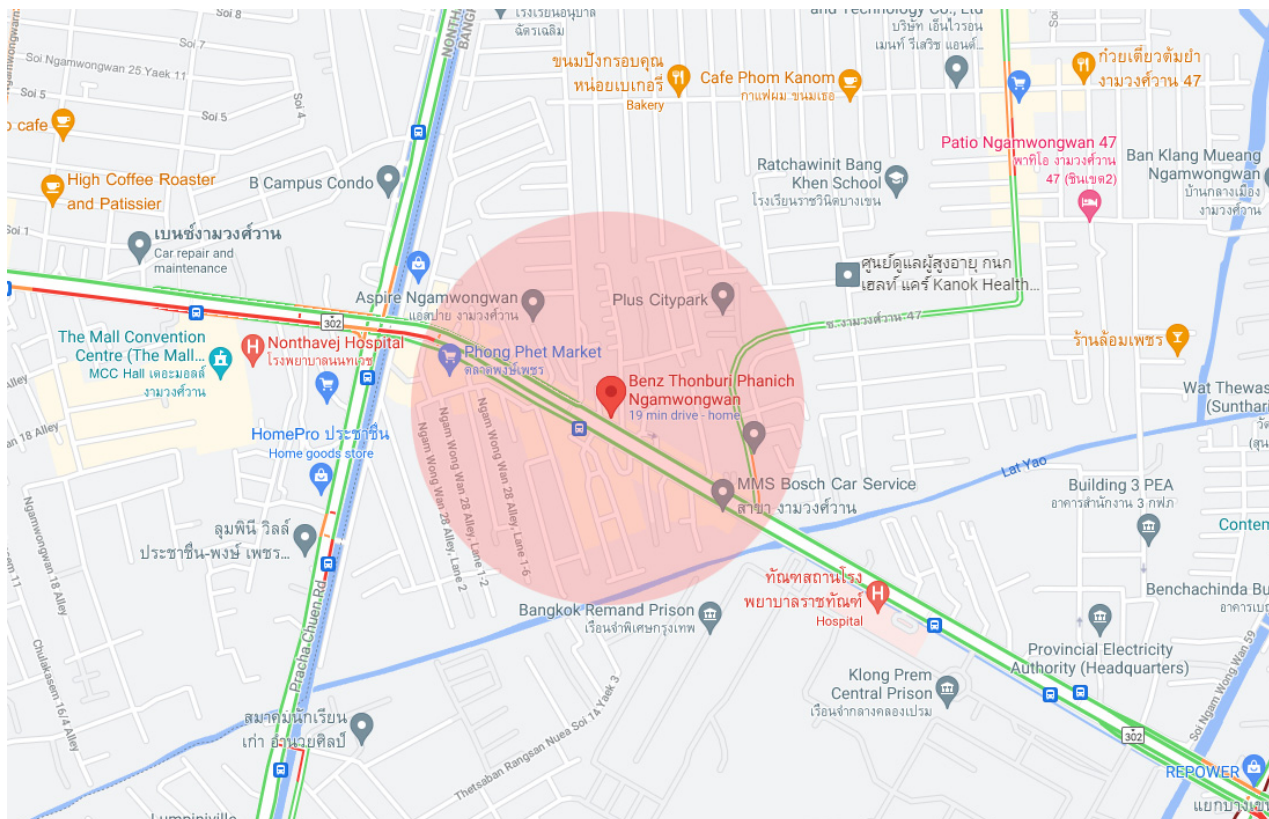
และในการทดสอบนี้เราจะกำหนดให้ Measure power มีค่าที่ -55 และ N = 2 หากนำค่า RSSI ที่ได้เข้าไปแทนในสมการ ทำให้ทราบได้ว่า ระยะห่างระหว่างอุปกรณ์กับเสาสัญญาณคือ

$$\text{Distance} = 10^{\left(\frac{(-55) - (-103)}{10 \times 2}\right)}$$

$$\text{Distance} = 10^{\left(\frac{48}{20}\right)}$$

$$\text{Distance} = 251 \text{ m}$$

นั่นหมายความว่าอุปกรณ์อยู่ห่างจากเสา 251 เมตร หากเสา LRR ID 10000787 ตั้งอยู่ที่ Latitude 13.854353 และ Longitude 100.549622 เราจะสามารถหาบริเวณที่อุปกรณ์อยู่ได้ ดังรูปที่ 5.33 แต่ทั้งนี้การใช้งานอุปกรณ์ชนิดนี้ จำเป็นต้องขอตำแหน่งของ LRR ID จากทาง CAT Telecom มาทั้งหมด



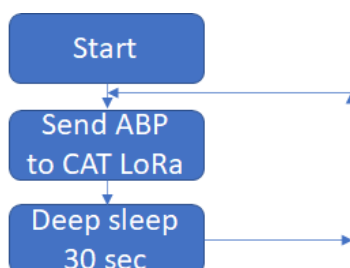
รูปที่ 5.33 แผนที่แสดงบริเวณอุปกรณ์ด้วยวิธีการประมาณตำแหน่งด้วย RSSI และ LRR ID

การพัฒนาทางด้านฮาร์ดแวร์

การออกแบบจะเหมือนกับอุปกรณ์สื่อสารแบบ NB-IOT ทุกประการ แตกต่างกันเพียงแค่ว่าไม่ได้ใช้คุณสมบัติการสื่อสารผ่าน NB-IOT, GPS, MMC Card เท่านั้น (ไม่ได้ใส่ Sim Card และ MMC Card)

การพัฒนาทางด้านเฟิร์มแวร์

การพัฒนา Firmware จะใช้พื้นฐานของอุปกรณ์สื่อสารผ่าน LoRa ผสมกับ GPS เพื่อหาพิกัด แต่มีการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 5.34 Flow chart การทำงานของอุปกรณ์ส่งข้อมูลผ่าน LoRa โดยหาพิกัดจาก LoRa station

โดยรายละเอียดภายนอกของอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 5.35 ซึ่งอุปกรณ์มีกรอบพลาสติกภายนอกที่เป็นพลาสติกเหนียวแข็งอย่างดี มีความหนาของพลาสติกประมาณ 2 mm. ซึ่งมีความแข็งแรงสามารถป้องกันอุปกรณ์แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์และแบตเตอรี่ซึ่งถูกติดตั้งไว้ภายในจากการถูกกระแทกหรือตกหล่นให้มีความปลอดภัยและสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี โดยกรอบพลาสติกภายนอกของอุปกรณ์สามารถเปิดออกเพื่อบำรุงรักษาได้อุปกรณ์ภายในได้ รูปที่ 5.36 แสดงแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa และแบตเตอรี่ ซึ่งมีความละเอียดอ่อน ทั้งนี้แผงวงจรไม่ควรถูกกระแทกโดยตรง อาจทำให้แผงวงจรเสียหายส่งผลให้อุปกรณ์ไม่สามารถใช้งานได้ และแบตเตอรี่สามารถถอดแยกออกจากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อสามารถเป็นแบตเตอรี่ได้เมื่อแบตเตอรี่เสื่อมสภาพ



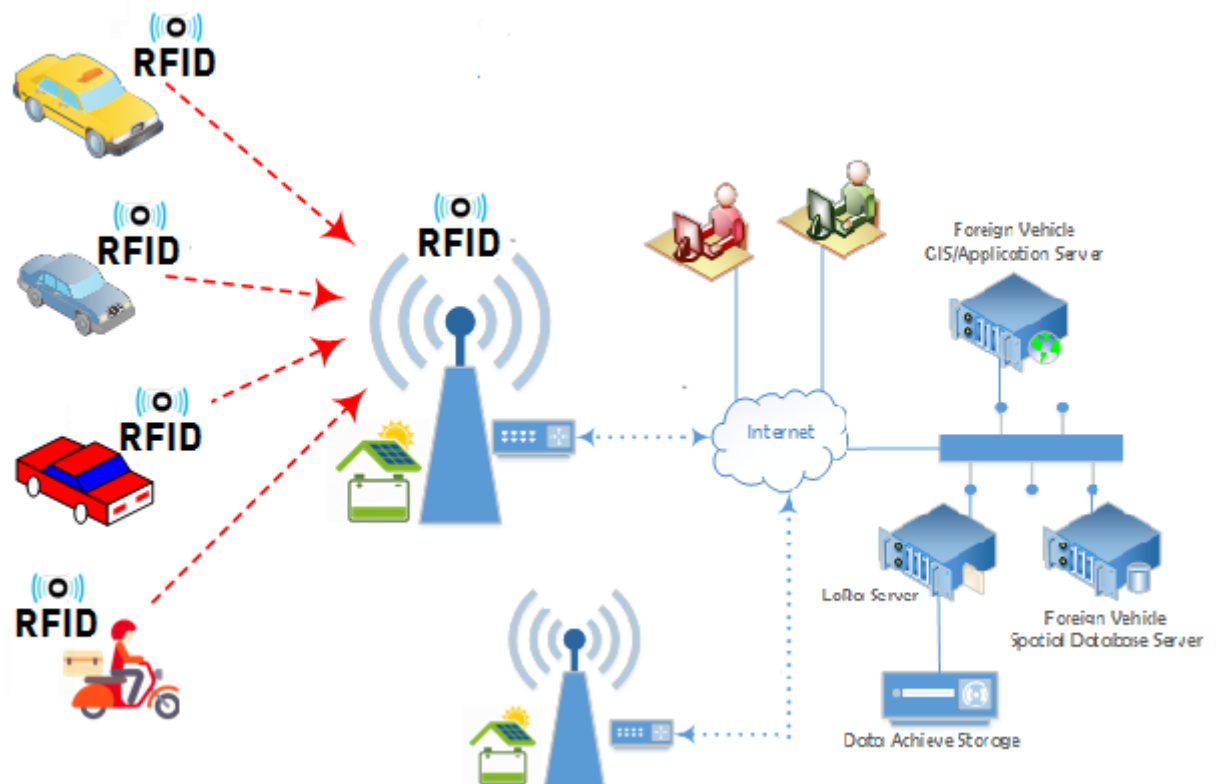
รูปที่ 5.35 รูปอุปกรณ์ต้นแบบชนิด Lora



รูปที่ 5.36 ลักษณะภายในของอุปกรณ์ต้นแบบชนิด Lora

5.1.4 การจัดทำต้นแบบอุปกรณ์สื่อสารชนิด RFID

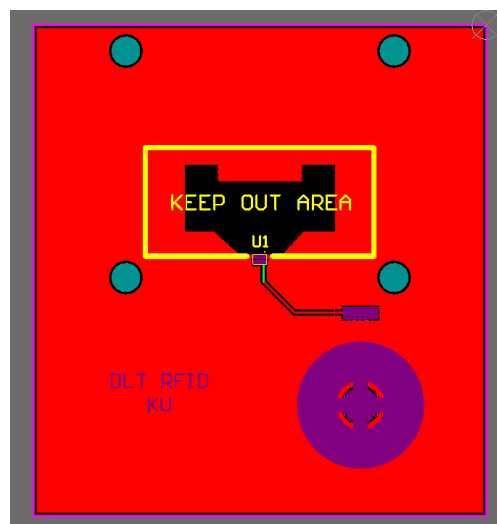
การใช้ระบบ RFID เพียงอย่างเดียว โดยตรวจสอบตำแหน่งเครื่องตรวจรับสัญญาณที่ยานพาหนะข้ามพรมแดนเดินทางผ่านในแต่ละช่วงเวลาทางเลื่อกนี้เป็นการส่งข้อมูลจากระบบเครือข่ายระบบ RFID มายังฐานข้อมูลของกรมการขนส่งทางบกตามช่วงเวลาในขณะที่รถสัญจรผ่านตำแหน่งที่ติดตั้งเสารับสัญญาณที่เครือข่าย RFID โดยมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 5.37



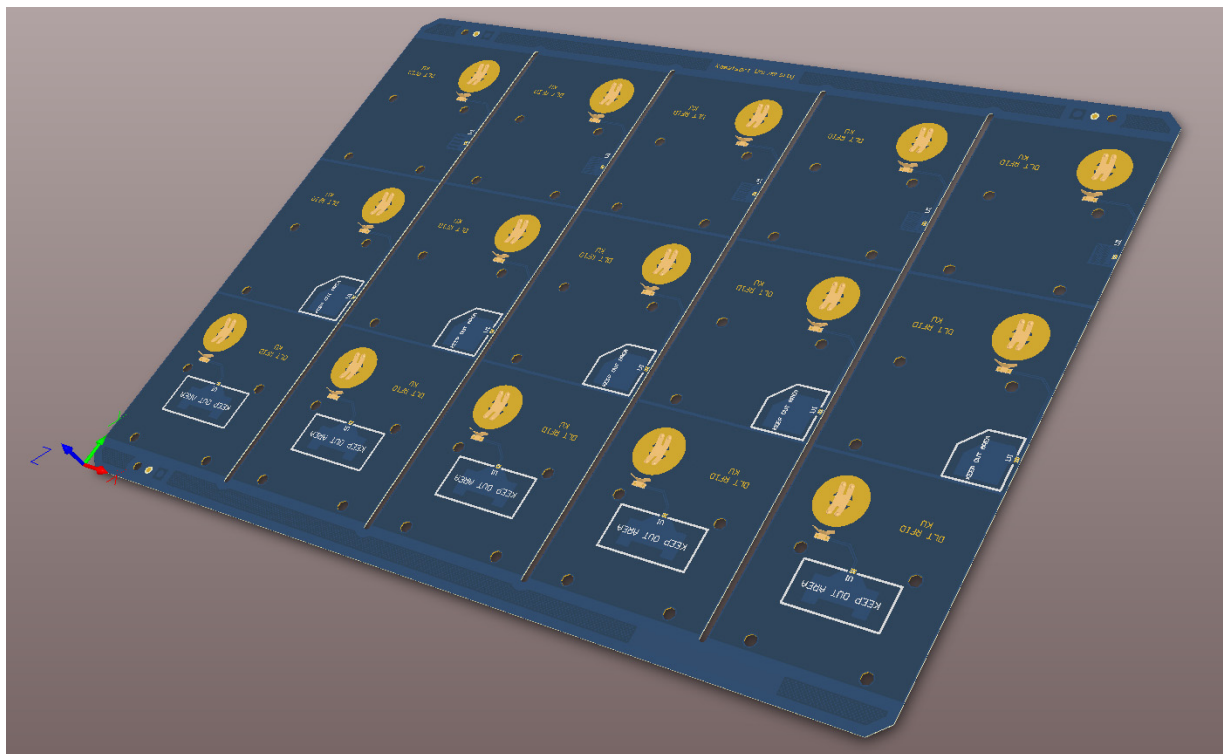
รูปที่ 5.37 การส่งข้อมูลระบบตรวจวัดผ่านเครือข่ายระบบ RFID

การออกแบบ PCB

PCB ที่ออกแบบจะใช้แบบ Single Layer ความหนา 1.6 วัสดุรองรับแบบ FR4 ซึ่งสามารถผลิตได้ในประเทศ อุปกรณ์ RFID นั้นมีความสำคัญมากที่สุดอยู่ที่เสาอากาศ การออกแบบต้องมีความแม่นยำสูง



รูปที่ 5.38 แผนผัง PCB ของ RFID Tag



รูปที่ 5.39 รูปแผ่น PCB แบบ 3D ของ RFID Tag ที่พร้อมนำไปผลิต



รูปที่ 5.40 รูป Enclosure ของ RFID Tag แบบ Battery Assist

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงรายการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดที่อยู่ในแผงวงจร RFID

No.	Description	Part No.	Manufacturer	Quantity	Designator
IC					
1	RFID Transponder IC 840MHz ~ 960MHz ISO 18000-6, EPC - 1.8V 6-XFDFN	SL3S1203FTB0,115	NXP	1	U1
			Subtotal	9	
Miscellaneous					
2	Battery Contact Spring (Leaf)	112TR	Keystone	1	BT1-1
3	Battery Contact Spring (Leaf)	110TR	Keystone	1	BT1-2
4	Coin, 24.5mm Lithium Manganese Dioxide Battery Non-Rechargeable (Primary)	CR2450	Panasonic	1	BT1
			Subtotal	10	
			Total	90	

การพัฒนา Software และการตั้งค่าระบบ

ตัว RFID Tag นั้นไม่จำเป็นต้องมีการเขียน Firmware ลงไป เนื่องจาก Tag นั้นมีหน้าที่แค่ส่งค่า ID ที่ได้ตั้งเอาไว้ล่วงหน้า กลับมายัง RFID Reader หากแต่ต้องทำการเขียน Software บน Linux ใน Embedded Linux Board เพื่อทำการดึงค่าที่ได้จาก Tag ใน Reader นำมาเก็บไว้ใน Database ที่บรรจุไว้ใน USB Storage ของบอร์ด Embedded Linux

การสื่อสารระหว่าง RFID Reader และ Embedded Linux Board จะใช้การสื่อสารแบบ UDP และรูปแบบในการส่งข้อมูลเป็นแบบ Notify กล่าวคือ เมื่อ RFID Reader ตรวจเจอ RFID Tag แล้วจะทำการเก็บค่าไว้ใน Buffer และ Notify ไปยัง Embedded Linux Board ผ่าน UDP และ Port ที่ได้กำหนดไว้ จากนั้น Embedded Linux Board ก็ทำการเขียนข้อมูลลง Database แบบ Sqlite ที่เก็บ Database File ไว้ใน USB Storage

ที่ปรึกษาศึกษาเทคโนโลยีของ RFID ที่จะนำมาใช้งาน โดยโครงสร้างของระบบ RFID ประกอบไปด้วย RFID Tag และ Reader โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- 1) RFID Tags ที่พัฒนาขึ้นใช้มาตรฐานการระบุตัวตนแบบ EPC Gen 2 ซึ่งเป็น Active RFID Tags ดังแสดงในรูปที่ 5.41 ซึ่งแท็กชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรภายในทำงาน แท็กชนิดนี้ มีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ และสามารถอ่านได้ในระยะไกลสูงสุดประมาณ 10 เมตร โดยแท็กมีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัดตามพลังงานของแบตเตอรี่ที่นำมาใช้งาน โดย RFID Tag ที่พัฒนาขึ้น จะถูกนำมาใช้ร่วมกับ RFID Antenna ดังแสดงในรูปที่ 5.42 ซึ่งเป็นขดลวดขนาดเล็ก ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุจาก RFID Tags
- 2) RFID Reader จะเป็นการจัดหาเข้ามาใช้งานโดยทำการเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมและรับส่งข้อมูลที่ทำงานด้วยระบบ Embedded Linux เพื่อควบคุม Reader และส่งค่าไปยังระบบผ่าน Internet ดังแสดงในรูปที่ 5.43 โดยใช้ RFID Reader ยี่ห้อ Alienware รุ่น ALR-9650 ซึ่งเลือกนำมาใช้งานในการพัฒนาครั้งนี้ โดยคุณสมบัติของ RFID reader รุ่นนี้ประกอบไปด้วย
 - รองรับการสื่อสารมาตรฐาน EPC-Gen 2
 - มีเสาอากาศภายใน
 - สามารถเพิ่มพื้นที่การอ่าน Tag ได้ด้วยเสาอากาศภายนอก
 - สามารถสื่อสารผ่าน UDP
 - ระยะการอ่านมากกว่า 10 เมตร

ในส่วนของ Embedded Linux Board จะนำ Raspberry PI Model 4 มาใช้ในงาน เนื่องจากมีความเสถียรและสามารถเพิ่มอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลได้ผ่านช่อง USB ดังแสดงในรูปที่ 5.44



รูปที่ 5.41 RFID Tag



รูปที่ 5.42 RFID Antenna



รูปที่ 5.43 Alien RFID Reader รุ่น ALR-9650



รูปที่ 5.44 อุปกรณ์ Embedded Linux Board ที่ใช้ร่วมกับการพัฒนาอุปกรณ์ระบุตัวตนผ่าน RFID

5.2 การทดสอบ Gyroscope และ Accelerometer

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการทดสอบอุปกรณ์ Gyroscope และ Accelerometer ในรถทดสอบในกรณีการขับขี่แบบต่างๆ ได้แก่ กรณีจอดนิ่ง กรณีออกตัวแรง กรณีเบรกกะทันหัน กรณีเบี่ยงกะทันหัน กรณีเลี้ยวขวา กรณีเลี้ยวซ้าย โดย Gyroscope ทำหน้าที่วัดความเร็วเชิงมุม เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงของการหมุนหรือรักษาการวางแนวโดยอาศัยแรงเฉื่อยของล้อหมุน เพื่อช่วยรักษาระดับทิศทางของแกนหมุน สามารถเอียงในทิศทางต่างๆ ได้โดยอิสระ ไม่ว่าจะมีความเร่งกระทำกับวงแหวนด้านนอกมากเท่าใด แกนหมุนภายในจะพยายามรักษาสภาพและทิศทางดั้งเดิมไว้เสมอ โดยผลลัพธ์ความเร็วเชิงมุมที่ได้จากอุปกรณ์จะมีหน่วยเป็น rad/s ซึ่งออกมาในรูปแบบแกน X Y Z ดังแสดงในรูปที่ 5.45 ปัจจุบันมีการนำคุณสมบัตินี้ไปประยุกต์ใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง อาทิ

- เข็มทิศ
- ระบบการขับเคลื่อนอัตโนมัติของเครื่องบินหรือเรือ
- กลไกบังคับหางเสือของตอร์ปิโด
- อุปกรณ์ป้องกันการกลิ้งบนเรือใหญ่
- ระบบการนำวิถีด้วยความเฉื่อย (inertial guidance)
- ระบบในยานอวกาศและสถานีอวกาศ

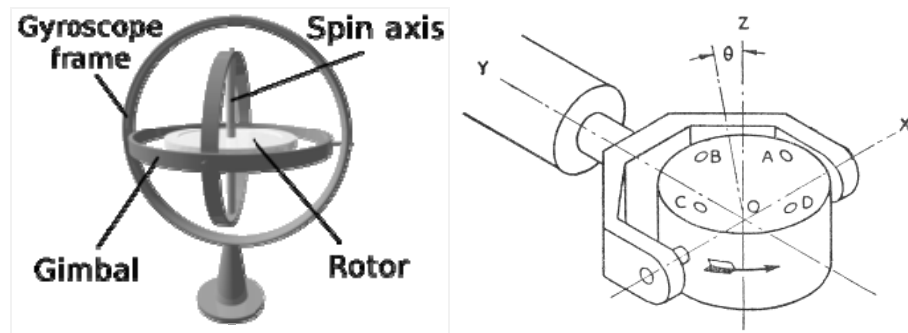
Accelerometer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร่ง อัตราการเปลี่ยนแปลงความเร็ว หรือความเอียงของวัตถุ เมื่อนำ Accelerometer วางขนานกับพื้นโลก ค่าที่ได้ในแกน Z จะเท่ากับค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งมีค่าประมาณ 9.81 m/s^2 ในทำนองเดียวกันเมื่อเราเอียงอุปกรณ์ไปในทิศทางอื่น ค่าในแต่ละแกนจะเปลี่ยนไป เช่น เอียงอุปกรณ์ไปในทิศทางอื่น 90 องศา และหยุดนิ่ง ค่าที่ได้แกน Z จะเป็น 0 แต่แกน X หรือ Y ที่เอียงไปจะมีค่าเป็น 9.81 m/s^2 เนื่องจากแรงโน้มถ่วงเช่นเดียวกัน ซึ่งการตรวจวัดจะได้ผลออกมา 3 แกน X Y Z ดังแสดงในรูปที่ 5.46 การใช้งาน Accelerometer จะใช้เป็นตัวชี้ว่าอยู่ในสถานะนิ่งเฉย หรือ เคลื่อนไหวทันทีทันใด หรือหยุดทันทีทันใด ด้วยคุณสมบัติดังกล่าว จึงทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น

- แอปพลิเคชันเข็มทิศหรือแผนที่บนอุปกรณ์สมาร์ทโฟน
- การตรวจจับการเอียง iPhone เพื่อตรวจจับว่าโทรศัพท์อยู่ในโหมดแนวตั้งหรือแนวนอน
- การตรวจจับแผ่นดินไหว (Earthquake detection)
- ตรวจจับระดับความรู้สึกตก (Fall sensing)
- อุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น ชิ้นส่วนของร่างกายเทียม
- ระบบติดตามสุขภาพในสมาร์ทโฟน หรือนาฬิกาสุขภาพ
- เกม / แอปพลิเคชันที่ต้องการการตรวจจับการเคลื่อนไหว
- การตรวจวัดพฤติกรรมกรรมการขับขี่เมื่อมีการเบรกกะทันหัน หรือการเร่งความเร็วอย่างรวดเร็ว

ข้อแตกต่างระหว่าง Gyroscope และ Accelerometer คือผลลัพธ์ที่ได้จากการตรวจวัด หากทดลองเอียง Accelerometer แล้ววัดผลลัพธ์ค่าที่ได้จะบ่งบอกถึงการเอียงในรูปแบบนั้น หากเกิดการเอียงไปในทิศทางอื่นค่าดังกล่าวจะเปลี่ยนไปตามทิศทางที่กระทำ แต่เมื่อทดลองเอียง Gyroscope ในลักษณะเดียวกันจะพบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จะทราบค่าที่ต่อเนื่องเมื่อเกิดการเอียง หรือกำลังจะเอียง หรือเกิดการเคลื่อนไหว หากวัตถุอยู่นิ่ง Gyroscope จะไม่สามารถวัดค่าได้เนื่องจากไม่มีความเร็วเกิดขึ้น การใช้งานวัดความเอียง หรือการหมุนต่างๆ จึงนิยมใช้งานทั้ง Gyroscope ร่วมกับ Accelerometer ยกตัวอย่างเช่น

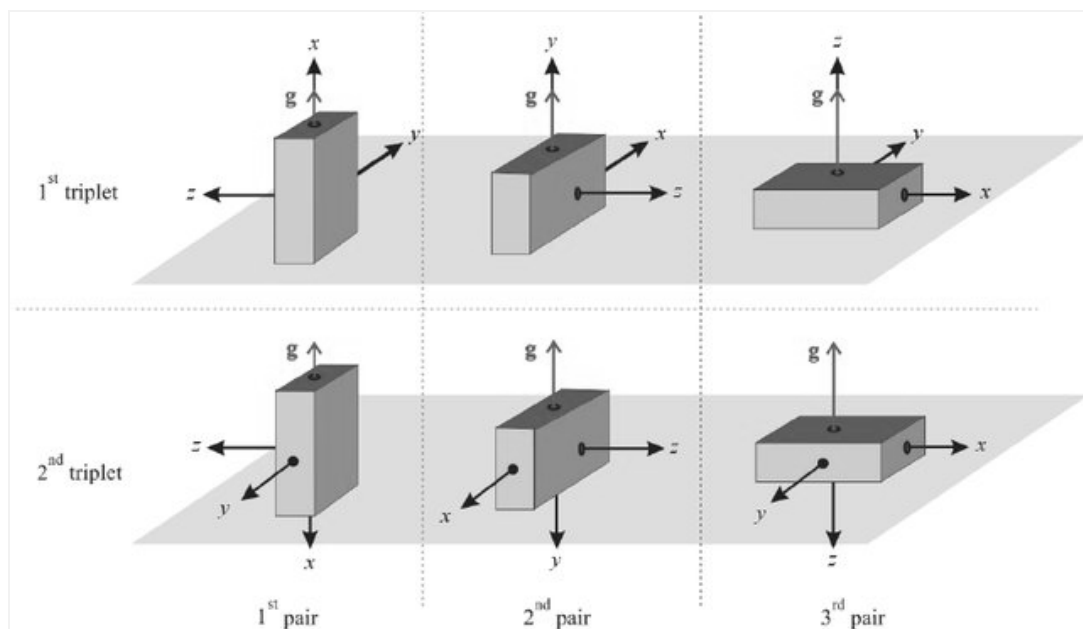
- ประยุกต์ใช้ร่วมกับโดรนเพื่อควบคุมความสมดุล

- ใช้กับบาลานซ์โรบอท เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถตั้งตรงอยู่เสมอ
- ติดกับไม้เท้าเพื่อตรวจจับการล้มของผู้สูงอายุ



รูปที่ 5.45 องค์ประกอบ และแนวแกนของ Gyroscope

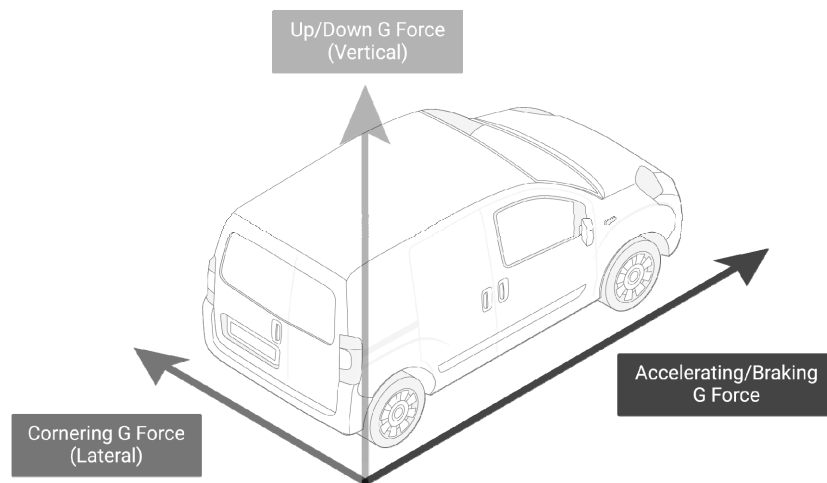
ที่มา : https://www.quora.com/What-is-a-gyroscope-3?no_redirect=1



รูปที่ 5.46 ทิศทางแนวแกน X Y Z ของ Accelerometer

ที่มา : <https://www.mdpi.com/journal/sensors>

การนำ Accelerometer ไปใช้เพื่อตรวจวัดพฤติกรรมในการขับขี่หรือความปลอดภัยในการขับขี่ โดยทั่วไปค่าที่เป็นตัวชี้วัดจะอยู่ในรูปแบบจำนวนเท่าของ ค่า g-force หรือค่าแรงโน้มถ่วง (มีค่าประมาณ 9.81 m/s^2) ค่าดังกล่าวจะแสดงถึงน้ำหนักที่รู้สึกได้จากการเร่งความเร็วหรือลดความเร็ว เมื่อมีการเบรกกะทันหันหรือการเร่งความเร็วหรือการเปลี่ยนทิศทางอย่างรวดเร็ว ซึ่งทิศทางการตรวจวัดแสดงในรูปที่ 5.47 ยกตัวอย่างค่า g-force ในสถานการณ์ต่างๆ เช่น โรลเลอร์โคสเตอร์ มีค่าระหว่าง 3g ถึง 6g การเบรกกะทันหันของรถแข่งฟอร์มูล่าวัน 5g หรือกรณีที่ค่า g-force มากกว่า 25g อาจทำให้เสียชีวิตได้



รูปที่ 5.47 ทิศทางแนวแกน X Y Z ของ Accelerometer ในการตรวจวัดพฤติกรรมการขับขี่

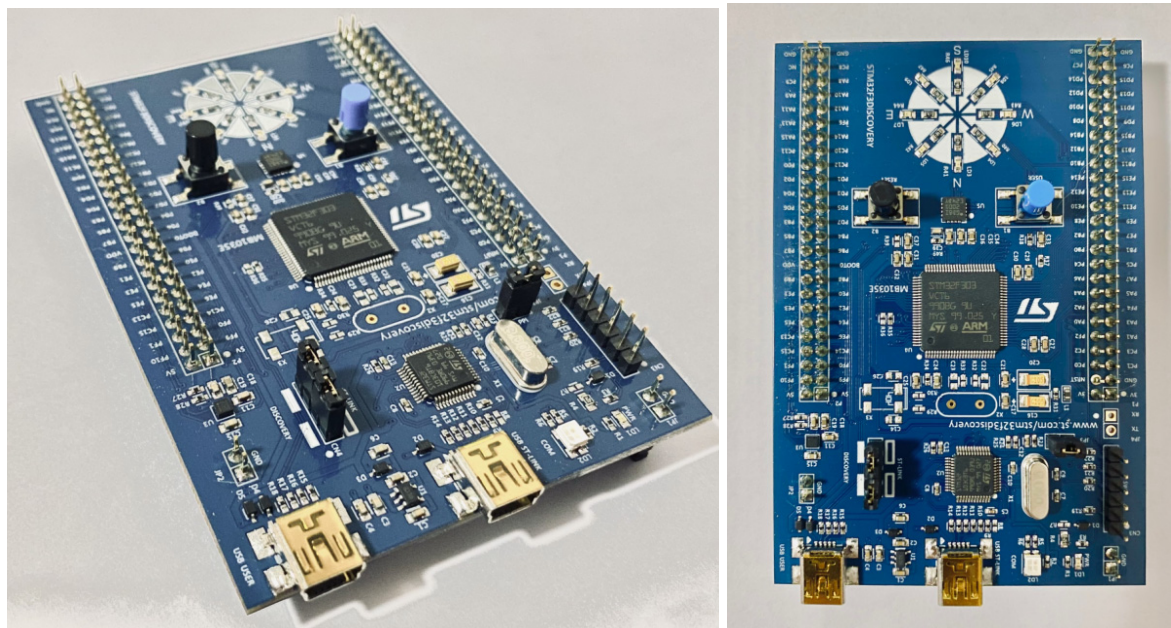
ที่มา : <https://www.geotab.com/blog/what-is-g-force/>

จากการศึกษาในต่างประเทศได้มีการวิจัยเรื่องความปลอดภัยในการขับขี่ โดยใช้ค่าความเร่ง g-force เป็นตัวชี้วัด ทำให้สามารถกำหนดเกณฑ์ความเร่ง g-force ที่แนะนำในการขับขี่ได้ดังตารางที่ 5.6 ซึ่งยานพาหนะแต่ละประเภทจะมีช่วงน้ำหนักที่แตกต่างกันออกไป ส่งผลให้ค่าความเร่ง g-force ที่เป็นเกณฑ์ในการเบรก เร่งความเร็วและการเปลี่ยนทิศทางเปลี่ยนไปเช่นกัน ซึ่งหมายความว่าหากต้องการความปลอดภัยในการขับขี่เมื่อน้ำหนักยานพาหนะยิ่งสูงขึ้น ค่าความเร่ง g-force ยิ่งต้องมีเกณฑ์ลดต่ำลง หรือต้องเบรก เร่งความเร็วหรือเปลี่ยนทิศทางให้เบาลงจึงจะมีความปลอดภัยในการขับขี่

ตารางที่ 5.6 เกณฑ์ที่แนะนำ กรณีเบรก เร่งความเร็วหรือการเปลี่ยนทิศทาง

ลำดับ	ประเภท	น้ำหนัก (kg)	เกณฑ์ที่แนะนำ (g : ประมาณ 9.81 m/s ²)			เกณฑ์ที่แนะนำ (m/s ²)		
			เบรก	เร่งความเร็ว	เปลี่ยนทิศทาง	เบรก	เร่งความเร็ว	เปลี่ยนทิศทาง
1		ไม่เกิน 2,724	0.3833g	0.3733g	0.375g	3.76	3.66	3.68
2		2,725 ถึง 4,540	0.36g	0.35g	0.35g	3.53	3.43	3.43
3		4,541 ถึง 6,356	0.3367g	0.3267g	0.325g	3.30	3.20	3.19
4		6,357 ถึง 7,264	0.3134g	0.3034g	0.3g	3.07	2.98	2.94
5		7,265 ถึง 8,853	0.2901g	0.2801g	0.275g	2.85	2.75	2.70

ที่มา : <https://help.gpsinsight.com/best-practice/defining-thresholds-for-your-fleet/>



รูปที่ 5.48 อุปกรณ์ Gyroscope และ Accelerometer ที่ใช้ในการทดสอบ

โดยที่ปรึกษาได้ดำเนินการแสดงผลการทดสอบอุปกรณ์ Gyroscope และ Accelerometer ที่ใช้ในการทดสอบในบทถัดไป (บทที่ 6)

5.3 การทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในสถานะแวดล้อมจริงในพื้นที่

ที่ปรึกษาดำเนินการจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype) ตามที่ออกแบบไว้อย่างละ 5 ชุดในแต่ละรูปแบบเพื่อทดสอบการใช้งานในสถานะแวดล้อมจริงในพื้นที่ด่านพรมแดนน่านร่อง ได้แก่ ด่านพรมแดนแม่สอด อ.แม่สอด จ.ตาก เป็นระยะเวลา 30 วัน ตั้งแต่วันที่ 13 เมษายน 2564 ถึงวันที่ 12 พฤษภาคม 2564 ซึ่งจากผลกระทบจากสถานการณ์แพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (covid-19) ทำให้ในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ในพื้นที่น่านร่องอยู่ในช่วงที่มีการปิดด่านพรมแดนแม่สอด ส่งผลให้ไม่สามารถติดตั้งอุปกรณ์บนรถประจำถิ่นจากต่างประเทศได้ ที่ปรึกษาจึงดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบบนของของประชาชนในพื้นที่ ซึ่งประกอบด้วยรถกระบะ จำนวน 3 คัน และรถจักรยานยนต์ จำนวน 2 คัน โดยมีรายละเอียดรถและอุปกรณ์ที่ติดตั้งในรถทดสอบแต่ละคันดังแสดงในตารางที่ 5.7 และแสดงรูปของรถที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 5.49 ถึงรูปที่ 5.53 โดยที่ปรึกษาดำเนินการจัดหาเครือข่ายหรือสถานีรับสัญญาณเพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลในระหว่างทดสอบการใช้งานในพื้นที่น่านร่องได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ที่ปรึกษาเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายระบบเครือข่ายหรือสถานีรับสัญญาณทั้งหมดในระหว่างดำเนินการทดสอบการใช้งานในพื้นที่ด่านพรมแดนน่านร่อง รูปที่ 5.54 การส่งมอบอุปกรณ์แก่เจ้าของรถที่ใช้ในการทดสอบ โดยที่ปรึกษาได้อธิบายวิธีการใช้งานและวิธีการบำรุงรักษาอุปกรณ์แก่ผู้ใช้งานอย่างละเอียด เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง รูปที่ 5.55 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบบริเวณด้านหน้าของรถที่ใช้ในการทดสอบที่เป็นรถกระบะ โดยบริเวณด้านล่างของอุปกรณ์แต่ละชิ้นจะมีแถบขาวสำหรับติดอุปกรณ์บริเวณพื้นที่ Control ด้านหน้ารถได้โดยง่ายและแข็งแรง ในส่วนของรถทดสอบที่เป็นรถจักรยานยนต์ ได้ดำเนินการนำอุปกรณ์ทดสอบใส่ในกระเปาะสะพาย ซึ่งผู้ขับขี่สามารถนำติดตัวไปได้อย่างสะดวก ดังแสดงในรูปที่ 5.56 โดยที่ปรึกษาได้ดำเนินการติดตั้ง RFID Reader เอาไว้ในอาคารที่มีความปลอดภัยดังแสดงในรูปที่ 5.57 จากนั้นได้ดำเนินการลากสายสัญญาณมาเชื่อมต่อกับ RFID Antenna ซึ่งถูกติดตั้งไว้บริเวณด้านข้างของถนน ดังแสดงในรูปที่ 5.58 เพื่อรับค่าสัญญาณจาก RFID Tag ซึ่งถูกติดตั้งไว้กับรถทดสอบแต่ละคัน

ตารางที่ 5.7 รายละเอียดรถและอุปกรณ์ที่ติดตั้งในรถทดสอบ

ลำดับที่	ประเภทรถ	อุปกรณ์ที่ติดตั้ง			
		อุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT	อุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa	อุปกรณ์ LoRa	RFID Tag
1.	รถกระบะ	✓	✓	✓	✓
2.	รถกระบะ	✓	✓	✓	✓
3.	รถกระบะ	✓	✓	✓	✓
4.	รถจักรยานยนต์	✓	✓	✓	✓
5.	รถจักรยานยนต์	✓	✓	✓	✓



รูปที่ 5.49 รถทดสอบคันที่ 1 รถกระบะ



รูปที่ 5.50 รถทดสอบคันที่ 2 รถกระบะ



รูปที่ 5.51 รถทดสอบคันที่ 3 รถกระบะ



รูปที่ 5.52 รถทดสอบคันที่ 4 รถจักรยานยนต์



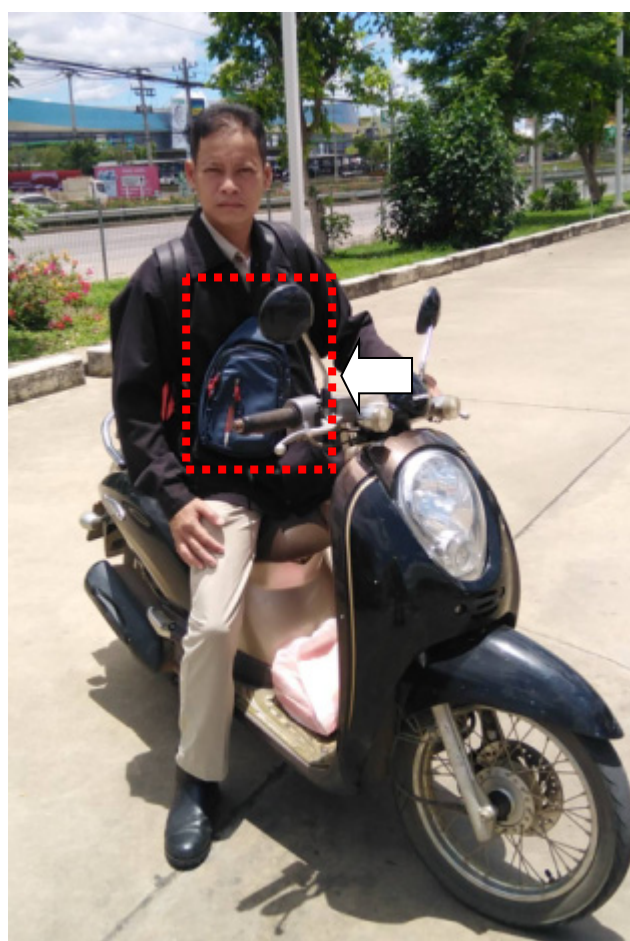
รูปที่ 5.53 รถทดสอบคันที่ 5 รถจักรยานยนต์



รูปที่ 5.54 การส่งมอบอุปกรณ์แก่เจ้าของรถที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 5.55 การติดตั้งอุปกรณ์กับรถกระบะที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 5.56 การติดตั้งอุปกรณ์กับรถจักรยานยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 5.57 การติดตั้งอุปกรณ์ RFID Reader



รูปที่ 5.58 การติดตั้งอุปกรณ์ RFID Antenna

5.4 ข้อมูลผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่นำร่อง

จากการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในสภาวะแวดล้อมจริงในพื้นที่ด่านพรมแดนนำร่อง ได้แก่ ด่านพรมแดนแม่สอด อ.แม่สอด จ.ตาก เป็นระยะเวลา 30 วัน ตั้งแต่วันที่ 13 เมษายน 2563 ถึงวันที่ 12 พฤษภาคม 2564 โดยติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบแต่ละประเภทกับรถยนต์ 3 คัน และรถจักรยานยนต์ 2 คัน โดยแสดงตัวอย่างตารางข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 5.8 ถึงตารางที่ 5.11 ทั้งนี้ที่ปรึกษาได้ดำเนินการสรุปผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่นำร่องในบทถัดไป (บทที่ 6)

ตารางที่ 5.8 ตัวอย่างข้อมูลจาก GPS ผูกกับ NB-IoT

id	date	time	id_NB-IOT_device	latitude	longitude	install
57	2021/04/13	9:23:42	1001	16.72513333	98.58760000	car1
58	2021/04/13	9:27:47	1001	16.72423333	98.59105000	car1
197	2021/04/13	9:27:56	1002	16.72431667	98.59173333	car2
198	2021/04/13	9:32:58	1002	16.71773333	98.58480000	car2
398	2021/04/16	7:51:43	1003	16.72421667	98.58438333	car3
429	2021/04/19	8:49:08	1003	16.72126667	98.57766667	car3
733	2021/04/17	9:24:42	1004	16.73148333	98.57441667	motorcycle1
742	2021/04/18	6:23:09	1004	16.72055000	98.58466667	motorcycle1
1117	2021/04/13	9:22:52	1005	16.72211667	98.57205000	motorcycle2
1119	2021/04/13	10:00:22	1005	16.72051667	98.56338333	motorcycle2

ตารางที่ 5.9 ตัวอย่างข้อมูลจาก GPS ผูกกับ LoRa

id	date	time	id_lora_device	latitude	longitude	install
8512	2021/04/16	0:03:14	386F0320	16.62885	98.59901333	car1
8513	2021/04/16	0:03:45	386F0320	16.62885167	98.59901333	car1
8514	2021/04/16	0:04:15	386F0320	16.628855	98.59902667	car1
8515	2021/04/16	0:04:46	386F0320	16.62885167	98.59902667	car1
8516	2021/04/16	0:05:16	386F0320	16.62885167	98.59902667	car1
8517	2021/04/16	0:05:47	386F0320	16.62885167	98.59902667	car1
8518	2021/04/16	0:06:17	386F0320	16.62885	98.59902667	car1
8519	2021/04/16	0:06:47	386F0320	16.62885	98.59902667	car1
12595	2021/04/19	6:20:22	2735034B	16.724225	98.58789333	motorcycle2
18935	2021/04/24	16:02:26	2735033F	16.71857333	98.58924	motorcycle1
18936	2021/04/24	16:03:26	2735033F	16.72110167	98.5936	motorcycle1
22866	2021/05/06	9:00:09	386C034F	16.76214167	98.58501333	car3
22867	2021/05/06	9:00:40	386C034F	16.75885	98.58458667	car3

ตารางที่ 5.10 ตัวอย่างข้อมูลจาก LoRa

id	date	time	id_lora_gateway	latitude	lontitude	install
8512	2021/04/16	0:03:14	10000969	16.629261	98.600281	car1
8513	2021/04/16	0:03:45	10000969	16.629295	98.600288	car1
8514	2021/04/16	0:04:15	10000969	16.629295	98.600288	car1
8515	2021/04/16	0:04:46	10000969	16.629295	98.600288	car1
8516	2021/04/16	0:05:16	10000969	16.629295	98.600288	car1
8517	2021/04/16	0:05:47	10000969	16.629309	98.600273	car1
8518	2021/04/16	0:06:17	10000969	16.629309	98.600273	car1
8519	2021/04/16	0:06:47	10000969	16.629309	98.600273	car1
12595	2021/04/19	6:20:22	10000984	16.71562	98.587212	motorcycle2
18935	2021/04/24	16:02:26	10000984	16.715609	98.587173	motorcycle1
18936	2021/04/24	16:03:26	10000984	16.715599	98.587212	motorcycle1
22866	2021/05/06	9:00:09	1000097D	16.759027	98.58522	car3
22867	2021/05/06	9:00:40	1000097D	16.759027	98.58522	car3

ตารางที่ 5.11 ตัวอย่างข้อมูลจาก RFID

id	date	time	latitude	lontitude
1	2021/04/13	22:13:31	16.7218836	98.5843988
2	2021/04/14	7:28:50	16.7218836	98.5843988
3	2021/04/15	16:39:58	16.7218836	98.5843988
4	2021/04/16	10:35:35	16.7218836	98.5843988
5	2021/04/17	8:43:30	16.7218836	98.5843988
6	2021/04/18	9:44:35	16.7218836	98.5843988
7	2021/04/19	11:00:28	16.7218836	98.5843988
8	2021/04/20	12:05:58	16.7218836	98.5843988

6. การวิเคราะห์ผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบ

ปรีกษาได้ดำเนินการศึกษาวิธีการในการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่ด่านพรมแดนนาร่อง เพื่อศึกษาวิเคราะห์ข้อดีและข้อจำกัดจากการใช้งานในสภาวะแวดล้อมจริงในประเด็นต่างๆ เช่น

- ความถูกต้องในการตรวจวัดตำแหน่งยานพาหนะ
- ความถี่/ความเร็วในการส่งข้อมูล
- เสถียรภาพของสัญญาณข้อมูลโดยเฉพาะบริเวณรอยต่อพรมแดนระหว่างประเทศ
- ความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นบนรถยนต์และรถจักรยานยนต์
- ระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์อย่างต่อเนื่องโดยไม่ชาร์จแบตเตอรี่
- ความทนทานของอุปกรณ์ฯ ในสภาวะการใช้จริง
- การป้องกันเจ้าของรถถอดหรือแยกอุปกรณ์ติดตามการเดินทางออกจากยานพาหนะ
- การป้องกันการใช้เครื่องรบกวนสัญญาณ

ด่านพรมแดนนาร่องที่ทำการศึกษา คือ ด่านพรมแดนแม่สอด อ.แม่สอด จ.ตาก โดยที่ปรีกษาได้ทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบเป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 30 วัน ตั้งแต่วันที่ 13 เมษายน พ.ศ. 2564 ถึงวันที่ วันที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2564 โดยติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบกับรถที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 5 คัน ซึ่งแบ่งออกเป็นรถกระบะจำนวน 3 คัน และรถจักรยานยนต์จำนวน 2 คัน

6.1 ผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่นาร่อง

1) อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT

ข้อมูลการตรวจวัดพิกัดจาก GPS ของแต่ละอุปกรณ์จะถูกบันทึกลงในหน่วยความจำภายในของอุปกรณ์ ควบคู่กับการส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ผ่านเครือข่าย NB-IoT ในความถี่ 1 ครั้ง ต่อ 5 นาที ในกรณีที่ไม่สามารถส่งข้อมูลพิกัดผ่านเครือข่าย NB-IoT ได้ ระบบจะบันทึกข้อมูลพิกัดลงในหน่วยความจำภายในของอุปกรณ์ ทำให้สามารถวิเคราะห์ความครอบคลุมเครือข่าย NB-IoT ในพื้นที่ด่านนาร่องได้ โดยตัวอย่างข้อมูลการตรวจวัดที่ได้จากอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT ดังแสดงในตารางที่ 6.1

จากการทดสอบใช้งานอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT ในพื้นที่ด่านพรมแดนนาร่อง 30 วัน ของรถแต่ละคัน มีอัตราความสำเร็จในการบันทึกข้อมูลจาก GPS ผสมกับ NB-IoT ดังแสดงในตารางที่ 6.2 ความสามารถสูงสุดในการบันทึกข้อมูลจะคำนวณจากความถี่การเก็บข้อมูล 1 ครั้ง ในทุก 5 นาที เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 30 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8,640 ครั้ง การบันทึกข้อมูลในหน่วยความจำภายในจะแสดงถึงระยะเวลาที่เปิดใช้งานอุปกรณ์จริงเทียบกับระยะเวลาทั้งหมด 30 วัน เมื่อเทียบกับความสามารถสูงสุดจะมีค่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 33.76 ในส่วนของการบันทึกข้อมูลในคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะแสดงถึงความครอบคลุมเครือข่ายในการใช้งานบริเวณพื้นที่ด่านนาร่องเมื่อเทียบกับความสามารถสูงสุดจะมีค่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 9.64 และส่วนสุดท้ายของการบันทึกข้อมูลพิกัดของ GPS จะแสดงถึงความสามารถในการรับสัญญาณพิกัดจากดาวเทียมได้สำเร็จบริเวณพื้นที่ด่านนาร่อง เมื่อเทียบกับความสามารถสูงสุดจะมีค่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 21.32

ตารางที่ 6.1 ตัวอย่างข้อมูลจาก GPS ผนวกกับ NB-IoT

id	date	time	id_NB-IoT_device	latitude	lontitude	install
57	2021/04/13	9:23:42	1001	16.72513333	98.58760000	car1
58	2021/04/13	9:27:47	1001	16.72423333	98.59105000	car1
197	2021/04/13	9:27:56	1002	16.72431667	98.59173333	car2
198	2021/04/13	9:32:58	1002	16.71773333	98.58480000	car2
398	2021/04/16	7:51:43	1003	16.72421667	98.58438333	car3
429	2021/04/19	8:49:08	1003	16.72126667	98.57766667	car3
733	2021/04/17	9:24:42	1004	16.73148333	98.57441667	motorcycle1
742	2021/04/18	6:23:09	1004	16.72055000	98.58466667	motorcycle1
1117	2021/04/13	9:22:52	1005	16.72211667	98.57205000	motorcycle2
1119	2021/04/13	10:00:22	1005	16.72051667	98.56338333	motorcycle2

ตารางที่ 6.2 อัตราความสำเร็จในการบันทึกข้อมูลจาก GPS ผนวกกับ NB-IoT

ลำดับ	การติดตั้ง	ความสามารถสูงสุด (ครั้ง)	ร้อยละความสำเร็จในการบันทึกข้อมูล		
			หน่วยความจำภายใน	คอมพิวเตอร์แม่ข่าย	พิกัดของ GPS
1	รถยนต์ 1	8,640	40.93%	17.48%	62.73%
2	รถยนต์ 2	8,640	18.17%	41.08%	61.78%
3	รถยนต์ 3	8,640	52.96%	25.44%	73.60%
4	รถจักรยานยนต์ 1	8,640	23.94%	28.00%	45.16%
5	รถจักรยานยนต์ 2	8,640	32.82%	40.83%	60.65%
ค่าเฉลี่ย		100%	33.76%	30.57%	60.78%

2) อุปกรณ์ GPS ผนวกกับการสื่อสารชนิด LoRa

ข้อมูลการตรวจวัดพิกัดจาก GPS ของแต่ละอุปกรณ์จะถูกบันทึกลงในหน่วยความจำภายในของอุปกรณ์ ควบคู่กับการส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ผ่านเครือข่าย LoRa ในความถี่ 1 ครั้ง ต่อ 30 วินาที ในกรณีที่ไม่สามารถส่งข้อมูลพิกัดผ่านเครือข่าย LoRa ได้ ระบบจะบันทึกข้อมูลพิกัดลงในหน่วยความจำภายในของอุปกรณ์ ทำให้สามารถวิเคราะห์ความครอบคลุมเครือข่าย LoRa ในพื้นที่ด้านนาร่องได้ โดยตัวอย่างข้อมูลการตรวจวัดที่ได้จากอุปกรณ์ GPS ผนวกกับการสื่อสารชนิด LoRa ดังแสดงในตารางที่ 6.3

จากการทดสอบใช้งานอุปกรณ์ GPS ผนวกกับการสื่อสารชนิด LoRa ในพื้นที่ด้านพรมแดนนาร่อง 30 วัน ของรถแต่ละคัน มีอัตราความสำเร็จในการบันทึกข้อมูลจาก GPS ผนวกกับ LoRa ดังแสดงในตารางที่ 6.4 ความสามารถสูงสุดในการบันทึกข้อมูลจะคำนวณจากความถี่การเก็บข้อมูล 1 ครั้ง ในทุก 30 วินาที เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 30 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 86,400 ครั้ง การบันทึกข้อมูลในหน่วยความจำภายในจะแสดงถึงระยะเวลาที่เปิดใช้งานอุปกรณ์จริงเทียบกับระยะเวลาทั้งหมด 30 วัน เมื่อเทียบกับความสามารถสูงสุดจะมีค่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 39.21 ในส่วนของการบันทึกข้อมูลในคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะแสดงถึงความครอบคลุมเครือข่ายในการใช้งานบริเวณพื้นที่ด้านนาร่อง เมื่อเทียบกับความสามารถสูงสุดจะมีค่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 5.38 และส่วนสุดท้ายของการบันทึกข้อมูลพิกัดของ GPS จะแสดงถึงความสามารถในการรับสัญญาณพิกัดจากดาวเทียมได้สำเร็จบริเวณพื้นที่ด้านนาร่องซึ่ง เมื่อเทียบกับความสามารถสูงสุดจะมีค่าโดยเฉลี่ยร้อยละ 21.31

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างข้อมูลจาก GPS ผนวกกับ LoRa

id	date	time	id_lora_device	latitude	lonitude	install
8512	2021/04/16	0:03:14	386F0320	16.62885	98.59901333	car1
8513	2021/04/16	0:03:45	386F0320	16.62885167	98.59901333	car1
8514	2021/04/16	0:04:15	386F0320	16.628855	98.59902667	car1
8515	2021/04/16	0:04:46	386F0320	16.62885167	98.59902667	car1
8516	2021/04/16	0:05:16	386F0320	16.62885167	98.59902667	car1
8517	2021/04/16	0:05:47	386F0320	16.62885167	98.59902667	car1
8518	2021/04/16	0:06:17	386F0320	16.62885	98.59902667	car1
8519	2021/04/16	0:06:47	386F0320	16.62885	98.59902667	car1
12595	2021/04/19	6:20:22	2735034B	16.724225	98.58789333	motorcycle2
18935	2021/04/24	16:02:26	2735033F	16.71857333	98.58924	motorcycle1
18936	2021/04/24	16:03:26	2735033F	16.72110167	98.5936	motorcycle1
22866	2021/05/06	9:00:09	386C034F	16.76214167	98.58501333	car3
22867	2021/05/06	9:00:40	386C034F	16.75885	98.58458667	car3

ตารางที่ 6.4 อัตราความสำเร็จในการบันทึกข้อมูลจาก GPS ผนวกกับ LoRa

ลำดับ	การติดตั้ง	ความสามารถสูงสุด (ครั้ง)	ร้อยละความสำเร็จในการบันทึกข้อมูล		
			หน่วยความจำภายใน	คอมพิวเตอร์แม่ข่าย	พิกัดของ GPS
*1	รถยนต์ 1	86,400	49.71%	47.29%	65.43%
2	รถยนต์ 2	86,400	21.32%	8.60%	45.51%
3	รถยนต์ 3	86,400	63.14%	1.07%	36.67%
4	รถจักรยานยนต์ 1	86,400	25.46%	1.54%	68.74%
5	รถจักรยานยนต์ 2	86,400	36.42%	1.39%	64.95%
ค่าเฉลี่ย		100.00%	39.21%	11.98%	56.26%

*รถยนต์คันที่ 1 เนื่องจากผู้ขับขี่จอดรอและอยู่อาศัยภายในรัศมีเสาส่งสัญญาณ LoRa จึงมีการส่งข้อมูลช่วงที่ จอดรถบริเวณที่อยู่อาศัย ส่งผลให้อัตราการส่งข้อมูลสำเร็จสูงเมื่อเปรียบเทียบกับรถคันอื่น

3) อุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa

ข้อมูลจากอุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa จะอยู่ในรูปแบบวันที่-เวลาควบคู่กับตำแหน่งของเสาส่งสัญญาณ LoRa ทั้งนี้ทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่ารถที่ติดตั้งอุปกรณ์คันดังกล่าวได้เข้าไปยังบริเวณพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตหรือไม่ โดยสังเกตจากตำแหน่งของเสาส่งสัญญาณ LoRa ว่าอยู่ภายนอกเขตพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตหรือไม่ โดย ตัวอย่างข้อมูลการตรวจวัดที่ได้จากอุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa ดังแสดงในตารางที่ 6.5

จากการทดสอบใช้งานอุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa ในพื้นที่ด่านพรมแดนนาร่อง 30 วัน ของรถแต่ละคัน มีระยะทางที่ทำการส่งสัญญาณสำเร็จดังแสดงในตารางที่ 6.6 โดยความสามารถสูงสุดในการส่งสัญญาณจากการทดสอบมีค่าประมาณ 12 กิโลเมตร และมีระยะสูงสุดในการส่งสัญญาณโดยเฉลี่ยประมาณ 5 กิโลเมตร และพบตำแหน่งเสาส่งสัญญาณ LoRa ระหว่างการทดสอบ 8 แห่ง

ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างข้อมูลจาก LoRa

id	date	time	id_lora_gateway	latitude	longitude	install
8512	2021/04/16	0:03:14	10000969	16.629261	98.600281	car1
8513	2021/04/16	0:03:45	10000969	16.629295	98.600288	car1
8514	2021/04/16	0:04:15	10000969	16.629295	98.600288	car1
8515	2021/04/16	0:04:46	10000969	16.629295	98.600288	car1
8516	2021/04/16	0:05:16	10000969	16.629295	98.600288	car1
8517	2021/04/16	0:05:47	10000969	16.629309	98.600273	car1
12595	2021/04/19	6:20:22	10000984	16.71562	98.587212	motorcycle2
18935	2021/04/24	16:02:26	10000984	16.715609	98.587173	motorcycle1
18936	2021/04/24	16:03:26	10000984	16.715599	98.587212	motorcycle1
22866	2021/05/06	9:00:09	1000097D	16.759027	98.58522	car3
22867	2021/05/06	9:00:40	1000097D	16.759027	98.58522	car3

ตารางที่ 6.6 ระยะทางระหว่างเสาส่งสัญญาณ LoRa และอุปกรณ์ LoRa ที่ส่งข้อมูลสำเร็จจากรถแต่ละคัน

ลำดับ	การติดตั้ง	ระยะทางการส่งสัญญาณ (เมตร)	
		ต่ำสุด	สูงสุด
1	รถยนต์ 1	15.88	11,875.92
2	รถยนต์ 2	31.67	4,492.67
3	รถยนต์ 3	12.07	1,691.65
4	รถจักรยานยนต์ 1	66.44	4,175.85
5	รถจักรยานยนต์ 2	67.04	2,441.15
ค่าเฉลี่ย		38.62	4,935.45

4) อุปกรณ์สื่อสารชนิด RFID

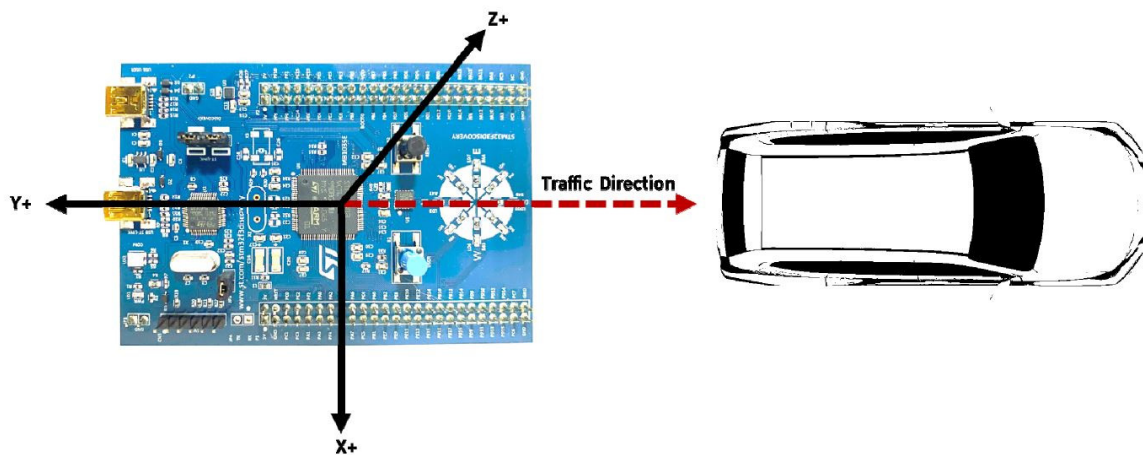
ข้อมูลจากอุปกรณ์สื่อสารชนิด RFID จะอยู่ในรูปแบบวันที่-เวลาควบคู่กับตำแหน่งของ RFID Reader ทั้งนี้ทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่ารถที่ติดตั้งอุปกรณ์คันดังกล่าวได้เข้าไปยังบริเวณพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตหรือไม่ โดยสังเกตจากตำแหน่งของ RFID Reader ว่าอยู่ภายนอกเขตพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตหรือไม่ โดยตัวอย่างข้อมูลการตรวจวัดที่ได้จากอุปกรณ์สื่อสารชนิด RFID ดังแสดงในตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 ตัวอย่างข้อมูลจาก RFID

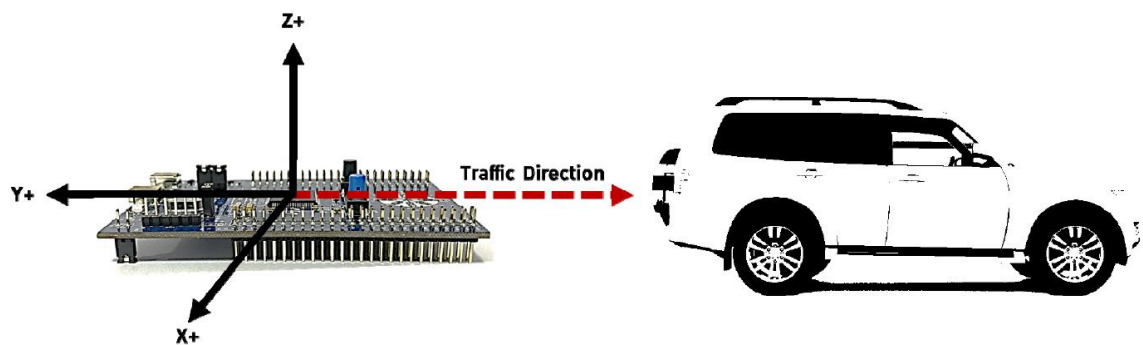
id	date	time	Id_RFID_device	latitude	lonitude	install
1	2021/04/13	22:13:31	0001	16.7218836	98.5843988	car1
2	2021/04/14	7:28:50	0002	16.7218836	98.5843988	car2
3	2021/04/15	16:39:58	0003	16.7218836	98.5843988	car3
4	2021/04/16	10:35:35	0004	16.7218836	98.5843988	motorcycle1
5	2021/04/17	8:43:30	0005	16.7218836	98.5843988	motorcycle2
6	2021/04/18	9:44:35	0003	16.7218836	98.5843988	car3
7	2021/04/19	11:00:28	0004	16.7218836	98.5843988	motorcycle1
8	2021/04/20	12:05:58	0005	16.7218836	98.5843988	motorcycle2

6.2 ผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ Gyroscope และ Accelerometer

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการศึกษาอุปกรณ์ Gyroscope และ Accelerometer เพื่อตรวจวัดพฤติกรรมการขับเคลื่อน เมื่อมีการเบรกกระทันหันหรือการเร่งความเร็วหรือการเปลี่ยนทิศทางอย่างรวดเร็ว โดยการติดตั้งอุปกรณ์ไว้กับรถยนต์ โดยทิศทางและแนวแกนของ Gyroscope และ Accelerometer ดังแสดงในรูปที่ 6.1 และรูปที่ 6.2 หลังจากติดตั้งจึงทำการทดสอบพฤติกรรมการขับเคลื่อนแต่ละกรณี ได้แก่ จอดนิ่ง ออกตัวเร่ง เบรกกระทันหัน เบี่ยงทิศทางกระทันหัน เลี้ยวขวา และเลี้ยวซ้าย โดยทดสอบกรณีละอย่างน้อย 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัดอุปกรณ์

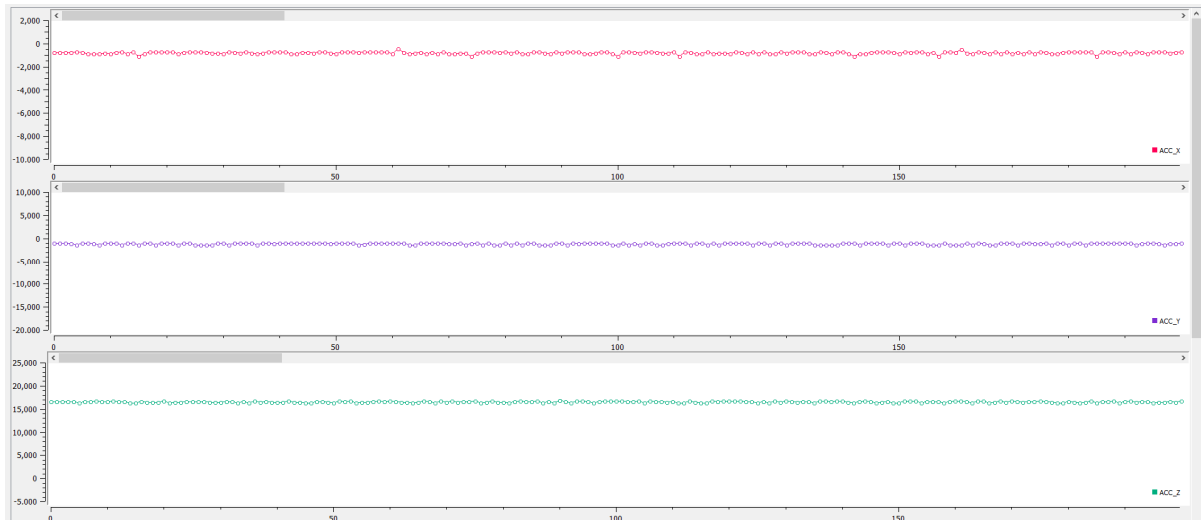


รูปที่ 6.1 ทิศทางการติดตั้ง Gyroscope และ Accelerometer มุมมองด้านบน

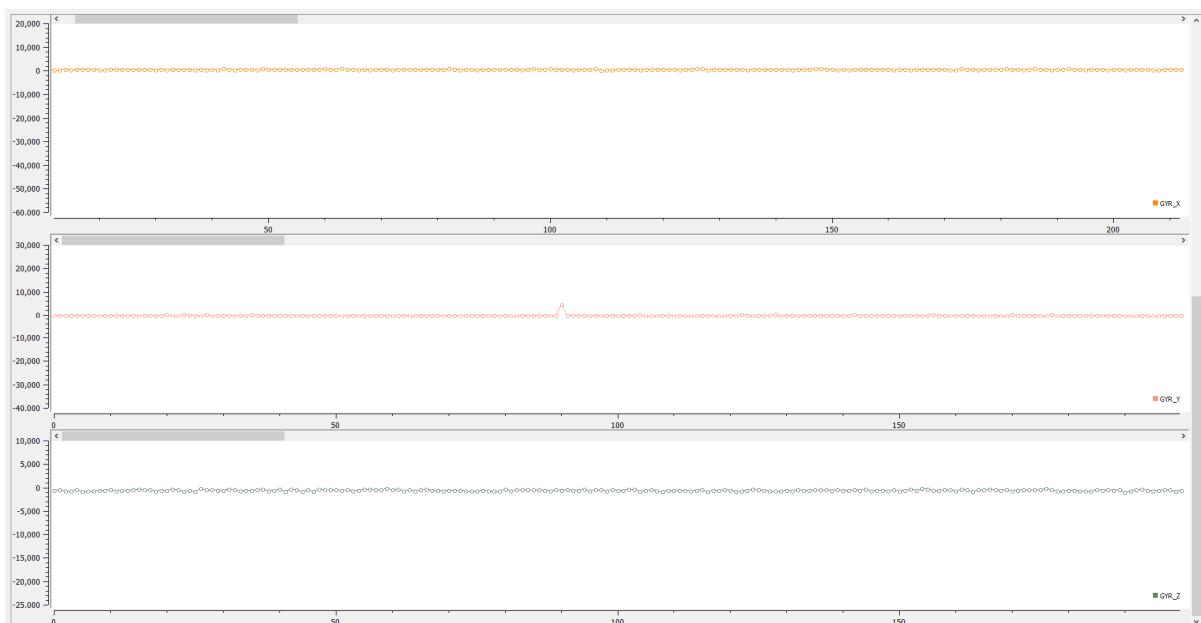


รูปที่ 6.2 ทิศทางการติดตั้ง Gyroscope และ Accelerometer มุมมองด้านข้าง

ในการทดสอบกรณีจอดนิ่ง ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 6.3 และรูปที่ 6.4 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า Accelerometer ในแนวแกน X และ Y มีค่าเท่ากับ 0 ส่วนในแนวแกน Z ได้ผลลัพธ์ประมาณ 16,600 หลังจากแปลงหน่วยจากข้อมูลดิบให้อยู่ในรูปความเร่งจะมีค่าประมาณ 9.8 m/s^2 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (g-force) ในส่วนของ Gyroscope มีค่าเท่ากับ 0 ทั้งในแนวแกน X Y และ Z

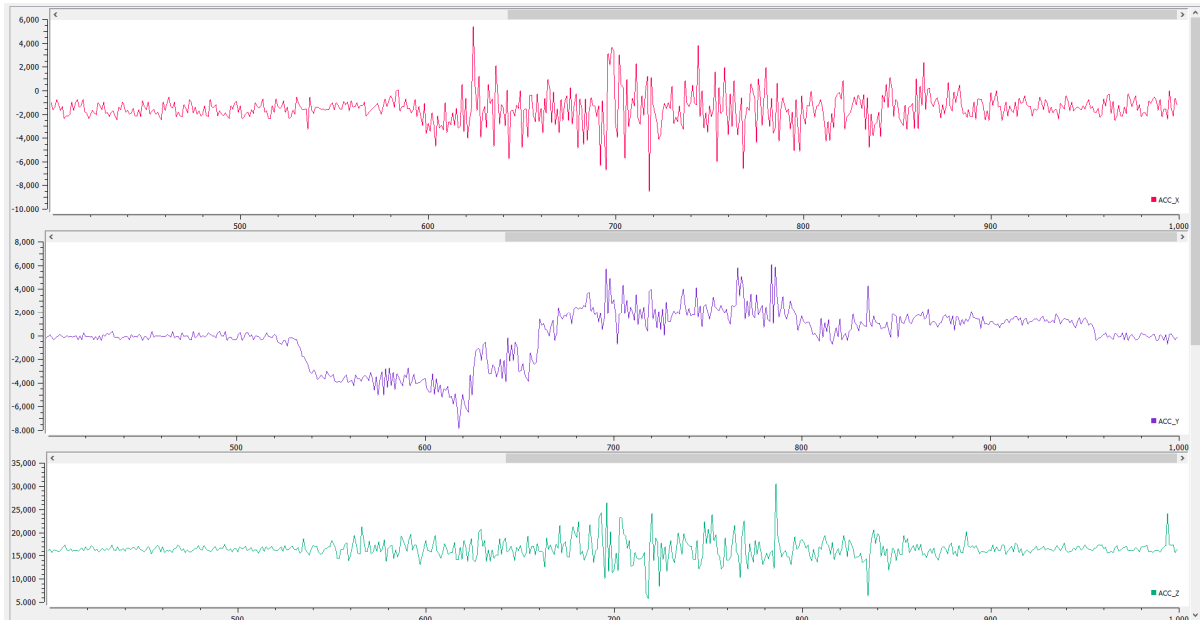


รูปที่ 6.3 Accelerometer กรณี จอดนิ่ง

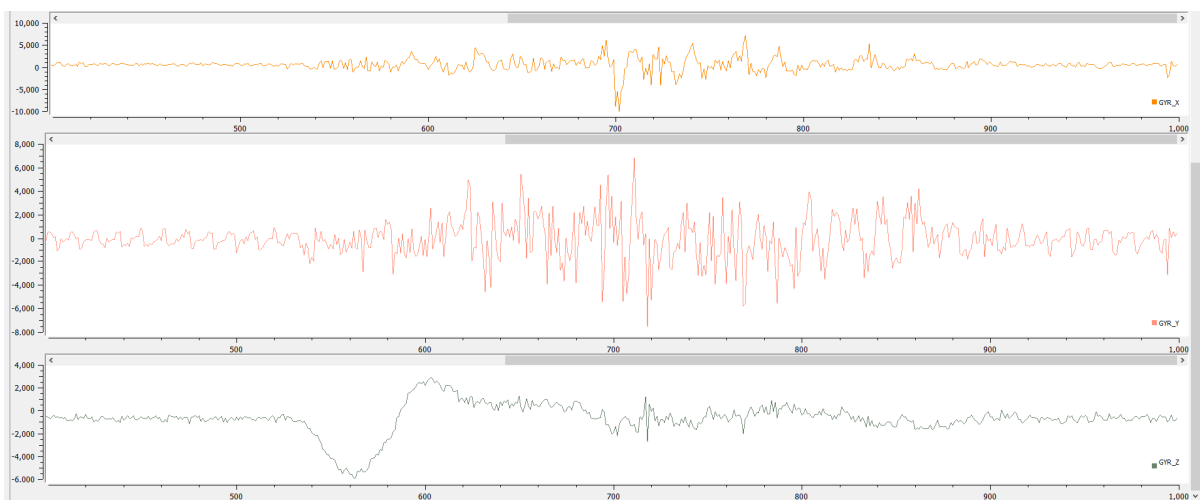


รูปที่ 6.4 Gyroscope กรณี จอดนิ่ง

ในการทดสอบกรณีออกตัวแรง ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 6.5 และรูปที่ 6.6 ตามลำดับ พิจารณา Accelerometer ในแนวแกน Y จากผลการทดสอบพบว่า หลังจากแปลงหน่วยจากข้อมูลดิบให้อยู่ในรูปความเร่งจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ -3.76 m/s^2 โดยทั่วไปการที่ความเร่งเป็นบวกจะหมายถึงการเร่งความเร็วให้มากขึ้น แต่จากที่ค่าผลลัพธ์จากการทดลองเป็นลบ มีสาเหตุจากทิศทางการติดตั้งตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ และเนื่องจากการทดสอบความเร่งจึงพิจารณาเพียงแค่ Accelerometer

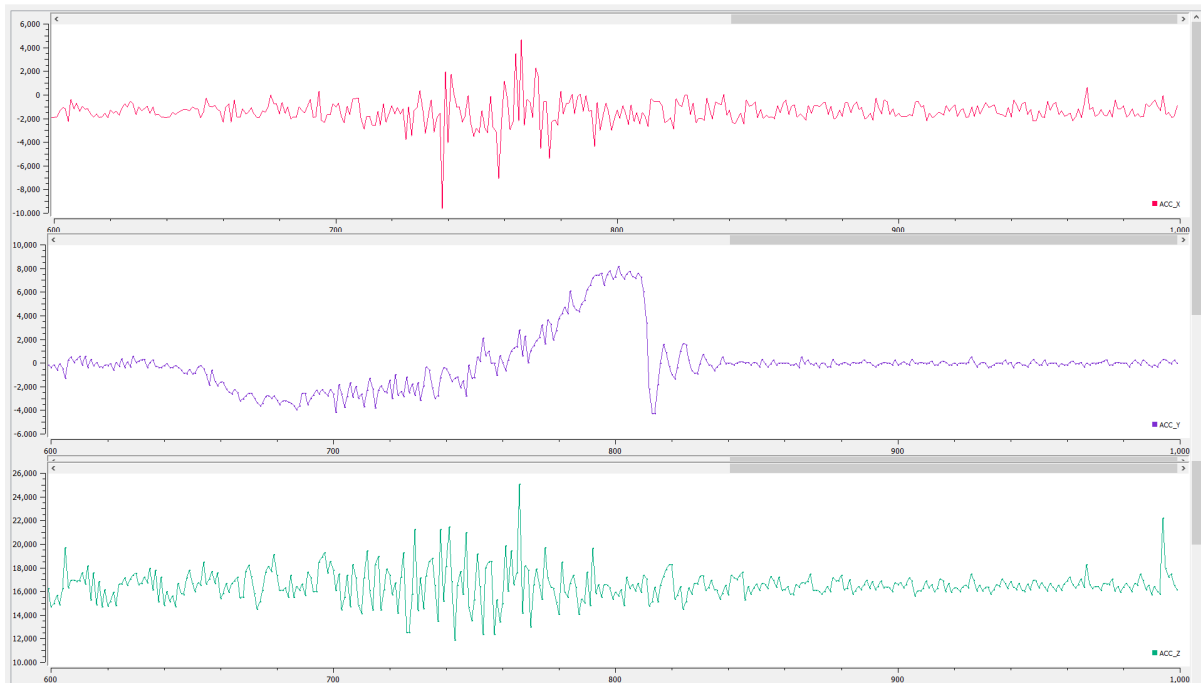


รูปที่ 6.5 ตัวอย่างผลลัพธ์ Accelerometer กรณีออกตัวแรง

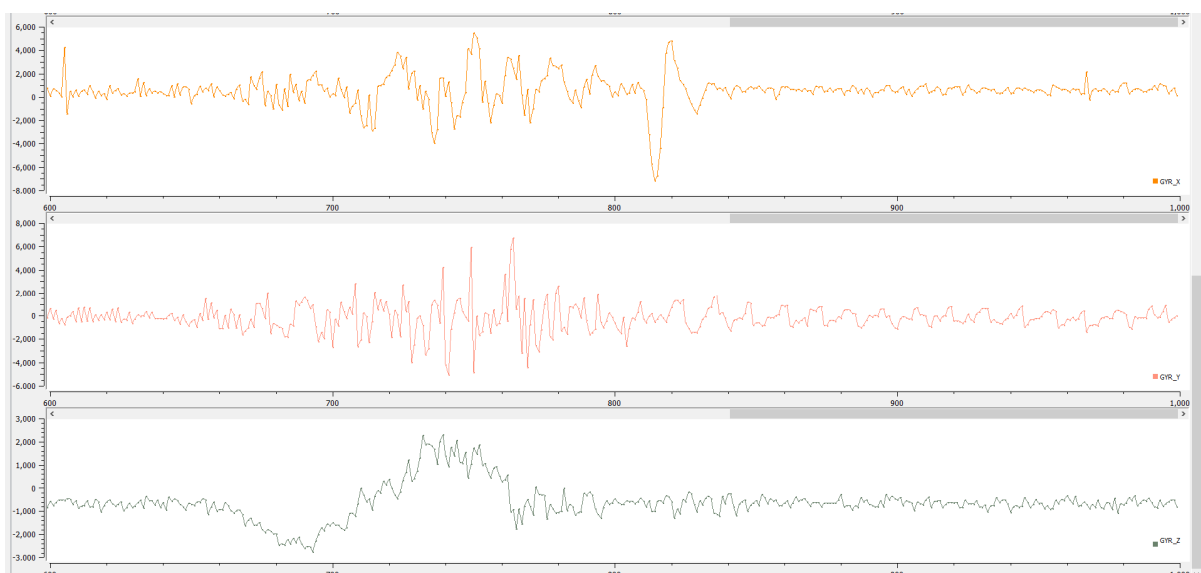


รูปที่ 6.6 ตัวอย่างผลลัพธ์ Gyroscope กรณีออกตัวแรง

ในการทดสอบกรณีเบรกกระทันหัน ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 6.7 และรูปที่ 6.8 ตามลำดับ พิจารณา Accelerometer ในแนวแกน Y จากผลการทดสอบพบว่า หลังจากแปลงหน่วยจากข้อมูลดิบให้อยู่ในรูป ความเร่งจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 4.06 m/s^2 โดยทั่วไปการที่ความเร่งเป็นลบจะหมายถึงการหน่วงหรือเบรกเพื่อลดความเร็วให้ช้าลง แต่จากที่ค่าผลลัพธ์จากการทดลองเป็นบวก มีสาเหตุจากทิศทางการติดตั้งตรงข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ และเนื่องจากการทดสอบความเร่งจึงพิจารณาเพียงแค่ Accelerometer

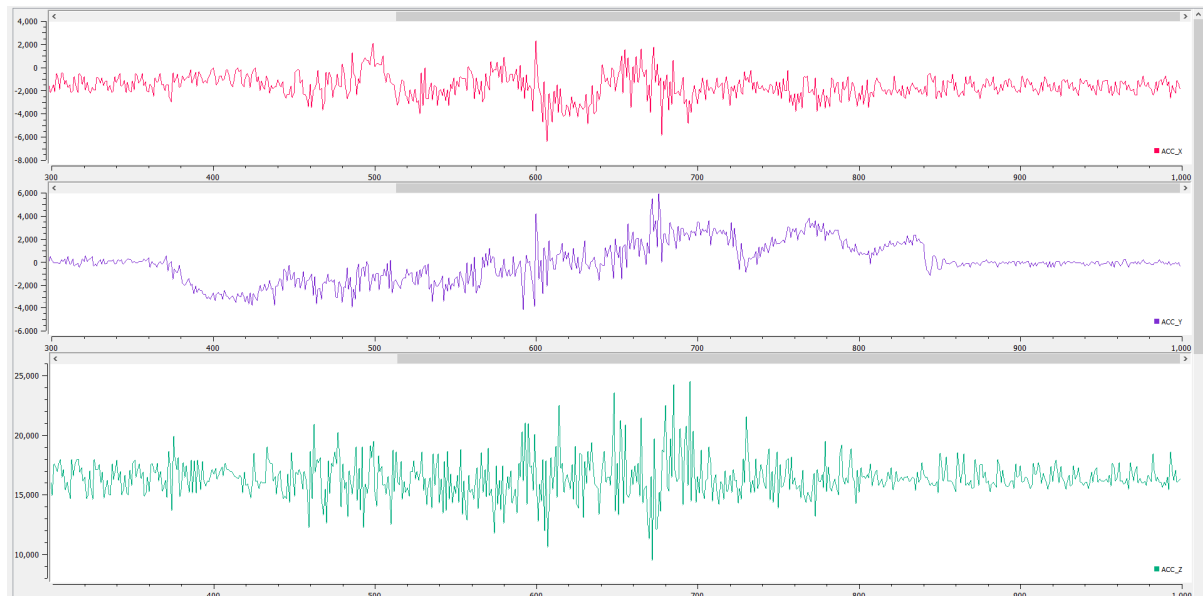


รูปที่ 6.7 ตัวอย่างผลลัพธ์ Accelerometer กรณีเบรกกระทันหัน

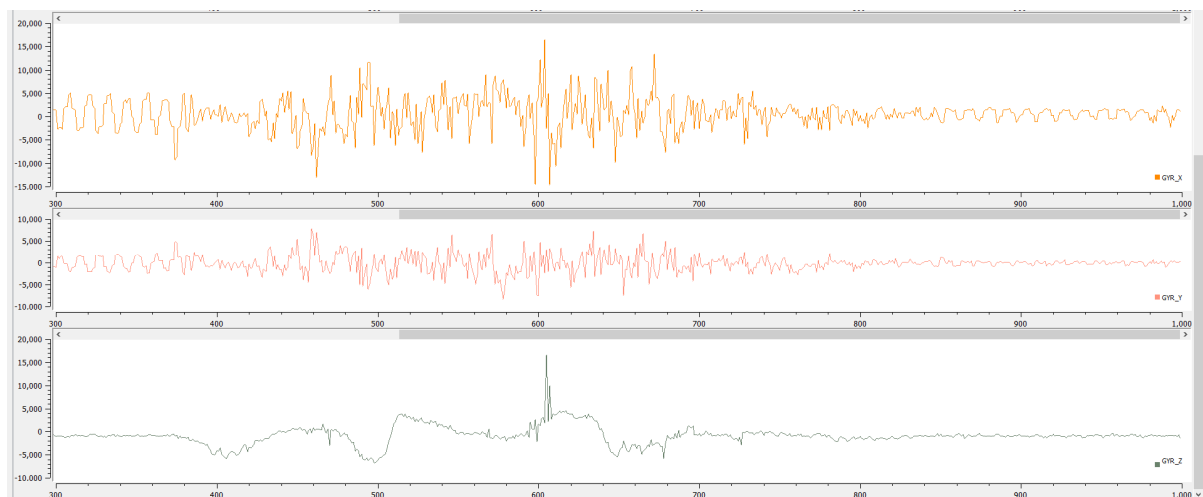


รูปที่ 6.8 ตัวอย่างผลลัพธ์ Gyroscope กรณีเบรกกระทันหัน

ในการทดสอบกรณีเบี่ยงกะทันหัน ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 6.9 และรูปที่ 6.10 ตามลำดับ พิจารณา Accelerometer ในแนวแกน X จากผลการทดสอบพบว่า หลังจากแปลงหน่วยจากข้อมูลดิบให้อยู่ในรูป ความเร่งจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 3.25 m/s^2 จากการติดตั้งอุปกรณ์การเบี่ยงขวาจะมีค่าเป็นบวกหากเบี่ยงซ้าย จะมีค่าเป็นลบ เนื่องจากการทดสอบความเร่งจึงพิจารณาเพียงแค่ Accelerometer

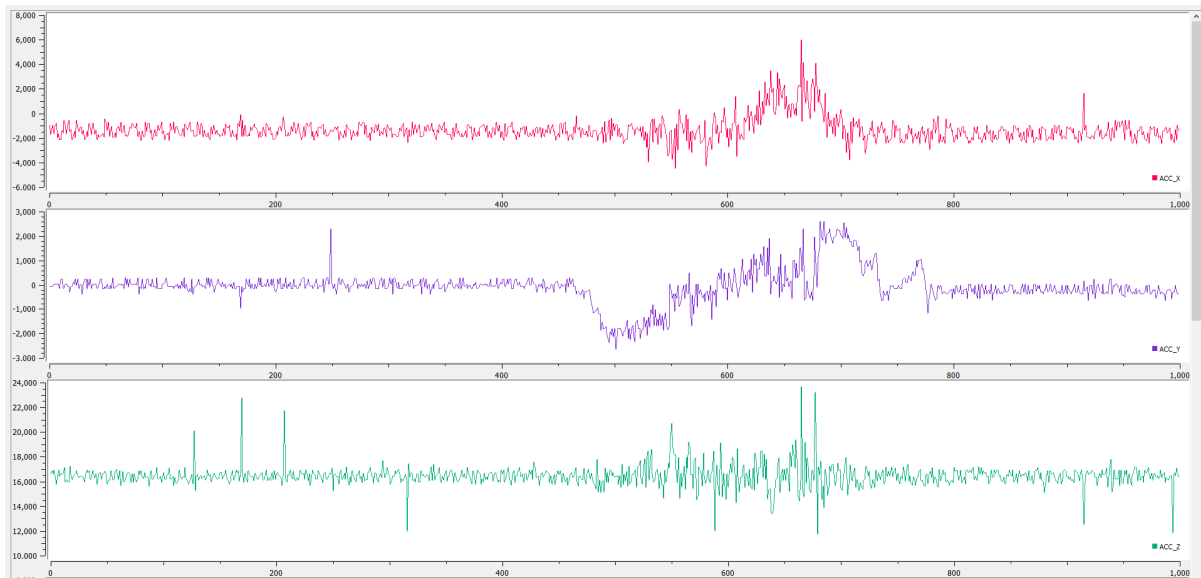


รูปที่ 6.9 ตัวอย่างผลลัพธ์ Accelerometer กรณีเบี่ยงกะทันหัน

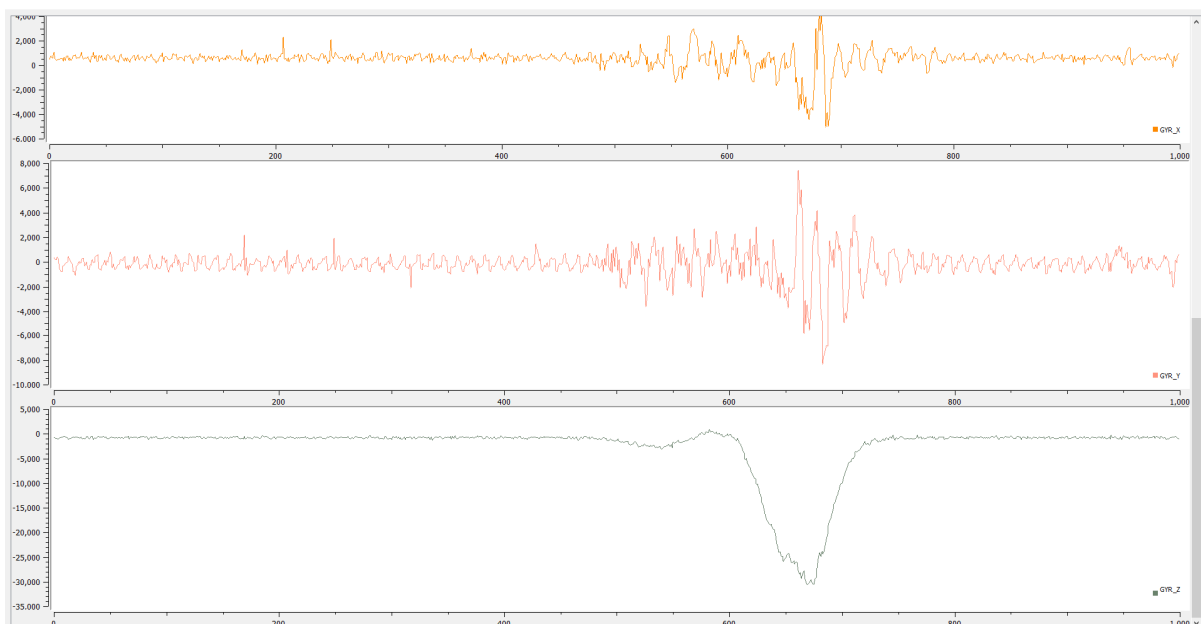


รูปที่ 6.10 ตัวอย่างผลลัพธ์ Gyroscope กรณีเบี่ยงกะทันหัน

ในการทดสอบกรณีเลี้ยวขวา ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 6.11 และรูปที่ 6.12 ตามลำดับ พิจารณา Gyroscope ในแนวแกน Z เนื่องจากการเลี้ยวรถเป็นการเคลื่อนที่หมุนรอบแกนแนวดิ่ง จากผลการทดสอบพบว่า หลังจากแปลงหน่วยจากข้อมูลดิบให้อยู่ในรูปความเร็วเชิงมุมจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ -0.45 rad/s โดยการแปลงหน่วยสามารถคำนวณจากค่าจากการตรวจวัดในแนวแกนตั้ง หาค่าด้วยค่าเวลาที่เปลี่ยนไปในแนวนอน (เวลาที่ใช้ในการเลี้ยว) หาค่าด้วยค่าคงที่ของอุปกรณ์ (มีค่าเท่ากับ 1,000) ดังตัวอย่างในรูปที่ 6.12 ซึ่งเป็นผลการตรวจวัดจาก 1 ใน 5 ครั้ง ค่าจากการตรวจวัดในแนวแกนตั้ง มีค่า $-30,300$ หน่วย ค่าเวลาในแนวนอน $675 - 600$ มีค่า 75 หน่วย เมื่อนำไปคำนวณหาความเร็วเชิงมุมจะมีค่า $(-30,300 \div 75) \div 1,000$ เท่ากับ -0.41 rad/s

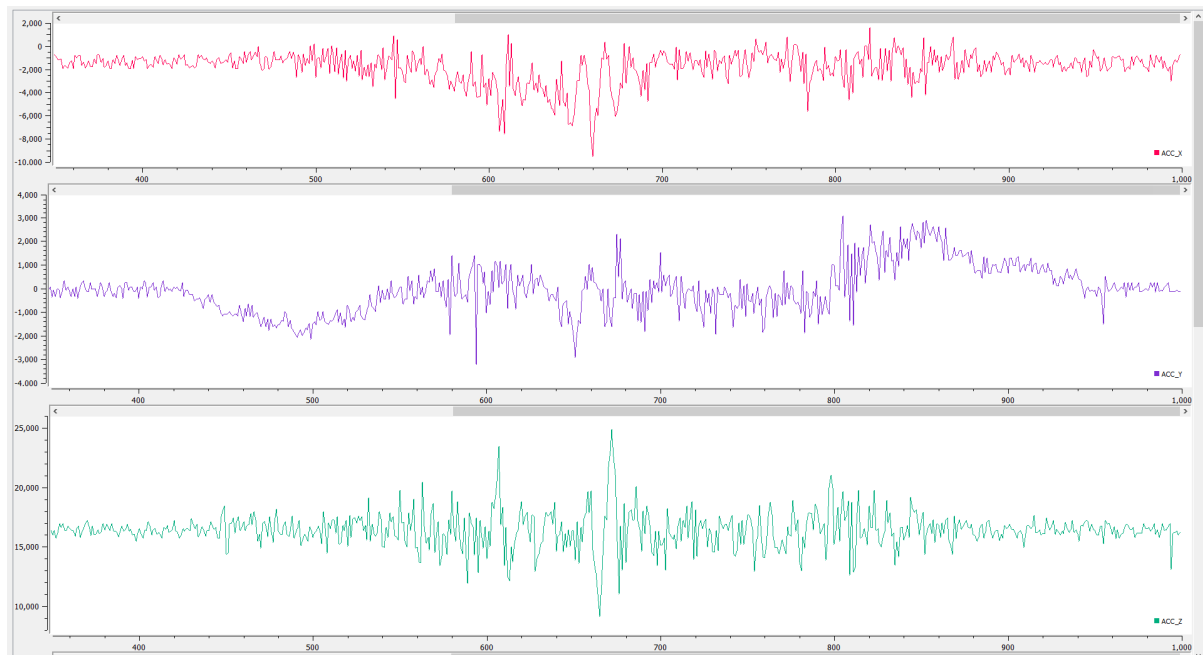


รูปที่ 6.11 ตัวอย่างผลลัพธ์ Accelerometer กรณีเลี้ยวขวา

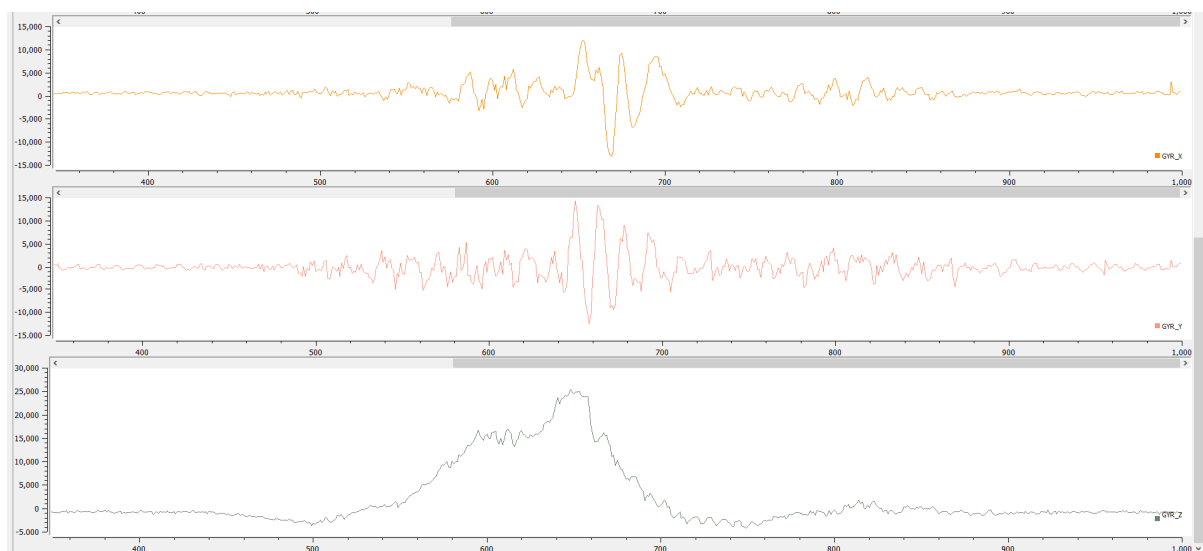


รูปที่ 6.12 ตัวอย่างผลลัพธ์ Gyroscope กรณีเลี้ยวขวา

ในการทดสอบกรณีเลี้ยวซ้าย ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในรูปที่ 6.13 และรูปที่ 6.14 ตามลำดับ พิจารณา Gyroscope ในแนวแกน Z เนื่องจากการเลี้ยวรถเป็นการเคลื่อนที่หมุนรอบแกนแนวดิ่ง จากผลการทดสอบพบว่า หลังจากแปลงหน่วยจากข้อมูลดิบให้อยู่ในรูปความเร็วเชิงมุมจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.42 rad/s



รูปที่ 6.13 ตัวอย่างผลลัพธ์ Accelerometer กรณีเลี้ยวซ้าย



รูปที่ 6.14 ตัวอย่างผลลัพธ์ Gyroscope กรณีเลี้ยวซ้าย

6.3 เปรียบเทียบอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype) 4 รูปแบบ

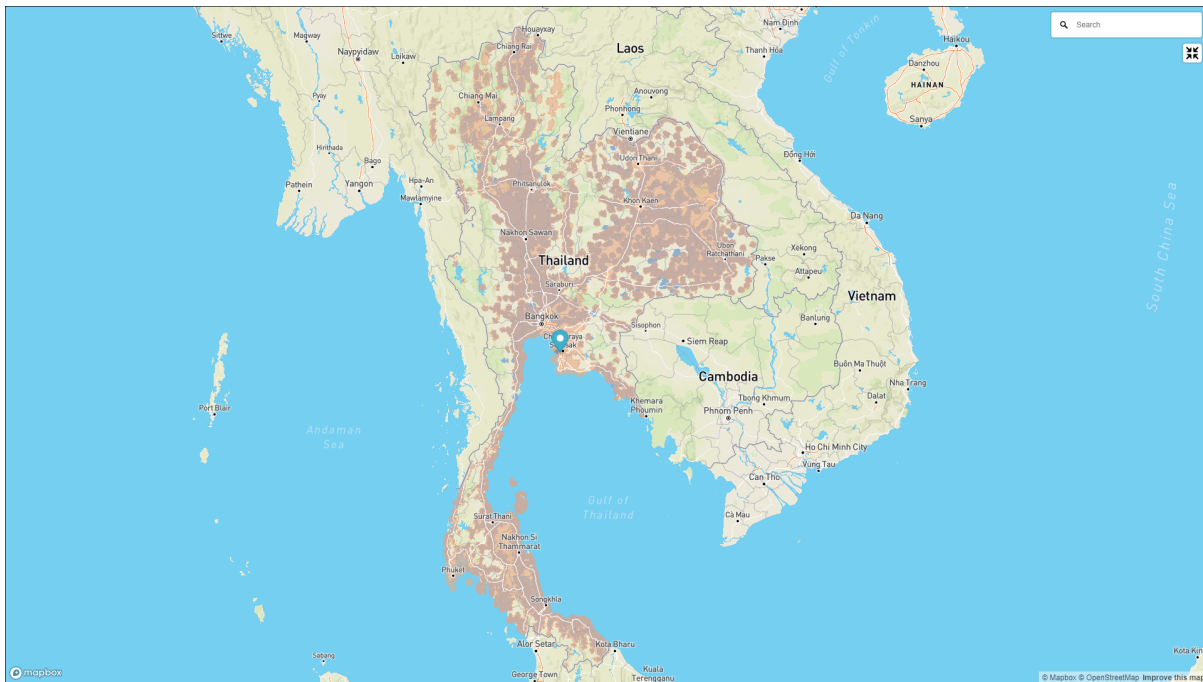
การใช้เทคโนโลยีระบบ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT ทางเลือกนี้จะมี ความแม่นยำในการติดตามสูงมาก สามารถทราบตำแหน่งเป็นเส้นทางจริงที่ใช้ในการเดินทางและยังสามารถทราบตำแหน่งแบบ Real Time ได้อีกด้วย รวมทั้งมีความเร็วการรับส่งข้อมูลสูงสุดที่ 100 Kbps แต่จะมีอัตราการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูง ทำให้ต้องชาร์จแบตเตอรี่บ่อยขนาดความจุของแบตเตอรี่ก็ต้องสูงขึ้น ส่งผลให้ขนาดของอุปกรณ์ต้องใหญ่ขึ้นตามไปด้วย ในส่วนของค่าใช้จ่ายจะแบ่งเป็นค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการ ค่าอุปกรณ์ราคาค่อนข้างต่ำ แต่ค่าเช่าเครือข่าย NB-IoT ต่ออุปกรณ์มีราคาสูงประมาณ 300 บาทต่อเดือน ครอบคลุมของเครือข่ายสูงเช่นเดียวกับสัญญาณโทรศัพท์มือถือ ทั้งนี้สามารถปรับค่าเวลาในการส่งข้อมูลตำแหน่งได้ เช่น ส่งตำแหน่งที่ตั้ง 5 นาที/ครั้ง เพื่อลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์

การใช้เทคโนโลยีระบบ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายแบบลอรา (LoRa) ทางเลือกนี้จะมี ความแม่นยำในการติดตามสูง สามารถทราบตำแหน่งเป็นเส้นทางจริงที่ใช้ในการเดินทาง แต่จะทราบตำแหน่งเมื่ออุปกรณ์ติดตามเคลื่อนที่ผ่านในรัศมีสัญญาณของ LoRa Station และทำการส่งข้อมูลตำแหน่งจากอุปกรณ์ติดตามเสร็จสิ้น ในส่วนของความเร็วการรับส่งข้อมูลสูงสุดประมาณ 50 Kbps ที่ระยะใกล้ และมีความเร็วประมาณ 290 bps ที่ระยะไกลสุดประมาณ 10-15 กิโลเมตร อัตราการใช้พลังงานปานกลาง ในส่วนของค่าใช้จ่ายจะแบ่งเป็นค่าอุปกรณ์และค่าดำเนินการ ค่าอุปกรณ์ราคาค่อนข้างต่ำ ค่าเช่าเครือข่ายต่ออุปกรณ์ประมาณ 300 บาท/ปี ครอบคลุมของเครือข่ายดังแสดงในรูปที่ 6.15

การใช้อุปกรณ์สื่อสารแบบลอรา (LoRa) เพียงอย่างเดียว ทางเลือกนี้จะมี ความแม่นยำในการติดตามค่อนข้างต่ำ ข้อมูลที่ได้จะเป็นตำแหน่งของ LoRa Station ที่อุปกรณ์ติดตามเคลื่อนที่ผ่านในรัศมีสัญญาณที่ระยะไกลสุดประมาณ 10-15 กิโลเมตร อัตราการใช้พลังงานต่ำ (ชาร์จแบตเตอรี่ประมาณ 1 ครั้ง/ปี) ในส่วนของค่าใช้จ่ายจะใกล้เคียงกับการใช้เทคโนโลยีระบบ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายแบบลอรา (LoRa)

การใช้ระบบ RFID เพียงอย่างเดียว ทางเลือกนี้จะมี ความแม่นยำในการติดตามค่อนข้างต่ำ ข้อมูลที่ได้จะเป็นตำแหน่งของเครื่องอ่านสัญญาณ RFID (RFID Station) ที่ RFID tag เคลื่อนที่ผ่านระยะ 1-10 เมตร หากเป็น Passive RFID Tags จะไม่มีการใช้พลังงานเลย ในส่วนของค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์ RFID Tags มีราคาต่ำ แต่ในส่วนของ RFID Station จะมีราคาค่อนข้างสูง หากทำการติดตั้งในหลายพื้นที่เพื่อให้ครอบคลุมขอบเขตพื้นที่การใช้งานรถประจำถิ่น จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้สูงมาก

การเปรียบเทียบแนวทางของอุปกรณ์ต้นแบบ 4 รูปแบบ ในแง่ของค่าใช้จ่าย ความแม่นยำในการติดตาม และการใช้พลังงาน แสดงดังตารางที่ 6.8 ทั้งนี้สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้อุปกรณ์แต่ละรูปแบบขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ซึ่งในที่นี้ต้องการติดตามควบคุมการใช้งานของรถประจำถิ่นว่าไม่ละเมิดข้อตกลงในแง่ของพื้นที่ที่อนุญาตให้เดินทางได้ ระยะเวลาในการเข้ามาภายในประเทศไทยต่อครั้ง รวมถึงเงื่อนไขอื่นๆ ที่มีการกำหนดไว้ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการกำกับดูแลรถประจำถิ่น



รูปที่ 6.15 พื้นที่การให้บริการสัญญาณ LoRa ของ CAT Telecom

ตารางที่ 6.8 เปรียบเทียบอุปกรณ์ต้นแบบ 4 รูปแบบ

ลำดับ	รายละเอียด	ค่าใช้จ่าย	ความแม่นยำการติดตาม		การใช้พลังงาน
			ตำแหน่ง	การส่งข้อมูล	
1	GPS ร่วมกับ NB-IoT	สูง	เส้นทางจริง	Real Time	สูง
2	GPS ร่วมกับ LoRa	ต่ำ	เส้นทางจริง	เมื่อผ่านสถานี	ปานกลาง
3	LoRa	ต่ำ	ตำแหน่งสถานี	เมื่อผ่านสถานี	ต่ำ
4	RFID	สูงมาก	ตำแหน่งสถานี	เมื่อผ่านสถานี	-

6.4 ความถูกต้องในการตรวจวัดตำแหน่งยานพาหนะ

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการเปรียบเทียบความถูกต้องการตรวจวัดตำแหน่งยานพาหนะโดยผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 6.9 โดยการเปรียบเทียบอุปกรณ์ติดตาม 4 รูปแบบ ได้แก่

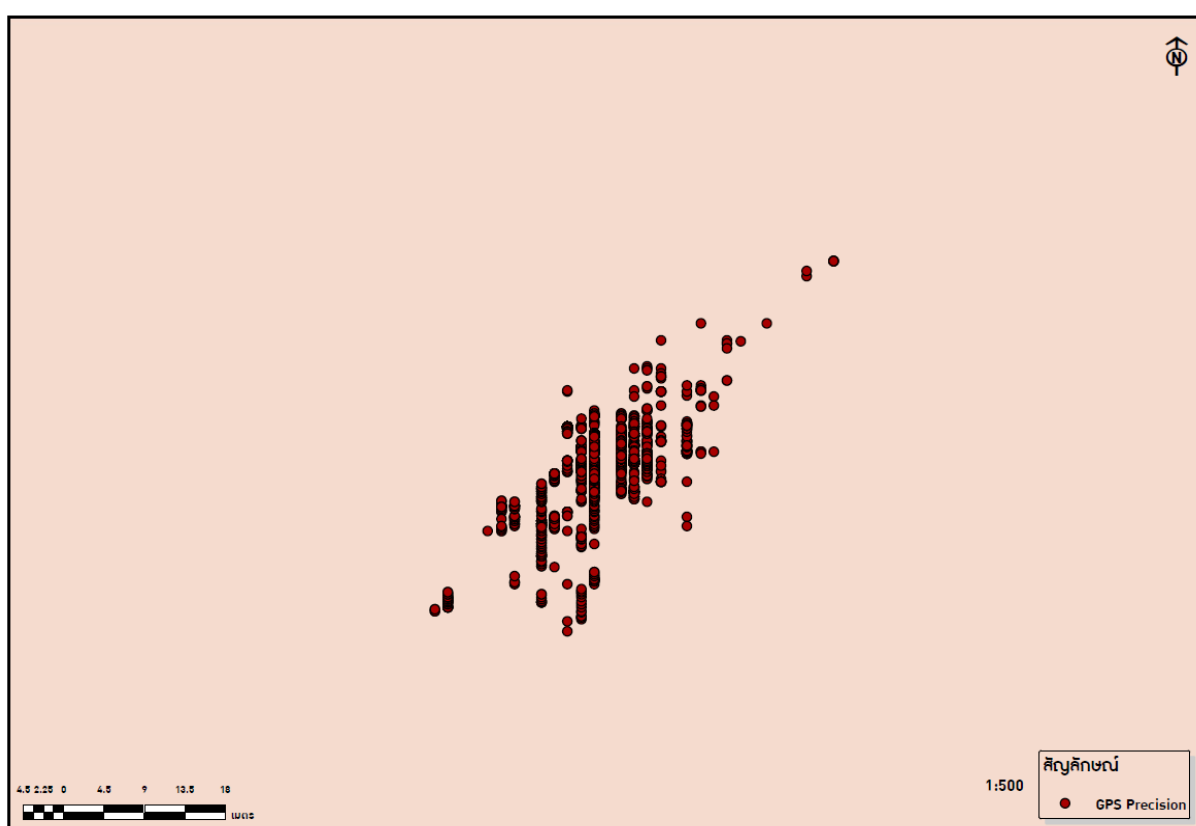
- อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT
- อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa
- อุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa
- RFID Tag

ที่ปรึกษายังได้วิเคราะห์เพิ่มเติมในส่วนความแม่นยำในการติดตามของอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT และอุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa โดยวิธีทดสอบความแม่นยำคือการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามในตำแหน่งพิกัดคงที่ และบันทึกการเปลี่ยนแปลงของพิกัดที่ตรวจวัดได้จากอุปกรณ์ที่ปรึกษาได้ทำการทดลองเป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยตรวจวัดตำแหน่งได้ทั้งสิ้น 1,865 จุด ดังแสดงในรูปที่ 6.16 จากนั้นจึงนำตำแหน่งทั้งหมดไปคำนวณระยะห่างจากตำแหน่งอ้างอิงและวัดการกระจายตัวของข้อมูลพร้อม

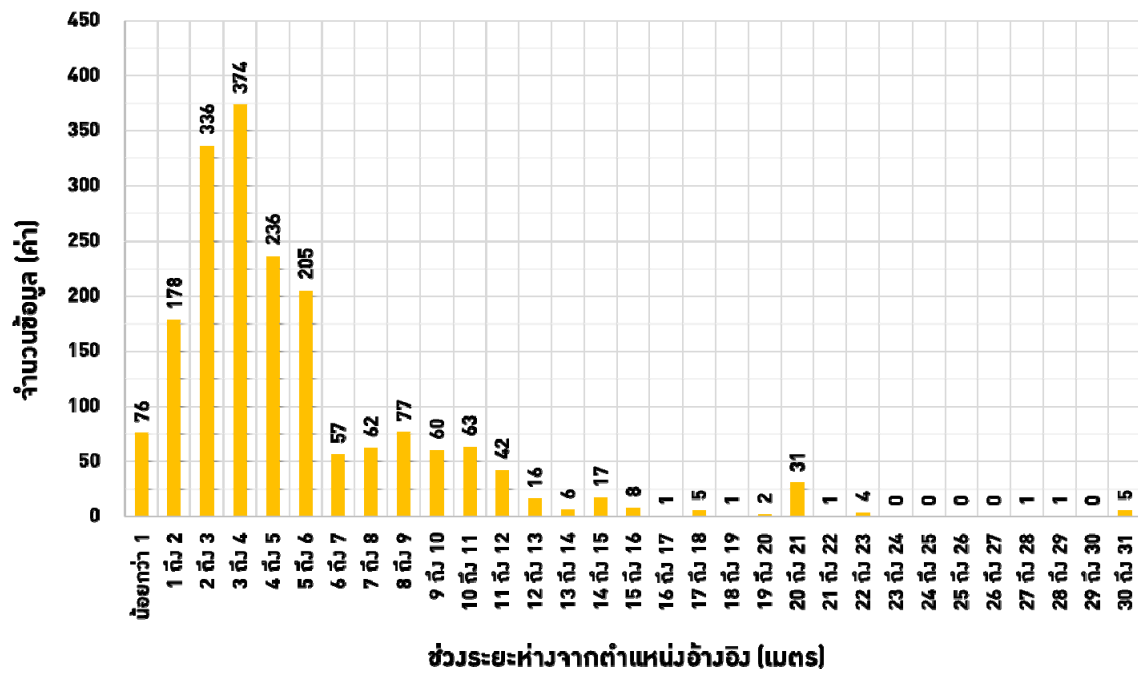
แบ่งเป็นช่วง ช่วงละ 1 เมตร พร้อมวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนสะสม ดังแสดงในรูปที่ 6.17 และรูปที่ 6.18 หลังจากนั้นจึงนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์เชิงสถิติ ได้แก่ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าพิสัย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.9 เปรียบเทียบความถูกต้องในการตรวจวัดตำแหน่งยานพาหนะ

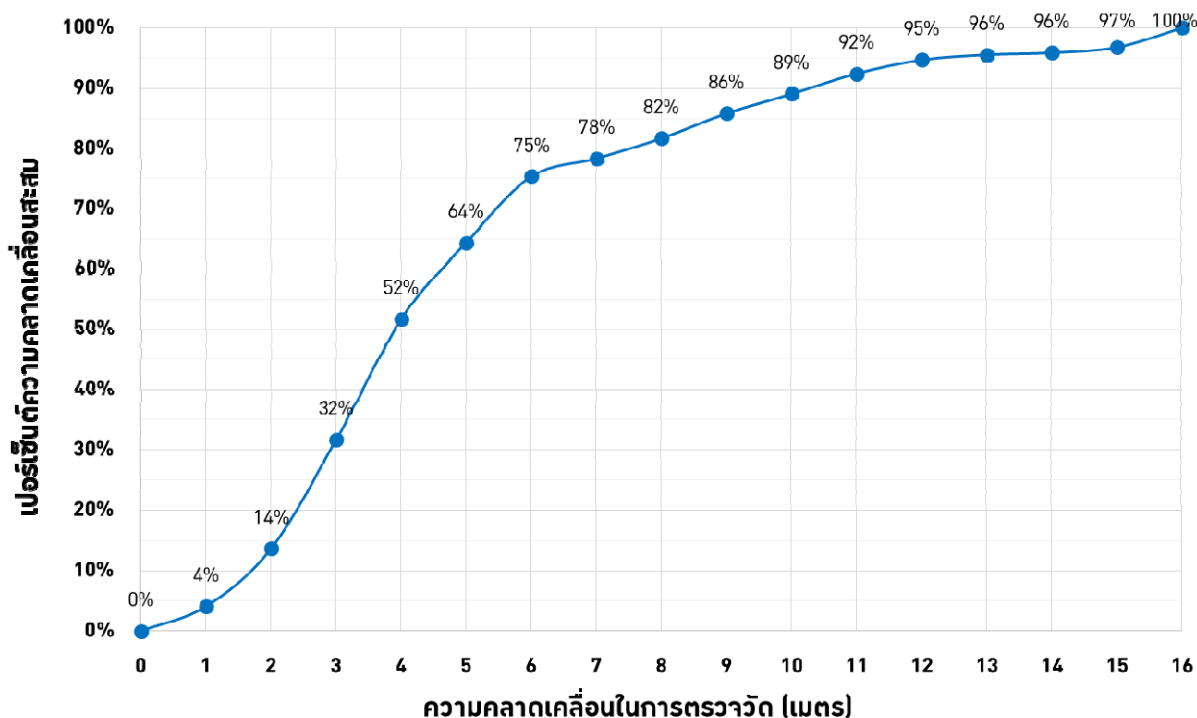
ลำดับ	อุปกรณ์	ความถูกต้องในการวัดตำแหน่ง	หมายเหตุ
1	LoRa	ตำแหน่ง สถานี LoRa	ทราบตำแหน่งเมื่ออุปกรณ์ผ่านสถานี
2	GPS + LoRa	ตำแหน่ง อุปกรณ์บนยานพาหนะ	ทราบตำแหน่งเมื่ออุปกรณ์ผ่านสถานี
3	GPS + NB-IoT	ตำแหน่ง อุปกรณ์บนยานพาหนะ	ทราบตำแหน่งตลอดเวลา
4	RFID Tag	ตำแหน่ง RFID Reader	ทราบตำแหน่งเมื่ออุปกรณ์ผ่าน RFID Reader



รูปที่ 6.16 ผลการตรวจวัดความแม่นยำในการติดตามของอุปกรณ์ติดตาม



รูปที่ 6.17 การกระจายตัวของตำแหน่งในการทดสอบความแม่นยำในการติดตาม



รูปที่ 6.18 ความคลาดเคลื่อนในการตรวจวัดสะสม

ตารางที่ 6.10 ผลสรุปความแม่นยำในการติดตามทางสถิติ

ลำดับ	รายละเอียด	ค่า (เมตร)
1	ค่าต่ำสุด (Minimum)	0.90
2	ค่าเฉลี่ย (Average)	5.14
3	ค่าสูงสุด (Maximum)	30.89
4	ค่าพิสัย (Range)	29.99
5	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	4.12

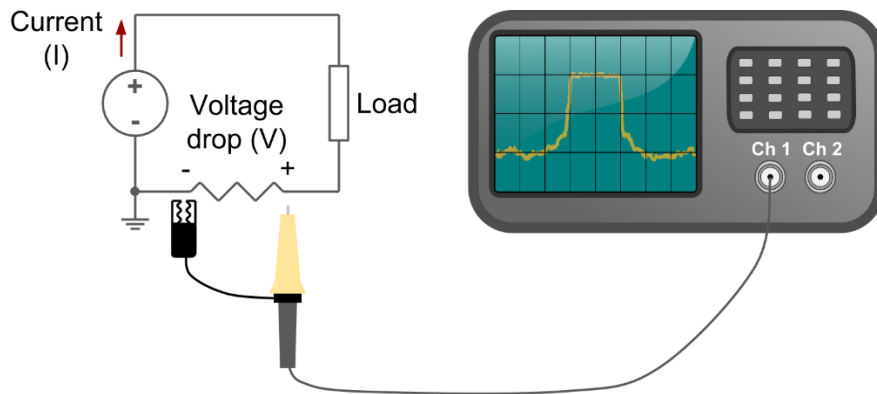
6.5 ความถี่/ความเร็วในการส่งข้อมูล และระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์อย่างต่อเนื่องโดยไม่ชาร์จแบตเตอรี่

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการเปรียบเทียบความถี่/ความเร็วในการส่งข้อมูล และระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์อย่างต่อเนื่องโดยไม่ชาร์จแบตเตอรี่ โดยการเปรียบเทียบอุปกรณ์ติดตาม 3 รูปแบบ ได้แก่

- อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT
- อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa
- อุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa

การคำนวณอายุการใช้งานของอุปกรณ์ สามารถทำได้โดยการหากระแสเฉลี่ยของอุปกรณ์ แล้วนำมาหารด้วยค่าพลังงานของแบตเตอรี่ โดยการหากระแสเฉลี่ยของอุปกรณ์นั้นจำเป็นต้องใช้ Oscilloscope ตรวจวัดกระแสในแต่ละช่วงการทำงานของอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 6.19 โดยใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรม

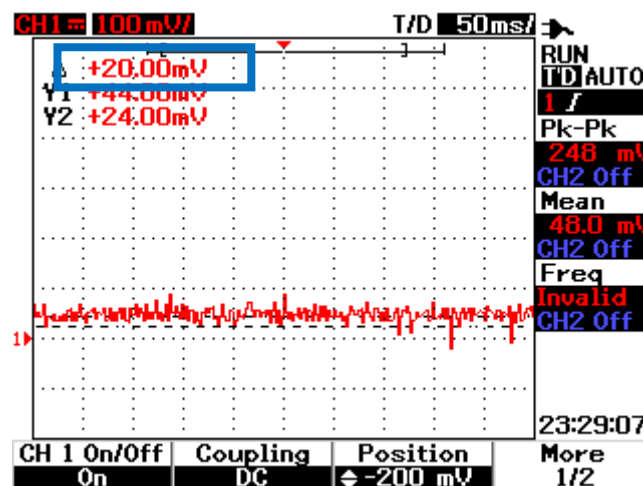
และวัดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน เพื่อนำมาคำนวณค่ากระแส และนำไปคำนวณค่ากระแสเฉลี่ยต่อไปต่อไป โดยการต่อตัวต้านทานจะเป็นไปตามวงจร การทดสอบครั้งนี้ได้เลือกใช้ตัวต้านทานขนาด 10 Ohm ซึ่งเหมาะสมต่อพิกัดกระแสของอุปกรณ์ใช้งานและไม่ส่งผลให้ ค่า Voltage ต่ำเกินไปจนทำให้อุปกรณ์จะไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ



รูปที่ 6.19 การวัดค่าโดย Oscilloscope

(1) การคำนวณอายุการใช้งานของอุปกรณ์ LoRa

จากการทดสอบจะได้ค่ากระแสของอุปกรณ์ 2 ช่วงการทำงานประกอบไปด้วยกระแสช่วงไม่มีการใช้งาน (idle) และกระแสช่วงรับส่งข้อมูล โดยกระแสช่วง idle จากการอ่านค่าของ oscilloscope จะอ่านค่าได้ดังรูปที่ 6.20

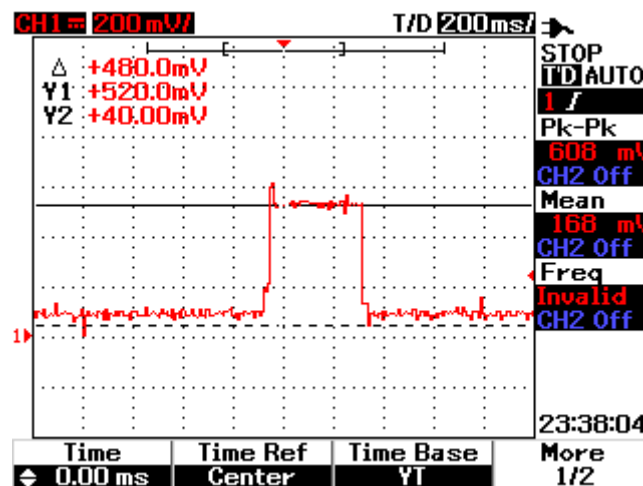


รูปที่ 6.20 กระแสช่วง idle

จากกราฟค่าความต่างศักย์ที่อ่านได้อยู่ที่ 20mV เมื่อหารด้วยค่าความต้านทานที่นำมาอนุกรมด้วยจะได้ค่ากระแสช่วง idle คือ

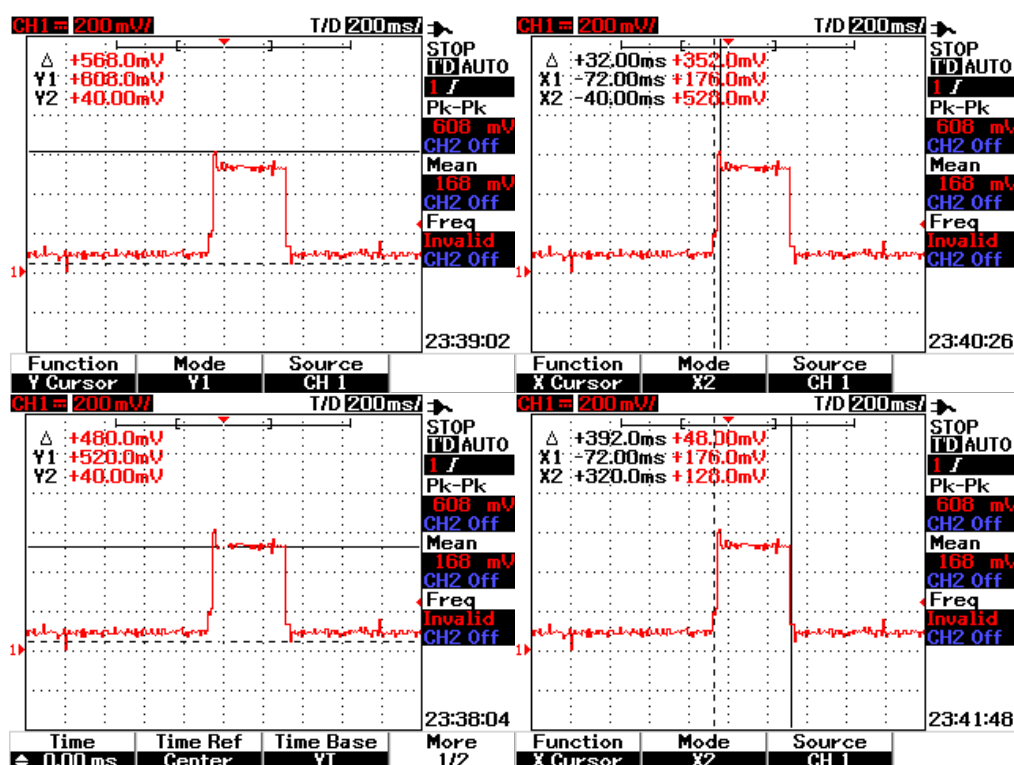
$$I_{idle} = \frac{V_R}{R} = \frac{20mV}{10} = 2mA$$

เมื่ออุปกรณ์ทำการรับส่งข้อมูลก็จะได้ค่าความต่างศักย์ของตัวต้านทานดังรูปที่ 6.21



รูปที่ 6.21 กระแสช่วงรับ-ส่งข้อมูล

จากรูปแบบกราฟ (Waveform) ที่เกิดขึ้นดังแสดงในรูปที่ 6.22 จะสามารถหาค่าความต่างศักย์เฉลี่ยของอุปกรณ์ได้โดยการหาพื้นที่ใต้กราฟ จากการวัดค่าองค์ประกอบของ Waveform พบว่าความกว้างของสัญญาณทั้งหมดอยู่ที่ 392 ms โดยมีช่วงค่าสูงสุดอยู่ที่ 32 ms และความสูงของสัญญาณอยู่ที่ 480 mV และยอดความสูงที่ 568 mV



รูปที่ 6.22 Waveform ของอุปกรณ์ LoRa

จากค่าต่างๆจะสามารถคำนวณหาค่าแรงดันเฉลี่ยของช่วงส่งข้อมูลได้ ดังนี้

$$V_a = \frac{(568 \times 32) + (480 \times (392 - 32))}{392} = 487.18 \text{ mV}$$

และจะได้กระแสเฉลี่ยช่วงการรับส่งข้อมูลได้ เท่ากับ

$$I_a = \frac{V_a}{R} = \frac{487.18}{10} = 48.72 \text{ mA}$$

เมื่อได้กระแสของทั้งสองช่วงการทำงานแล้ว จะสามารถหากระแสเฉลี่ยของอุปกรณ์และอายุการใช้งาน โดยกระแสเฉลี่ยของอุปกรณ์จะขึ้นอยู่กับความถี่ของการส่งข้อมูล ในการคำนวณครั้งนี้จะคำนวณที่การส่งทุก 30 วินาที จะได้ค่ากระแสเฉลี่ยของอุปกรณ์ ดังนี้

$$I_{av} = \frac{(I_{idle} \times T_{idle}) + (I_a \times T_a)}{T} = \frac{(2 \text{ mA} \times (30 - 0.392)) + (48.72 \text{ mA} \times (0.392))}{30}$$

$$I_{av} = 2.61 \text{ mA}$$

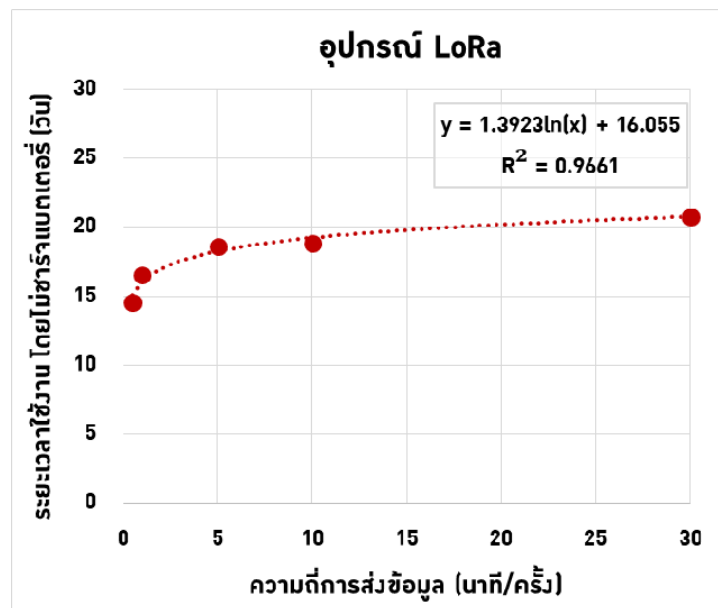
แบตเตอรี่ที่นำมาใช้ในอุปกรณ์สำหรับ LoRa มีค่าพลังงานอยู่ที่ 1150mAh ที่ 3.7V จึงคำนวณหาอายุการใช้งานของอุปกรณ์ได้ ดังนี้

$$LT = \frac{I_H}{I_{av}} = \frac{1150}{2.61} = 440 \text{ Hour} = 18 \text{ days}$$

เมื่อทำการคูณ Factor ความเสี่ยงเข้าไปที่ 80% จะได้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่ 14.4 วัน หรือประมาณ 1 สัปดาห์ แต่หากเราทำการเปลี่ยนช่วงระยะเวลาของการส่งข้อมูลให้ยาวขึ้นก็จะได้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ดังแสดงในตารางที่ 6.11 และรูปที่ 6.23

ตารางที่ 6.11 ระยะเวลาการส่งข้อมูล-อายุการใช้งาน (วัน) อุปกรณ์ LoRa

ระยะเวลาการส่งข้อมูล	อายุการใช้งาน (วัน)
30 วินาที	14.6
60 วินาที	16.6
5 นาที	18.6
10 นาที	18.9
30 นาที	20.8



รูปที่ 6.23 ระยะเวลาการส่งข้อมูล-อายุการใช้งานของอุปกรณ์ LoRa

(2) การคำนวณอายุการใช้งานของอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa

การทดสอบจะใช้วิธีเดียวกันกับ LoRa ทุกประการ โดยจากการทดสอบสามารถเก็บค่ากระแสขณะ idle และกระแสขณะรับส่งข้อมูลได้ดังนี้

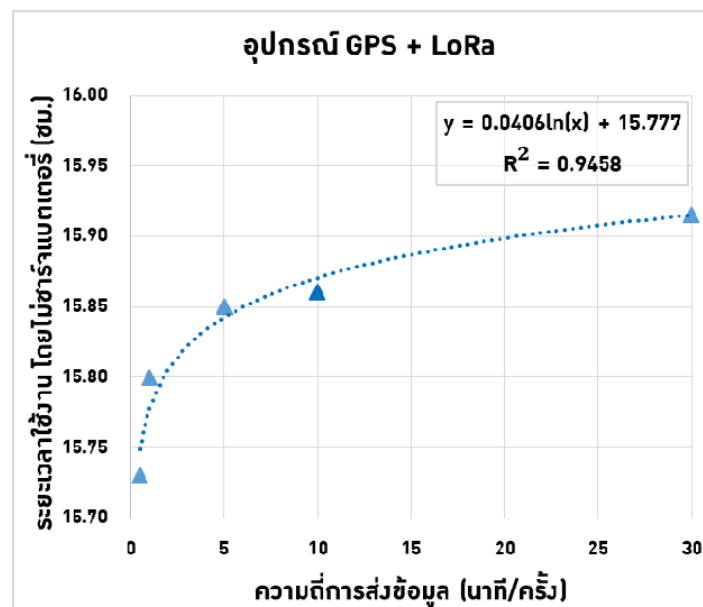
$$I_{idle} = 72.5 \text{ mA}$$

$$I_{tx} = 126.72 \text{ mA}$$

เมื่อนำค่ากระแสขณะ idle และกระแสขณะรับส่งข้อมูล ไปใช้คำนวณอายุการใช้งานของอุปกรณ์จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6.12 และรูปที่ 6.24

ตารางที่ 6.12 ระยะเวลาการส่งข้อมูล-อายุการใช้งาน อุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa

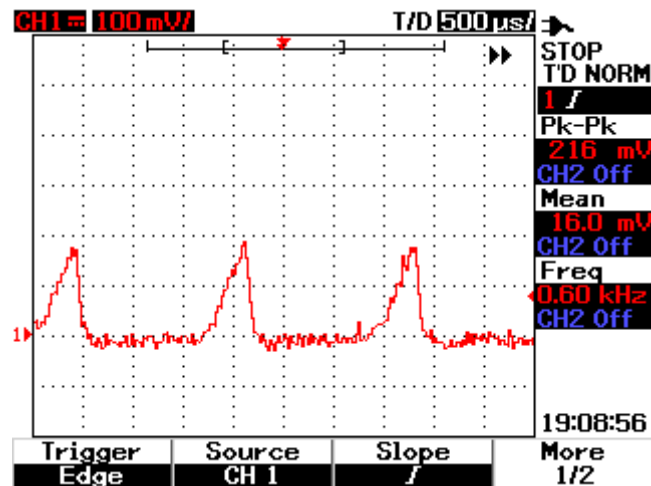
ระยะเวลาการส่งข้อมูล	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
30 วินาที	15.73
60 วินาที	15.80
5 นาที	15.85
10 นาที	15.86
30 นาที	15.92



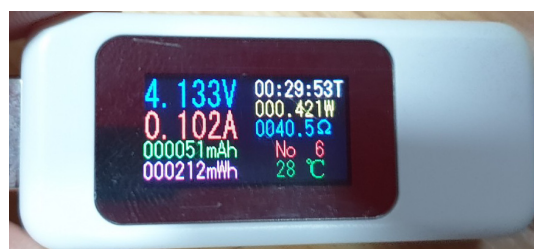
รูปที่ 6.24 ระยะเวลาการส่งข้อมูล-อายุการใช้งานของอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa

(3) การคำนวณอายุการใช้งานของอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT

การคำนวณกระแสสำหรับอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT นั้นมีความแตกต่างจากอุปกรณ์ LoRa และอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa เนื่องจากการทำงานของ Modem LTE นั้น ต้องติดต่อกับเครือข่ายอยู่ตลอดเวลา ทำให้ค่ากระแสที่ตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 6.25 จึงมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือ Coulomb Meter ดังแสดงในรูปที่ 6.26 ร่วมด้วยในการวิเคราะห์



รูปที่ 6.25 กระแสที่วัดได้จากอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IOT



รูปที่ 6.26 เครื่องมือ Coulomb Meter

ในตัวอย่างได้ทำการวัดค่าพลังงานของอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT ที่ส่งค่าทุก 3 นาที เป็นระยะเวลา 30 นาที จากผลการทดสอบจะได้ค่า Energy 212 mWh ในระยะเวลา 30 นาที ดังนั้น ค่าพลังงานที่ใช้จริงจึงมีค่า

$$E_{dev} = \frac{212 \times 60}{30} = 424 \text{ mWh}$$

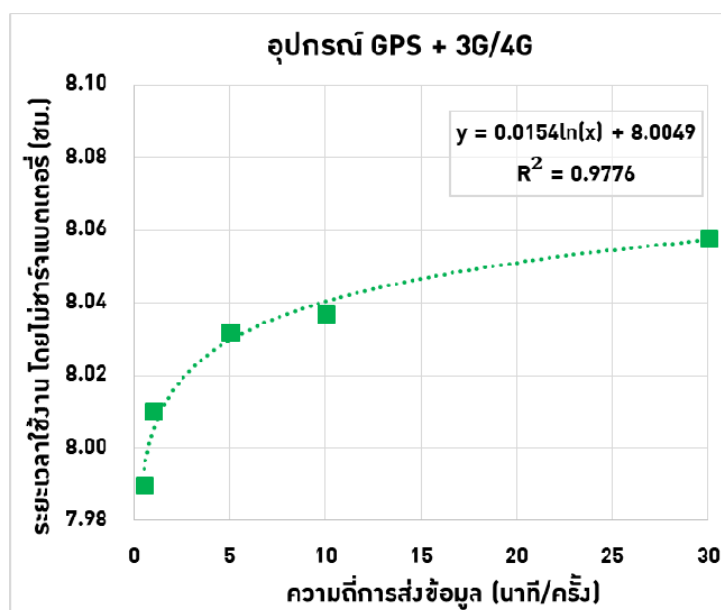
แบตเตอรี่ที่เราเลือกใช้นั้นมีค่าความจุอยู่ที่ 1150mAh ที่ 3.7V คิดเป็น 4,255mWh ดังนั้น อายุการใช้งานของอุปกรณ์ คือ

$$LT = \frac{E_{bat}}{E_{Dev}} = \frac{4255}{424} = 10.04 \text{ Hour}$$

เมื่อทำการคูณ factor ความเสี่ยงเข้าไปที่ 80% ก็จะได้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่ 8.032 ชั่วโมง และเมื่อเราทำการเปลี่ยนช่วงระยะเวลาของการส่งข้อมูลก็จะได้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ตามตารางที่ 6.13 และรูปที่ 6.27

ตารางที่ 6.13 ระยะเวลาการส่งข้อมูล-อายุการใช้งาน อุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT

ระยะเวลาการส่งข้อมูล	อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)
30 วินาที	7.99
60 วินาที	8.01
5 นาที	8.032
10 นาที	8.037
30 นาที	8.060



รูปที่ 6.27 ระยะเวลาการส่งข้อมูล-อายุการใช้งานของอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT

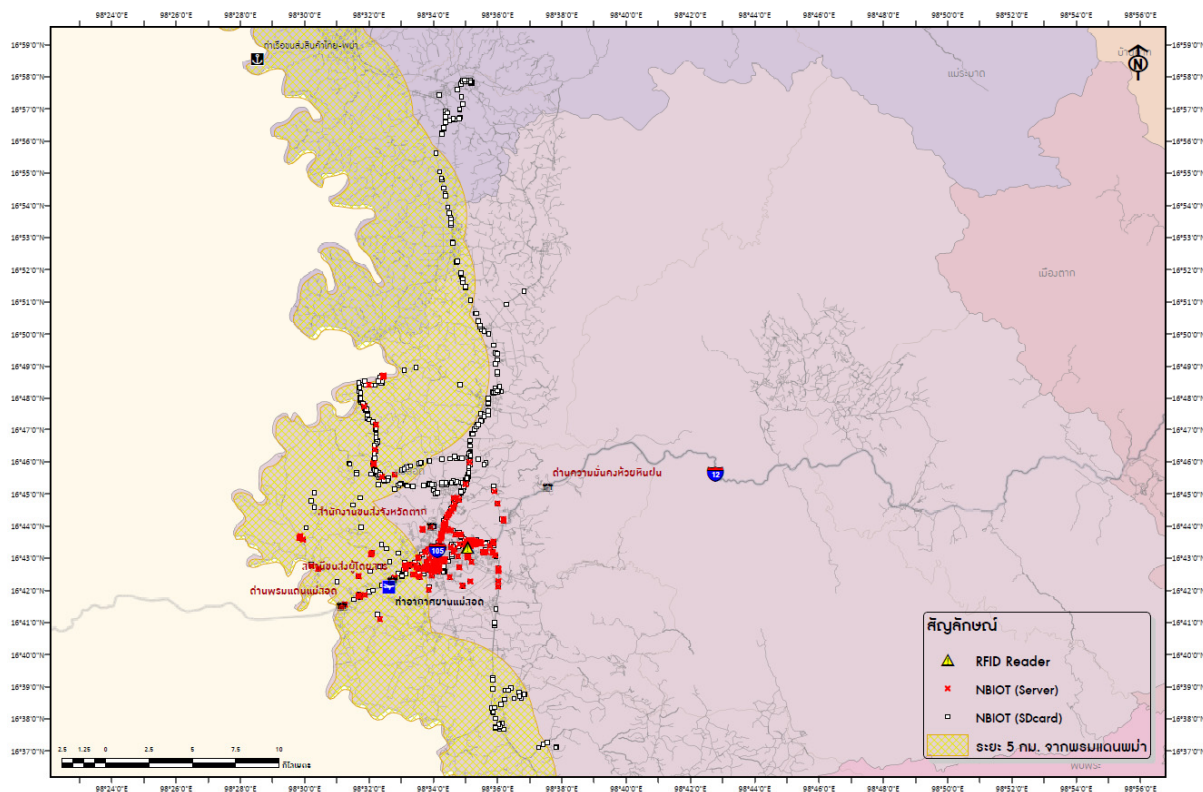
ที่ปรึกษาได้ดำเนินการเปรียบเทียบความถี่/ความเร็วในการส่งข้อมูล และระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์อย่างต่อเนื่องโดยไม่ชาร์จแบตเตอรี่ ผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 6.14

ตารางที่ 6.14 เปรียบเทียบความถี่/ความเร็วในการส่งข้อมูลและระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์อย่างต่อเนื่อง

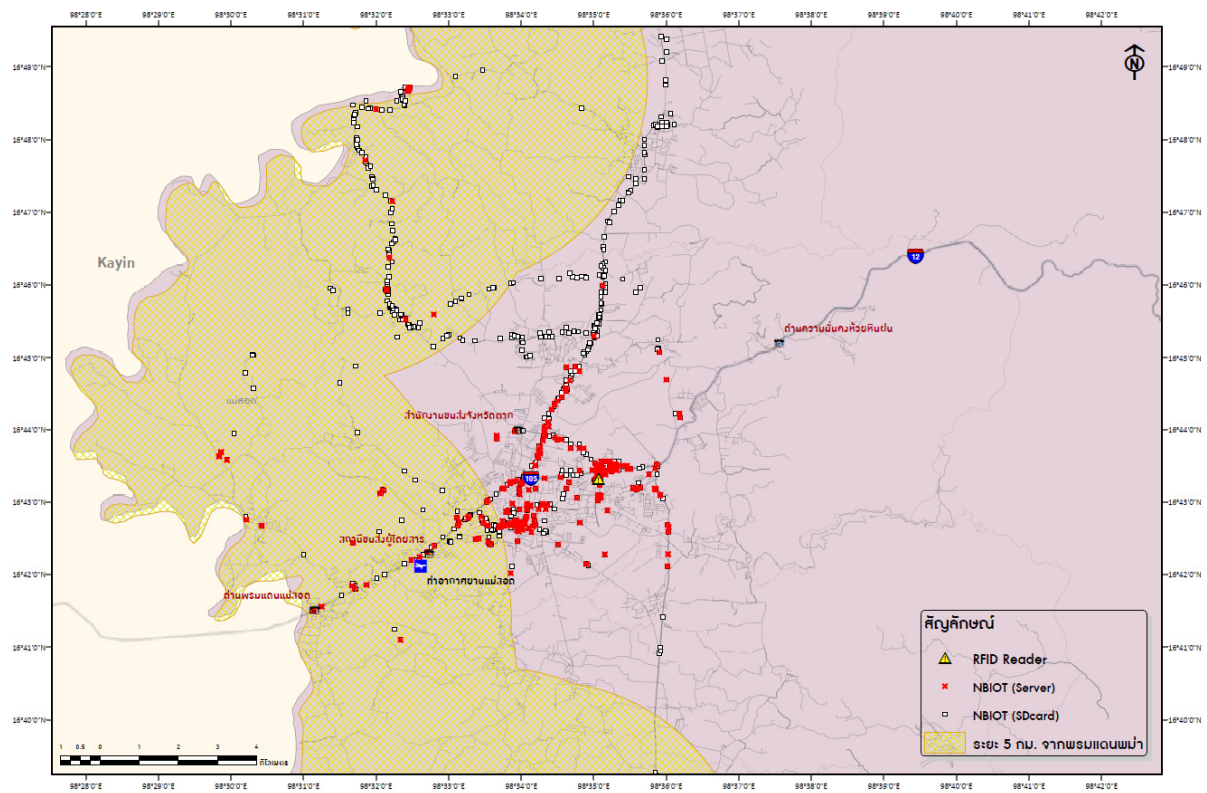
ลำดับ	อุปกรณ์	ระยะเวลาในการใช้งานต่อเนื่องโดยไม่ชาร์จแบตเตอรี่	หมายเหตุ
1	LoRa	18.9 วัน	ระยะเวลาที่คาบส่งข้อมูล 10 นาที/ครั้ง
2	GPS + LoRa	16 ชั่วโมง	ระยะเวลาที่คาบส่งข้อมูล 10 นาที/ครั้ง
3	GPS + NB-IoT	8 ชั่วโมง	ระยะเวลาที่คาบส่งข้อมูล 10 นาที/ครั้ง
4	RFID Tag	ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่	RFID Tag แบบ Passive

6.6 เสถียรภาพของสัญญาณข้อมูลโดยเฉพาะบริเวณรอยต่อพรมแดนระหว่างประเทศ

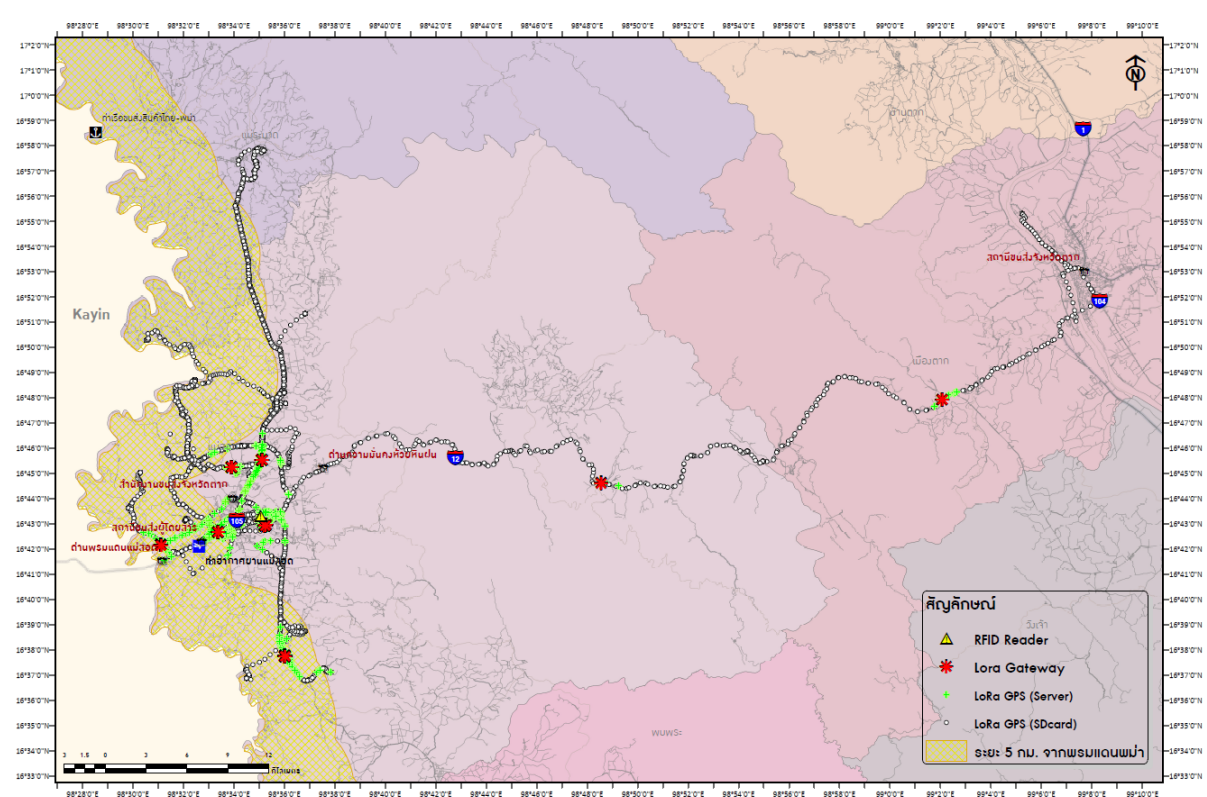
ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์เสถียรภาพของสัญญาณข้อมูลโดยเฉพาะบริเวณรอยต่อพรมแดนระหว่างประเทศ โดยใช้ข้อมูลจากอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่นำร่องที่อยู่ภายในระยะ 5 กม. จากชายแดนประเทศเมียนมา นำไปหาอัตราการส่งข้อมูลสำเร็จ ซึ่งคำนวณจากสัดส่วนของข้อมูลใน SDcard และข้อมูลจากคอมพิวเตอร์แม่ข่ายในแต่ละอุปกรณ์ ได้แก่ อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT ดังแสดงในรูปที่ 6.28 และรูปที่ 6.29 อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa และอุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa ดังแสดงในรูปที่ 6.30 และรูปที่ 6.31 โดยผลการเปรียบเทียบแสดงดังตารางที่ 6.15



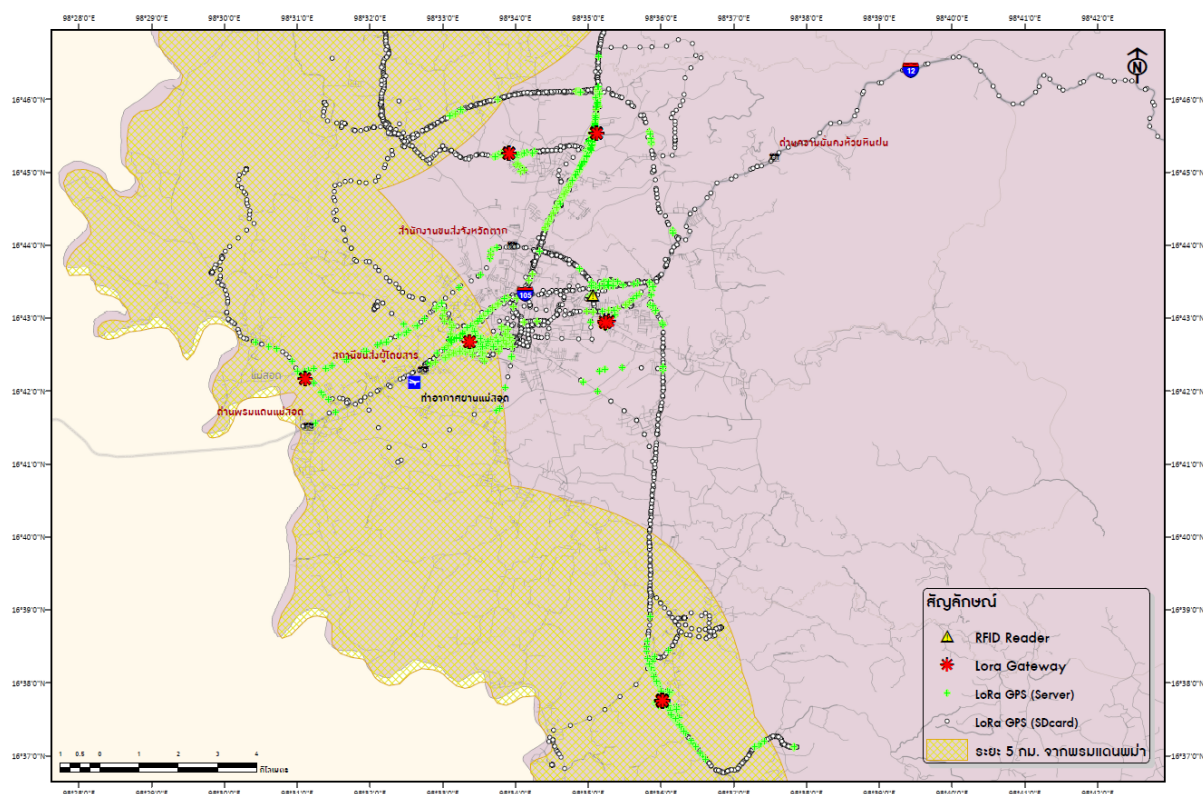
รูปที่ 6.28 ข้อมูลจากอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IOT ในพื้นที่นำร่อง



รูปที่ 6.29 ข้อมูลจากอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT ในพื้นที่นำร่อง (รูปขยายในตัวเมือง)



รูปที่ 6.30 ข้อมูลจากอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa ในพื้นที่นำร่อง



รูปที่ 6.31 ข้อมูลจากอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa ในพื้นที่นาร่อง (รูปขยายในตัวเมือง)

ตารางที่ 6.15 เปรียบเทียบ เสถียรภาพของสัญญาณบริเวณรอยต่อพรมแดนระหว่างประเทศ

ลำดับ	อุปกรณ์	เสถียรภาพของสัญญาณ	หมายเหตุ
1	LoRa	8.48 %	ตรวจวัดในระยะ 5 กม. จากรอยต่อพรมแดนเมียนมา
2	GPS + LoRa	8.48 %	ตรวจวัดในระยะ 5 กม. จากรอยต่อพรมแดนเมียนมา
3	GPS + NB-IoT	2.18 %	ตรวจวัดในระยะ 5 กม. จากรอยต่อพรมแดนเมียนมา

6.7 ความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นบนรถยนต์และรถจักรยานยนต์

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการเปรียบเทียบความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น โดยผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 6.16

ตารางที่ 6.16 เปรียบเทียบ ความสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น

ลำดับ	อุปกรณ์	ความสะดวกในการติดตั้ง	หมายเหตุ
1	LoRa	ติดตั้งสะดวก	ต้องถอดชาร์จ เมื่อแบตเตอรี่หมด (~20 วัน)
2	GPS + LoRa	ติดตั้งสะดวก	ต้องถอดชาร์จ เมื่อแบตเตอรี่หมด (~16 ชม.)
3	GPS + NB-IoT	ติดตั้งสะดวก	ต้องถอดชาร์จ เมื่อแบตเตอรี่หมด (~8 ชม.)
4	RFID Tag	ติดตั้งสะดวก	ไม่ต้องถอดออกเพื่อชาร์จแบตเตอรี่

6.8 ความทนทานของอุปกรณ์ฯ ในสภาวะการใช้จริง

จากการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่นำร่อง พบว่าอุปกรณ์ทุกชิ้นอยู่ในสภาพดี สามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพตามปกติ โดยที่ปรึกษาได้ดำเนินการเปรียบเทียบความทนทานของอุปกรณ์ฯ ในสภาวะการใช้จริง จากอายุการใช้งานของอุปกรณ์โดยประมาณจากผู้ผลิตอุปกรณ์ โดยผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 6.17

ตารางที่ 6.17 เปรียบเทียบ ความทนทานของอุปกรณ์ฯ ในสภาวะการใช้จริง

ลำดับ	อุปกรณ์	อายุการใช้งาน อุปกรณ์	อายุการใช้งาน แบตเตอรี่	หมายเหตุ
1	LoRa	5 ปี	2 ปี	อายุการใช้งานโดยประมาณจากผู้ผลิต
2	GPS + LoRa	5 ปี	2 ปี	อายุการใช้งานโดยประมาณจากผู้ผลิต
3	GPS + NB-IoT	5 ปี	2 ปี	อายุการใช้งานโดยประมาณจากผู้ผลิต
4	RFID Tag	10 ปี	-	อายุการใช้งานโดยประมาณจากผู้ผลิต
	RFID Reader	5 ปี	-	อายุการใช้งานโดยประมาณจากผู้ผลิต

6.9 การป้องกันเจ้าของรถถอดหรือแยกอุปกรณ์ติดตามการเดินทางออกจายานพาหนะ

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบการป้องกันเจ้าของรถถอดหรือแยกอุปกรณ์ติดตามการเดินทางออกจายานพาหนะ โดยผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 6.18

ตารางที่ 6.18 เปรียบเทียบ การป้องกันเจ้าของรถถอดหรือแยกอุปกรณ์ติดตามการเดินทาง

ลำดับ	อุปกรณ์	การป้องกันการถอดอุปกรณ์	หมายเหตุ
1	LoRa	ติดข้อจำกัดเจ้าของรถต้องชาร์จแบตเตอรี่	-
2	GPS + LoRa	ติดข้อจำกัดเจ้าของรถต้องชาร์จแบตเตอรี่	-
3	GPS + NB-IoT	ติดข้อจำกัดเจ้าของรถต้องชาร์จแบตเตอรี่	-
4	RFID Tag	ถอดแล้ว RFID Tag จะเกิดความเสียหาย	-

6.10 การป้องกันการใช้เครื่องรบกวนสัญญาณ

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบการป้องกันการใช้เครื่องรบกวนสัญญาณ โดยหลักการทำงานของเครื่องรบกวนสัญญาณ คือจะเพิ่มการใช้งานในช่องสัญญาณจนเต็ม ทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลได้สำเร็จในช่องสัญญาณที่ถูกรบกวนได้ วิธีป้องกัน คือ ปรับแต่งอุปกรณ์ให้ใช้ช่องสัญญาณที่เฉพาะเจาะจง นอกขอบเขตของเครื่องรบกวนสัญญาณ หรือใช้หลักการ “Jammer Detection” ทำการแจ้งเตือน เมื่อถูกรบกวนโดยเครื่องรบกวนสัญญาณ โดยผลการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 6.19

ตารางที่ 6.19 เปรียบเทียบ การป้องกันการใช้เครื่องรบกวนสัญญาณ

ลำดับ	อุปกรณ์	การป้องกันเครื่องรบกวนสัญญาณ	หมายเหตุ
1	LoRa	ไม่สามารถป้องกันได้	-
2	GPS + LoRa	ไม่สามารถป้องกันได้	-
3	GPS + NB-IoT	ไม่สามารถป้องกันได้	-
4	RFID Tag	ไม่สามารถป้องกันได้	-

7. การศึกษาวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ การเงิน และด้านวิศวกรรม

ที่ปรึกษาดำเนินการศึกษาวិธีการในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินรวมถึงด้านวิศวกรรม เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบโครงสร้างต้นทุนของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางแต่ละรูปแบบ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาอุปกรณ์ฯ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการพิจารณาคัดเลือกกระบวนติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นที่เหมาะสม โดยรวมถึงการพิจารณาอัตราค่าธรรมเนียมการใช้งานอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นที่เป็นธรรม ซึ่งสะท้อนต้นทุนที่แท้จริง

7.1 การวิเคราะห์ด้านการเงิน

ที่ปรึกษาจะดำเนินการวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านการเงิน โดยเปรียบเทียบผลประโยชน์กับค่าใช้จ่ายในการลงทุนในรูปของมูลค่าด้านเศรษฐศาสตร์ โดยมีตัวชี้วัด ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิทางเศรษฐศาสตร์ (Financial Net Present Value), อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อมูลค่าการลงทุนทางการเงิน (Financial Benefit/Cost Ratio), อัตราผลตอบแทนภายในทางการเงิน (Financial Internal Rate of Return) โดยมีตัวชี้วัดทางการเงินเหล่านี้สามารถแสดงถึงความคุ้มค่าทางการเงินของการดำเนินโครงการได้

โดยผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายในการลงทุนนั้นเป็นมูลค่าของเงินในอนาคต ซึ่งหลักของการวิเคราะห์ทางการเงิน รายได้ในอนาคต (C_n) จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิ (Present Value, PV) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้

$$PV = \sum_{n=0}^n \frac{C_n}{(1+i)^n}$$

C_n = รายได้ในอนาคต

i = อัตราดอกเบี้ยหรืออัตราคิดลด (Discount Rate, i) สำหรับการวิเคราะห์ที่ปรึกษากำหนดค่า i เท่ากับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวที่ร้อยละ 12 ต่อปี ซึ่งเป็นอัตราเสนอแนะโดยธนาคารเพื่อการพัฒนาเอเชีย (ADB) และธนาคารโลก (World Bank)

n = จำนวนปีซึ่งนับจากปีปัจจุบันที่ทำการวิเคราะห์ โดยหลักทฤษฎีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการแต่ละตัวชี้วัด มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. มูลค่าปัจจุบันสุทธิทางการเงิน (Financial Net Present Value, F NPV)

การวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิของโครงการ (Financial Net Present Value) คือ ผลรวมของค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิ ทั้งกระแสเงินสดรับและกระแสเงินสดจ่าย ในแต่ละปีตลอดอายุโครงการ หรือคือ ผลต่างระหว่างค่าปัจจุบันรวมของกระแสเงินสดรับสุทธิ (PVB) ทั้งโครงการกับค่าปัจจุบันของเงินค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงการ (PVC) โดยใช้อัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของเงินทุน ซึ่งส่วนใหญ่ใช้อัตราดอกเบี้ยเงินกู้จากสถาบันการเงินเป็นอัตราคิดลด (Discounted Rate) ถ้ามูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิทางการเงิน (F NPV) มากกว่าศูนย์ อาจพิจารณาได้ว่าโครงการนั้นมีความคุ้มค่าในการลงทุน ในทางกลับกันถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมีค่าน้อยกว่าศูนย์ แสดงว่าโครงการนั้นอาจไม่คุ้มค่ากับการลงทุน โดยการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ สามารถทำได้ดังสมการต่อไปนี้

$$NPV = \text{มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน (PVB)} - \text{มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย (PVC)}$$

2. อัตราผลตอบแทนภายในทางการเงิน (Financial Internal Rate of Return, F IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในทางการเงินของโครงการ เป็นการวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสต้นทุน โดยการหาค่าอัตราคิดลด (Discounted Rate) ที่ส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสผลตอบแทนและต้นทุนเท่ากัน หรือ หักล้างกันมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งค่าอัตราส่วนผลตอบแทนโครงการที่ได้สามารถนำไปพิจารณาเปรียบเทียบกับอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ถ้ามูลค่าอัตราส่วนผลตอบแทนของโครงการมีค่ามากกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ อาจพิจารณาได้ว่าโครงการนั้นมีความคุ้มค่าในการลงทุน ในทางกลับกันถ้ามูลค่าอัตราส่วนผลตอบแทนโครงการมีค่าน้อยกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ แสดงว่าโครงการนั้นอาจไม่คุ้มค่ากับการลงทุน การคำนวณหาอัตราส่วนผลตอบแทนของโครงการ สามารถทำได้ดังสมการต่อไปนี้

โดยปกติอัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของการเงินจะให้ค่าเท่ากับอัตราคิดลด โดยในการศึกษาครั้งนี้ใช้อัตราคิดลดที่ร้อยละ 12 ซึ่งเป็นอัตราเสนอแนะโดยธนาคารเพื่อการพัฒนาเอเชีย (ADB) และธนาคารโลก (World Bank)

$$NPV(r) = \sum_{t=0}^n \frac{(B - C)}{(1 + i)^t} = 0$$

สำหรับการคำนวณอัตราผลตอบแทนภายในด้านการเงินของโครงการ สามารถทำได้โดยการหาอัตราของผลตอบแทน (r) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (R NPV) มีค่าเท่ากับ 0

3. อัตราเงินเฟ้อ (Inflation) และอัตราเงินฝืด (Deflation)

ในทางการเงินมูลค่าเงินมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time Value of Money) อันเนื่องมาจากอัตราเงินเฟ้อ (Inflation) หรืออัตราเงินฝืด (Deflation) โดยอัตราเงินเฟ้อ (Inflation) จะทำให้มูลค่าเงินลดลง เช่น ถ้าประเทศไทยมีอัตราเงินเฟ้อเท่ากับ 2.5% แปลว่าของขึ้นเดียวกันถ้าในปีที่แล้วมีราคา 100 บาท ในปีนี้จะมีราคาเท่ากับ 102.5 บาท แสดงว่าเงินมีมูลค่าลดลงเพราะต้องใช้เงินมากขึ้นในการซื้อของขึ้นเดิม ในทางตรงข้ามอัตราเงินฝืด (Deflation) จะทำให้มูลค่าเงินเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าประเทศไทยมีอัตราเงินฝืดเท่ากับ 2% แปลว่าของขึ้นเดียวกันถ้าในปีที่แล้วมีราคา 100 บาท ในปีนี้จะมีราคา 98 บาท แสดงว่าเงินมีมูลค่าเพิ่มขึ้นเพราะใช้เงินน้อยลงในการซื้อของขึ้นเดิม

ตารางที่ 7.1 อัตราเงินเพื่อประเทศไทย ปี พ.ศ. 2540 ถึง 2560

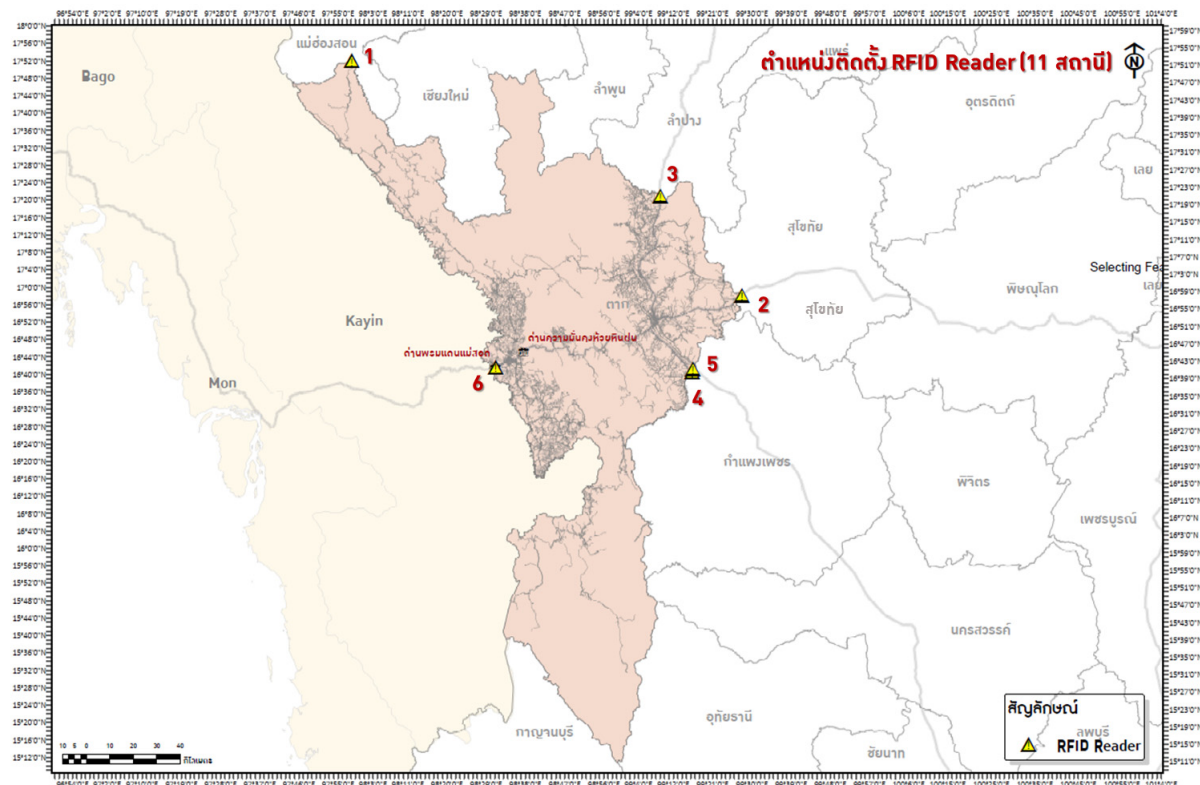
ปีพุทธศักราช	อัตราเงินเพื่อเฉลี่ยประเทศไทย (%)
2540	5.6
2541	8.1
2542	0.3
2543	1.6
2544	1.6
2545	0.7
2546	1.8
2547	2.7
2548	4.5
2549	4.7
2550	2.3
2551	5.5
2552	-0.9
2553	3.3
2554	3.8
2555	3.0
2556	2.2
2557	1.9
2558	-0.9
2559	0.2
2560	0.7
เฉลี่ย	2.5

การวิเคราะห์ทางการเงินเป็นการคาดการณ์ผลประโยชน์ (Benefit) และค่าใช้จ่าย (Cost) ที่จะเกิดขึ้นทั้งในปัจจุบันและในอนาคตในช่วงเวลาต่างๆ ตลอดอายุโครงการเพื่อวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนของโครงการ ความคุ้มค่าในการลงทุน และศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ โดยที่ปรึกษาจะใช้ตัวชี้วัดทางการเงิน ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิทางการเงิน (Financial Net Present Value, F NPV), อัตราผลตอบแทนภายในทางการเงิน (Financial Internal Rate of Return, F IRR) และการวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงินของโครงการ เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การลงทุนและศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ

7.1.1 สมมุติฐานในการวิเคราะห์ด้านการเงิน

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการศึกษาเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทางการเงิน ในการลงทุนอุปกรณ์ติดตาม 4 รูปแบบ โดยสมมุติฐานในการวิเคราะห์ มีดังนี้

- **อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT**
 - ค่าอุปกรณ์ 1,712 บาท
 - ค่าเช่าสัญญาณ 330 บาท/ปี
 - อายุการใช้งานอุปกรณ์ 5 ปี อายุการใช้งานแบตเตอรี่ 2 ปี
- **อุปกรณ์ GPS ร่วมกับการสื่อสารชนิด LoRa**
 - ค่าอุปกรณ์ 1,587 บาท
 - ค่าเช่าสัญญาณ 300 บาท/ปี
 - อายุการใช้งานอุปกรณ์ 5 ปี อายุการใช้งานแบตเตอรี่ 2 ปี
- **อุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa**
 - ค่าอุปกรณ์ 1,232 บาท
 - ค่าเช่าสัญญาณ 300 บาท/ปี
 - อายุการใช้งานอุปกรณ์ 5 ปี อายุการใช้งานแบตเตอรี่ 2 ปี
- **อุปกรณ์ RFID**
 - ติดตั้ง RFID Reader บริเวณถนนเลนขาออกจากจังหวัดตาก 9 สถานี และขาเข้า-ออกบริเวณด่านพรมแดนแม่สอด 2 สถานี รวมทั้งหมด 11 สถานี ดังแสดงในรูปที่ 7.1 และตารางที่ 7.2
 - ค่าใช้จ่ายดำเนินการ เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าอินเทอร์เน็ต 3,000 บาท/เดือน
 - RFID Reader 1 เครื่อง ราคา 332,000 บาท
 - RFID Tag ขึ้น ราคา 50 บาท
 - อายุการใช้งานอุปกรณ์ 5 ปี
- **ค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ RFID Reader ร้อยละ 10 ต่อปี**
- **ปริมาณรถคาดการณ์ บริเวณด่านพรมแดนแม่สอด จังหวัดตาก**
 - ปริมาณรถคาดการณ์ บริเวณด่านพรมแดนแม่สอด จังหวัดตาก ดังแสดงในตารางที่ 7.3
 - ที่มา: โครงการศึกษาและจัดทำระบบการกำกับดูแลยานพาหนะข้ามพรมแดน เพื่อส่งเสริมการพัฒนาพื้นที่เศรษฐกิจพิเศษ กลุ่มกิจการขนส่งระหว่างประเทศ กรมการขนส่งทางบก
- **ระยะเวลาลงทุน 5 ปี**



รูปที่ 7.1 ตำแหน่งคาดการณ์ในการติดตั้ง RFID Reader (11 สถานี) ถนนเลนขาออกจาก จ.ตาก

ตารางที่ 7.2 ตำแหน่งคาดการณ์ในการติดตั้ง RFID Reader (11 สถานี) ถนนเลนขาออกจาก จ.ตาก

ลำดับ	Latitude	Longitude	สายทาง	สถานที่	ติดตั้ง (แห่ง)
1	17.864	97.968	105	แม่ฮ่องสอน	1
2	16.968	99.461	12	สุโขทัย	2
3	17.347	99.149	1	ลำปาง	2
4	16.672	99.272	1	กำแพงเพชร	3
5	16.685	99.274	104	กำแพงเพชร	1
6	16.692	98.519	12	แม่สอด	2

ตารางที่ 7.3 ปริมาณรถคาดการณ์ บริเวณด่านพรมแดนแม่สอด จังหวัดตาก

ลำดับ	ปี พ.ศ.	ปริมาณรถคาดการณ์ (คัน)
1	2565	34,121
2	2566	35,741
3	2567	37,438
4	2568	39,216
5	2569	41,078
6	2570	43,029

โดยที่ปรึกษาได้ดำเนินการประเมินต้นทุนแบบง่ายของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 7.4 และตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7.4 การประเมินต้นทุนแบบง่ายของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น (RFID)

จำนวนรถ (คัน)	34,121				
การประเมินต้นทุนแบบง่ายของเทคโนโลยี RFID					
	ราคาต่อหน่วย (บาท/ชุด)	ค่าดำเนินการและ บำรุงรักษารายปี	จำนวน (ชุด)	อายุการใช้ งาน (ปี)	ค่าใช้จ่ายต่อรถ 1 คัน (บาท/ปี)
RFID Reader	332,000	25%	11	5	48.17
RFID Tag	50	-	34,121	5	10.00
รวมต้นทุนเทคโนโลยี RFID					58.17

หมายเหตุ:

- ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเงินตามเวลา
- ไม่คิดอัตราผลตอบแทน (IRR) 12%
- ไม่คิดผลกระทบของอัตราเงินเฟ้อ

ตารางที่ 7.5 การประเมินต้นทุนแบบง่ายของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น

ชนิดของอุปกรณ์	ราคาต่อหน่วย (บาท/ชุด)	ค่าเช่าสัญญา รายปี (บาท/ชุด)	จำนวน (ชุด)	อายุการใช้ งาน (ปี)	ค่าใช้จ่ายต่อรถ 1 คัน (บาท/ปี)
อุปกรณ์ฯ ที่ใช้เครือข่าย LoRa อย่างเดียว	1,232	300	34,121	5	546.40
อุปกรณ์ฯ ที่ใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย LoRa	1,587	300	34,121	5	617.40
อุปกรณ์ฯ ที่ใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย NB-IoT	1,712	300	34,121	5	642.40

หมายเหตุ:

- ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าเงินตามเวลา
- ไม่คิดอัตราผลตอบแทน (IRR) 12%
- ไม่คิดผลกระทบของอัตราเงินเฟ้อ
- ไม่คิดค่าเปลี่ยนแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ทุก 2 ปี

7.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้านการเงิน

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ทางการเงิน ในการลงทุนอุปกรณ์ติดตาม 4 รูปแบบ จากสมมุติฐานที่กำหนดในข้อที่ 7.1.1 โดยกรณีศึกษาที่วิเคราะห์มีดังนี้

- ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม กรณีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 12
- ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม ตามปริมาณรถที่เปลี่ยนแปลง
- มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) กรณีค่าธรรมเนียม 150 บาทต่อปี

1) ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม กรณีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 12

ที่ปรึกษาได้วิเคราะห์ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม กรณีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 12 ซึ่งธนาคารโลก (World Bank) แนะนำว่าการลงทุนของโครงการภาครัฐ ควรมีผลตอบแทนในการลงทุน (IRR) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 12 จึงจะเหมาะสม (Feasible) โดยใช้วิธีลองแทนค่า (Trial and Error) แทนค่าธรรมเนียมในสมการหาค่าอัตราผลตอบแทนภายใน จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ร้อยละ 12 ซึ่งค่าธรรมเนียมที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ดังกล่าวจะนำไปใช้เป็นค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม ผลการวิเคราะห์ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 7.6 โดยรายละเอียดการคำนวณแต่ละปีดังแสดงในตารางที่ 7.7 ถึงตารางที่ 7.10

ตารางที่ 7.6 อัตราค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม ที่ผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 12

ลำดับ	อุปกรณ์	ค่าธรรมเนียม (บาท/ปี)
1	NB-IOT	797.47402
2	LORAGPS	735.49933
3	LORA	641.59831
4	RFID	74.00773

ตารางที่ 7.7 ประมาณการการรายได้และรายจ่ายอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ (รถเพิ่มขึ้น)		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้	27,210,611	28,502,519	29,855,832	31,273,741	32,758,637	
2.1	ค่าธรรมเนียม	797.47402	797.47402	797.47402	797.47402	797.47402	
3	รายจ่าย*						
3.1	ติดตั้งระบบ	58,416,258					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		11,541,428	12,391,628	13,304,488	14,284,752	15,337,076
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,842,830	3,052,401	3,278,048	3,518,740	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
3.5	รวมรายจ่าย	58,416,258	14,384,258	18,046,621	16,709,192	20,673,832	15,616,188
4	มูลค่าปัจจุบัน (PV)	-31,205,647	12,605,590	9,414,231	10,366,758	7,680,113	-8,861,045
4.1	รายได้	27,210,611	25,448,677	23,800,886	22,260,031	20,818,706	
4.2	รายจ่าย	58,416,258	12,843,088	14,386,656	11,893,273	13,138,594	8,861,045

*รายจ่ายในแต่ละปี มีการคำนวณอัตราเงินเฟ้อร้อยละ 2.5 ต่อปี

ตารางที่ 7.8 ประมาณการการรายได้และรายจ่ายอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ LoRa

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ (รถเพิ่มขึ้น)		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้	25,095,973	26,287,481	27,535,624	28,843,342	30,212,841	
2.1	ค่าธรรมเนียม	735.49933	735.49933	735.49933	735.49933	735.49933	
3	รายจ่าย*						
3.1	ติดตั้งระบบ	54,137,484					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		10,492,208	11,265,116	12,094,989	12,986,138	13,942,796
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,634,603	2,828,824	3,037,943	3,261,005	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
3.5	รวมรายจ่าย	54,137,484	13,126,811	16,696,532	15,259,588	19,117,483	14,221,908
4	มูลค่าปัจจุบัน (PV)	-29,041,512	11,750,599	8,640,857	9,668,648	7,051,301	-8,069,893
4.1	รายได้	25,095,973	23,470,966	21,951,231	20,530,121	19,200,807	
4.2	รายจ่าย	54,137,484	11,720,367	13,310,373	10,861,473	12,149,506	8,069,893

*รายจ่ายในแต่ละปี มีการคำนวณอัตราเงินเฟ้อร้อยละ 2.5 ต่อปี

ตารางที่ 7.9 ประมาณการการรายได้และรายจ่ายอุปกรณ์ LoRa

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ (รถเพิ่มขึ้น)		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้	21,891,976	22,931,365	24,020,158	25,160,919	26,355,576	
2.1	ค่าธรรมเนียม	641.59831	641.59831	641.59831	641.59831	641.59831	
3	รายจ่าย*						
3.1	ติดตั้งระบบ	42,038,178					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		10,492,208	11,265,116	12,094,989	12,986,138	13,942,796
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,045,790	2,196,604	2,358,987	2,532,196	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
3.5	รวมรายจ่าย	42,038,178	12,537,997	16,064,312	14,580,631	18,388,674	14,221,908
4	มูลค่าปัจจุบัน (PV)	-20,146,201	9,279,793	6,342,351	7,530,840	5,063,110	-8,069,893
4.1	รายได้	21,891,976	20,474,433	19,148,723	17,909,045	16,749,445	
4.2	รายจ่าย	42,038,178	11,194,640	12,806,371	10,378,205	11,686,335	8,069,893

*รายจ่ายในแต่ละปี มีการคำนวณอัตราเงินเฟ้อร้อยละ 2.5 ต่อปี

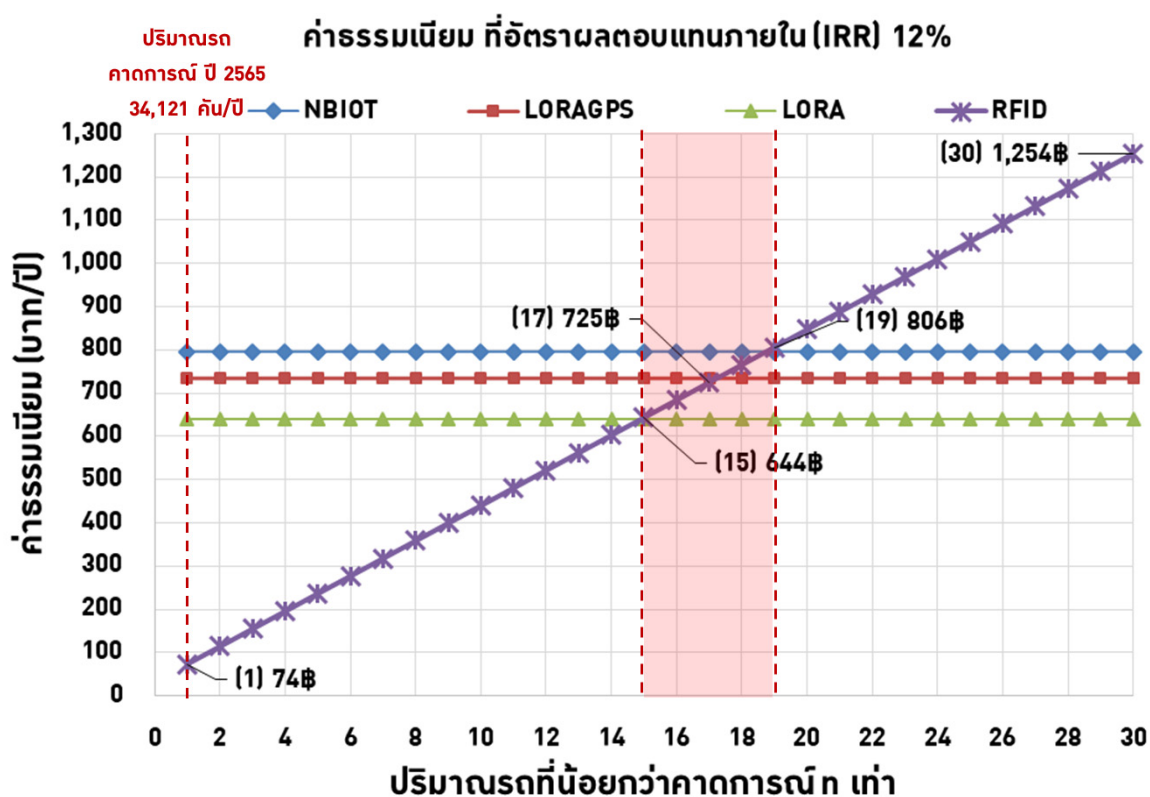
ตารางที่ 7.10 ประมาณการการรายได้และรายจ่ายอุปกรณ์ RFID

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ (รถเพิ่มขึ้น)		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้	2,525,218	2,645,110	2,770,701	2,902,287	3,040,090	
2.1	ค่าธรรมเนียม	74.00773	74.00773	74.00773	74.00773	74.00773	
3	รายจ่าย*						
3.1	ติดตั้งระบบ	5,358,050					
3.2	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม (Tag)		957,376	1,027,905	1,103,651	1,184,943	
3.3	ค่าดำเนินการ		405,900	416,048	426,449	437,110	
3.4	ค่าบำรุงรักษา		374,330	416,048	426,449	437,110	
3.5	รวมรายจ่าย	5,358,050	1,737,606	1,860,000	1,956,549	2,059,163	
4	มูลค่าปัจจุบัน (PV)	-2,832,832	810,272	726,005	673,158	623,397	
4.1	รายได้	2,525,218	2,361,706	2,208,786	2,065,791	1,932,032	
4.2	รายจ่าย	5,358,050	1,551,434	1,482,781	1,392,633	1,308,635	

*รายจ่ายในแต่ละปี มีการคำนวณอัตราเงินเฟ้อร้อยละ 2.5 ต่อปี

2) ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมตามปริมาณรถที่เปลี่ยนแปลง

ที่ปรึกษาได้วิเคราะห์ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม กรณีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 12 กรณีที่ปริมาณรถน้อยกว่าคาดการณ์ 1 ถึง 30 เท่า ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้จากสาเหตุต่างๆ เช่น สถานการณ์แพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (covid-19) โดยผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 7.2 และตารางที่ 7.11 จากผลการวิเคราะห์ค่าธรรมเนียมที่อุปกรณ์ติดตามทั้ง 4 รูปแบบ พบว่าหากปริมาณรถเป็นไปตามคาดการณ์อุปกรณ์ RFID จะมีค่าธรรมเนียมถูกที่สุด ตามมาด้วย LoRa LoRaGPS และ NB-IOT ตามลำดับ แต่เมื่อปริมาณรถมีค่าน้อยกว่าที่คาดการณ์ประมาณ 15 ถึง 19 เท่า ค่าธรรมเนียมของอุปกรณ์ติดตามทั้ง 4 รูปแบบ จะมีค่าใกล้เคียงกัน และหากปริมาณรถมีค่าน้อยกว่าที่คาดการณ์ตั้งแต่ 19 เท่าขึ้นไป อุปกรณ์ RFID จะต้องเก็บค่าธรรมเนียมสูงกว่าอุปกรณ์ชนิดอื่น



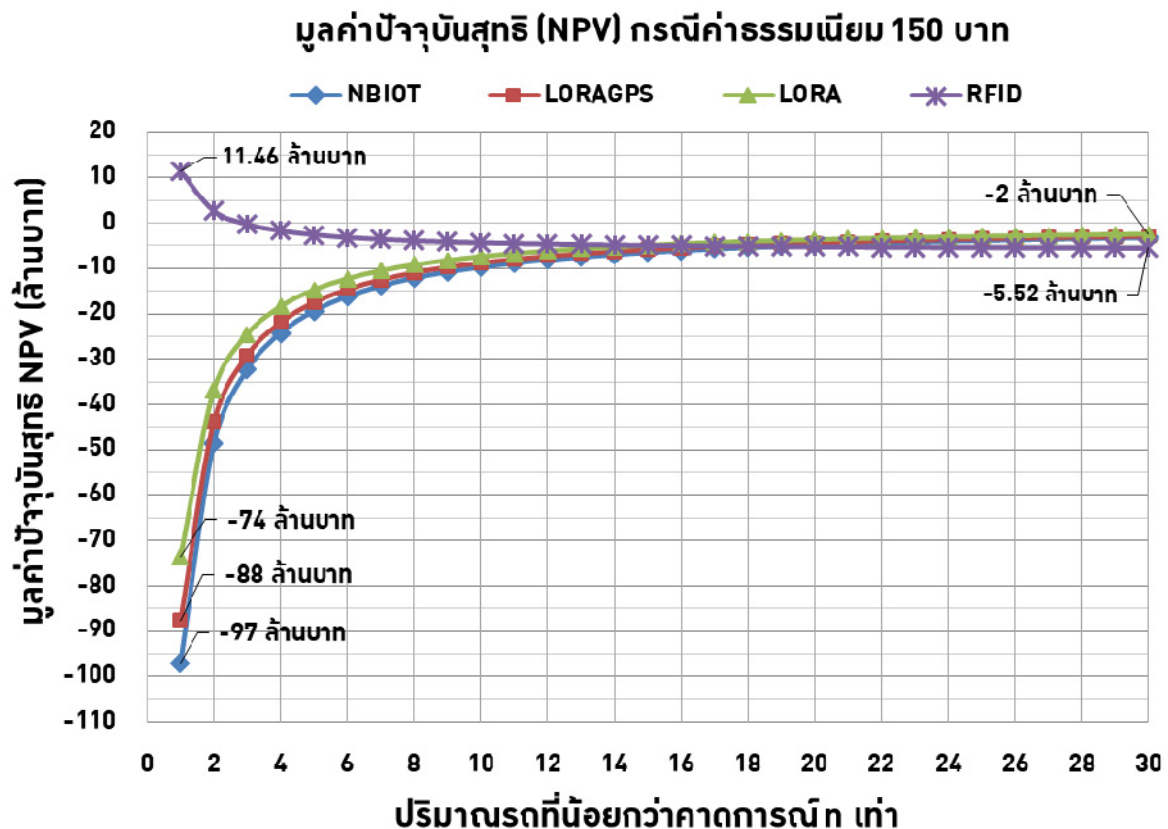
รูปที่ 7.2 อัตราค่าธรรมเนียมแต่ละกรณี ที่อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 12%

ตารางที่ 7.11 อัตราค่าธรรมเนียมแต่ละกรณี ที่อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) 12%

กรณี ปริมาณรถน้อยกว่าที่ คาดการณ์ (เท่า)	ค่าธรรมเนียม (บาท)			
	NB-IOT	LORAGPS	LORA	RFID
1 เท่า (ปี 2565 : 34,121 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	74.00773
2 เท่า (ปี 2565 : 17,060 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	114.25279
3 เท่า (ปี 2565 : 11,373 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	154.97158
4 เท่า (ปี 2565 : 8,530 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	195.69037
5 เท่า (ปี 2565 : 6,824 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	236.40916
6 เท่า (ปี 2565 : 5,686 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	277.12795
7 เท่า (ปี 2565 : 4,874 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	317.84674
8 เท่า (ปี 2565 : 4,265 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	358.56553
9 เท่า (ปี 2565 : 3,791 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	399.28600
10 เท่า (ปี 2565 : 3,412 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	440.00500
11 เท่า (ปี 2565 : 3,102 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	480.72400
12 เท่า (ปี 2565 : 2,843 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	521.44300
13 เท่า (ปี 2565 : 2,625 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	562.16200
14 เท่า (ปี 2565 : 2,437 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	602.88100
15 เท่า (ปี 2565 : 2,275 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	643.60000
16 เท่า (ปี 2565 : 2,133 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	684.31900
17 เท่า (ปี 2565 : 2,007 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	725.03800
18 เท่า (ปี 2565 : 1,896 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	765.75700
19 เท่า (ปี 2565 : 1,796 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	806.47600
20 เท่า (ปี 2565 : 1,706 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	847.19500
21 เท่า (ปี 2565 : 1,625 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	887.91400
22 เท่า (ปี 2565 : 1,551 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	928.63300
23 เท่า (ปี 2565 : 1,483 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	969.35200
24 เท่า (ปี 2565 : 1,422 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	1,010.07100
25 เท่า (ปี 2565 : 1,365 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	1,050.79000
26 เท่า (ปี 2565 : 1,312 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	1,091.50900
27 เท่า (ปี 2565 : 1,264 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	1,132.22800
28 เท่า (ปี 2565 : 1,219 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	1,172.94700
29 เท่า (ปี 2565 : 1,177 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	1,213.66600
30 เท่า (ปี 2565 : 1,137 คัน)	797.47402	735.49933	641.59831	1,254.38500

3) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) กรณีค่าธรรมเนียม 150 บาทต่อปี

ที่ปรึกษาได้กำหนดค่าธรรมเนียม 150 บาท ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าธรรมเนียมของประเทศมาเลเซีย นำไปวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ ร่วมกับโครงสร้างต้นทุนของอุปกรณ์ติดตามทั้ง 4 รูปแบบ ใช้อัตราคิดลด (Discount Rate) หรืออัตราผลตอบแทนขั้นต่ำในการลงทุนเท่ากับ 12% โดยผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 7.3 และ ตารางที่ 7.12 จากผลลัพธ์ที่ได้พบว่ากรณีที่มูลค่าปัจจุบันสุทธิต่ำกว่า 0 คือกรณีที่ใช้อุปกรณ์ RFID โดยมีปริมาณรถเท่ากับที่คาดการณ์หรือน้อยกว่าคาดการณ์ 2 เท่า



รูปที่ 7.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ตามปริมาณรถ ที่ค่าธรรมเนียม 150 บาท/ปี

ตารางที่ 7.12 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ที่ค่าธรรมเนียม 150 บาท/ปี

กรณี ปริมาณรถน้อยกว่าที่ คาดการณ์ (เท่า)	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ NPV (บาท) ที่ค่าธรรมเนียม 150 บาท			
	NB-IOT	LORAGPS	LORA	RFID
1 เท่า (ปี 2565 : 34,121 คัน)	-96,895,995	-87,606,180	-73,530,706	11,462,019
2 เท่า (ปี 2565 : 17,060 คัน)	-48,447,998	-43,803,090	-36,765,353	2,679,199
3 เท่า (ปี 2565 : 11,373 คัน)	-32,298,665	-29,202,060	-24,510,235	-248,408
4 เท่า (ปี 2565 : 8,530 คัน)	-24,223,999	-21,901,545	-18,382,676	-1,712,212
5 เท่า (ปี 2565 : 6,824 คัน)	-19,379,199	-17,521,236	-14,706,141	-2,590,494
6 เท่า (ปี 2565 : 5,686 คัน)	-16,149,333	-14,601,030	-12,255,118	-3,176,015
7 เท่า (ปี 2565 : 4,874 คัน)	-13,842,285	-12,515,169	-10,504,387	-3,594,245
8 เท่า (ปี 2565 : 4,265 คัน)	-12,111,999	-10,950,772	-9,191,338	-3,907,917
9 เท่า (ปี 2565 : 3,791 คัน)	-10,766,222	-9,734,020	-8,170,078	-4,151,884
10 เท่า (ปี 2565 : 3,412 คัน)	-9,689,600	-8,760,618	-7,353,071	-4,347,058
11 เท่า (ปี 2565 : 3,102 คัน)	-8,808,727	-7,964,198	-6,684,610	-4,506,745
12 เท่า (ปี 2565 : 2,843 คัน)	-8,074,666	-7,300,515	-6,127,559	-4,639,818
13 เท่า (ปี 2565 : 2,625 คัน)	-7,453,538	-6,738,937	-5,656,208	-4,752,419
14 เท่า (ปี 2565 : 2,437 คัน)	-6,921,143	-6,257,584	-5,252,193	-4,848,933
15 เท่า (ปี 2565 : 2,275 คัน)	-6,459,733	-5,840,412	-4,902,047	-4,932,579
16 เท่า (ปี 2565 : 2,133 คัน)	-6,056,000	-5,475,386	-4,595,669	-5,005,769
17 เท่า (ปี 2565 : 2,007 คัน)	-5,699,764	-5,153,305	-4,325,336	-5,070,349
18 เท่า (ปี 2565 : 1,896 คัน)	-5,383,111	-4,867,010	-4,085,039	-5,127,753
19 เท่า (ปี 2565 : 1,796 คัน)	-5,099,789	-4,610,852	-3,870,037	-5,179,114
20 เท่า (ปี 2565 : 1,706 คัน)	-4,844,800	-4,380,309	-3,676,535	-5,225,340
21 เท่า (ปี 2565 : 1,625 คัน)	-4,614,095	-4,171,723	-3,501,462	-5,267,163
22 เท่า (ปี 2565 : 1,551 คัน)	-4,404,363	-3,982,099	-3,342,305	-5,305,184
23 เท่า (ปี 2565 : 1,483 คัน)	-4,212,869	-3,808,964	-3,196,987	-5,339,898
24 เท่า (ปี 2565 : 1,422 คัน)	-4,037,333	-3,650,257	-3,063,779	-5,371,720
25 เท่า (ปี 2565 : 1,365 คัน)	-3,875,840	-3,504,247	-2,941,228	-5,400,996
26 เท่า (ปี 2565 : 1,312 คัน)	-3,726,769	-3,369,468	-2,828,104	-5,428,020
27 เท่า (ปี 2565 : 1,264 คัน)	-3,588,741	-3,244,673	-2,723,359	-5,453,043
28 เท่า (ปี 2565 : 1,219 คัน)	-3,460,571	-3,128,792	-2,626,097	-5,476,278
29 เท่า (ปี 2565 : 1,177 คัน)	-3,341,241	-3,020,903	-2,535,542	-5,497,910
30 เท่า (ปี 2565 : 1,137 คัน)	-3,229,867	-2,920,206	-2,451,024	-5,518,101

7.2 การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ที่ปรึกษาจะดำเนินการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการโดยศึกษาถึงผลประโยชน์ของโครงการที่ได้รับในการลงทุนในรูปของมูลค่าด้านเศรษฐศาสตร์ โดยมีตัวชี้วัด ได้แก่ การลดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุ การลดความเสียหายของทางหลวง การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น โดยตัวชี้วัดดังกล่าวสามารถแสดงถึงผลประโยชน์ของโครงการได้อย่างชัดเจน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

7.2.1 การลดโอกาสในการเกิดอุบัติเหตุ

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการศึกษาสถิติวิศวกรรมจราจรกรมทางหลวง ปี 2562 กรมทางหลวง ในส่วนของปริมาณการเดินทาง (Travelled vehicle – kilometers) พบว่าปริมาณยานพาหนะที่วิ่งบนทางหลวงในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงซึ่งมีระยะทางกว่า 52,000 กิโลเมตรในปี 2562 รวมทั้งสิ้น 282,142 ล้านคัน – กิโลเมตร และนอกจากนี้ที่ปรึกษาได้ดำเนินการศึกษาข้อมูลของอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนสายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 7.13 โดยในปี 2562 มีมูลค่าอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนสายทางในความรับผิดชอบของกรมทางหลวงรวมทั้งสิ้น 57,154 ล้านบาท ซึ่งการติดตั้งอุปกรณ์ติดตามการเดินทางสามารถลดปัญหาการไม่ปฏิบัติตามกฎจราจรและอุบัติเหตุจากรถต่างชาติ จากข้อมูลสถิติของกรมทางหลวงข้างต้นสามารถวิเคราะห์อัตราการลดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นได้โดยการเปรียบเทียบมูลค่าอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนสายทางซึ่งมีค่ารวมทั้งสิ้น 57,154 ล้านบาท กับปริมาณยานพาหนะที่วิ่งบนทางหลวงรวมทั้งสิ้น 282,142 ล้านคัน – กิโลเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอัตราการลดอุบัติเหตุที่มีค่าเท่ากับ 0.203 บาทต่อคัน-กิโลเมตร

ตารางที่ 7.13 ตารางแสดงมูลค่าอุบัติเหตุในความรับผิดชอบของกรมทางหลวง

ปี พ.ศ.	จำนวนอุบัติเหตุ (ครั้ง)	มูลค่าอุบัติเหตุ / ครั้ง (ล้านบาท)	มูลค่าอุบัติเหตุรวม (ล้านบาท)
2553	12,054	2.83799	34,209
2554	10,607	2.94574	31,246
2555	11,013	3.03440	33,418
2556	11,125	3.10145	34,504
2557	13,259	3.16015	41,900
2558	13,575	3.16015	42,899
2559	15,578	3.16633	49,325
2560	15,936	3.18841	50,811
2561	17,045	3.22365	54,947
2562	17,554	3.25592	57,154

7.2.2 การลดความเสียหายของทางหลวง

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการศึกษาข้อมูลสถิติปริมาณการเดินทางบนทางหลวงจำแนกตามประเภทรถ ปี 2562 ของกรมทางหลวง ดังแสดงในตารางที่ 7.14

ตารางที่ 7.14 ปริมาณการเดินทางบนทางหลวงจำแนกตามประเภทรถ ปี 2562

ประเภทรถ	ปริมาณการเดินทางบนทางหลวง (คัน-กิโลเมตร)
รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน	79,238,579,627
รถยนต์นั่งเกิน 7 คน	42,872,001,150
รถโดยสารขนาดเล็ก	5,256,331,789
รถโดยสารขนาดกลาง	3,509,138,668
รถโดยสารขนาดใหญ่	4,178,598,693
รถบรรทุกขนาดเล็ก	64,566,353,235
รถบรรทุกขนาดกลาง	12,988,757,489
รถบรรทุกขนาดใหญ่	10,114,430,691
รถบรรทุกพ่วง	8,877,419,044
รถบรรทุกกึ่งพ่วง	7,497,292,747
รถจักรยานยนต์	43,042,960,669.00
รวม	282,141,863,802

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นได้ว่ารถที่เดินทางบนทางหลวงมีหลายประเภท ซึ่งรถแต่ละประเภทยานพาหนะของรถและอำนาจการทำลายผิวถนนที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ความเสียหายของทางหลวงต้องแปลงค่าการทำลายล้างของรถแต่ละประเภทให้มีค่าเท่ากันหรือค่ามาตรฐาน เพื่อสามารถวิเคราะห์ความเสียหายของถนนได้ โดยที่ปรึกษาได้ดำเนินการคำนวณเพื่อแปลงค่าปริมาณรถในแต่ละประเภทให้เป็นจำนวนเทียบของเพลาดียวมาตรฐาน (Equivalent Single-Axle Loads, ESALs) โดยจำนวนเทียบของเพลาดียวมาตรฐานเป็นเครื่องชี้ผลกระทบของน้ำหนักบรรทุกทุกเพลามีต่อสภาพของทาง โดยที่ปรึกษาวิเคราะห์โหลดเพลาดียวเทียบเท่า (ESALs) ของรถแต่ละประเภท โดยใช้พิกัดน้ำหนักของรถบรรทุกตามมาตรฐานของกรมทาง และดำเนินการวิเคราะห์ค่าอัตราการทำลาย (Load Equivalency Factor, LEF) ของรถแต่ละประเภทโดยประมาณได้จากกฎยกกำลังสี่ (Fourth Power Law) ดังสมการต่อไปนี้

$$LEF = \left(\frac{\text{Axle Load, } W_x}{\text{Standard Axle Load, } W_s} \right)^4$$

โดยค่า Standard Axle Load เท่ากับ 11 ตันสำหรับน้ำหนักเพลาดียวและเท่ากับ 20 ตันสำหรับน้ำหนักเพลาคู่ โดยสามารถวิเคราะห์โหลดเพลาดียวเทียบเท่า (ESALs) ของรถแต่ละประเภทได้ดังแสดงในตารางที่ 7.15

ตารางที่ 7.15 โหลดเพลาดียวเทียบเท่า (ESAL) ของรถแต่ละประเภท

รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน			
ประเภทเพลลา	น้ำหนักลงเพลลา (T)	น้ำหนักลงเพลลา (kg)	Load Equivalency Factor (LEF)
เพลลาหน้า	1.355	1355	0.0002302
เพลลาหลัง	1.355	1355	0.0002302
Total ESAL			0.0004605
รถยนต์นั่งเกิน 7 คน			
ประเภทเพลลา	น้ำหนักลงเพลลา (T)	น้ำหนักลงเพลลา (kg)	Load Equivalency Factor (LEF)
เพลลาหน้า	1.7265	1726.5	0.00060687
เพลลาหลัง	1.7265	1726.5	0.00060687
Total ESAL			0.00121374
รถโดยสารขนาดเล็ก			
ประเภทเพลลา	น้ำหนักลงเพลลา (T)	น้ำหนักลงเพลลา (kg)	Load Equivalency Factor (LEF)
เพลลาหน้า	1.7265	1726.5	0.00060687
เพลลาหลัง1	1.7265	1726.5	0.00060687
Total ESAL			0.00121374
รถโดยสารขนาดกลาง			
ประเภทเพลลา	น้ำหนักลงเพลลา (T)	น้ำหนักลงเพลลา (kg)	Load Equivalency Factor (LEF)
เพลลาหน้า	4	4000	0.017485144
เพลลาหลัง1	11	11000	1
Total ESAL			1.017485144
รถโดยสารขนาดใหญ่			
ประเภทเพลลา	น้ำหนักลงเพลลา (T)	น้ำหนักลงเพลลา (kg)	Load Equivalency Factor (LEF)
เพลลาหน้า	5	5000	0.042688341
เพลลาหลัง1	20	20000	1
Total ESAL			1.042688341
รถบรรทุกขนาดเล็ก			
ประเภทเพลลา	น้ำหนักลงเพลลา (T)	น้ำหนักลงเพลลา (kg)	Load Equivalency Factor (LEF)
เพลลาหน้า	2.5	2500	0.002668021
เพลลาหลัง1	7	7000	0.163991531
Total ESAL			0.166659552

รถบรรทุกขนาดกลาง			
ประเภทเพลลา	น้ำหนักลงเพลลา (T)	น้ำหนักลงเพลลา (kg)	Load Equivalency Factor (LEF)
เพลลาหน้า	4	4000	0.017485144
เพลลาหลัง1	11	11000	1
Total ESAL			1.017485144
รถบรรทุกขนาดใหญ่			
ประเภทเพลลา	น้ำหนักลงเพลลา (T)	น้ำหนักลงเพลลา (kg)	Load Equivalency Factor (LEF)
เพลลาหน้า	5	5000	0.042688341
เพลลาหลัง1	20	20000	1
Total ESAL			1.042688341
รถบรรทุกพ่วง			
ประเภทเพลลา	น้ำหนักลงเพลลา (T)	น้ำหนักลงเพลลา (kg)	Load Equivalency Factor (LEF)
เพลลาหน้า	5	5000	0.042688341
เพลลาหลัง1	20	20000	1
เพลลาหลัง2	11	11000	1
เพลลาหลัง3	11	11000	1
Total ESAL			3.042688341
รถบรรทุกกึ่งพ่วง			
ประเภทเพลลา	น้ำหนักลงเพลลา (T)	น้ำหนักลงเพลลา (kg)	Load Equivalency Factor (LEF)
เพลลาหน้า	5	5000	0.042688341
เพลลาหลัง1	20	20000	1
เพลลาหลัง1	20	20000	1
Total ESAL			2.042688341

จากนั้นสามารถวิเคราะห์ค่าผลรวม Esal ของรถทุกประเภทซึ่งมีค่าเท่ากับ 84,870,894,286.2 Esal-กิโลเมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงบประมาณในการบำรุงรักษาถนนและอำนวยความสะดวกของกรมทางหลวง ปี 2562 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 22,848,865,107 บาท จะสามารถวิเคราะห์อัตราการลดความเสียหายของทางหลวงของรถประจำถิ่นได้เท่ากับ 0.0001240 บาท/คัน-กิโลเมตร

ตารางที่ 7.16 ตารางแสดง Total Esal

ประเภทรถ	ปริมาณการเดินทางบน ทางหลวง (คัน-กิโลเมตร)	Esal/คัน	Total Esal (Esal-กิโลเมตร)
รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน	79,238,579,627	0.0005	36,488,257.0
รถยนต์นั่งเกิน 7 คน	42,872,001,150	0.0012	52,035,453.2
รถโดยสารขนาดเล็ก	5,256,331,789	0.0012	6,379,819.0
รถโดยสารขนาดกลาง	3,509,138,668	1.0175	3,570,496,464.5
รถโดยสารขนาดใหญ่	4,178,598,693	1.0427	4,356,976,138.7
รถบรรทุกขนาดเล็ก	64,566,353,235	0.1667	10,760,599,500.7
รถบรรทุกขนาดกลาง	12,988,757,489	1.0175	13,215,867,790.0
รถบรรทุกขนาดใหญ่	10,114,430,691	1.0427	10,546,198,957.0
รถบรรทุกพ่วง	8,877,419,044	3.0427	27,011,219,423.0
รถบรรทุกกึ่งพ่วง	7,497,292,747	2.0427	15,314,632,483.1
รถจักรยานยนต์	43,042,960,669.00	-	-
รวม	282,141,863,802	รวม	84,870,894,286.2

7.2.3 การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

วิธีการคำนวณอัตราการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของรถประจำถิ่น โดยวิเคราะห์ประมาณการปลดปล่อยสารมลพิษจากรถยนต์ แบบง่าย (Simple Method) โดยใช้สมการอัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงของรถเครื่องยนต์ดีเซลคูณกับตัวคูณสารมลพิษแต่ละชนิดของรถยนต์แต่ละประเภทดังตารางที่ 7.17 ถึงตารางที่ 7.19 โดยจะคำนวณหาอัตราการปล่อยมลพิษ 4 ชนิดได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ฝุ่นละออง (PM) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC)

ตารางที่ 7.17 ตัวคูณสารมลพิษ (CO, NMVOC, Nox) ของรถยนต์แต่ละประเภท

Car type	Fuel type	CO (g/kg fuel)			NMVOC (g/kg fuel)			NOx (g/kg fuel)		
		avg.	min.	max.	avg.	min.	max.	avg.	min.	max.
Passenger car	Gasoline	132	50	350	14	5	40	14.5	6	35
	Diesel oil	4.7	2	11	1.1	0.5	2.5	11	9	14
	LPG	68	40	115	10	6	18	15.5	6	40
Small truck, small bus	Gasoline	155	80	300	14	5	40	24	14	40
	Diesel oil	11	8	1.5	1.75	1.5	2	15	13	19
Large truck, large bus	Diesel oil	8	6.5	10	1.6	1	2.5	37	30	45
	CNG (bus)	5.7	2.2	15	0.26	0.1	0.67	13	5.5	30
Motorbike	Gasoline	490	340	700	114	65	200	9.5	11	8

ตารางที่ 7.18 ตัวคูณสารมลพิษ (PM, N2O, MH3) ของรถยนต์แต่ละประเภท

Car type	Fuel type	PM (g/kg fuel)			N2O (g/kg fuel)			MH3 (g/kg fuel)		
		avg.	min.	max.	avg.	min.	max.	avg.	min.	max.
Passenger car	Gasoline		0.030	0.045	0.213	0.130	0.350	0.173	0.030	1.000
	Diesel oil	1.700	0.700	4.000	0.087	0.050	0.150	0.018	0.016	0.020
	LPG	0.000	0.000	0.000	0.194	0.090	0.420	0.173	0.015	0.200
Small truck, small bus	Gasoline	0.030	0.020	0.045	0.197	0.130	0.300	0.140	0.030	0.650
	Diesel oil	2.800	2.000	4.000	0.069	0.040	0.120	0.014	0.013	0.015
Large truck, large bus	Diesel oil	1.200	0.700	2.000	0.061	0.025	0.120	0.015	0.012	0.020
	CNG (bus)	0.020	0.010	0.036	n.a					
Motorbike	Gasoline	2.700	1.500	5.000	0.059	0.050	0.070	0.063	0.050	0.080

ตารางที่ 7.19 ตัวคูณสารมลพิษ (HC) ของรถยนต์แต่ละประเภท

Vehicle		Emission factor of HC (g/km)						
Type	Engine year	Gasohol 95	Gasohol 91 E10	Gasohol 95 E10	Gasohol 95 E20	Diesel HSD	NGV	LP G
LDG	< 2Y	0.089	0.013	0.021	0.009	-	0.008	0.26
	≤ 5Y	-	-	-	-	-	0.027	0.31
	> 5Y	-	-	-	-	-	0.14	0.94
LDD	< 2Y	-	-	-	-	0.037	5	0.2
	≤ 5Y	-	-	-	-	0.16	7	0.5
	> 5Y	-	-	-	-	0.41	9	1
HDD	< 2Y	-	-	-	-	0.51	6.1	2
	≤ 5Y	-	-	-	-	0.67	7.5	2.5
	> 5Y	-	-	-	-	0.89	9.5	3

การแปลงปริมาณเทียบเท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide Equivalent) ค่าประมาณการปลดปล่อยสารมลพิษจากรถยนต์ของมลพิษทั้ง 4 ชนิดจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปปริมาณเทียบเท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide Equivalent) โดยแปลงให้มีหน่วยเป็นกิโลกรัมใช้ค่าคงที่ดังตารางที่ 7.20

ตารางที่ 7.20 ปริมาณก๊าซเรือนกระจกเทียบเท่าต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ประเภทของก๊าซ	จำนวนเท่าต่อก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
HC	18.6207
CO	0.1034
NO _x	278.2759
CO ₂	1.0000
PM	310.3448

การคำนวณต้นทุนราคาคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Credit) ใช้ราคาคาร์บอนไดออกไซด์ในตลาดโลกที่มีการซื้อขายกันโดยกองทุนคาร์บอนเครดิต (Carbon Credit) ราคาคาร์บอนเครดิตเท่ากับ 36.478 USD/ตัน อัตราแลกเปลี่ยนดอลลาร์สหรัฐเป็นบาทไทย มีค่าเท่ากับ 31.82 บาท/USD ดังนั้นราคาคาร์บอนเครดิตมีค่าเท่ากับ 1,216.91 บาท/ตัน

โดยที่ปรึกษาสมมติฐานให้รถประจำถิ่นมีอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 10 กิโลเมตรต่อลิตร เมื่อนำไปคูณกับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันดีเซลที่มีค่าเท่ากับ 0.810 (กระทรวงพลังงาน) จะได้อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 0.081 กิโลกรัม/กิโลเมตร จากนั้นที่ปรึกษาคำนวณค่าประมาณการปลดปล่อยสารมลพิษของสารมลพิษแต่ละประเภทโดยวิเคราะห์อัตราการใช้เชื้อเพลิงร่วมกับค่า Emission Factors จากนั้นนำค่าประมาณการปลดปล่อยสารมลพิษวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูล Carbon Dioxide Equivalent ของสารมลพิษแต่ละประเภทจะสามารถวิเคราะห์ปริมาณเทียบเท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสารมลพิษแต่ละประเภทได้ จากนั้นที่ปรึกษาดำเนินการรวมข้อมูลก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของสารทุกประเภทที่วิเคราะห์ข้อมูลได้ นำผลรวมมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูล Carbon Credit ซึ่งมีค่าประมาณ 1,216.91 บาทต่อตัน จะสามารถวิเคราะห์ได้ถึงถึงการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังแสดงในตารางที่ 7.21 โดยมีอัตราการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 0.36 บาทต่อกิโลเมตร

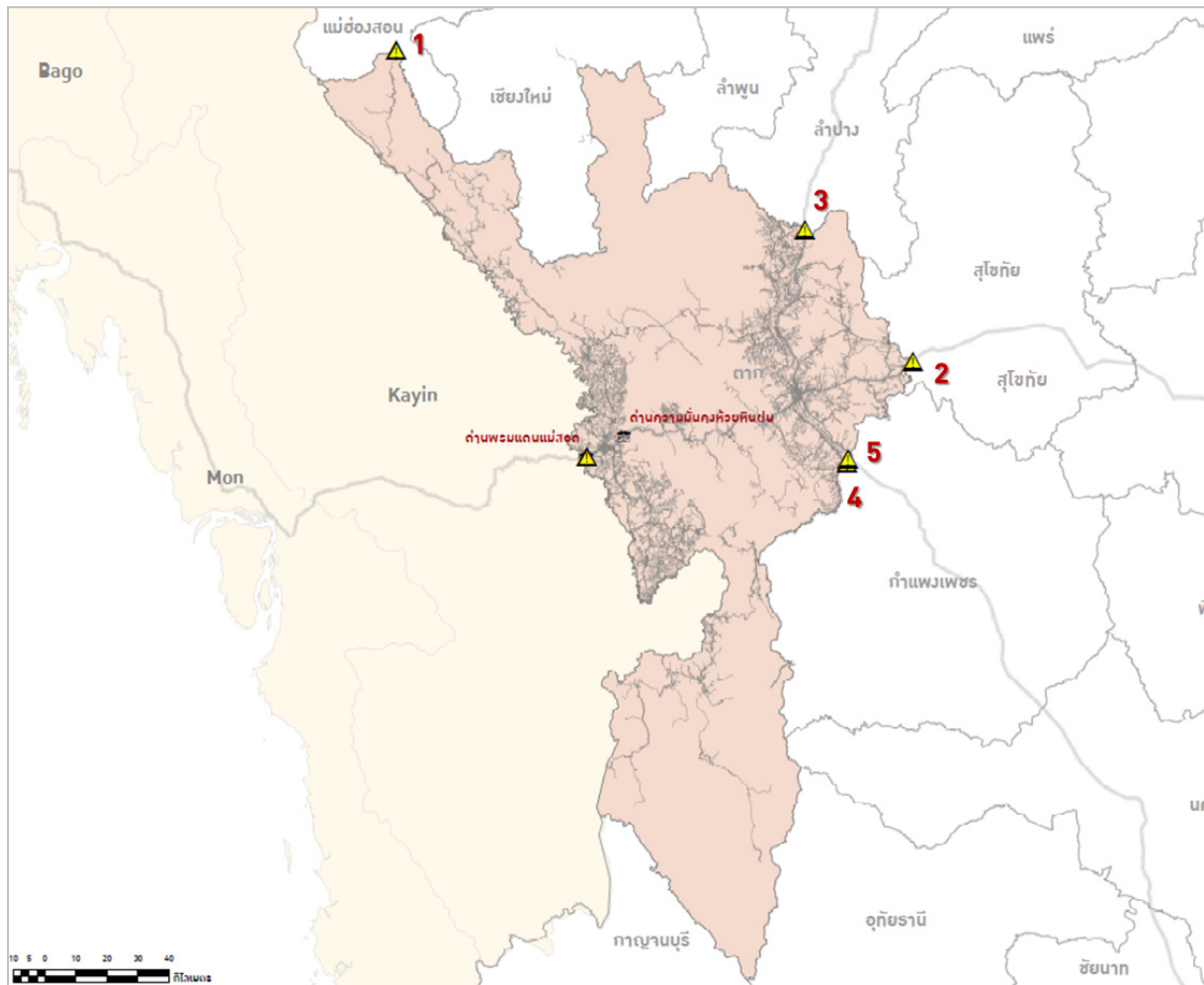
ตารางที่ 7.21 การวิเคราะห์การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สารมลพิษ	CO	HC	NOX	PM
อัตราการใช้เชื้อเพลิง, กิโลกรัม	0.081	0.081	0.081	0.081
Emission Factors (g/kg fuel)	4.7	0.89	11	1.7
ค่าประมาณการปลดปล่อยสารมลพิษ, กรัม	0.38	0.07	0.89	0.14
Carbon Dioxide Equivalent	0.1034	18.62	278.28	310.34
ปริมาณเทียบเท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	0.04	1.34	247.95	42.73
ผลรวมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	292.06			
Carbon Credit (บาท/ตัน)	\$36.478/ton = 1,216.91 (baht/ton)			
การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (บาท/Km)	0.36			

7.2.4 การประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น

ในการใช้งานอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถข้ามพรมแดน สามารถช่วยในการควบคุมกำกับดูแลรถประจำถิ่นได้อยู่ภายในขอบเขตที่อนุญาตได้ การนำอุปกรณ์ดังกล่าวมาใช้งานจะส่งผลให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่นได้ ในกรณีศึกษาด่านพรมแดนแม่สอด จังหวัดตาก กำหนดสมมติฐานได้ ดังนี้

- จุดตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่นบริเวณขาออกจังหวัดตาก 5 จุด ดังแสดงในรูปที่ 7.4
- ค่าแรงบุคลากร 240 บาท/วัน
- บุคลากรต่อต้าน 3 คน

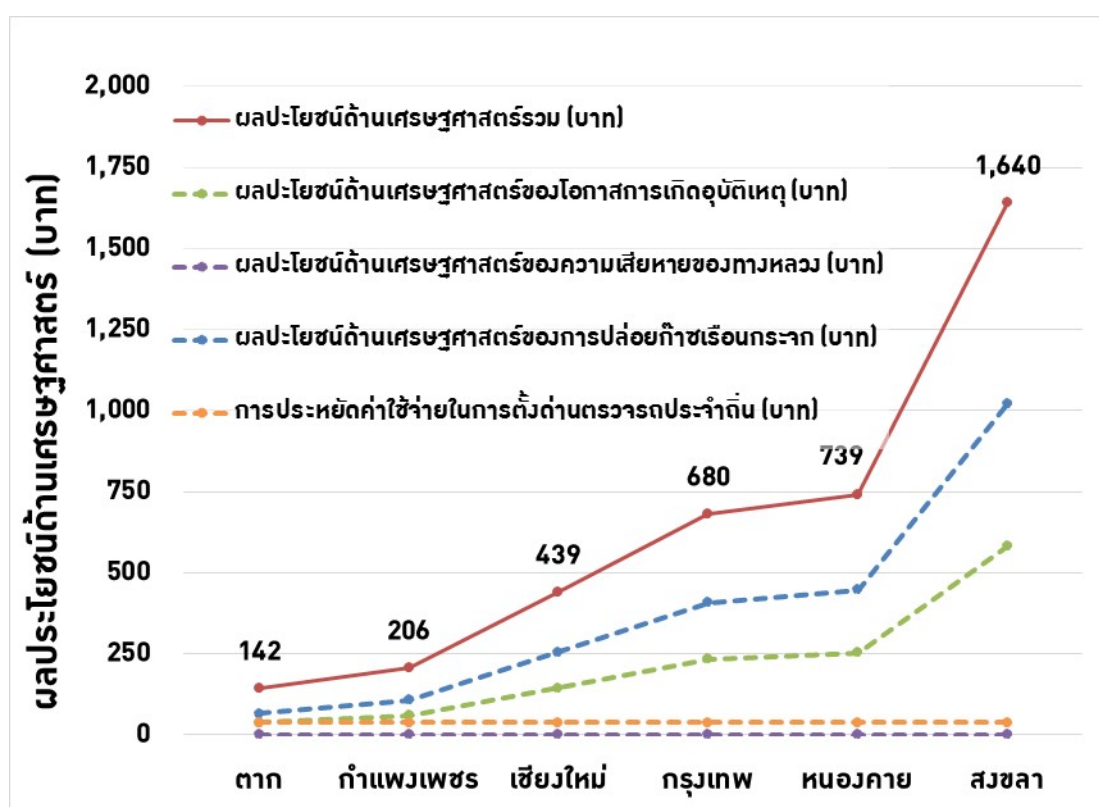


รูปที่ 7.4 จุดตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่นบริเวณชายออกจังหวัดตาก 5 จุด

จากการวิเคราะห์การลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุ, การลดความเสียหายทางหลวง การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในข้างต้น และการประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น ที่ปรึกษาสามารถวิเคราะห์รายได้ทางเศรษฐศาสตร์ต่อรถประจำถิ่น 1 คันที่ออกนอกพื้นที่ไปยังจังหวัดต่างๆ ของประเทศไทยดังแสดงในตารางที่ 7.22 และรูปที่ 7.5 และที่ปรึกษาได้ผลประโยชน์ด้านทางเศรษฐศาสตร์ รวมของโครงการ เมื่อมีรถออกนอกพื้นที่ไปยังจังหวัดต่างๆ ของประเทศไทยเป็นจำนวน 10% ของรถประจำถิ่นที่คาดว่าจะเข้ามาในประเทศไทยในปี 2565 ดังแสดงในตารางที่ 7.23 และรูปที่ 7.6 และนอกจากนี้ ที่ปรึกษาได้วิเคราะห์ผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์รวมของโครงการเมื่อจำนวนรถออกนอกพื้นที่แตกต่างกัน ไปยัง กทม. ดังแสดงในรูปที่ 7.7

ตารางที่ 7.22 ผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์ต่อรถ 1 คันที่ไม่ออกนอกพื้นที่

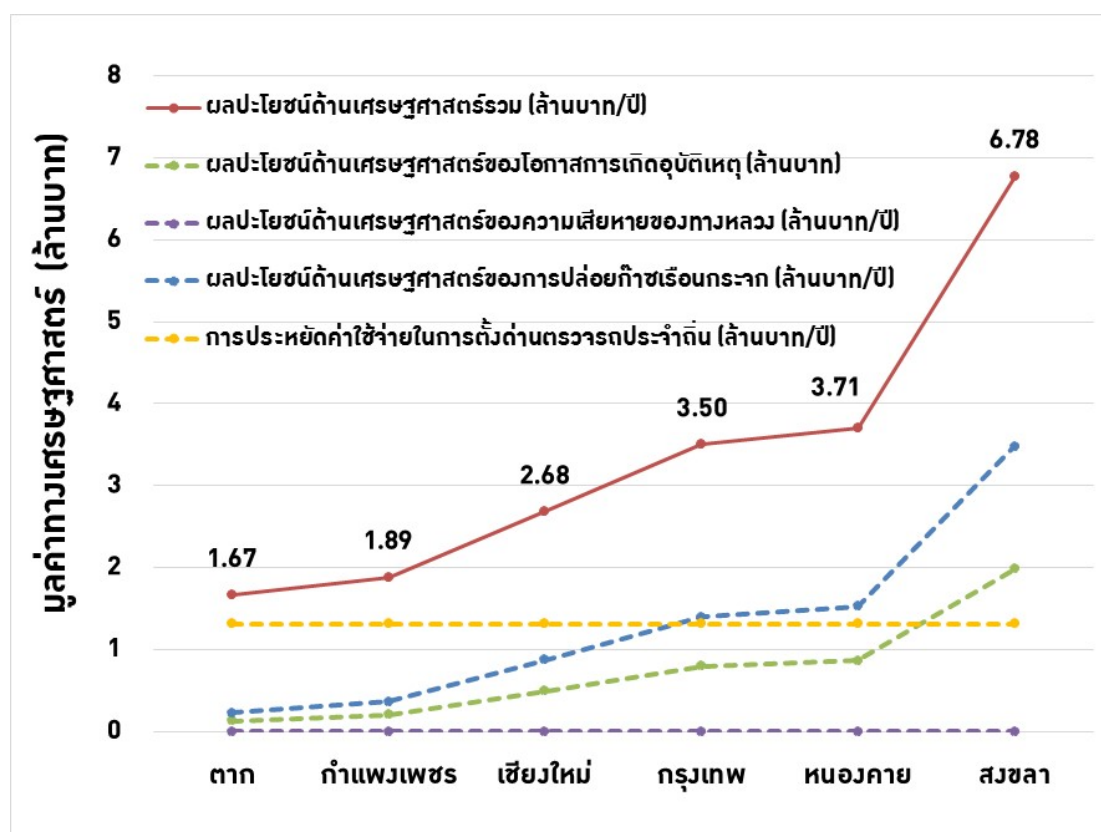
จังหวัด	ระยะทาง จาก ด่าน พรมแดน แม่สอด (KM)	ระยะทาง ไป-กลับ จากด่าน พรมแดน แม่สอด (KM)	การลด โอกาสการ เกิด อุบัติเหตุ (บาท)/คัน	การลด ความ เสียหาย ทางหลวง (บาท)/คัน	ลดการ ปล่อย ก๊าซเรือน กระจก (บาท)/คัน	การประหยัด ค่าใช้จ่ายใน การตั้งด่าน ตรวจรถ ประจำถิ่น (บาท)/คัน	ผลประโยชน์ ด้าน เศรษฐศาสตร์ รวม (บาท)/คัน
ตาก	93	186	38	0.023	66	39	142
กำแพงเพชร	150	300	61	0.037	107	39	206
เชียงใหม่	359	718	145	0.089	255	39	439
กรุงเทพ	575	1,150	233	0.143	409	39	680
หนองคาย	628	1,256	254	0.156	446	39	739
สงขลา	1,435	2,870	581	0.356	1,020	39	1,640



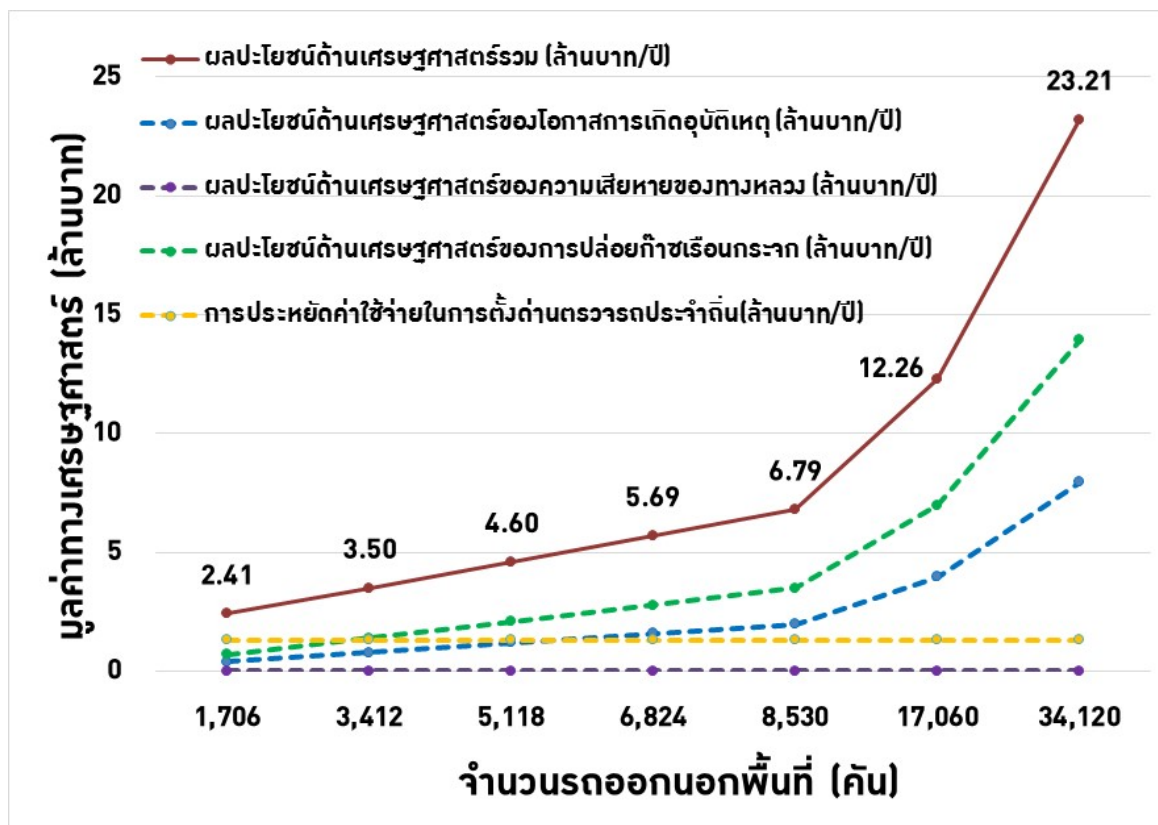
รูปที่ 7.5 ผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์ต่อรถ 1 คันที่ไม่ออกนอกพื้นที่

ตารางที่ 7.23 ผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์รวมของโครงการเมื่อมีรถออกนอกพื้นที่ 10%

จังหวัด	ระยะทาง จากด่าน พรมแดน แม่สอด (KM)	ระยะทาง ไป-กลับจาก ด่านพรมแดน แม่สอด (KM)	การลด โอกาส การเกิด อุบัติเหตุ (บาท)/ปี	การลดความ เสียหาย ทางหลวง (บาท)/ปี	ลดการ ปล่อย ก๊าซเรือน กระจก (บาท)/ปี	การประหยัด ค่าใช้จ่ายใน การตั้งด่าน ตรวจรถ ประจำถิ่น (บาท)/ปี	ผลประโยชน์ ด้าน เศรษฐศาสตร์ รวม (บาท)/ปี
ตาก	92.98	185.96	128,531	79	225,509	1,314,000	1,668,118
กำแพงเพชร	150	300	207,352	127	363,802	1,314,000	1,885,282
เชียงใหม่	359	718	496,264	304	870,700	1,314,000	2,681,267
กรุงเทพ	575	1150	794,851	487	1,394,575	1,314,000	3,503,912
หนองคาย	628	1256	868,116	531	1,523,118	1,314,000	3,705,765
สงขลา	1435	2870	1,983,672	1,214	3,480,374	1,314,000	6,779,260



รูปที่ 7.6 ผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์รวมของโครงการเมื่อมีรถออกนอกพื้นที่ 10%



รูปที่ 7.7 ผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์รวมของโครงการเมื่อจำนวนรถออกนอกพื้นที่ไปยัง กทม.

7.2.5 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ

ที่ปรึกษาดำเนินการวิเคราะห์ความคุ้มค่าของโครงการ โดยการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งนำผลประโยชน์ทางการเงินและผลประโยชน์ด้านอื่นๆ ที่คาดว่าจะได้รับการดำเนินการมาประกอบการวิเคราะห์ ซึ่งผลประโยชน์อื่นๆ เหล่านั้นประกอบไปด้วย รายได้จากการจัดเก็บค่าธรรมเนียมการลดโอกาสการเกิดอุบัติเหตุ การลดความเสียหายทางหลวงและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น (บาท) โดยในการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์นั้น ค่าใช้จ่ายต่างๆ ของโครงการจะหมายถึง ราคาเงา (Shadow Price) คือ ต้นทุนที่แท้จริงของทรัพยากรที่นำมาใช้ในการดำเนินโครงการ โดยหักค่าใช้จ่ายที่เป็นรายการโอนต่างๆ เช่น ภาษี (Tax) และเงินสนับสนุนภาครัฐ (Subsidies) ซึ่งแฝงอยู่ในราคาสินค้าและบริการ การควบคุมราคาของภาครัฐ (Price Control) ทำให้เกิดผลกระทบต่อมูลค่าที่แท้จริงของสินค้าและบริการตลาดผูกขาด (Monopoly Pricing) ที่ภาคเอกชนสามารถกำหนดราคาได้สูงกว่ามูลค่าที่แท้จริงของสินค้าและบริการ ดังนั้นการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์จึงต้องมีการปรับมูลค่าใช้จ่ายต่างๆ ของโครงการให้อยู่ในรูปของมูลค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยการนำค่าใช้จ่ายต่างๆ คูณด้วยสัมประสิทธิ์ปรับค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Conversion Factor) สำหรับสัมประสิทธิ์ปรับค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Conversion Factor) ใช้ค่าที่กำหนดโดยธนาคารโลก (Ahmed 1983) ที่ใช้กับประเทศไทยดังแสดงในตารางที่ 7.24 โดยที่ปรึกษาได้กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ปรับค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Conversion Factor) ในการประเมินต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการเท่ากับตัวปรับค่าเฉพาะสำหรับไฟฟ้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.9

ตารางที่ 7.24 ตัวปรับค่า (Conversion Factor) ราคาทางเศรษฐศาสตร์เป็นราคาทางเศรษฐกิจ

รายการ	ตัวปรับค่า
ตัวปรับค่ามาตรฐาน	0.92
ตัวปรับค่าเฉพาะสำหรับ	
- สินค้าบริโภค	0.95
- สินค้าขั้นกลาง	0.94
- สินค้าทุน	0.84
- ส่วนเหลือมพ่อค้าคนกลาง	0.94
- ไฟฟ้า	0.90
- ปุ๋ยเคมี	0.92
- ยาปราบศัตรูพืช	0.88
- เมล็ดพันธุ์/ต้นพันธุ์	0.94
- การก่อสร้าง	0.88
- การขนส่ง	0.87
- ค่าแรงงาน	0.92

ที่มา : Ahmed (1983)

โดยที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์และรายจ่ายที่เกิดขึ้นของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นทั้ง 4 รูปแบบ ในแต่ละปีตลอดระยะเวลาลงทุน 5 ปี โดยตัวอย่างการวิเคราะห์ผลประโยชน์ด้านเศรษฐศาสตร์และรายจ่ายที่เกิดขึ้น กรณีที่ปริมาณรถประจำถิ่นเป็นไปตามคาดการณ์ ในกรณีต่างๆ ดังนี้

- กรณี 1 ไม่มีรถออกนอกพื้นที่ที่กำหนดดังแสดงในตารางที่ 7.25 ถึงตารางที่ 7.28
- กรณี 2 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5 และเดินทางไปกลับกำแพงเพชรดังแสดงในตารางที่ 7.29 ถึงตารางที่ 7.32
- กรณี 3 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10 และเดินทางไปกลับกำแพงเพชรดังแสดงในตารางที่ 7.33 ถึงตารางที่ 7.36
- กรณี 4 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5 และเดินทางไปกลับกรุงเทพฯ ดังแสดงในตารางที่ 7.37 ถึงตารางที่ 7.40
- กรณี 5 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10 และเดินทางไปกลับกรุงเทพฯ ดังแสดงในตารางที่ 7.41 ถึงตารางที่ 7.44

ตารางที่ 7.25 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ NB-IoT กรณีที่ 1 ไม่มีรถออกนอกพื้นที่ที่กำหนด

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	23,281,956	24,387,339	25,545,262	26,758,454	28,028,962	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ						
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง						
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.5	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก						
	รวมรายได้	24,595,956	25,701,339	26,859,262	28,072,454	29,342,962	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	58,416,258					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		11,541,428	12,391,628	13,304,488	14,284,752	15,337,076
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,842,830	3,052,401	3,278,048	3,518,740	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	58,416,258	14,384,258	18,046,621	16,709,192	20,673,832	15,616,188
	ราคาเงา (Shadow Price)	52,574,632	12,945,832	16,241,959	15,038,273	18,606,448	14,054,569
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-27,978,675	11,388,846	8,464,049	9,277,473	6,823,248	-7,974,940
4.1	รายได้ PV Benefit	24,595,956	22,947,624	21,412,039	19,981,418	18,647,983	
4.2	รายจ่าย PV Cost	52,574,632	11,558,779	12,947,990	10,703,945	11,824,734	7,974,940

ตารางที่ 7.26 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRaGPS กรณีที่ 1 ไม่มีรถออกนอกพื้นที่ที่กำหนด

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	21,378,782	22,393,806	23,457,075	24,571,094	25,737,745	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ						
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง						
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.4	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก						
	รวมรายได้	22,692,782	23,707,806	24,771,075	25,885,094	27,051,745	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	54,137,484					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		10,492,208	11,265,116	12,094,989	12,986,138	13,942,796
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,634,603	2,828,824	3,037,943	3,261,005	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	54,137,484	13,126,811	16,696,532	15,259,588	19,117,483	14,221,908
	ราคาเงา (Shadow Price)	48,723,736	11,814,130	15,026,879	13,733,629	17,205,735	12,799,718
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-26,030,954	10,619,354	7,768,013	8,649,173	6,257,318	-7,262,904
4.1	รายได้ PV Benefit	22,692,782	21,167,684	19,747,349	18,424,499	17,191,873	
4.2	รายจ่าย PV Cost	48,723,736	10,548,330	11,979,336	9,775,326	10,934,556	7,262,904

ตารางที่ 7.27 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRa กรณีที่ 1 ไม่มีรถออกนอกพื้นที่ที่กำหนด

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	18,495,185	19,373,301	20,293,155	21,256,915	22,266,206	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ						
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง						
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.4	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก						
	รวมรายได้	19,809,185	20,687,301	21,607,155	22,570,915	23,580,206	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	42,038,178					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		10,492,208	11,265,116	12,094,989	12,986,138	13,942,796
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,045,790	2,196,604	2,358,987	2,532,196	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	42,038,178	12,537,997	16,064,312	14,580,631	18,388,674	14,221,908
	ราคาเงา (Shadow Price)	37,834,360	11,284,198	14,457,881	13,122,568	16,549,807	12,799,718
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-18,025,175	8,395,628	5,699,358	6,725,146	4,467,946	-7,262,904
4.1	รายได้ PV Benefit	19,809,185	18,470,805	17,225,092	16,065,531	14,985,647	
4.2	รายจ่าย PV Cost	37,834,360	10,075,176	11,525,734	9,340,385	10,517,701	7,262,904

ตารางที่ 7.28 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ RFID กรณีที่ 1 ไม่มีรถออกนอกพื้นที่ที่กำหนด

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	1,065,103	1,115,672	1,168,644	1,224,146	1,282,269	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ						
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง						
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.5	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก						
	รวมรายได้	2,379,103	2,429,672	2,482,644	2,538,146	2,596,269	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	5,358,050					
3.2	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม (Tag)		957,376	1,027,905	1,103,651	1,184,943	
3.3	ค่าดำเนินการ		405,900	416,048	426,449	437,110	
3.4	ค่าบำรุงรักษา		374,330	416,048	426,449	437,110	
	รวมรายจ่าย	5,358,050	1,737,606	1,860,000	1,956,549	2,059,163	
	ราคาเงา (Shadow Price)	4,822,245	1,563,845	1,674,000	1,760,894	1,853,247	
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-2,443,142	773,060	644,646	553,232	472,204	
4.1	รายได้ PV Benefit	2,379,103	2,169,350	1,979,149	1,806,602	1,649,976	
4.2	รายจ่าย PV Cost	4,822,245	1,396,290	1,334,503	1,253,369	1,177,772	

ตารางที่ 7.29 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ NB-IoT กรณีที่ 2 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5 และเดินทางไปกลับกำแพงเพชร

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	23,186,740	24,287,602	25,440,789	26,649,020	27,914,331	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	34,560	36,201	37,919	39,720	41,606	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	21	22	23	24	25	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.5	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	60,635	63,514	66,530	69,690	72,999	
	รวมรายได้	24,595,956	25,701,339	26,859,262	28,072,454	29,342,962	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	58,416,258					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		11,541,428	12,391,628	13,304,488	14,284,752	15,337,076
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,842,830	3,052,401	3,278,048	3,518,740	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	58,416,258	14,384,258	18,046,621	16,709,192	20,673,832	15,616,188
	ราคาเงา (Shadow Price)	52,574,632	12,945,832	16,241,959	15,038,273	18,606,448	14,054,569
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-27,978,675	11,388,846	8,464,049	9,277,473	6,823,248	-7,974,940
4.1	รายได้ PV Benefit	24,595,956	22,947,624	21,412,039	19,981,418	18,647,983	
4.2	รายจ่าย PV Cost	52,574,632	11,558,779	12,947,990	10,703,945	11,824,734	7,974,940

ตารางที่ 7.30 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRaGPS กรณีที่ 2 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5 และเดินทางไปกลับกำแพงเพชร

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	21,283,566	22,294,069	23,352,602	24,461,660	25,623,115	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	34,560	36,201	37,919	39,720	41,606	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	21	22	23	24	25	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.4	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	60,635	63,514	66,530	69,690	72,999	
	รวมรายได้	22,692,782	23,707,806	24,771,075	25,885,094	27,051,745	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	54,137,484					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		10,492,208	11,265,116	12,094,989	12,986,138	13,942,796
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,634,603	2,828,824	3,037,943	3,261,005	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	54,137,484	13,126,811	16,696,532	15,259,588	19,117,483	14,221,908
	ราคาเงา (Shadow Price)	48,723,736	11,814,130	15,026,879	13,733,629	17,205,735	12,799,718
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-26,030,954	10,619,354	7,768,013	8,649,173	6,257,318	-7,262,904
4.1	รายได้ PV Benefit	22,692,782	21,167,684	19,747,349	18,424,499	17,191,873	
4.2	รายจ่าย PV Cost	48,723,736	10,548,330	11,979,336	9,775,326	10,934,556	7,262,904

ตารางที่ 7.31 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRa กรณีที่ 2 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5 และเดินทางไปกลับ
กำแพงเพชร

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	18,399,969	19,273,564	20,188,682	21,147,480	22,151,576	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	34,560	36,201	37,919	39,720	41,606	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	21	22	23	24	25	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.4	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	60,635	63,514	66,530	69,690	72,999	
	รวมรายได้	19,809,185	20,687,301	21,607,155	22,570,915	23,580,206	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	42,038,178					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		10,492,208	11,265,116	12,094,989	12,986,138	13,942,796
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,045,790	2,196,604	2,358,987	2,532,196	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	42,038,178	12,537,997	16,064,312	14,580,631	18,388,674	14,221,908
	ราคาเงา (Shadow Price)	37,834,360	11,284,198	14,457,881	13,122,568	16,549,807	12,799,718
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-18,025,175	8,395,628	5,699,358	6,725,146	4,467,946	-7,262,904
4.1	รายได้ PV Benefit	19,809,185	18,470,805	17,225,092	16,065,531	14,985,647	
4.2	รายจ่าย PV Cost	37,834,360	10,075,176	11,525,734	9,340,385	10,517,701	7,262,904

ตารางที่ 7.32 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ RFID กรณีที่ 2 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5 และเดินทางไปกลับ
กำแพงเพชร

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	969,886	1,015,935	1,064,172	1,114,711	1,167,639	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	34,560	36,201	37,919	39,720	41,606	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	21	22	23	24	25	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.5	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	60,635	63,514	66,530	69,690	72,999	
	รวมรายได้	2,379,103	2,429,672	2,482,644	2,538,146	2,596,269	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	5,358,050					
3.2	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม (Tag)		957,376	1,027,905	1,103,651	1,184,943	
3.3	ค่าดำเนินการ		405,900	416,048	426,449	437,110	
3.4	ค่าบำรุงรักษา		374,330	416,048	426,449	437,110	
	รวมรายจ่าย	5,358,050	1,737,606	1,860,000	1,956,549	2,059,163	
	ราคาเงา (Shadow Price)	4,822,245	1,563,845	1,674,000	1,760,894	1,853,247	
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-2,443,142	773,060	644,646	553,232	472,204	
4.1	รายได้ PV Benefit	2,379,103	2,169,350	1,979,149	1,806,602	1,649,976	
4.2	รายจ่าย PV Cost	4,822,245	1,396,290	1,334,503	1,253,369	1,177,772	

ตารางที่ 7.33 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ NB-IoT กรณีที่ 3 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10 และเดินทางไปกลับกำแพงเพชร

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	23,091,524	24,187,865	25,336,317	26,539,585	27,799,701	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	69,120	72,401	75,839	79,441	83,212	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	42	44	46	49	51	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.5	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	121,271	127,029	133,060	139,379	145,997	
	รวมรายได้	24,595,956	25,701,339	26,859,262	28,072,454	29,342,962	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	58,416,258					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		11,541,428	12,391,628	13,304,488	14,284,752	15,337,076
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,842,830	3,052,401	3,278,048	3,518,740	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	58,416,258	14,384,258	18,046,621	16,709,192	20,673,832	15,616,188
	ราคาเงา (Shadow Price)	52,574,632	12,945,832	16,241,959	15,038,273	18,606,448	14,054,569
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-27,978,675	11,388,846	8,464,049	9,277,473	6,823,248	-7,974,940
4.1	รายได้ PV Benefit	24,595,956	22,947,624	21,412,039	19,981,418	18,647,983	
4.2	รายจ่าย PV Cost	52,574,632	11,558,779	12,947,990	10,703,945	11,824,734	7,974,940

ตารางที่ 7.34 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRaGPS กรณีที่ 3 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10 และเดินทางไปกลับกำแพงเพชร

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	21,188,349	22,194,332	23,248,129	24,352,226	25,508,485	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	69,120	72,401	75,839	79,441	83,212	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	42	44	46	49	51	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.4	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	121,271	127,029	133,060	139,379	145,997	
	รวมรายได้	22,692,782	23,707,806	24,771,075	25,885,094	27,051,745	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	54,137,484					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		10,492,208	11,265,116	12,094,989	12,986,138	13,942,796
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,634,603	2,828,824	3,037,943	3,261,005	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	54,137,484	13,126,811	16,696,532	15,259,588	19,117,483	14,221,908
	ราคาเงา (Shadow Price)	48,723,736	11,814,130	15,026,879	13,733,629	17,205,735	12,799,718
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-26,030,954	10,619,354	7,768,013	8,649,173	6,257,318	-7,262,904
4.1	รายได้ PV Benefit	22,692,782	21,167,684	19,747,349	18,424,499	17,191,873	0
4.2	รายจ่าย PV Cost	48,723,736	10,548,330	11,979,336	9,775,326	10,934,556	7,262,904

ตารางที่ 7.35 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRa กรณีที่ 3 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10 และเดินทางไปกลับ
กำแพงเพชร

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	18,304,752	19,173,827	20,084,210	21,038,046	22,036,946	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	69,120	72,401	75,839	79,441	83,212	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	42	44	46	49	51	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.4	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	121,271	127,029	133,060	139,379	145,997	
	รวมรายได้	19,809,185	20,687,301	21,607,155	22,570,915	23,580,206	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	42,038,178					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		10,492,208	11,265,116	12,094,989	12,986,138	13,942,796
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,045,790	2,196,604	2,358,987	2,532,196	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	42,038,178	12,537,997	16,064,312	14,580,631	18,388,674	14,221,908
	ราคาเงา (Shadow Price)	37,834,360	11,284,198	14,457,881	13,122,568	16,549,807	12,799,718
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-18,025,175	8,395,628	5,699,358	6,725,146	4,467,946	-7,262,904
4.1	รายได้ PV Benefit	19,809,185	18,470,805	17,225,092	16,065,531	14,985,647	
4.2	รายจ่าย PV Cost	37,834,360	10,075,176	11,525,734	9,340,385	10,517,701	7,262,904

ตารางที่ 7.36 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ RFID กรณีที่ 3 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10 และเดินทางไปกลับ
กำแพงเพชร

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	874,670	916,198	959,699	1,005,277	1,053,008	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	69,120	72,401	75,839	79,441	83,212	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	42	44	46	49	51	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.5	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	121,271	127,029	133,060	139,379	145,997	
	รวมรายได้	2,379,103	2,429,672	2,482,644	2,538,146	2,596,269	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	5,358,050					
3.2	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม (Tag)		957,376	1,027,905	1,103,651	1,184,943	
3.3	ค่าดำเนินการ		405,900	416,048	426,449	437,110	
3.4	ค่าบำรุงรักษา		374,330	416,048	426,449	437,110	
	รวมรายจ่าย	5,358,050	1,737,606	1,860,000	1,956,549	2,059,163	
	ราคาเงา (Shadow Price)	4,822,245	1,563,845	1,674,000	1,760,894	1,853,247	
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-2,443,142	773,060	644,646	553,232	472,204	
4.1	รายได้ PV Benefit	2,379,103	2,169,350	1,979,149	1,806,602	1,649,976	
4.2	รายจ่าย PV Cost	4,822,245	1,396,290	1,334,503	1,253,369	1,177,772	

ตารางที่ 7.37 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ NB-IoT กรณีที่ 4 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5 และเดินทางไปกลับกรุงเทพฯ

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	22,425,009	23,489,706	24,605,008	25,773,546	26,997,290	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	311,038	325,805	341,275	357,482	374,456	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	190	199	209	219	229	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.5	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	545,719	571,629	598,770	627,207	656,987	
	รวมรายได้	24,595,956	25,701,339	26,859,262	28,072,454	29,342,962	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	58,416,258					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		11,541,428	12,391,628	13,304,488	14,284,752	15,337,076
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,842,830	3,052,401	3,278,048	3,518,740	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	58,416,258	14,384,258	18,046,621	16,709,192	20,673,832	15,616,188
	ราคาเงา (Shadow Price)	52,574,632	12,945,832	16,241,959	15,038,273	18,606,448	14,054,569
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-27,978,675	11,388,846	8,464,049	9,277,473	6,823,248	-7,974,940
4.1	รายได้ PV Benefit	24,595,956	22,947,624	21,412,039	19,981,418	18,647,983	
4.2	รายจ่าย PV Cost	52,574,632	11,558,779	12,947,990	10,703,945	11,824,734	7,974,940

ตารางที่ 7.38 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRaGPS กรณีที่ 4 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5 และเดินทางไป
กลับกรุงเทพฯ

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	20,521,835	21,496,172	22,516,821	23,586,186	24,706,073	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	311,038	325,805	341,275	357,482	374,456	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	190	199	209	219	229	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.4	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	545,719	571,629	598,770	627,207	656,987	
	รวมรายได้	22,692,782	23,707,806	24,771,075	25,885,094	27,051,745	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	54,137,484					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		10,492,208	11,265,116	12,094,989	12,986,138	13,942,796
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,634,603	2,828,824	3,037,943	3,261,005	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	54,137,484	13,126,811	16,696,532	15,259,588	19,117,483	14,221,908
	ราคาเงา (Shadow Price)	48,723,736	11,814,130	15,026,879	13,733,629	17,205,735	12,799,718
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-26,030,954	10,619,354	7,768,013	8,649,173	6,257,318	-7,262,904
4.1	รายได้ PV Benefit	22,692,782	21,167,684	19,747,349	18,424,499	17,191,873	
4.2	รายจ่าย PV Cost	48,723,736	10,548,330	11,979,336	9,775,326	10,934,556	7,262,904

ตารางที่ 7.39 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRa กรณีที่ 4 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5 และเดินทางไปกลับ กรุงเทพฯ

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	17,638,238	18,475,668	19,352,901	20,272,006	21,234,534	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	311,038	325,805	341,275	357,482	374,456	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	190	199	209	219	229	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.4	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	545,719	571,629	598,770	627,207	656,987	
	รวมรายได้	19,809,185	20,687,301	21,607,155	22,570,915	23,580,206	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	42,038,178					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		10,492,208	11,265,116	12,094,989	12,986,138	13,942,796
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,045,790	2,196,604	2,358,987	2,532,196	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	42,038,178	12,537,997	16,064,312	14,580,631	18,388,674	14,221,908
	ราคาเงา (Shadow Price)	37,834,360	11,284,198	14,457,881	13,122,568	16,549,807	12,799,718
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-18,025,175	8,395,628	5,699,358	6,725,146	4,467,946	-7,262,904
4.1	รายได้ PV Benefit	19,809,185	18,470,805	17,225,092	16,065,531	14,985,647	
4.2	รายจ่าย PV Cost	37,834,360	10,075,176	11,525,734	9,340,385	10,517,701	7,262,904

ตารางที่ 7.40 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ RFID กรณีที่ 4 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 5 และเดินทางไปกลับ
กรุงเทพฯ

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	208,155	218,038	228,391	239,237	250,597	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	311,038	325,805	341,275	357,482	374,456	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	190	199	209	219	229	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.5	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	545,719	571,629	598,770	627,207	656,987	
	รวมรายได้	2,379,103	2,429,672	2,482,644	2,538,146	2,596,269	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	5,358,050					
3.2	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม (Tag)		957,376	1,027,905	1,103,651	1,184,943	
3.3	ค่าดำเนินการ		405,900	416,048	426,449	437,110	
3.4	ค่าบำรุงรักษา		374,330	416,048	426,449	437,110	
	รวมรายจ่าย	5,358,050	1,737,606	1,860,000	1,956,549	2,059,163	
	ราคาเงา (Shadow Price)	4,822,245	1,563,845	1,674,000	1,760,894	1,853,247	
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-2,443,142	773,060	644,646	553,232	472,204	
4.1	รายได้ PV Benefit	2,379,103	2,169,350	1,979,149	1,806,602	1,649,976	
4.2	รายจ่าย PV Cost	4,822,245	1,396,290	1,334,503	1,253,369	1,177,772	

ตารางที่ 7.41 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ NB-IoT กรณีที่ 5 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10 และเดินทางไป
กลับกรุงเทพฯ

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	21,568,062	22,592,072	23,664,755	24,788,638	25,965,617	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	622,076	651,611	682,549	714,965	748,912	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	381	399	418	438	458	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.5	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	1,091,438	1,143,258	1,197,540	1,254,414	1,313,974	
	รวมรายได้	24,595,956	25,701,339	26,859,262	28,072,454	29,342,962	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	58,416,258					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		11,541,428	12,391,628	13,304,488	14,284,752	15,337,076
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,842,830	3,052,401	3,278,048	3,518,740	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	58,416,258	14,384,258	18,046,621	16,709,192	20,673,832	15,616,188
	ราคาเงา (Shadow Price)	52,574,632	12,945,832	16,241,959	15,038,273	18,606,448	14,054,569
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-27,978,675	11,388,846	8,464,049	9,277,473	6,823,248	-7,974,940
4.1	รายได้ PV Benefit	24,595,956	22,947,624	21,412,039	19,981,418	18,647,983	
4.2	รายจ่าย PV Cost	52,574,632	11,558,779	12,947,990	10,703,945	11,824,734	7,974,940

ตารางที่ 7.42 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRaGPS กรณีที่ 5 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10 และเดินทางไป
กลับกรุงเทพฯ

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	19,664,887	20,598,539	21,576,567	22,601,278	23,674,401	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	622,076	651,611	682,549	714,965	748,912	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	381	399	418	438	458	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.4	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	1,091,438	1,143,258	1,197,540	1,254,414	1,313,974	
	รวมรายได้	22,692,782	23,707,806	24,771,075	25,885,094	27,051,745	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	54,137,484					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		10,492,208	11,265,116	12,094,989	12,986,138	13,942,796
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,634,603	2,828,824	3,037,943	3,261,005	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	54,137,484	13,126,811	16,696,532	15,259,588	19,117,483	14,221,908
	ราคาเงา (Shadow Price)	48,723,736	11,814,130	15,026,879	13,733,629	17,205,735	12,799,718
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-26,030,954	10,619,354	7,768,013	8,649,173	6,257,318	-7,262,904
4.1	รายได้ PV Benefit	22,692,782	21,167,684	19,747,349	18,424,499	17,191,873	
4.2	รายจ่าย PV Cost	48,723,736	10,548,330	11,979,336	9,775,326	10,934,556	7,262,904

ตารางที่ 7.43 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ LoRa กรณีที่ 5 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10 และเดินทางไปกลับ กรุงเทพฯ

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	16,781,290	17,578,034	18,412,648	19,287,098	20,202,862	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	622,076	651,611	682,549	714,965	748,912	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	381	399	418	438	458	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.4	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	1,091,438	1,143,258	1,197,540	1,254,414	1,313,974	
	รวมรายได้	19,809,185	20,687,301	21,607,155	22,570,915	23,580,206	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	42,038,178					
3.2	ค่าเช่าสัญญาณ		10,492,208	11,265,116	12,094,989	12,986,138	13,942,796
3.3	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม		2,045,790	2,196,604	2,358,987	2,532,196	
3.4	เปลี่ยนแบตเตอรี่			2,602,592	126,655	2,870,340	279,113
	รวมรายจ่าย	42,038,178	12,537,997	16,064,312	14,580,631	18,388,674	14,221,908
	ราคาเงา (Shadow Price)	37,834,360	11,284,198	14,457,881	13,122,568	16,549,807	12,799,718
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-18,025,175	8,395,628	5,699,358	6,725,146	4,467,946	-7,262,904
4.1	รายได้ PV Benefit	19,809,185	18,470,805	17,225,092	16,065,531	14,985,647	
4.2	รายจ่าย PV Cost	37,834,360	10,075,176	11,525,734	9,340,385	10,517,701	7,262,904

ตารางที่ 7.44 รายจ่าย-ผลประโยชน์อุปกรณ์ RFID กรณีที่ 5 รถออกจากพื้นที่ร้อยละ 10 และเดินทางไปกลับ กรุงเทพฯ

ลำดับ	ปีที่	0	1	2	3	4	5
	พ.ศ.	2565	2566	2567	2568	2569	2570
1	ปริมาณรถ	34,121	35,741	37,438	39,216	41,078	
1.1	ส่วนต่างรถ		1,620	1,697	1,778	1,862	
2	รายได้						
2.1	ค่าธรรมเนียม	-648,792	-679,595	-711,863	-745,671	-781,076	
2.2	ลดโอกาสเกิดอุบัติเหตุ	622,076	651,611	682,549	714,965	748,912	
2.3	ลดความเสียหายทางหลวง	381	399	418	438	458	
2.4	ประหยัดค่าใช้จ่ายในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	1,314,000	
2.5	ลดการเกิดก๊าซเรือนกระจก	1,091,438	1,143,258	1,197,540	1,254,414	1,313,974	
	รวมรายได้	2,379,103	2,429,672	2,482,644	2,538,146	2,596,269	
3	รายจ่าย						
3.1	ติดตั้งระบบ	5,358,050					
3.2	ซื้ออุปกรณ์เพิ่ม (Tag)		957,376	1,027,905	1,103,651	1,184,943	
3.3	ค่าดำเนินการ		405,900	416,048	426,449	437,110	
3.4	ค่าบำรุงรักษา		374,330	416,048	426,449	437,110	
	รวมรายจ่าย	5,358,050	1,737,606	1,860,000	1,956,549	2,059,163	
	ราคาเงา (Shadow Price)	4,822,245	1,563,845	1,674,000	1,760,894	1,853,247	
4	มูลค่าปัจจุบัน PV	-2,443,142	773,060	644,646	553,232	472,204	
4.1	รายได้ PV Benefit	2,379,103	2,169,350	1,979,149	1,806,602	1,649,976	
4.2	รายจ่าย PV Cost	4,822,245	1,396,290	1,334,503	1,253,369	1,177,772	

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยวิเคราะห์ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม ที่จะทำให้อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มีค่าร้อยละ 12 ตามความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ โดยสถานการณ์ที่เป็นปัจจัยในการวิเคราะห์ มีดังนี้

- ปริมาณรถออกนอกพื้นที่ที่ได้รับอนุญาต โดยวิเคราะห์ในกรณีที่รถออกนอกพื้นที่ที่ได้รับอนุญาต ร้อยละ 0, ร้อยละ 5 และร้อยละ 10
- จำนวนรถคาดการณ์ โดยวิเคราะห์ในกรณีที่จำนวนรถน้อยกว่าคาดการณ์ 1 ถึง 5 เท่า
- ระยะทางที่รถออกนอกพื้นที่ที่ได้รับอนุญาต โดยวิเคราะห์ในกรณีที่รถออกนอกพื้นที่ที่ได้รับอนุญาตเป็นระยะทาง 100 กิโลเมตร (ระยะทางโดยประมาณไปกลับจังหวัดตาก-กำแพงเพชร) และระยะทาง 900 กิโลเมตร (ระยะทางโดยประมาณไปกลับจังหวัดตาก-กรุงเทพ)
- อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น 4 รูปแบบ ได้แก่ NB-IoT, LoRaGPS, LoRa และ RFID

โดยผลการวิเคราะห์ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 7.45 และผลการเปรียบเทียบค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมของแต่ละอุปกรณ์ตามปริมาณรถที่คาดการณ์ ปริมาณรถที่ออกนอกพื้นที่อนุญาต และระยะทางที่รถออกนอกพื้นที่อนุญาตดังแสดงในรูปที่ 7.8 ถึงรูปที่ 7.15 และค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมตามปริมาณการออกนอกพื้นที่อนุญาต เมื่อปริมาณรถตามที่คาดการณ์และรถออกนอกพื้นที่ไปกลับจังหวัดกำแพงเพชรและจังหวัดกรุงเทพมหานครดังแสดงในรูปที่ 7.16 และรูปที่ 7.17

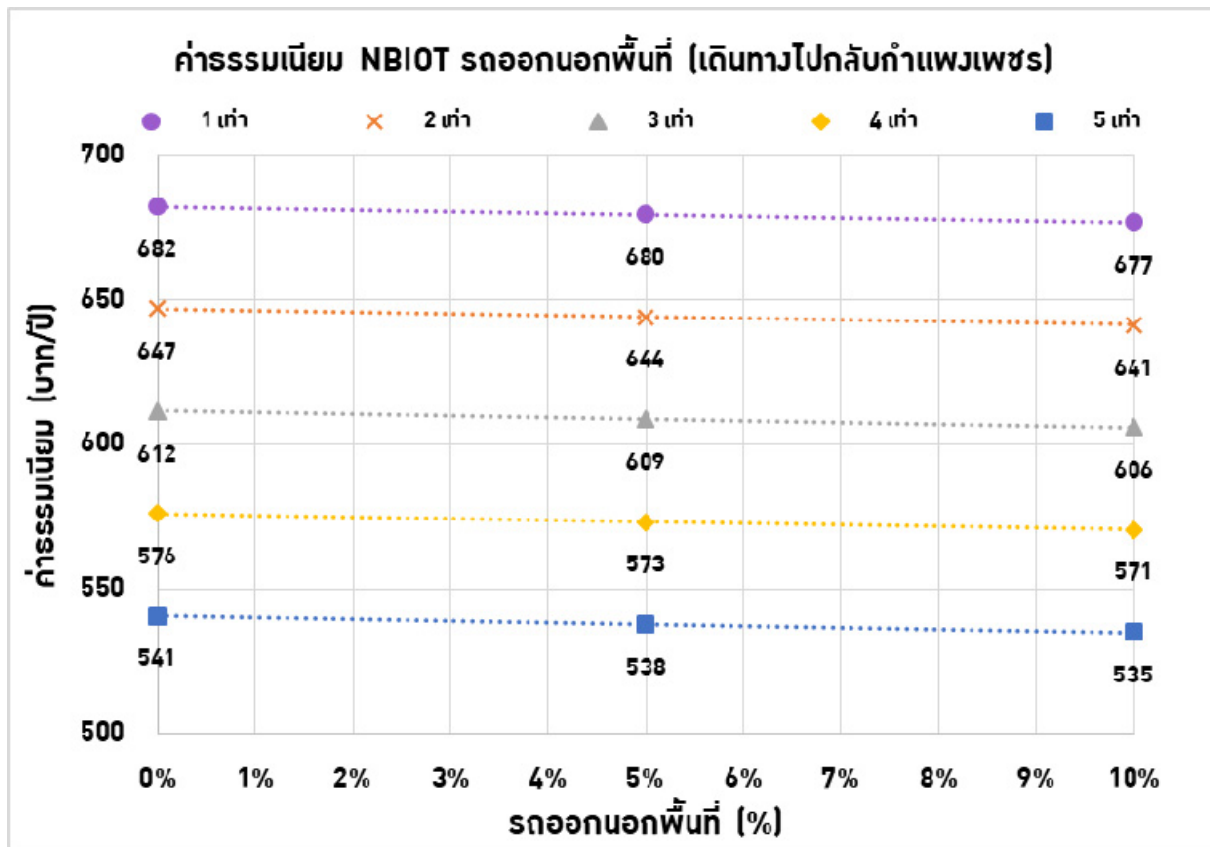
ตารางที่ 7.45 ผลการวิเคราะห์ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมในแต่ละสถานการณ์

ลำดับ	อุปกรณ์	ค่าธรรมเนียม (บาท/ปี)	IRR (%)	จำนวนรถน้อยกว่า คาดการณ์ (เท่า)	ร้อยละ รถออกนอกพื้นที่	ระยะทาง ออกนอกพื้นที่ (กม.)
1	NB-IoT	682.34	12%	1	0%	100
2	LoRaGPS	626.56	12%	1	0%	100
3	LoRa	542.05	12%	1	0%	100
4	RFID	31.22	12%	1	0%	100
5	NB-IoT	646.94	12%	2	0%	100
6	LoRaGPS	591.17	12%	2	0%	100
7	LoRa	506.66	12%	2	0%	100
8	RFID	32.90	12%	2	0%	100
9	NB-IoT	611.55	12%	3	0%	100
10	LoRaGPS	555.77	12%	3	0%	100
11	LoRa	471.26	12%	3	0%	100
12	RFID	34.58	12%	3	0%	100
13	NB-IoT	576.16	12%	4	0%	100
14	LoRaGPS	520.38	12%	4	0%	100
15	LoRa	435.87	12%	4	0%	100
16	RFID	36.26	12%	4	0%	100
17	NB-IoT	540.77	12%	5	0%	100
18	LoRaGPS	484.99	12%	5	0%	100
19	LoRa	400.48	12%	5	0%	100
20	RFID	37.94	12%	5	0%	100
21	NB-IoT	679.54	12%	1	5%	100

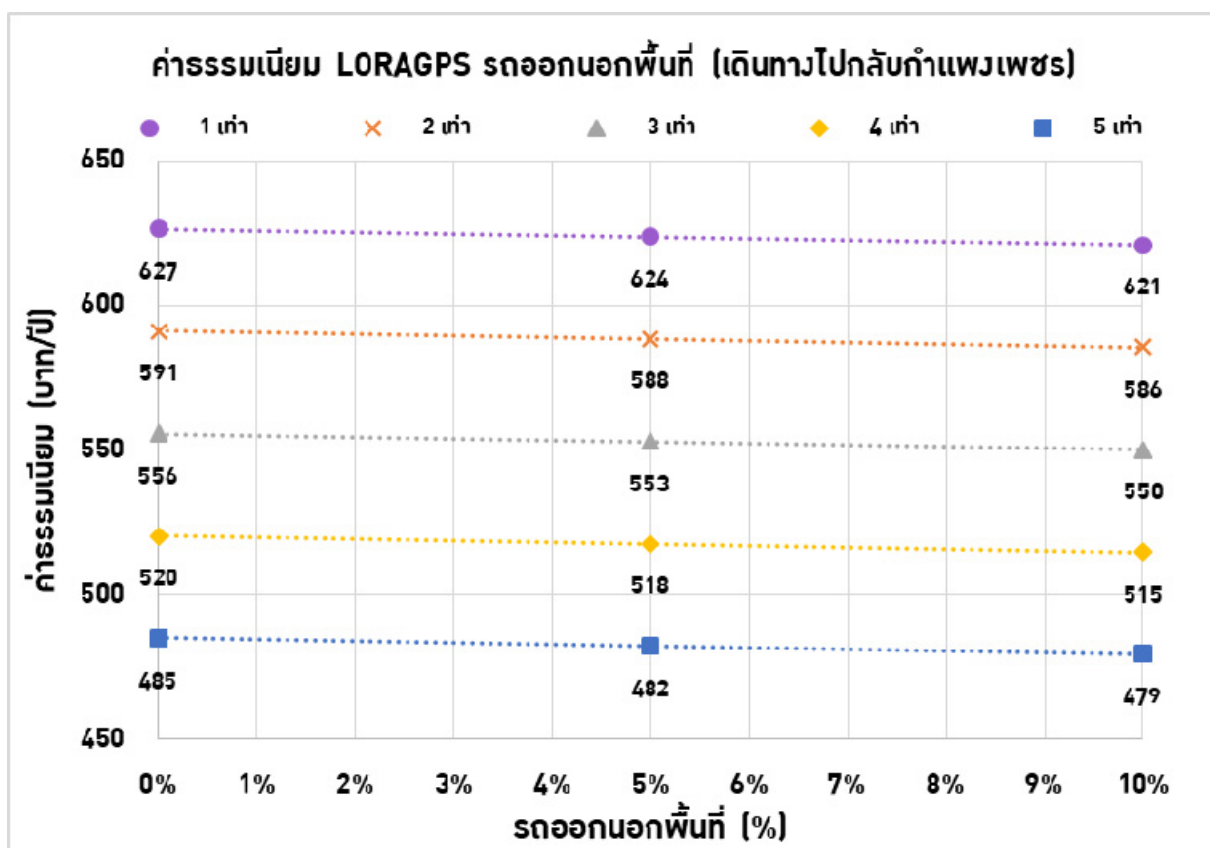
ลำดับ	อุปกรณ์	ค่าธรรมเนียม (บาท/ปี)	IRR (%)	จำนวนรถน้อยกว่า คาดการณ์ (เท่า)	ร้อยละ รถออกนอกพื้นที่	ระยะทาง ออกนอกพื้นที่ (กม.)
22	LoRaGPS	623.77	12%	1	5%	100
23	LoRa	539.26	12%	1	5%	100
24	RFID	28.42	12%	1	5%	100
25	NB-IoT	644.15	12%	2	5%	100
26	LoRaGPS	588.38	12%	2	5%	100
27	LoRa	503.86	12%	2	5%	100
28	RFID	30.11	12%	2	5%	100
29	NB-IoT	608.76	12%	3	5%	100
30	LoRaGPS	552.98	12%	3	5%	100
31	LoRa	468.47	12%	3	5%	100
32	RFID	31.79	12%	3	5%	100
33	NB-IoT	573.37	12%	4	5%	100
34	LoRaGPS	517.59	12%	4	5%	100
35	LoRa	433.08	12%	4	5%	100
36	RFID	33.47	12%	4	5%	100
37	NB-IoT	537.98	12%	5	5%	100
38	LoRaGPS	482.20	12%	5	5%	100
39	LoRa	397.69	12%	5	5%	100
40	RFID	35.15	12%	5	5%	100
41	NB-IoT	676.75	12%	1	10%	100
42	LoRaGPS	620.98	12%	1	10%	100
43	LoRa	536.47	12%	1	10%	100
44	RFID	25.63	12%	1	10%	100
45	NB-IoT	641.36	12%	2	10%	100
46	LoRaGPS	585.59	12%	2	10%	100
47	LoRa	501.07	12%	2	10%	100
48	RFID	27.32	12%	2	10%	100
49	NB-IoT	605.97	12%	3	10%	100
50	LoRaGPS	550.19	12%	3	10%	100
51	LoRa	465.68	12%	3	10%	100
52	RFID	29.00	12%	3	10%	100
53	NB-IoT	570.58	12%	4	10%	100
54	LoRaGPS	514.80	12%	4	10%	100
55	LoRa	430.29	12%	4	10%	100
56	RFID	30.68	12%	4	10%	100
57	NB-IoT	535.19	12%	5	10%	100
58	LoRaGPS	479.41	12%	5	10%	100
59	LoRa	394.90	12%	5	10%	100
60	RFID	32.36	12%	5	10%	100
61	NB-IoT	682.34	12%	1	0%	900
62	LoRaGPS	626.56	12%	1	0%	900

ลำดับ	อุปกรณ์	ค่าธรรมเนียม (บาท/ปี)	IRR (%)	จำนวนรถน้อยกว่า คาดการณ์ (เท่า)	ร้อยละ รถออกนอกพื้นที่	ระยะทาง ออกนอกพื้นที่ (กม.)
63	LoRa	542.05	12%	1	0%	900
64	RFID	31.22	12%	1	0%	900
65	NB-IoT	646.94	12%	2	0%	900
66	LoRaGPS	591.17	12%	2	0%	900
67	LoRa	506.66	12%	2	0%	900
68	RFID	32.90	12%	2	0%	900
69	NB-IoT	611.55	12%	3	0%	900
70	LoRaGPS	555.77	12%	3	0%	900
71	LoRa	471.26	12%	3	0%	900
72	RFID	34.58	12%	3	0%	900
73	NB-IoT	576.16	12%	4	0%	900
74	LoRaGPS	520.38	12%	4	0%	900
75	LoRa	435.87	12%	4	0%	900
76	RFID	36.26	12%	4	0%	900
77	NB-IoT	540.77	12%	5	0%	900
78	LoRaGPS	484.99	12%	5	0%	900
79	LoRa	400.48	12%	5	0%	900
80	RFID	37.94	12%	5	0%	900
81	NB-IoT	657.22	12%	1	5%	900
82	LoRaGPS	601.44	12%	1	5%	900
83	LoRa	516.93	12%	1	5%	900
84	RFID	6.10	12%	1	5%	900
85	NB-IoT	621.83	12%	2	5%	900
86	LoRaGPS	566.05	12%	2	5%	900
87	LoRa	481.54	12%	2	5%	900
88	RFID	7.78	12%	2	5%	900
89	NB-IoT	586.44	12%	3	5%	900
90	LoRaGPS	530.66	12%	3	5%	900
91	LoRa	446.15	12%	3	5%	900
92	RFID	9.46	12%	3	5%	900
93	NB-IoT	551.05	12%	4	5%	900
94	LoRaGPS	495.27	12%	4	5%	900
95	LoRa	410.76	12%	4	5%	900
96	RFID	11.15	12%	4	5%	900
97	NB-IoT	515.65	12%	5	5%	900
98	LoRaGPS	459.88	12%	5	5%	900
99	LoRa	375.37	12%	5	5%	900
100	RFID	12.83	12%	5	5%	900
101	NB-IoT	632.11	12%	1	10%	900
102	LoRaGPS	576.33	12%	1	10%	900
103	LoRa	491.82	12%	1	10%	900

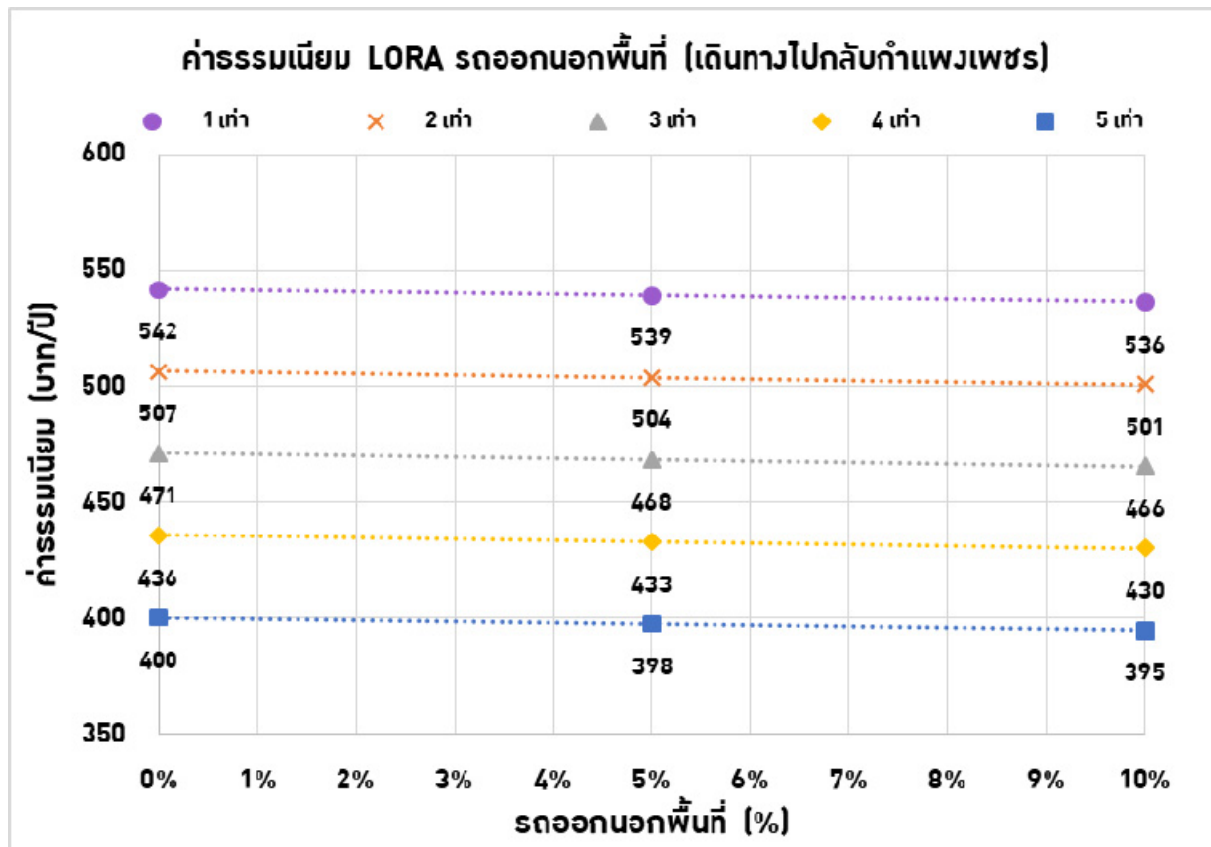
ลำดับ	อุปกรณ์	ค่าธรรมเนียม (บาท/ปี)	IRR (%)	จำนวนรถน้อยกว่า คาดการณ์ (เท่า)	ร้อยละ รถออกนอกพื้นที่	ระยะทาง ออกนอกพื้นที่ (กม.)
104	RFID	-19.01	12%	1	10%	900
105	NB-IoT	596.71	12%	2	10%	900
106	LoRaGPS	540.94	12%	2	10%	900
107	LoRa	456.43	12%	2	10%	900
108	RFID	-17.33	12%	2	10%	900
109	NB-IoT	561.32	12%	3	10%	900
110	LoRaGPS	505.54	12%	3	10%	900
111	LoRa	421.03	12%	3	10%	900
112	RFID	-15.65	12%	3	10%	900
113	NB-IoT	525.93	12%	4	10%	900
114	LoRaGPS	470.15	12%	4	10%	900
115	LoRa	385.64	12%	4	10%	900
116	RFID	-13.97	12%	4	10%	900
117	NB-IoT	490.54	12%	5	10%	900
118	LoRaGPS	434.76	12%	5	10%	900
119	LoRa	350.25	12%	5	10%	900
120	RFID	-12.29	12%	5	10%	900



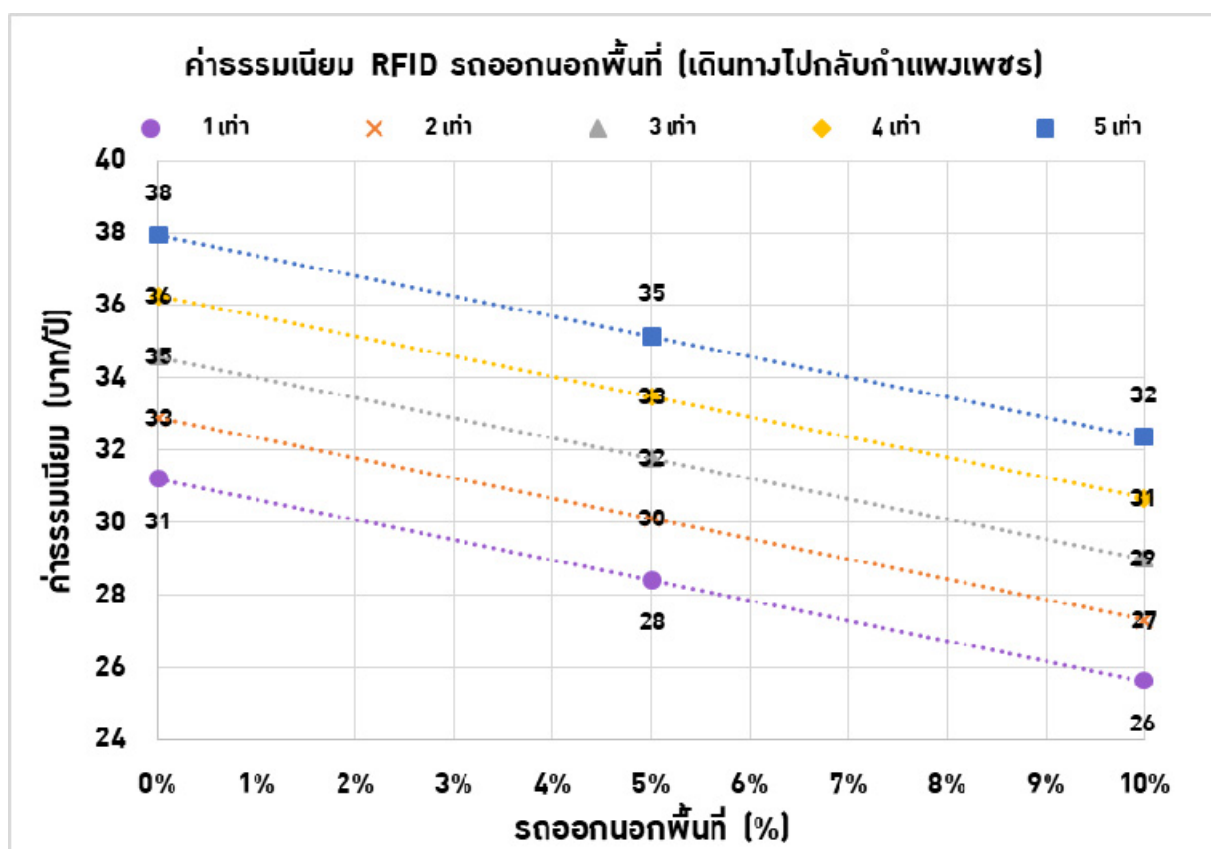
รูปที่ 7.8 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม NB-IoT ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 100 กม.



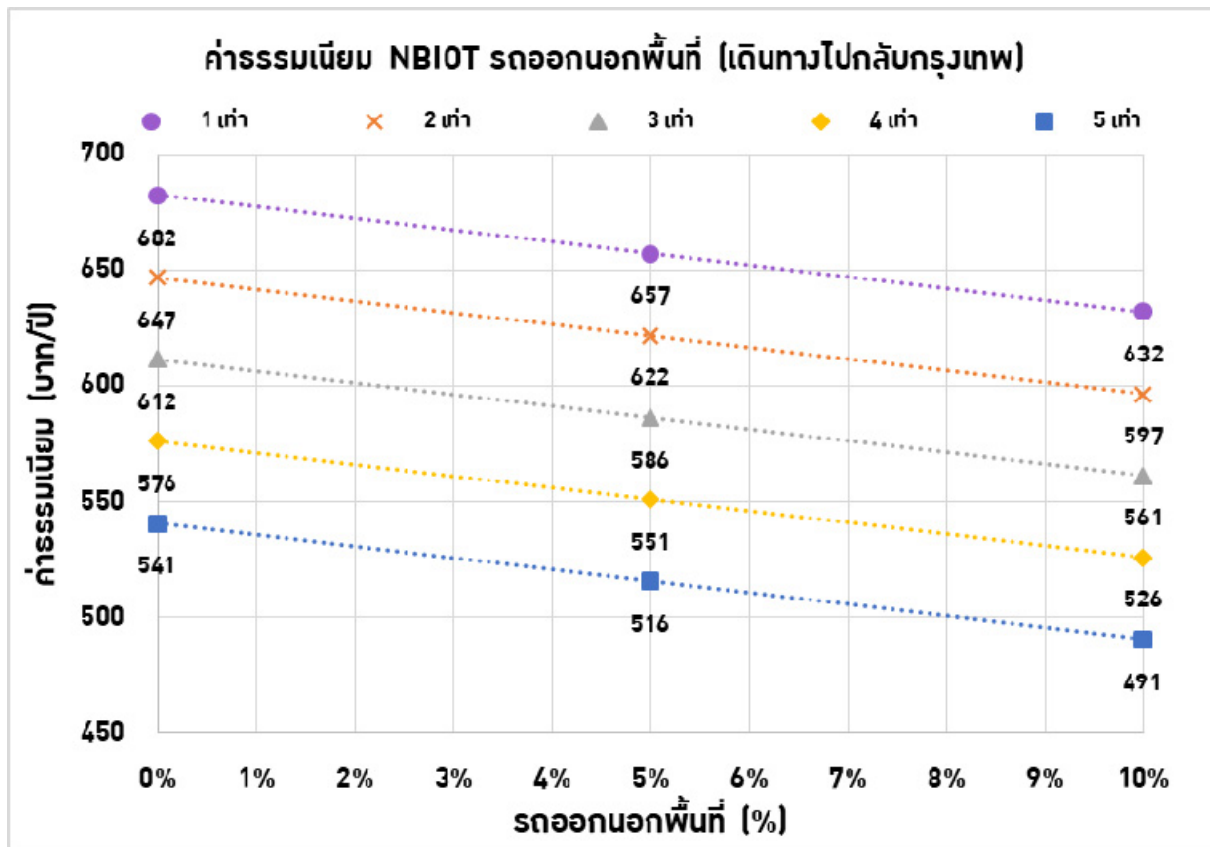
รูปที่ 7.9 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม LoRaGPS ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 100 กม.



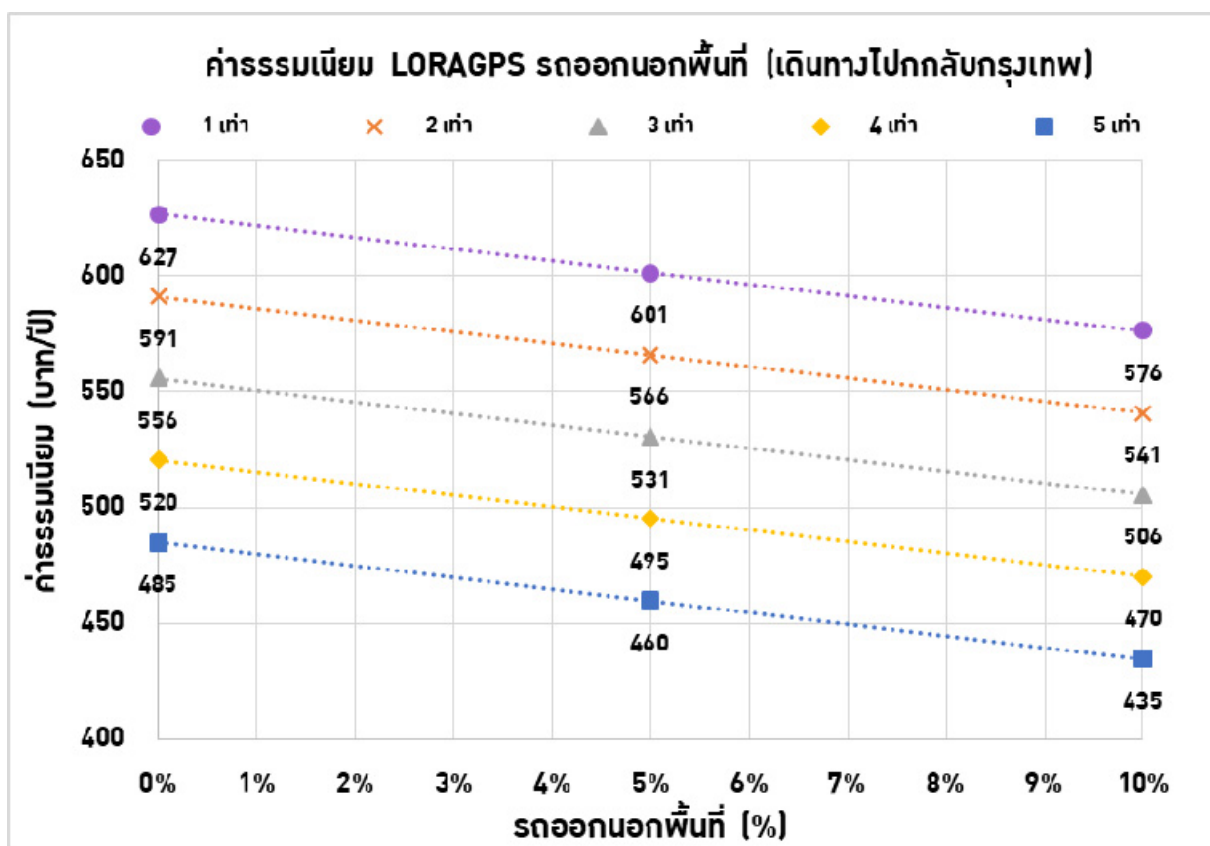
รูปที่ 7.10 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม LoRa ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 100 กม.



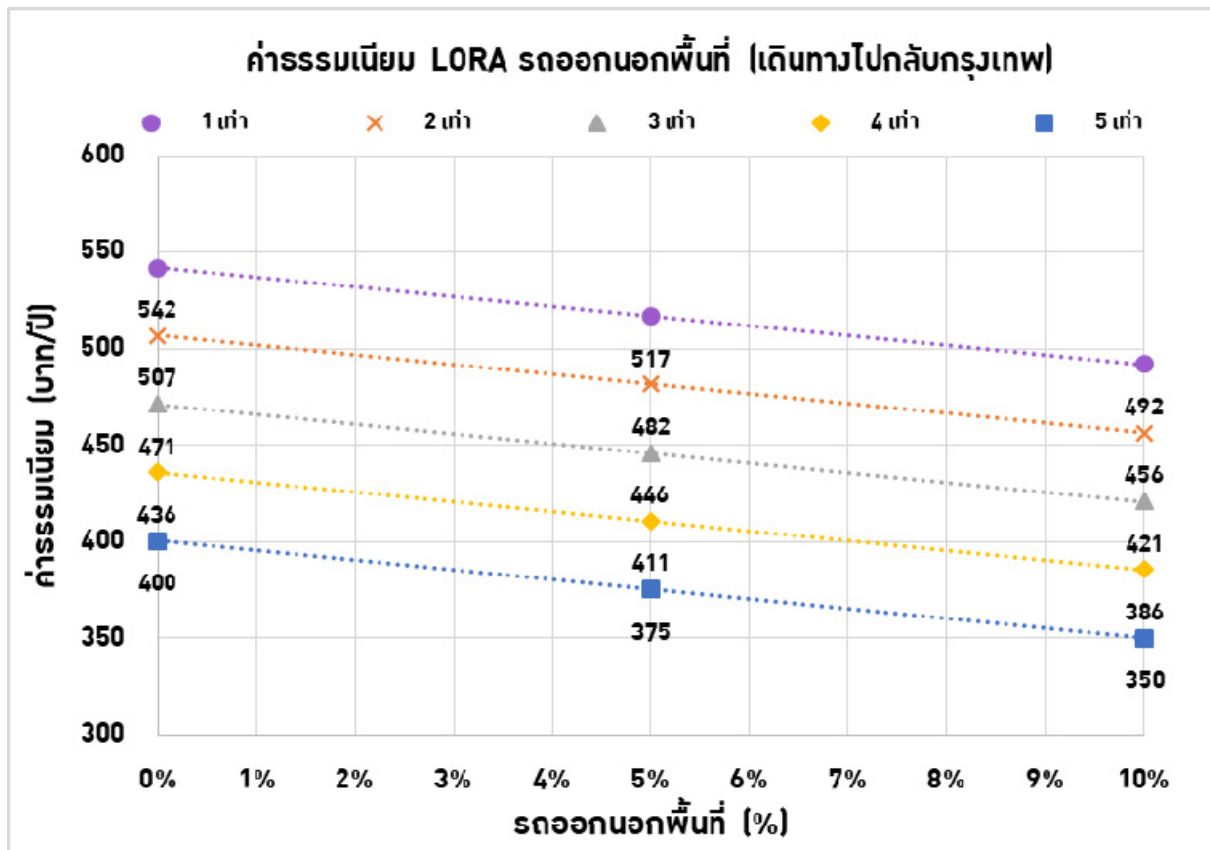
รูปที่ 7.11 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม RFID ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 100 กม.



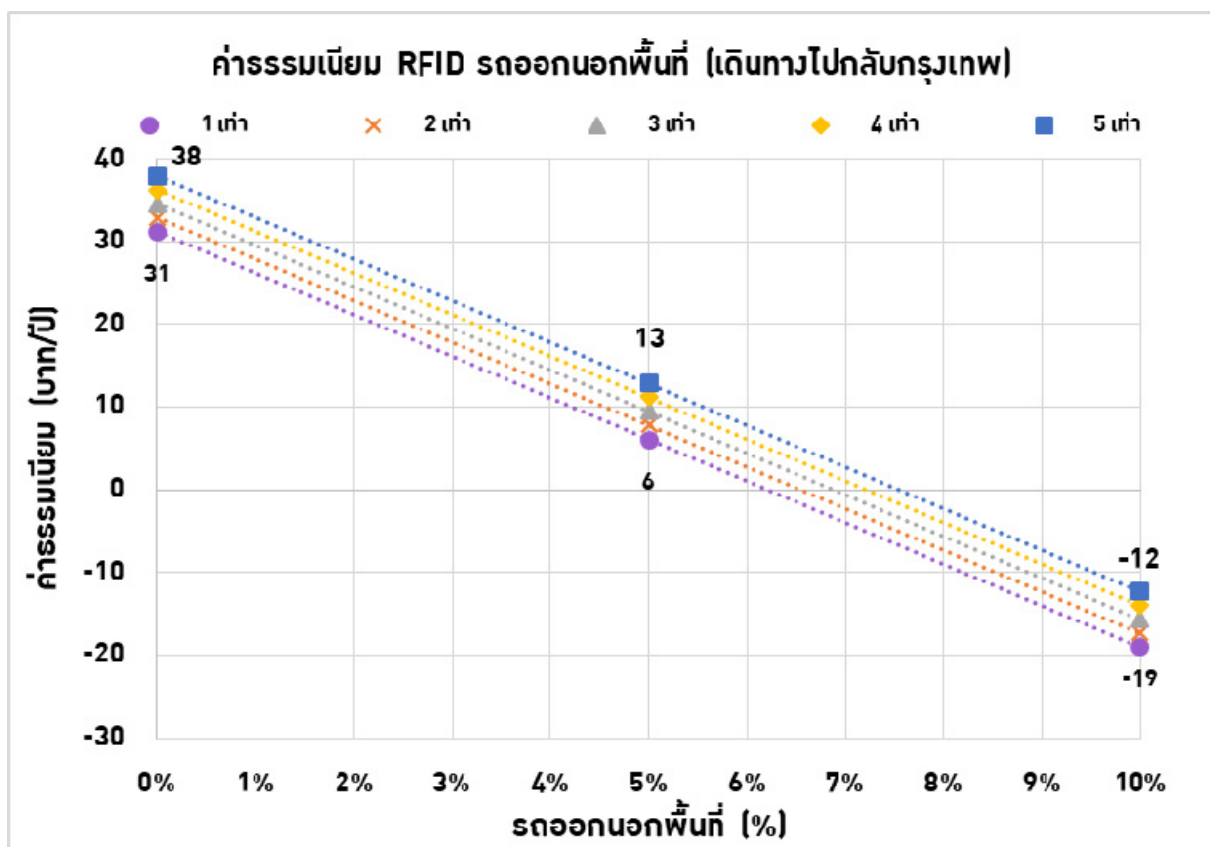
รูปที่ 7.12 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม NB-IoT ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 900 กม.



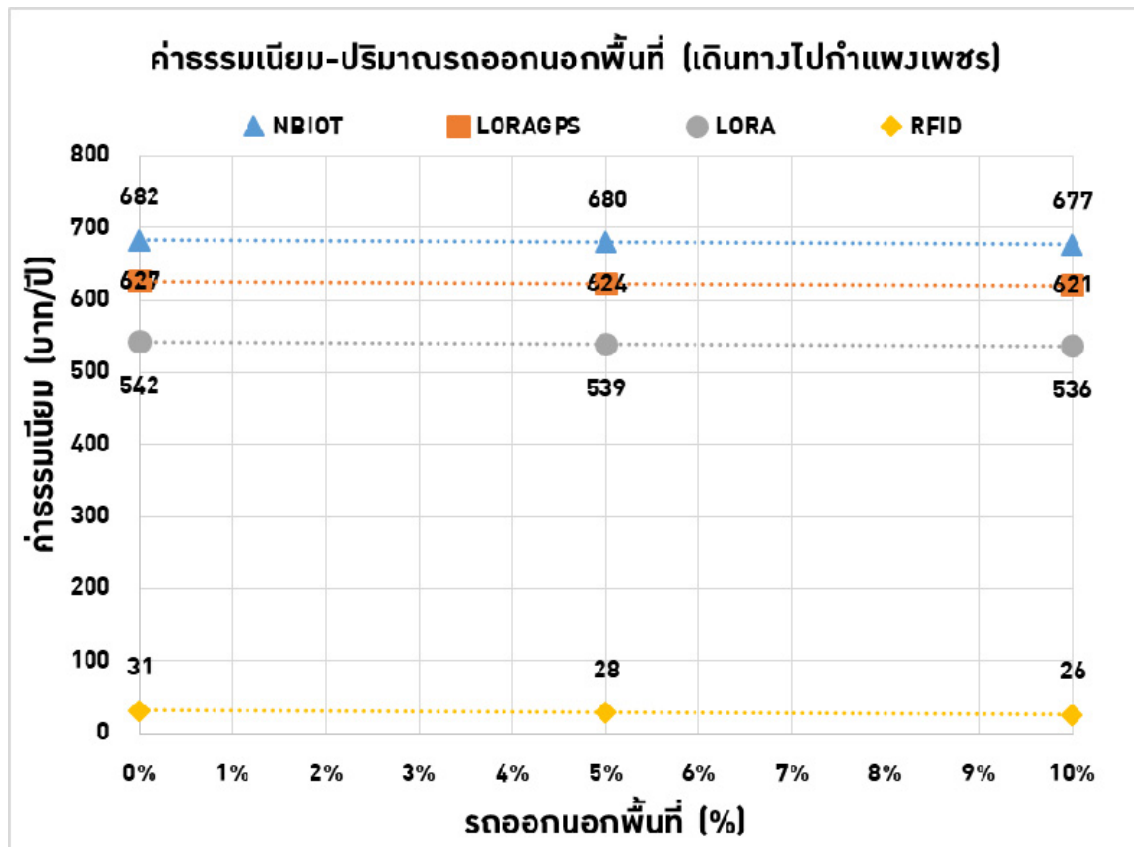
รูปที่ 7.13 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม LoRaGPS ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 900 กม.



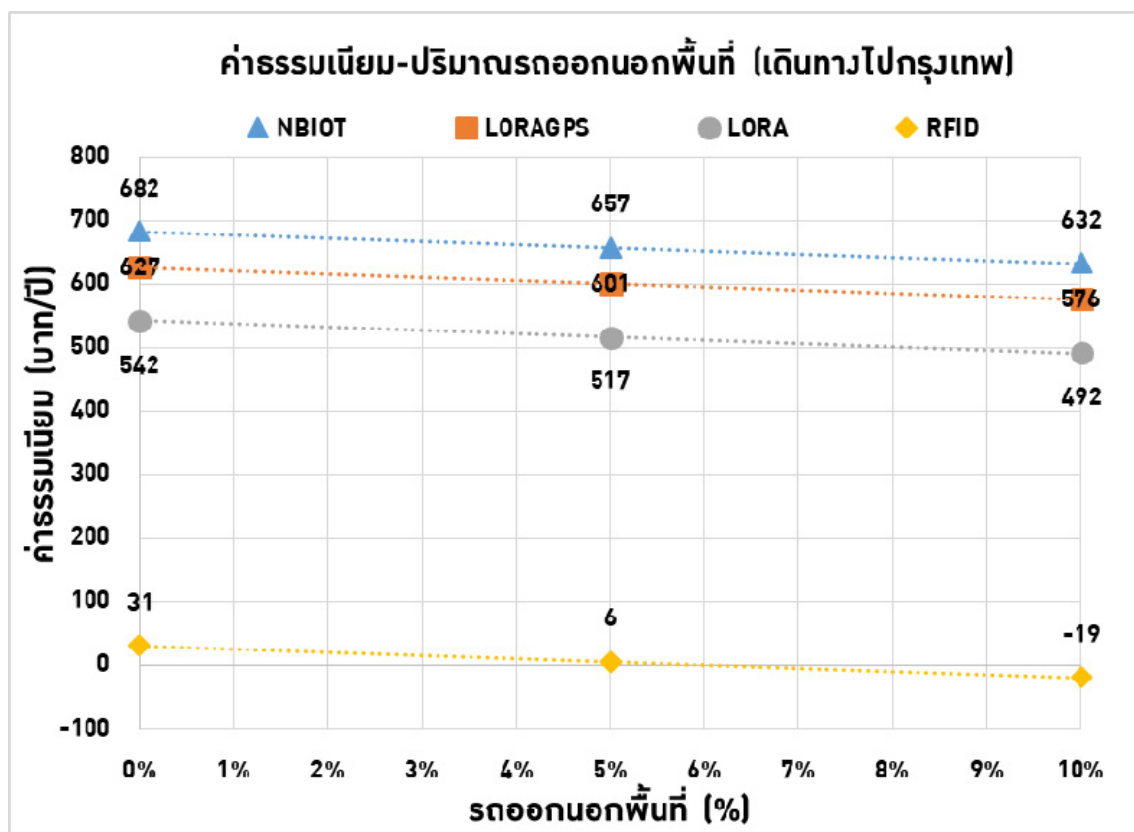
รูปที่ 7.14 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม LoRa ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 900 กม.



รูปที่ 7.15 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสม RFID ตามปริมาณรถที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ 900 กม.



รูปที่ 7.16 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมตามปริมาณการออกนอกพื้นที่อนุญาต
เมื่อปริมาณรถตามที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ไปกลับกำแพงเพชร



รูปที่ 7.17 ค่าธรรมเนียมที่เหมาะสมตามปริมาณการออกนอกพื้นที่อนุญาต
เมื่อปริมาณรถตามที่คาดการณ์และออกนอกพื้นที่ไปกลับกรุงเทพฯ

ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการนำอุปกรณ์ติดตามรถประจำถิ่นมาใช้งาน นอกเหนือจากผลประโยชน์ในด้านต่างๆ ที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งได้แก่ การเพิ่มความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนน จากระบบรถประจำถิ่น การช่วยลดความเสียหายของถนนจากระบบรถประจำถิ่น การช่วยลดการก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจกซึ่งเป็นมลพิษจากระบบรถประจำถิ่น และช่วยลดภาระของเจ้าหน้าที่ในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น การนำอุปกรณ์ติดตามรถประจำถิ่นมาใช้งานยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีความสำคัญและเป็นผลประโยชน์ทางอ้อม ซึ่งไม่สามารถวิเคราะห์ออกมาได้ในรูปของมูลค่าทางการเงิน เช่น ประโยชน์ด้านความมั่นคงและป้องกัน การเดินทางออกนอกพื้นที่ของรถประจำถิ่น การได้มาซึ่งข้อมูลและรายละเอียดของรถประจำถิ่นทุกคัน ในการติดตามตรวจสอบย้อนหลัง ทำให้ทราบสถิติการเดินทางของรถประจำถิ่นในประเทศไทย ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้อาจไม่ส่งผลกระทบในด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินของโครงการ แต่อาจส่งผลในด้านสังคม ด้านการวางแผนและนโยบายระหว่างประเทศ ด้านกฎหมายและกฎระเบียบในการติดตามตรวจสอบการกระทำผิดของรถประจำถิ่นในประเทศไทย

7.3 การวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม

ที่ปรึกษาจะดำเนินการวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมของรูปแบบอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่น 4 ทางเลือก ได้แก่

- ทางเลือกที่ 1 GPS ร่วมกับ NB-IoT
- ทางเลือกที่ 2 GPS ร่วมกับ LoRa
- ทางเลือกที่ 3 LoRa
- ทางเลือกที่ 4 RFID

โดยที่ปรึกษานำข้อมูลจากผลการศึกษาออกแบบฮาร์ดแวร์และระบบสื่อสารของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่น การพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ (Prototype) การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่นำร่อง การจัดทำข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณของเทคโนโลยีที่ศึกษา โดยที่ปรึกษาจะดำเนินการวิเคราะห์ด้านวิศวกรรมเปรียบเทียบข้อมูลของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นในแต่ละประเภท โดยใช้ตัวชี้วัดทางด้านวิศวกรรมในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

- การกำหนดประเภทอุปกรณ์ติดตามการเดินทาง
- ความทนทานของแบตเตอรี่
- การเชื่อมต่ออุปกรณ์กับแหล่งพลังงานภายในรถ
- การเชื่อมโยงข้อมูลติดตามการเดินทางจากอุปกรณ์ฯ กับใบอนุญาตการนำรถประจำถิ่น
- การป้องกันเจ้าของรถแยกอุปกรณ์ติดตามรถออกจากยานพาหนะ
- ความเหมาะสมในการติดตั้งเครื่องวัดหรือเซ็นเซอร์เพิ่มเติมในอุปกรณ์
- การดำเนินการแก้ไขเมื่ออุปกรณ์เกิดการชำรุด
- ความครอบคลุมการส่งสัญญาณของเทคโนโลยี

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการศึกษา วิเคราะห์ เปรียบเทียบผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่ด่านพรมแดนน่านร่อง และวิเคราะห์ข้อดีและข้อจำกัดจากการใช้งานในสถานะแวดล้อมจริงในประเด็นต่างๆ โดยผลการเปรียบเทียบดังแสดงใน ตารางที่ 7.46 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

- อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นที่ใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย NB-IoT โดยเครือข่าย NB-IoT บนระบบ 4G ทำให้สามารถจัดส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real Time) และทำให้ทราบเส้นทางการเดินทางของรถประจำถิ่นโดยละเอียด การใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย NB-IoT ส่งผลให้มีอัตราการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูง การส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์สำเร็จประมาณ 30% และมีเสถียรภาพในการส่งสัญญาณในพื้นที่ชายแดนประมาณ 2.2% อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรูปแบบนี้ยังรองรับการติดตั้ง Gyroscope และ Accelerometer เพื่อติดตามตรวจสอบพฤติกรรมรถประจำถิ่น
- อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นที่ใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย LoRa สามารถติดตามตรวจสอบตำแหน่งพิกัดและเส้นทางการเดินทางของรถประจำถิ่นได้เช่นเดียวกัน แต่ข้อมูลการเดินทางของรถแต่ละคันจะถูกส่งเข้าเครื่องแม่ข่าย (Server) ก็ต่อเมื่อรถประจำถิ่นอยู่ในรัศมีสัญญาณของสถานี LoRa (LoRa Gateway) จากการทดสอบในพื้นที่น่านร่องเครือข่าย LoRa สามารถส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์สำเร็จประมาณ 12% และมีเสถียรภาพในการส่งสัญญาณในพื้นที่ชายแดนประมาณ 8.5% โดยรัศมีสัญญาณของสถานี LoRa ในพื้นที่น่านร่องจะมีระยะทางครอบคลุมประมาณ 3.5-5 กิโลเมตรต่อสถานี การใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย LoRa มีอัตราการใช้พลังงานต่ำกว่าประมาณครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับการใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย NB-IoT ทำให้ช่วยลดความถี่ในการต้องชาร์จแบตเตอรี่ อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรูปแบบนี้ยังรองรับการติดตั้ง Gyroscope และ Accelerometer เพื่อติดตามตรวจสอบพฤติกรรมรถประจำถิ่น
- อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นที่ใช้อุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa เพียงอย่างเดียว (ไม่มี GPS) เป็นการติดตามตรวจสอบผ่านจุด Check Point เพื่อตรวจสอบสถานี LoRa (LoRa Gateway) ที่รถประจำถิ่นสัญจรผ่านว่ายังอยู่ในพื้นที่อนุญาตของรถประจำถิ่นหรือไม่ โดยจะไม่มีการตรวจสอบพิกัดการเดินทางของรถประจำถิ่น อุปกรณ์รูปแบบนี้การใช้พลังงานค่อนข้างต่ำสามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าประมาณ 28 เท่าต่อการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้งเมื่อเทียบกับการใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย LoRa ข้อจำกัดของอุปกรณ์รูปแบบนี้คือจะไม่มีข้อมูลพิกัดตำแหน่งและเส้นทางการเดินทางของรถประจำถิ่น
- อุปกรณ์ RFID สามารถติดตามตรวจสอบรถประจำถิ่นผ่านจุด Check Point โดยการตรวจสอบสถานี RFID Reader ที่รถประจำถิ่นสัญจรผ่านว่ายังอยู่ในพื้นที่อนุญาตของรถประจำถิ่นหรือไม่ การใช้เทคโนโลยี RFID คือมีเสถียรภาพและความแม่นยำในการอ่านข้อมูลสูงเมื่อรถประจำถิ่นวิ่งผ่านสถานี RFID Reader อีกทั้ง RFID Tag แบบ Passive มีลักษณะคล้ายสติ๊กเกอร์แผ่นบางๆ สามารถติดตั้งได้ง่ายและไม่ใช้แบตเตอรี่ทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องการชาร์จพลังงาน ในกรณีที่เจ้าของรถดึง RFID Tag ออกจากตัวรถจะทำให้ Tag และเสาอากาศเกิดการฉีกขาด ทั้งนี้จะช่วยป้องกันปัญหาการนำ RFID Tag แยกออกจากตัวรถ ปัญหาการนำ RFID Tag ไปติดกับรถคันอื่น และยังช่วยลดปัญหาการลืมติดตั้ง RFID Tag ก่อนนำรถ เข้ามาในประเทศไทย

ตารางที่ 7.46 สรุปผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบ

ลำดับ	อุปกรณ์	การจัดเก็บข้อมูลของรถประจำถิ่น	ระยะเวลาการใช้งานต่อการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้ง (1,150 mA)	พื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ	เสถียรภาพสัญญาณในการส่งข้อมูลแบบ Real Time	เสถียรภาพสัญญาณในการส่งข้อมูลแบบ Real Time ในพื้นที่ชายแดน	ความทนทานของอุปกรณ์	การป้องกันการถอดอุปกรณ์	การติดตามพฤติกรรม การขับขี่	ความสามารถ ในการส่งข้อมูลReal Time
1	LoRa	วันเวลาและ LoRa Gateway ที่รถผ่าน	18.9 วัน	รัศมี 3.5-5 กม. จาก Gateway	11.98%	8.48%	แบตเตอรี่ อายุ 2 ปี	IR Sensor, Tamper, สายรัด	Gyroscope และ Accelerometer	ส่งข้อมูลเมื่ออยู่ในรัศมี LoRa Gateway
2	GPS + LoRa	วันเวลาและเส้นทางที่รถวิ่ง	16 ชั่วโมง	รัศมี 3.5-5 กม. จาก Gateway	11.98%	8.48%	แบตเตอรี่ อายุ 2 ปี	IR Sensor, Tamper, สายรัด	Gyroscope และ Accelerometer	ส่งข้อมูลเมื่ออยู่ในรัศมี LoRa Gateway
3	GPS + NB-IOT	วันเวลาและเส้นทางที่รถวิ่ง	8 ชั่วโมง	พื้นที่บริการเครือข่าย 4G	30.57%	2.18%	แบตเตอรี่ อายุ 2 ปี	IR Sensor, Tamper, สายรัด	Gyroscope และ Accelerometer	ส่งข้อมูลเมื่ออยู่ในพื้นที่ 4G
4	UHF RFID	วันเวลาและ RFID Reader ที่รถผ่าน	ไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ (ถ้าใช้ UHF RFID แบบ Passive)	5-10 เมตร จาก RFID Reader	>99% (ผ่านช่องจราจรที่กำหนด)	>99% (ผ่านช่องจราจรที่กำหนด)	Passive Tag อายุ 10 ปี	Tag แบบPassive เมื่อติดตั้งออกจะฉีกขาด	ไม่สามารถติดตามพฤติกรรม การขับขี่	ส่งข้อมูลเมื่อผ่าน RFID Reader

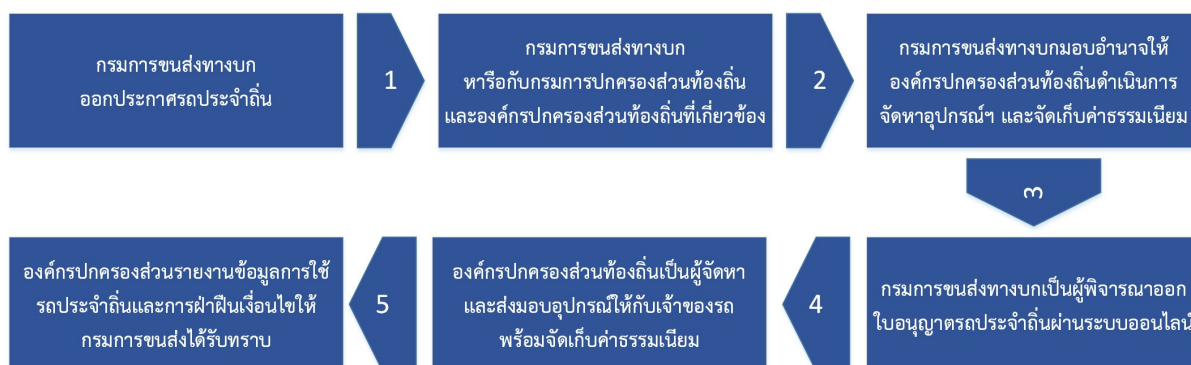
7.4 แนวทางบริหารจัดการอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น

7.4.1 แนวทางบริหารจัดการ

การนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นมาประยุกต์ใช้งานจะก่อให้เกิดประโยชน์กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในหลายภาคส่วน ทั้งหน่วยงานส่วนกลางที่มีหน้าที่กำกับดูแลการขนส่งทางถนน หน่วยงานดูแลและบำรุงรักษาถนน หน่วยงานส่งเสริมความปลอดภัยและลดอุบัติเหตุบนท้องถนน หน่วยงานด้านความมั่นคง หน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น นอกจากนี้อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นยังก่อให้เกิดประโยชน์กับสภาพเศรษฐกิจ การค้า ความปลอดภัยต่อสังคมและชุมชนในพื้นที่ ดังนั้นการให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเข้ามามีส่วนร่วมในการดำเนินงานในการกำกับควบคุมรถประจำถิ่นในพื้นที่ของตนเองจะช่วยให้การดำเนินงานบรรลุผลสำเร็จอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความยั่งยืนในการดำเนินงานในระยะยาว

การให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเข้ามามีส่วนร่วมในการดำเนินงานในการกำกับควบคุมรถประจำถิ่นในพื้นที่ของตนเองมีขั้นตอนการดำเนินงานตามรูปที่ 7.18 โดยในเบื้องต้นกรมการขนส่งทางบกจะต้องออกประกาศเรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการและเงื่อนไขในการขออนุญาต การอนุญาต ระยะเวลาในการใช้รถและเครื่องหมายแสดงการใช้รถที่นำเข้ามาในราชอาณาจักรเป็นการชั่วคราวเพื่อใช้ในลักษณะรถประจำถิ่น โดยประกาศของกรมการขนส่งทางบกควรประกอบด้วยสาระสำคัญตามรายละเอียดในรูปที่ 7.19 ทั้งในส่วนของการขออนุญาต ยื่นขออนุญาตนำรถประจำถิ่นเข้ามาใช้ในราชอาณาจักรไทย เอกสารประกอบการยื่นขออนุญาต การชำระค่าธรรมเนียม การกำหนดพื้นที่อนุญาตสำหรับรถประจำถิ่น และการกำหนดเงื่อนไขการใช้รถประจำถิ่นในราชอาณาจักรไทย เป็นต้น โดยใบอนุญาตรถประจำถิ่นควรเป็นแบบผ่านเข้าออกได้หลายครั้งในช่วงระยะเวลาที่ได้รับอนุญาต (Multiple Entry) เพื่อให้สอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้รถประจำถิ่น

กรมการขนส่งทางบกควรต้องประชุมหารือกับกรมการปกครองส่วนท้องถิ่นและองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่เพื่อกำหนดแนวทางและบทบาทหน้าที่ในการดำเนินงานร่วมกัน โดยกรมการขนส่งทางบกจะต้องมอบอำนาจให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในพื้นที่เป็นผู้ดำเนินการแทนในการจัดหา อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นและจัดเก็บค่าธรรมเนียมการใช้อุปกรณ์ฯ

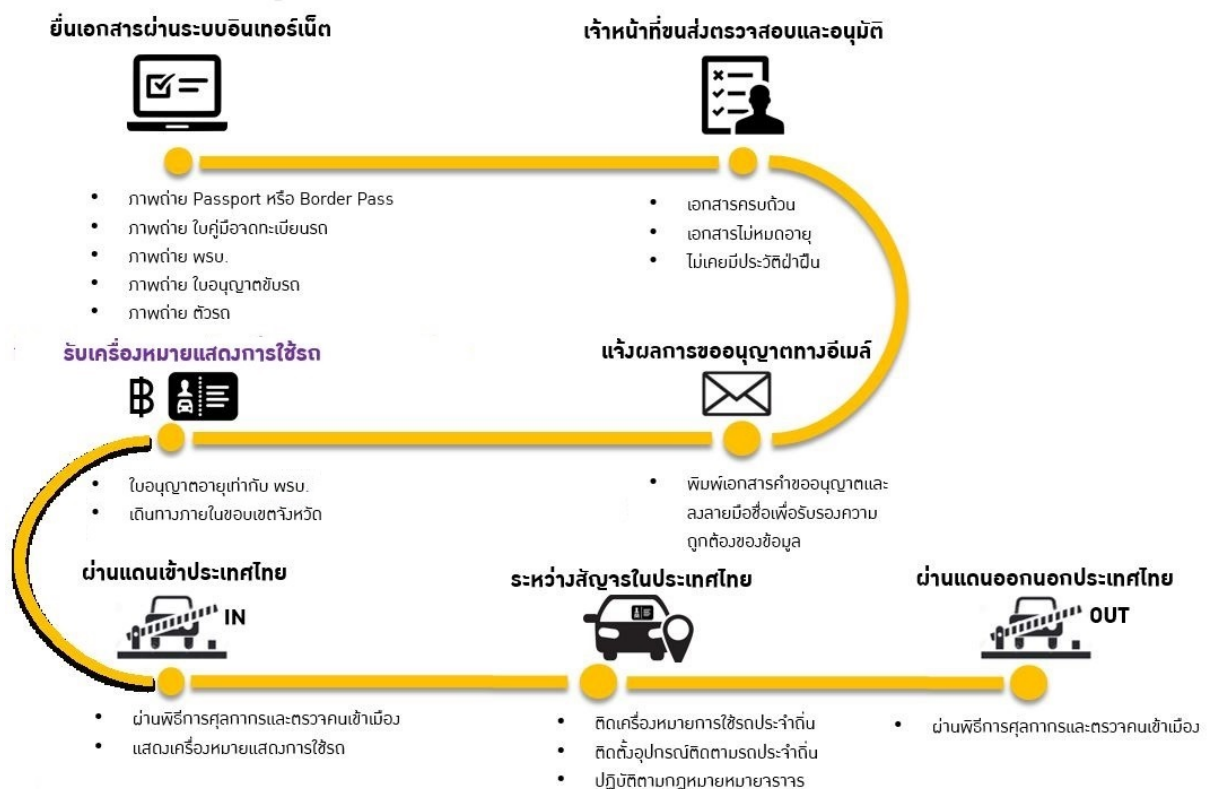


รูปที่ 7.18 แนวทางการให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นเข้ามามีส่วนร่วมในการดำเนินงาน

เอกสารยืนยันสภาพความปลอดภัยของพาหนะ - การตรวจสอบสภาพรถ - เอกสารการประกันภัย	กระบวนการในการยื่นขออนุญาต ผ่านระบบออนไลน์	การกำหนดพื้นที่รถข้ามพรมแดน พื้นที่ที่ต้องดำเนินการทำเรื่องขออนุญาต
ระบบการชำระค่าธรรมเนียม - ชำระแบบออนไลน์ - อัตราค่าธรรมเนียม	เอกสารที่จำเป็นของผู้ขับขี่ ผู้โดยสาร และพาหนะ - หนังสือเดินทาง หรือวีซ่า - เอกสารเกี่ยวกับพาหนะ - การเสียภาษีพาหนะ - เอกสารความเป็นเจ้าของ หรือยินยอมให้นำพาหนะข้ามแดนจากเจ้าของพาหนะ	ข้อกำหนดเมื่อผ่านเข้ามาภายในประเทศ - การกำหนดเวลาในการเข้าออก - ระยะเวลาในการพำนักและขับพาหนะ - จำนวนครั้งแบบผ่านเข้าออกได้หลายครั้งในช่วงระยะเวลาที่ได้รับอนุญาต (Multiple Entry)

รูปที่ 7.19 แนวทางการประยุกต์ใช้กับประเทศไทยในการกำกับรถข้ามพรมแดน

กรมการขนส่งทางบกควรต้องเป็นผู้พิจารณาออกใบอนุญาตรถประจำถิ่นเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติและความพร้อมของรถประจำถิ่นที่จะนำมาใช้งานในประเทศไทย โดยให้เจ้าของรถประจำถิ่นสามารถยื่นขออนุญาตผ่านระบบออนไลน์เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับเจ้าของรถตามขั้นตอนดังรูปที่ 7.20 เจ้าของรถที่ได้รับอนุญาตจะได้รับเครื่องหมายการใช้รถประจำถิ่นจากกรมการขนส่งทางบกสำหรับติดที่กระจกหน้ารถ



รูปที่ 7.20 การยื่นขออนุญาตรถประจำถิ่นผ่านระบบออนไลน์

เจ้าของรถประจำถิ่นที่ได้รับใบอนุญาตจากกรมการขนส่งทางบกสามารถติดต่อขอรับอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นจากองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นพร้อมชำระค่าธรรมเนียมในการใช้อุปกรณ์ฯ โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะต้องทำการลงทะเบียนหมายเลขอุปกรณ์ (Serial Number) เข้ากับใบอนุญาตรถประจำถิ่นที่กรมการขนส่งทางบกเป็นผู้ออก ก่อนส่งมอบอุปกรณ์ฯ ให้กับเจ้าของรถประจำถิ่น โดยองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจะต้องเชื่อมโยงหรือส่งมอบข้อมูลการใช้รถประจำถิ่น รวมถึงข้อมูลการฝ่าฝืนเงื่อนไขของรถประจำถิ่นให้กรมการขนส่งทางบกได้รับทราบ

7.4.2 แนวทางการจัดหาอุปกรณ์

การนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นมาใช้งานในอนาคต ซึ่งอาจมีความจำเป็นต้องจัดหาอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นจำนวนมากมาใช้งานตามจำนวนของรถประจำถิ่นที่เข้ามาในประเทศไทย ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกปี โดยที่ปรึกษาได้ดำเนินการศึกษาออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบให้สามารถพัฒนาโดยง่าย ซึ่งหน่วยงานภาครัฐหรือภาคเอกชนสามารถนำต้นแบบอุปกรณ์ไปพัฒนาได้ โดยราคาของอุปกรณ์จะขึ้นอยู่กับจำนวนชิ้นในการผลิตอุปกรณ์ ดังแสดงในตารางที่ 7.47

ตารางที่ 7.47 ประมาณการต้นทุนอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น

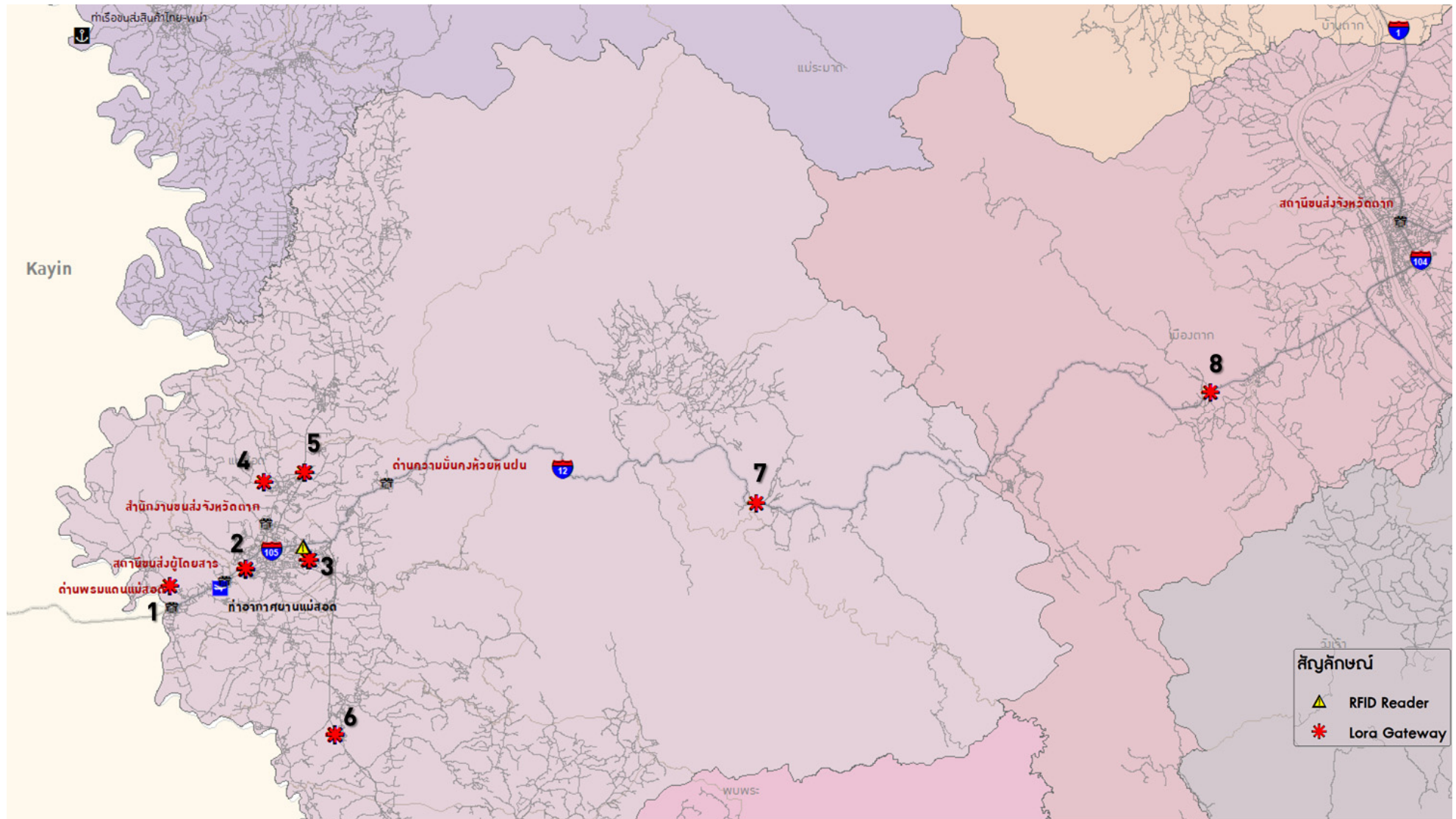
ลำดับ	Device	จำนวนอุปกรณ์ (ชิ้น)			
		20	100	1,000	10,000
1	NB-IoT	4,320.05 บาท	2,756.04 บาท	2,074.04 บาท	1,712 บาท
2	LoRa + GPS	4,111.05 บาท	2,588.84 บาท	1,927.74 บาท	1,587 บาท
3	LoRa	3,520.05 บาท	2,116.04 บาท	1,514.04 บาท	1,232 บาท

8. การจัดทำข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณ ของเทคโนโลยีที่ศึกษา

ที่ปรึกษาดำเนินการศึกษาข้อมูลในการจัดทำข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณของเทคโนโลยีที่จะดำเนินการศึกษาโดยครอบคลุมอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่น

8.1 ความครอบคลุมการส่งสัญญาณ LoRa

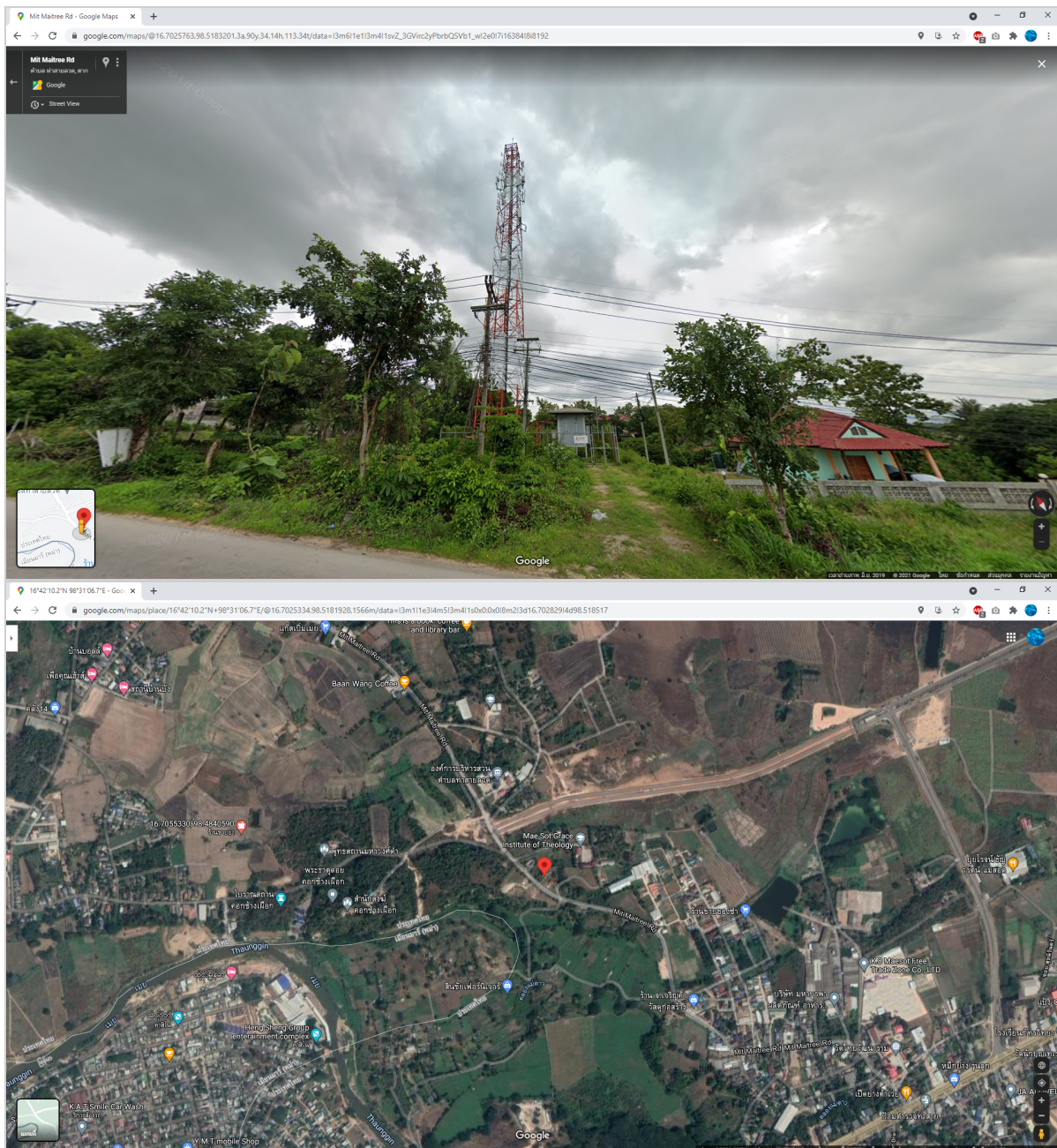
ที่ปรึกษาได้ศึกษาและรวบรวมตำแหน่งเสาส่งสัญญาณ LoRa ในบริเวณพื้นที่นำร่อง ซึ่งมีจำนวน 8 จุดรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 8.1 และตารางที่ 8.1 โดยตำแหน่งของเสาสัญญาณ LoRa แต่ละเสาดังแสดงในรูปที่ 8.2 ถึงรูปที่ 8.9



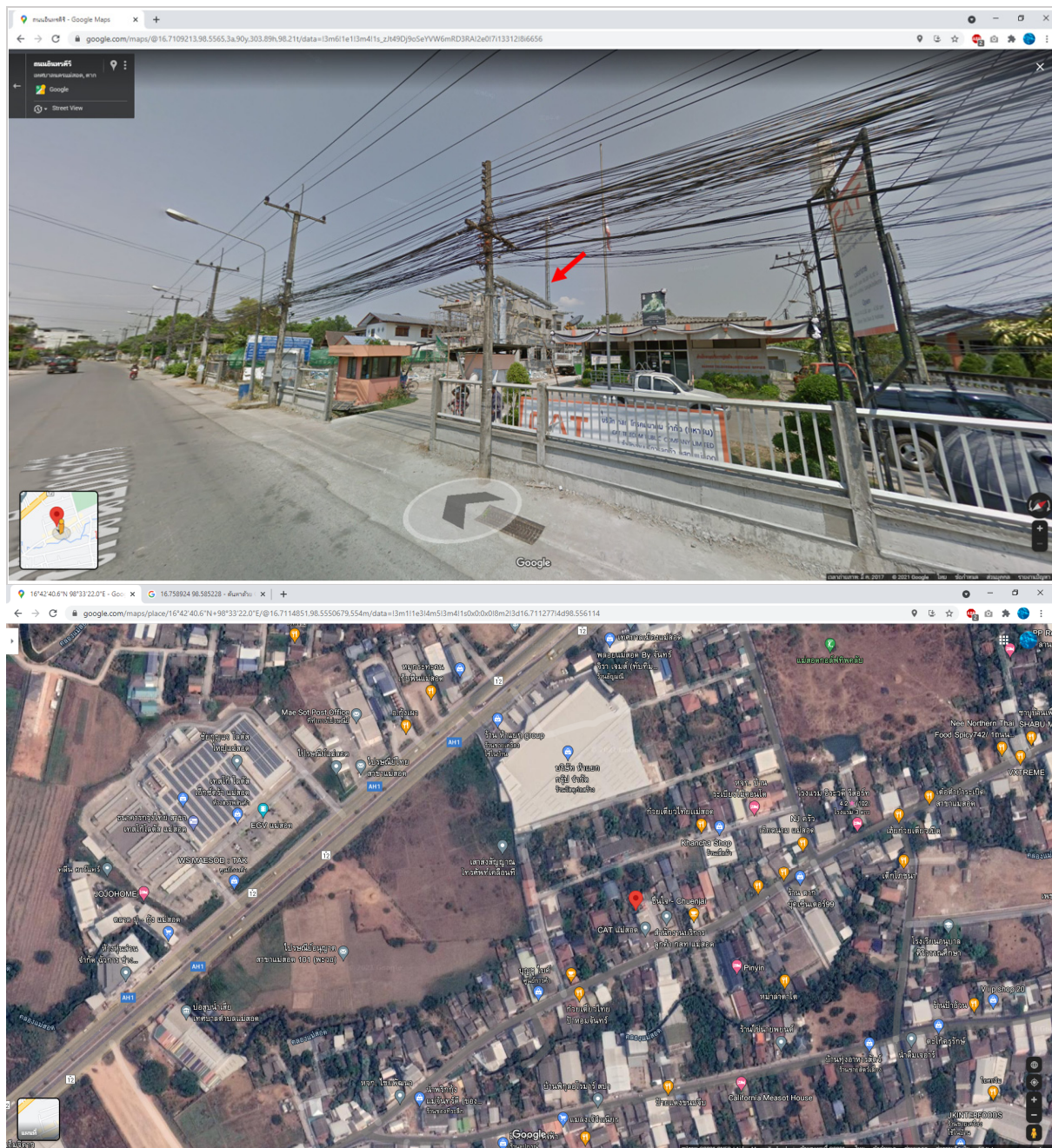
รูปที่ 8.1 ตำแหน่งเสาส่งสัญญาณ Lora ของ CAT ที่พบในการเก็บข้อมูลนำร่อง

ตารางที่ 8.1 รายละเอียดเสาส่งสัญญาณ Lora ของ CAT ที่พบในการเก็บข้อมูลนำร่อง

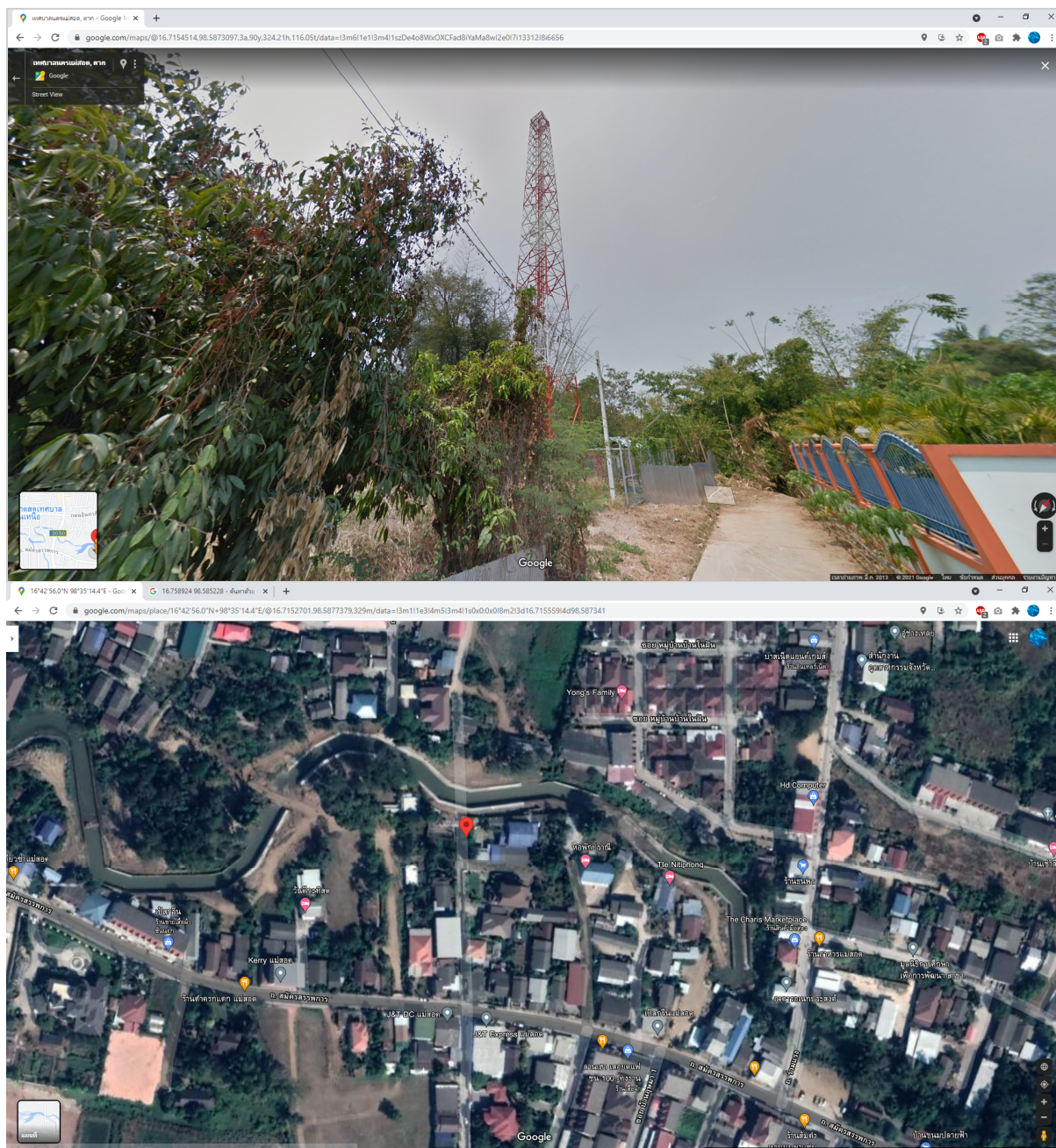
ลำดับ	รายละเอียด	Latitude	Longitude	ที่อยู่
1	Lora Gateway 1	16.702829	98.518517	ถนนมิตรไมตรี ตำบลท่าสายลวด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
2	Lora Gateway 2	16.711277	98.556114	สำนักงานบริการลูกค้า กสท แม่สอด เทศบาลนครแม่สอด ตำบลแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
3	Lora Gateway 3	16.715559	98.587341	ถนนสมัครสรพการ ตำบลแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
4	Lora Gateway 4	16.754347	98.565025	ถนนทางหลวงชนบทสาย ตก.3002 ตำบลแม่ปะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
5	Lora Gateway 5	16.758924	98.585228	ถนนสาย 105 ตำบลแม่ปะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
6	Lora Gateway 6	16.62929	98.600311	ถนนสาย 1090 ตำบลแม่กุ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
7	Lora Gateway 7	16.743784	98.809189	ถนนทางหลวงสายเอเชียหมายเลข 1 ตำบลด่านแม่ละเมา อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
8	Lora Gateway 8	16.798897	99.034393	ถนนทางหลวงสายเอเชียหมายเลข 1 ตำบลแม่ท้อ อำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก



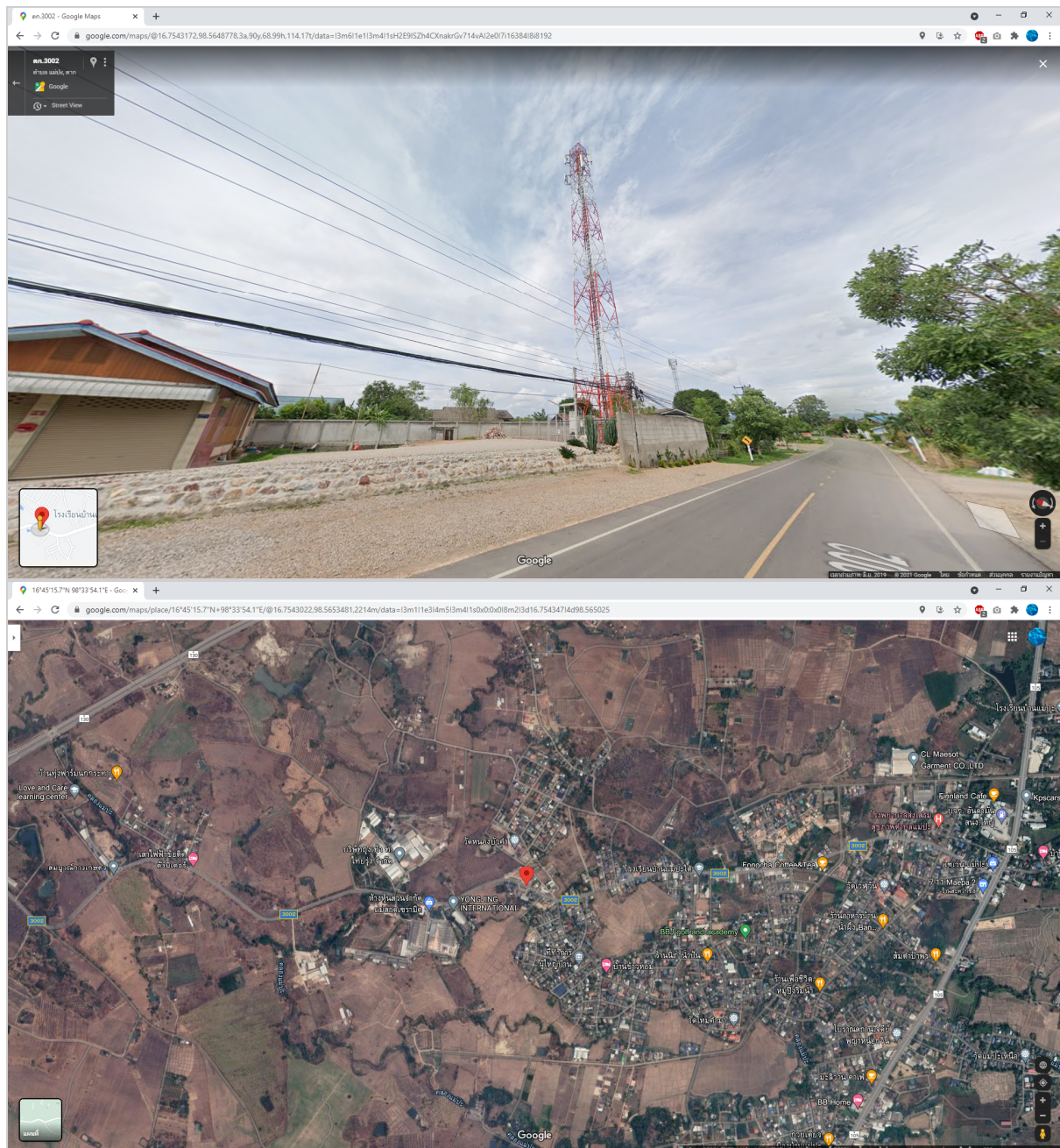
รูปที่ 8.2 Lora Gateway 1



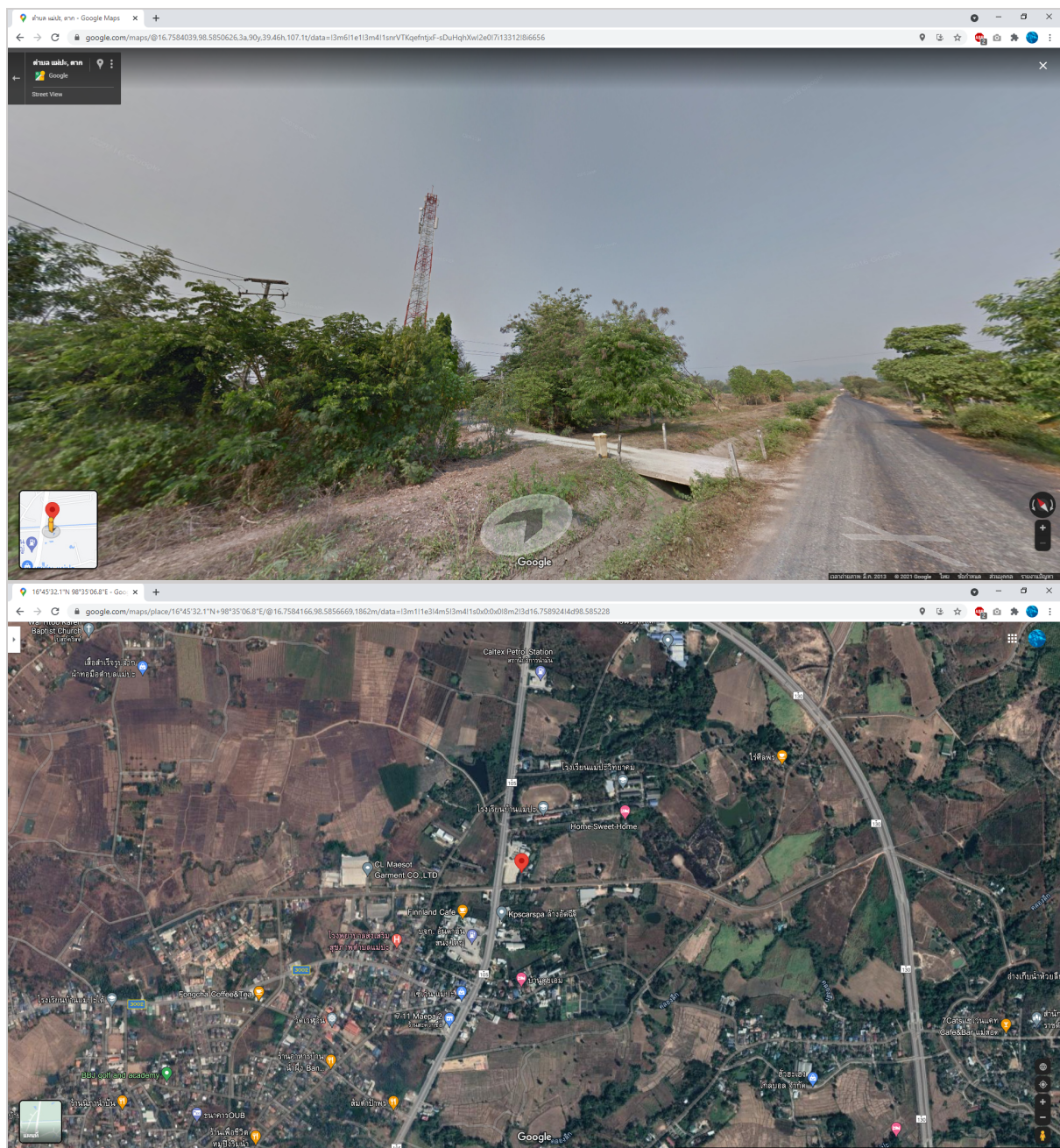
รูปที่ 8.3 Lora Gateway 2



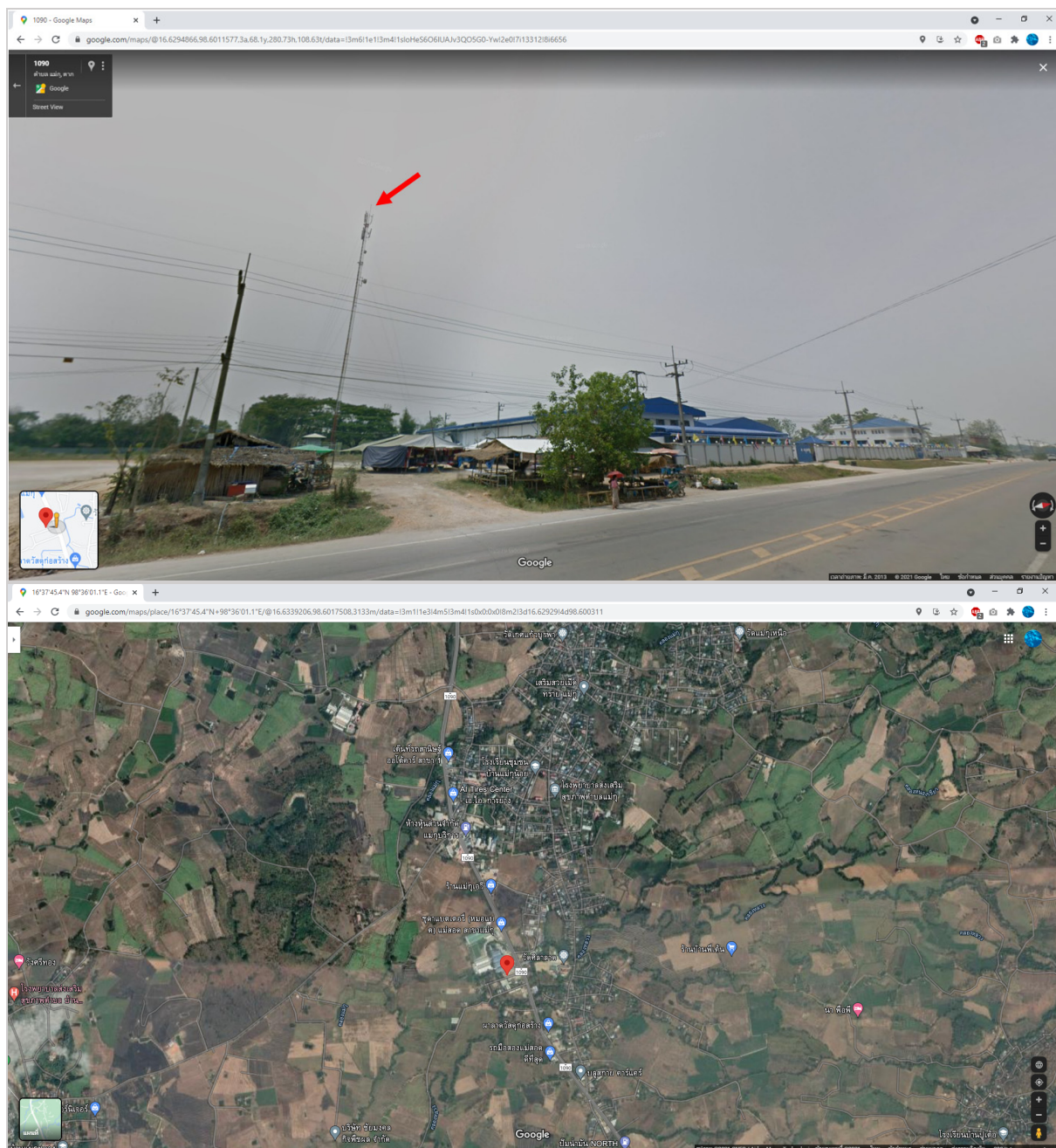
รูปที่ 8.4 Lora Gateway 3



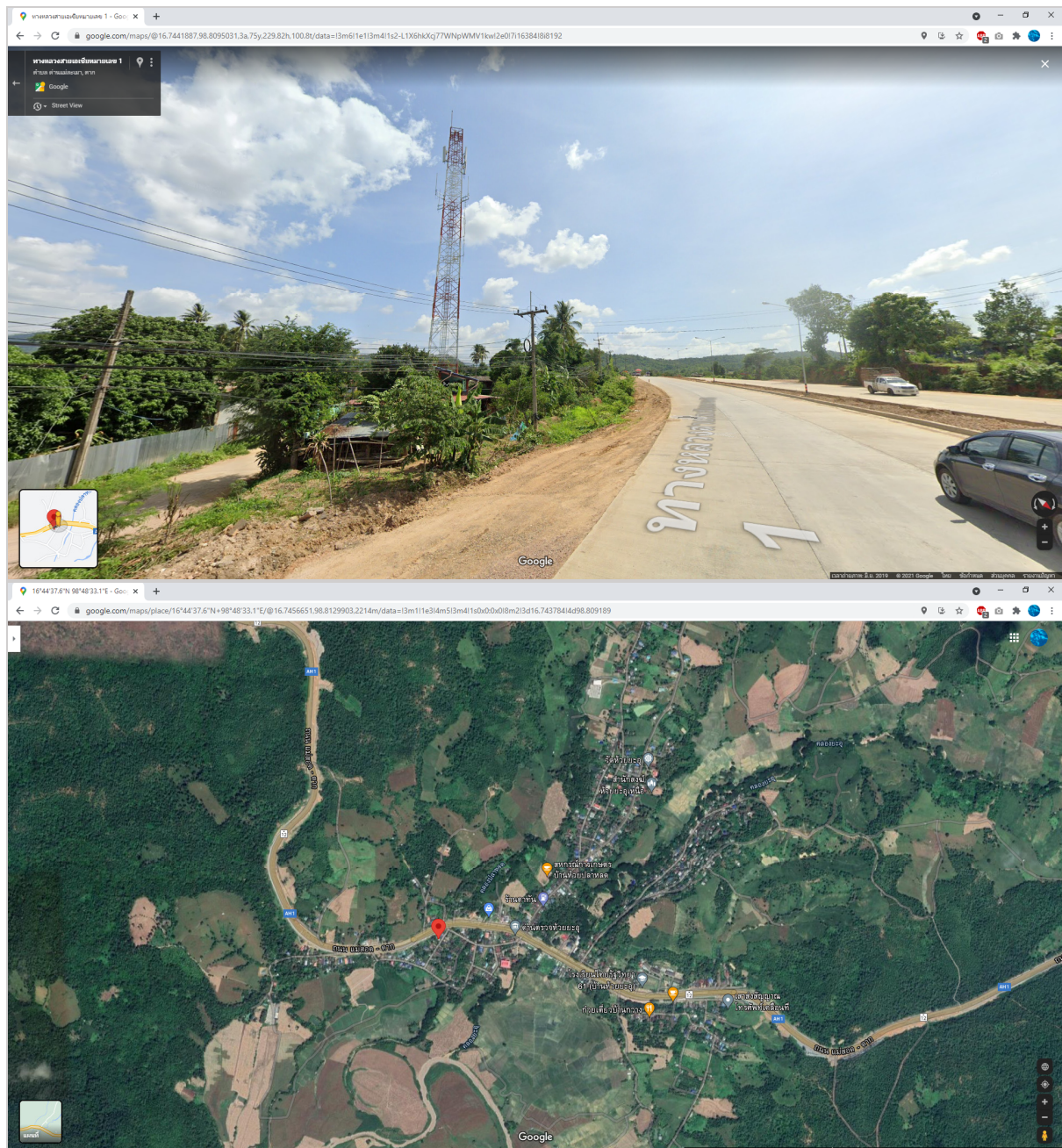
รูปที่ 8.5 Lora Gateway 4



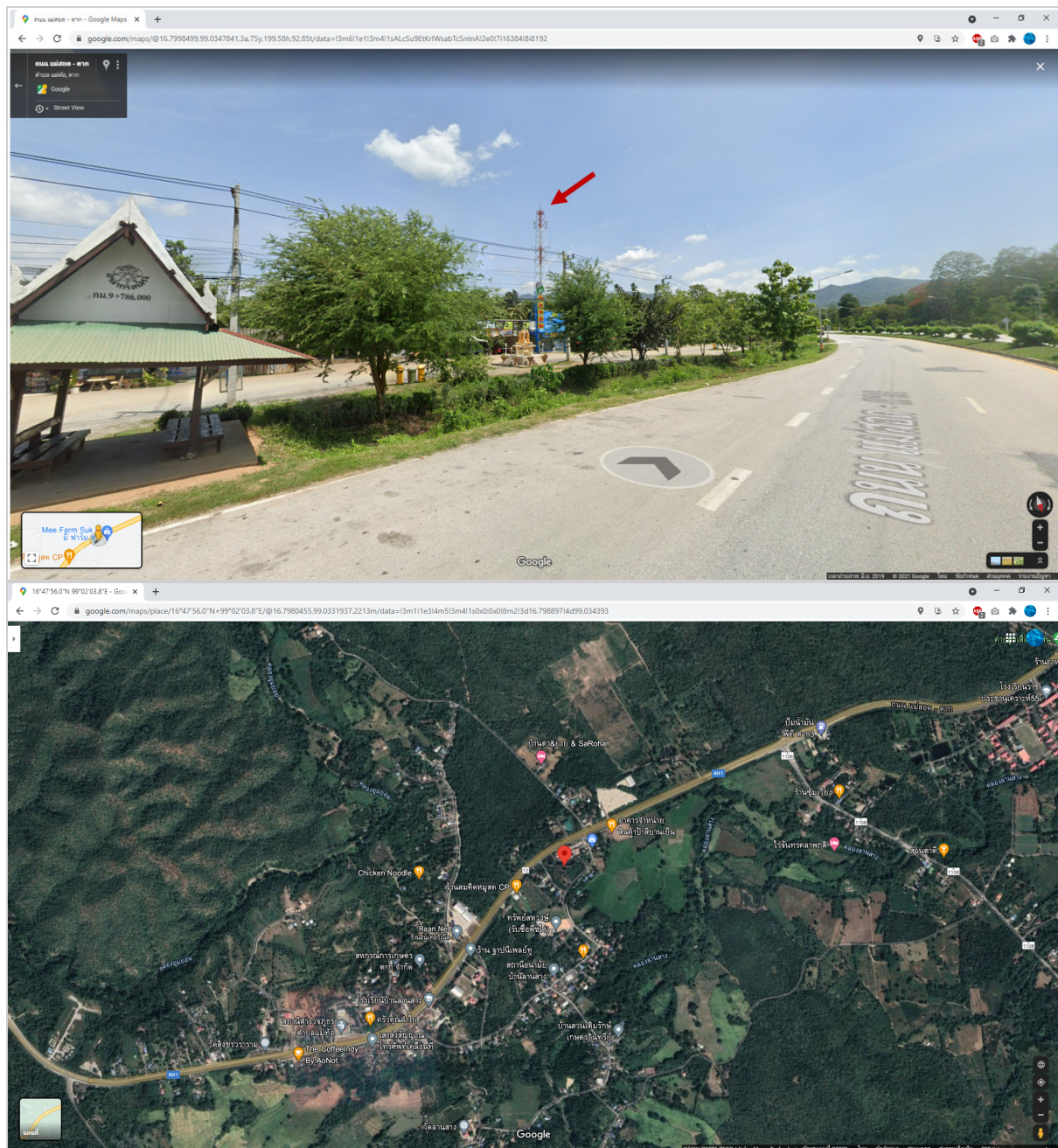
รูปที่ 8.6 Lora Gateway 5



รูปที่ 8.7 Lora Gateway 6



รูปที่ 8.8 Lora Gateway 7

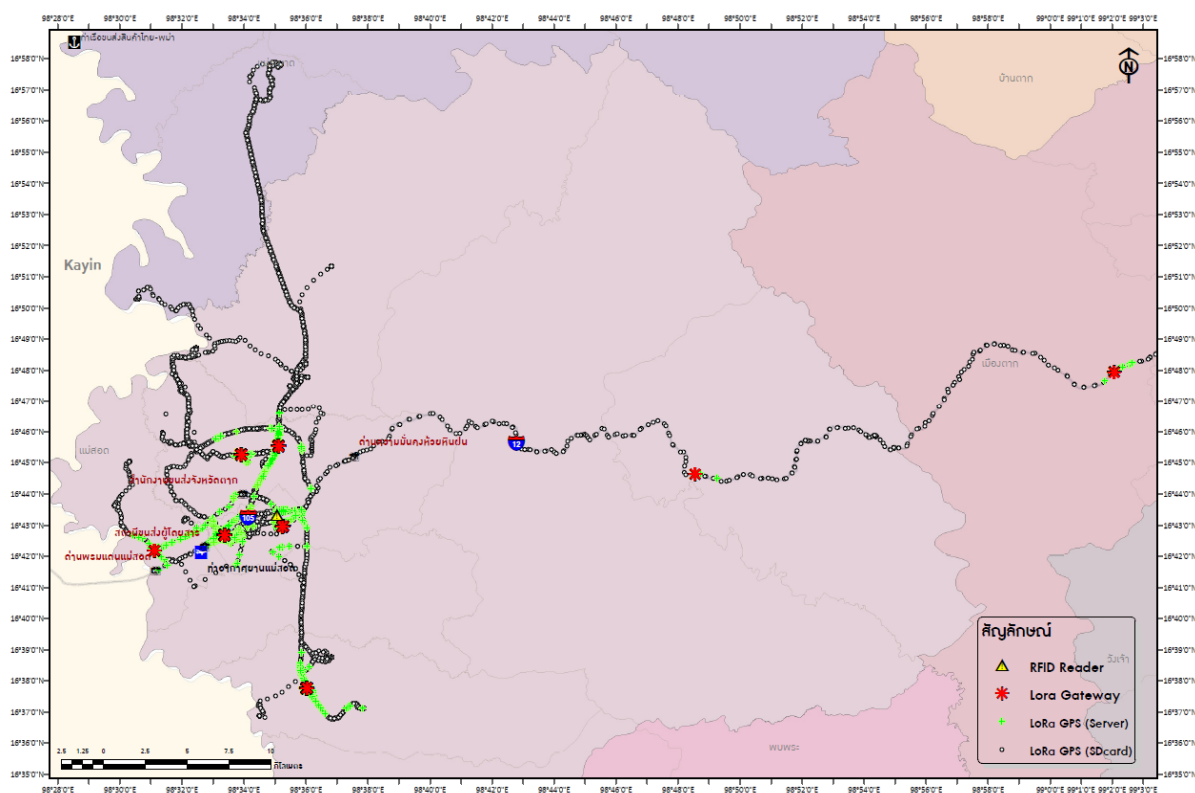


รูปที่ 8.9 Lora Gateway 8

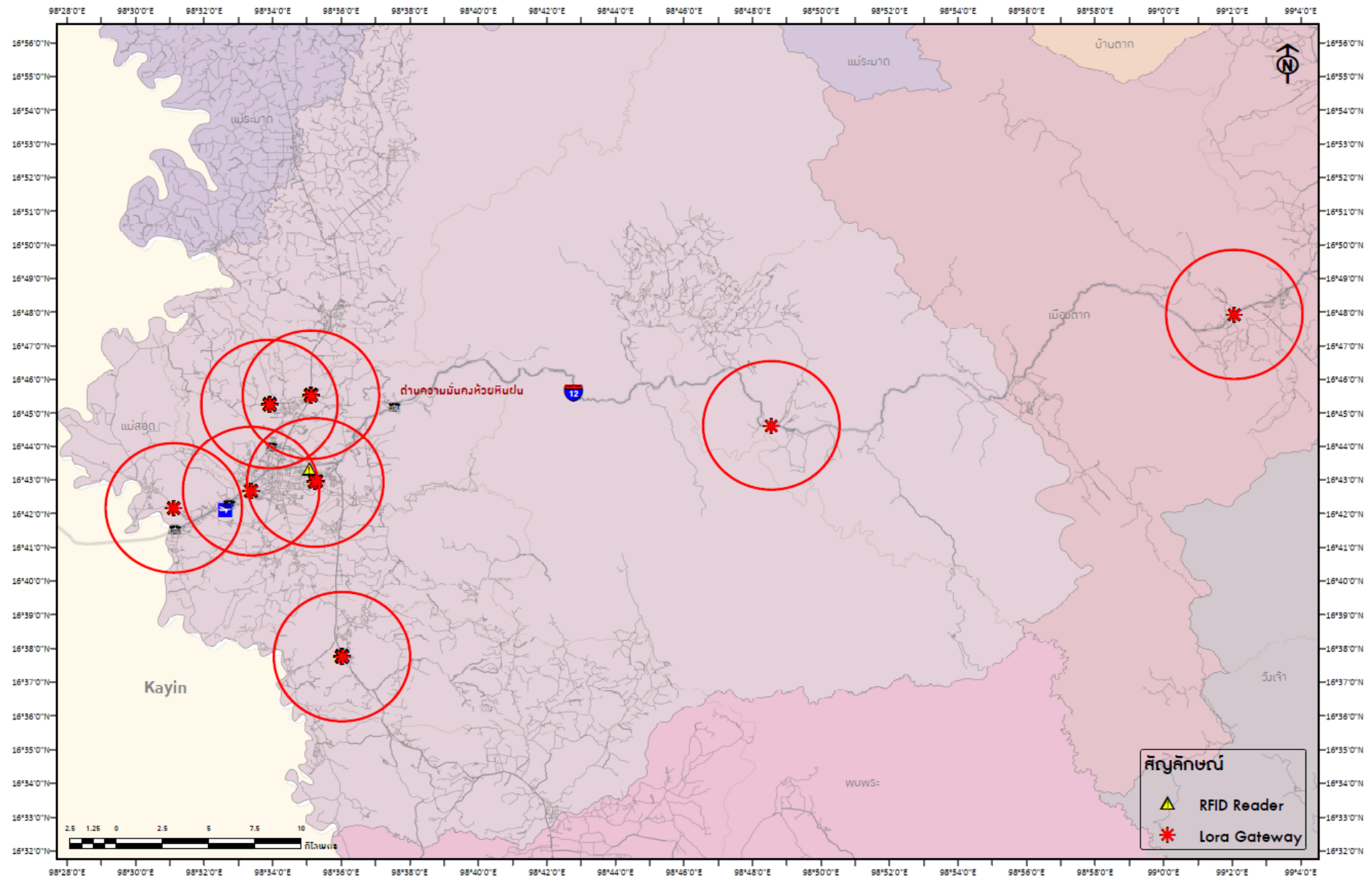
จากผลการตรวจวัดในพื้นที่นำร่องพบว่าระยะทางการส่งสัญญาณสูงสุดเท่ากับ 11,875.92 เมตร และระยะทางการส่งสัญญาณต่ำสุดเท่ากับ 54.07 เมตร โดยที่ปริภษานำค่าระยะทางการส่งสัญญาณสูงสุดของสถานี 8 เสา ที่พบในการเก็บข้อมูลนำร่อง มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อเป็นตัวแทนของระยะทางการส่งสัญญาณ ซึ่งระยะทางการส่งสัญญาณสูงสุดเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 3,535.99 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 8.2 โดยตำแหน่งที่ตั้งข้อมูลสำเร็จดังแสดงใน จากนั้นที่ปริภษาได้นำข้อมูลจากการวิเคราะห์มาจัดทำแผนที่ข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณ ดังแสดงใน รูปที่ 8.11 และรูปที่ 8.12 โดยมีโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณ LoRa จากบริษัท กสท โทรคมนาคม จำกัด (มหาชน) (CAT) ดังแสดงใน รูปที่ 8.13

ตารางที่ 8.2 ระยะทางระหว่างเสาส่งสัญญาณ LoRa และอุปกรณ์ LoRa ที่ส่งข้อมูลสำเร็จแต่ละสถานี

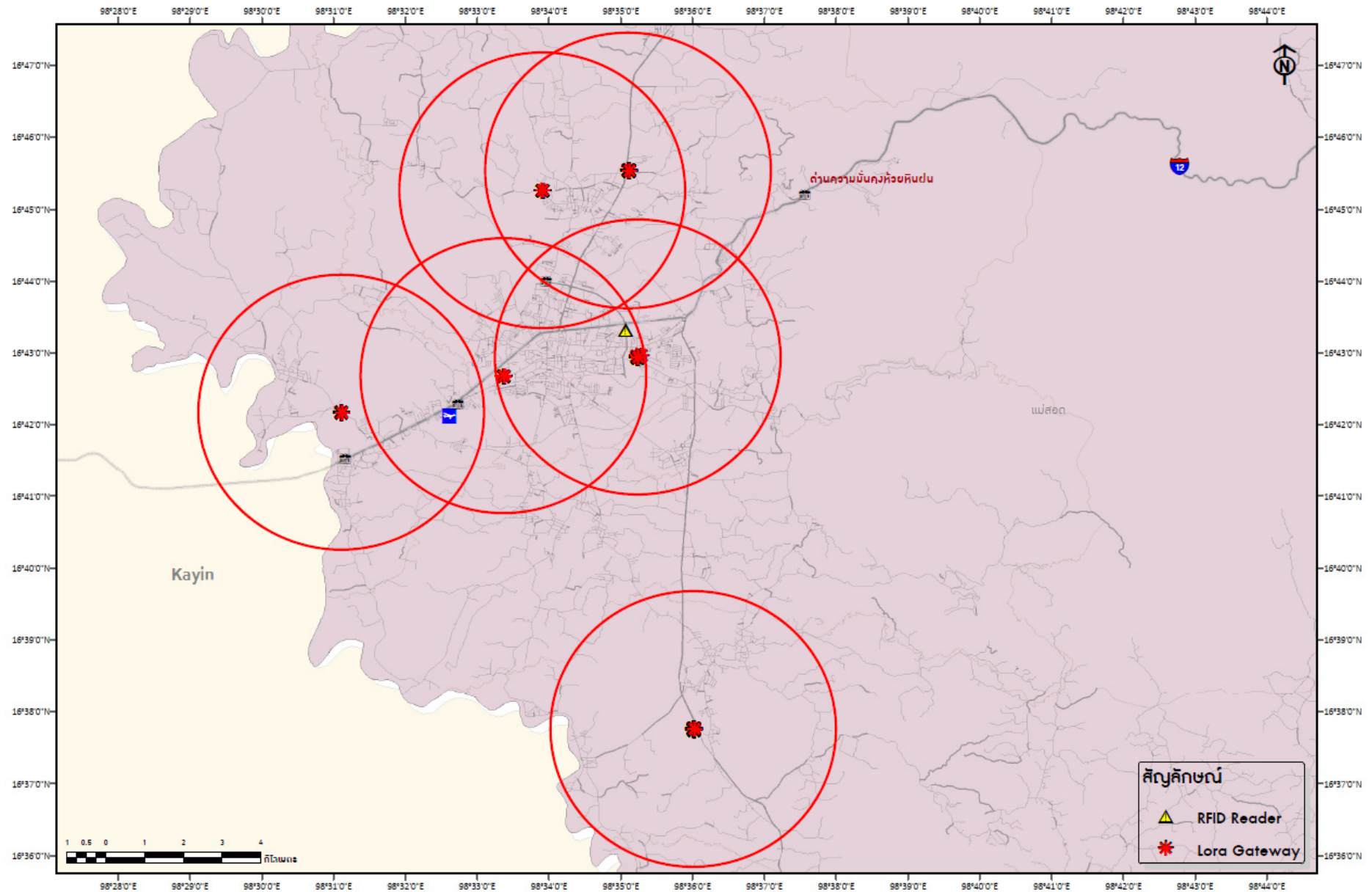
ลำดับ	รายละเอียด	ระยะทางการส่งสัญญาณ (เมตร)		
		ต่ำสุด	เฉลี่ย	สูงสุด
1	Lora Gateway 1	12.07	478.50	2,551.56
2	Lora Gateway 2	55.94	1,243.38	11,875.92
3	Lora Gateway 3	15.88	139.87	1,707.01
4	Lora Gateway 4	36.68	386.88	4,175.85
5	Lora Gateway 5	50.82	714.34	2,495.49
6	Lora Gateway 6	104.11	890.72	3,207.17
7	Lora Gateway 7	118.12	719.16	1,190.74
8	Lora Gateway 8	38.96	927.40	1,084.20
ค่าเฉลี่ย (เมตร)		<u>54.07</u>	<u>687.53</u>	<u>3,535.99</u>



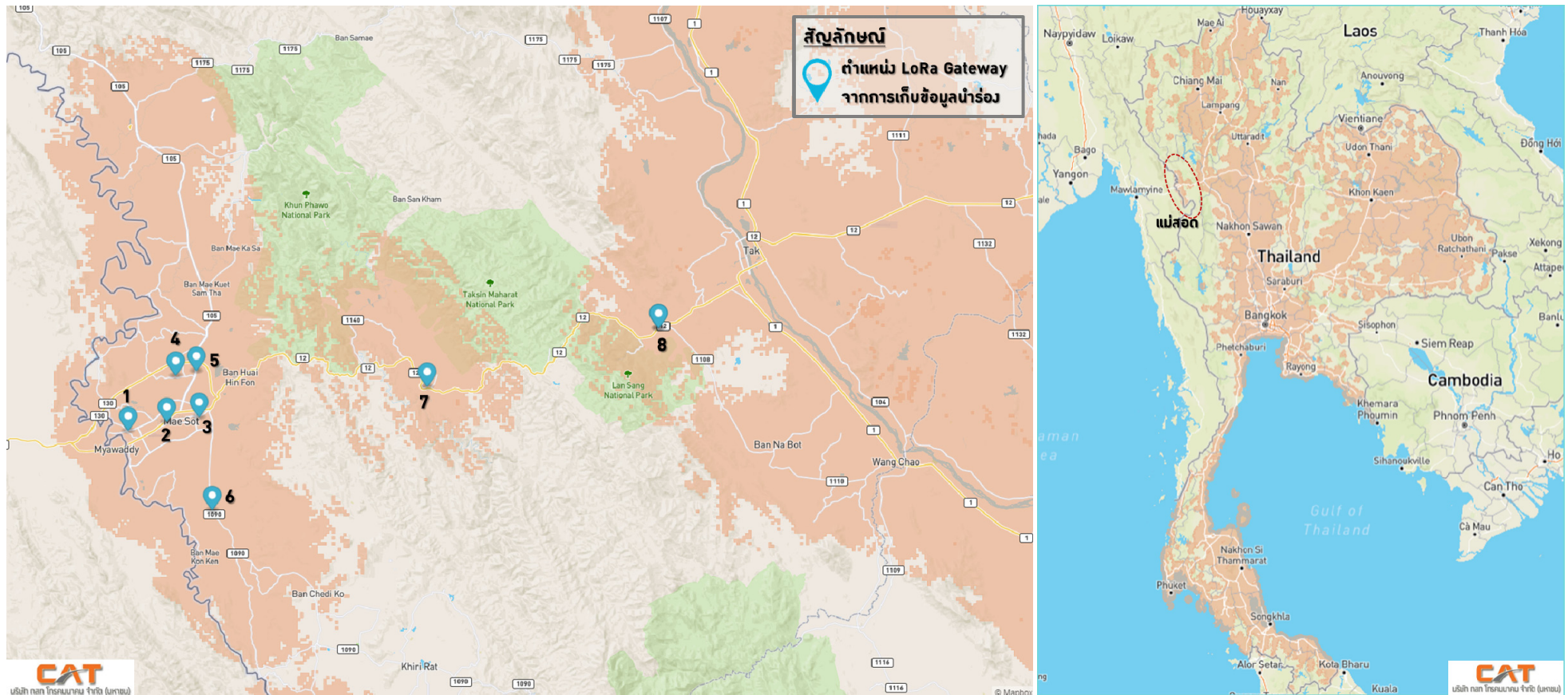
รูปที่ 8.10 แผนที่ตำแหน่งส่งสัญญาณ LoRa สำเร็จในบริเวณพื้นที่นำร่อง



รูปที่ 8.11 แผนที่ข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณ LoRa



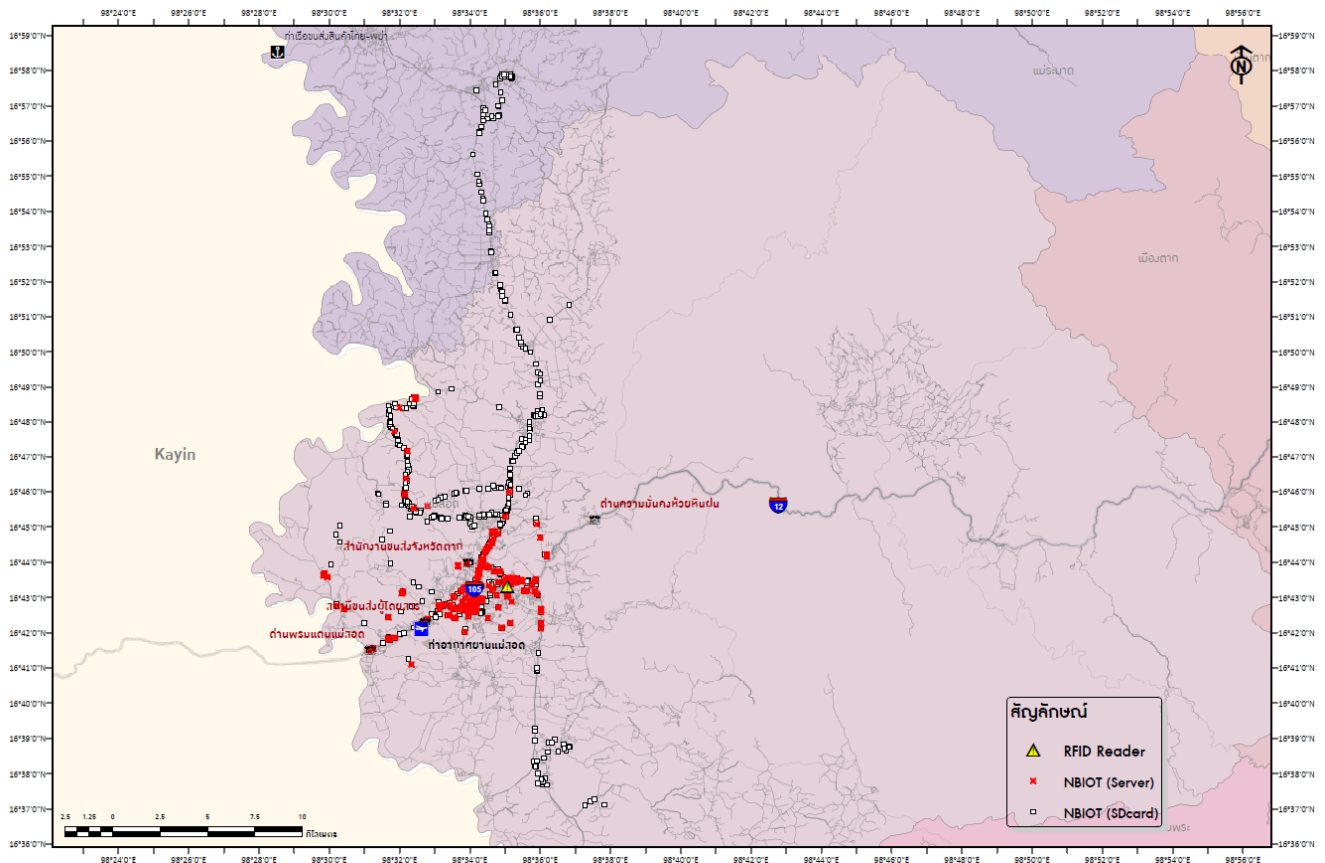
รูปที่ 8.12 แผนที่ข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณ LoRa (ภาพถ่ายในตัวของ)



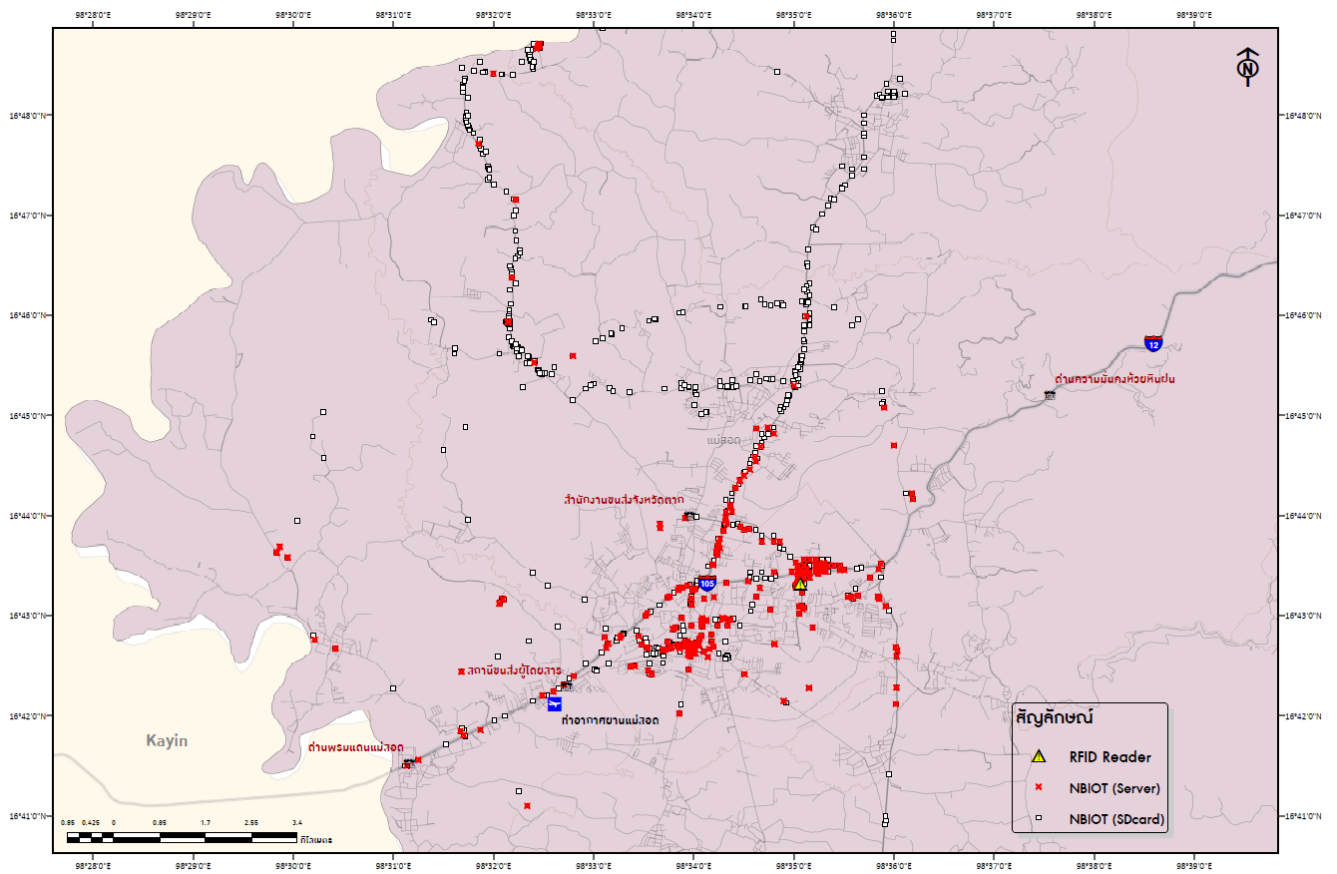
รูปที่ 8.13 แผนที่ข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณ LoRa จาก CAT Telecom

8.2 ความครอบคลุมการส่งสัญญาณ NB-IoT

ที่ปรึกษาได้ศึกษาและรวบรวมตำแหน่งส่งสัญญาณ NB-IoT สำเร็จในบริเวณพื้นที่นาร่องจากอุปกรณ์ GPS ร่วมกับ NB-IoT ดังแสดงในรูปที่ 8.11 และรูปที่ 8.12 โดยมีโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณจากบริษัท ทรู คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน) ดังแสดงในรูปที่ 8.16



รูปที่ 8.14 แผนที่ตำแหน่งส่งสัญญาณ NB-IoT สำเร็จในบริเวณพื้นที่นาร่อง



รูปที่ 8.15 แผนที่ตำแหน่งส่งสัญญาณ NB-IoT สำเร็จในบริเวณพื้นที่นาร่อง (ภาพถ่ายในตัวเมือง)



รูปที่ 8.16 แผนที่ข้อมูลโครงข่ายความครอบคลุมการส่งสัญญาณ NB-IoT จาก TRUE

8.3 แนวทางการบูรณาการข้อมูลจากเครื่องอ่าน RFID ร่วมกับหน่วยงานอื่นๆ ในอนาคต

หน่วยงานราชการ เช่น กรมทางหลวงหรือองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นบางหน่วยงาน ซึ่งมีเครื่อง RFID Reader ติดตั้งเพื่อใช้งานในพื้นที่รับผิดชอบของหน่วยงานนั้นๆ ตามวัตถุประสงค์ของแต่ละหน่วยงาน การบูรณาการข้อมูลร่วมกันระหว่างกรมการขนส่งทางบกและหน่วยงานอื่นๆ เป็นประโยชน์ในการใช้อุปกรณ์ของแต่ละหน่วยงานอย่างคุ้มค่าและทำให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมพื้นที่มากยิ่งขึ้น แต่ทั้งนี้ก็ต้องพิจารณาถึงเรื่องของความปลอดภัยของข้อมูล โดยเครื่อง RFID Reader ของแต่ละหน่วยงานจะมีการเข้ารหัสเพื่อป้องกันความปลอดภัยของข้อมูล ในกรณีที่ต้องการบูรณาการข้อมูลจากเครื่อง RFID Reader ร่วมกันกรมการขนส่งทางบกต้องได้รับการอนุญาตจากหน่วยงานนั้นๆ เพื่อปลดล็อกให้สามารถเข้าถึงข้อมูลที่ต้องการใช้งานได้และต้องพิจารณาถึงรูปแบบของข้อมูลเพื่อให้สามารถใช้ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นได้ อีกทั้งกรณีที่กรมการขนส่งทางบกจะอนุญาตให้หน่วยงานอื่นสามารถเข้าถึงข้อมูลจากเครื่อง RFID Reader ของกรมการขนส่งทางบก ต้องทราบถึงวัตถุประสงค์ที่แท้จริงของการนำข้อมูลไปใช้งาน เพื่อสามารถกำหนดสิทธิในการเข้าถึงข้อมูลเท่าที่จำเป็นเพื่อความปลอดภัยของข้อมูล

9. การจัดประชุมระดมความคิดเห็นและประชาสัมพันธ์โครงการ

9.1 การจัดประชุมระดมความคิดเห็น

ที่ปรึกษาจะดำเนินการจัดประชุมระดมความคิดเห็นหน่วยงานภายในและภายนอกที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำเสนอผลการดำเนินงานในพื้นที่นำร่องและผลการศึกษาด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินรวมถึงวิศวกรรมของอุปกรณ์ติดตามการเดินทางแต่ละรูปแบบ รวมถึงปัญหาอุปสรรคในการนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางใช้รถประจำถิ่น พร้อมรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ จากทุกหน่วยงานเพื่อกำหนดแนวทางและรูปแบบการบริหารจัดการที่เหมาะสมในการติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด

วัน-เวลา

วันที่ 9 สิงหาคม 2564 เวลา 13.30 น. – 16.30 น.

สถานที่

จัดการประชุมแบบ Online Conference

ผู้เข้าร่วมประชุม

ประกอบด้วยตัวแทนจากหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

- ตรวจคนเข้าเมืองจังหวัดตาก
- กรมการขนส่งทางบก
- ด้านศุลกากรแม่สอด
- สภ.แม่สอด จ.ตาก
- สำนักงานขนส่งจังหวัดตาก
- สำนักงานจังหวัดตาก

หัวข้อการประชุม

เรื่อง การประชุมสำรวจความคิดเห็นผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง โครงการศึกษาออกแบบระบบสมาร์ตโลจิสติกส์เพื่อยกระดับความปลอดภัยในการกำกับควบคุมยานพาหนะข้ามพรมแดน

เนื้อหาการประชุม

- ที่มาโครงการและวัตถุประสงค์โครงการ
- ขั้นตอนการดำเนินงาน
- ผลการศึกษาโครงการ
- การสำรวจความคิดเห็นจากผู้เข้าร่วมประชุม

ซึ่งมีรายละเอียดปัจจัยในการพิจารณา ดังตารางที่ 9.1

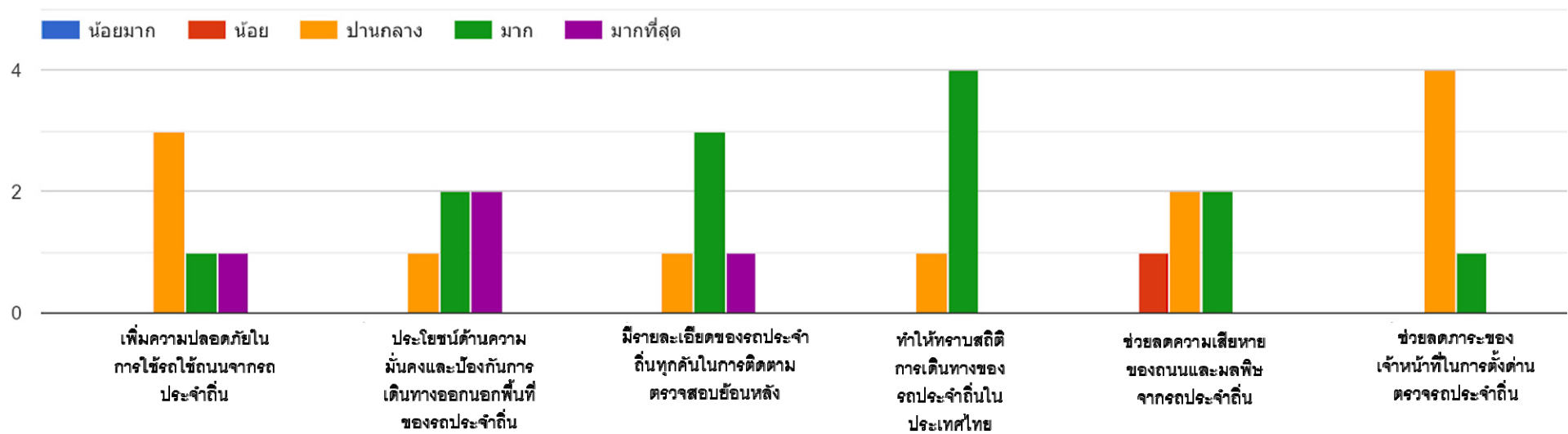
ตารางที่ 9.1 รายละเอียดปัจจัยในการพิจารณา

ลำดับ	รายละเอียด	เกณฑ์
1	ปัจจัยใดมีความสำคัญต่อการตัดสินใจในการนำอุปกรณ์ติดตามรถประจำถิ่นมาใช้งาน	น้อยมาก ถึงมากที่สุด
1.1	เพิ่มความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนนจากรถประจำถิ่น	
1.2	ประโยชน์ด้านความมั่นคงและป้องกันการเดินทางออกนอกพื้นที่ของรถประจำถิ่น	
1.3	มีรายละเอียดของรถประจำถิ่นทุกคันในการติดตามตรวจสอบย้อนหลัง	
1.4	ทำให้ทราบสถิติการเดินทางของรถประจำถิ่นในประเทศไทย	
1.5	ช่วยลดความเสียหายของถนนและมลพิษจากรถประจำถิ่น	
1.6	ช่วยลดภาระของเจ้าหน้าที่ในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น	
2	ปัจจัยใดทำให้ท่านเกิดความกังวลในการนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางมาใช้กับรถประจำถิ่น	ไม่กังวล ถึงกังวลมากที่สุด
2.1	อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อความสัมพันธ์ระหว่างประเทศ	
2.2	อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสภาพเศรษฐกิจและการค้าชายแดน	
2.3	อาจก่อให้เกิดภาระด้านงบประมาณที่หน่วยงานภาครัฐต้องสนับสนุน	
2.4	อาจก่อให้เกิดภาระแก่เจ้าหน้าที่ในการบริหารจัดการด้านใบอนุญาตและอุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่น	
2.5	การตรวจสอบหรือบังคับใช้ให้ติดตั้งอุปกรณ์ฯ ก่อนผ่านเข้ามาในประเทศไทย	
2.6	การตรวจสอบหรือบังคับใช้งานอุปกรณ์ฯ ในระหว่างสัญจรในประเทศไทย	
2.7	การติดตามและกำหนดบทลงโทษอย่างมีประสิทธิภาพเมื่อสัญจรออกนอกพื้นที่อนุญาต	
3	ท่านคิดว่าปัจจัยใดมีความสำคัญต่อการคัดเลือกอุปกรณ์ติดตามการเดินทาง	ไม่สำคัญ ถึงสำคัญมากที่สุด
3.1	การติดตามเส้นทางการเดินทางของรถประจำถิ่น	
3.2	การติดตามการเดินทางผ่านจุด Check Point ของรถประจำถิ่น	
3.3	เงื่อนไข/การบังคับให้เจ้าของรถต้องต่อชำระแบตเตอรี่ของอุปกรณ์	
3.4	พื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณ	
3.5	เสถียรภาพสัญญาณในพื้นที่ชายแดน	
3.6	การป้องกันการถอดอุปกรณ์ออกจากรถ	
3.7	การการติดตามพฤติกรรมรถขับซี้	
3.8	อายุการใช้งานและความทนทานของอุปกรณ์	
3.9	ราคาต้นทุนของอุปกรณ์	
4	ท่านคิดว่าการนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นมาใช้งานจะก่อให้เกิดประโยชน์ด้านใดมากที่สุด	ไม่มีประโยชน์ถึง มีประโยชน์มากที่สุด
4.1	ด้านความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนน	
4.2	ด้านความมั่นคงจากยานพาหนะข้ามพรมแดน	
4.3	ด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน	
4.4	ด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม	
4.5	ด้านการวางแผนและนโยบายระหว่างประเทศ	
4.6	ด้านกฎหมายและกฎระเบียบในการติดตามตรวจสอบการกระทำผิดของรถประจำถิ่นในประเทศ	

ลำดับ	รายละเอียด	เกณฑ์
	ไทย	
5	ท่านคิดว่าค่าธรรมเนียมสูงสุดต่อปีที่จัดเก็บจากรถประจำถิ่นไม่ควรเกินปีละกี่บาท?	ตัวเลือก
5.1	ไม่ควรจัดเก็บค่าธรรมเนียม (ภาครัฐควรสนับสนุนค่าอุปกรณ์ฯ)	
5.2	ไม่เกิน 100 บาท/ปี	
5.3	ไม่เกิน 150 บาท/ปี (เท่าประเทศมาเลเซีย)	
5.4	ไม่เกิน 200 บาท/ปี	
5.5	ไม่เกิน 300 บาท/ปี	
5.6	สูงกว่า 300 บาท/ปี	
6	ท่านคิดว่าควรนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางมาใช้กับรถประจำถิ่นหรือไม่	ตัวเลือก
6.1	อยากให้นำมาใช้งานจริง	
6.2	ยังไม่ควรนำมาใช้งาน	

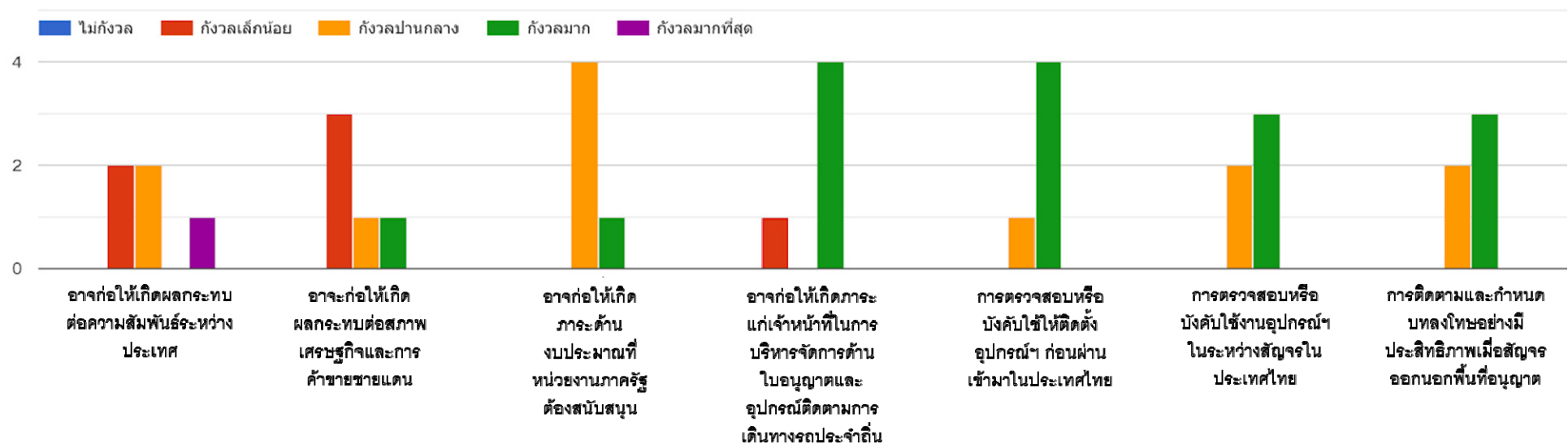
ผลการตอบแบบสำรวจความคิดเห็น ผู้เข้าร่วมประชุมได้ดำเนินการตอบแบบสำรวจความคิดเห็นจำนวน 5 หน่วยงาน ได้แก่ สำนักงานขนส่งจังหวัดตาก สภ.แม่สอด จ.ตาก ตรวจคนเข้าเมืองจังหวัดตาก สำนักงานจังหวัดตาก และด่านศุลกากรแม่สอด โดยมีรายละเอียดและผลการตอบแบบสำรวจ ดังแสดงในรูปที่ 9.1 ถึงรูปที่ 9.7

(1) ปัจจัยใดมีความสำคัญต่อการตัดสินใจในการนำอุปกรณ์ติดตามรถประจำถิ่นมาใช้งาน



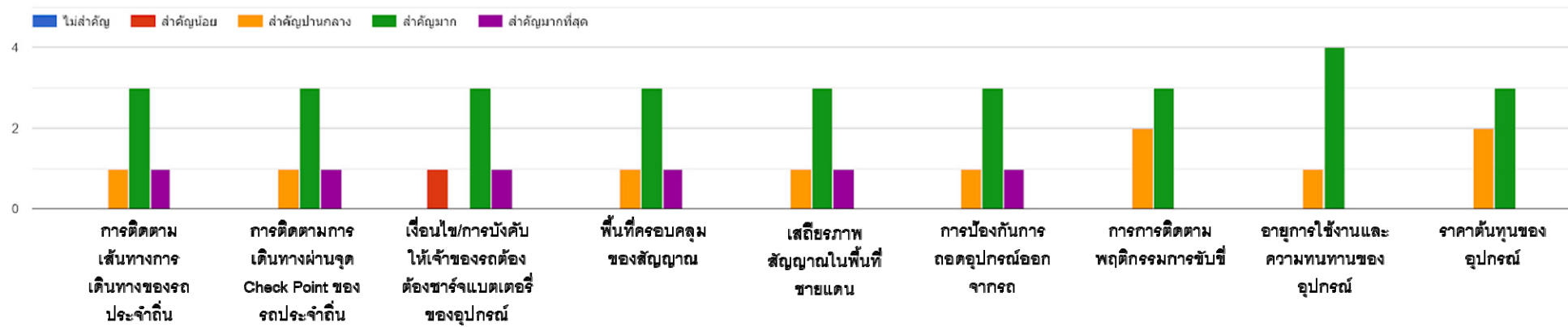
รูปที่ 9.1 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 1

(2) ปัจจัยใดทำให้ท่านเกิดความกังวลในการนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางมาใช้กับรถประจำถิ่น



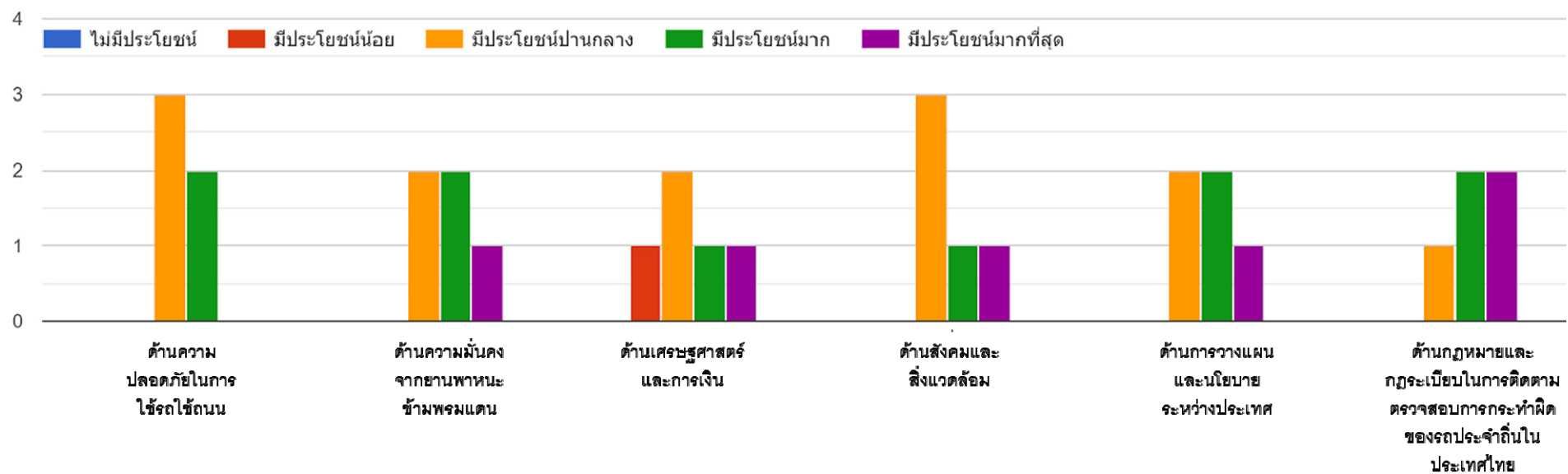
รูปที่ 9.2 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 2

(3) ท่านคิดว่าปัจจัยใดมีความสำคัญต่อการคัดเลือกอุปกรณ์ติดตามการเดินทาง



รูปที่ 9.3 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 3

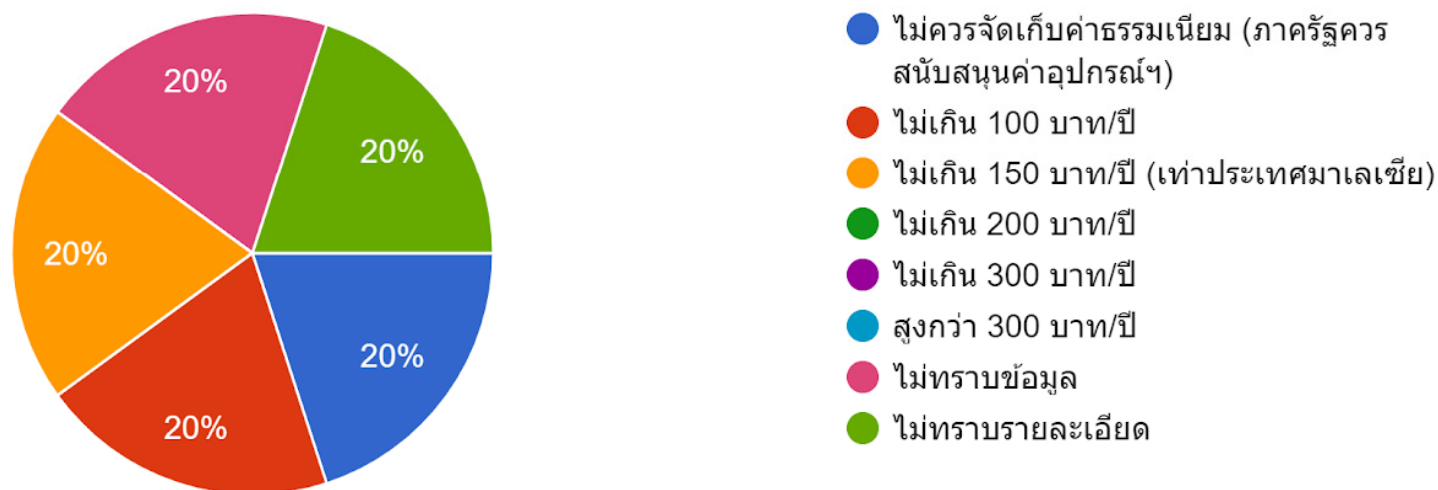
(4) ท่านคิดว่าการนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นมาใช้งานจะก่อให้เกิดประโยชน์ด้านใดมากที่สุด



รูปที่ 9.4 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 4

(5) ท่านคิดว่าค่าธรรมเนียมสูงสุดต่อปีที่จัดเก็บจากรถประจำถิ่นไม่ควรเกินปีละกี่บาท?

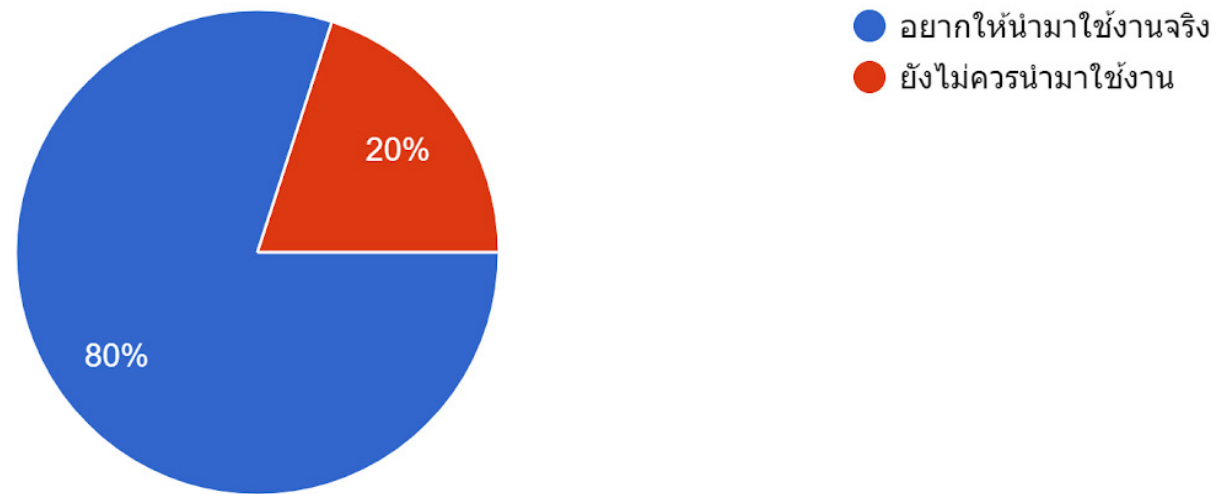
คำตอบ 5 ข้อ



รูปที่ 9.5 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 5

(6) ท่านคิดว่าควรนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางมาใช้กับรถประจำถิ่นหรือไม่

คำตอบ 5 ข้อ



รูปที่ 9.6 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 6

(7) ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม (ถ้ามี)

คำตอบ 3 ข้อ

การนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางมาใช้ควรมีการศึกษาผลกระทบในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างประเทศ

—

กรณีมีการนำมาใช้งานจริง ควรพิจารณาระบบบริหารจัดการด้านบุคลากร และศักยภาพในการนำข้อมูลสารสนเทศจากระบบการติดตามฯ มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลต่อโครงการฯ และความคุ้มค่าในการใช้จ่ายงบประมาณ

รูปที่ 9.7 ผลการตอบแบบสำรวจข้อ 7

โดยบรรยากาศการประชุมสำรวจความคิดเห็น ดังแสดงในรูปที่ 9.8



รูปที่ 9.8 การประชุมสำรวจความคิดเห็น

การระดมความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

- เมื่อมีอุปกรณ์สำหรับติดตามรถประจำถิ่นแล้ว ควรมีการคำนึงถึงการขยายพื้นที่ที่อนุญาตให้รถประจำถิ่นสามารถเข้ามาในประเทศไทยได้ ซึ่งในปัจจุบันได้มีชาวต่างชาติบางส่วนที่มีความต้องการเข้ามาในประเทศไทยมากกว่าพื้นที่ที่อนุญาตด้วยวัตถุประสงค์ของการท่องเที่ยว ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวและเพิ่มรายได้ให้แก่ประเทศไทย
- การนำอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นมาใช้งานควรคำนึงถึงผลกระทบในเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างประเทศ
- ควรพิจารณาระบบบริหารจัดการด้านบุคคล และการนำข้อมูลสารสนเทศจากระบบการติดตามรถประจำถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลของโครงการ

10. การจัดทำวีดิทัศน์สรุปผลการศึกษาและประชาสัมพันธ์โครงการ

ที่ปรึกษาได้ดำเนินการจัดทำวีดิทัศน์สรุปผลการศึกษาและประชาสัมพันธ์โครงการ ความยาว 2 นาที, 4 นาที และ 7 นาที โดยเนื้อหาของวีดิทัศน์ประกอบด้วย หลักการและเหตุผล วัตถุประสงค์ของโครงการ ตลอดจนขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ ซึ่งประกอบด้วย

- การศึกษารวบรวมความคิดเห็นในการออกแบบอุปกรณ์ติดตามการเดินทางของรถประจำถิ่นกับสำนักงานขนส่งจังหวัด กรมศุลกากร สำนักงานตรวจคนเข้าเมือง ตำรวจทางหลวง และหน่วยงานความมั่นคงในพื้นที่ด่านพรมแดน เพื่อสังเคราะห์แนวคิด และข้อเสนอแนะทั้งหมดในการบริหารจัดการอุปกรณ์ติดตามให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
- ศึกษาออกแบบฮาร์ดแวร์และระบบสื่อสารของอุปกรณ์ โดยคำนึงถึงการติดตั้งอุปกรณ์ได้สะดวก สามารถสื่อสารและจัดส่งข้อมูลมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ของกรมการขนส่งทางบกแบบเรียลไทม์ ความทนทานของแบตเตอรี่ การเชื่อมโยงข้อมูลติดตามจากอุปกรณ์ฯ กับใบอนุญาตการนำรถประจำถิ่นเข้ามาใช้ในราชอาณาจักรไทยเป็นการชั่วคราว และแนวทางการป้องกันเจ้าของรถแยกอุปกรณ์การติดตามรถออกจากยานพาหนะ
- การศึกษาออกแบบอุปกรณ์ 4 รูปแบบ ได้แก่ 1. อุปกรณ์ GPS หรือเทคโนโลยีระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย NB-IoT 2. อุปกรณ์ GPS หรือเทคโนโลยีระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกร่วมกับการส่งข้อมูลผ่านการสื่อสารแบบลอรา 3. อุปกรณ์สื่อสารไร้สายแบบลอรา และ 4. ระบบ RFID
- ทดสอบการใช้งานในสถานะแวดล้อมจริงบริเวณพื้นที่นำร่องด่านพรมแดนแม่สอด จังหวัดตาก
- การศึกษาวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์และการเงิน ถึงผลประโยชน์จากการนำอุปกรณ์ติดตามรถประจำถิ่นมาใช้งาน ได้แก่ การเพิ่มความปลอดภัยในการใช้รถใช้ถนนจากรถประจำถิ่น การช่วยลดความเสียหายของถนน ลดการก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก และการช่วยลดขั้นตอนกระบวนการของเจ้าหน้าที่ในการตั้งด่านตรวจรถประจำถิ่น
- ผลการประชุมระดมความคิดเห็นและประชาสัมพันธ์โครงการ

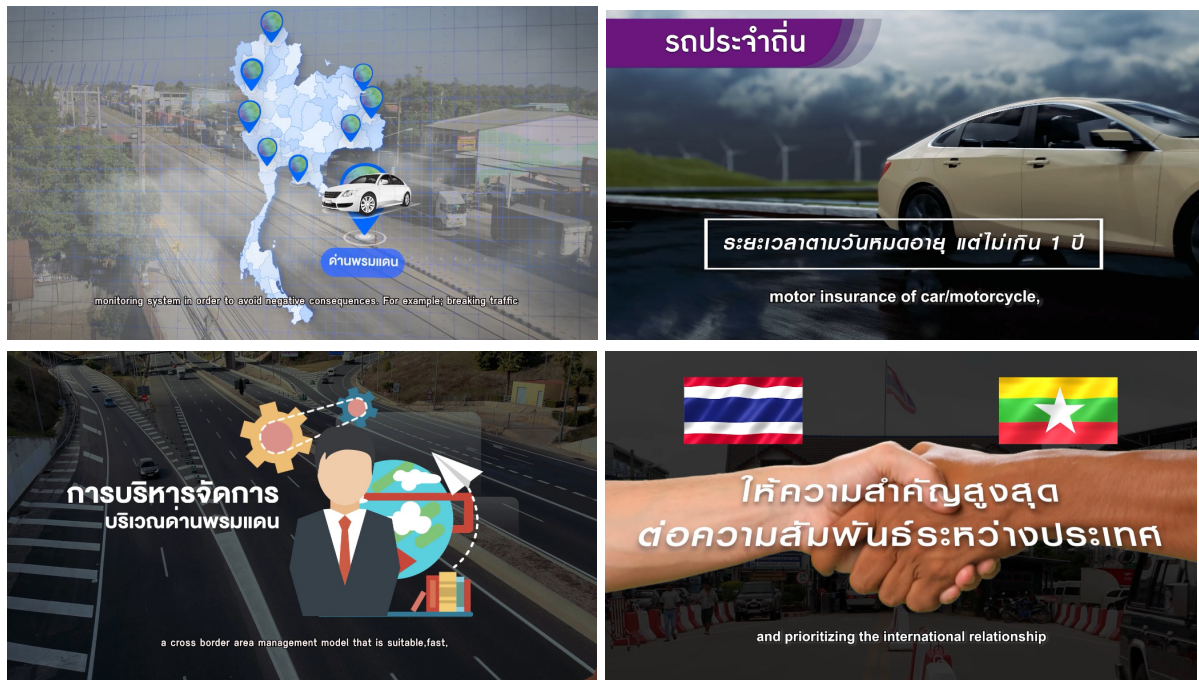
โดยวีดิทัศน์ที่ได้ดำเนินการจัดทำมีคำบรรยาย (Subtitle) ภาษาอังกฤษ เพื่อใช้ในการเผยแพร่และประชาสัมพันธ์กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศไทย และในต่างประเทศ ตัวอย่างวีดิทัศน์ดังแสดงในรูปที่ 10.1 ถึงรูปที่ 10.3



รูปที่ 10.1 ตัวอย่างวิถีทัศน์สรุปผลการศึกษาและประชาสัมพันธ์โครงการความยาว 2 นาที



รูปที่ 10.2 ตัวอย่างวิถีทัศน์สรุปผลการศึกษาและประชาสัมพันธ์โครงการความยาว 4 นาที



รูปที่ 10.3 ตัวอย่างวิธีทัศน์สรุปผลการศึกษาและประชาสัมพันธ์โครงการความยาว 7 นาที

11. บทสรุป

อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นที่ใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย NB-IoT สามารถติดตามตรวจสอบรถประจำถิ่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเครือข่าย NB-IoT ทำงานบนคลื่นความถี่ (ใช้ Bandwidth) บนระบบ 4G ทำให้สามารถจัดส่งข้อมูลพิกัดตำแหน่งรถประจำถิ่นแบบเรียลไทม์ (Real Time) และทำให้ทราบเส้นทางการเดินทางของรถประจำถิ่นโดยละเอียด เครือข่าย NB-IoT ถูกออกแบบให้ใช้พลังงานต่ำและเหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ไม่ต้องการความเร็วสูงในการส่งข้อมูล (มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุด 100 Kbps) จากการทดสอบในพื้นที่นำร่องเครือข่าย NB-IoT สามารถส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์สำเร็จประมาณ 30% และมีเสถียรภาพในการส่งสัญญาณในพื้นที่ชายแดนประมาณ 2.2% อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรูปแบบนี้ยังรองรับการติดตั้ง Gyroscope และ Accelerometer เพื่อติดตามตรวจสอบพฤติกรรมรถประจำถิ่น อย่างไรก็ตามการใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย NB-IoT ส่งผลให้มีอัตราการใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูงทำให้ต้องชาร์จแบตเตอรี่บ่อยหรือต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ทั้งนี้สามารถปรับค่าเวลาความถี่ในการตรวจวัดพิกัด GPS และความถี่ในการส่งข้อมูลลดลงเพื่อลดอัตราการใช้พลังงานของอุปกรณ์ฯ

อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นที่ใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย LoRa สามารถติดตามตรวจสอบตำแหน่งพิกัดและเส้นทางการเดินทางของรถประจำถิ่นได้เช่นเดียวกัน แต่ข้อมูลการเดินทางของรถแต่ละคันจะถูกส่งเข้าเครื่องแม่ข่าย (Server) ก็ต่อเมื่อรถประจำถิ่นอยู่ในรัศมีสัญญาณของสถานี LoRa (LoRa Gateway) จากการทดสอบในพื้นที่นำร่องเครือข่าย LoRa สามารถส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์สำเร็จประมาณ 12% และมีเสถียรภาพในการส่งสัญญาณในพื้นที่ชายแดนประมาณ 8.5% โดยรัศมีสัญญาณของสถานี LoRa ในพื้นที่นำร่องจะมีระยะทางครอบคลุมประมาณ 3.5-5 กิโลเมตรต่อสถานี ทั้งนี้ส่งผลให้เป็นอุปสรรคในการติดตามตรวจสอบรถประจำถิ่นในพื้นที่ห่างไกลหรือในพื้นที่ซึ่งมีจำนวนสถานี LoRa น้อยหรือในกรณีที่รถประจำถิ่นไม่สัญญาณอยู่ในบริเวณรัศมีสัญญาณ เครือข่าย LoRa มีความเร็วในการรับส่งข้อมูลสูงสุดประมาณ 50 Kbps ที่ระยะใกล้สถานี LoRa โดยความเร็วในการส่งข้อมูลของเครือข่าย LoRa จะลดลงเหลือประมาณ 290 bps ที่ระยะไกลจากสถานี การใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย LoRa มีอัตราการใช้พลังงานต่ำกว่าประมาณครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับการใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย NB-IoT ทำให้ช่วยลดความถี่ในการต้องชาร์จแบตเตอรี่ ในกรณีที่ต้องการติดตามตรวจสอบพฤติกรรมรถประจำถิ่นสามารถติดตั้ง Gyroscope และ Accelerometer เพิ่มเติมเข้าไปในอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบการเบรกกระชาก การออกตัวแรง หรือการเข้าโค้งแรง แต่จะส่งผลให้อุปกรณ์มีอัตราการใช้พลังงานที่สูงขึ้น

อุปกรณ์ติดตามการเดินทางรถประจำถิ่นที่ใช้อุปกรณ์สื่อสารชนิด LoRa เพียงอย่างเดียว (ไม่มี GPS) เป็นการติดตามตรวจสอบผ่านจุด Check Point เพื่อตรวจสอบสถานี LoRa (LoRa Gateway) ที่รถประจำถิ่นสัญญาณผ่านว่ายังอยู่ในพื้นที่อนุญาตของรถประจำถิ่นหรือไม่ โดยจะไม่มีกระบวนการตรวจสอบพิกัดการเดินทางของรถประจำถิ่น อุปกรณ์รูปแบบนี้มีข้อดีคือช่วยประหยัดการใช้พลังงาน (สามารถใช้งานได้นานกว่าประมาณ 28 เท่าต่อการชาร์จแบตเตอรี่ 1 ครั้งเมื่อเทียบกับการใช้ GPS ร่วมกับเครือข่าย LoRa) และช่วยให้อุปกรณ์ฯ มีต้นทุนที่ถูกลง นอกจากนั้นยังไม่ทำให้เกิดความรู้สึกถูกรุกล้ำความเป็นส่วนตัวของเจ้าของรถมากเกินไป ข้อจำกัดของอุปกรณ์รูปแบบนี้คือจะไม่มีข้อมูลพิกัดตำแหน่งและเส้นทางการเดินทางของรถประจำถิ่นทำให้เป็นอุปสรรคในการตรวจสอบข้อมูลเชิงลึกย้อนกลับเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินและจะไม่มีข้อมูลสถิติเส้นทางของรถประจำถิ่นในพื้นที่ อย่างไรก็ตามการติดตามตรวจสอบรถประจำถิ่นผ่านจุด Check Point เป็นแนวทาง

ซึ่งหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องในพื้นที่นำร่องได้ให้คำแนะนำไว่ว่าน่าจะเป็นแนวทางที่เหมาะสมในการติดตามตรวจสอบรถประจำถิ่นเพราะจะไม่ทำให้เกิดความรู้สึกถูกติดตามมากเกินไป

การใช้เทคโนโลยี RFID ในการกำกับควบคุมรถประจำถิ่นเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการติดตามตรวจสอบรถประจำถิ่นผ่านจุด Check Point โดยการตรวจสอบสถานี RFID Reader ที่รถประจำถิ่นสัญจรผ่านว่ายังอยู่ในพื้นที่อนุญาตของรถประจำถิ่นหรือไม่ โดยเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ควรเป็นชนิด Passive RFID (แบบไม่ใช้แบตเตอรี่) และเป็น RFID แบบ Ultra High Frequency (UHF RFID) ซึ่งใช้ช่องสัญญาณความถี่ NTC 920-925 MHz (Thailand) และมีระยะการอ่านไม่น้อยกว่า 12 เมตรเพื่อให้สามารถติดตั้งไว้ด้านบนหรือด้านข้างของถนนและสามารถอ่านข้อมูลได้ในขณะที่รถวิ่งผ่านด้วยความเร็วปกติบนท้องถนน ข้อดีของการใช้เทคโนโลยี RFID คือมีเสถียรภาพและความแม่นยำในการอ่านข้อมูลสูงเมื่อรถประจำถิ่นวิ่งผ่านสถานี RFID Reader ข้อดีอีกประการหนึ่งคือ RFID Tag แบบ Passive มีลักษณะคล้ายสติ๊กเกอร์แผ่นบางๆ สามารถติดตั้งได้ง่ายและไม่ใช้แบตเตอรี่ทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องการชาร์จพลังงาน ในกรณีที่เจ้าของรถถึง RFID Tag ออกจากตัวรถจะทำให้ Tag และเสาอากาศเกิดการฉีกขาด ทั้งนี้จะช่วยป้องกันปัญหาการนำ RFID Tag แยกออกจากตัวรถ ปัญหาการนำ RFID Tag ไปติดกับรถคันอื่น และยังช่วยลดปัญหาการลืมนำ RFID Tag ก่อนนำรถเข้ามาในประเทศไทย นอกจากนี้ RFID Tag ยังมีต้นทุนต่อชิ้นที่ค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ฯ ทางเลือกอื่นข้างต้นและไม่ต้องเสียค่าเช่าสัญญาณรายปีเหมือนกับการใช้เครือข่าย NB-IoT และ LoRa ข้อดีอีกประการหนึ่งคือ RFID Tag แบบ Passive คือความสามารถในการเก็บข้อมูล (Data Retention) ไม่น้อยกว่า 10 ปี ทำให้สามารถใช้ RFID Tag ซ้ำกับรถคันเดิมได้นานหลายรอบเมื่อมีการต่ออายุใบอนุญาตรถประจำถิ่น ทำให้ช่วยลดต้นทุนเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ฯ ที่ใช้เครือข่าย NB-IoT หรือ LoRa ซึ่งเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีอายุการใช้งานประมาณ 5 ปีและอาจมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนแบตเตอรี่ทุก 2 ปี

ข้อจำกัดของเทคโนโลยี RFID คือไม่สามารถติดตามพฤติกรรมรถประจำถิ่นได้เนื่องจากไม่สามารถติดตั้ง Gyroscope และ Accelerometer บนระบบ RFID ข้อจำกัดอีกประการหนึ่งของเทคโนโลยี RFID คือการที่หน่วยงานภาครัฐต้องลงทุนติดตั้งสถานี RFID Reader ให้ครอบคลุมทุกจุดสำคัญบริเวณขอบเขตพื้นที่อนุญาตที่เป็นเส้นทางออกจากพื้นที่เพื่อให้การติดตามตรวจสอบการเดินทางของรถประจำถิ่นเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ RFID Reader แต่ละชุดสามารถอ่านข้อมูลได้เพียงแค่ 1 ช่องจราจรของถนน ซึ่งถ้าถนนขนาบออกจากพื้นที่อนุญาตมี 2 ช่องจราจรก็ต้องติดตั้ง RFID Reader จำนวน 2 ชุดในจุดนั้นเป็นต้น ดังนั้นตัวแปรสำคัญของการเลือกใช้เทคโนโลยี RFID คือจำนวนจุดติดตั้งและค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง ค่าดำเนินการ และค่าบำรุงรักษา RFID Reader ที่หน่วยงานภาครัฐต้องลงทุน ในทางตรงข้ามการใช้เครือข่าย NB-IoT หรือ LoRa หน่วยงานภาครัฐไม่ต้องลงทุนโครงสร้างพื้นฐานแต่จะต้องจ่ายค่าเช่าสัญญาณรายปีให้กับผู้ให้บริการ ดังนั้นในพื้นที่ซึ่งมีรถประจำถิ่นจำนวนมากและมีจุดติดตั้ง RFID Reader จำนวนน้อยจะทำให้ต้นทุนของระบบ RFID ต่อรถประจำถิ่น 1 คันถูกกว่าเมื่อเทียบกับการใช้เครือข่าย NB-IoT หรือ LoRa ในทางตรงข้ามพื้นที่ซึ่งมีรถประจำถิ่นจำนวนน้อยหรือมีจุดติดตั้ง RFID Reader มีจำนวนมากจะทำให้ต้นทุนต่อคันของระบบ RFID สูงกว่าการใช้เครือข่าย NB-IoT หรือ LoRa

จากการศึกษาเปรียบเทียบด้านวิศวกรรมและการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์และการเงินสามารถสรุปได้ว่าการใช้เทคโนโลยี RFID เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการติดตามและกำกับควบคุมรถประจำถิ่นในพื้นที่นำร่อง อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีเสถียรภาพและความแม่นยำในการอ่านข้อมูลสูง ไม่มีภาระเรื่องการต้องชาร์จแบตเตอรี่ ป้องกันการปลอมแปลงได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการ Anti-counterfeiting ที่จะใช้การยืนยันการเข้ารหัสด้วยกุญแจแบบ 128 bit และการเข้ารหัสข้อมูลโดยใช้

เทคโนโลยี AES-128 หรือ Grain-128A นอกจากนั้นเจ้าของรถสามารถนำ RFID Tag ไปติดได้โดยสะดวก และ ยังช่วยป้องกันปัญหาการนำ RFID Tag แยกออกจากตัวรถ ปัญหาการนำ RFID Tag ไปติดกับรถคันอื่น และ ปัญหาการลืมติดตั้ง RFID Tag ก่อนนำรถเข้ามาในประเทศไทย นอกจากนั้น RFID Tag ยังมีต้นทุนต่อชิ้นที่ค่อนข้างถูก มีความทนทานต่อการใช้งาน สามารถใช้ซ้ำได้หลายปีทำให้ช่วยลดต้นทุนและลดภาระให้กับเจ้าของรถในการต่ออายุใบอนุญาตรถประจำถิ่น การใช้เทคโนโลยี RFID ยังมีต้นทุนต่อคันที่ถูกลงที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีทางเลือกอื่นทำให้เจ้าของรถจ่ายค่าธรรมเนียมในอัตราที่ต่ำ และที่สำคัญเทคโนโลยี RFID เป็นการกำกับควบคุมรถประจำถิ่นผ่านจุด Check Point ทำให้ไม่เกิดความรู้สึกถูกลู่ล่า ความเป็นส่วนตัวมากเกินไป

เอกสารอ้างอิง

Easy Truck Fleet Telematics, 2021. แหล่งที่มา <https://www.csselectronics.com/screen/page/j1939-data-logger-wifi-telematics-fleet-management/language/en>, 13 July 2021

Telematics trends in the UK, 2021. แหล่งที่มา <https://www.the-digital-insurer.com/telematics-insurance-uk/>, 13 July 2021



โครงการศึกษาออกแบบระบบสมาร์ตโลจิสติกส์เพื่อยกระดับความปลอดภัยในการทำกับควบคุมยานพาหนะข้ามพรมแดน