รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการขอรับการส่งเสริมและสนับสนุนจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

โครงการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร

Development of Cable Identification System for Prevention of Unauthorized Installation of Communication Cables

ผศ. ดร. เลิศศักดิ์ เลขวัต

ผศ. ดร. ฉัตรพล ภคศิริ

ผศ. ดร. วรวุฒิ มรรคเจริญ

นาย ประทีป มานะสัมมากิจ

นาย ฤทธา มโนมัยเสาวภาคย์

นายณพงศ์ แก้ววรรณรัตน์

มิถุนายน พ.ศ. 2563

กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ

(สำนักงาน กสทช.)

แบบ กทปส. ME-003

รายงานฉบับสมบูรณ์

ทุนส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนา
สัญญารับทุนเลขที่ BT2-05/2-61

โครงการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร

Development of an Information Identification System for Prevention of Unauthorized Installation of Communication Cables

(คณะ) นักวิจัย

1.	ผศ. ดร. เลิศศักดิ์ เลขวัต	นักวิจัยหัวหน้าโครงการ
2.	ผศ. ดร. ฉัตรพล ภคศิริ	นักวิจัยร่วม
3.	ผศ. ดร. วรวุฒิ มรรคเจริญ	นักวิจัยร่วม
4.	นาย ประทีป มานะสัมมากิจ	นักวิจัยร่วม
5.	นาย ฤทธา มโนมัยเสาวภาคย์	นักวิจัยร่วม
6.	นายณพงศ์ แก้ววรรณรัตน์	นักวิจัยร่วม

ได้รับทุนอุดหนุนจาก
กองทุนวิจัยและพัฒนากิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ
(สำนักงาน กสทช.)

มิถุนายน พ.ศ. 2563

แบบ กทปส. ME-003

บทสรุปผู้บริหาร

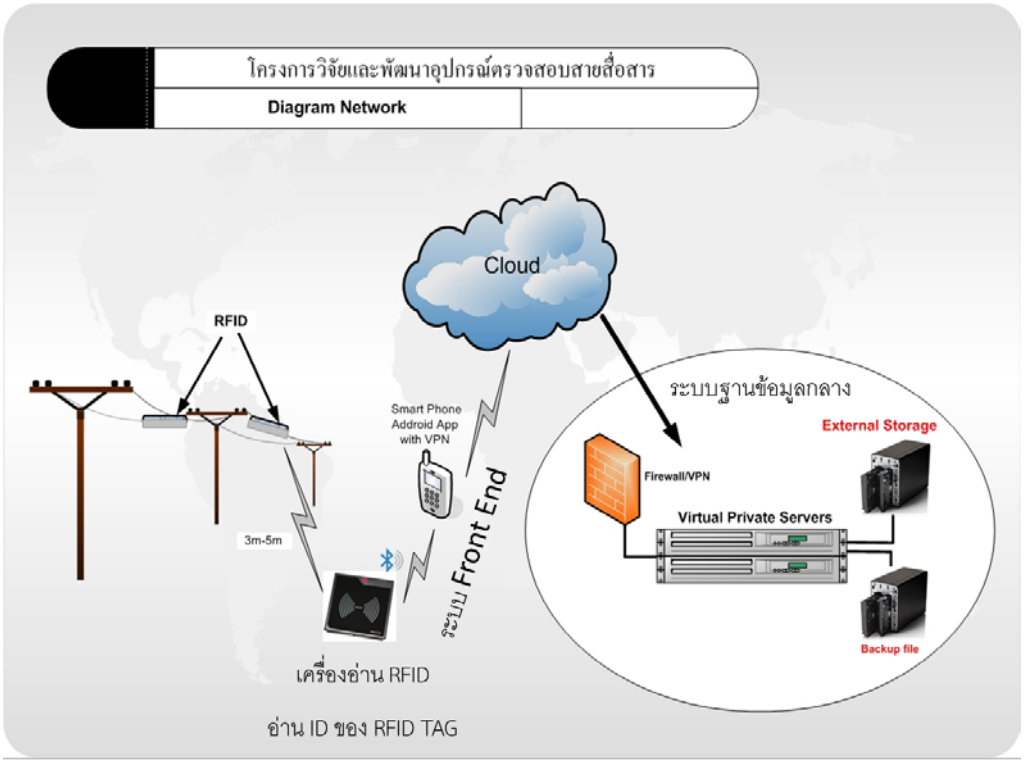
โครงการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร
มิถุนายน พ.ศ. 2563

สืบเนื่องจากปัญหาสายสื่อสารที่ระโยงระยางบนเสาไฟฟ้า ที่ทำให้ทัศนียภาพของบ้านเมืองและแหล่งท่องเที่ยวไม่สวยงาม และอาจเป็นเหตุทำให้เสาไฟฟ้าล้มหักได้ จึงจำเป็นที่คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือ กสทช. ต้องมีมาตรการให้ผู้ประกอบการจัดระเบียบสาย และปรับยุบรวมสายให้เหลือเส้นผ่านศูนย์กลางของสายตามที่กำหนด และเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้มีการพาดสายโดยไม่ได้รับอนุญาต กสทช. จึงเห็นควรให้มีการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ในการตรวจสอบสายสื่อสารที่ถูกต้อง แยกออกจากสายสื่อสารที่ไม่ถูกต้อง โดยการจัดเก็บข้อมูลสายสื่อสารที่ถูกต้องเป็นข้อมูลสารสนเทศ อาทิ ระบบ Radio frequency identification (RFID) ช่วยอ่านข้อมูลเพื่อความรวดเร็วและแม่นยำ เพื่อเป็นการแยกแยะสายสื่อสารของหน่วยงานต่าง ๆ ที่พาดผ่านไปบนเสาไฟฟ้านั้น รวมทั้งขนาด ความจุ และจำนวนของสายสื่อสารทั้งหมด ส่วนที่อยู่นอกอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร ถือว่าเป็นสายสื่อสารที่ไม่ได้รับความเห็นชอบจาก กสทช. และให้ผู้เป็นเจ้าของเสาดำเนินการตามระเบียบขององค์กรต่อไป

สำนักงาน กสทช. ได้มอบหมายให้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นผู้รับทุนวิจัยโครงการนี้ เพื่อทำการศึกษา วิจัย และพัฒนาระบบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารดังกล่าว คณะวิจัยจึงได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารแบบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน และได้สรุปออกมาเป็นระบบที่นำเสนอและพัฒนาในงานวิจัยนี้ โดยระบบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

1. ท่อป้องกัน หรือท่อครอบสายสื่อสาร เพื่อใช้บ่งบอกสายสื่อสารที่ได้รับอนุญาตถูกต้อง แยกออกจากสายสื่อสารที่ไม่ได้รับอนุญาต
2. แผ่นป้าย RFID ติดอยู่กับท่อป้องกัน เพื่อบ่งบอกรหัสเฉพาะตัว (ID) ของท่อป้องกัน
3. ระบบสารสนเทศข้อมูลสายสื่อสาร สำหรับอ่านรหัส RFID และอ่านหรือบันทึกข้อมูลสายสื่อสารลงในฐานข้อมูล และแสดงผลข้อมูลที่บันทึกไว้
4. ระบบฐานข้อมูลของสายสื่อสารที่ได้รับอนุญาตถูกต้อง

โดยสามารถแสดงแผนผังของระบบได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังของระบบตรวจสอบสายสื่อสาร

ท่อป้องกันที่ติดตั้งแล้ว โดยใช้ครอบสายสื่อสารที่ได้รับอนุญาตถูกต้อง และมีป้ายชื่อหน่วยงาน รวมทั้ง**แผ่นป้าย RFID** แสดงในรูปที่ 2 โดยที่คุณสมบัติของท่อป้องกันมีดังต่อไปนี้

(1) ทนแสงแดด

(2) ทนรังสี UV

(3) ทนมลภาวะ

(4) ทนน้ำ ไม่เป็นสนิม

(5) ไม่กรอบแตก น้ำหนักเบา

(6) ไม่ติดไฟ มีค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้า

(7) ให้รองรับจำนวนและขนาดของสายสื่อสารเส้นผ่านศูนย์กลางรวมไม่ต่ำกว่า 100 มม. ถึง 300 มม.

(8) มีตราสัญลักษณ์บนตัวอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารตามที่สำนักงาน กสทช. กำหนด

รูปที่ 2 ท่อป้องกันที่ติดตั้งแล้ว มีแผ่นป้ายชื่อหน่วยงานและแผ่นป้าย RFID (**สีแดงเข้ม**)

ระบบสารสนเทศข้อมูลสายสื่อสาร ประกอบด้วย

(1) เครื่องอ่าน RFID สำหรับอ่านรหัส ID ที่บันทึกไว้ในแผ่น RFID โดยสามารถอ่านได้ที่ระยะไกลกว่า 10 เมตร จากรถที่ขับอยู่บนถนนไปยังตำแหน่งที่ติดตั้งท่อป้องกัน

(2) อุปกรณ์ Android ทั้งแบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ หรือคอมพิวเตอร์พกพาที่ลงโปรแกรมระบบตรวจสอบสายสื่อสาร สำหรับอ่านหรือบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลสายสื่อสาร ผ่านเครือข่าย cloud

(3) โปรแกรมระบบตรวจสอบสายสื่อสารที่พัฒนาโดยคณะวิจัย

(4) คอมพิวเตอร์พกพาสำหรับเชื่อมต่อเครื่องอ่าน RFID และสื่อสารกับอุปกรณ์ Android ผ่านทางโปรแกรมระบบตรวจสอบสายสื่อสาร

ระบบฐานข้อมูลสายสื่อสาร ที่ออกแบบและพัฒนาโดยคณะวิจัย สำหรับจัดเก็บข้อมูลคุณลักษณะของสายเคเบิลสื่อสาร ดังต่อไปนี้

(1) ขนาดเส้นเคเบิล สีของเส้น

(2) เส้นผ่านศูนย์กลางของสาย

(3) จำนวนความจุของสาย (จำนวน core)

(4) ชื่อหน่วยงานของสาย

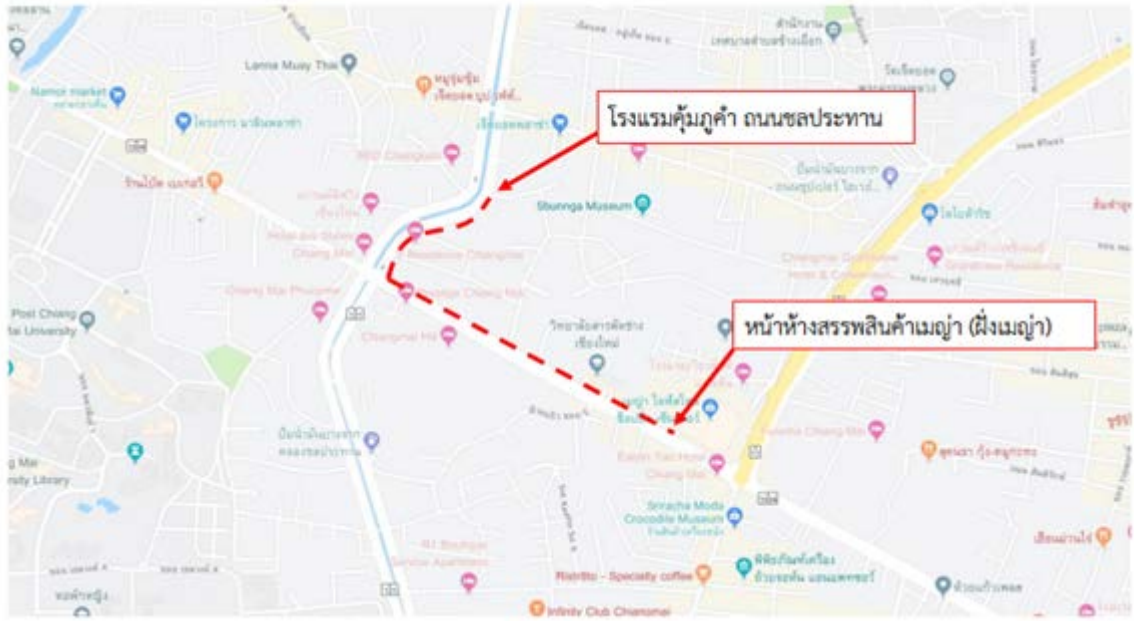
นอกจากนี้ฐานข้อมูลยังบันทึกข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น พิกัดตำแหน่งที่ติดตั้งท่อป้องกัน รหัส ID ของท่อป้องกัน วันที่ดำเนินการติดตั้ง ภาพถ่ายบริเวณจุดติดตั้งท่อป้องกัน เป็นต้น

นอกเหนือไปจากการวิจัยและพัฒนาระบบตรวจสอบสายสื่อสารดังกล่าวแล้ว สำนักงาน กสทช. ยังได้มอบหมายให้คณะวิจัยทำการจัดระเบียบสายเคเบิลสื่อสารในเส้นทางที่ กสทช. เป็นผู้กำหนด รวมระยะทาง 2 ก.ม. และติดตั้งอุปกรณ์ท่อป้องกันในทุกช่วงเสาไฟฟ้าตลอดเส้นทางดังกล่าว เพื่อทำการทดสอบการอ่าน และบันทึกข้อมูลสายสื่อสารที่ได้รับอนุญาตถูกต้อง

เส้นทางที่ กสทช. กำหนดให้ทำการจัดระเบียบสายเคเบิลสื่อสาร และติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร มีดังต่อไปนี้

1. จังหวัด นนทบุรี เส้นทางถนนชัยพฤกษ์ ตั้งแต่หน้าสถานีบริการก๊าซธรรมชาติจนถึงศูนย์จำหน่ายรถยนต์โตโยต้าเมืองนนท์ สาขาชัยพฤกษ์ ฝั่งทิศเหนือ ระยะทาง 1 กม. (รูปที่ 3) ติดตั้งจำนวน 72 ชุด
2. จังหวัด เชียงใหม่ เส้นทางถนนคลองชลประทาน - ถนนห้วยแก้ว ตั้งแต่โรงแรมคุ้มภูคา ถนนคลองชลประทานจนถึงห้างสรรพสินค้าเมญ่า ถนนห้วยแก้ว ระยะทาง 1 กม. (รูปที่ 4) ติดตั้งจำนวน 71 ชุด

รูปที่ 3 เส้นทางถนนชัยพฤกษ์ ตั้งแต่หน้าสถานีบริการก๊าซธรรมชาติจนถึงศูนย์จำหน่ายรถยนต์โตโยต้าเมืองนนท์ สาขาชัยพฤกษ์ ฝั่งทิศเหนือ ระยะทาง 1 กม.



รูปที่ 4 เส้นทางถนนคลองชลประทาน - ถนนห้วยแก้ว ตั้งแต่โรงแรมคุ้มภูคา ถนนคลองชลประทานจนถึงห้างสรรพสินค้าเมญ่า ถนนห้วยแก้ว ระยะทาง 1 กม.

คณะวิจัยได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร และทำการทดสอบการอ่านและบันทึกข้อมูลสายเคเบิลสื่อสารลงในระบบฐานข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้วในทั้งสองเส้นทางดังกล่าว

รูปที่ 5 การทำงานขณะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร

นอกจากนี้คณะวิจัยยังได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร บริเวณริมถนนภายในซอยสายลม (รูปที่ 6) จากหน้าทางเข้าจนถึงบริเวณหน้าสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ อีกจำนวน 15 ชุด และผลการทดสอบระบบได้ผ่านตามเงื่อนไขที่ กสทช. กำหนด

รูปที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารบริเวณริมถนน ภายในซอยสายลม

(บทคัดย่อ <u>ภาษาไทย</u> จำนวน 1 หน้ากระดาษ)

โครงการวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร

ผศ.ดร. เลิศศักดิ์ เลขวัต

มิถุนายน พ.ศ. 2563

คณะวิจัยได้ทำการศึกษาวิจัย และออกแบบระบบอุปกรณ์ตรวจสอบสายเคเบิลสื่อสาร โดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID เพื่อให้สามารถป้องกันการติดตั้งสายสื่อสารที่ไม่ได้รับอนุญาต และสามารถบ่งบอกข้อมูลของสายสื่อสารที่ได้รับอนุญาตถูกต้องและพาดผ่านไปบนเสาไฟฟ้า โดยระบบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย (1) ท่อป้องกันสำหรับครอบสายสื่อสาร เพื่อใช้บ่งบอกสายสื่อสารที่ได้รับอนุญาตถูกต้อง แยกออกจากสายสื่อสารที่ไม่ได้รับอนุญาต (2) แผ่นป้าย RFID ติดอยู่กับท่อป้องกัน เพื่อบ่งบอกรหัสเฉพาะตัว (ID) ของท่อป้องกัน (3) ระบบสารสนเทศข้อมูลสายสื่อสาร สำหรับอ่านรหัส RFID และอ่านหรือบันทึกข้อมูลสายสื่อสารลงในฐานข้อมูล และแสดงผลข้อมูลที่บันทึกไว้ และ (4) ระบบฐานข้อมูลของสายสื่อสารที่ได้รับอนุญาตถูกต้อง

ท่อป้องกันทำจากวัสดุ HDPE V0 สีดำ มีแผ่นป้ายชื่อหน่วยงานทำจากวัสดุ ABS V0 สีแดง ตัวหนังสือสีขาว มีแผ่นป้าย RFID ทำจากวัสดุ ABS V0 สีแดง ทั้งหมดผ่านการทดสอบการลามไฟ UL94 class V0 ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและรังสี UV ตามมาตรฐาน ASTM G 154-00A และมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60364

วงจร RFID ใช้อุปกรณ์ IC รุ่น UCODE 7 ของบริษัท NXP Semiconductors ให้ความถี่ย่าน UHF ผลทดสอบที่ความถี่ 923 MHz ได้ค่าอิมพีแดนซ์ของเสาอากาศที่ออกแบบเท่ากับ $24.8 - j246\ \Omega$ และได้ค่า Gain สูงสุดอยู่ที่ 2.72 dB ที่มุม -90°

คณะวิจัยได้ทำการจัดระเบียบสายสัญญาณในพื้นที่บริเวณที่ กสทช. กำหนดให้ และจัดทำต้นแบบของระบบอุปกรณ์ตรวจสอบสายเคเบิลสื่อสารดังกล่าวส่งมอบแก่ กสทช. และยังได้ทำการผลิต ติดตั้ง และทดสอบอุปกรณ์ดังกล่าวในสภาวะใช้งานจริงในพื้นที่จัดระเบียบสายสัญญาณดังกล่าว จำนวน 158 ชุด (จากทั้งหมด 200 ชุด และจำนวนที่เหลือได้นำส่ง กสทช.) โดยแบ่งเป็น (1) ริมถนนในซอยสายลม จากหน้าทางเข้า ถึงหน้าสำนักงาน กสทช. จำนวน 15 ชุด (2) เส้นทางถนนชัยพฤกษ์ จังหวัดนนทบุรี จำนวน 72 ชุด และ (3) เส้นทางถนนคลองชลประทาน – ถนนห้วยแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 71 ชุด รวมระยะทางติดตั้งทั้งหมดกว่า 2 กิโลเมตร

ในการทดสอบการอ่านข้อมูล ID จากแผ่นป้าย RFID โดยใช้เครื่องอ่านที่กำลังส่ง 1 วัตต์ ในขณะขับรถบนถนนที่ความเร็วกว่า 40 กม./ชม. เมื่อผ่านจุดติดตั้ง ได้ระยะการอ่านไกลกว่า 10 เมตร

(บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ จำนวน 1 หน้ากระดาษ)

Development of Cable Identification System for Prevention of Unauthorized Installation of Communication Cables

Asst.Prof.Dr. Lertsak Lekawat

June 2020

A cable identification system (CIS) has been developed, specifically based on RFID technology, to prevent unauthorized installation of data communication cables on public utility poles. The system can also identify and provide information of cables otherwise rightfully installed. The CIS system proposed in this research consists of **(1) protection pipes** to cover only an ensemble of authorized cables **(2) UHF RFID tags** each attached to a protection pipe for serial number identification (ID) **(3) an Android-frontend cloud network** for reading the ID and reading/recording authorized cable information onto **(4) a CIS cloud database backend network**

The protection pipe is colored black and is made of a high durability HDPE (high density polyethylene) material. Attached to the pipe are two (2) logo plates and an RFID plate or tag, all colored red and made from highly durable ABS materials. The protection pipe and the plates attached passed flammable test UL94 class V0 standard, passed durability and UV test ASTM G 154-00A standard and passed electrical insulation test IEC 60364 standard.

The RFID circuits utilized NXP UCODE 7 chips operating at UHF band. An inlay antenna was designed to use with the chip. The antenna impedance and gain were simulated at 923 MHz to be 24.8-*j*246Ω and 2.72dB at -90°, respectively.

The experimental CIS system has been installed and tested at various test sites. Altogether, there were 158 protection pipes installed on public utility poles in 3 separate locations, covering a street distance counted over 2 kilometers in length.

Reading test using a 1W RFID reader satisfactorily showed correct ID read at distances over 10 meters from the installed protection pipes while driving a car carrying the reader at speeds well over 40 km/hour.

สารบัญ

บทสรุปผู้บริหาร 1
บทคัดย่อภาษาไทย 8
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ 9
สารบัญ 10
สารบัญตาราง 12
สารบัญภาพ 14
บทที่ 1 18
1.1 ที่มา และความสำคัญของโครงการ 18
1.2 วัตถุประสงค์ และขอบเขตของโครงการ 19
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 21
บทที่ 2 23
2.1 ทฤษฎี และแนวความคิด 23
2.1.1 อุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร (ในส่วน RFID technology) 25
2.1.1.1 ระบบ RFID [1] 25
2.1.1.2 ข้อมูลมาตรฐานระบบ RFID UHF (Gen 2) 36
2.1.2 ระบบสารสนเทศ ในการจัดเก็บและบันทึกข้อมูล 37
2.1.3 อุปกรณ์สำหรับตรวจนับจำนวนสายสื่อสาร (RFID reader) 52
2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 54
บทที่ 3 57
3.1 การพัฒนาและออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร 57
3.1.1 แผ่นวงจร RFID tag 57
3.1.2 บรรจุภัณฑ์ RFID Tag 59
3.1.3 ท่อป้องกัน 62
3.2 การพัฒนาระบบสารสนเทศข้อมูลสายสื่อสารในส่วนของโปรแกรม 75
3.2.1 การออกแบบ และการทำงานของโปรแกรม 75
3.2.2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล (E-R Diagram) 97
3.2.3 พจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary) 98

3.3 การพัฒนาระบบสารสนเทศในส่วนฐานข้อมูลและการเชื่อมต่อระบบ 103
บทที่ 4 112
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของท่อป้องกันและ RFID tag 112
4.2 ผลการจัดระเบียบสายสื่อสาร 127
4.3 ผลการติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร 139
4.4 ผลการบันทึกข้อมูลสายสื่อสาร 146
บทที่ 5 150
5.1 สรุปผลการวิจัย 150
5.2 ข้อเสนอแนะ 154
บรรณานุกรม 157
ประวัตินักวิจัย 158

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 RFID ชนิด passive ที่ย่านความถี่ต่าง ๆ และระยะการอ่าน 30
ตารางที่ 2 การต้องได้รับอนุญาตที่กำลังส่งค่าต่าง ๆ 36
ตารางที่ 3 คุณสมบัติทาไฟฟ้าของเครื่องอ่าน รุ่น SID U861 52
ตารางที่ 4 ผลการทดสอบกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามมาตรฐาน NTC TS5001-2550 [2] 54
ตารางที่ 5 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระยะการอ่าน RFID Tag กับเครื่อง SID U861 62
ตารางที่ 6 รายละเอียดคุณสมบัติของวัสดุ HDPE สำหรับท่อป้องกัน 74
ตารางที่ 7 user table ตารางข้อมูลผู้ใช้งาน 98
ตารางที่ 8 user role table ตารางกลุ่มผู้ใช้งาน 99
ตารางที่ 9 route table ตารางข้อมูลเส้นทาง 99
ตารางที่ 10 operator master table ตารางข้อมูลผู้ให้บริการ 100
ตารางที่ 11 workstation table ตารางเก็บข้อมูลจุดติดตั้ง 100
ตารางที่ 12 operator table ตารางข้อมูลผู้ให้บริการในจุดติดตั้ง 101
ตารางที่ 13 wire table ตารางข้อมูลสายไฟในจุดติดตั้ง 102
ตารางที่ 14 ตัวอย่างผลการทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อมของ RFID tag 115
ตารางที่ 15 มาตรฐาน การติดไฟและลามไฟแนวตั้ง UL94 116
ตารางที่ 16 ตัวอย่างขนิดพลาสติกและระดับการติดไฟ ตามมาตรฐาน UL 94 116
ตารางที่ 17 แสดงผลการบันทึกเวลาของตัวอย่างทดสอบ 118
ตารางที่ 18 ตารางแสดงค่าความต้านทานฉนวนตามมาตรฐาน IEC 60364 120
ตารางที่ 19 ผลการทดสอบความเป็นฉนวนของ RFID tag ตามมาตรฐาน IEC 60364 120
ตารางที่ 20 ผลการทดสอบของชิ้นงานท่อป้องกัน 121
ตารางที่ 21 ผลการทดสอบของชิ้นงานแผ่นป้าย 122
ตารางที่ 22 ค่าเวลาทดสอบการติดไฟ การลามไฟของตัวท่อป้องกัน 123
ตารางที่ 23 ค่าเวลาทดสอบการติดไฟ การลามไฟของตัวป้ายสัญลักษณ์ กฟน 125
ตารางที่ 24 ผลการทดสอบความเป็นฉนวนทางไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 60364 126
ตารางที่ 25 สรุปผลการทดสอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร 126

ตารางที่ 26 ข้อมูลที่เก็บจากการติดตั้ง เส้นทางถนนห้วยแก้ว - ถนนชลประทาน จังหวัดเชียงใหม่ 147
ตารางที่ 27 ข้อมูลที่เก็บจากการติดตั้ง เส้นทางถนนชัยพฤกษ์ จังหวัดนนทบุรี 148
ตารางที่ 28 ต้นทุน RFID tag 152
ตารางที่ 29 ต้นทุน ท่อป้องกันและแผ่นป้ายชื่อหน่วยงาน 153
ตารางที่ 30 ต้นทุนอื่นๆ 153
ตารางที่ 31 ข้อเสนอแนะขั้นตอนการขออนุญาตเปิดท่อป้องกันการละเมิดพาดสายสื่อสาร 155

สารบัญภาพ

รูปที่ 1 แผนผังของระบบตรวจสอบสายสื่อสาร 2
รูปที่ 2 ท่อป้องกันที่ติดตั้งแล้ว มีแผ่นป้ายชื่อหน่วยงานและแผ่นป้าย RFID (สีแดงเข้ม) 3
รูปที่ 3 เส้นทางถนนชัยพฤกษ์ ตั้งแต่หน้าสถานีบริการก๊าซธรรมชาติจนถึงศูนย์จำหน่ายรถยนต์โตโยต้าเมืองนนท์ สาขาชัยพฤกษ์ ฝั่งทิศเหนือ ระยะทาง 1 กม. 5
รูปที่ 4 เส้นทางถนนคลองชลประทาน - ถนนห้วยแก้ว ตั้งแต่โรงแรมคุ้มภูคา ถนนคลองชลประทานจนถึงห้างสรรพสินค้าเมญ่า ถนนห้วยแก้ว ระยะทาง 1 กม. 5
รูปที่ 5 การทำงานขณะติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร 6
รูปที่ 6 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารบริเวณริมถนน ภายในซอยสายลม 7
รูปที่ 7 ระบบตรวจสอบสายสื่อสารที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ 23
รูปที่ 8 องค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ RFID 25
รูปที่ 9 ตำแหน่งของแท็กที่เหมาะสมสำหรับย่านของสายอากาศที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ 27
รูปที่ 10 การอ่าน/เขียนข้อมูลอย่างง่ายของ RFID 28
รูปที่ 11 แท็กในรูปแบบต่าง ๆ 29
รูปที่ 12 ตัวอย่างการใช้งาน RFID tag และตัวอ่านข้อมูล (Reader) 30
รูปที่ 13 แผนผังการทำงานของระบบ RFID 32
รูปที่ 14 การเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า 34
รูปที่ 15 การติดต่อกันระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก ในการทำงานแบบ inductive coupling 35
รูปที่ 16 ตัวอย่างสัญญาณ Amplitude Modulation 35
รูปที่ 17 ตัวอย่างภาครับของ RFID tag ที่ทำงานแบบแผ่กระจายคลื่นวิทยุ 36
รูปที่ 18 ข้อมูลประเภทต่าง ๆ ในระบบ cloud 38
รูปที่ 19 การให้บริการแบบ Virtual Private Server (VPS) 38
รูปที่ 20 การรักษาความปลอดภัยการใช้งานผ่าน internet โดยระบบ Firewall 41
รูปที่ 21 การเชื่อมต่อ internet แบบ VPN 42
รูปที่ 22 ระบบ VPN แบบ PPTP 43
รูปที่ 23 โครงสร้างของ Site-to-site VPN 44
รูปที่ 24 โครงสร้างของ L2TP VPN 45
รูปที่ 25 โครงสร้างของ VPN แบบ IPsec 45

รูปที่ 26 โครงสร้างของ VPN แบบ SSL/TLS 46
รูปที่ 27 โครงสร้างของ MPLS VPN 47
รูปที่ 28 Geographic Information System (GIS) 48
รูปที่ 29 เครื่อง RFID Reader ที่ใช้ในการทดสอบ [1] 53
รูปที่ 30 การกระจายสัญญาณ (radiation pattern) ของเครื่อง RFID Reader [1] 53
รูปที่ 31 การติดป้าย (Tag) ให้กับสายสื่อสาร โดยมีมาตรฐาน ANSI TIA 606-B กำหนดรหัส 54
รูปที่ 32. ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บใน RFID tag (รูปที่ 12 ในสิทธิบัตร 8264355) 56
รูปที่ 33 รูปแบบของเสาอากาศ RFID Tag 58
รูปที่ 34 การกระจายสัญญาณของเสาอากาศ RFID Tag 58
รูปที่ 35 แผ่นวงจรและบรรจุภัณฑ์ RFID Tag (a) รูปก่อนประกบ (b) รูปหลังการประกบ 59
รูปที่ 36 การวัดระยะการอ่านในแนวราบของ RFID Tag 60
รูปที่ 37 แผ่นวงจรและบรรจุภัณฑ์ RFID Tag แบบที่สอง (a) ด้านบน (b) ด้านหน้า 61
รูปที่ 38 แสดงขนาดและลักษณะของท่อป้องกัน 64
รูปที่ 39 ลักษณะและตำแหน่งการติดตั้งป้าย (สีแดง) เข้ากับท่อป้องกัน 65
รูปที่ 40 แสดงขนาดของป้ายทั้ง 2 อัน 65
รูปที่ 41 แสดง ท่อ ป้าย และ tag ถูกยึดเข้าด้วยกัน 66
รูปที่ 42 แสดงขนาดของ RFID tag และ น็อตยึด 66
รูปที่ 43 รายละเอียดเพิ่มเติมของขนาดและอุปกรณ์ 67
รูปที่ 44 รายละเอียดของ RFID tag 1 68
รูปที่ 45 แสดงบรรจุภัณฑ์สำหรับ RFID Tag (a) รูปถ่ายด้านข้าง (b) รูปถ่ายด้านบน (c) รูปถ่ายด้านล่าง 69
รูปที่ 46 รายละเอียดของแผ่นป้าย 70
รูปที่ 47 ขั้นตอนการประกอบ 1 71
รูปที่ 48 ขั้นตอนการประกอบ 2 71
รูปที่ 49 ขั้นตอนการประกอบ 3 72
รูปที่ 50 ขั้นตอนการประกอบ 4 72
รูปที่ 51 ขั้นตอนการประกอบแผ่นป้ายเข้ากับท่อป้องกัน 1 73
รูปที่ 52 ขั้นตอนการประกอบแผ่นป้ายเข้ากับท่อป้องกัน 2 73
รูปที่ 53 GUI ของโปรแกรมตัวอ่าน RFID 76
รูปที่ 54 แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) ของโปรแกรมตัวอ่าน RFID 77

รูปที่ 55 แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) GUI และ Flow การทำงานของผู้ใช้งาน..78
รูปที่ 56 แผนผังการทำงาน เข้าสู่ระบบ....79
รูปที่ 57 แผนผังการทำงาน งานติดตั้ง....80
รูปที่ 58 แผนผังการทำงาน แก้ไขข้อมูลงานติดตั้ง....81
รูปที่ 59 ตัวอย่าง outline ของโปรแกรม Mobile....82
รูปที่ 60 เมนูการแสดงข้อมูลจุดติดตั้ง....83
รูปที่ 61 เมนูการถ่ายรูปและเก็บบันทึกข้อมูลจุดติดตั้ง....84
รูปที่ 62 เมนูการบันทึกข้อมูลผู้ประกอบการ....85
รูปที่ 63 เมนูการเชื่อมต่อกับเครื่องอ่าน RFID reader เพื่ออ่านรหัส ID ของท่อป้องกัน....86
รูปที่ 64 แผนผัง Site map ของโปรแกรมหลังบ้าน (Backend)....87
รูปที่ 65 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล (E-R Diagram)....97
รูปที่ 66 ระบบฐานข้อมูลและการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต....103
รูปที่ 67 เครื่อง QUV Accelerated Weathering และหลักการทำงานตาม ASTM G 154-00A.113
รูปที่ 68 เตาอบความคุมอุณหภูมิ การทดสอบความชื้นและรังสี UV ตาม ASTM G 154-00A.....113
รูปที่ 69 ขนาดชิ้นงานสำหรับทดสอบการติดไฟ....117
รูปที่ 70 แสดงชิ้นตัวอย่างในแท่นจับยึดทดสอบการติดไฟแนวตั้ง และชิ้นตัวอย่างในแท่นจับยึดขณะติดไฟแล้วเริ่มจับเวลาเมื่อเอาไฟออกจนดับ แล้วบันทึกเวลา....118
รูปที่ 71 ชิ้นงานท่อป้องกันที่นำมาทดสอบ....121
รูปที่ 72 ชิ้นงานแผ่นป้ายที่นำมาทดสอบ....121
รูปที่ 73 แสดงชิ้นตัวอย่างของท่อป้องกันในแท่นจับยึดทดสอบการติดไฟแนวตั้ง และ ชิ้นตัวอย่างในแท่นจับยึดขณะติดไฟแล้วเริ่มจับเวลาเมื่อเอาไฟออกจนดับ และระยะเวลาหลังไฟดับแล้วเกิดการหดร่นจนหยุด แล้วบันทึกเวลา....123
รูปที่ 74 แสดงชิ้นตัวอย่างของตัวป้ายสัญลักษณ์ กฟน ในแท่นจับยึดทดสอบการติดไฟแนวตั้ง และ ชิ้นตัวอย่างในแท่นจับยึดขณะติดไฟแล้วเริ่มจับเวลาเมื่อเอาไฟออกจนดับ และระยะเวลาหลังไฟดับแล้วเกิดการหดร่นจนหยุด แล้วบันทึกเวลา....124
รูปที่ 75 ตัวอย่างท่อป้องกันที่ติดตั้งบริเวณริมถนนในซอยสายลม....127
รูปที่ 76 ท่อป้องกันที่ติดตั้งแล้วภายในซอยสายลม....128
รูปที่ 77 สายยูล็อก SECURITY SEALS....128
รูปที่ 78 เส้นทางสำหรับทดลองติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร....130

รูปที่ 79 ระยะเวลาดำเนินการจัดระเบียบสายสัญญาณ – ติดตั้งทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร (ตามแผนเดิม) 131
รูปที่ 80 สายสื่อสารพาดติดเสาไฟฟ้ากดทับสายไฟฟ้าแรงต่ำทำให้เกิดไฟฟ้ารั่ว 134
รูปที่ 81 สายสื่อสารยึดกับเสาไฟฟ้า มีสายไฟฟ้าที่ถูกตัดและพันเทปไว้ แต่ไฟฟ้าไม่สามารถรื้อถอนได้ 135
รูปที่ 82 สายสื่อสารติดตั้งกับเสาไฟฟ้าจำนวนมาก และยังมีลูปอีกจำนวนมาก 135
รูปที่ 83 สายสื่อสารที่ระยะหย่อนยานต่ำกว่ามาตรฐาน อาจถูกรถบรรทุกเกี่ยวดึงสายสื่อสารได้ 136
รูปที่ 84 แร็คไฟแรงต่ำชำรุดเสียหาย และมีการลักลอบนำสายสื่อสารพาดผ่านอยู่ในแร็คไฟแรงต่ำ 136
รูปที่ 85 สายสื่อสารพาดติดเสาไฟฟ้ากดทับสายไฟฟ้าแรงต่ำทำให้เกิดไฟฟ้ารั่ว 137
รูปที่ 86 สายสื่อสารยึดกับเสาไฟฟ้าในระดับที่สูงกว่าสายไฟฟ้าแรงต่ำทำให้พนักงานจัดระเบียบสายสื่อสารไม่สามารถรื้อถอนสายสื่อสารเพื่อจัดระเบียบสายจับยึดใส่ในเควิทได้ 137
รูปที่ 87 สายสื่อสารติดตั้งกับเสาไฟฟ้าจำนวนมาก และมีลูปอีกจำนวนมาก เป็นอันตรายเพราะสายสื่อสารปะปนกับสายแรงดันต่ำ 138
รูปที่ 88 สายสื่อสารพาดสายระหว่างกลางของสายไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ Drop out 138
รูปที่ 89 การอ่านค่าจาก RFID tag เมื่ออ่านโดย RFID reader ที่อยู่กับที่ 140
รูปที่ 90 การอ่านค่าจาก RFID tag เมื่อขับรถผ่าน 140
รูปที่ 91 การทดสอบการอ่านค่าจาก RFID tag บริเวณหน้าสำนักงาน กสทช. (a) RFID reader บนรถยนต์ และ RFID tag ที่ติดบนท่อครอบสายสื่อสาร (b) RFID tag บนท่อครอบสายสื่อสาร 142
รูปที่ 92 การทดสอบติดตั้งและการอ่านค่าจาก RFID tag ณ. กาดรินคำ ริมถนนห้วยแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ (a) RFID tag ติดตั้งกับท่อครอบสายสื่อสาร (b)-(c) ท่อครอบสายสื่อสารติดตั้งครอบสายสื่อสาร โดยประธานในพิธี (d) เวทีที่จัดวาง RFID reader บริเวณลานอเนกประสงค์กาดรินคำ 145
รูปที่ 93 ตัวอย่างข้อมูลจุดติดตั้ง พร้อมรูปถ่าย และรายละเอียด จากในฐานข้อมูล 149

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มา และความสำคัญของโครงการ

ด้วยนโยบายในการดำเนินงานของสำนักงาน กสทช. ประจำปีพ.ศ. ๒๕๖๐ ที่เน้นคุ้มครองผลประโยชน์ของรัฐ และคุ้มครองผลประโยชน์ของประชาชนสูงสุด โดยมีนโยบายการนำสายสื่อสารลงดินและการจัดระเบียบสายสื่อสาร สำนักงาน กสทช. ได้เร่งดำเนินการจัดระเบียบสายสื่อสารโดยดำเนินการร่วมกับผู้ประกอบกิจการโทรคมนาคม การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทั้งนี้เพื่อสร้างทัศนียภาพที่สวยงาม และความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน และกระทรวงมหาดไทยได้มีหนังสือถึงผู้ว่าราชการจังหวัด ทุกจังหวัดทั่วประเทศ เรื่องขอให้สนับสนุนการแก้ไขปัญหากรณีการจัดระเบียบสายสื่อสารที่พาดผ่านเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค หนังสือเลขที่ มท ๐๒๐๑.๓/ว๐๑๒๘๔ ลงวันที่ ๙ มีนาคม ๒๕๖๐ ซึ่งกระทรวงมหาดไทย ต้องการยกระดับการดูแลสังคมและสิ่งแวดล้อมให้มีคุณภาพที่ดี เพื่อให้ทันกับการเปลี่ยนแปลงกับสภาพสังคมและสิ่งแวดล้อมโลกที่มีพลวัตสูงขึ้น หนึ่งในปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือปัญหาสายสื่อสารที่ระโยงระยางบนเสาไฟฟ้า ที่ทำให้ทัศนียภาพของบ้านเมืองและแหล่งท่องเที่ยวไม่สวยงาม อาจจะทำให้เสาไฟฟ้าล้มหักได้ เกิดไฟไหม้สายสื่อสาร ซึ่งยังไม่ทราบสาเหตุว่าเกิดจากเหตุใด โดยสายที่พบจะมีทั้งสายโทรศัพท์ สายอินเทอร์เน็ต และสายเคเบิลทีวี เป็นต้น

โดยการติดตั้งของสายสื่อสาร จะติดตั้งผ่านไปบนเสาไฟฟ้าและมีจำนวนมากจนมีลักษณะเป็นแผง เมื่อเกิดฝนฟ้าคะนองและลมพายุพัดแรง ทำให้ลมพัดผ่านแผงสายสื่อสารจนเกิดการรั้งดึงเสาไฟฟ้าจนเกินความสามารถของเสาไฟฟ้าที่จะรับน้ำหนักได้ ทำให้เสาไฟฟ้าหักโค่นลง และสายสื่อสารดึงให้เสาล้มอีกหลายต้น รวมถึงกรณีที่มีรถบรรทุกขนาดใหญ่ หรือมีความสูงเกินกำหนดเกี่ยวสายสื่อสารบนอากาศ จนทำให้เสาไฟฟ้าหัก และเกิดกระแสไฟฟ้าดับทำให้เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง แหล่งท่องเที่ยวและสถานประกอบการต่าง ๆ ได้รับผลการระทบไม่สามารถดำเนินกิจการได้ ทำให้สูญเสียรายได้ บ้านเรือนประชาชนได้รับความเดือดร้อน รวมทั้งอาจจะเกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่อยู่ในบริเวณที่เกิดเสาไฟฟ้าหักล้ม สายสื่อสารตกลงบนพื้นจำนวนมากก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้สัญจร และระบบสื่อสารไม่สามารถใช้งานได้

สำนักงาน กสทช. ร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้จัดระเบียบสายสื่อสารเป็นประจำทุกปี และจากการจัดระเบียบสายสื่อสารทำให้พบว่า มีสายที่ไม่ได้รับความเห็นชอบจาก กสทช. การไฟฟ้า

นครหลวง (กฟน.) หรือ การไฟฟาส่วนภูมิภาค (กฟภ.) อยู่จำนวนหนึ่ง ประกอบกับมีสายอีกจำนวนหนึ่งที่ผู้ประกอบกิจการไม่ได้มีการปรับปรุงยุบรวมสายให้จำนวนลดลง เมื่อจะให้บริการจะพาดสายเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จึงจำเป็นที่ กสทช. ต้องมีมาตรการให้ผู้ประกอบการจัดระเบียบสาย และปรับยุบรวมสายให้เหลือเส้นผ่านศูนย์กลางของสายตามที่กำหนด และเพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้มีการพาดสายโดยไม่ได้รับอนุญาต จึงเห็นควรจัดทำอุปกรณ์ในการตรวจสอบสายสื่อสารที่ถูกต้อง แยกออกจากสายสื่อสารที่ไม่ถูกต้อง โดยการจัดเก็บข้อมูลสายสื่อสารที่ถูกต้องเป็นข้อมูลสารสนเทศ อาทิ ระบบ Radio frequency identification (RFID) หรือระบบอื่นใด ช่วยอ่านข้อมูลเพื่อความรวดเร็วและแม่นยำ ให้ทราบได้ว่าสายสื่อสารเป็นของหน่วยงานใด จำนวนเท่าใด ส่วนที่อยู่นอกอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารถือว่าเป็นที่ไม่ได้รับความเห็นชอบจาก กสทช. และให้ผู้เป็นเจ้าของเสาดำเนินการตามระเบียบขององค์กรต่อไป

สำนักงาน กสทช. จึงได้มอบหมายให้สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นผู้รับทุนวิจัยโครงการนี้ เพื่อดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของกองทุนฯ โดยทำการศึกษา วิจัย และพัฒนาระบบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร เพื่อประโยชน์สาธารณะ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ และขอบเขตของโครงการ

วัตถุประสงค์

(1) เพื่อวิจัยและพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารโดยการประยุกต์ใช้ อาทิ ระบบ RFID หรืออื่นใด

(2) เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการตรวจสอบสายสื่อสาร

(3) เพื่อนำร่องติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารในเส้นทางที่ได้มีการจัดระเบียบสายสื่อสารของสำนักงาน กสทช. กฟภ. กฟน. และผู้ประกอบกิจการสื่อสาร

ขอบเขตการดำเนินงาน

ภาระหน้าที่รับผิดชอบตามขอบเขตการดำเนินงานมีดังนี้

(1) ศึกษาและวิจัยอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารของต่างประเทศ ในประเทศ จากข่าวสาร กรณีศึกษา งานวิจัย โดยศึกษาให้ครอบคลุมในเรื่องดังต่อไปนี้

(1.1) วิเคราะห์และออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร

(1.2) วิเคราะห์และออกแบบระบบสารสนเทศในการจัดเก็บ และบันทึกข้อมูลจำนวนสายสื่อสารที่พาดบนอากาศของผู้ที่ได้รับความเห็นชอบการใช้สิทธิแห่งทาง

(1.3) วิเคราะห์และออกแบบอุปกรณ์สำหรับตรวจนับจำนวนสายสื่อสารที่พาดบนอากาศ

(2) พัฒนาและจัดทำอุปกรณ์ต้นแบบตรวจสอบสายสื่อสารโดยการประยุกต์ใช้ อาทิ ระบบ RFID หรืออื่นใดในการอ่านข้อมูล จำนวน 1 ชุด และต้นฉบับโปรแกรม ให้สำนักงาน กสทช. พิจารณาให้ความเห็นชอบพร้อมผลการทดสอบ
โดยมีคุณสมบัติอย่างน้อย ดังต่อไปนี้

(2.1) ทนแสงแดด

(2.2) ทนรังสี UV

(2.3) ทนมลภาวะ

(2.4) ทนน้ำ ไม่เป็นสนิม

(2.5) ไม่กรอบแตก น้ำหนักเบา

(2.6) ไม่ติดไฟ มีค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้า

(2.7) ให้รองรับจำนวนและขนาดของสายสื่อสารเส้นผ่านศูนย์กลางรวมไม่ต่ำกว่า 100 มม. ถึง 300 มม.

(2.8) มีตราสัญลักษณ์บนตัวอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารตามที่สำนักงาน กสทช. กำหนด

(3) จัดทำต้นแบบระบบสารสนเทศให้สามารถจัดเก็บ และบันทึกข้อมูลในการจัดเก็บข้อมูลของบริษัทที่ผ่านการได้รับความเห็นชอบจาก กสทช. กฟน. กฟภ. ที่สามารถประกอบประยุกต์ใช้ และเชื่อมโยงข้อมูลกับอุปกรณ์ต้นแบบตรวจสอบสายสื่อสารตามข้อ (2) ให้สำนักงาน กสทช. พิจารณาให้ความเห็นชอบจำนวน 1 ระบบ และต้นฉบับโปรแกรม

(4) จัดทำต้นแบบเครื่องบันทึกและอ่าน RFID หรืออื่นใด สำหรับติดตั้งในรถยนต์และสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการตรวจสอบสายสื่อสารตามข้อ (2) ข้อ (3) ให้ กสทช. พิจารณาให้ความเห็นชอบ จำนวน 1 ชุด และต้นฉบับโปรแกรม

(5) ทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบตามข้อ (2) ข้อ (3) ข้อ (4) และทดสอบติดตั้งอุปกรณ์ใน 1 (หนึ่ง) พื้นที่ที่จัดระเบียบสายเสร็จเรียบร้อย เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานและพัฒนาทดลอง ทดสอบติดตั้งระบบและอุปกรณ์ต่อเนื่องไปยังพื้นที่จัดระเบียบสายสื่อสารในพื้นที่อื่น

(6) จัดเก็บข้อมูลสายสื่อสารรายผู้ประกอบกิจการที่พาดสายบนอากาศ โดยผ่านบนเสาไฟฟ้าทุกช่วงเสาตามพื้นที่ที่กำหนด ให้เป็นเส้นทางติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร เพื่อนำลงฐานข้อมูลในระบบสายสนเทศและเชื่อมโยงข้อมูลเครื่องอ่านค่า และอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร โดยจัดเก็บคุณลักษณะของเส้นเคเบิล อย่างน้อยดังต่อไปนี้

(6.1) ขนาดเส้นเคเบิล สีของเส้น

(6.2) เส้นผ่านศูนย์กลางของสาย

(6.3) จำนวนความจุของสาย (จำนวน core)

(6.4) ชื่อบริษัทที่เป็นเจ้าของสาย

(7) พัฒนาระบบสารสนเทศในการจัดเก็บข้อมูลของบริษัทที่ได้รับความเห็นชอบจาก กสทช. กฟน. กฟภ. เพื่อการบริหารจัดการอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร และต้นฉบับโปรแกรม (Source code)

(8) พัฒนาและจัดทำเครื่องบันทึกและอ่าน อาทิ ระบบ RFID หรืออื่นใดที่สามารถติดตั้งในรถยนต์ หรือแบบเคลื่อนที่ได้ และสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร ที่ผ่านการได้รับความเห็นชอบจาก กสทช. จำนวนไม่น้อยกว่า 3 ชุด และต้นฉบับโปรแกรม และเครื่องทั้งหมดต้องผ่านการทดสอบให้สามารถทำงานได้จริง

(9) เตรียมพื้นที่ก่อนการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร จัดเก็บหรือลดปริมาณสายสื่อสารให้น้อยลงหรือตามที่สำนักงาน กสทช. กำหนด และติดตั้งอุปกรณ์อุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารใน 1 เส้นทางที่มีการจัดระเบียบสายเสร็จเรียบร้อย ในพื้นที่ต่างจังหวัด 4 ภูมิภาค และกรุงเทพมหานคร ระยะทางรวมอย่างน้อย 2 ก.ม. ตามที่สำนักงาน กสทช. กำหนด โดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารระยะ 20 เมตรต่อ 1 ชุด จำนวน 100 ชุด

(10) จัดทำข้อมูลเผยแพร่ในรูปแบบเอกสารสิ่งพิมพ์จำนวน 100 ชุด

(11) จัดทำข้อมูลเผยแพร่ในรูปแบบเอกสารดิจิตอลจำนวน 1 ชิ้นงาน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(1) มีชุดต้นแบบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร และชุดอุปกรณ์ที่สามารถนำไปติดตั้งบนสายสื่อสารที่ได้รับความเห็นชอบจาก กสทช. เพื่อจำกัดจำนวนสายสื่อสารให้เกิดความเป็นระเบียบเรียบร้อย และแยกสายที่ไม่ได้รับความเห็นชอบ การใช้สิทธิตามมาตรา 39 วรรคแรก และสายที่ไม่ได้รับความเห็นชอบจาก กสทช. ให้ กฟภ. กฟน. ดำเนินการตามระเบียบฯ ได้ง่ายขึ้น รวมถึงสำนักงาน กสทช. สามารถจำแนกสายที่ดำเนินการถูกต้องตามประกาศสิทธิแห่งทางได้ง่าย สะดวกขึ้น บริหารจัดการได้อย่างถูกต้องตามประกาศฯ

(2) มีระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร และเครื่องบันทึกและอ่าน อาทิ ระบบ RFID หรืออื่นใด ที่สามารถเก็บข้อมูล อ่านค่าฐานข้อมูล ปรับปรุงฐานข้อมูล และเชื่อมโยงกับต้นแบบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร เพื่อให้ง่ายแก่การตรวจสอบการพาดสายและใช้

สิทธิตามมาตรา 39 วรรคแรกแห่งพระราชบัญญัติการประกอบกิจการโทรคมนาคม พ.ศ. 2544 และประกาศสิทธิแห่งทาง

บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะมี 2 หัวข้อใหญ่ ได้แก่ (1) ทฤษฎี และแนวความคิด และ (2) ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในหัวข้อแรกจะกล่าวถึงองค์ความรู้ในการวิเคราะห์และออกแบบชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบ ดังนี้

(1) อุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร ในส่วนของ RFID technology

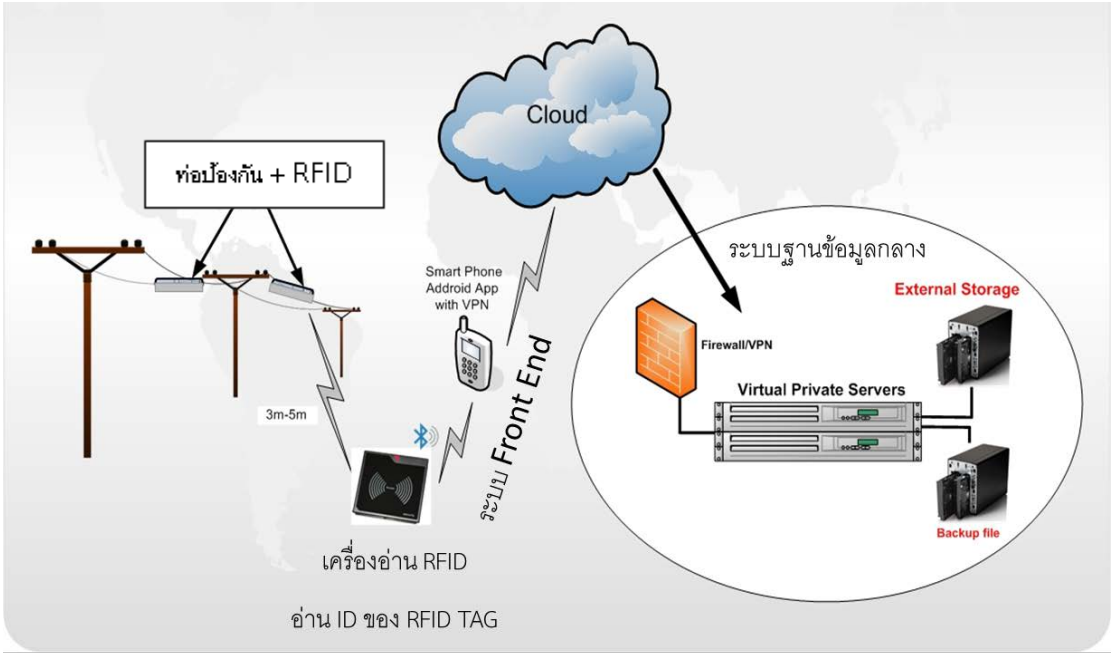
(2) ระบบสารสนเทศ ในการจัดเก็บและบันทึกข้อมูล และ

(3) อุปกรณ์สำหรับตรวจนับจำนวนสายสื่อสาร (RFID reader)

ในหัวข้อที่สองจะกล่าวถึงผลการศึกษาและวิจัยอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารที่สืบค้นได้จากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ

2.1 ทฤษฎี และแนวความคิด

อุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารและโครงสร้างระบบสารสนเทศที่เกี่ยวข้องได้แสดงไว้ ดังรูปที่ 1 และได้นำมาแสดงอีกครั้งในรูปที่ 7 เพื่ออธิบายแนวความคิดและการทำงานของระบบดังนี้



รูปที่ 7 ระบบตรวจสอบสายสื่อสารที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

อุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารประกอบด้วยท่อป้องกัน (protection pipe) และ RFID tag ท่อป้องกันมีไว้สำหรับครอบสายสื่อสารที่พาดไปบนเสาไฟฟ้า และเป็นสายสื่อสารที่ได้รับอนุญาตถูกต้อง ดังนั้นสายสื่อสารที่ไม่ได้รับอนุญาตจะสามารถสังเกตเห็นได้โดยง่าย เพราะจะอยู่ภายนอกท่อป้องกัน ท่อป้องกันจำเป็นจะต้องมีการระบุตำแหน่งที่ติดตั้ง เพื่อที่จะทราบได้ว่าอยู่ที่ตำแหน่งใดบนแผนที่ เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการการค้นหา การเข้าถึง การตรวจนับจำนวน และการซ่อมบำรุง/ปรับปรุง/รื้อถอน นอกจากนั้นท่อป้องกันต้องมีเลขรหัสเฉพาะตัว หรือ ID เพื่อระบุตัวตน และต้องสอดคล้องกับตำแหน่งที่ติดตั้ง เพื่อให้มั่นใจได้ว่าท่อป้องกันที่ได้ติดตั้งไปแล้วยังคงเป็นท่อเดิม อยู่ ณ ตำแหน่งเดิม หรือมีการเปลี่ยนท่อใหม่แทนที่ท่อเก่า (ID เปลี่ยน) โดยหน่วยงานใด และเวลาใด และ/หรือตำแหน่งท่อป้องกันเปลี่ยนไปด้วยหรือไม่ ภายหลังการซ่อมบำรุง/ปรับปรุงครั้งล่าสุด

เมื่อกำหนด ID ให้กับท่อป้องกันแล้ว ก็จะสามารถบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ของสายสื่อสารที่ถูกท่อป้องกันครอบอยู่ รวมทั้งตำแหน่งพิกัดของท่อป้องกัน ให้สอดคล้องกันกับ ID ของท่อป้องกันได้ ดังนั้นเมื่อทราบ ID ของท่อป้องกัน ก็จะสามารถสืบค้นข้อมูลของสายสื่อสารที่พาดผ่านบนเสาไฟฟ้า (และได้รับอนุญาตถูกต้อง) และพิกัดของท่อป้องกัน ณ จุดนั้นได้

รหัส ID จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำถาวรของวงจร RFID ในแผ่นป้าย RFID tag ที่ติดอยู่กับท่อป้องกันแต่ละอัน รหัสนี้จะไม่สามารถแก้ไขได้และจะไม่มีการทำซ้ำ การอ่านรหัส ID ต้องสามารถอ่านได้จากระยะไกล เนื่องจากสายสื่อสารอยู่สูงจากพื้นดินประมาณ 4 – 5 เมตร จึงเป็นการยากต่อการอ่านข้อมูลในระยะใกล้ นอกจากนั้นการอ่าน ID ควรอ่านได้อย่างรวดเร็ว เช่นในขณะขับรถผ่านไปบนถนน เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการตรวจนับจำนวน หรือเพื่อการสุ่มตรวจอุปกรณ์/ทดสอบระบบ ด้วยเหตุนี้เทคโนโลยี Radio Frequency Identification หรือ RFID จึงถูกเลือกใช้ในงานวิจัยนี้

ข้อมูลของสายสื่อสารและท่อป้องกัน (ID และตำแหน่งพิกัด) จะถูกบันทึกไว้ในฐานข้อมูลเพื่อการสืบค้น และตรวจสอบความถูกต้อง ระบบฐานข้อมูลประกอบด้วย ฐานข้อมูลกลาง ณ สำนักงานใหญ่ กสทช มีระบบรักษาความปลอดภัยของข้อมูล โดยมี Firewall และการเชื่อมต่อแบบ VPN (Virtual Private Network) กับอุปกรณ์ต้นทาง (Front-end) ผ่านทาง could network โดยที่ระบบปฏิบัติการของฐานข้อมูลจะเป็นระบบ Linux เพื่อเสถียรภาพและความปลอดภัยของระบบ

อุปกรณ์ต้นทาง ประกอบด้วย (1) เครื่องอ่าน RFID (อุปกรณ์สำหรับตรวจนับจำนวนสายสื่อสาร) สำหรับอ่านข้อมูลรหัส ID ที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำถาวรของ RFID tag และ (2) อุปกรณ์ data logger and display สำหรับบันทึกข้อมูลสายเคเบิลสื่อสารและท่อป้องกัน ณ จุดติดตั้ง ไปยังฐานข้อมูลกลาง โดยผ่านทาง could network ทั้งนี้ระบบปฏิบัติการของ data logger จะเป็นระบบ Android เพื่อความสะดวกในการพัฒนาโปรแกรมระบบตรวจสอบสายสื่อสาร สำหรับใช้บันทึกและ

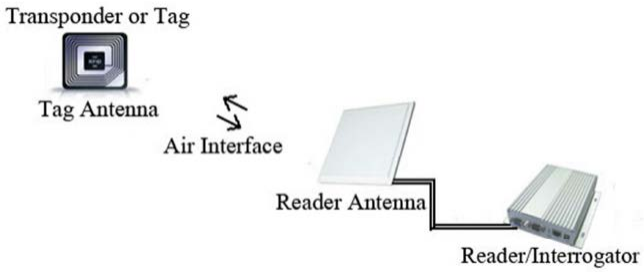
อ่านข้อมูลจากฐานข้อมูลกลาง และเพื่อความสะดวกในการจัดหาและพกพาในขณะปฏิบัติงาน สำหรับเครื่องอ่าน RFID นั้น จะมีโปรแกรมใช้งานที่รองรับระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows จึงต้องมีการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์พกพา และพัฒนาโปรแกรมในส่วนนี้เพื่อให้สามารถสื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์ data logger ได้

2.1.1 อุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร (ในส่วน RFID technology)

2.1.1.1 ระบบ RFID [1]

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification เป็นระบบฉลากหรือป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (Tag) ที่ได้ถูกพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 เพื่อวัตถุประสงค์หลักในการใช้งานที่ระบบฉลากแบบบาร์โค้ดไม่สามารถใช้ได้ โดยจุดเด่นของ RFID คือ ความสามารถในการอ่านข้อมูลของฉลากได้โดยที่ไม่ต้องมีการสัมผัส สามารถอ่านค่าได้แม่นยำแม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดี ทนต่อความเปียกชื้น แรงสั่นสะเทือน การกระทกระแทก และสามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง ปัจจุบันมีการนำ RFID มาประยุกต์ใช้งานหลากหลายไม่ว่าจะเป็นในบัตรชนิดต่าง ๆ เช่นบัตรประจำตัวประชาชน บัตรเอทีเอ็ม บัตรสำหรับผ่านเข้าออกห้องพัก บัตรโดยสารของสายการบิน บัตรจอดรถ ในฉลากของสินค้า หรือแม้แต่ใช้ฝังลงในตัวสัตว์เพื่อบันทึกประวัติ เป็นต้น การนำ RFID มาใช้งานเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบการผ่านเข้าออกบริเวณใดบริเวณหนึ่ง หรือเพื่ออ่านหรือเก็บข้อมูลบางอย่าง เช่น ในกรณีที่เป็นฉลากสินค้า RFID ก็จะถูกนำมาใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า เพื่อให้สามารถทราบถึงที่มาที่ไปของสินค้าชิ้นนั้น ๆ ได้ เป็นต้น สำหรับรูปแบบของเทคโนโลยี RFID ที่ใช้ดังกล่าวมีทั้งแบบสมาร์ทการ์ด (Smart Card) ที่สามารถถูกเขียน หรืออ่านข้อมูลได้โดยไม่ต้องมีการสัมผัสกับเครื่องอ่านบัตร หรือคอนแทคเลสสมาร์ทการ์ด (Contact less Smart card) เหรียญ ป้ายชื่อ หรือฉลากซึ่งมีขนาดเล็กมาก จนสามารถแทรกลงระหว่างชั้นของเนื้อกระดาษ หรือฝังไว้ในตัวสัตว์ได้

i. **องค์ประกอบของระบบ RFID**



รูปที่ 8 องค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบ RFID

องค์ประกอบในระบบ RFID ดังที่แสดงในรูปที่ 8 มี 2 องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ส่วนแรกคือ ฉลากหรือป้ายขนาดเล็กที่จะถูกผนึกอยู่กับวัตถุที่พิจารณา โดยฉลากนี้จะทำการบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้น ๆ ไว้ ฉลากดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า ทรานสพอนเดอร์ (Transponder, Transmitter & Responder) หรือที่เรียกกันโดยทั่ว ๆ ไปว่า “แท็ก” (Tag) ส่วนที่สองคือ อุปกรณ์สำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็ก มีชื่อเรียกโดยรวมว่า ทรานสซิฟเวอร์ (Transceiver, Transmitter & Receiver) หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า “เครื่องอ่าน” (Reader) ทั้งสองส่วนติดต่อสื่อสารถึงกัน โดยอาศัยคลื่นความถี่วิทยุ สัญญาณนี้ผ่านได้ทั้งโลหะและอโลหะ แต่จะไม่สามารถติดต่อกับเครื่องอ่านให้อ่านได้โดยตรง เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านความถี่วิทยุในรูปที่ 8 แสดงถึงความต้องการข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากป้าย ป้ายจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์ โดยเครื่องอ่านจะติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยผ่านสายเครือข่าย LAN (Local Area Network) หรือส่งผ่านทางความถี่วิทยุจากทั้งอุปกรณ์มีสายและอุปกรณ์ไร้สาย

ii.**แท็ก (Tag) หรือ ทรานสปอนเดอร์ (Transponder)**

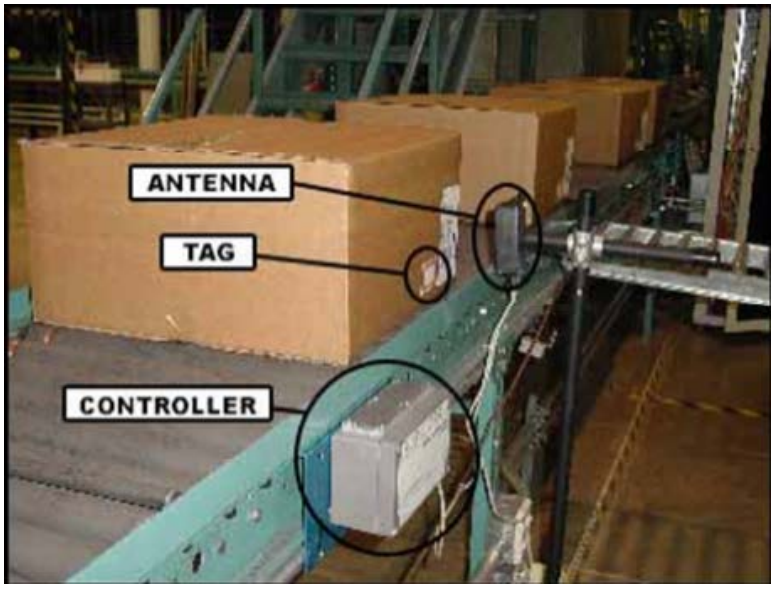
แท็ก (Tag) นั้นเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าทรานสปอนเดอร์ (Transponder) มาจากคำว่า ทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) ผสมกับคำว่าเรสปอนเดอร์ (Responder) ถ้าจะแปลให้ตรงตามศัพท์ แท็กจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณหรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็ก ตอบสนองไปที่ตัวอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกัน โดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศโครงสร้างภายในแท็กจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ได้แก่ ส่วนของไอซี (Integrated Circuit) ซึ่งเป็นชิปสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Chip) และส่วนของขดลวดซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งข้อมูล โดยทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่ออยู่ด้วยกัน ไอซีของแท็กที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็น หรือไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของแท็กนั้นจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่

1) ส่วนของการควบคุมภาครับส่งสัญญาณวิทยุ สำหรับโครงสร้างของส่วนนี้ประกอบด้วยภาคมอดูเลต (Modulation) และภาคดีมอดูเลต (Demodulation) (สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กกับตัวเครื่องอ่าน) และวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

2) ส่วนของการควบคุมภาคดิจิตอล ซึ่งรับหน้าที่จัดการเกี่ยวกับกระบวนการทางดิจิตอลทั้งหมด โครงสร้างหลักของส่วนการทำงานนี้ประกอบด้วย ส่วนบันทึกข้อมูล (ประกอบด้วยหน่วยความจำแรม (RAM) รอม (ROM) อีอีพรอม (EEPROM) ส่วนของการเข้ารหัส (Crypts Unit)

ส่วนตอบรับสัญญาณร้องขอ (Answer to Request) ส่วนควบคุมและประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (Control and Arthritic Unit)

อย่างไรก็ตามโครงสร้างภายในของแท็กที่ต่างผู้ผลิตหรือต่างรุ่นกัน บางกรณีอาจมีส่วนประกอบไม่ครบทุกส่วน ซึ่งรายละเอียดโครงสร้าง ตลอดจนรายละเอียดในการทำงานของแท็กแต่ละรุ่น สามารถตรวจสอบได้จากคู่มือของบริษัทผู้ผลิต



รูปที่ 9 ตำแหน่งของแท็กที่เหมาะสมสำหรับย่านของสายอากาศที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ทรานสปอนเดอร์หรือแท็กมีลักษณะเป็นไมโครชิฟ (Microchip) ที่ยอมให้ผู้ใช้ติดเข้าระหว่างชั้นของกระดาษหรือพลาสติกที่ใช้ทำป้ายฉลาก ชิฟหรือแท็กอาจมีรูปร่างได้หลายแบบขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน โดยอาจมีรูปร่างเหมือนบัตรเครดิตในการใช้งานทั่วไป หรือเล็กขนาดไส้ดินสอยาวเพียง 10 มิลลิเมตร เพื่อฝังเข้าไปใต้ผิวหนังสัตว์ในกรณีนำไปใช้ในงานปศุสัตว์ หรืออาจมีขนาดใหญ่มากสำหรับแท็กที่ใช้ติดกับเครื่องจักรขณะทำการขนส่ง แท็กอาจนำไปติดไว้กับสินค้าในร้านค้าปลีกทั่วไปเพื่อป้องกันมิจฉาชีพ โดยจะมีการติดตั้งสายอากาศของตัวอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ไว้บริเวณประตูทางออกเพื่อทำการตรวจจับขโมย โดยแท็กจะรับพลังงานจากสัญญาณ RF เพื่อติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่าน หรือใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่บรรจุภายในป้าย ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ Lithium ion มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน จึงมักนำมาใช้กับแผ่นป้ายนี้

รูปที่ 10 การอ่าน/เขียนข้อมูลอย่างง่ายของ RFID

แท็กจะประกอบด้วยสายอากาศที่มีขนาดเล็กที่จะช่วยให้แท็กตอบสนองกับเครื่องอ่าน โดยสายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมา เพื่อกระตุ้นให้แท็กอ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป สายอากาศสามารถทำได้ทุกขนาดและรูปร่าง เพื่อที่จะสามารถออกแบบให้ติดตั้งได้ทุกที่ และเพื่อให้เกิดความครอบคลุมได้ดีที่สุด ในบางระบบสายอากาศจะถูกติดเข้ากับ Transceiver ราวกับเป็นอุปกรณ์ชิ้นเดียวกัน

ชิปที่อยู่ในแท็กจะมีหน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านทั้งเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบ ROM จะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่น ข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่ RAM จะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน

นอกจากนี้อาจมีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็ก

แท็กที่มีการใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 2 ชนิด โดยแต่ละชนิดก็จะมีความแตกต่างกันในแง่ของการใช้งาน ราคา โครงสร้าง และหลักการทำงานอยู่ ซึ่งจะสามารถแยกออกเป็น 2 แบบ คือ แยกตามการให้พลังงานกับแท็ก และแยกตามความถี่ในการใช้งาน

สำหรับการแบ่งแยกแบบการให้พลังงานกับแท็กสามารถแบ่งได้ดังนี้

1) แท็กชนิดแอ็กตีฟ (Active Tag) แท็กชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงานอย่างเป็นปกติ โดยแท็กชนิดนี้มีฟังก์ชันการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในแท็กได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กชนิดแอ็กตีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดอายุ จะไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

เนื่องจากจะมีการซีล (Seal) ที่ตัวแท็ก จึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของแท็กให้กินกระแสไฟน้อย ก็อาจมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี

แท็กชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกลสูงสุดถึง 6 เมตร ซึ่งไกลกว่าแท็กชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้แท็กชนิดนี้จะมีข้อดีหลายประการแต่ก็มีข้อเสียด้วยเช่นกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการใช้งานที่จำกัด

2) แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag) แท็กชนิดนี้ไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายใน หรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจรกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว) หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่มีข้อเสียคือระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ มีหน่วยความจำขนาดเล็ก ซึ่งโดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจำเป็นต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้แท็กชนิดพาสซีฟ มักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่มีข้อได้เปรียบในด้านราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ และอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่า ทำให้แท็กชนิดพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า

ไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นแผ่นขนาดเล็ก จนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 11 ตัวอย่างการใช้งาน RFID tag ที่ซ่อนอยู่ในรูปของบัตรเครดิตแสดงในรูปที่ 12

รูปที่ 11 แท็กในรูปแบบต่าง ๆ

รูปที่ 12 ตัวอย่างการใช้งาน RFID tag **และตัวอ่านข้อมูล (**Reader**)**

สำหรับแท็กชนิดพาสซีฟ สามารถแบ่งชนิดย่อยได้ตามความถี่ในการใช้งาน โดยความถี่ที่ต่างกัน ระยะการอ่านของแท็กก็จะแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้

ชนิดของอาร์เอฟไอดีแท็ก	ระยะการอ่าน
Low frequency (LF) passive tags (125 KHz และ 134.3 KHz)	ขนาด tag ปกติจะอ่านได้ที่ระยะน้อยกว่า 30 cm โดยปกติจะอ่านค่าที่ระยะ 10 cm
High frequency (HF) passive tags (13.56 MHz)	ขนาด tag ปกติจะอ่านได้ที่ระยะน้อยกว่า 1.5 m โดยปกติจะอ่านค่าที่ระยะ 10 cm
Ultra high frequency (UHF) passive tags (860-960 MHz) Gen 1	ขนาด tag ปกติจะอ่านได้ที่ระยะน้อยกว่า 1 m โดยปกติจะอ่านค่าที่ระยะ 10 cm
Ultra high frequency (UHF) passive tags (860-960 MHz) Gen 2	ขนาด tag ปกติจะอ่านได้ถึงระยะ 15 m ขึ้นกับขนาดและกำลังของตัวอ่าน

ตารางที่ 1 RFID **ชนิด** passive **ที่ย่านความถี่ต่าง ๆ และระยะการอ่าน**

iii.**ตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator)**

หน้าที่สำคัญของตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) คือ การรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็ก แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับซึ่งกระทำโดยไมโครคอนโทรเลอร์อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรเลอร์จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณถอดรหัสสัญญาณที่ได้ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อย ๆ ไม่สิ้นสุด

ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่า ระบบ "Hands Down Polling" โดยตัวอ่านข้อมูลจะสั่งให้แท็กหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลายชิ้นอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า "Batch Reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถในการจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้

iv.**ส่วนประกอบของตัวอ่านข้อมูล RFID**

ตัวอ่าน RFID จะมีส่วนประกอบหลักดังนี้

1) ภาคส่งสัญญาณวิทยุ เกิดจากส่วนต่าง ๆ ตั้งแต่ภาคกำเนิดความถี่ ซึ่งอาจจะเป็นคริสตอลออสซิลเลตอร์ หรือวงจร LC ออสซิลเลเตอร์ วงจรเฟสล็อกลูปเพื่อควบคุมความถี่ให้มีความแม่นยำมากขึ้นภาคขยายกำลัง (Power Amplifier) สำหรับขับกำลังออกไปที่สายอากาศ

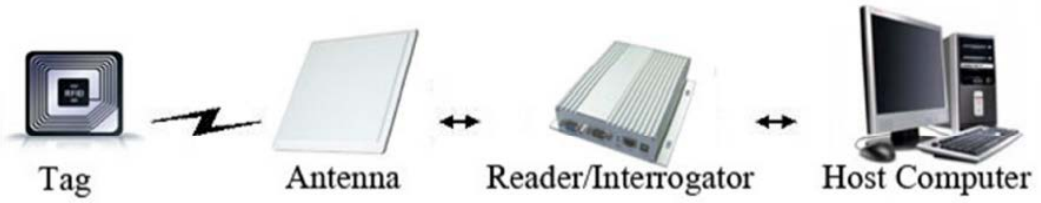
2) ภาครับสัญญาณวิทยุ เป็นส่วนที่รับสัญญาณที่สะท้อนกลับคลื่นวิทยุจากสายอากาศ ซึ่งจะมีทั้งข้อมูลและสัญญาณพาหะกลับมาด้วย

3) ภาคประมวลผลดิจิตอล สัญญาณที่ได้จากภาคยังคงเป็นสัญญาณที่ไม่สามารถนำไปใช้ได้ต้องผ่านการประมวลผลต่าง ๆ เพื่อคัดกรอง แยกข้อมูลที่ต้องการนำไปใช้ต่อไป

4) ภาคติดกับภายนอก หลังจากที่ได้ข้อมูลจากส่วนประมวลผล แล้วข้อมูลจะต้องถูกส่งออกไปยังภายนอกหรือผู้ที่จะนำข้อมูลไปใช้ ซึ่งจะมีวิธีการเชื่อมต่อออกไปหลายรูปแบบขึ้นกับขนาดของโครงการที่นำ RFID ไปใช้ในธุรกิจ การเชื่อมต่อต่าง ๆ เช่น RS-232 USB Ethernet CANbus หรือบางกรณีก็สามารถต่อเข้ากับส่วนแสดงข้อมูลเช่นจอ LCD ได้ทันที เช่นเครื่องอ่านแบบมือถือ (Hand Held) ในกรณีที่ต่อผ่าน RS-232 หรือ USB จะเป็นการต่อตรงเข้ากับคอมพิวเตอร์ ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลและจัดเก็บลงฐานข้อมูลเพื่อประมวลผล รายงานต่อไป แต่ถ้าเชื่อมต่อผ่าน Ethernet จะเป็นการนำไปใช้ในระบบงานขนาดใหญ่ เช่น ในโรงงานผลิตสินค้า หรือศูนย์กระจายสินค้า เป็นต้น

v.**ลักษณะการทำงานของระบบ RFID**

หัวใจของเทคโนโลยี RFID ได้แก่ "Inlay" ที่บรรจุอุปกรณ์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์กับโลหะที่ยืดหยุ่นได้สำหรับการติดตาม หรือทำหน้าที่เป็นสายอากาศ Inlay มีความหนาสูงสุดอยู่ที่ 0.375 มิลลิเมตร สามารถทำเป็นแผ่นบางอัดเป็นชั้น ๆ ระหว่างกระดาษ แผ่นฟิล์ม หรือพลาสติกก็ได้ ซึ่งเป็นการผลิตเครื่องหมายหรือฉลาก จากวัสดุที่มีราคาไม่แพงมากนัก ซึ่งจะเห็นว่า Inlay มีลักษณะรูปร่างที่บางมาก จึงทำให้ง่ายต่อการติดเป็นป้ายชื่อหรือฉลากของชิ้นงานหรือวัตถุนั้นได้สะดวก RFID เป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะ เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า แท็ก (Tag) และตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่งมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวรับข้อมูลดังแผนผังการทำงานของระบบ RFID ในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แผนผังการทำงานของระบบ RFID

การประยุกต์ใช้งาน RFID จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกับบาร์โค้ด (Bar code) และยังสามารถรองรับความต้องการอีกหลายอย่างที่บาร์โค้ดไม่สามารถตอบสนองได้ เนื่องจากบาร์โค้ดจะเป็นระบบที่อ่านได้อย่างเดียว (Read only) ไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่อยู่บนบาร์โค้ดได้ แต่แท็กของระบบ RFID จะสามารถทั้งอ่านและบันทึกข้อมูลได้ ดังนั้นเราจึงสามารถเปลี่ยนแปลงหรือทำการบันทึกข้อมูลที่อยู่ในแท็กได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน

นอกจากนี้ระบบ RFID ยังสามารถใช้งานได้แม้ในขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ เช่นในขณะสินค้ากำลังเคลื่อนที่อยู่บนสายพานการผลิต (Conveyor) หรือในบางประเทศก็มีการใช้ระบบ RFID ในการเก็บค่าผ่านทางด่วนโดยที่ผู้ใช้บริการทางด่วนไม่ต้องหยุดรถเพื่อจ่ายค่าบริการ ผู้ใช้บริการทางด่วนจะมีแท็กติดอยู่กับรถ และแท็กจะทำการสื่อสารกับตัวอ่านข้อมูล ผ่านสายอากาศขนาดใหญ่ที่ติดตั้งอยู่ตรงบริเวณทางขึ้นทางด่วนในขณะที่รถแล่นผ่านสายอากาศ ตัวอ่านข้อมูลก็จะคิดค่าบริการ และบันทึกจำนวนเงินที่เหลือลงในแท็กโดยอัตโนมัติ หรือแม้กระทั่งการใช้งานในปศุสัตว์เพื่อบันทึกประวัติหรือระบุความแตกต่างของสัตว์แต่ละตัวที่อยู่ในฟาร์ม

ข้อดีของระบบ RFID อีกประการคือ แท็กและตัวอ่านข้อมูลสามารถสื่อสารผ่านตัวกลางได้หลายชนิด เช่น น้ำ พลาสติก กระจก หรือวัสดุทึบแสงอื่น ๆ ในขณะที่บาร์โค้ดทำไม่ได้

vi.**วิธีการรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน**

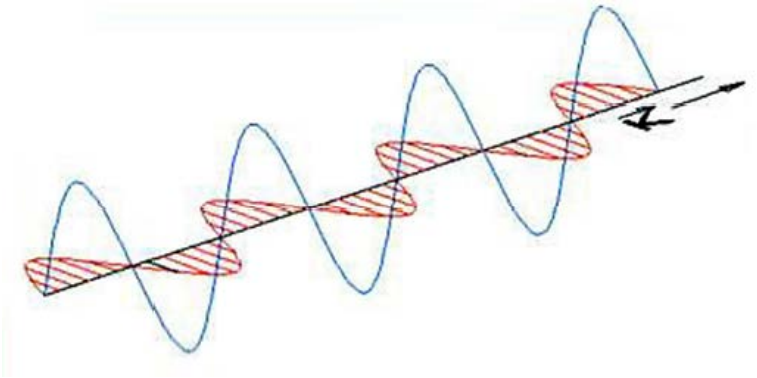
โดยมากมักจะใช้วิธีการมอดูเลตทางแอมปลิจูด หรือใช้การมอดูเลตทางแอมปลิจูดบวกกับการเข้ารหัสแมนเชสเตอร์ (Manchester encoded AM) แต่ทว่าในปัจจุบันก็มีแท็กที่ใช้การมอดูเลตแบบอื่นด้วย เช่น การมอดูเลชั่นแบบเฟสชีฟคีย์อิ้ง (Phase Shift Keying : PSK) ฟรีเควนซี่ชีฟคีย์ (Frequency Shift Keying : FSK) หรือการใช้การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation : FM)

ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ความยาวของสายอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมคือ 22.12 เมตร แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถนำสายอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้งานกับแท็กขนาดเล็กได้ ซึ่งขนาดสายอากาศที่เหมาะสมในการนำมาใช้ร่วมกับแท็กมากที่สุดก็คือ สายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) โดยสายอากาศประเภทนี้มีหลายชนิด ทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นลูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกัน

นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้ว สายอากาศยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับแท็กด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของแท็ก เมื่อแท็กและเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวของคลื่นพาหะที่ใช้ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer-type Coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในทรานสฟอร์เมอร์ (Transformer) จึงเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของแท็ก

vii.**หลักการทำงานของระบบ RFID**

คลื่นวิทยุเป็นส่วนประกอบของสนามไฟฟ้า (Electronic Field) และสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) ซึ่งเดินทางไปทิศทางด้วยกันแต่ทั้งสองสนามจะทำมุมตั้งฉากกัน (Orthogonal) เสมอ โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถเดินทางด้วยความเร็ว 299,792,458 เมตรต่อวินาที ซึ่งใกล้เคียงกับความเร็วแสง ที่ 300,000 กิโลเมตร/วินาที ในรูปที่ 14 เป็นการเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า



รูปที่ 14 การเคลื่อนที่ของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

คุณสมบัติของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่น่าสนใจ

1) ไม่จำเป็นต้องมีตัวกลางในการเคลื่อนที่

2) สามารถเปลี่ยนแปลงถ่ายเทพลังงานจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งได้

3) สามารถถูกปล่อยออกมาและดุดกลืนได้โดยสสารหรือวัตถุใด

4) มีคุณสมบัติในการแทรกสอด สะท้อน หักเห และเลี้ยวเบนได้

ในการนำคลื่นวิทยุมาใช้ในในการบ่งชี้ จะมีหลักการทำงาน 2 วิธีการคือ

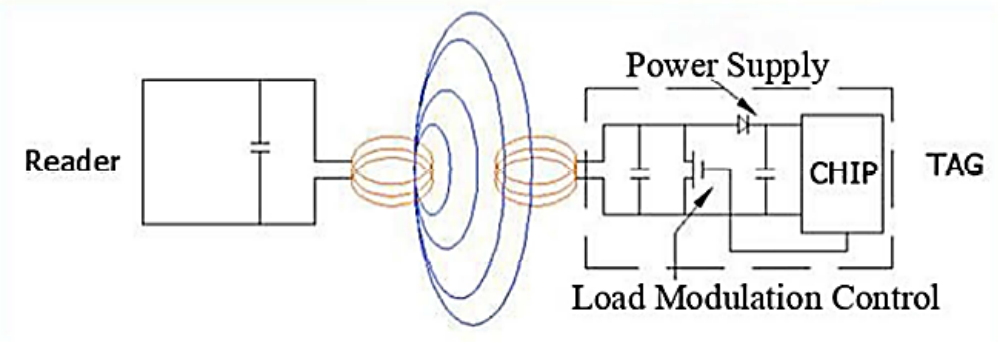
1) RFID ทำงานด้วยหลักการเหนี่ยวนำคลื่นวิทยุ (Inductive Coupling)

2) RFID ทำงานด้วยหลักการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ (Propagation Coupling)

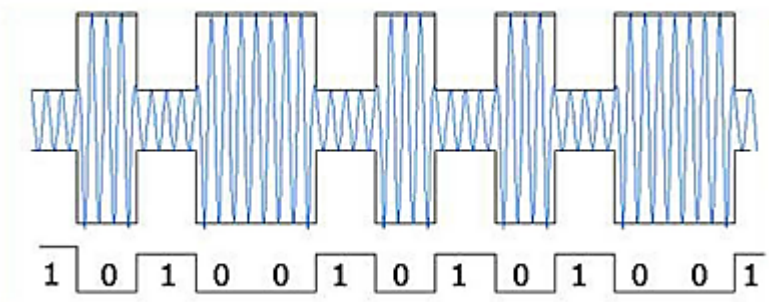
ซึ่งทั้งสองแบบมีการทำงานที่แตกต่างกัน ทำให้อุปกรณ์ในทางกายภาพมีความแตกต่างกัน โดยรายละเอียดของแต่ละวิธีการมีดังนี้

1) RFID ทำงานด้วยหลักการเหนี่ยวนำคลื่นวิทยุ (**Inductive Coupling**) เป็นวิธีการที่ใช้กันใน RFID ที่ทำงานในย่านความถี่ต่ำและความถี่สูง เมื่อพิจารณาจากหลักการของคลื่นวิทยุโดยกฎของฟาราเดย์ (Faraday's Law) เมื่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตัดกับขดลวดจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นในขดลวดนั้น โดยหลักการของ RFID เมื่อเครื่องอ่าน (Reader) ต้องการค้นหาแท็กในบริเวณที่ครอบคลุม ก็จะส่งกระจายคลื่นวิทยุออกไปในทุกทิศทุกทาง และเมื่อคลื่นวิทยุซึ่งก็คือสนามแม่เหล็กไฟฟ้าตัดกับขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศของแท็ก จะเกิดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขึ้น ตามรูปที่ 15 แต่เนื่องจากระดับของแรงดันนั้นมีน้อยมาก จึงต้องมีวงจรเพิ่มแรงดันซึ่งประกอบด้วยไดโอดจำนวนหนึ่งประกอบกันเป็นวงจรทวีคูณแรงดัน จนระดับที่วงจรไมโครโปรเซสเซอร์ในแท็กทำงานได้และอ่านค่าประจำตัวของแท็กซึ่งเก็บอยู่ในหน่วยความจำมาเตรียมพร้อมที่จะส่งกลับ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วแท็กไม่สามารถส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านได้โดยตรง แต่การส่งกลับจะใช้วิธีการ Load Modulation โดยไมโครโปรเซสเซอร์บนแท็กจะทำงานเป็นโหลดให้กับเครื่องอ่านดึงและปล่อย

สัญญาณเป็นจังหวะตามข้อมูลของค่าประจำตัวในแต่ละบิตของแท็กจนครบทุกบิต ซึ่งด้านสายอากาศด้านรับของเครื่องอ่านจะมีภาครับสัญญาณที่สะท้อนกลับนี้ไปผ่านภาคถอดรหัสข้อมูลออกมา (demodulate) ซึ่งจะรับรู้หมายเลขของแท็กได้ โดยการเข้ารหัสนี้จะเป็นวิธีการที่เรียกว่า Amplitude Modulation ตัวอย่างสัญญาณ Amplitude modulation ดังรูปที่ 16

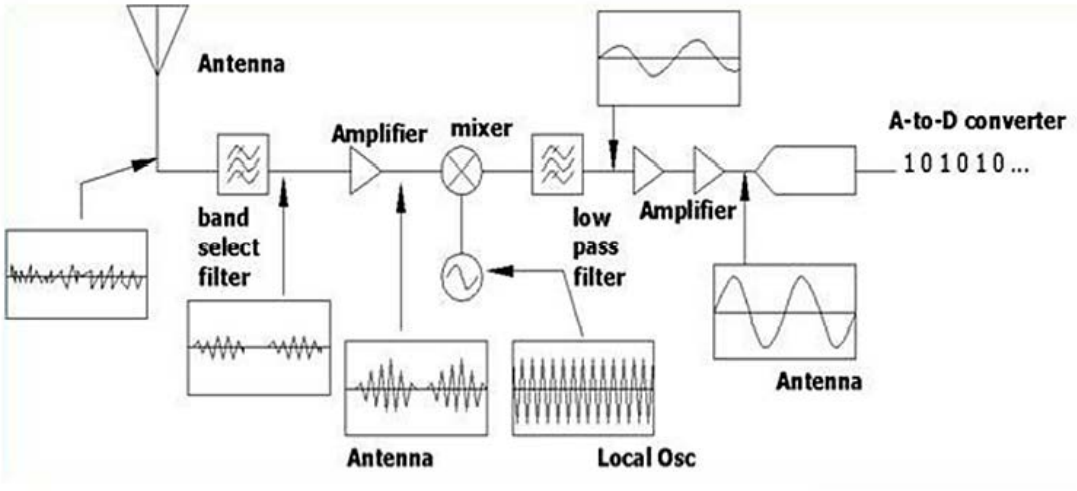


รูปที่ 15 การติดต่อกันระหว่างเครื่องอ่านและแท็ก ในการทำงานแบบ inductive coupling



รูปที่ 16 ตัวอย่างสัญญาณ Amplitude Modulation

2.) RFID ทำงานด้วยหลักการแผ่กระจายคลื่นวิทยุ (**Propagation Coupling**) เป็นวิธีการที่ใช้กันใน RFID ที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) จะเรียกว่าเป็นแบบแผ่กระจาย (propagation coupling) โดยเครื่องอ่านจะส่งพลังงานในรูปคลื่นวิทยุ (Electromagnetic Field) ออกมา ทำให้เมื่อแท็กได้รับสัญญาณผ่านสายอากาศ แท็กจะทำงานโดยการสะท้อนกลับคลื่นที่ได้รับ ซึ่งจะเป็นค่า ID หรือรหัสประจำตัวกลับไปยังเครื่องอ่าน (Back Scattering) โดยวิธีการนี้ทำให้สามารถอ่านได้ระยะไกลมากขึ้นกว่าแบบ Inductive Coupling ซึ่งโดยทั่วไปจะมีระยะตั้งแต่ 2 ถึง 10 เมตร ขึ้นอยู่กับกำลังส่งและขนาดของเครื่องอ่านนั้น ๆ



รูปที่ 17 ตัวอย่างภาครับของ RFID tag **ที่ทำงานแบบแผ่กระจายคลื่นวิทยุ**

2.1.1.2 ข้อมูลมาตรฐานระบบ RFID UHF (Gen 2)

จากประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์สำหรับเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID เล่ม 134 ตอนพิเศษ 289 ง ราชกิจจานุเบกษา 24 พฤศจิกายน 2560 ได้กำหนดมาตรฐานทางเทคนิคสำหรับ RFID ชนิดอ่าน/เขียน หรือตัว RFID Reader ย่านความถี่ 920-925 MHz ไว้ดังนี้

1) กำลังส่งสูงสุด (Maximum transmit power) จะต้องไม่เกินค่าดังต่อไปนี้

กำลังส่งสูงสุด	เงื่อนไข
50 mW (e.i.r.p.)	ได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาตให้ ทำ มี ใช้ นำเข้าและนำออกซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม และตั้ง สถานีวิทยุคมนาคม
0.5 W (e.i.r.p.)	ได้รับยกเว้นใบอนุญาตให้มี ใช้ หรือนำออกซึ่งเครื่องวิทยุคมนาคม และตั้งสถานีวิทยุคมนาคม
4 W (e.i.r.p.)	ต้องได้รับใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2 การต้องได้รับอนุญาตที่กำลังส่งค่าต่างๆ

2) ลักษณะทางเทคนิคภาคส่ง และภาครับ ให้เป็นไปตามที่กำหนดไว้ในมาตรฐานใดมาตรฐานหนึ่งดังต่อไปนี้

2.1) FCC Part 15.247 : Code of Federal Regulations (USA); Title 47 Telecommunication; Chapter 1 Federal Communications Commission; Part 15 Radio Frequency Devices; Subpart C – Intentional Radiators; §15.247 Operation within the bands 902– 928 MHz, 2400–2483.5 MHz, and 5725–5850 MHz

2.2) FCC Part 15.249 : Code of Federal Regulations (USA); Title 47 Telecommunication; Chapter 1 Federal Communications Commission, Part 15 Radio Frequency Devices; Subpart C – Intentional Radiators; §15.249; Operation within the bands 902–928 MHz, 2400–2483.5 MHz, 5725–5875 MHz, and 24.0–24.25 GHz

2.3) ETSI EN 302 208 : Radio Frequency Identification Equipment operating in the band 865 MHz to 868 MHz with power levels up to 2 W and in the band 915 MHz to 921 MHz with power levels up to 4 W; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the Directive 2014/53/EU

หมายเหตุ ให้น่ามาตรฐาน ETSI EN 302 208 มาใช้บังคับกับเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification: RFID ที่ใช้งานในย่านความถี่วิทยุ 920 - 925 MHz ได้โดยอนุโลม หรับตัวอ่านข้อมูลจะส่งกำลังได้ไม่เกิน 4 W EIRP

2.1.2 ระบบสารสนเทศ ในการจัดเก็บและบันทึกข้อมูล

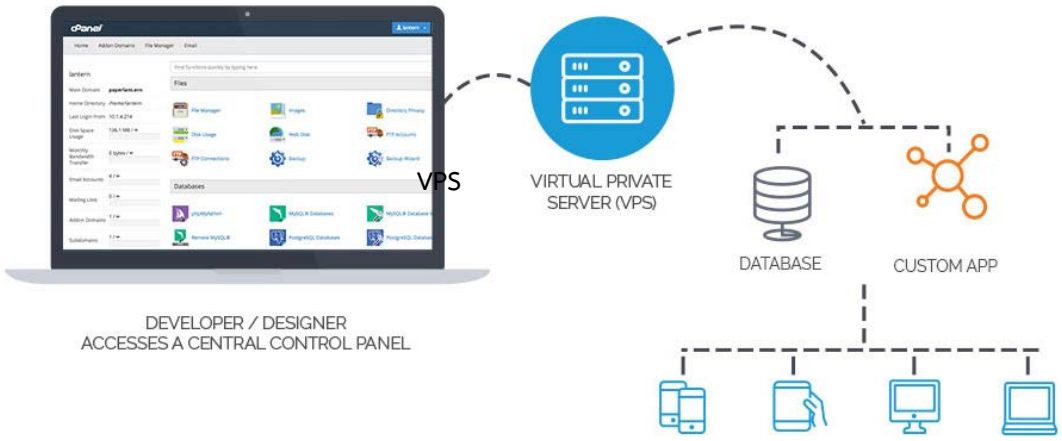
องค์ความรู้ระบบสารสนเทศข้อมูลแบบ VPN VPS และ network security ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งาน

เนื่องจากระบบสื่อสารปัจจุบันมีความสะดวกและมีความเร็วสูงขึ้นมาก ทำให้การใช้งานมีการปรับเปลี่ยนไปจากอดีตอย่างมาก ระบบคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ที่เดิมออกแบบให้อยู่ในองค์กรสร้างระบบโครงสร้างพื้นฐานรองรับ เช่น ระบบควบคุมอุณหภูมิ ระบบควบคุมความชื้น ระบบไฟฟ้าระบบสำรองข้อมูล ตลอดการเชื่อมต่อกับเครื่องลูกข่ายทั้งภายในและภายนอก ทั้งหมดนี้จำเป็นต้องใช้บุคลากรและทรัพยากรของหน่วยงานมารองรับพอสมควร

หลังจากอุปกรณ์ประเภทมือถือและ tablet มีความนิยมใช้กันอย่างมากจนขีดความสามารถในการทำงานแทบจะเทียบเท่าเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ รูปแบบการทำงานจึงเริ่มเปลี่ยนไป เจ้าหน้าที่ไม่จำเป็นต้องเดินทางมาประจำอยู่ที่สำนักงาน ก็สามารถทำงานได้ผลเท่าเดิมและรวดเร็วกว่ามาก ข้อมูลที่ใช้ไม่อยู่ที่เครื่องที่ใช้ทำงาน เริ่มคุ้นเคยกับการเก็บข้อมูลเข้า cloud ซึ่งเป็นบริการจัดเก็บข้อมูลจากผู้ให้บริการเครือข่าย ตามรูปที่ 18

รูปที่ 18 ข้อมูลประเภทต่างๆในระบบ clould

จากผู้ใช้งานทั่วไปตามบ้านที่ใช้บริการ cloud เริ่มมีการพิจารณาใช้กับองค์กรเพิ่มขึ้นจน ขณะนี้หลายองค์กรเปลี่ยนจากการลงทุนสร้างระบบเอง ไปใช้บริการจากผู้ให้บริการแทน เพราะนอกจากประหยัดงบประมาณในการใช้จัดซื้ออุปกรณ์และดูแลแล้ว ยังไม่จำเป็นต้องใช้บุคลากรที่เป็นผู้เชี่ยวชาญพิเศษในการรับผิดชอบอีกด้วย



รูปที่ 19 การให้บริการแบบ Virtual Private Server (VPS)

เครื่องแม่ข่ายเดิมที่หน่วยงานต้องจัดหา จึงมีการปรับเปลี่ยนไปเป็นการไปฝากวางที่ผู้ให้บริการหรือที่เรียกว่า Co-location โดยเครื่องนั้นยังเป็นทรัพย์สินของหน่วยงาน แต่ยังมีปัญหาคือหากอุปกรณ์เสียหรือต้องการอัพเกรดอุปกรณ์ จะต้องจัดหางบประมาณมาดูแล จึงมีให้บริการอีกแบบคือ VPS (Virtual Private Server) ตัวอย่างเช่นตามรูปที่ 19 ซึ่งจะใช้เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงมาก CPU หลายสิบตัว หน่วยความจำสูงมาก และใช้ระบบ Visualization ให้สามารถแบ่งเป็น server เสมือนได้หลายตัว สามารถกำหนด server ที่ต้องการ มีจำนวน CPU,

หน่วยความจำ พื้นที่ Harddisk ได้อิสระขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้ เป็นการลดภาระจัดหาอุปกรณ์และดูแลอุปกรณ์ และได้คอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่มีประสิทธิภาพสูงตลอดเวลาโดยไม่จำเป็นต้องเตรียมเจ้าหน้าที่คอยดูแลตลอดเวลา

เนื่องจากข้อดีต่าง ๆ ทั้งในแง่ค่าใช้จ่าย การดูแลรักษา การเคลื่อนย้ายข้อมูล การสำรองข้อมูล ในระยะหลังหน่วยงานต่าง ๆ จึงนิยมใช้ VPS มากเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ระบบที่ทีมงานใช้พัฒนาก็จะเป็นระบบ VPS เช่นกัน โดยมีเป็น VPS 2 ตัว ติดตั้งบนเครื่อง Server เดียวกัน และอีกชุดติดตั้งแยก Server เพื่อกรณีที่ Hardware มีปัญหาปกติจะไม่เกิดพร้อมกันทุกตัว ทำให้ระบบที่เหลือยังสามารถทำงานต่อได้โดยไม่ติดขัด

นอกเหนือจากความมั่นคงของอุปกรณ์แล้ว ยังต้องคำนึงถึงความมั่นคงของข้อมูล High Availability ที่จะต้องเตรียมไว้ ฐานข้อมูลมีให้เลือกใช้หลายระบบแบ่งเป็น 2 ค่ายใหญ่คือ ค่ายที่ต้องซื้อลิขสิทธิ์เช่น Oracle, Microsoft SQL กับค่าย Open Source เช่น MySQL, PostGreSQL ฐานข้อมูลที่นิยมใช้กันทั่วโลกคือ MySQL, PostGreSQL ซึ่งมีข้อดีข้อด้อยต่างกัน

PostGreSQL พัฒนามาจาก POSTGRES 4.2 โดยมหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย (Berkeley Computer Science department, University of California.) เป็นระบบการจัดการฐานข้อมูลเชิงวัตถุ-สัมพันธ์ (object-relational) แบบ ORDBMS โดยสามารถใช้รูปแบบคำสั่งของภาษา SQL ได้เกือบทั้งหมด

MySQL MySQL AB ในสวีเดน มี function การทำงานแบบ relation database management system (RDBMS) โดยอาศัย Structured Query Language (SQL) เป็นภาษาในสื่อสาร มีจุดเด่นที่มีผู้ร่วมพัฒนามากมาย มีประสิทธิภาพสูง ความเร็วและความเสถียรของฐานข้อมูลดีมาก ส่วน PostGreSQL แม้ว่าจะมีประสิทธิภาพดีแต่ปัญหาคือ มีผู้ดูแลระบบน้อย จึงไม่มีการพัฒนาเพิ่มเติมมากนัก จึงทำให้ MySQL มีความนิยมใช้สูงกว่า เมื่อปี พ.ศ. 2551 บริษัท Sun Microsystem เข้าซื้อบริษัทที่เป็นเจ้าของ แต่ยังเปิดเป็น Open Source เหมือนเดิม และเมื่อปี พ.ศ. 2554 บริษัท Oracle Corporation ได้ทำการซื้อบริษัท Sun Microsystem อีกครั้ง ครั้งนี้ทีมงานหลักที่พัฒนา (ผู้

ก่อตั้ง) ได้แยกตัวไปเปิดบริษัท Monty Program AB พัฒนาระบบฐานข้อมูลตัวใหม่ ชื่อ MariaDB ซึ่งเหมือน MySQL ทุกอย่าง ทำให้ผู้ที่ใช้ MySQL เดิม สามารถย้ายมาใช้ MariaDB ได้ทันที

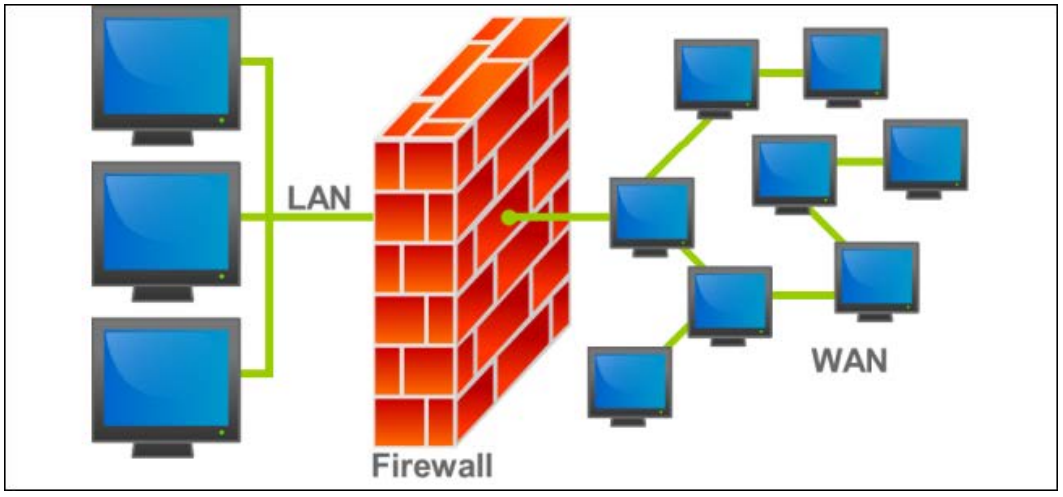
MariaDB Galera Cluster เป็น Synchronous replication แบบ master-master replication (Active-active multi-master topology) ต้องใช้ Server จำนวน 3 เครื่องขึ้นไปในการทำงาน โดยความสามารถของ MariaDB Galera Cluster นั้น เป็นการช่วยเสริมความมั่นคง และเหมาะกับระบบที่เน้นข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่บ่อยครั้ง เพราะจากแต่เดิมนั้น เรามักใช้ MySQL หรือ MariaDB ในรูปแบบ standalone server แบบเดิม ซึ่งอาจจะปรับไปใช้รูปแบบโครงสร้างที่ชื่อว่า Asynchronous replication (master-slave replication) โดยรูปแบบดังกล่าวมีข้อเสียในด้านความมั่นคงของข้อมูลที่ master server ที่ใช้เพื่อ เพิ่ม ลบ และเปลี่ยนแปลงข้อมูล ที่มีเพียง server ตัวเดียวที่ทำงานเหล่านี้ได้ และมักเน้นหนักไปที่การอ่านข้อมูลมากกว่าการเปลี่ยนแปลงข้อมูล ซึ่งอาจเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้ master server หยุดทำงานไป มีผลทำให้ไม่สามารถ เพิ่ม ลบ และเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้ ทำให้การให้บริการเต็มรูปแบบนั้นหยุดลง ด้วยเหตุผลดังกล่าว เราจึงจำเป็นต้องหาแนวทางที่ชื่อว่า Synchronous replication หรือ multi-master replication (Active-active multi-master topology) ของ MariaDB Galera Cluster โดยต้องทำการย้ายฐานข้อมูลจาก MySQL หรือ MariaDB ในรูปแบบ standalone server หรือใช้รูปแบบโครงสร้าง Asynchronous replication (master-slave replication) ไปใช้ MariaDB Galera Cluster เพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

จุดสำคัญของตัว MariaDB Galera Cluster คือ มันสามารถอ่าน และเขียนได้จาก cluster node ใดๆ ก็ได้ โดยที่มีระบบ membership control สามารถปลดออกจากกลุ่มเมื่อพบความผิดพลาด หรือเพิ่ม cluster node อัตโนมัติเมื่อมีการเพิ่มเข้ามาในระบบ โดยข้อมูลในการจัดการภายในเป็นแบบเป็น parallel replication ระดับ row

สำหรับการเชื่อมต่อกับ MariaDB Galera Cluster นั้นสามารถใช้ MySQL Library โดยทั่วไป โดยไม่ต้องแก้ไข code ใดๆ (นอกจากแก้ไขตามข้อจำกัดของระบบ Cluster บางอย่าง)

ทีมงานได้เลือกใช้ระบบฐานข้อมูล MariaDB Galera Cluster เป็น Synchronous replication แบบ master-master replication (Active-active multi-master topology) ซึ่งทำงานเป็นลักษณะของ Cluster คือจะมีฐานข้อมูลหลัก 3 ชุด สำรองข้อมูลให้ทันสมัยตลอดเวลา ฐานข้อมูลสองชุดจะเป็น VPS และฐานข้อมูลชุดที่สามจะเป็นเครื่องแยกจาก VPS สำรองไว้กรณีเกิดปัญหา และหากมีฐานข้อมูลชุดใดชุดหนึ่งมีปัญหาชุดที่เหลือยังคงทำงานต่อได้ และเมื่อชุดที่มีปัญหากลับมาใช้งานได้ ระบบจะทำการโหลดหาฐานข้อมูลล่าสุดมาใช้งาน ทำให้ฐานข้อมูลทันสมัยล่าสุดและมั่นคงตลอดเวลา

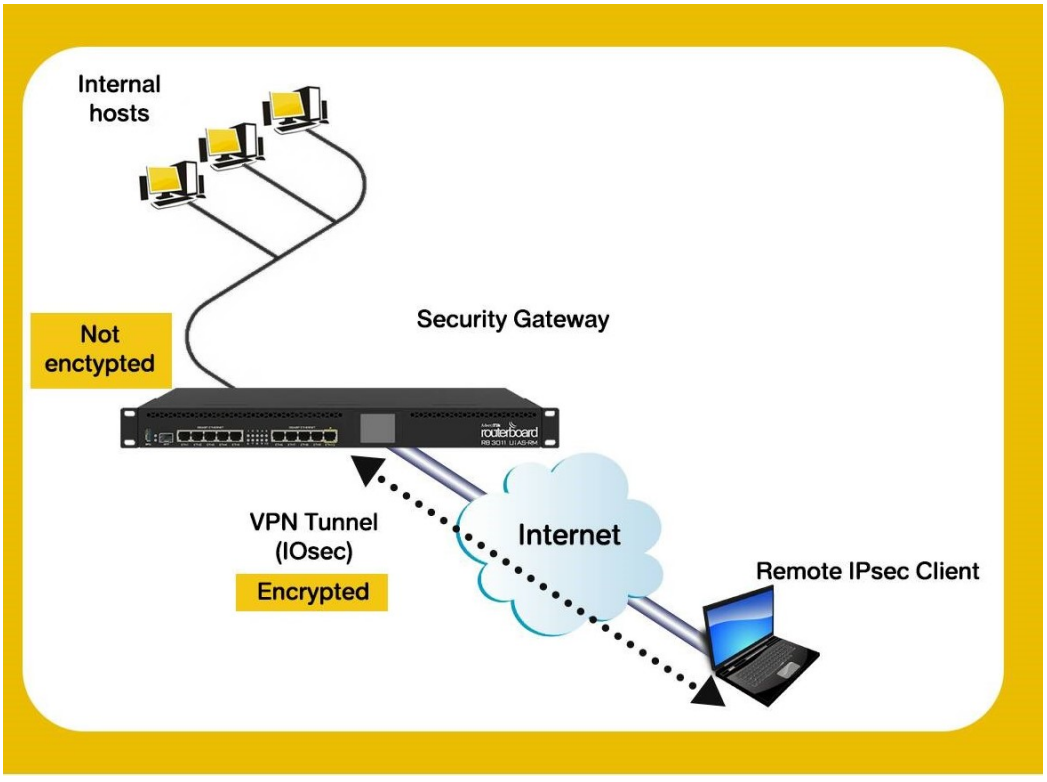
นอกจากความมั่นคงของข้อมูลแล้ว เรื่องความปลอดภัยจะเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญมาก เพราะการใช้งานจริง จะมีการใช้งานจากภายนอกผ่านระบบอินเตอร์เน็ต ซึ่งมีผู้ไม่ประสงค์ดี รอเข้าโจมตีตลอดเวลา การออกแบบระบบจึงซ่อนทุกอย่างหลัง Firewall Gateway ตามรูปที่ 20 ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถเห็นได้โดยตรงผ่านเครือข่ายสาธารณะ ผู้ใช้งานทั้งหมดจะต้องเพิ่มการเข้ารหัสทำ VPN ผ่าน Firewall เข้ามา จึงจะสามารถเข้าสู่ระบบได้ ระบบ VPN ที่เลือกใช้ จะเป็นชนิด IPsec VPN



รูปที่ 20 การรักษาความปลอดภัยการใช้งานผ่าน internet **โดยระบบ** Firewall

ระบบ VPN (Virtual Private Network) เป็นการเข้ารหัสข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์หนึ่งส่งผ่านเครือข่ายสาธารณะเช่น Wi-Fi ไปยังคอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่ง ตามรูปที่ 21 ซึ่งจะมีกุญแจถอดรหัสที่ตกลงกันไว้ทำการถอดรหัสข้อมูลออกมา เปรียนเสมือนเราส่งของโดยใส่เข้าไปในตู้เซฟโดยใครก็ได้ไปถึงปลายทาง ปลายทางจะมีกุญแจที่เราให้ไว้จึงสามารถเปิดดูของที่เราส่งให้แต่ผู้เดียว หากมีใครแอบเอาสินค้าเราไปก็จะไม่สามารถเปิดได้ เพราะกุญแจนั้นมีแต่ผู้รับที่มีอยู่

การใช้ VPN จึงเป็นวิธีการรักษาความปลอดภัยที่เป็นที่ยอมรับทั่วไป มีการนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่นการเข้าเครือข่ายเปิดไฟล์ภายในขององค์กรผ่านอินเตอร์เน็ตสาธารณะโดยไม่ต้องกังวลข้อมูลรั่วไหล ในหลายประเทศที่มีการจำกัดหรือตรวจสอบการใช้อินเตอร์เน็ตของประชาชน เช่น ประเทศจีนจะมีบริษัทหรือบุคลต่าง ๆ ใช้ระบบ VPN เข้าถึงข้อมูลต่าง ๆ นอกประเทศได้ เนื่องจากรัฐบาลไม่สามารถเปิดดูข้อมูลนั้น ๆ ได้เลย ทราบเพียงแต่ว่าติดต่อไปที่ปลายทางที่ใด ไม่สามารถทราบกิจกรรม หรือแม้แต่จะพยายามปิดกั้น VPN ก็จะมีวิธีหลบเลี่ยงได้เสมอ

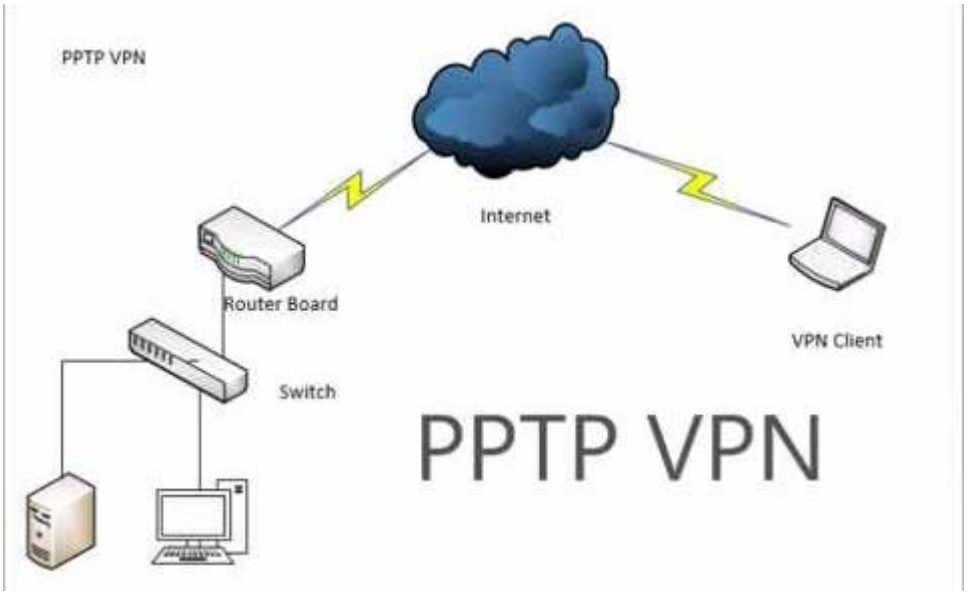


รูปที่ 21 การเชื่อมต่อ internet **แบบ** VPN

VPN มีหลายประเภท โดย VPN ที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ PPTP VPN, Site-to-Site VPN, L2TP VPN, IPsec, SSL, MPLS VPN, และ Hybrid VPN เราจะพูดเกี่ยวกับรายละเอียดของ VPN แต่ละประเภทที่ด้านล่างนี้

PPTP VPN

PPTP VPN ย่อมาจาก Point-to-Point Tunneling Protocol โดย PPTP VPN (รูปที่ 22) จะสร้างอุโมงค์และจับข้อมูล ซึ่งนี่เป็นโปรโตคอลที่มีการใช้งานแพร่หลายมากที่สุด ซึ่ง PPTP VPN จะถูกใช้งานโดยผู้ใช้ที่อยู่ในระยะไกลเพื่อทำการเชื่อมต่อไปยังเครือข่าย VPN โดยใช้การเชื่อมต่อผ่านทางอินเตอร์เน็ต นี่เป็น VPN ที่มีประโยชน์สำหรับผู้ใช้ในภาคธุรกิจและใช้ในด้านส่วนตัว สำหรับการเข้าใช้งาน VPN นี้ ผู้ใช้จะต้องล็อกอินไปยัง VPN โดยใช้รหัสผ่านที่ได้รับการรับรอง PPTP VPN เหมาะสำหรับการใช้งานด้านธุรกิจและด้านส่วนตัว เนื่องจากไม่ต้องทำการซื้อหรือติดตั้งฮาร์ดแวร์เพิ่มเติมหรือฟีเจอร์ซึ่งเป็นส่วนเพิ่มเติมของซอฟต์แวร์ PPTP VPN ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากมันสามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการ Windows, Mac และ Linux



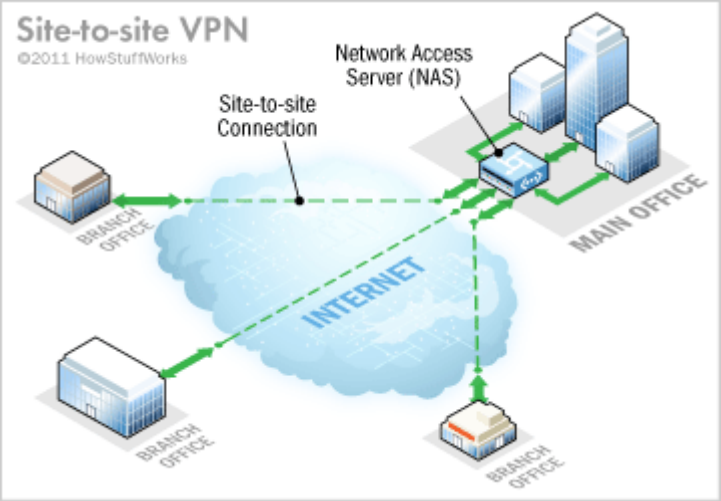
รูปที่ 22 ระบบ VPN **แบบ** PPTP

ถึงแม้ดูเหมือนว่า PPTP VPN จะมีข้อดีมากมาย แต่ VPN นี้ก็มีข้อเสียเช่นกัน เช่น PPTP VPN จะไม่มีการเข้ารหัสซึ่งนี่เป็นเหตุผลหลักตัวหนึ่งที่ผู้ใช้ VPN ต้องการ นอกจากนี้ยังต้องพึ่งพา PPP หรือ Point-to-Point Protocol ในการใช้มาตรการด้านความปลอดภัยต่าง ๆ

Site-to-Site VPN

Site-to-Site VPN ถูกเรียกว่า Router-to-Router VPN และถูกนำมาใช้ในการดำเนินงานขององค์กร เนื่องจากมีบริษัทหลายแห่งที่มีสำนักงานอยู่ในทั้งในและนอกประเทศ Site-to-Site VPN จึงถูกใช้เพื่อเชื่อมต่อเครือข่ายเน็ตเวิร์คของสำนักงานใหญ่ไปกับสำนักงานย่อยต่าง ๆ (รูปที่ 23) ซึ่ง

เป็นที่รู้จักกันในชื่อของ VNP สำหรับ Intranet นอกจากนี้บริษัทยังสามารถทำสิ่งที่ตรงกันข้ามได้ด้วย โดยใช้ Site-to-Site VPN ในการเชื่อมต่อกับบริษัทอื่น ๆ โดยเรียกวิธีการนี้ว่า VPN สำหรับ Extranet กล่าวโดยสรุปคือ Site-to-Site VPN จะสร้างสะพานที่เชื่อมต่อระหว่างเครือข่ายเน็ตเวิร์คของพื้นที่ต่าง ๆ เพื่อเชื่อมต่อพื้นที่เหล่านี้ไปยังอินเตอร์เน็ต และดำรงไว้ซึ่งความปลอดภัยและการสื่อสารแบบส่วนตัวระหว่างเครือข่ายเหล่านี้



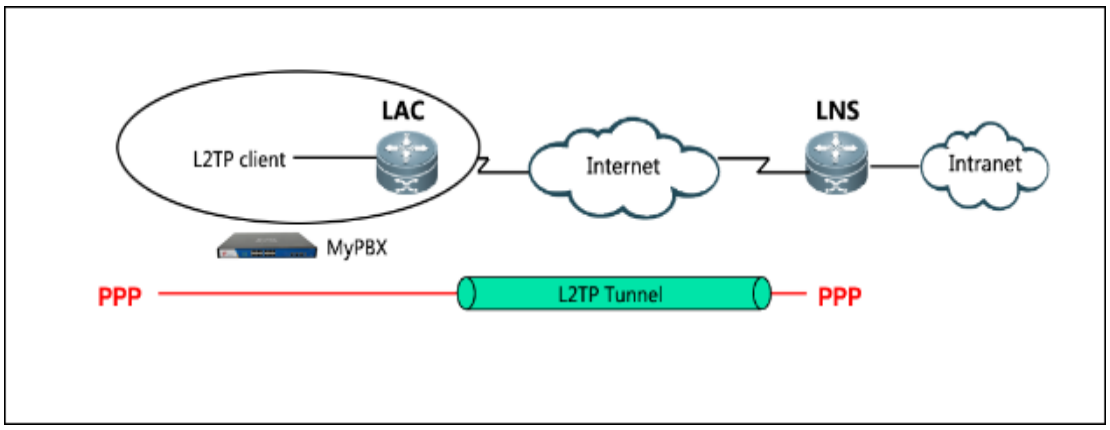
รูปที่ 23 โครงสร้างของ Site-to-site VPN

Site-to-Site VPN จะสร้างเครือข่ายเน็ตเวิร์คที่มีความปลอดภัยคล้ายกันกับ PPTP VPN อย่างไรก็ตามจะไม่มีสายเฉพาะที่ให้ส่วนต่าง ๆ ภายในบริษัทได้ใช้ในการเชื่อมต่อเพื่อเป็น VPN นอกจากนี้การส่งข้อมูล การเข้ารหัส และการถอดรหัสจะเกิดขึ้นโดยฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ของเราท์เตอร์ที่อยู่ในจุดปลายทั้งสอง ซึ่งสิ่งนี้จะไม่เหมือนกับ PPTP

L2TP VPN

L2TP ย่อมาจาก Layer to Tunneling Protocol ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นโดย Microsoft และ Cisco L2TP VPN คือ VPN ที่มีการรวมเอาโปรโตคอลด้านความปลอดภัยของ VPN อื่นมารวมเข้าไว้ด้วยกันเพื่อสร้างการเชื่อมต่อ VPN ที่มีความปลอดภัยมากยิ่งขึ้น L2TP VPN จะสร้างอุโมงค์ระหว่างจุดการเชื่อมต่อ L2TP 2 จุดและ VPN เช่นโปรโตคอล IPsec และจะทำการเข้ารหัสข้อมูลและเน้นไปที่การรักษาความปลอดภัยของการสื่อสารภายในอุโมงค์นี้

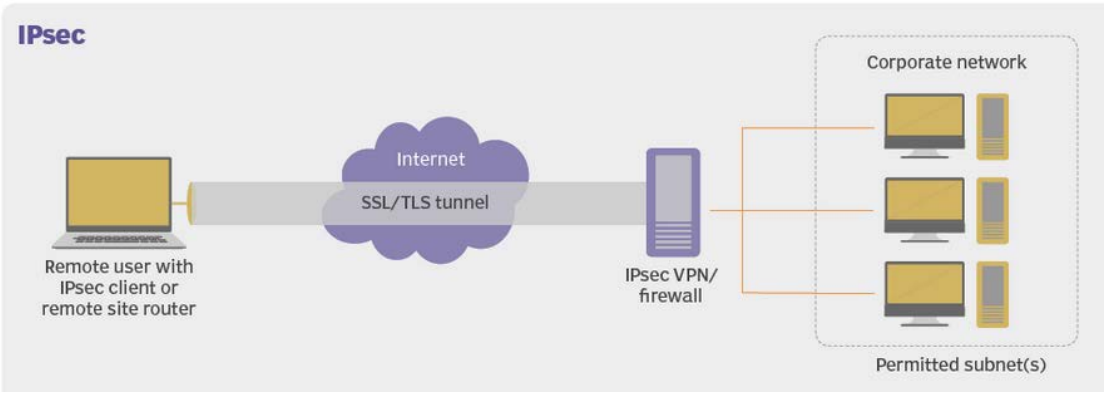
L2TP จะคล้ายกับ PPTP ในด้านการที่ไม่มีการเข้ารหัสซึ่งจะต้องใช้โปรโตคอล PPP ในการทำสิ่งนี้ สำหรับส่วนที่แตกต่างกันจะเกี่ยวข้องกับการปกปิดความลับของข้อมูล และความสมบูรณ์ของข้อมูล L2TP VPN จะมีทั้งสองสิ่งนี้ในขณะที่ PPTP VPN ไม่มี โครงสร้างของ L2TP VPN แสดงในรูปที่ 24



รูปที่ 24 โครงสร้างของ L2TP VPN

IPsec

IPsec เป็นตัวย่อของ Internet Protocol Security ซึ่ง IPsec เป็นโปรโตคอล VPN ที่ใช้ในการสร้างความปลอดภัยให้กับการสื่อสารทางอินเตอร์เน็ตผ่านเครือข่าย IP โดยจะมีการสร้างอุโมงค์ในพื้นที่ที่อยู่ไกลออกไป และจะอนุญาตให้เข้ามายังพื้นที่ส่วนกลางของผู้ใช้ได้ IPsec จะสร้างความปลอดภัยให้กับการสื่อสารบนอินเตอร์เน็ตโปรโตคอล โดยทำการตรวจสอบในแต่ละส่วน และทำการเข้ารหัส packet ข้อมูลตลอดการเชื่อมต่อ IPsec VPN จะมีการทำงานใน 2 โหมด ได้แก่ transport mode และ tunneling mode ซึ่งทั้งสองโหมดนี้จะเป็นการปกป้องการส่งข้อมูลระหว่างเครือข่ายที่แตกต่างกัน 2 เครือข่าย ในช่วงของ transport mode ข้อความใน packet ข้อมูลจะได้รับการเข้ารหัส ส่วนใน tunneling mode packet ข้อมูลทั้งหมดจะได้รับการเข้ารหัส ข้อดีของการใช้ IPsec VPN คือ การที่สามารถนำไปใช้ร่วมกับโปรโตคอลความปลอดภัยอื่น ๆ ได้เพื่อสร้างระบบการรักษาความปลอดภัยที่แข็งแกร่งยิ่งขึ้น โครงสร้างของ VPN แบบ IPsec แสดงในรูปที่ 25

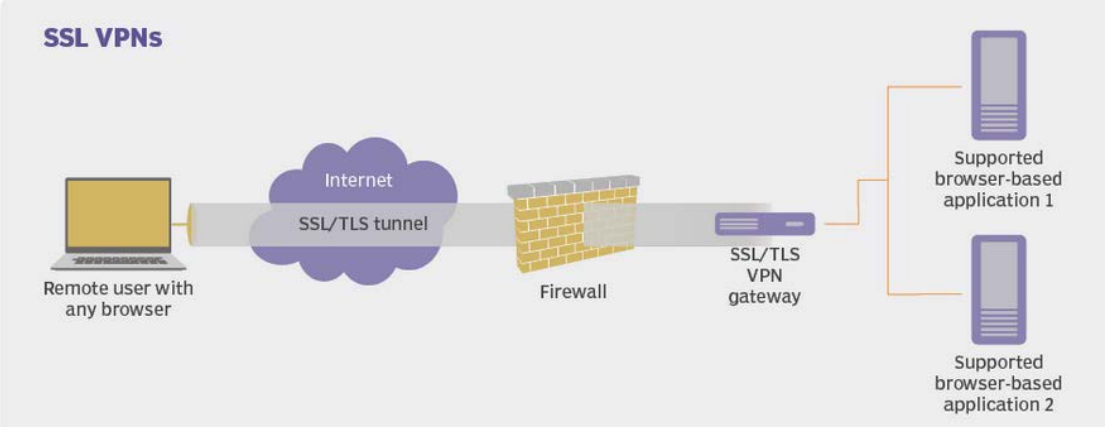


รูปที่ 25 โครงสร้างของ VPN **แบบ** IPsec

IPsec นี้ มีข้อดีคือ ระบบปฏิบัติการเกือบทุกค่ายในตลาดรองรับการใช้งาน ได้แก่ Microsoft Windows, IOS ของ Apple, Android, รวมทั้ง Linux ซึ่งครอบคลุมอุปกรณ์ของคนส่วนใหญ่ในโลกนี้แล้ว ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ IPsec VPN เพื่อเป็นโปรโตคอลในการติดต่อสื่อสารผ่านอินเตอร์เน็ต

SSL และ TLS

SSL ย่อมาจาก Secure Sockets Layer และ TLS ย่อมาจาก Transport Layer Security ทั้งสองสิ่งนี้ทำงานรวมกันเป็นโปรโตคอลเดียวกันเพื่อนำมาใช้สร้างการเชื่อมต่อ VPN ซึ่งการเชื่อมต่อ VPN นี้จะมีเว็บบราวเซอร์เป็น client และผู้ใช้จะถูกจำกัดการเข้าถึงอยู่เพียงแค่แอพพลิเคชั่นบางตัวเท่านั้นแทนที่จะเป็นทั้งเครือข่าย โปรโตคอล SSL และ TLS จะถูกนำมาใช้โดยเว็บไซต์ขายของออนไลน์และผู้ให้บริการต่าง ๆ เป็นส่วนใหญ่ โดย SSL และ TSL VPN จะสร้างพื้นที่ที่ปลอดภัยจากบราวเซอร์บนเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ไปยังเซิฟเวอร์ของแอพพลิเคชั่น ซึ่งเว็บบราวเซอร์จะสามารถสลับไปใช้ SSL ได้อย่างง่ายดายและผู้ใช้ไม่ต้องทำการปรับเปลี่ยนค่าใด ๆ อีกทั้งเว็บบราวเซอร์ได้มี SSL และ TSL มาพร้อมอยู่ภายในแล้ว การเชื่อมต่อ SSL จะมี https ในส่วนเริ่มต้นของ URL แทนที่จะเป็น http โครงสร้างของ VPN แบบ SSL/TLS แสดงในรูปที่ 26

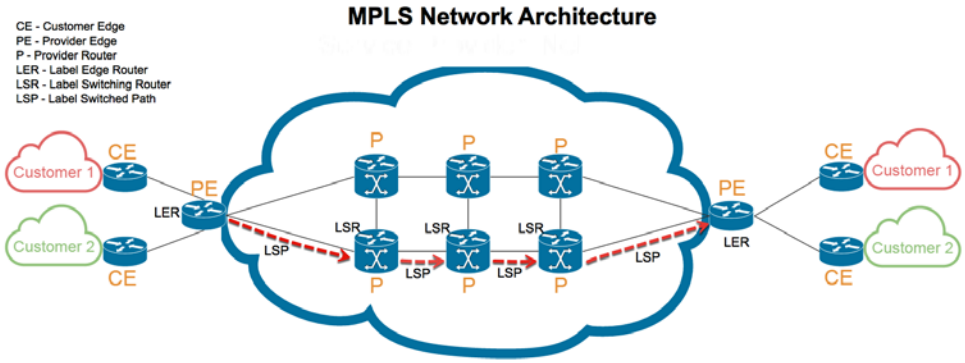


รูปที่ 26 โครงสร้างของ VPN **แบบ** SSL/TLS

MPLS VPN

Multi-Protocol Label Switching หรือ MPLS VPN (รูปที่ 27) เป็น VPN ที่เหมาะสำหรับการเชื่อมต่อประเภท Site-to-Site เนื่องจาก MPLS มีความยืดหยุ่นและสามารถปรับเปลี่ยนได้มากที่สุด MPLS เป็นมาตรฐานที่อ้างอิงจากทรัพยากรที่ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเร็วให้กับการส่ง packet ด้วยโปรโตคอลที่หลากหลาย MPLS VPN คือระบบ ISP-tuned VPN ซึ่งหมายความว่า เมื่อมีเว็บไซต์มากกว่า 2 แห่งทำการเชื่อมต่อกันเพื่อทำให้เกิด VPN ที่ใช้ ISP เดียวกัน อย่างไรก็ตามข้อเสียที่ใหญ่

ที่สุดของการใช้ MPLS VPN คือความยากในการตั้งค่าระบบที่มีมากกว่า VPN อื่น ๆ นอกจากนี้การทำการปรับเปลี่ยนต่าง ๆ ยังไม่ง่ายอีกด้วย ดังนั้น MPLS VPN โดยรวมจะมีค่าใช้จ่ายที่แพงกว่า

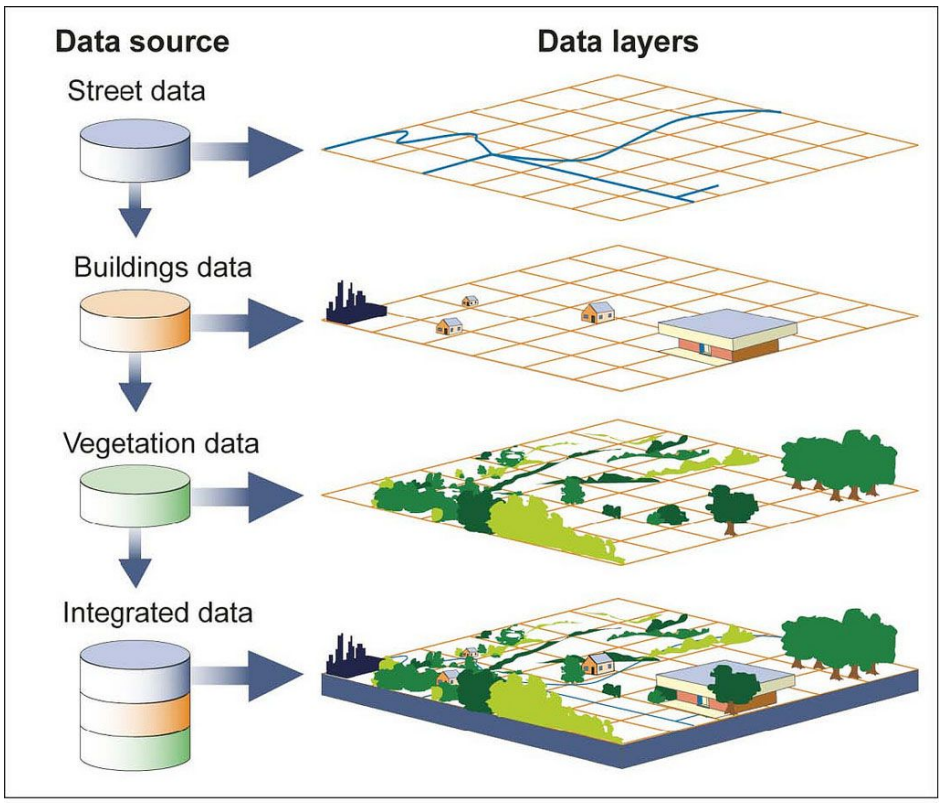


รูปที่ 27 โครงสร้างของ MPLS VPN

สำหรับระบบที่พัฒนา ทีมงานได้เลือก IPsec VPN เนื่องจากรองรับอุปกรณ์เกือบทุกประเภท ระบบปฏิบัติการทุกระบบ และตั้งค่าใช้งานง่าย และการใช้งานเกือบทั้งหมด มักเป็นการเชื่อมต่อจากเครื่องลูกข่ายเข้าเครื่องแม่

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) GIS

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System : GIS (รูปที่ 28) คือ กระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ที่ใช้กำหนดข้อมูลและสารสนเทศ ที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ เช่น ที่อยู่ บ้านเลขที่ สัมพันธ์กับตำแหน่งในแผนที่ ตำแหน่ง เส้นรุ้ง เส้นแวง ข้อมูลและแผนที่ใน GIS เป็นระบบข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในรูปของตารางข้อมูล และฐานข้อมูลที่มีส่วนสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ซึ่งรูปแบบและความสัมพันธ์ของข้อมูลเชิงพื้นที่ทั้งหลาย จะสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วย GIS และทำให้สื่อความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับเวลาได้ เช่น การแพร่ขยายของโรคระบาด การเคลื่อนย้าย ถิ่นฐาน การบุกรุกทำลาย การเปลี่ยนแปลงของการใช้พื้นที่ ฯลฯ ข้อมูลเหล่านี้ เมื่อปรากฏบนแผนที่ทำให้สามารถแปลและสื่อความหมาย ใช้งานได้ง่าย



รูปที่ 28 Geographic Information System (GIS)

GIS เป็นระบบข้อมูลข่าวสารที่เก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ แต่สามารถแปลความหมายเชื่อมโยงกับสภาพภูมิศาสตร์ สภาพท้องที่ สภาพการทำงานของระบบสัมพันธ์กับสัดส่วนระยะทางและพื้นที่จริงบนแผนที่ ข้อแตกต่างระหว่าง GIS กับ MIS นั้นสามารถพิจารณาได้จากลักษณะของข้อมูล คือ ข้อมูลที่จัดเก็บใน GIS มีลักษณะเป็นข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ที่แสดงในรูปของภาพ (graphic) แผนที่ (map) ที่เชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute Data) หรือฐานข้อมูล (Database) การเชื่อมโยงข้อมูลทั้งสองประเภทเข้าด้วยกัน จะทำให้ผู้ใช้สามารถที่จะแสดงข้อมูลทั้งสองประเภทได้พร้อมกัน เช่น สามารถจะค้นหาตำแหน่งของจุดตรวจวัดควันดำ – ควันขาวได้ โดยการระบุชื่อจุดตรวจ หรือในทางตรงกันข้าม สามารถที่จะสอบถามรายละเอียดของ จุดตรวจจากตำแหน่งที่เลือกขึ้นมา ซึ่งจะต่างจาก MIS ที่แสดงภาพเพียงอย่างเดียว โดยจะขาดการเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลที่เชื่อมโยงกับรูปภาพนั้น เช่นใน CAD (Computer Aid Design) จะเป็นภาพเพียงอย่างเดียว แต่แผนที่ใน GIS จะมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ คือค่าพิกัดที่แน่นอน ข้อมูลใน GIS ทั้งข้อมูลเชิงพื้นที่และข้อมูลเชิงบรรยาย สามารถอ้างอิงถึงตำแหน่งที่มีอยู่จริงบนพื้นโลกได้โดยอาศัยระบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ (Geocode) ซึ่งจะสามารถอ้างอิงได้ทั้งทางตรงและทางอ้อม ข้อมูลใน GIS ที่อ้างอิงกับพื้นผิวโลกโดยตรง หมายถึง ข้อมูลที่มีค่าพิกัดหรือมีตำแหน่งจริงบนพื้นโลกหรือในแผนที่

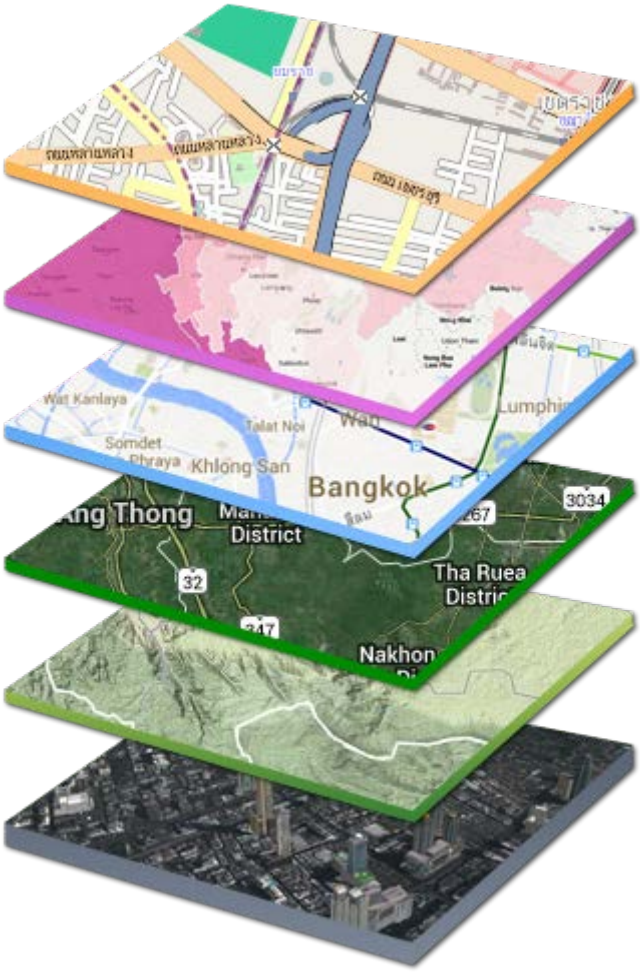
เช่น ตำแหน่งอาคาร ถนน ฯลฯ สำหรับข้อมูล GIS ที่จะอ้างอิงกับข้อมูลบนพื้นโลกได้โดยทางอ้อม ได้แก่ ข้อมูลของบ้าน (รวมถึงบ้านเลขที่ ซอย เขต แขวง จังหวัด และรหัสไปรษณีย์) โดยจากข้อมูลที่อยู่ เราสามารถทราบได้ว่าบ้านหลังนี้มีตำแหน่งอยู่ ณ ที่ใดบนพื้นโลก เนื่องจากบ้านทุกหลังจะมีที่อยู่ไม่ซ้ำกัน

การนำข้อมูล GIS มาใช้กับตำแหน่งเสาไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น หม้อแปลง, มิเตอร์ ฯลฯ จึงเป็นสิ่งที่นำมาประยุกต์ใช้งานได้ดี เช่นที่ กฟภ. และ กฟน. นำมาใช้งานอยู่ปัจจุบัน โดย กฟภ. ใช้ระบบ TAMS ส่วน กฟน. ใช้ระบบ GIS ซึ่งพัฒนาจากคนละทีม การทำระบบ RFID จึงต้องเชื่อมเข้ากับทั้งสองระบบในภายหลัง

ระบบ Telecommunication Asset Management System : TAMS

เป็นระบบบริหารจัดการทรัพยากรด้านสื่อสารโทรคมนาคมของกฟภ. เป็นระบบฐานข้อมูลเกี่ยวกับการพาดสายสื่อสารของบริษัทผู้ให้บริการต่าง ๆ โดยแผนกปฏิบัติการและบำรุงรักษา แผนกก่อสร้าง และปฏิบัติการในพื้นที่ต่าง ๆ ของกฟภ. กฟภ.จะเป็นผู้เข้าไปดำเนินการเกี่ยวกับการสำรวจตรวจสอบ และนำเข้าข้อมูลสายสื่อสาร/อุปกรณ์ในระบบ TAMS โดยมีกองบริการสารสนเทศและสื่อสาร แผนกบริหารศูนย์บริการสารสนเทศและสื่อสาร เป็นผู้พัฒนาระบบการบริหารการจัดการสื่อสาร ดูแลความมั่นคงปลอดภัยของอุปกรณ์ Hardware และ Software ของระบบ TAMS ให้พร้อมใช้งานตลอดเวลา ปรับปรุงข้อมูลบนระบบ TAMS ให้เชื่อถือได้และเป็นปัจจุบัน ติดตามการประสานงานในระบบที่เกี่ยวข้องกับการให้บริการในระบบ TAMS ให้การสนับสนุนและแก้ไขปัญหาของผู้ใช้ระบบ ไปจนถึงการประเมินผลการให้บริการ เพื่อใช้ในการพัฒนาระบบ TAMS ต่อไป

ระบบของ TAMS พัฒนาโดยใช้ฐานข้อมูล PostGreSQL และมี PostGIS ซึ่งเป็นส่วนขยายเพิ่มเติมที่ทำให้ฐานข้อมูล PostGreSQL สามารถรองรับข้อมูลด้านสารสนเทศรูมิศาสตร์ (GIS) คือ สนับสนุนข้อมูลที่สัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial)



ระบบบริการข้อมูลแผนที่ (GIS Web Map Service) การไฟฟ้านครหลวง

กลุ่มบริษัทซีดีจี ได้รับมอบหมายจากการไฟฟ้านครหลวง (กฟน. หรือ MEA) ให้เป็นผู้จัดทำระบบฐานข้อมูลสาธารณูปโภคด้านไฟฟ้า โดยพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ในระบบ GIS/AM/FM และจัดทำข้อมูลแผนที่ฐานและระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีความละเอียด 1:1,000 ในเขตรับผิดชอบ 3 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ โดยทำการสำรวจข้อมูลแผนที่ภาคสนาม ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ และข้อมูลจากหน่วยงานต่าง ๆ

การไฟฟ้านครหลวงได้พัฒนาปรับปรุงระบบ GIS มาอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองการใช้งานทั้งหน่วยงานภายใน และหน่วยงานภายนอก ในขณะเดียวกันก็มีนโยบายในการขยายผลการให้บริการข้อมูลแผนที่ออกสู่ประชาชนให้มากยิ่งขึ้น รวมทั้งการร่วมมือ สนับสนุน การแลกเปลี่ยนข้อมูล การใช้ทรัพยากรร่วมกันของหน่วยงานภาครัฐ ดังนั้นการไฟฟ้านครหลวงจึงได้มีระบบบริการข้อมูลแผนที่ (GIS Web Map Service) ขึ้น เพื่อรองรับทิศทางการเติบโตของ Tablet PC และ Mobile Device

ต่าง ๆ เพื่อตอบสนองกลุ่มลูกค้าให้สามารถเข้าถึงบริการต่าง ๆ ของการไฟฟ้านครหลวง ในทุกที่ ทุกเวลา และทุกอุปกรณ์

Google Maps

เป็นบริการแผนที่ออนไลน์จาก Google ที่อนุญาตให้เจ้าของเว็บไซต์นำโปรแกรม Google Maps ไปติดตั้งลงบนเว็บไซต์ของตัวเองโดยใช้ Google Maps API ซึ่ง google ได้ใช้ข้อมูลต่าง ๆ ที่มีการเพิ่มเติมเข้าไปในระบบเพื่อทำธุรกิจอย่างกว้างขวาง ทั้งการค้นหาที่ตั้งบ้านเรือน ถนน อาคาร สำนักงาน หน่วยงาน บริษัท ระบบนำทาง (Navigation) และยังมีการพัฒนาเป็นภาพจริง 3 มิติ ในจุดที่สามารถเข้าไปทำการสำรวจ google ได้รายได้จากการขายข้อมูลที่สำรวจให้บริษัทหรือองค์กรต่าง ๆ ที่ต้องการใช้งาน

2.1.3 อุปกรณ์สำหรับตรวจนับจำนวนสายสื่อสาร (RFID reader)

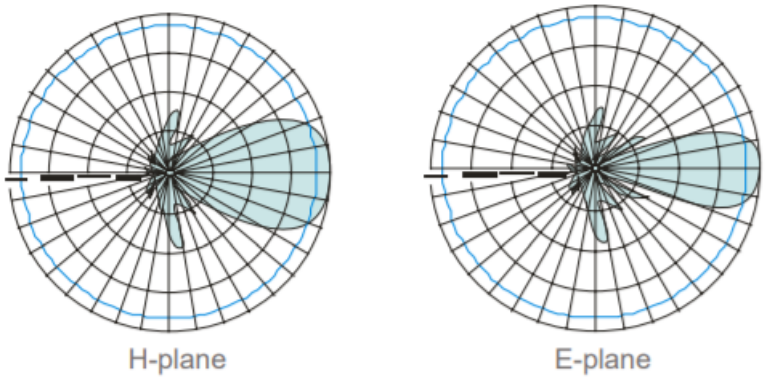
ในโครงงานวิจัยได้เลือกใช้ RFID Reader ของบริษัท Smart Identify Ltd. ซึ่งรุ่นที่ใช้คือ SID U861 ตามรูปที่ 29 ซึ่งมีขนาด 445mm x 445mm x 55m และมีน้ำหนัก 2 Kg. มีคุณลักษณะทางไฟฟ้าตามตารางที่ 3 ดังนี้ [**1**]

ITEM	COMMENT
Frequency range*	865~868, 902-928 MHz
Bandwidth	26MHz
Gain	12dBi
Beam Width	39°
V.S.W.R	≤1.3
Max Power	1W
Nominal Impedance	50 **Ω**
Polarization	V/H
Connector	RS 232
F/B Ratio	≥28
Lightning Protection	Direct ground
Cover for Antenna	ABS
Max Wing Velocity	60 m/s

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเครื่องอ่าน รุ่น SID U861

รูปที่ 29 เครื่อง RFID Reader **ที่ใช้ในการทดสอบ** [1]

การกระจายสัญญาณ (Radiation pattern) มีลักษณะดังรูปที่ 31



รูปที่ 30 การกระจายสัญญาณ (radiation pattern) ของเครื่อง RFID Reader [1]

เนื่องจากการใช้งานเครื่องอ่าน RFID จะต้องให้ผู้ปฏิบัติงานถือเครื่อง ขณะทำการอ่าน RFID Tag ดังนั้น การใช้งานจะต้องผ่านมาตรฐานความปลอดภัยต่อสุขภาพของมนุษย์จากการใช้เครื่องอ่าน RFID โดยทางทีมวิจัยได้นำเครื่องอ่าน RFID SID U861 ไปทดสอบความปลอดภัยตามมาตรฐาน NTC TS5001-2550 Electromagnetic Field Strength: Safety standard for the use of radiocommunication equipment on human health ที่ ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) โดยผลการทดสอบเป็นไปตามตารางที่ 4 (ผ่านการทดสอบ)

6. Test results

Table 1. Measurement result of electromagnetic field strength compare with limits.

Technology	Frequency band (MHz)	Measurement result		Limit (W/m^2)	Margin (W/m^2)	Result
		Frequency (MHz)	Electromagnetic Field Strength (W/m^2)			
RFID-UHF	920-925	922.19	0.287	4.611	4.324	PASS

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบกำลังของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามมาตรฐาน NTC TS5001-2550 [2]

2.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีการตรวจสอบสายสื่อสารที่ใช้กันทั่วไป ทำได้โดยการติดป้าย (Tag) ให้กับสายสื่อสาร โดยมีมาตรฐาน ANSI TIA 606-B Cable Labeling Standards เป็นตัวกำหนดรูปแบบของรหัส ซึ่งมีทั้งแบบตัวอักษร แบบ bar code และแบบที่ใช้ RFID (Radio Frequency Identification) บันทึกรหัส ดังแสดงในรูปที่ 31 (a) และ (b)

(a) (b)

รูปที่ 31 การติดป้าย (Tag) **ให้กับสายสื่อสาร โดยมีมาตรฐาน** ANSI TIA **606-**B **กำหนดรหัส**

สำหรับการตรวจสอบสายสื่อสารที่พาดบนอากาศนั้น การใช้ตัวเลขรหัส หรือ bar code เพื่อระบุอัตลักษณ์ของสายสื่อสารในระยะไกล ทำได้ไม่สะดวก ดังนั้น การใช้ RFID จึงเป็นทางเลือกที่สมเหตุสมผล เพื่อระบุอัตลักษณ์ของสายสื่อสารที่พาดบนอากาศ

วิธีการตรวจสอบสายสื่อสารที่พาดบนอากาศระหว่างเสาไฟฟ้า เพื่อให้ทราบข้อมูลคุณสมบัติต่าง ๆ ของสายสื่อสาร เช่น ขนาด ความจุ ชนิดของสาย ความเป็นเจ้าของ และตำแหน่งที่ตั้งของสาย

สื่อสาร ที่สามารถตรวจสอบได้จากระยะไกลนั้น จากการสำรวจข้อมูลต่างประเทศ พบว่ามีการประยุกต์ใช้ระบบ RFID และได้มีการจดสิทธิบัตรไว้แล้ว 2 ฉบับ ได้แก่

1. สิทธิบัตร สหรัฐอเมริกา เลขที่ US 7760094 B1, “RFID systems and methods for optical fiber network deployment and maintenance”, ยื่นขอจดเมื่อ 14 ธันวาคม ค.ศ. 2006 ออกให้เมื่อ 20 กรกฎาคม ค.ศ. 2010 [2] Datasheet SL3S1204 UCODE 7, NXP Semiconductors Netherlands B.V. [3]

2. สิทธิบัตร สหรัฐอเมริกา เลขที่ US 8264355 B2, ““RFID systems and methods for optical fiber network deployment and maintenance”, ยื่นขอจดเมื่อ 9 ตุลาคม ค.ศ. 2008 ออกให้เมื่อ 11 กันยายน ค.ศ. 2012 [**4**]

ทั้ง 2 สิทธิบัตรมีผู้ประดิษฐ์กลุ่มเดียวกัน (D. R. Kozischek, et. al.) โดยที่ สิทธิบัตร 8264355 มีส่วนขยายเพิ่มเติมในรายละเอียด เมื่อเทียบกับ สิทธิบัตร 7760094 สาระสำคัญของสิทธิบัตร 8264355 ได้ถูกกล่าวสรุปไว้ในบทคัดย่อ โดยมีเนื้อความแปลดังนี้

“ระบบ RFID สำหรับการติดตั้ง และ/หรือ ซ่อมบำรุง และ/หรือ ให้บริการ และ/หรือ บ่งชี้จุดบกพร่อง ในเครือข่ายเส้นใยนำแสง (optical-fiber-network - OFN) ระบบประกอบด้วย อุปกรณ์เครือข่าย OFN และมี RFID tag อย่างน้อย 1 อันที่มีข้อมูลคุณสมบัติของอุปกรณ์เครือข่าย OFN อย่างน้อย 1 คุณสมบัติอยู่ใน RFID tag ข้อมูลใน RFID tag ถูกบันทึก และ อ่าน โดยการใช้ เครื่องอ่าน RFID reader ที่เคลื่อนที่ได้ ไม่ว่าจะเป็นช่วงก่อนการติดตั้ง ระหว่างการติดตั้ง หรือภายหลังการติดตั้งอุปกรณ์เครือข่าย OFN มีฐานข้อมูลอุปกรณ์เครือข่าย OFN ระบบหนึ่ง ถูกใช้จัดเก็บข้อมูล และประมวลผลข้อมูลใน RFID tag และ ถูกปรับปรุงแก้ไขได้โดยอัตโนมัติ ด้วย RFID reader ที่เคลื่อนที่ได้ สิ่งนี้ทำให้สามารถจัดทำแผนที่ต่าง ๆ ของเครือข่าย OFN เช่น แผนที่การจัดเก็บอุปกรณ์ (inventory map) และแผนที่การซ่อมบำรุง (maintenance map) และทำให้สามารถปรับปรุงแก้ไขแผนที่ดังกล่าวได้โดยอัตโนมัติ ระบบ OFN-RFID นี้ ทำให้การปฏิบัติงาน และบริหารจัดการ อุปกรณ์เครือข่าย OFN โดยผู้ให้บริการ เป็นไปได้โดยอัตโนมัติ และเคลื่อนที่ได้ และ ทำให้การติดตั้งและซ่อมบำรุง ระบบ OFN ทำได้เร็วขึ้น และถูกต้องมากยิ่งขึ้น”

ในบทคัดย่อนี้ชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนถึงประโยชน์ของการระบุอัตลักษณ์ (ID) ของ RFID tag (หรือท่อป้องกัน) กล่าวคือ

1.1 ทำให้สามารถจัดทำแผนที่ของเครือข่ายสายสื่อสารได้ (location mapping)

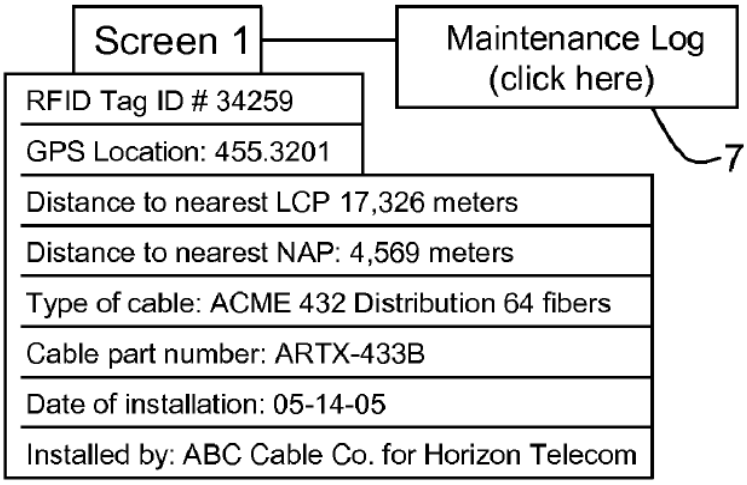
1.2 ทำให้สามารถจัดทำแผนที่การจัดเก็บของท่อป้องกันได้ (inventory mapping)

1.3 ทำให้สามารถจัดทำแผนที่และวางแผนงานการซ่อมบำรุงระบบเครือข่ายสายสื่อสารได้

1.4 การทำงานของระบบสามารถเป็นไปได้โดยอัตโนมัติ

อีกทั้งในบทคัดย่อนี้ ได้สรุปการครอบครองทรัพย์สินทางปัญญา เกี่ยวกับการประดิษฐ์ระบบตรวจสอบสายสื่อสาร ที่มีลักษณะ และการประยุกต์ใช้ที่คล้ายกันอย่างมาก กับระบบตรวจสอบสายสื่อสารที่ถูกพัฒนาในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้ ก็ไม่ใช่เรื่องแปลก ที่ปัญหาเดียวกันจะนำมาสู่แนวทางแก้ปัญหาที่เหมือนกัน สำหรับผู้เชี่ยวชาญที่จะเลือกทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ภายใต้เงื่อนไขสภาวะแวดล้อมเดียวกัน ตามทฤษฎีวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต

ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บใน RFID tag ตามที่กล่าวไว้ใน สิทธิบัตร 8264355 ปรากฏอยู่ในรูปที่ 12 ในสิทธิบัตร และนำมาแสดงในรูปที่ 32



รูปที่ 32. ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บใน RFID tag **(รูปที่ 12 ในสิทธิบัตร** 8264355**)**

จะเห็นได้ว่ามีการระบุรหัส ID ของ RFID tag ตำแหน่งพิกัดของ tag (หรือท่อป้องกัน) ชนิด และจำนวนของสายสื่อสาร เจ้าของสายสื่อสาร และวันที่ติดตั้ง นอกจากนั้นยังสามารถบันทึกประวัติการซ่อมบำรุง (Maintenance Log) ได้อีกด้วย

เพื่อหลีกเลี่ยงการละเมิดทรัพย์สินทางปัญญาในสิทธิบัตรทั้ง 2 ฉบับ ระบบ RFID ที่จะนำมาใช้ในโครงการนี้ จะไม่มีการบันทึกข้อมูลคุณสมบัติใด ๆ ของสายสื่อสาร และท่อป้องกัน ลงใน RFID tag

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีการ/ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและพัฒนา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาและออกแบบ อุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร และระบบสารสนเทศข้อมูลสายสื่อสาร ในส่วนของอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร สามารถแยกการพัฒนาออกแบบได้เป็น 3 ส่วนคือ

(1) แผ่นวงจร RFID tag

(2) บรรจุภัณฑ์ RFID tag

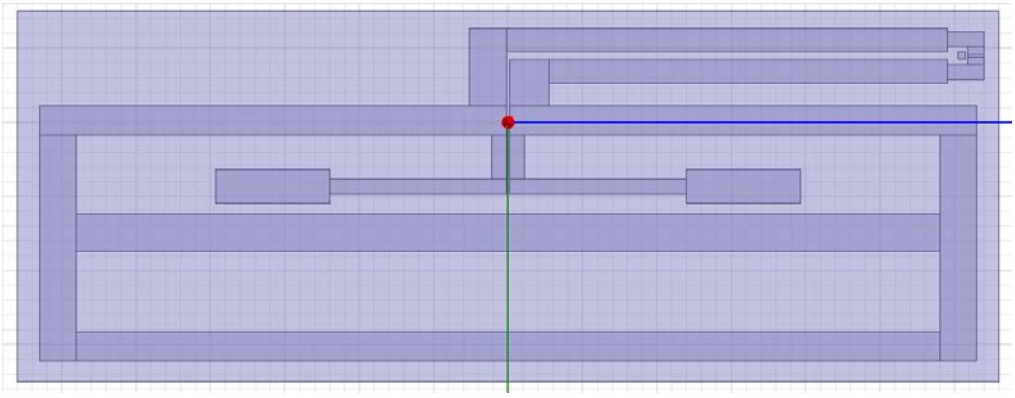
(3) ท่อป้องกัน

สำหรับในส่วนของระบบสารสนเทศข้อมูล จะมีการพัฒนาและออกแบบ 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนของโปรแกรม และส่วนของระบบฐานข้อมูล ในส่วนของโปรแกรมยังแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) โปรแกรมเชื่อมต่อกับเครื่องอ่าน RFID (2) โปรแกรมอ่าน/บันทึกข้อมูล (Frontend) สำหรับ Android และ (3) โปรแกรมระบบหลังบ้าน (Backend) รวมทั้งสรุปแผนภาพความสัมพันธ์ของข้อมูล (E-R diagram) และพจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary) ไว้ด้วยสำหรับใช้อ้างอิงต่อไป

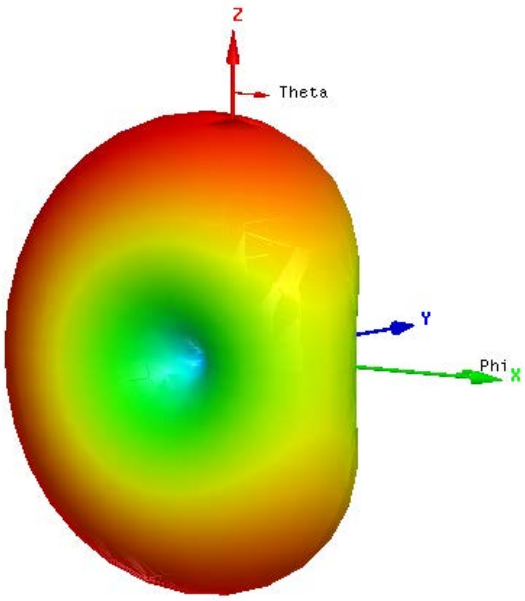
3.1 การพัฒนาและออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร

3.1.1 แผ่นวงจร RFID tag

ในโครงการวิจัยได้ออกแบบ RFID Tag ที่ใช้กับท่อจัดระเบียบสายสื่อสารโดยใช้การจำลองคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับ IC ที่ใช้ในการออกแบบคือ UCODE 7 ของบริษัท NXP Semiconductors Netherlands B.V. ซึ่งคุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์ที่ความถี่ 915 MHz อยู่ที่ $12.8 - j248\ \Omega$ [2] ดังนั้นในการออกแบบเสาอากาศ จะต้องออกแบบให้มีค่าอิมพีแดนซ์ของเสาอากาศเป็นแบบคอนจูเกตแมทช์ สำหรับเสาอากาศที่ออกแบบจะสร้างบนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed-Circuit Board: PCB) ซึ่งจะใช้ PCB ของ บริษัท Rogers Corporation ชนิด RO4350B ซึ่งแผ่น PCB ชนิดนี้นอกจากมีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมแล้ว ยังสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูง (มากกว่า 10 GHz) [5]
ผลการออกแบบได้รูปแบบของเสาอากาศตามรูปที่ 33 และได้รูปแบบการกระจายสัญญาณตามรูปที่ 34 โดยในการจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์ เสาอากาศจะมีค่า อิมพีแดนซ์ เท่ากับ 24.8 – *j*246 Ω ที่ความถี่ 923 MHz และได้ค่า Gain สูงสุดอยู่ที่ 2.72 dB ที่มุม -90°



รูปที่ 33 รูปแบบของเสาอากาศ RFID Tag



รูปที่ 34 การกระจายสัญญาณของเสาอากาศ RFID Tag

จากการทดสอบแนวราบ ทีมงานวิจัยได้ทำการวัดระยะการอ่านในแนวราบของแผ่นวงจร (ไม่มีบรรจุภัณฑ์) โดยใช้เครื่องอ่าน SID U861 ที่พลังงาน 1 W จะสามารถอ่านได้ระยะประมาณ 12 เมตร

3.1.2 บรรจุภัณฑ์ RFID Tag

การออกแบบบรรจุภัณฑ์แบบที่หนึ่ง

ในการประกอบแผ่นวงจร RFID จะใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นพลาสติกชนิด ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) โดยในการออกแบบเบื้องต้นใช้พลาสติกหนา 2 mm 2 ชิ้นประกบกัน ตามรูปที่ 35

(a)

(b)

รูปที่ 35 แผ่นวงจรและบรรจุภัณฑ์ RFID Tag **(**a**) รูปก่อนประกบ (**b**) รูปหลังการประกบ**

จากการทดสอบการอ่านแนวราบตามรูปที่ 36 ทีมงานวิจัยได้ทำการวัดระยะแนวราบ โดยใช้เครื่องอ่าน SID U861 ที่พลังงาน 1 W จะสามารถอ่านได้ประมาณ 8 m ทั้งนี้ บรรจุภัณฑ์มีส่วนในการทำงานของเสาอากาศของ RFID Tag โดยจะทำให้ระยะการอ่านลดลง

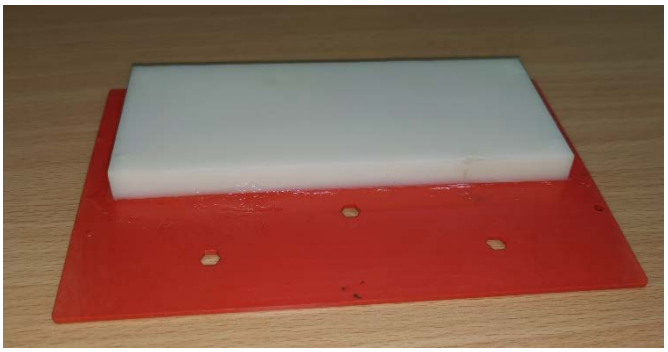
รูปที่ 36 การวัดระยะการอ่านในแนวราบของ RFID Tag

การออกแบบบรรจุภัณฑ์แบบที่สอง

เนื่องจากระยะระหว่างเสาอากาศและตัวบรรจุภัณฑ์มีระยะเพียง 0.5 mm ตัวเนื้อบรรจุภัณฑ์จะส่งผลถึงค่าอิมพีแดนซ์ของเสาอากาศ รวมทั้งกระแสที่ไหลบนเสาอากาศ เพื่อเป็นการลดผลของบรรจุภัณฑ์ ทีมวิจัยจึงได้ปรับรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ให้มีระยะห่างจากเสาอากาศเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 37 ผลการทดสอบโดยใช้เครื่องอ่าน SID U861 ที่พลังงาน 1 W จะสามารถอ่านได้ประมาณ 11-12 m ในการทดลองจะใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง โดย จะมีตัวอย่าง RFID Tag ที่นำไปใส่ในตู้อบ ซึ่งมีความชื้นด้วย ทั้งนี้ผลการทดสอบด้านความทนต่อสิ่งแวดล้อมจะมีในบทต่อไป

สรุปผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5 โดยได้ทำการเปรียบเทียบกับ RFID tag ของบริษัท Smart Identify จำกัด รุ่น RFID-MT-ABS13522 และ RFID-MT-UHFP5213

(a)



(b)

รูปที่ 37 แผ่นวงจรและบรรจุภัณฑ์ RFID Tag **แบบที่สอง (**a**) ด้านบน (**b**) ด้านหน้า**

ตารางที่ 5 ผลการทดลองการเปรียบเทียบระยะการอ่าน RFID Tag **กับเครื่อง** SID U861

Tag	Reading distance (m)
	Power 1 W
RFID-MT-ABS13522	11.5
RFID-MT-UHFP5213	11.2
KMITL-AMI ตัวอย่างที่ 1	11.8
KMITL-AMI ตัวอย่างที่ 2	11.5
KMITL-AMI ตัวอย่างที่ 3 (ผ่านการทดสอบด้านความทนทานสิ่งแวดล้อม)	11.8

สรุปการออกแบบบรรจุภัณฑ์

บรรจุภัณฑ์ RFID Tag จำเป็นต้องเว้นระยะช่องว่างระหว่างตัวบรรจุภัณฑ์กับแผ่นวงจรเพื่อให้เสาอากาศทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งนี้ทีมวิจัยได้นำข้อมูลนี้ไปปรับปรุงโมลด์ของบรรจุภัณฑ์ในการฉีดพลาสติกเพื่อให้มีรูปแบบตามต้องการต่อไป

สำหรับระยะการอ่าน จากการทดสอบกับเครื่องอ่าน RFID SID U861 ตัวอย่าง RFID Tag ทั้ง 3 ตัว ที่ทีมวิจัยพัฒนาขึ้น สามารถอ่านได้ที่ระยะเช่นเดียวกันกับ RFID Tag อื่น ๆ

3.1.3 ท่อป้องกัน

การออกแบบ ท่อป้องกัน (Protection Pipe)

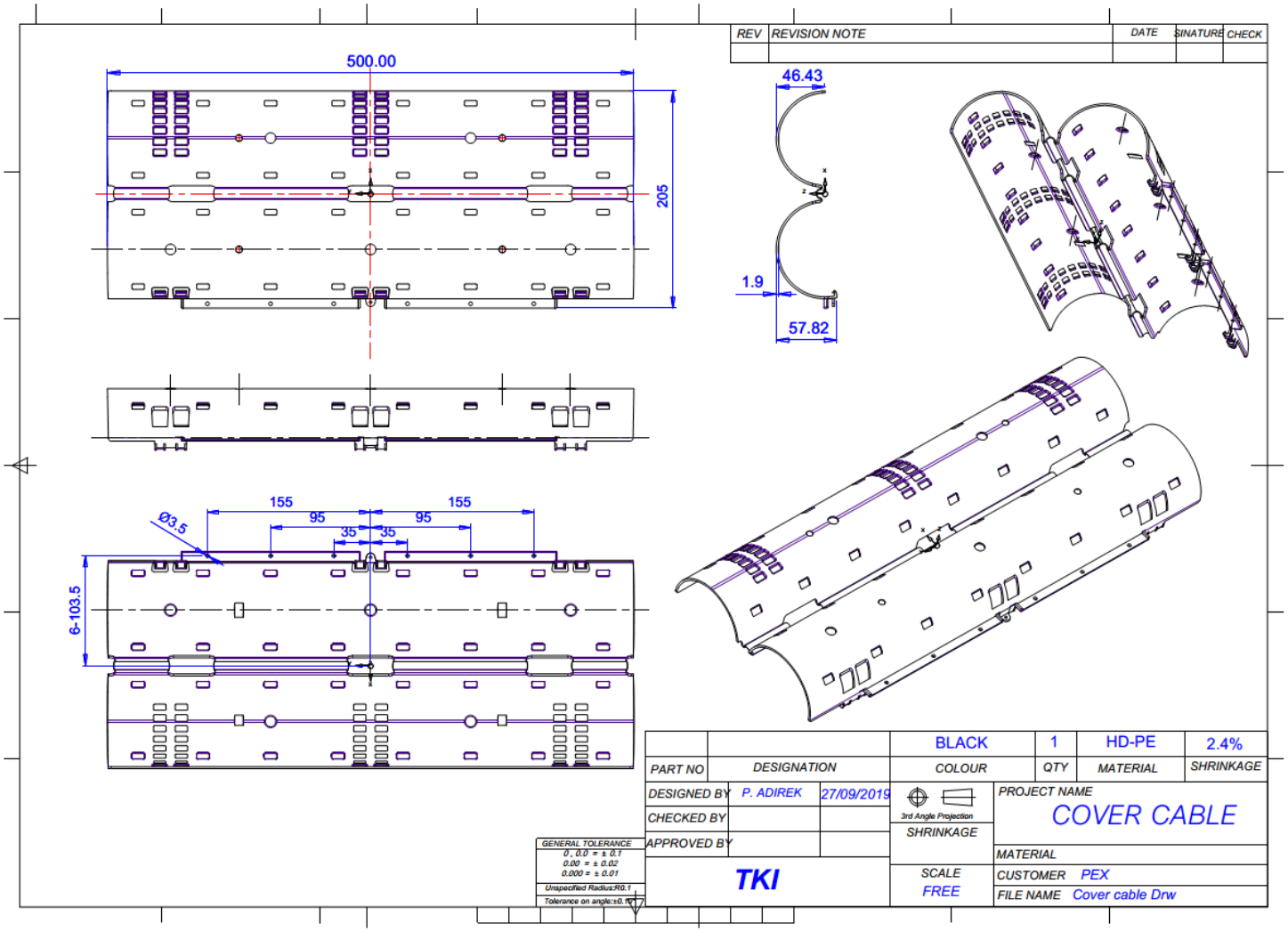
ท่อป้องกันมีลักษณะเป็นทรงกระบอกสีดำ ทำจากวัสดุ HDPE ยาว 500 มม. และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 104 มม. ตามรูปที่ 38 โดยมี 2 ฝาประกบเข้าหากันเพื่อครอบสายสื่อสารทั้งหมดที่ได้ถูกจัดระเบียบแล้ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อสามารถบีบให้เล็กลงได้ตามจำนวนและขนาดของสายสื่อสารที่ถูกจัดระเบียบ โดยสามารถรองรับจำนวนสายสื่อสารรวมกันได้เส้นผ่าศูนย์กลางรวมไม่ต่ำกว่า 100 มม. ถึง 300 มม.

บนท่อป้องกันจะมีการติดตั้งป้าย 2 อัน เพื่อบ่งบอกหน่วยงานที่เป็นเจ้าของ ได้แก่ กสทช. และ กฟภ. หรือ กฟน. ป้ายทำจากวัสดุ ABS มีสีแดง ลักษณะและตำแหน่งการติดตั้งป้าย ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 39 โดยที่ป้ายจะถูกติดตั้งไว้บริเวณด้านล่างของท่อป้องกัน ขนาดของป้ายแต่ละอันคือ 166 มม. X 50มม. และ 160 มม. X 50 มม. ดังแสดงในรูปที่ 40

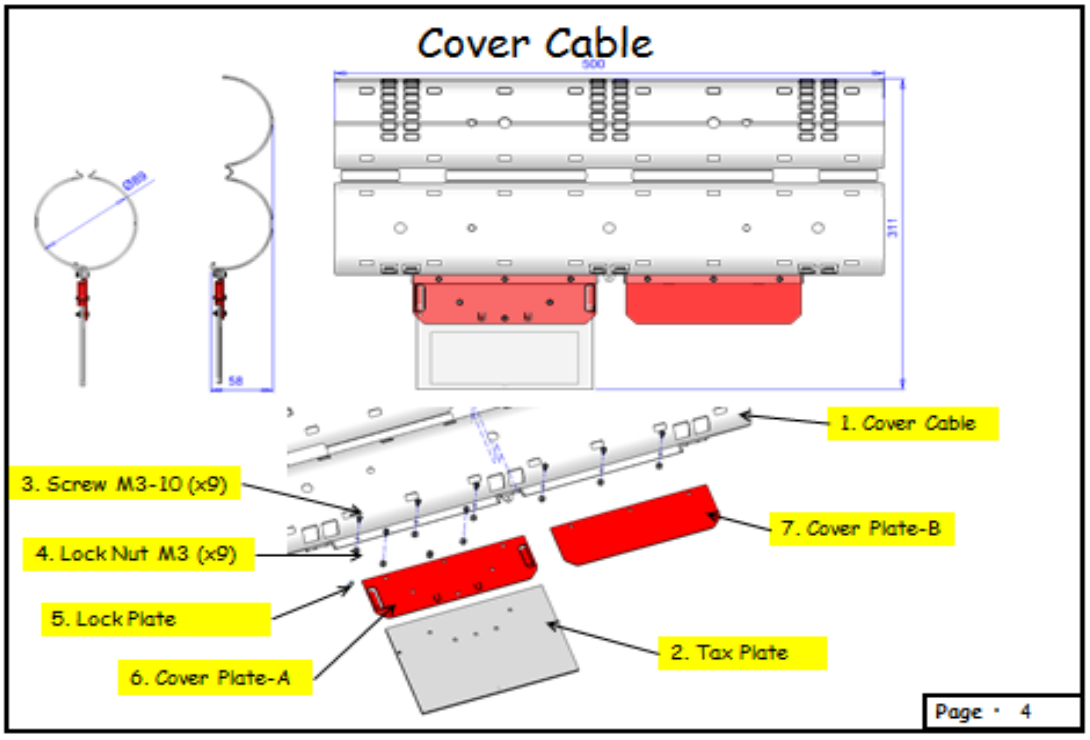
นอกจากนี้บนแผ่นป้ายอันหนึ่งจะมีแผ่น RFID tag ยึดติดอยู่ โดยที่ RFID tag นี้จะถูกยึดติดกับป้ายดังกล่าวด้วยน็อต 3 ตัว เมื่อทั้ง ท่อ (สีดำ) ป้าย (สีแดง) และ tag ถูกยึดเข้าด้วยกันแล้ว จะมีลักษณะดังในรูปที่ 41 RFID tag จะมีสีแดงเหมือนแผ่นป้าย แต่แสดงไว้ในที่นี้ด้วยสีเทา

ขนาดของ RFID tag และ น็อตยึด แสดงไว้ในรูปที่ 42 ซึ่งมีรูปของตะกั่วตีตรา (lock plate) รวมอยู่ด้วย รูปภาพแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมของขนาดและอุปกรณ์ แสดงในรูปที่ 43 รายละเอียดของ RFID tag แสดงในรูปที่ 44 และรายละเอียดของแผ่นป้ายในรูปที่ 46

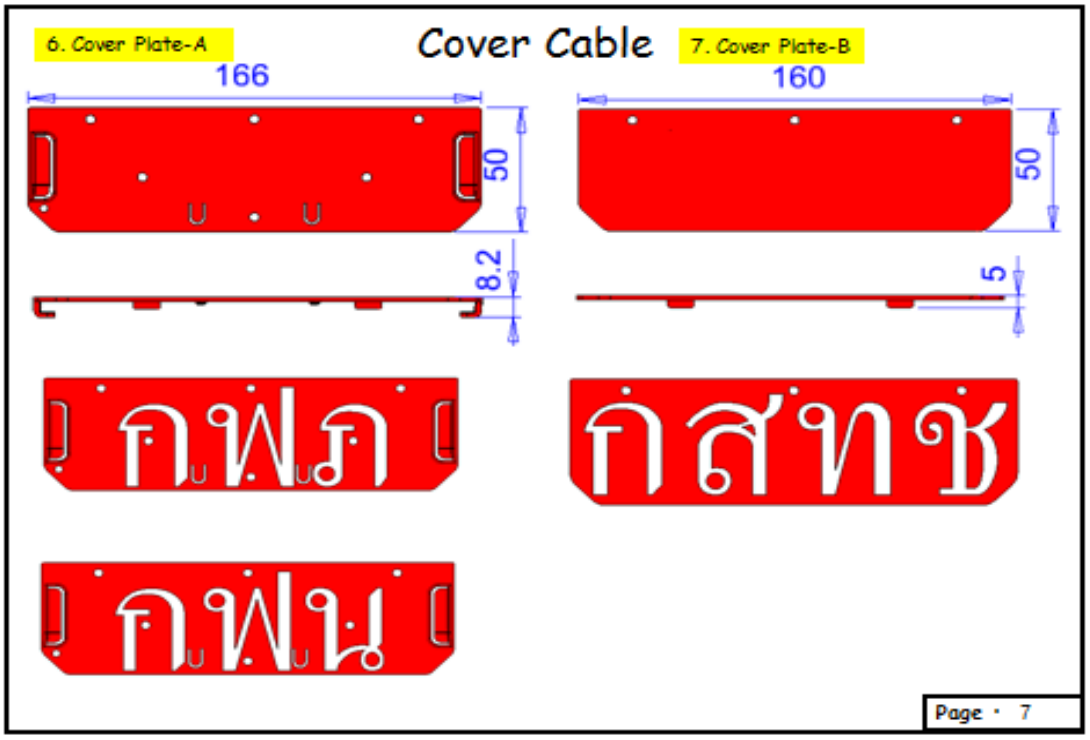
ขั้นตอนการประกอบ RFID tag เข้ากับแผ่นป้าย แสดงไว้ในรูปที่ 47 ถึง รูปที่ 50 ขั้นตอนการประกอบแผ่นป้ายเข้ากับท่อป้องกัน แสดงไว้ในรูปที่ 51 และ รูปที่ 52



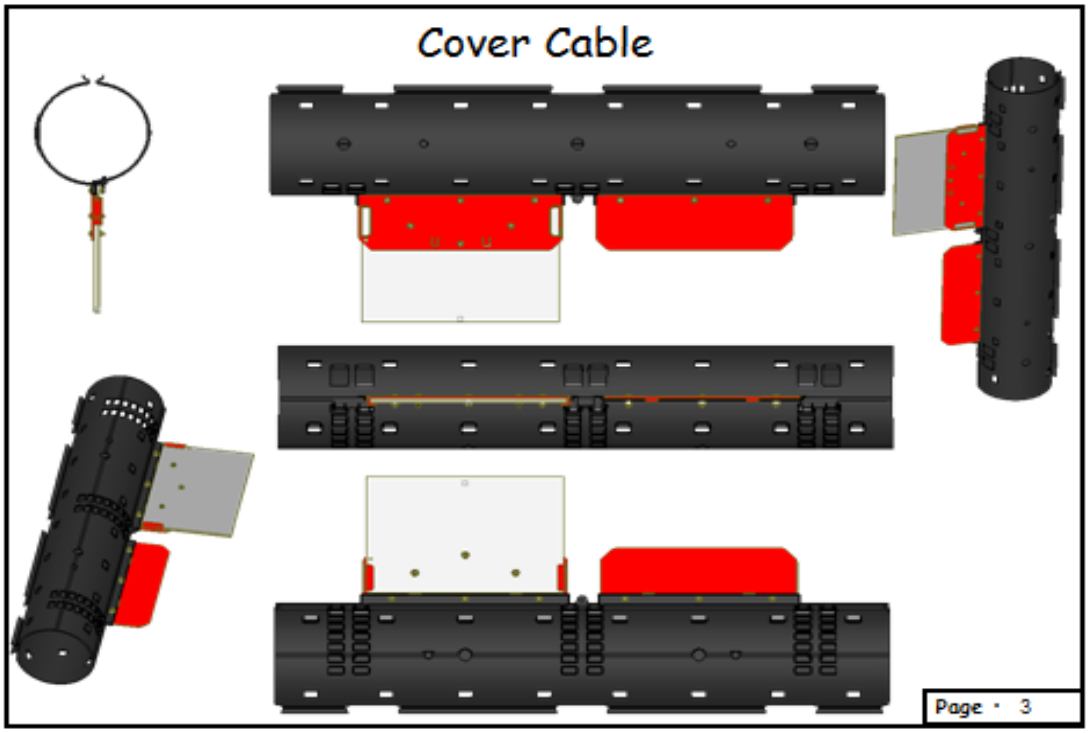
รูปที่ 38 แสดงขนาดและลักษณะของท่อป้องกัน



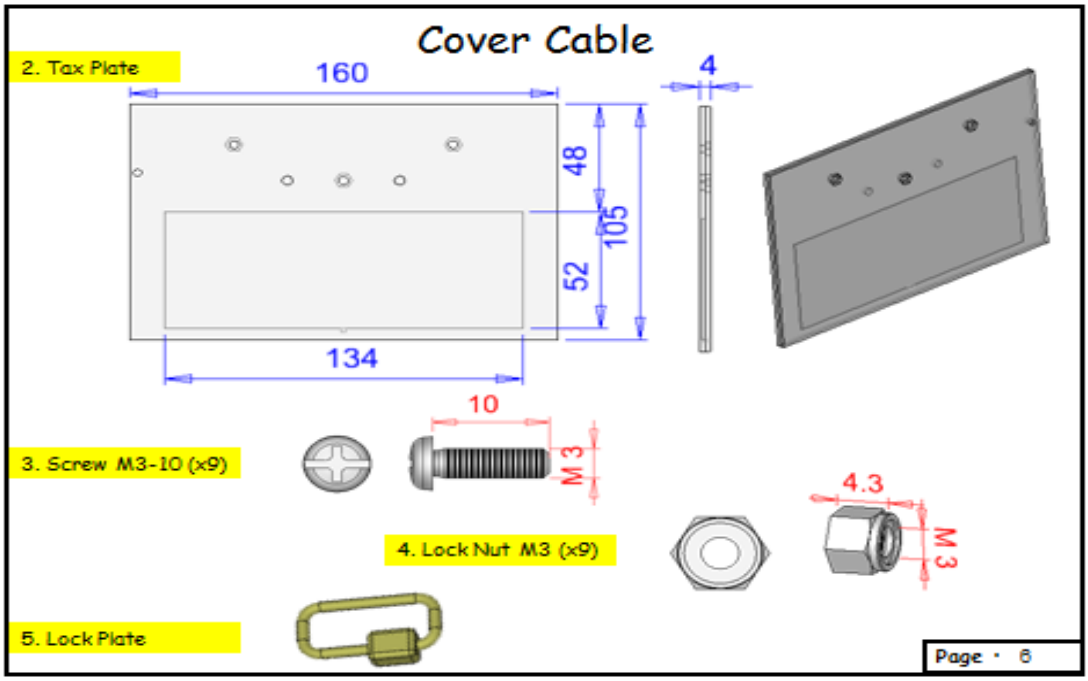
รูปที่ 39 ลักษณะและตำแหน่งการติดตั้งป้าย (สีแดง) เข้ากับท่อป้องกัน



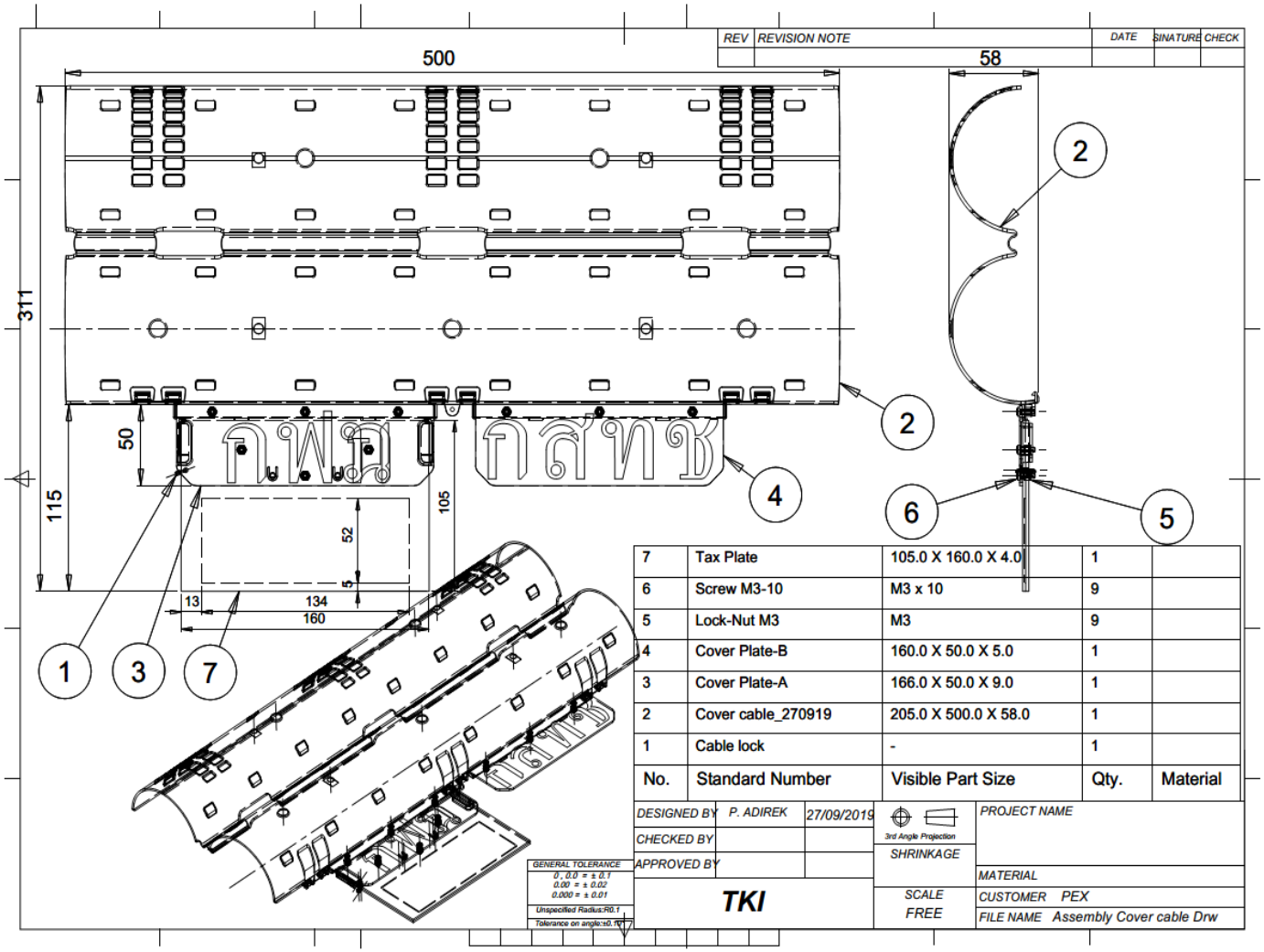
รูปที่ 40 แสดงขนาดของป้ายทั้ง 2 อัน



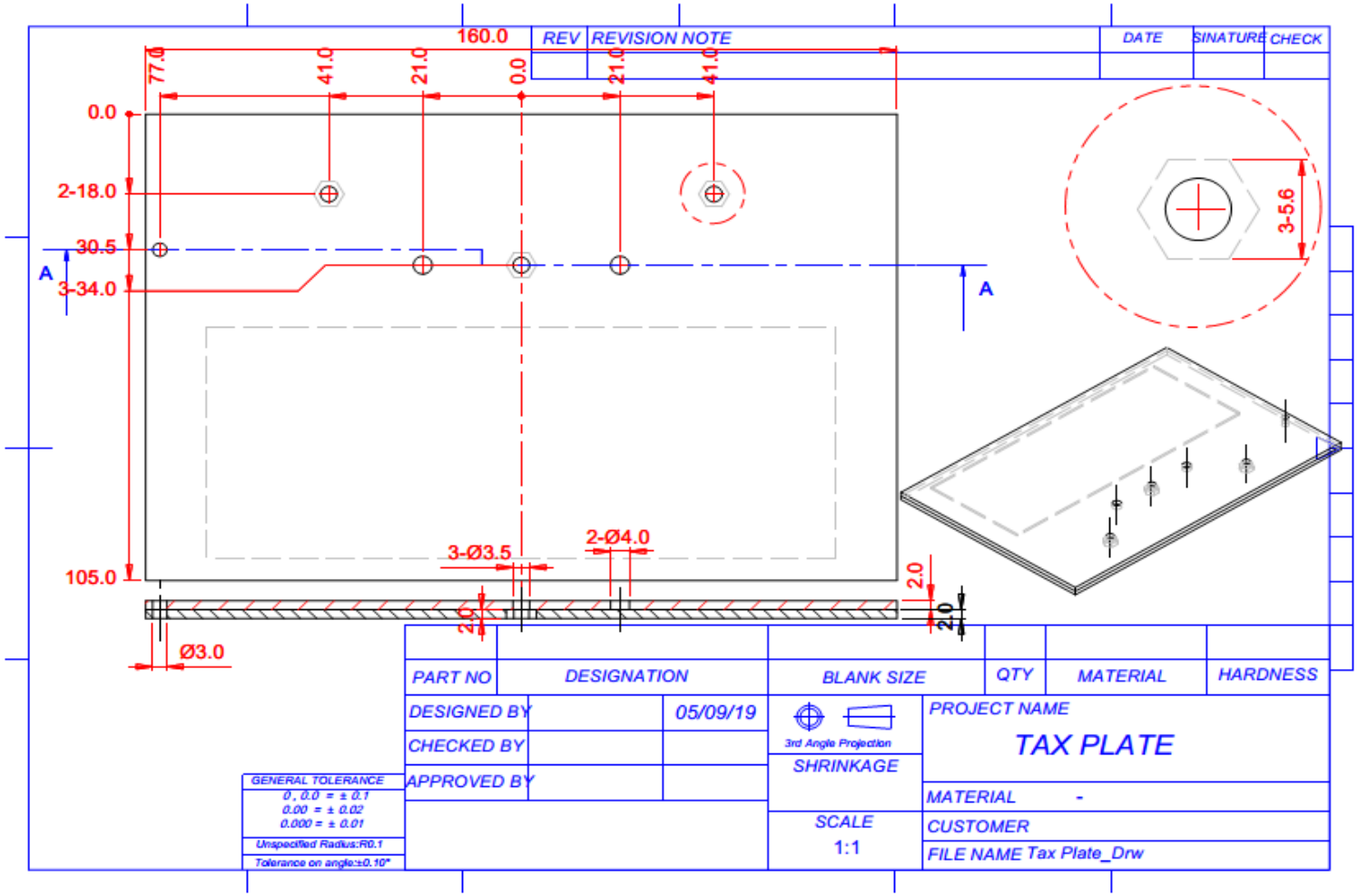
รูปที่ 41 แสดง ท่อ ป้าย และ tag **ถูกยึดเข้าด้วยกัน**



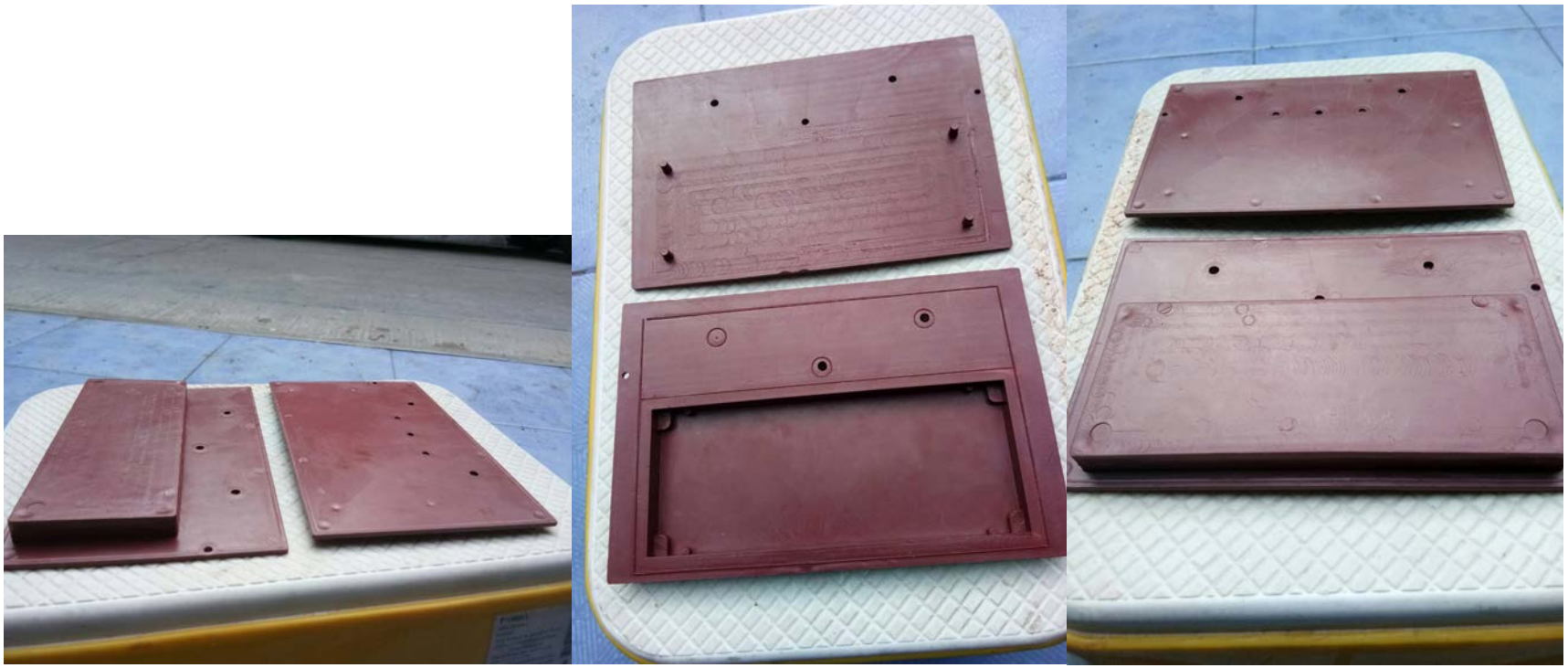
รูปที่ 42 แสดงขนาดของ RFID tag **และ น็อตยึด**



รูปที่ 43 รายละเอียดเพิ่มเติมของขนาดและอุปกรณ์

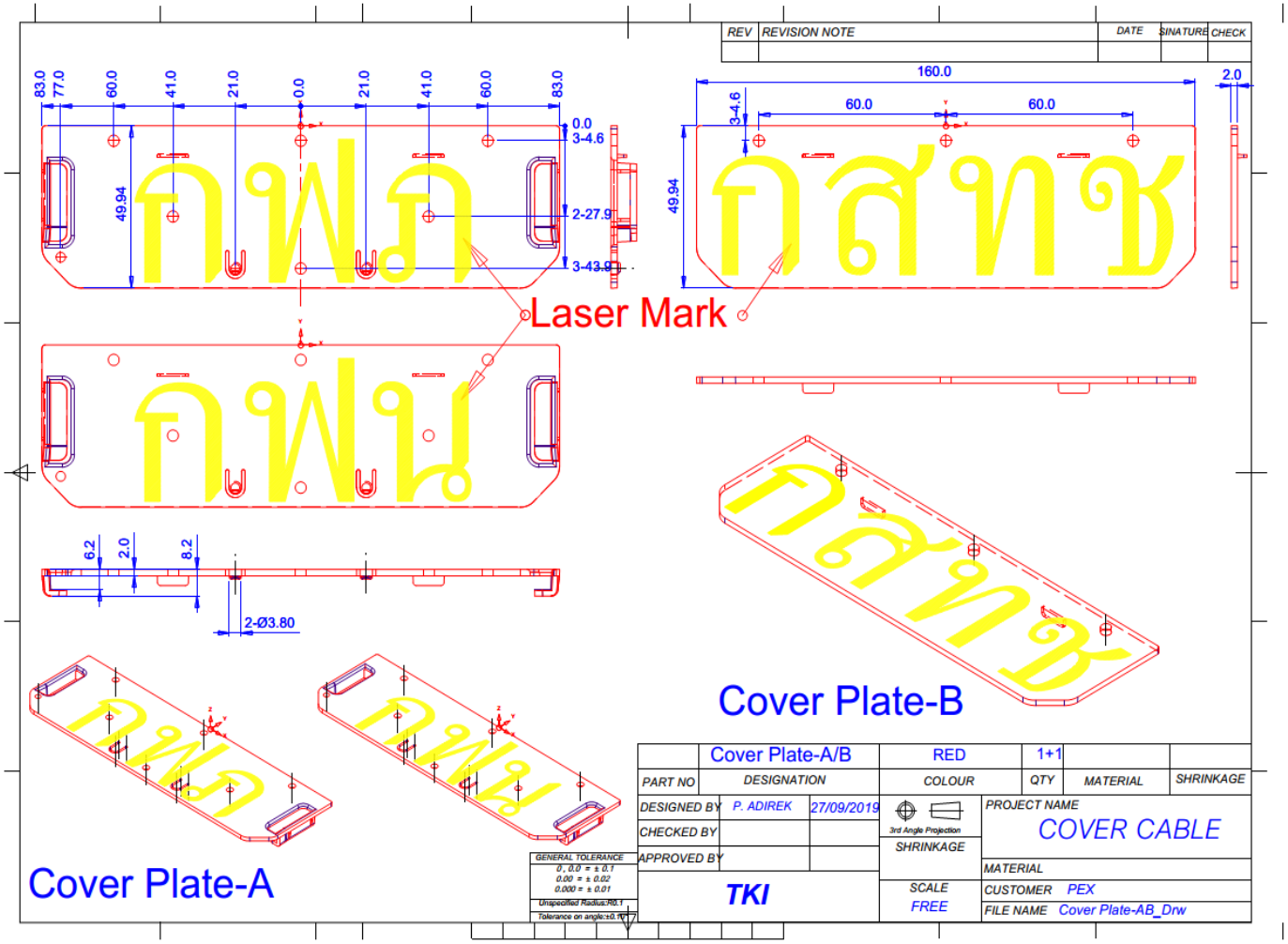


รูปที่ 44 รายละเอียดของ RFID tag **1**

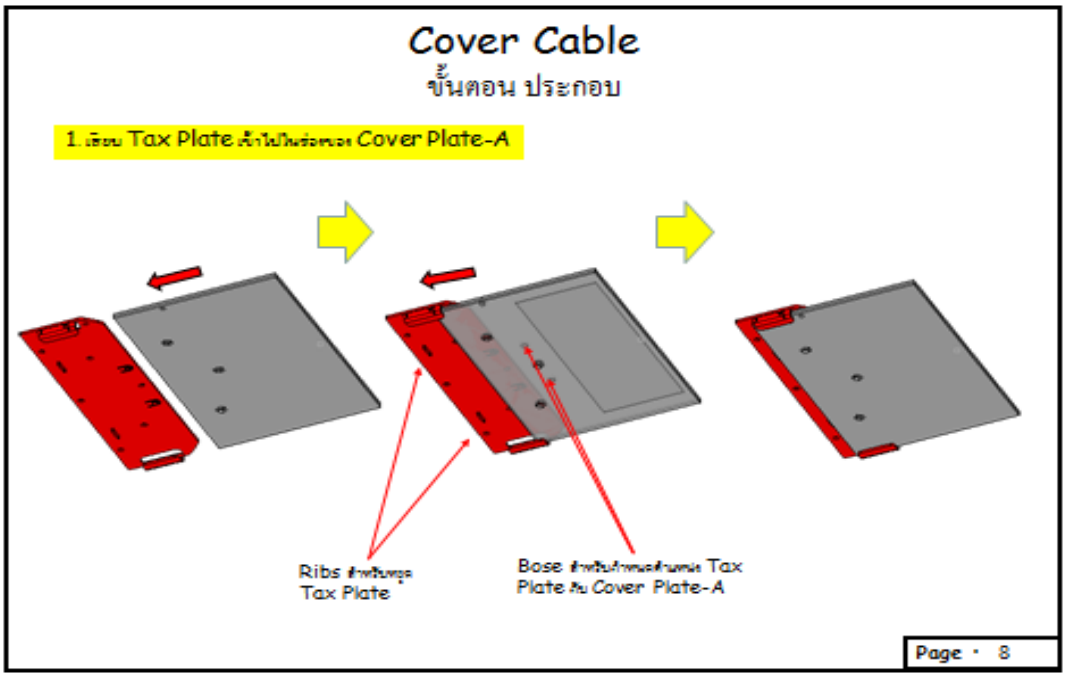


(a) (b) (c)

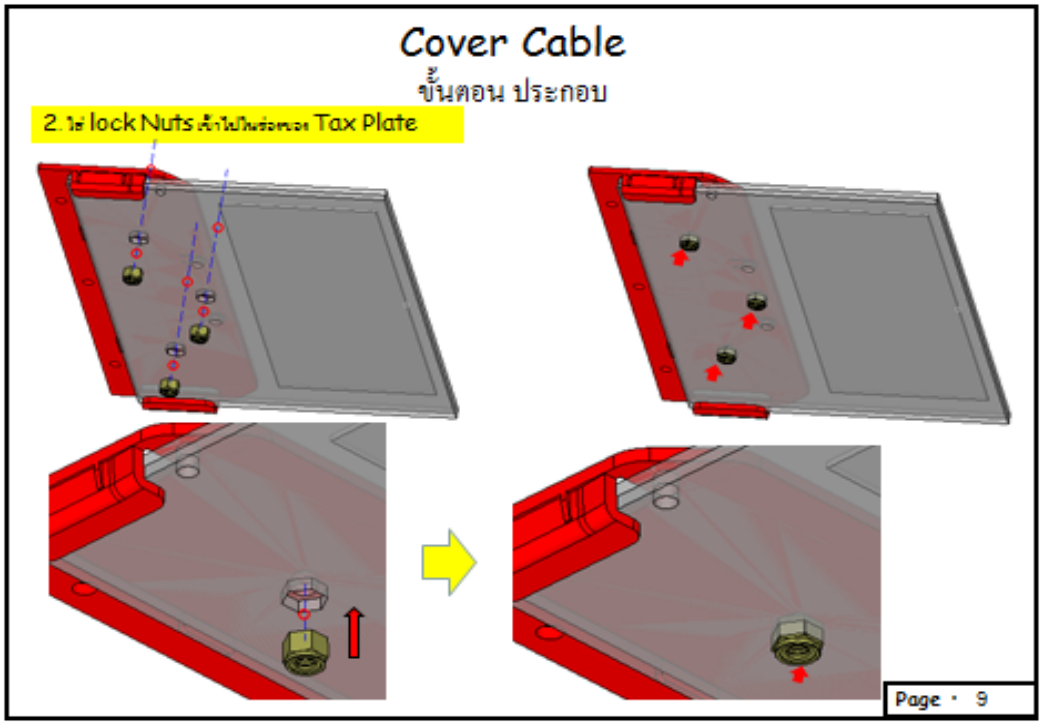
รูปที่ 45 แสดงบรรจุภัณฑ์สำหรับ RFID Tag **(a) รูปถ่ายด้านข้าง (b) รูปถ่ายด้านบน (c) รูปถ่ายด้านล่าง**



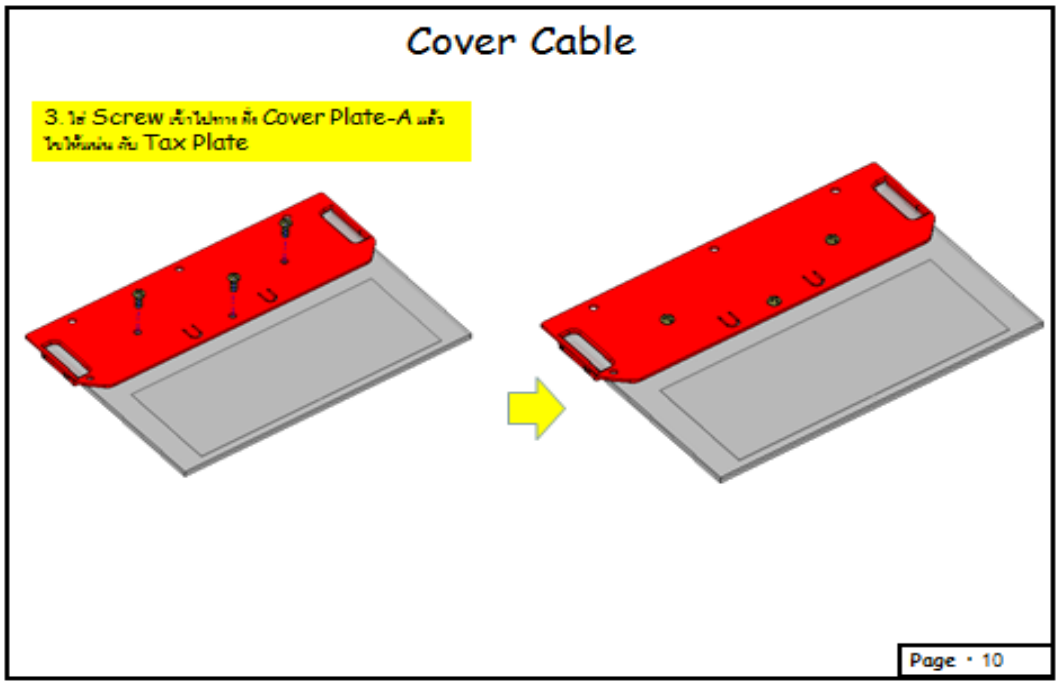
รูปที่ 46 รายละเอียดของแผ่นป้าย



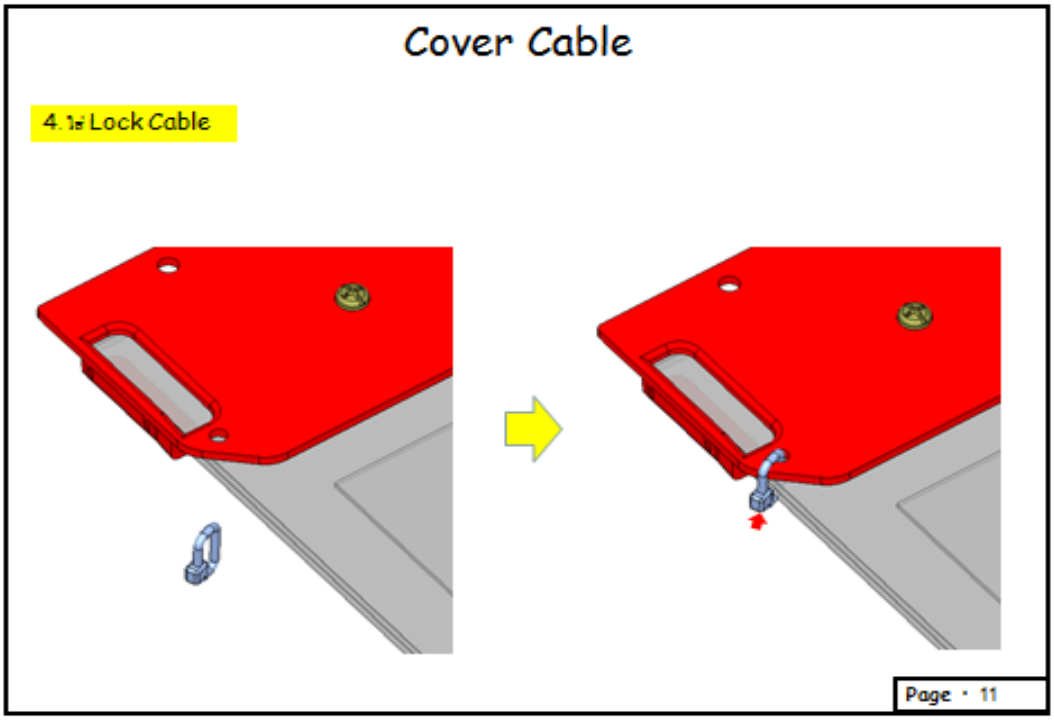
รูปที่ 47 ขั้นตอนการประกอบ 1



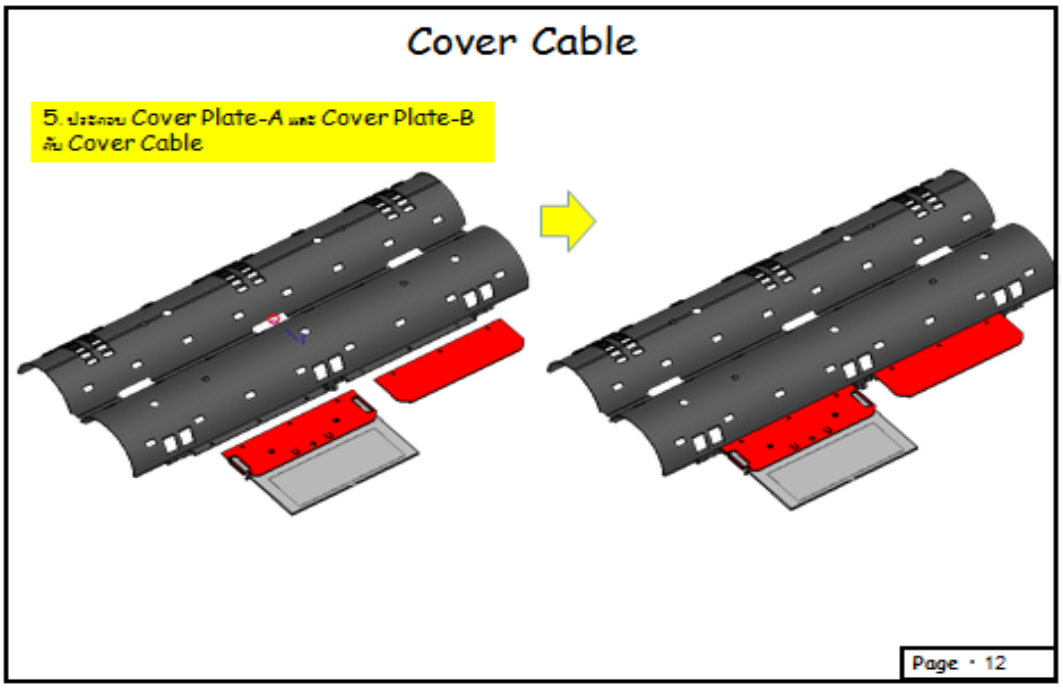
รูปที่ 48 ขั้นตอนการประกอบ 2



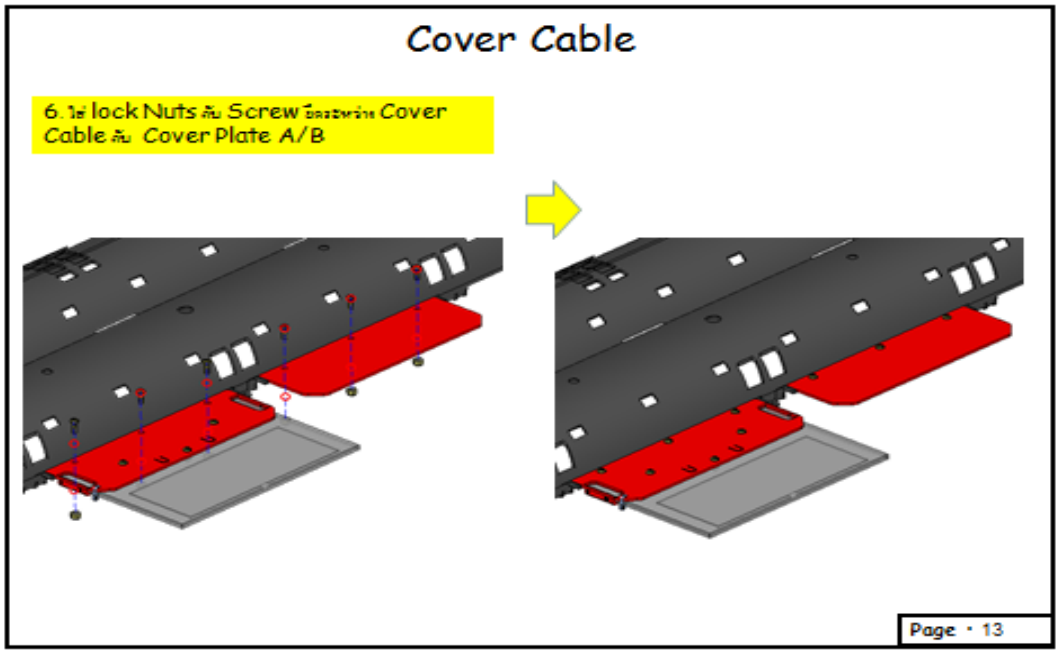
รูปที่ 49 ขั้นตอนการประกอบ 3



รูปที่ 50 ขั้นตอนการประกอบ 4



รูปที่ 51 ขั้นตอนการประกอบแผ่นป้ายเข้ากับท่อป้องกัน 1



รูปที่ 52 ขั้นตอนการประกอบแผ่นป้ายเข้ากับท่อป้องกัน 2

วัสดุที่ใช้ทำท่อป้องกัน เป็นพลาสติกชนิด HDPE (High Density Polyethylene) เป็นพลาสติกเนื้อสีเทามีส่วนผสมพิเศษที่ทำให้มีความทนทานต่อสภาพอากาศ และทนต่อรังสี UV มีรายละเอียดคุณสมบัติตามตารางที่ 6

Product Description/Characteristics

ECOM F-332BK is a High Density Polyethylene flame retardant compound.

- Excellent flame resistance.
- Good UV resistance
- High stiffness

Typical Application

- Electical appliance.
- Outdoor applications.
- Injection moulding.

Physical Properties

Property	Test Method	Value	Unit
Density	ASTM D 792	1.18	g/cm^3
Melt flow rate	ASTM D 1238	6	g/10min
Tensile Strength at Yield	ASTM D 638 @ Crosshead speed 50 mm/min	21	MPa
Elongation at Break	ASTM D 638 @ Crosshead speed 50 mm/min	500	%
Flexural Strength	ASTM D 790 M	30	MPa
Flexural Modulus	ASTM D 790 M	1000	MPa
Izod Impact, Notched	ASTM D 256 @ 23°C	35	J/m
Heat deflection temperature	ASTM D 648 @0.455 Mpa	76	°C
Flammability	UL 94 @ 3.0 mm.	V0	CLASS

ตารางที่ 6 รายละเอียดคุณสมบัติของวัสดุ HDPE **สำหรับท่อป้องกัน**

3.2 การพัฒนาระบบสารสนเทศข้อมูลสายสื่อสารในส่วนของโปรแกรม

3.2.1 การออกแบบ และการทำงานของโปรแกรม

หลักการทำงานของระบบ เริ่มจากเก็บสายใส่ลงในท่อที่เตรียมไว้ พร้อม tag RFID จากนั้นเก็บข้อมูลของสายชนิดต่าง ๆ ชื่อผู้ให้บริการเจ้าของสาย เพื่อตรวจสอบความเรียบร้อย และตรวจสอบการลักลอบเพิ่มสาย

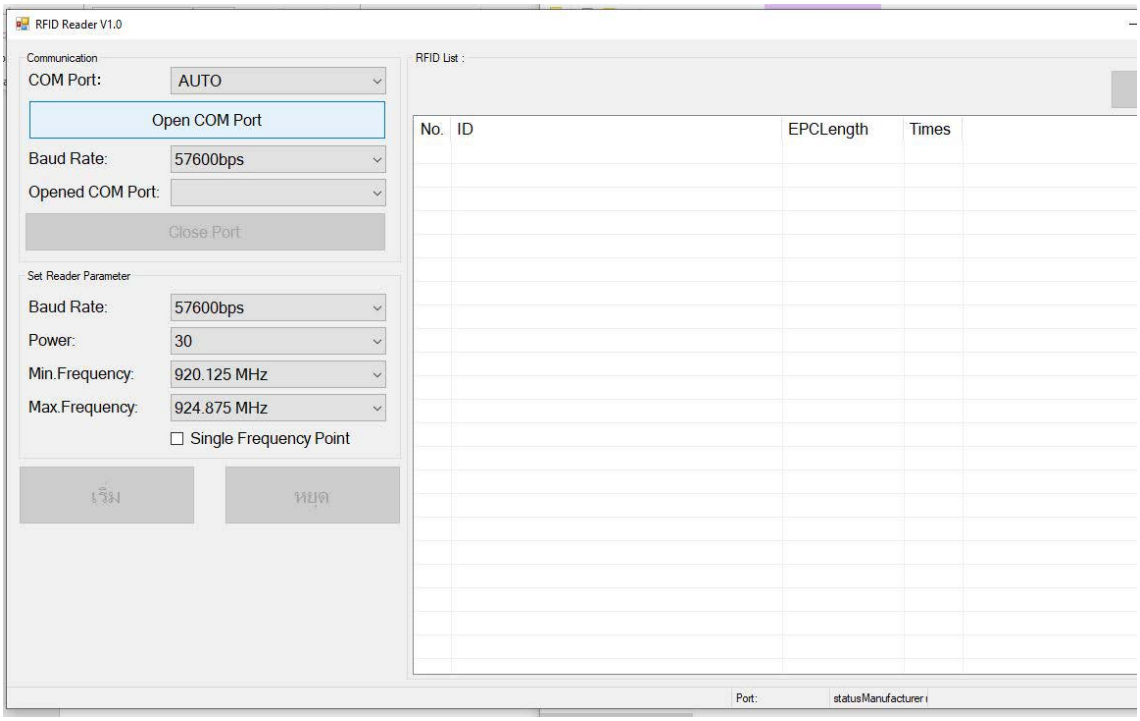
โปรแกรมจะถูกนำมาใช้ในส่วนของการอ่านค่า RFID การเก็บค่าลงบันทึก อ่านค่าที่บันทึกไว้ และแก้ไขค่าที่บันทึกไว้ในส่วนของการเก็บค่า จะมีเป็นตัวเลข ชนิด สี และที่เพิ่มขึ้นมาคือการเก็บรูปถ่าย และ ตำแหน่งพิกัด จาก GPS

เนื่องจากเป็นการอ่านค่าจากระยะไกล อุปกรณ์ที่ใช้จึงมีขนาดใหญ่ เพื่อให้รับ-ส่งสัญญาณได้ไกล การต่อกับอุปกรณ์นี้จึงจำเป็นต้องต่อกับพีซีเพื่ออ่านค่าพีซี ในที่นี้เพื่อให้ง่ายต่อการทำงานนอกสถานที่ได้จึงใช้เป็นคอมพิวเตอร์พกพา เพื่อให้การใช้งานสะดวกขึ้นจึงมีการพัฒนาโปรแกรมบนมือถือระบบแอนดรอยด์เพิ่มเติม ใช้งานคู่กันกับระบบของพีซี

โปรแกรม ถูกออกแบบออกมาเป็น 3 ส่วน

1. โปรแกรมบนพีซีตัวอ่าน RFID – เพื่ออ่านค่า tag RFID เก็บข้อมูลตัวเลข ลงในคอมพิวเตอร์พกพา แล้วเชื่อมต่อไปยังมือถือ เพื่ออัพเดทข้อมูลไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ต่อไป
2. โปรแกรมบนโทรศัพท์มือถือ ระบบแอนดรอยด์ ใช้ควบคุม การใส่ข้อมูล ถ่ายรูป เก็บพิกัด GPS สามารถดูข้อมูล และแก้ไขข้อมูลได้ เป็นตัวต่อเข้ากับระบบอินเทอร์เน็ต ส่งข้อมูลไปยังเว็บเซิร์ฟเวอร์ จึงจำเป็นต้องมีอินเทอร์เน็ตเพื่อการใช้งาน
3. โปรแกรมดูแลระบบและข้อมูลทั้งหมด (หลังบ้าน) บนพีซี ทำหน้าที่ใส่ข้อมูล ตรวจสอบข้อมูล ดูแลระบบ ให้สิทธิ์ผู้ใช้งาน ทำหน้าที่ในแบบเดียวกับข้อ 2. โปรแกรมบนโทรศัพท์มือถือ แต่ปรับได้ละเอียดกว่า เป็นโปรแกรมที่ใช้ตรวจสอบอีกครั้ง

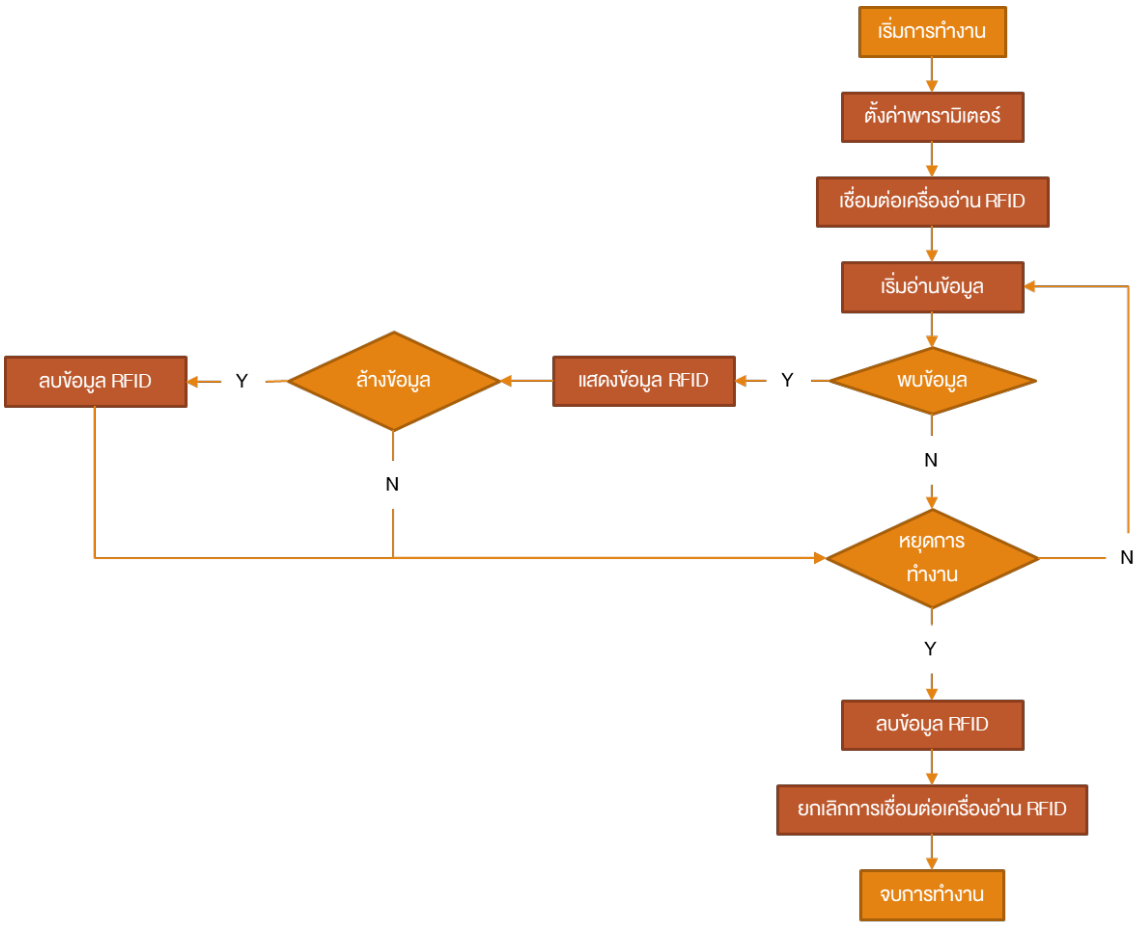
โปรแกรมตัวอ่าน RFID (บนพีซี)



รูปที่ 53 GUI ของโปรแกรมตัวอ่าน RFID

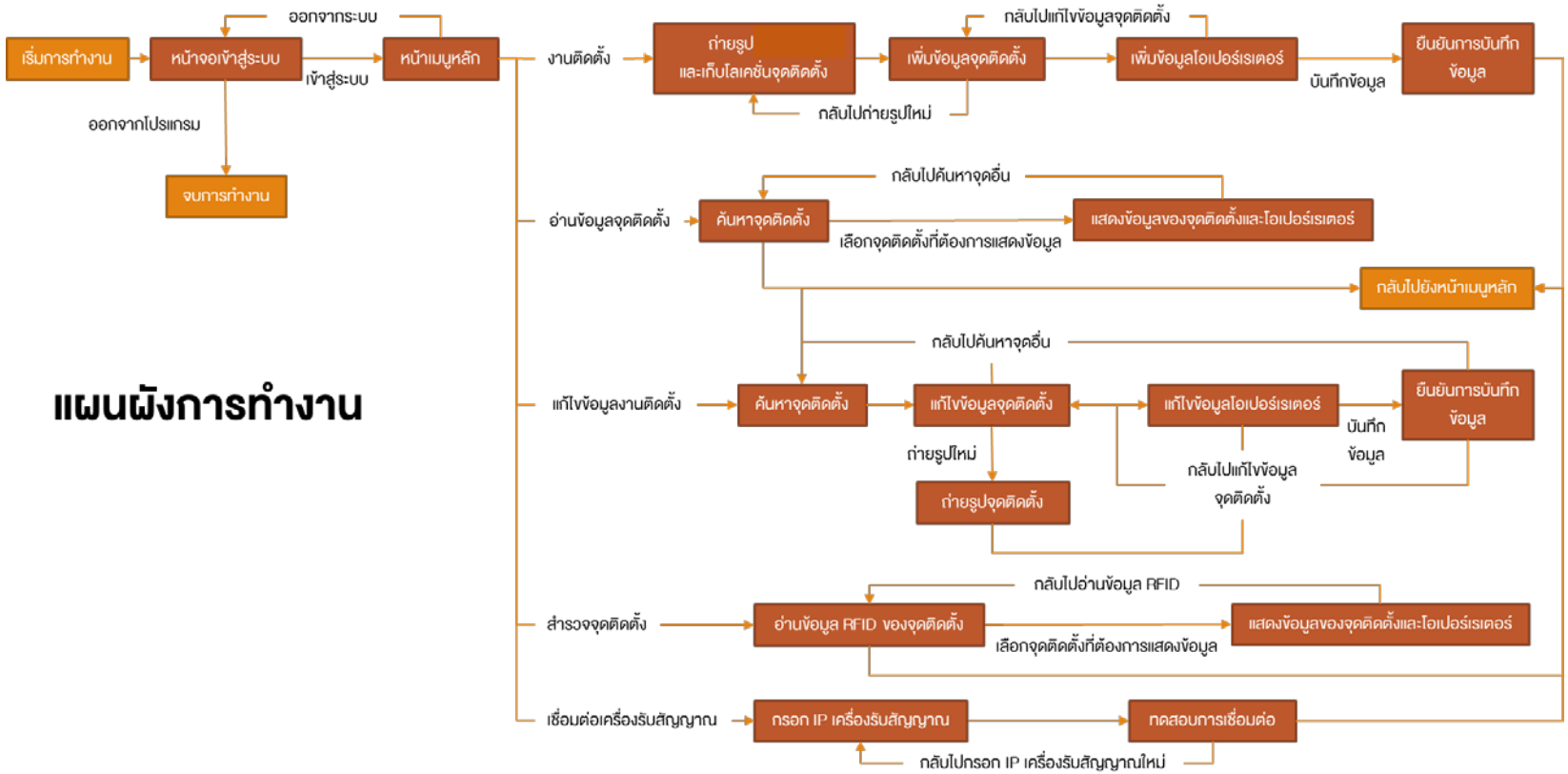
โปรแกรมอ่านค่า RFID ทำหน้าที่ เลือก COM Port ปรับตั้งค่าต่าง ๆ เพื่อให้ตัวเครื่องอ่านและเสารับสัญญาณทำงาน เริ่มใช้งาน โดนกดปุ่ม”เริ่ม” เครื่องก็จะเริ่มอ่านสัญญาณหา tag RFID เมื่อเจอก็จะเก็บค่าลงในเครื่อง

เมื่อเดินทางไปยังจุดต่อไป หรือเสาต่อไป ให้กดปุ่ม “หยุด” ขณะเดินทาง หรือไม่ใช้ เพื่อหยุดการทำงาน เป็นการประหยัดไฟเพื่อให้มีพลังงานมากพอในการทำงานในจุดต่อไป



รูปที่ 54 แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) ของโปรแกรมตัวอ่าน RFID

โปรแกรมบนโทรศัพท์มือถือ ระบบแอนดรอยด์



รูปที่ 55 แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) GUI และ Flow การทำงานของผู้ใช้งาน

แผนผังการทำงาน เชื่อมต่อเครื่องรับสัญญาณ

รูปที่ 56 แผนผังการทำงาน เข้าสู่ระบบ

รูปที่ 57 แผนผังการทำงาน งานติดตั้ง

รูปที่ 58 แผนผังการทำงาน แก้ไขข้อมูลงานติดตั้ง

รูปที่ 59 ตัวอย่าง outline ของโปรแกรม Mobile

1.หน้า login ให้ใส่ Username กับ Password กดปุ่ม เข้าสู่ระบบ

2.หน้าเมนูหลัก มีหัวข้อย่อยดังนี้

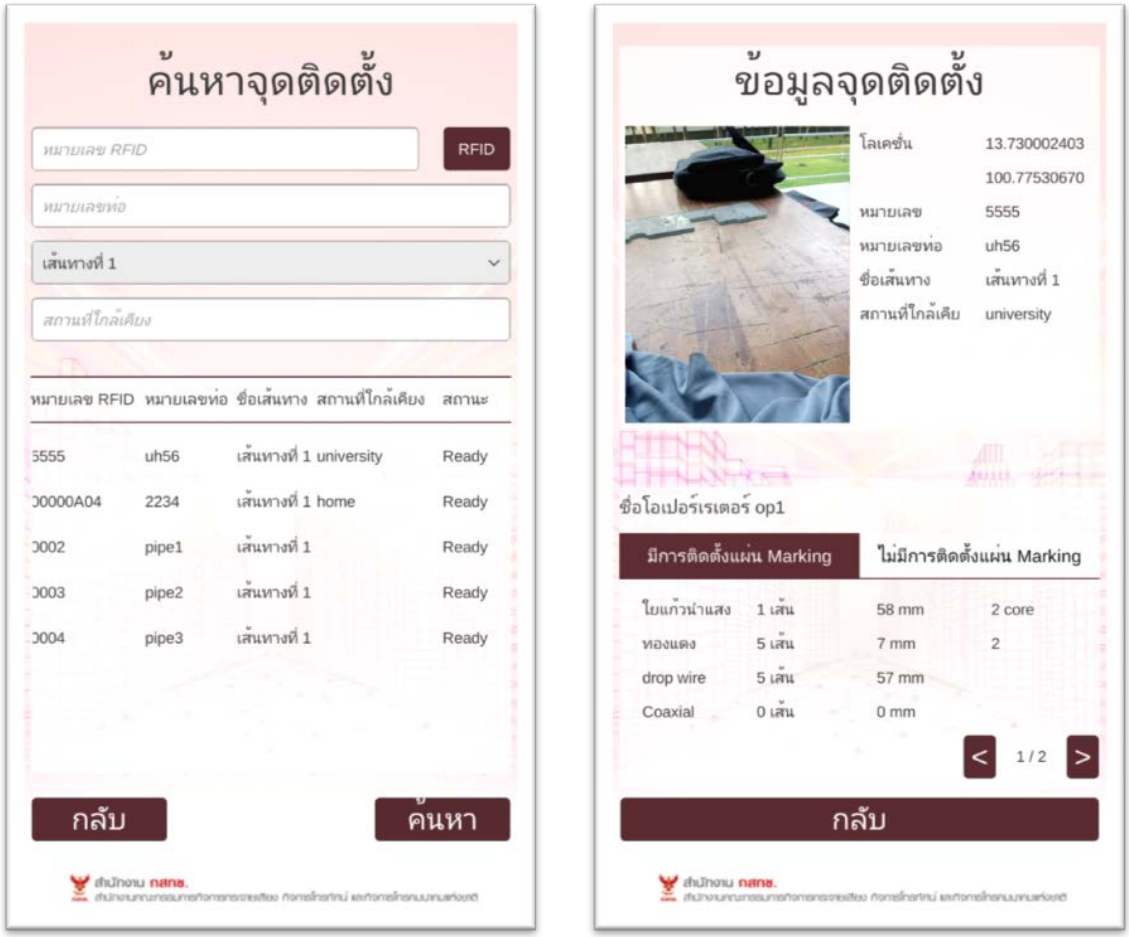
2.1 งานติดตั้ง ถ่ายรูป เก็บค่าพิกัด ใส่ข้อมูลจุดติดตั้ง สาย ผู้ประกอบกิจการ

2.2 สำรวจจุดติดตั้ง ดูข้อมูล

2.3 อ่านข้อมูลจุดติดตั้ง ค้นหาจุดติดตั้ง

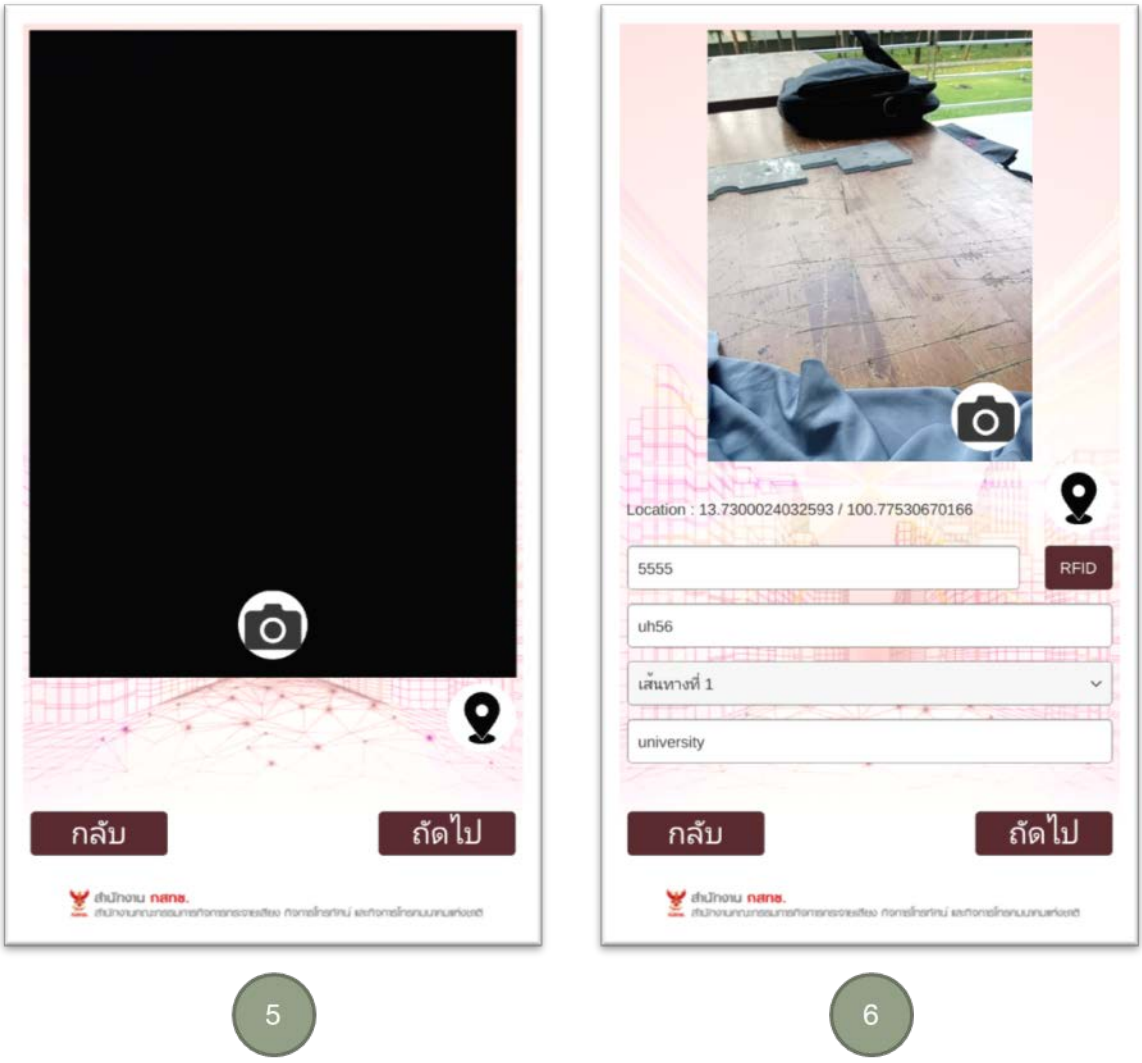
2.4 แก้ไขข้อมูลงานติดตั้ง แก้ไขข้อมูล สาย ผู้ประกอบกิจการ ถ่ายรูปใหม่ แก้พิกัด

2.5 เชื่อมต่อเครื่องรับสัญญาณ หาเครื่องอ่าน RFID



รูปที่ 60 เมนูการแสดงข้อมูลจุดติดตั้ง

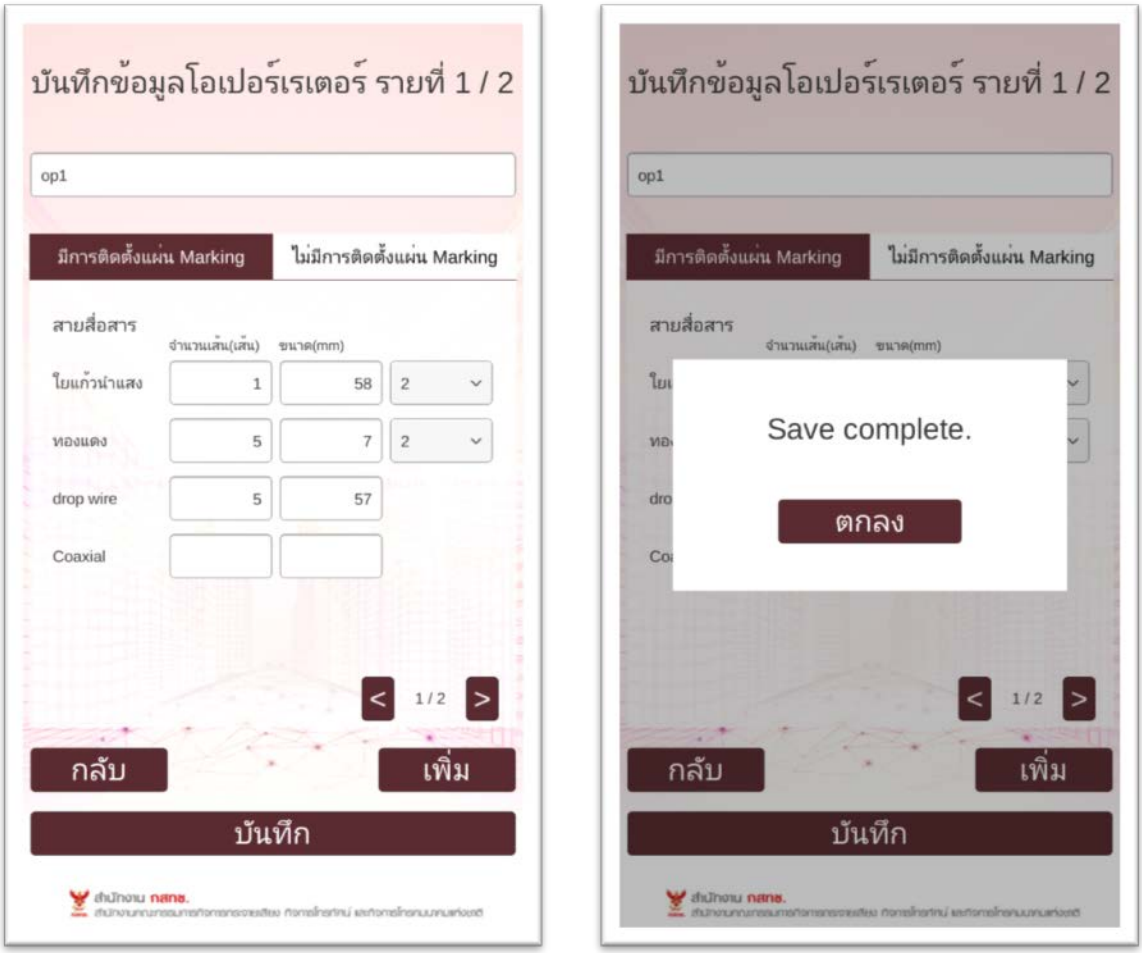
3. ค้นหาข้อมูลจุดติดตั้ง
4. แสดงข้อมูลจุดติดตั้ง



รูปที่ 61 เมนูการถ่ายรูปและเก็บบันทึกข้อมูลจุดติดตั้ง

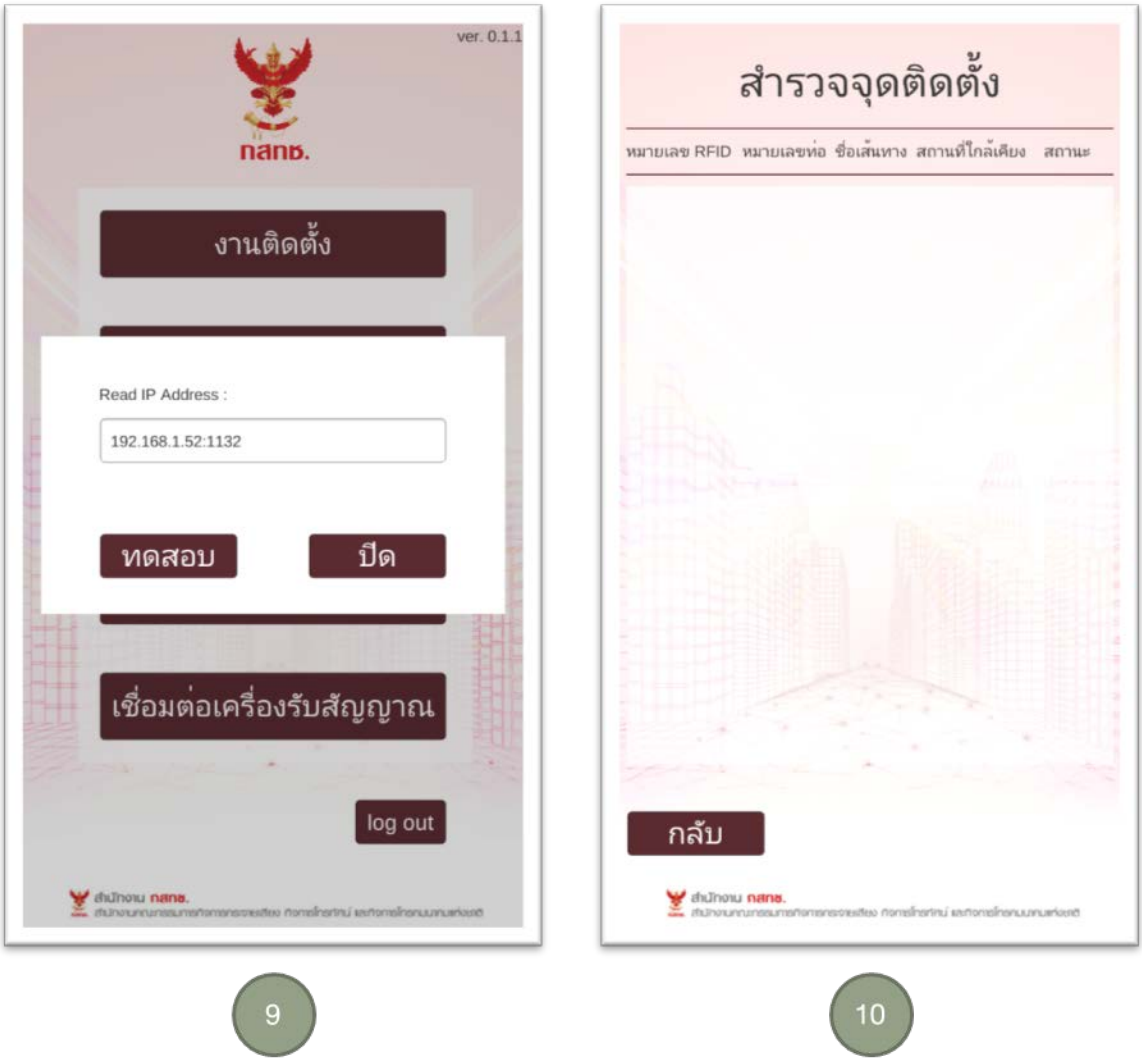
5.ถ่ายรูปและเก็บข้อมูล GPS พิกัด

6.บันทึกข้อมูลจุดติกตั้ง



รูปที่ 62 เมนูการบันทึกข้อมูลผู้ประกอบการ

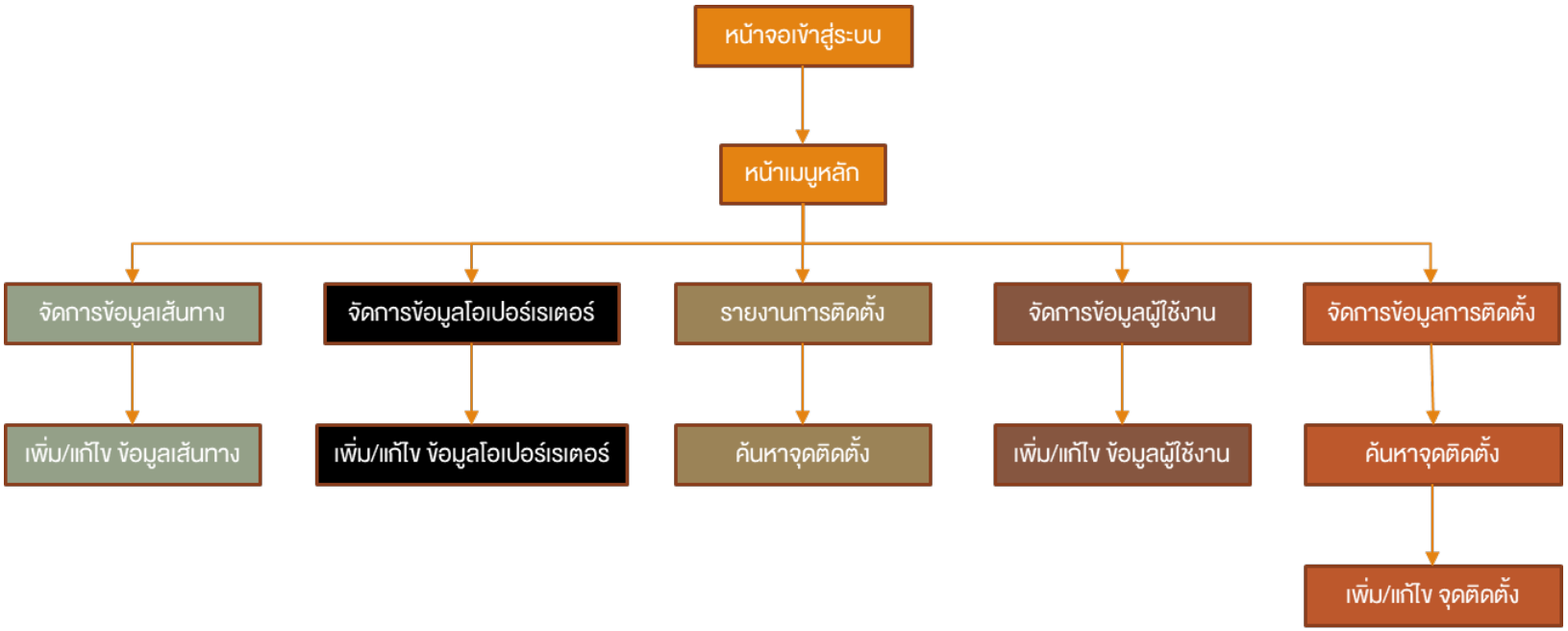
7. บันทึกข้อมูลผู้ประกอบกิจการ
8. ยืนยันการบันทึกข้อมูล



รูปที่ 63 เมนูการเชื่อมต่อกับเครื่องอ่าน RFID reader เพื่ออ่านรหัส ID ของท่อป้องกัน

9. เชื่อมต่อกับเครื่องอ่าน RFID
10. สำรวจจุดติดตั้ง แสดงเลข RFID เส้นทาง สถานะ

โปรแกรมดูแลระบบและข้อมูลทั้งหมด (หลังบ้าน) บนพีซี



รูปที่ 64 แผนผัง Site map **ของโปรแกรมหลังบ้าน (**Backend)

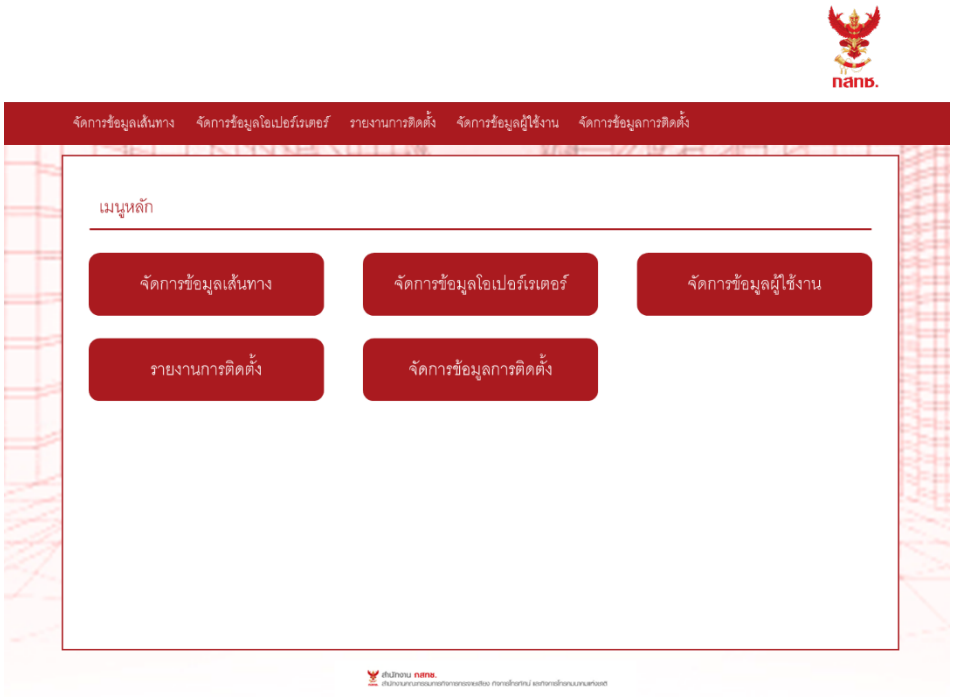
รายละเอียดของโปรแกรมหลังบ้าน (Backend)

เป็นโปรแกรมส่วนที่ 3 ต่อจาก โปรแกรมตัวอ่าน RFID และ โปรแกรมบนมือถือแอนดรอยด์ โปรแกรมนี้ถูกออกแบบให้ทำหน้าที่

1. จัดการข้อมูลเส้นทาง ผู้ใช้งานสามารถค้นหา/แก้ไข ข้อมูลของเส้นทางและตำแหน่งของจุดติดตั้งที่ต้องสำรวจได้
2. จัดการข้อมูลผู้ให้บริการ ผู้ประกอบกิจการ ดูข้อมูล แก้ไข เพิ่ม หรือลดผู้ประกอบกิจการ
3. รายงานการติดตั้ง ดูข้อมูลของสาย ดูรายละเอียดข้อมูลของสายผู้ให้บริการ ข้อมูลตำแหน่ง และรูปภาพ
4. จัดการข้อมูลผุ้ใช้งาน เพิ่ม/ลด/แก้ไข ผู้ใช้งาน ทั้งหมด
5. จัดการข้อมูลการติดตั้ง เพิ่ม/ลด/แก้ไข ข้อมูล ของการติดตั้ง รายละเอียดของสาย ผู้ให้บริการ ข้อมูล ตำแหน่ง และรูปภาพ

โปรแกรมหลังบ้านนี้เป็นเว็บไซต์ที่ทำงานผ่านอินเทอร์เน็ต จำเป็นต้องใช้อินเทอร์เน็ตตลอด และใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล (database) ร่วมกันทั้ง 3 โปรแกรม

1. หน้าแรก ผู้ใช้งานต้อง ทำการ Log in ใส่ชื่อผู้ใช้และ รหัส เพื่อเข้าระบบ



2. เมื่อเข้ามาแล้วจะมาที่หน้าเมนูหลัก มีเมนูคำสั่งการใช้งานทั้งหมด

2.1 จัดการข้อมูลเส้นทาง : กำหนดข้อมูลเส้นทางของการติดตั้ง ดูข้อมูลเส้นทางของการติดตั้ง

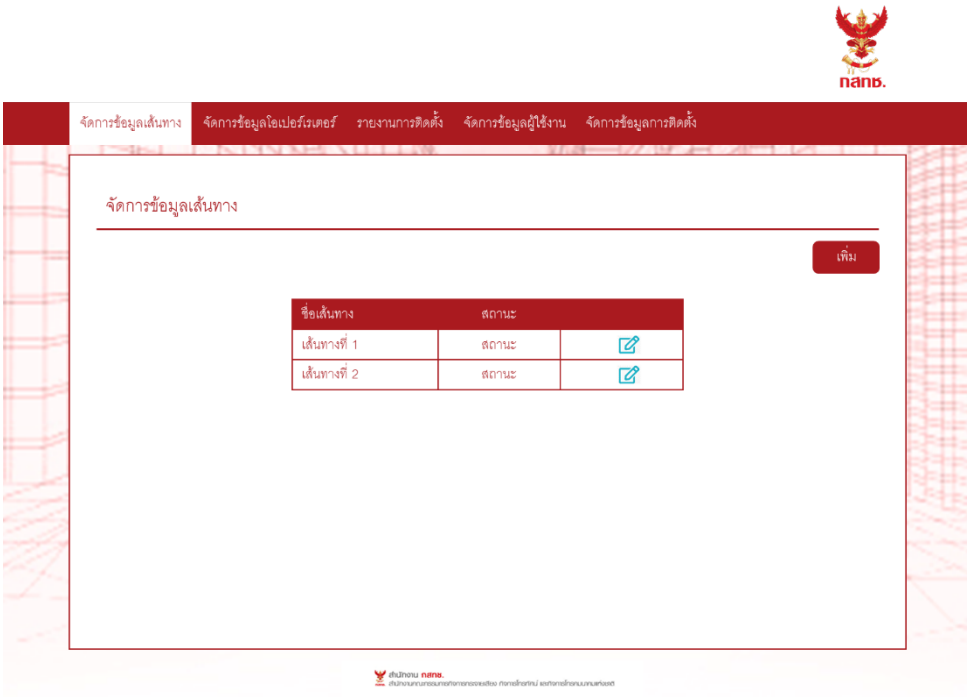
2.2 จัดการข้อมูลผู้ประกอบกิจการ : ใส่ข้อมูล/ดูข้อมูล และแก้ไขข้อมูล ของผู้ให้บริการ ผู้ประกอบกิจการ

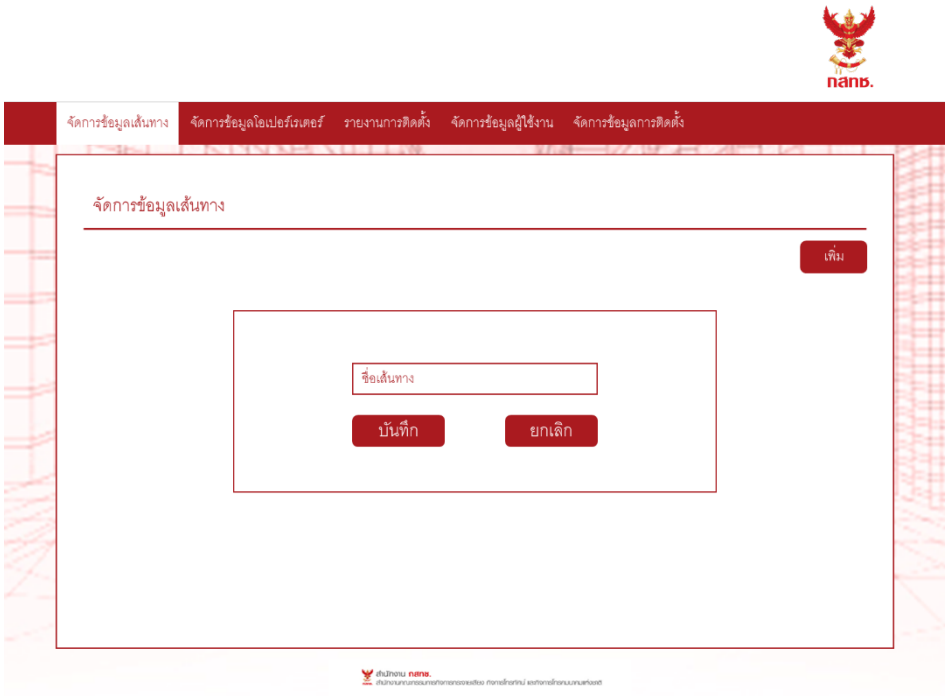
2.3 จัดการข้อมูลผู้ใช้งาน : ใส่ข้อมูล/ดูข้อมูลและแก้ไขข้อมูลของผู้ใช้งาน กำหนดสิทธิ์ระดับการใช้งาน

2.4 รายงานการติดตั้ง : ดูข้อมูลการติดตั้ง ข้อมูลรายละเอียดสาย

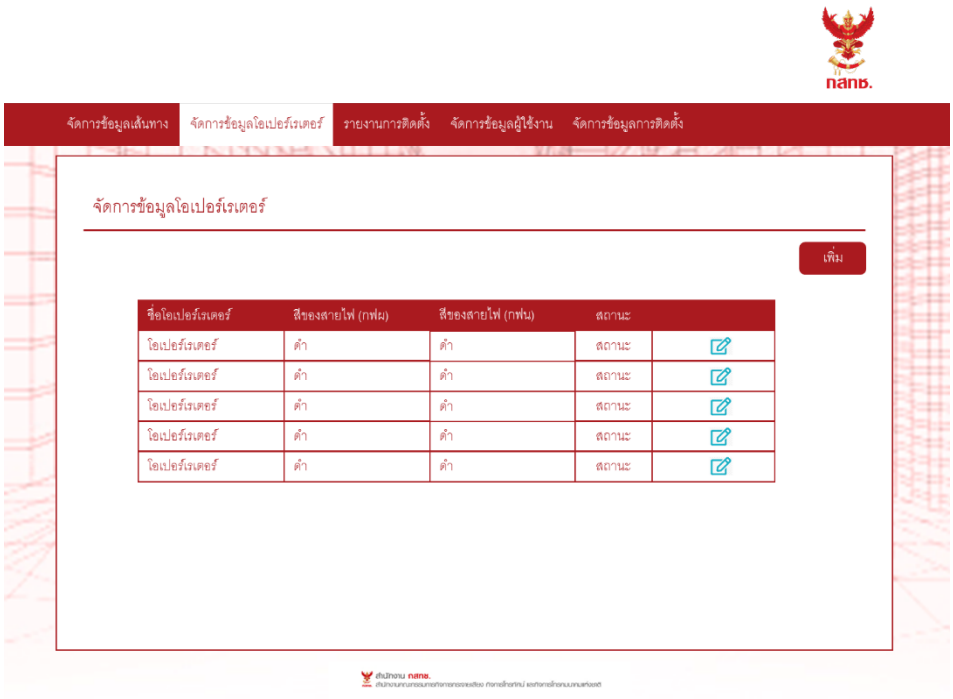
2.5 จัดการข้อมูลการติดตั้ง : แก้ไขข้อมูลการติดตั้ง เพิ่มลดแก้ไขข้อมูลสายจัดการรูปภาพและตำแหน่งพิกัด

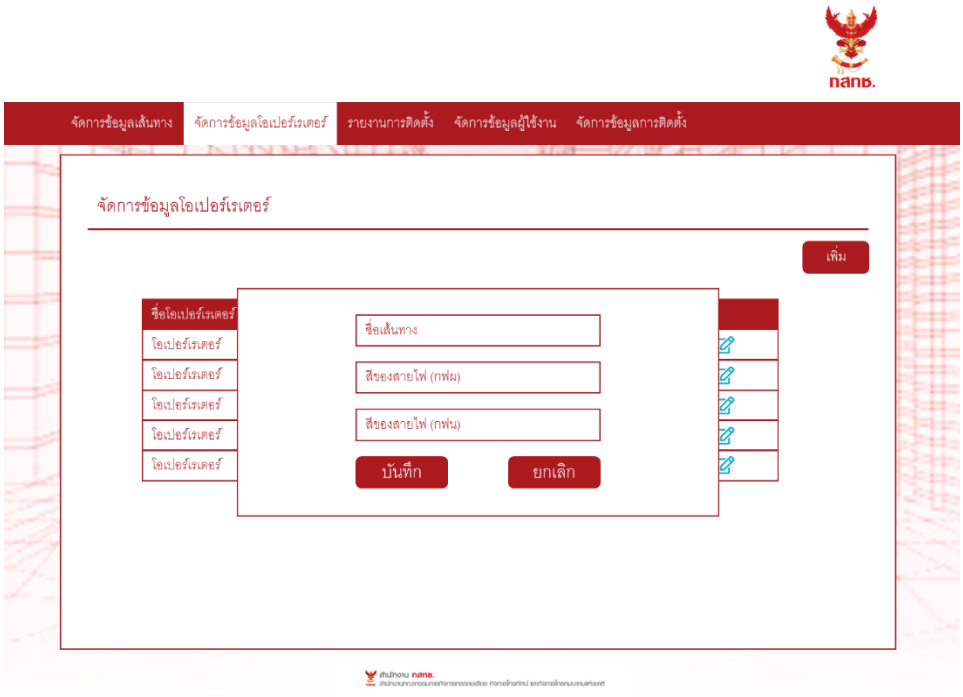
2.1. จัดการข้อมูลเส้นทาง : กำหนดข้อมูลเส้นทางของการติดตั้ง ดูข้อมูลเส้นทางของการติดตั้ง



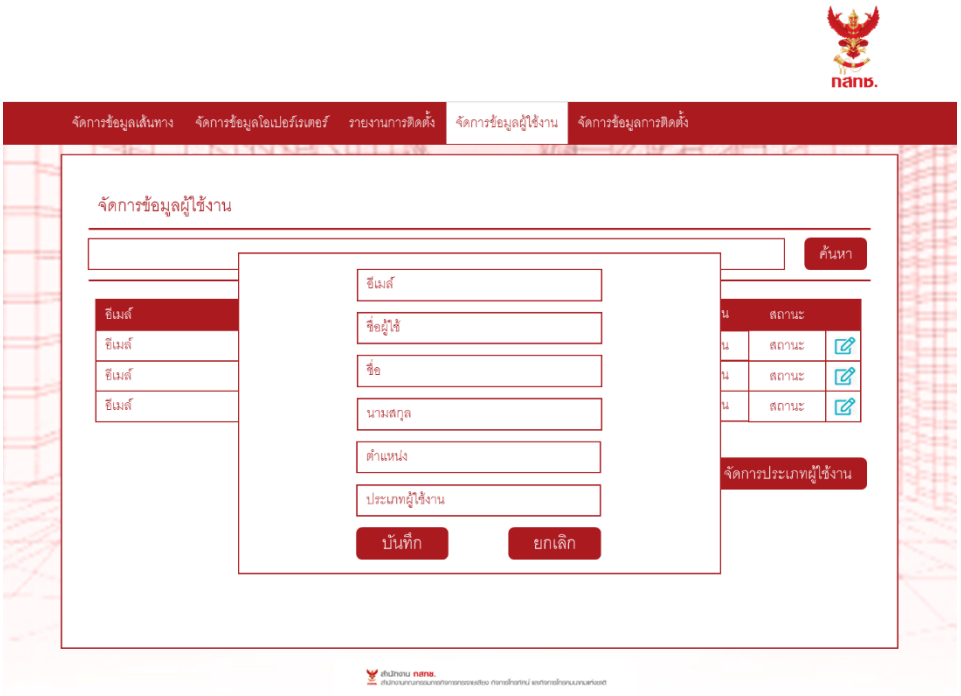


2.2. จัดการข้อมูลผู้ประกอบกิจการ : ใส่ข้อมูล/ดูข้อมูล และแก้ไขข้อมูล ของผู้ให้บริการ ผู้ประกอบกิจการ

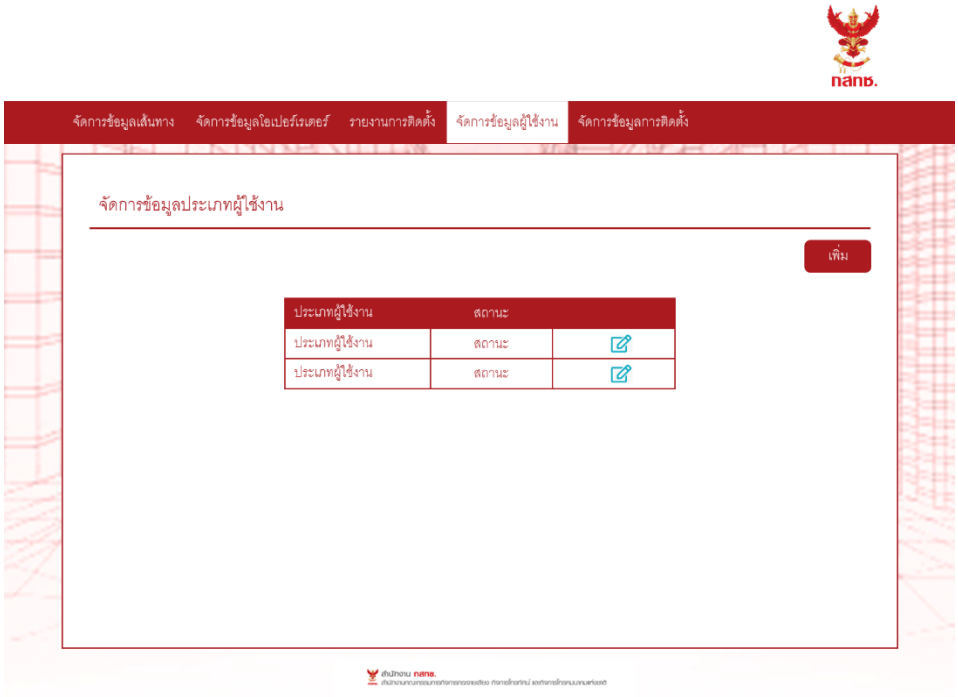


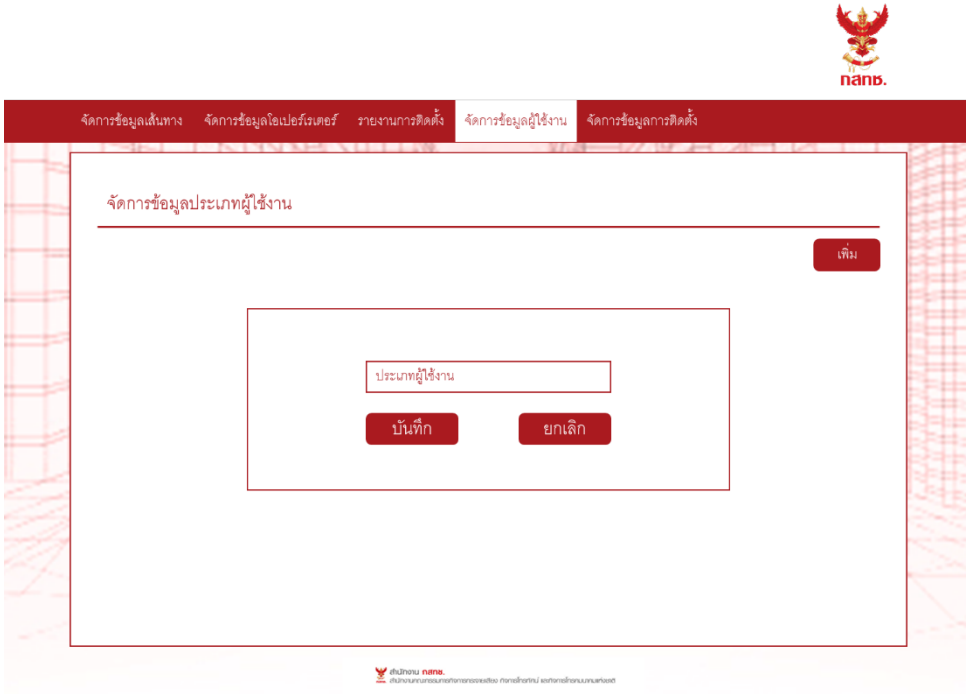


2.3. จัดการข้อมูลผู้ใช้งาน : ใส่ข้อมูล/ดูข้อมูลและแก้ไขข้อมูลของผู้ใช้งาน กำหนดสิทธิ์ระดับการใช้งาน

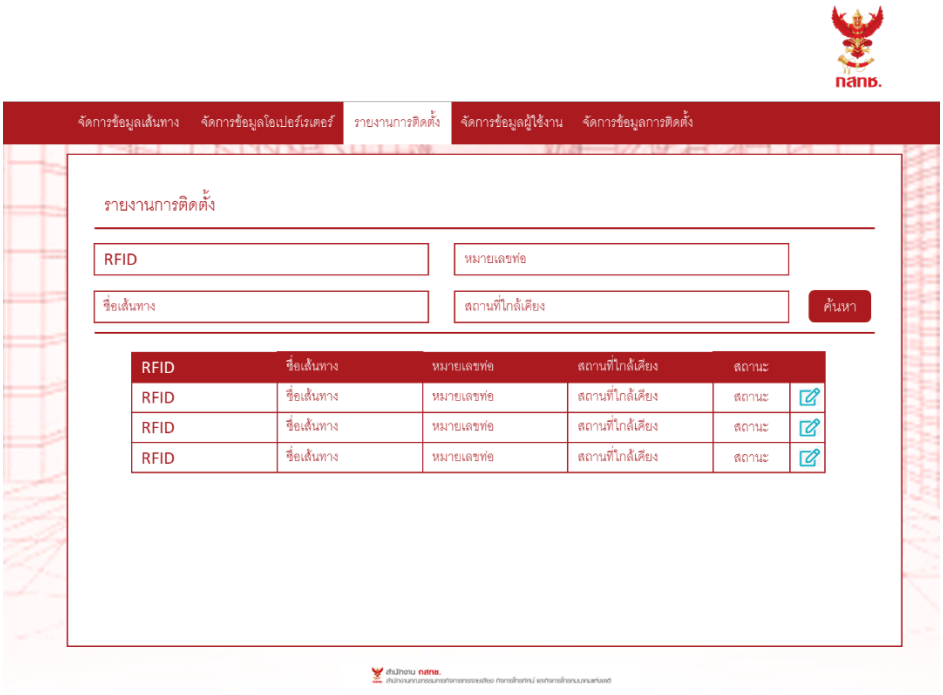


2.3. (ต่อ) จัดการข้อมูลผู้ใช้งาน : ใส่ข้อมูล/ดูข้อมูลและแก้ไขข้อมูลของผู้ใช้งาน กำหนดสิทธิ์ระดับ การใช้งาน

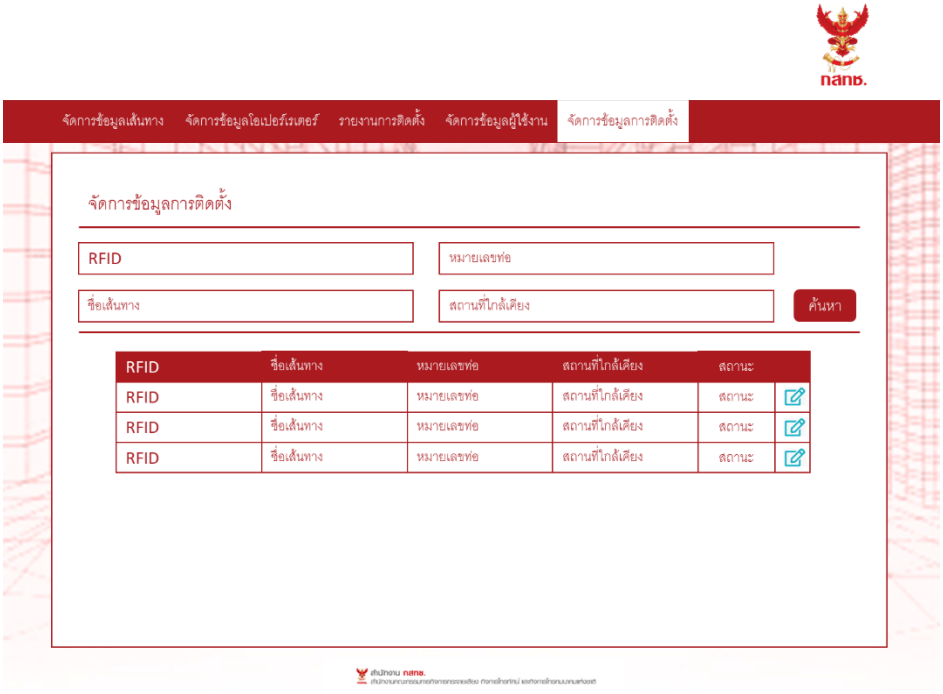




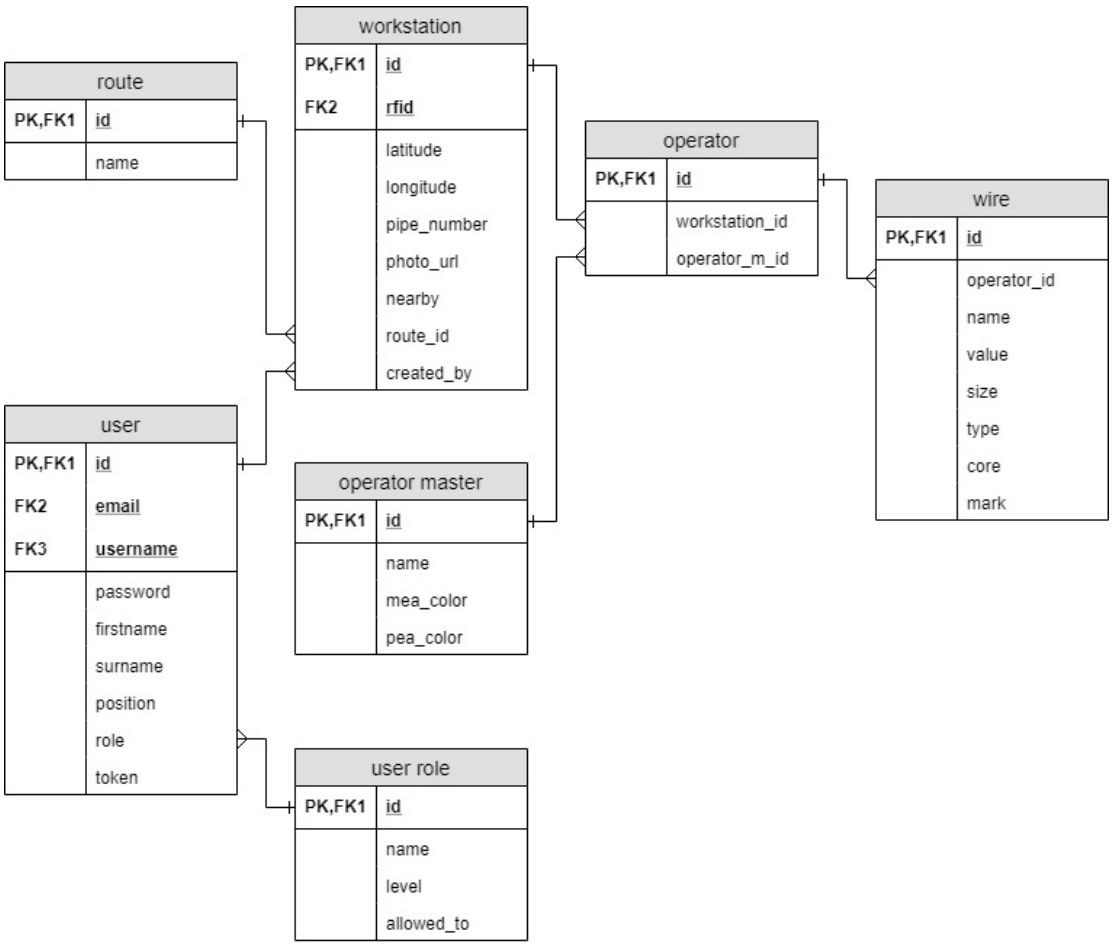
2.4. รายงานการติดตั้ง : ดูข้อมูลการติดตั้ง ข้อมูลรายละเอียดสาย



2.5. จัดการข้อมูลการติดตั้ง : แก้ไขข้อมูลการติดตั้ง เพิ่มลด แก้ไขข้อมูลสาย จัดการรูปภาพและตำแหน่งพิกัด



3.2.2 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล (E-R Diagram)



รูปที่ 65 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของข้อมูล (E-R Diagram)

3.2.3พจนานุกรมข้อมูล (Data Dictionary)

ตารางที่ 7 user table ตารางข้อมูลผู้ใช้งาน

Name	Data type	Length	Default	Description
id	INT	11	AUTO INCREMENT	รหัสประจำตัว
email	VARCHAR	64		เก็บค่าอีเมลผู้ใช่
username	VARCHAR	64		ชื่อผู้ใช้
password	TEXT			รหัสผ่าน
role	INT	11		บทบาทผู้ใช้ User, Admin
firstname	VARCHAR	128		ชื่อ
surname	VARCHAR	128		นามสกุล
position	VARCHAR	128		ตำแหน่ง
token	TEXT			ชุดตัวเลขอ้างอิงสำหรับยืนยันตัวตนผู้ใช้งาน
created_by	INT	11		สร้างโดยใคร
created_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	วันที่สร้าง
updated_by	INT	11		ปรับปรุงข้อมูล โดย
updated_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	ปรับปรุงข้อมูล ณ วันที่
status	TINYINT	4	1	สถานะ

ตารางที่ 8 user role table ตารางกลุ่มผู้ใช้งาน

Name	Data type	Length	Default	Description
id	INT	11	AUTO INCREMENT	รหัสประจำตัว
name	VARCHAR	128		ชื่อ
level	INT	11		ระดับประจำตัว
allowed_to	TEXT			มีสิทธิ์ทำอะไรได้บ้าง
created_by	INT	11		สร้างโดย
created_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	สร้าง ณ วันที่
updated_by	INT	11		ปรับปรุงข้อมูล โดย
updated_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	ปรับปรุงข้อมูล ณ วันที่
status	TINYINT	4	1	สถานะ

ตารางที่ 9 route table ตารางข้อมูลเส้นทาง

Name	Data type	Length	Default	Description
id	INT	11	AUTO INCREMENT	
name	VARCHAR	128		ชื่อเส้นทาง
created_by	INT	11		สร้างโดย
created_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	สร้าง ณ วันที่
updated_by	INT	11		ปรับปรุงข้อมูล โดย
updated_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	ปรับปรุงข้อมูล ณ วันที่
status	TINYINT	4	1	สถานะ

ตารางที่ 10 operator master table ตารางข้อมูลผู้ให้บริการ

Name	Data type	Length	Default	Description
id	INT	11	AUTO INCREMENT	
name	VARCHAR	128		ชื่อ
mea_color	VARCHAR	64		สีของการไฟฟ้านครหลวง
pea_color	VARCHAR	64		สีของการไฟฟ้าภูมิภาค
created_by	INT	11		สร้างโดย
created_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	สร้าง ณ วันที่
updated_by	INT	11		ปรับปรุงข้อมูล โดย
updated_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	ปรับปรุงข้อมูล ณ วันที่
status	TINYINT	4	1	สถานะ

ตารางที่ 11 workstation table ตารางเก็บข้อมูลจุดติดตั้ง

Name	Data type	Length	Default	Description
id	INT	11	AUTO INCREMENT	
rfid	VARCHAR	255		เลข RFID
latitude	DOUBLE			พิกัด ละติจูด
longitude	DOUBLE			พิกัด ลองติจูด
pipe_number	VARCHAR	128		เบอร์ของท่อ
photo_url	VARCHAR	128		ที่เก็บของรูป
route_id	INT	11		รหัสของเส้นทาง
nearby	TEXT			ข้อมูลใกล้เคียง
created_by	INT	11		สร้างโดย
created_date	DATETIME		CURRENT	สร้าง ณ วันที่

			TIMESTAMP	
updated_by	INT	11		ปรับปรุงข้อมูล โดย
updated_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	ปรับปรุงข้อมูล ณ วันที่
status	TINYINT	4	1	สถานะ

ตารางที่ 11 workstation table (ต่อเนื่อง)

ตารางที่ 12 operator table ตารางข้อมูลผู้ให้บริการในจุดติดตั้ง

Name	Data type	Length	Default	Description
id	INT	11	AUTO INCREMENT	
operator_m_id	VARCHAR	128		รหัสผู้ให้บริการ
workstation_id	INT	11		รหัสจุดติดตั้งอุปกรณ์
created_by	INT	11		สร้างโดย
created_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	สร้าง ณ วันที่
updated_by	INT	11		ปรับปรุงข้อมูล โดย
updated_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	ปรับปรุงข้อมูล ณ วันที่
status	TINYINT	4	1	สถานะ

ตารางที่ 13 wire table ตารางข้อมูลสายไฟในจุดติดตั้ง

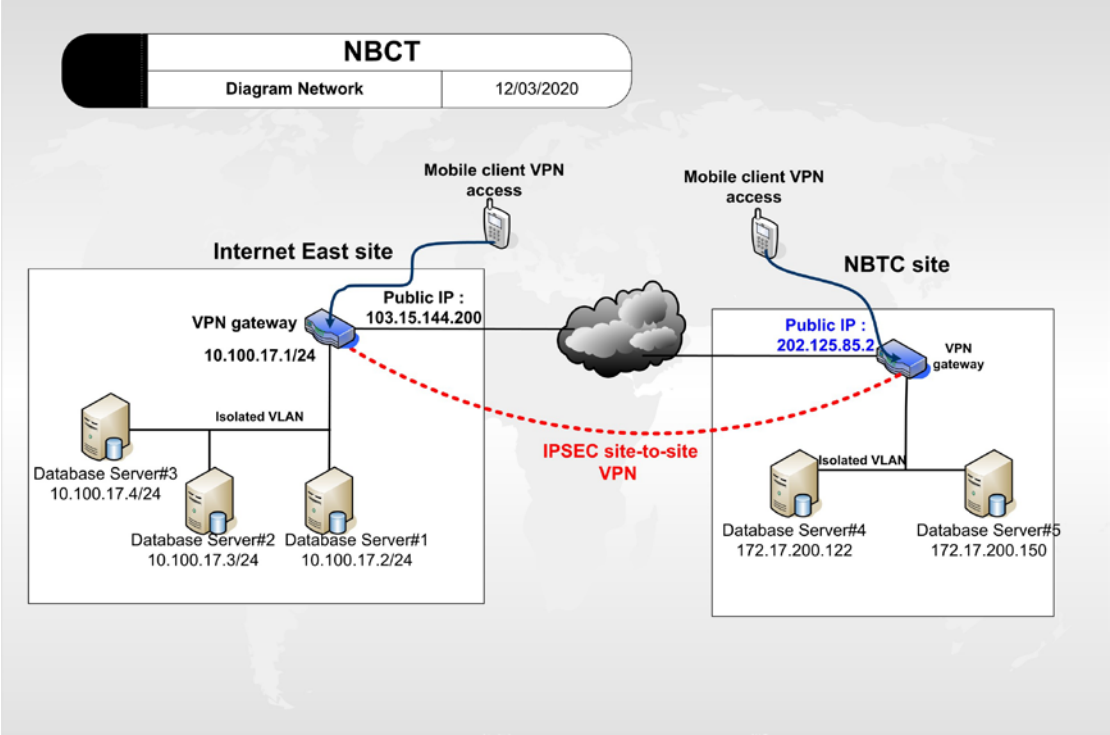
Name	Data type	Length	Default	Description
id	INT	11	AUTO INCREMENT	
operator_id	INT	11		รหัสผู้ให้บริการ
name	VARCHAR	16		ชื่อผุ้ให้บริการ
value	VARCHAR	16		ค่า
size	VARCHAR	16		ขนาดสาย
type	VARCHAR	16		ชนิดสาย
core	VARCHAR	16		ไส้ใน
mark	TINYINT	4	1	ทำเครื่องหมาย
created_by	INT	11		สร้างโดย
created_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	สร้าง ณ วันที่
updated_by	INT	11		ปรับปรุงข้อมูล โดย
updated_date	DATETIME		CURRENT TIMESTAMP	ปรับปรุงข้อมูล ณ วันที่
status	TINYINT	4	1	สถานะ

3.3 การพัฒนาระบบสารสนเทศในส่วนฐานข้อมูลและการเชื่อมต่อระบบ

การพัฒนาระบบสารสนเทศข้อมูลสายสื่อสาร มี 2 ส่วน คือ

1. ระบบฐานข้อมูลสายสื่อสาร
2. แอพลิเคชั่นที่ใช้ติดต่อกับฐานข้อมูลกลาง

ระบบฐานข้อมูลสายสื่อสารแสดงในรูปที่ 66 ประกอบด้วย ระบบ server 5 ชุด ที่แยกสถานที่ติดตั้งเป็น 2 สถานที่ คือ (1) สำนักงานใหญ่ กสทช. (NBTC site) และ (2) Internet East site ทั้งสองระบบเชื่อมต่อกันผ่านทางอินเตอร์เน็ตโดยใช้โปรโตคอล IPsec VPN การเข้าถึงระบบสามารถกระทำได้ผ่านอุปกรณ์ Android mobile device เข้ามาทาง VPN gateway ของระบบฐานข้อมูล



รูปที่ 66 ระบบฐานข้อมูลและการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

ทีมงานได้ติดตั้ง server 5 ชุด เป็นระบบ Linux มีฐานข้อมูลเป็น MariaDB เครื่อง server ทั้งห้าชุดจะทำงานเป็น Cluster โดยมี server 4 ชุดที่เป็น VPS แยกสถานที่ตั้ง ที่ Data Center ของสำนักงาน กสทช. และที่บริษัทอินเตอร์เน็ตอีสท์ ส่วน server อีก 1 ชุดที่เหลือเป็น Physical server

ต่างหาก ในกรณีที่เครื่อง server ตัวใดตัวหนึ่งไม่สามารถทำงาน ตัวที่เหลือจะทำงานแทน และหลังจากตัวที่หยุดทำงานกลับมาทำงานใหม่จะมีระบบโหวตให้ใช้ข้อมูลล่าสุดจากสี่ชุดนี้ ซึ่งจะทำให้ฐานข้อมูลทำงานเกือบตลอดเวลา แทบไม่มีโอกาสหยุดทำงาน

ในส่วนของระบบ security ระบบนี้จะไม่สามารถเข้าโดยตรงผ่าน Internet ต้องทำ VPN ผ่าน Firewall จึงจะสามารถใช้ได้ ดังนั้นบุคคลภายนอกจะไม่สามารถเข้ามาใช้งานระบบได้เลย เป็นการลดความเสี่ยงในการถูกโจมตี

Cluster ที่ติดตั้งประกอบด้วย Server ติดตั้งระบบปฏิบัติการ CentOS 7 ทั้งหมด 5 ชุด โดยติดตั้ง บน VPS 4 ชุด (nbtc1, nbtc2, nbtc4, nbtc5) และเครื่องแยกอิสระ 1 ชุด (nbtc3). ทั้งหมดอยู่ใน private subnet 10.100.17.0/24:

nbtc1: 10.100.17.2

nbtc2: 10.100.17.3

nbtc3: 10.100.17.4

nbtc4: 172.17.200.122

nbtc5: 172.17.200.122

Gateway สำหรับทั้งหมดคือ 10.100.17.1, เป็นอุปกรณ์ Mikrotik ซึ่งทำหน้าที่เป็น firewall/VPN gateway เข้าถึงได้ใน cluster เดียวกันผ่าน VPN เท่านั้น

ในการเพิ่ม users, เข้าไปที่ http://nbtc.ine.co.th:81

Login: admin

Pass: **********(รับจากผู้ดูแลระบบ)

Server ทุกตัวยังทำหน้าที่เป็น Web Server สามารถวางข้อมูลเว็ปไซต์ด้วย SFTP มาที่ nbtc1:

Server: nbtc1

User: nbtcweb

Pass: ******* (ขอได้จากผู้รับผิดชอบ)

เมื่อใดที่มีการอัพโหลดเว็ปแล้ว ข้อมูลจะถูกก็อปปี้ (replicate) กระจายซ้ำเข้าไปที่ server ที่เหลือใน Cluster อัตโนมัติ ทุก ๆ ชั่วโมง (ณ.เวลาเริ่มต้นชั่วโมง)

Database และข้อมูลเว็ปจะถูก backed up โดย nbtc3 ทุกวันเวลา 1:10am ที่ folder /var/backup เป็น database dumps และ ใน /var/www/html folder เป็นไฟล์ tar. Backups ที่เก่ากว่า 2 สัปดาห์จะถูกลบทิ้งอัตโนมัติ

โปรแกรมระบบฐานข้อมูลคือ MariaDB 10.1 ซึ่งมี Galera clustering โดยที่ Database ใน nbtc1, nbtc2, nbtc4, nbtc,5 จะ active เป็น master servers, สามารถเข้าถึงพร้อม ๆ กัน ส่วน nbtc3 ซึ่งเป็นอิสระจะทำหน้าที่ arbitrator ("garbd") จะไม่ได้เก็บฐานข้อมูลแต่เป็นโหนดที่ 3 ซึ่งจะคอยเก็บ track transactions ของ database หากมี server ตัวใดตัวหนึ่งหยุดทำงาน server ที่เหลือจะยังทำงานอยู่ และเมื่อตัวที่หยุดทำงานกลับมาทำงานใหม่ จะมีการเก็บสำเนาข้อมูลให้ด้วย quorum – คือการโหวตเสียงส่วนใหญ่ว่า transaction ใดล่าสุดจะได้รับสิทธิสำรองข้อมูลนั้น

เทคนิคดังกล่าวข้างต้นนี้ ทำให้ server ทำงานพร้อม ๆ กันอย่างน้อย 3 ตัวอย่างแน่นอน การทำการหยุดทำสิ่งใดหรือแก้ไขอะไรที่ Server จะต้อง restart cluster. และหากต้องการ reboot servers ต้องทำทีละตัวเรียงลำดับ และต้องรอให้ตัวที่ boot เรียบร้อยก่อนจึงจะสามารถ reboot เครื่องถัดไปได้

สิ่งสำคัญที่ต้องทราบเกี่ยวกับฐานข้อมูลนี้คือ มีเฉพาะ InnoDB tables ที่ Galera clustering รองรับ ดังนั้นเมื่อสร้าง database หากมีข้อมูลเก่าเป็น MyISAM tables จะใช้ไม่ได้

Database บน nbtc1, nbtc2, nbtc4, nbtc5 hosts มีรายละเอียด ดังนี้:

Host: localhost

DB: nbtcdb

User: nbtcdb

Pass: ******* (รับจากผู้รับดูแล)

ควรใช้ user เท่านั้น ไม่ควรใช้ user root เพื่อความปลอดภัย

นอกจากโปรแกรม MariaDB 10.1 แล้ว ยังมีการติดตั้ง phpMyAdmin ที่ nbct1, nbct2 , nbtc4, nbtc5 ด้วย

วิธีการตั้งค่าเชื่อมต่อที่เครื่อง Android

VPN ที่ใช้เป็น IPSEC/L2TP ตั้งให้ใช้กับ Android clients สามารถเชื่อมต่อได้ ดังนี้:

VPN type: L2TP/IPSEC PSK

Server address: nbtc.ine.co.th

L2TP secret (not used)

IPSEC identifier (not used)

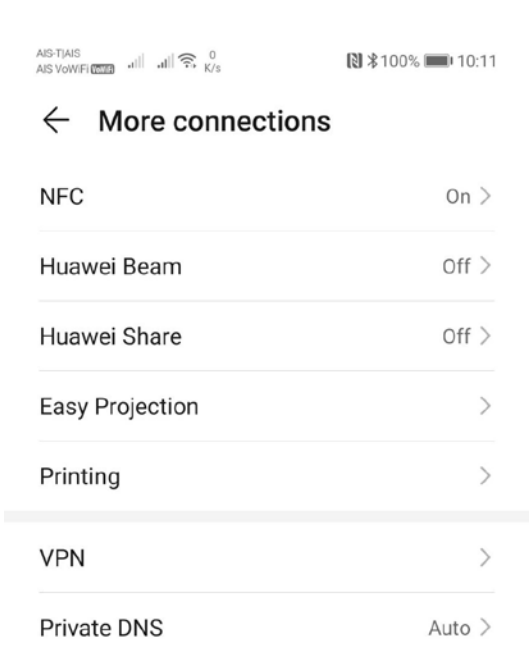
IPSEC preshared key: h7TeaU8S2vBw (for testing only:)

Username: testuser (ตัวอย่าง)

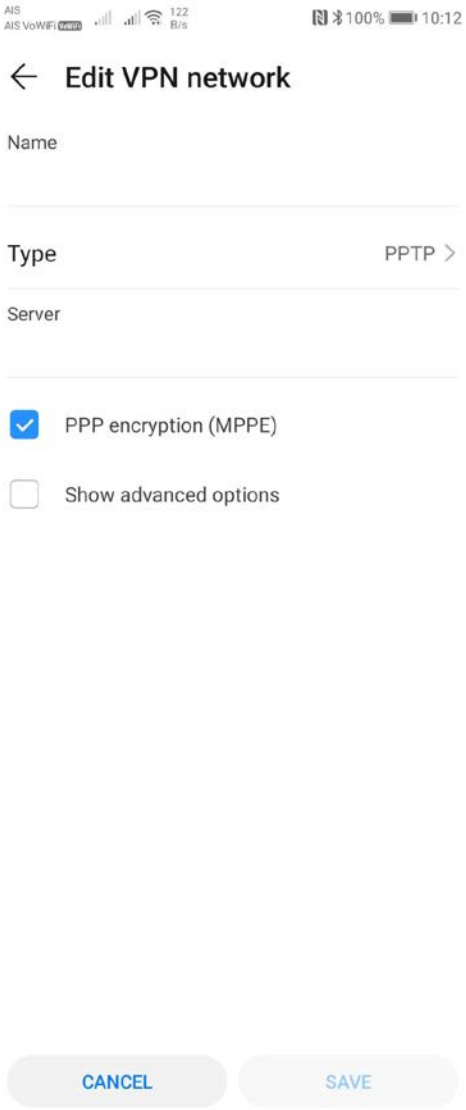
Password: *******

การเข้าเมนูโปรแกรมบน Android mobile device เพื่อเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูล ให้ทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

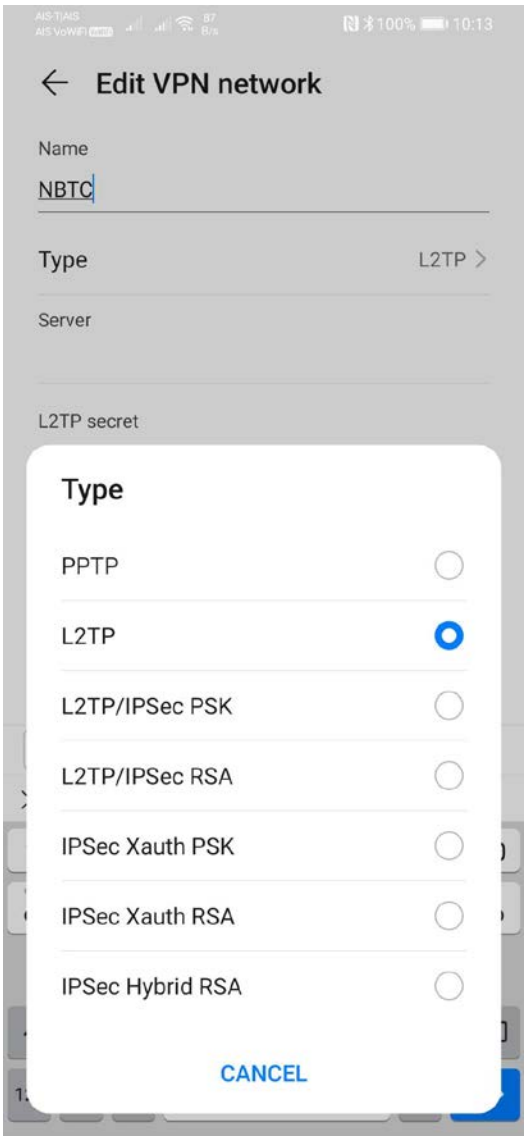
(1) Menu Connection เลือก VPN



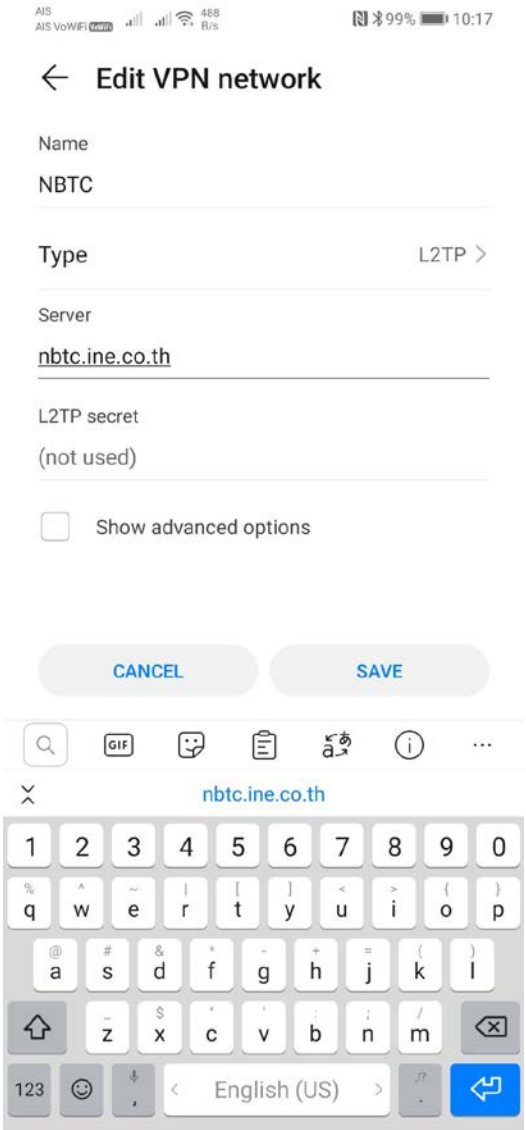
(2) เลือก PPP Secrets



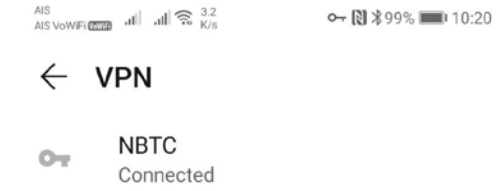
(3) เลือก Service "l2tp" และ Profile "ipsec_vpn"



(4) กำหนดชื่อใน Name และ Password ที่กำหนดไว้ . IP addresses จะได้รับอัตโนมัติจาก pool, 10.100.18.10-254.



(5) จากนั้นให้ลอง Connect



เมื่อ VPN client เชื่อมต่อสำเร็จ เครื่องจะใช้ Mikrotik เป็น DNS server. เครื่องจะรู้จักชื่อ nbtc1, nbtc2, nbtc3, nbtc4, nbtc5 โดยที่ host names เป็น internal IP addresses ไม่ต้องใช้ domains อีกต่อไป

บทที่ 4
ผลการวิจัย และการวิจารณ์ผล

ผลการวิจัย และวิจารณ์ผล

ในบทนี้จะเป็นการรายงานผลการดำเนินงานของโครงการทั้งในส่วนการพัฒนาออกแบบ และการติดตั้งทดสอบระบบ โดยแบ่งหัวข้อรายงานดังนี้

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติของท่อป้องกันและ RFID tag (*ผลทดสอบสรุปไว้ในตารางที่ 25*)
2. ผลการจัดระเบียบสายสื่อสาร
3. ผลการติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร
4. ผลการบันทึกข้อมูลสายสื่อสาร

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของท่อป้องกันและ RFID tag

ทำการทดสอบโดย Advanced Materials Research Lab วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตามข้อกำหนดของ กสทช. คณะวิจัยได้ทำการทดสอบดังต่อไปนี้

(1) ทนแสงแดด

(2) ทนรังสี UV

(3) ทนมลภาวะ

(4) ทนน้ำ ไม่เป็นสนิม

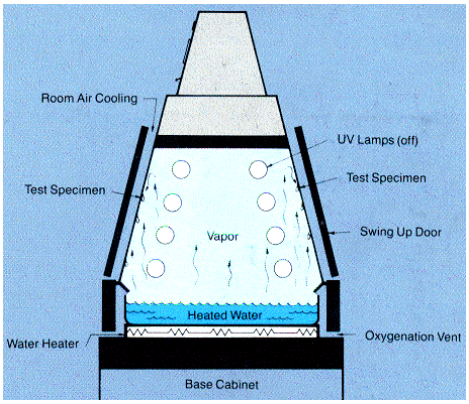
(5) ไม่กรอบแตก น้ำหนักเบา

(6) ไม่ติดไฟ-ลามไฟ (class V0-V1)

(7) มีความเป็นฉนวนไฟฟ้า

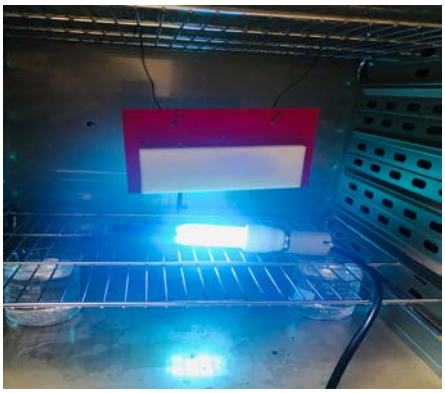
การทดสอบความทนทานต่อสภาวะแวดล้อม ตามมาตรฐาน ASTM G 154-00A

1) ใช้ หลอด UVA-340 และหลอด UVB-313 เพื่อทดสอบความทนทานต่อแสง ความร้อน
2) ระบบการสร้างการควบแน่นของน้ำ (Condensation system) ทดสอบในสภาพความชื้นจากฝน จากไอเกลือ และน้ำค้าง เพื่อทดสอบความทนต่อมลภาวะ ไม่เป็นสนิม



รูปที่ 67 เครื่อง QUV Accelerated Weathering **และหลักการทำงานตาม** ASTM G 154-00A

ตัวอย่าง กระบวนการทดสอบพลาสติก ABS ที่ สภาวะทดสอบคือให้แสงยูวีบีความยาวคลื่นหลัก 313 nm ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมงสลับกับไอน้ำควบแน่นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงสลับกันไปจนครบเวลา 1 สัปดาห์ (8 hrs.UVB-313 at 60 ° C /4 hrs. CON at 50 ° C for 1 week)



รูปที่ 68 เตาอบความคุมอุณหภูมิ การทดสอบความชื้นและรังสี UV **ตาม** ASTM G 154-00A

4.1.1 ผลการทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อมของ RFID tag (วัสดุ ABS) ตามมาตรฐาน ASTM G 154-00A

ทดสอบพลาสติก ABS ที่สภาวะทดสอบคือ ให้แสงยูวีบีความยาวคลื่นหลัก 313 nm ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมงสลับกับสเปรย์น้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สลับกันไปจนครบเวลา 300 ชั่วโมง หรือ 12.5 วัน (8 hrs.UVB-313 at 60 ° C /4 hrs. CON at 60 ° C for 300 hrs.) และทำการอ่านค่าสัญญาณ RFID เพื่อทดสอบการทำงาน ได้ผลตามตารางที่ 14

DATE	Load time	Test	RFID Test
22-Oct-19	15:00	UV test at 60°C for 8 hrs.	pass
	23:00	60 °C and spray water 4 hrs.	
23-Oct-19	3:00	UV test at 60°C for 8 hrs.	
	11:00	60 °C and spray water 4 hrs.	
	15:00	UV test at 60°C for 8 hrs.	pass
	23:00	60 °C and spray water 4 hrs.	
24-Oct-19	3:00	UV test at 60°C for 8 hrs.	
	11:00	60 °C and spray water 4 hrs.	pass
	15:00	UV test at 60°C for 8 hrs.	
	23:00	60 °C and spray water 4 hrs.	
25-Oct-19	3:00	UV test at 60°C for 8 hrs.	
	11:00	60 °C and spray water 4 hrs.	
	15:00	UV test at 60°C for 8 hrs.	pass
	23:00	60 °C and spray water 4 hrs.	
26-Oct-19	3:00	UV test at 60°C for 8 hrs.	
	11:00	60 °C and spray water 4 hrs.	
	15:00	UV test at 60°C for 8 hrs.	pass
	23:00	60 °C and spray water 4 hrs.	
27-Oct-19	3:00	UV test at 60°C for 8 hrs.	

	11:00	60 ℃ and spray water 4 hrs.	
	15:00	UV test at 60℃ for 8 hrs.	pass
	23:00	60 ℃ and spray water 4 hrs.	
28-Oct-19	3:00	UV test at 60℃ for 8 hrs.	
	11:00	60 ℃ and spray water 4 hrs.	
	15:00	UV test at 60℃ for 8 hrs.	pass
	23:00	60 ℃ and spray water 4 hrs.	
29-Oct-19	3:00	UV test at 60℃ for 8 hrs.	
	11:00	60 ℃ and spray water 4 hrs.	
	15:00	UV test at 60℃ for 8 hrs.	pass
	23:00	60 ℃ and spray water 4 hrs.	
30-Oct-19	3:00	UV test at 60℃ for 8 hrs.	
	11:00	60 ℃ and spray water 4 hrs.	
	15:00	UV test at 60℃ for 8 hrs.	pass
	23:00	60 ℃ and spray water 4 hrs.	

ตารางที่ 14 ตัวอย่างผลการทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อมของ RFID tag

สรุปผลการทดสอบ จากการทดสอบความร้อน และรังสี UV และความชื้นเป็นเวลา 300 ชั่วโมง ตัวชิ้นงานทดสอบยังไม่มีการเสียหาย กรอบ แตก ร่อน เกิดขึ้นกับตัวอย่าง และการทดสอบอ่านสัญญาณ RFID ยังสามารถอ่านได้ตามระยะทดสอบเป็นปรกติ

4.1.2 ผลการทดสอบ การติดไฟ ลามไฟ ของ RFID tag

การทดสอบสมบัติการไม่ติดไฟนั้น ทำการทดสอบการติดไฟและลามไฟของพลาสติกตามมาตรฐาน UL94 (Underwriters Laboratories Inc.) ซึ่งเป็นมาตรฐานขององค์กรของสหรัฐอเมริกา โดยการทดสอบแบ่งเป็นสองระดับคือ

การทดสอบการติดไฟและลามไฟแนวตั้ง(Vertical Burning Test)

ในการทดสอบจะจุดไฟ 2 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะจุดเป็นเวลา 10 วินาที ระยะเวลาที่พลาสติกลุกไหม้(มีเปลวไฟ) หลังการจุดแต่ละครั้งจนกระทั่งไฟดับจะบันทึกเป็นเวลา t_1 และ t_2 ส่วน t_3 เป็น

เวลา หลังจาก t_2 (วัสดุเกิดการหดร่น) โดยมาตรฐาน UL94 จะแบ่งเวลาเป็นสามระดับคือ V-0, V-1 และ V-2 ตามตารางที่ 15

หัวข้อเวลา (วินาที)	**Classification**		
	V-0	**V-1**	**V-2**
เวลา t_1 และ t_2	≤10	≤30	≤30
$t_1 + t_2$ ของทั้ง 5 ตัวอย่าง	≤50	≤250	≤250
$t_2 + t_3$ ของแต่ละตัวอย่าง	≤30	≤60	≤60
การลามไฟไปถึงตัวจับชิ้นงาน	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
สำลีลุกติกไฟจากประกายไฟหรือหยดพลาสติก	ไม่มี	ไม่มี	มี

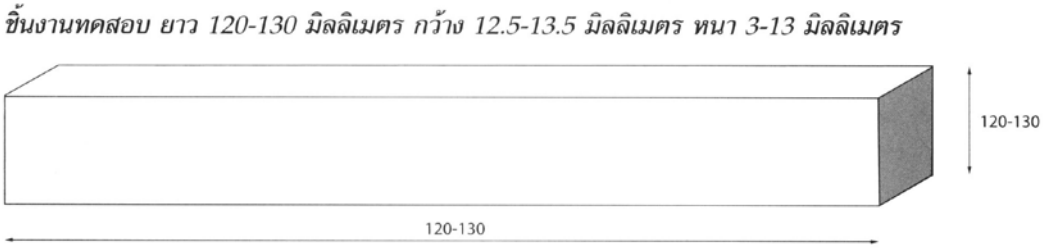
ตารางที่ 15 มาตรฐาน การติดไฟและลามไฟแนวตั้ง UL94

การทดสอบการติดไฟและลามไฟแนวนอน(Horizontal Burning Test; HB)

เป็นการทดสอบการจุดไฟเป็นระยะเวลา 30 วินาที หรือจนกว่าเปลวไฟจะไปถึงเส้นระยะ 25 mm แล้วจึงจับเวลา โดยชิ้นงานที่ผ่านมาตรฐานนี้ต้องมีอัตราการไหม้ไฟไม่เกิน 45 มิลลิเมตร/นาที ในชิ้นงานที่มีความหนาในช่วง 3 -13 mm และมีอัตราการไหม้ไฟไม่เกิน 75 mm/นาที ในชิ้นงานที่หนาน้อยกว่า 3 มิลลิเมตร

พลาสติก	**UL 94 Classification**
PVC-rigid	**V-0**
PVC-flex	**V-2**
PTFE	**V-0**
PC	**V-2**
PET	**HB**
ABS	**HB**
PE	**HB**
PS	**HB**
PP	**HB**

ตารางที่ 16 ตัวอย่างขนิดพลาสติกและระดับการติดไฟ ตามมาตรฐาน UL 94



รูปที่ 69 ขนาดชิ้นงานสำหรับทดสอบการติดไฟ

ผลการทดสอบ ABS cover part of RFID tag

กระบวนการทดสอบ มาตรฐาน UL 94 (**Vertical Burning Test**)

วันเริ่มทดสอบ 30 ตุลาคม 2562

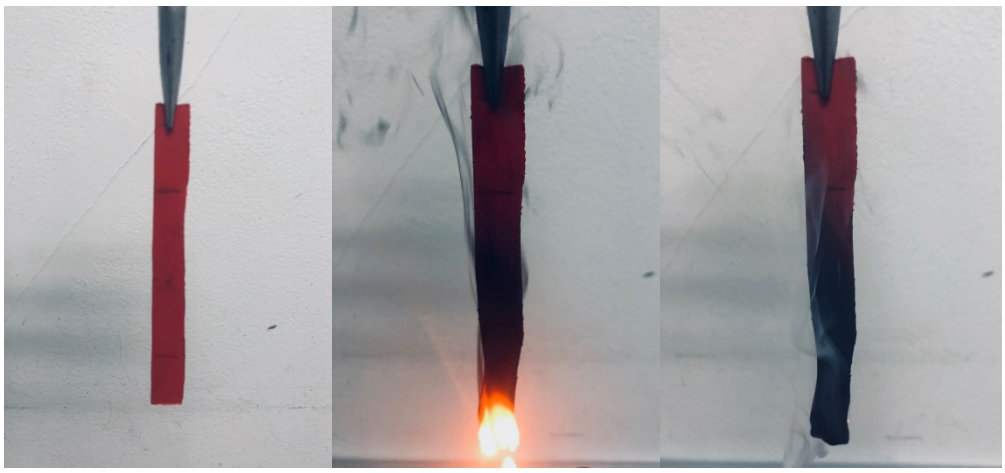
อุณหภูมิขณะทดสอบ 27 ^{o}C

ความชื้นสัมพัทธ์ 45 %

ผลการทดสอบ

sample	UL 94 Classification
ABS cover part of RFID tag	V-0

การเตรียมตัวอย่าง พลาสติก ABS ความหนา 2 ± 0.25 มิลลิเมตร ตัดให้มีความกว้าง 13 มิลลิเมตร ยาว 120 มิลลิเมตร ทำการทดลอง 5 ครั้งบนแท่นจับในตู้ควบคุม ตามรูปที่ 70 โดยการทดสอบจะจุดไฟตัวอย่างละ 2 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะจุดเป็นเวลา 10 วินาที ระยะเวลาที่พลาสติกลุกไหม้ (มีเปลวไฟ) หลังการจุดแต่ละครั้งจนกระทั่งไฟดับจะบันทึกเป็นเวลา t_1 และ t_2 ส่วน t_3 เป็นเวลา หลังจาก t_2 (วัสดุเกิดการหดร่น) โดยมาตรฐานจะแบ่งเวลาเป็นสามระดับคือ V-0, V-1 และ V-2 ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 17



รูปที่ 70 แสดงชิ้นตัวอย่างในแท่นจับยึดทดสอบการติดไฟแนวตั้ง และ ชิ้นตัวอย่างในแท่นจับยึดขณะติดไฟแล้วเริ่มจับเวลาเมื่อเอาไฟออกจนดับ แล้วบันทึกเวลา

Sample	Thickness (mm)	Time (s)					การลามไฟถึงตัวจับชิ้นงาน	สำลีลุกติกไฟจากประกายไฟหรือหยดพลาสติก
		t_1	t_2	t_3	$t_1 + t_2$	$t_2 + t_3$		
1	1.24	2.87	2.91	1.20	5.78	4.11	No	No
2	1.18	3.12	3.15	1.07	6.27	4.22	No	No
3	1.28	2.81	2.89	1.21	5.70	4.10	No	No
4	1.20	3.04	3.11	1.15	6.15	4.26	No	No
5	1.22	2.98	3.02	1.19	6.00	4.21	No	No

$t_1 + t_2$ ของทั้ง 5 ตัวอย่าง = 29.90 วินาที

ตารางที่ 17 แสดงผลการบันทึกเวลาของตัวอย่างทดสอบ

4.1.3 ผลการทดสอบความเป็นฉนวน ของ RFID tag

มาตรฐานความต้านทานฉนวนของอุปกรณ์ไฟฟ้า

ฉนวนไฟฟ้า คือคุณสมบัติอย่างหนึ่งของวัสดุที่ใช้ป้องกันการสัมผัสจากตัวนำที่มีกระแสไฟฟ้าหรือความร้อน การวิเคราะห์ความเสื่อมสภาพของฉนวนไฟฟ้าทำได้โดยการวัดค่าความต้านทานฉนวน คุณลักษณะจำเพาะของความเป็นฉนวนมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลา ซึ่งจะเลวร้ายเมื่อหมดสภาพหรือฉีกขาด ปรากฏการณ์ทางกายภาพที่มีผลต่อคุณลักษณะของฉนวน เช่น ปัญหาความร้อน ความสกปรก ความชื้น ความเค้นทางกล และความเค้นทางไฟฟ้า การแพร่กระจายพลังงานสูงและอื่น ๆ การติดตั้งในสภาพแวดล้อมที่เลวร้าย โดยเฉพาะที่มีอุณหภูมิสูงมาก และปนเปื้อนสารเคมีมีผลให้เกิดการเสื่อมสภาพไปเรื่อย ๆ ฉนวนจะเริ่มพัง และมีกระแสรั่วไหลซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดอันตรายหลายอย่างตามมา หลักการพื้นฐานตามกฎของโอห์ม

$$I = V / R$$

เมื่อ I คือ กระแส, V คือ แรงดัน, R คือ ความต้านทาน

ถึงแม้ตามสูตรข้างต้นกระแสจะไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา แต่ในการวัดค่าฉนวนในทางปฏิบัติจริงแสดงให้เห็นว่า กระแสมีการเปลี่ยนไปตามเวลา พฤติกรรมของกระแสดังกล่าวมีสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดกับตัววัสดุฉนวน เมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้า สามารถแสดงเป็นโมเดลทางไฟฟ้าของฉนวนได้

ในการทดสอบค่าความต้านทานฉนวน จะมีการกำหนดค่าแรงดันทดสอบ ซึ่งแรงดันทดสอบนี้จะเลือกให้เหมาะสมกับแรงดันที่ใช้งานจริง โดยปกติจะเลือกแรงดันทดสอบอยู่ที่ประมาณ 2 เท่าของแรงดันที่ใช้งาน เมื่อเลือกแรงดันทดสอบได้แล้ว จึงทำการทดสอบค่าฉนวนไฟฟ้า ทั้งนี้มาตรฐาน IEC 60364 (ตารางที่ 18) มาตรฐานสากลด้านการติดตั้งไฟฟ้าในอาคาร ได้กำหนดค่าต่ำสุดของค่าความต้านทานฉนวนไว้ หากค่าที่ทำการทดสอบมีค่าน้อยกว่าที่กำหนด แสดงว่าอุปกรณ์นั้นไม่มีความปลอดภัยในการใช้งาน ควรทำการเปลี่ยนอุปกรณ์

ผลการทดสอบความเป็นฉนวนของ RFID tag แสดงในตารางที่ 19 ผลที่ได้คือ ผ่าน

ระบบแรงดันปกติที่ใช้งาน	แรงดันทดสอบ	ค่าต่ำสุดของค่าความต้านทานฉนวน
SELV ถึง PELV	250VDC	0.25MΩ
LV ถึง 500V	500VDC	0.5MΩ
มากกว่า 500V	1000VDC	1.0MΩ

- **SELV** (ระบบแรงดันต่ำพิเศษขั้นปลอดภัย)
- **PELV** (ระบบแรงดันต่ำพิเศษป้องกัน)
- **LV** (ระบบแรงดันต่ำ)

ตารางที่ 18 ตารางแสดงค่าความต้านทานฉนวนตามมาตรฐาน IEC 60364

ตัวอย่าง	**ค่าความต้านทานไฟฟ้า แรงดัน1000 V_{dc} (MΩ)**
RFID tag	43

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบความเป็นฉนวนของ RFID tag ตามมาตรฐาน IEC 60364

4.1.4 ผลการทดสอบวัสดุท่อป้องกัน หรือท่อร้อยสายสื่อสาร (HDPE Protection Pipe)

ผลการทดสอบสรุปไว้ในตารางที่ 20 รายละเอียดของการทดสอบแสดงไว้ในหัวข้อ 4.1.6 ผลการทดสอบคือ ผ่าน

รูปที่ 71 ชิ้นงานท่อป้องกันที่นำมาทดสอบ

การทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	มาตฐาน
ความทนทานสภาวะแวดล้อม รังสี UV	pass	-	ASTM G 154-00A
การไม่ติดไฟ และลามไฟ	V-0	-	Ul94
ความเป็นฉนวนไฟฟ้า	20	MΩ	IEC 60364

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบของชิ้นงานท่อป้องกัน

4.1.5 ผลการทดสอบตัวป้ายสัญลักษณ์ กฟน (ABS Logo Plate)

ผลการทดสอบสรุปไว้ในตารางที่ 21 รายละเอียดของการทดสอบแสดงไว้ในหัวข้อ 4.1.6 ผลการทดสอบคือ ผ่าน

รูปที่ 72 ชิ้นงานแผ่นป้ายที่นำมาทดสอบ

การทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย	มาตฐาน
ความทนทานสภาวะแวดล้อม รังสี UV	**pass**	**-**	**ASTM G 154-00A**
การไม่ติดไฟ และลามไฟ	**V-0**	**-**	**Ul94**
ความเป็นฉนวนไฟฟ้า	**43**	**MΩ**	**IEC 60364**

ตารางที่ 21 ผลการทดสอบของชิ้นงานแผ่นป้าย

4.1.6 รายละเอียดการทดสอบในส่วนของตัวท่อป้องกัน และชิ้นส่วนป้ายสัญลักษณ์ กฟน

(1) การทดสอบความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมตามมาตรฐาน ASTM G 154-00A

ทดสอบความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมของท่อป้องกัน ซึ่งเป็นวัสดุพลาสติก HDPE และแผ่นป้าย ซึ่งเป็นวัสดุพลาสติก ABS ที่สภาวะทดสอบคือ ให้แสงยูวีบีความยาวคลื่นหลัก 313 nm ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมงสลับกับสเปรย์น้ำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง สลับกันไปจนครบเวลา 5 สัปดาห์ (8 hrs.UVB-313 at 60 ° C /4 hrs. CON at 60 ° C for 5 week) และทำการตรวจสอบสภาพตัวอย่าง การกรอบแตก ซีดจางของวัสดุ

สรุปผลการทดสอบ ของตัวท่อป้องกัน และตัวป้ายสัญลักษณ์ กฟน. นั้นจากการทดสอบความร้อน ความชื้น ไอเกลือ และรังสี UV เป็นเวลา 5 สัปดาห์ ตัวชิ้นงานทดสอบยังไม่มีการเสียหาย กรอบ แตก ร่อนเกิดขึ้นกับตัวอย่าง

(2) การทดสอบการติดไฟ-ลามไฟ ของตัวท่อป้องกัน และตัวป้ายสัญลักษณ์ กฟน

การทดสอบการติดไฟ การลามไฟของตัวท่อป้องกัน

รูปที่ 73 แสดงชิ้นตัวอย่างของท่อป้องกันในแท่นจับยึดทดสอบการติดไฟแนวตั้ง และชิ้นตัวอย่างในแท่นจับยึดขณะติดไฟแล้วเริ่มจับเวลาเมื่อเอาไฟออกจนดับ และระยะเวลาหลังไฟดับแล้วเกิดการหดร่นจนหยุด แล้วบันทึกเวลา

Sample	Thickness (mm)	Time (s)					การลามไฟถึงตัวจับชิ้นงาน	สำลีลุกติกไฟจากประกายไฟหรือหยดพลาสติก
		t_1	t_2	t_3	$t_1 + t_2$	$t_2 + t_3$		
1	2.32	3.58	5.72	6.67	9.3	12.39	No	No
2	2.38	4.12	5.87	6.89	9.99	12.76	No	No
3	2.36	3.74	5.85	6.75	9.59	12.6	No	No
4	2.42	4.16	5.98	7.08	10.14	13.06	No	No
5	2.39	4.13	5.86	6.91	9.99	12.77	No	No

$t_1 + t_2$ ของทั้ง 5 ตัวอย่าง = 49.01 วินาที

ตารางที่ 22 ค่าเวลาทดสอบการติดไฟ การลามไฟของตัวท่อป้องกัน

ผลการทดสอบการติดไฟ การลามไฟของตัวท่อป้องกัน

กระบวนการทดสอบ มาตรฐาน UL 94 (**Vertical Burning Test**)

วันเริ่มทดสอบ 3 เมษายน 2563

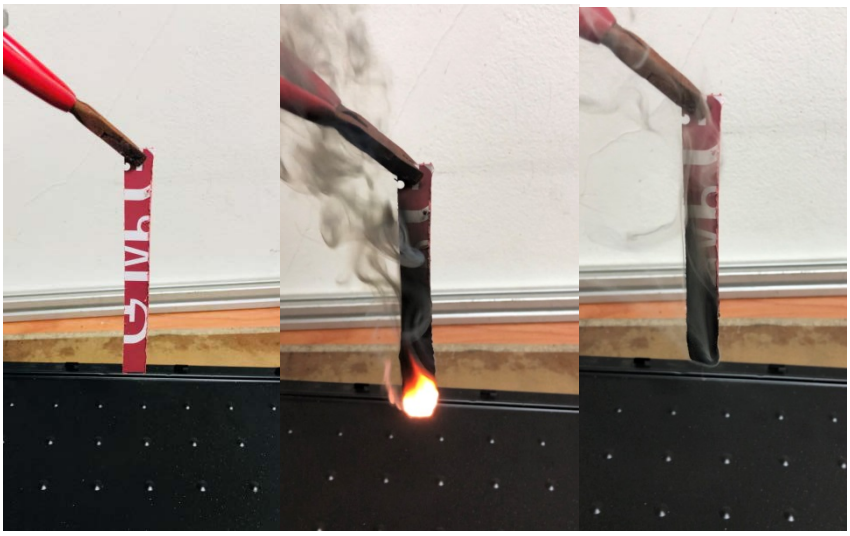
อุณหภูมิขณะทดสอบ 28 °C

ความชื้นสัมพัทธ์ 48 %

ผลการทดสอบ

sample	UL 94 Classification
HDPE Protection Pipe	V-0

การทดสอบการติดไฟ การลามไฟของตัวป้ายสัญลักษณ์ กฟน



รูปที่ 74 แสดงชิ้นตัวอย่างของตัวป้ายสัญลักษณ์ กฟน. ในแท่นจับยึดทดสอบการติดไฟแนวตั้ง และ ชิ้นตัวอย่างในแท่นจับยึดขณะติดไฟแล้วเริ่มจับเวลาเมื่อเอาไฟออกจนดับ และระยะเวลาหลังไฟดับแล้วเกิดการหดร่นจนหยุด แล้วบันทึกเวลา

Sample	Thickness (mm)	Time (s)					การลามไฟถึงตัวจับชิ้นงาน	สำลีลุกติกไฟจากประกายไฟหรือหยดพลาสติก
		t_1	t_2	t_3	$t_1 + t_2$	$t_2 + t_3$		
1	2.01	2.01	2.24	4.72	3.84	6.96	No	No
2	2.03	2.03	2.56	4.87	4.12	7.43	No	No
3	2.02	2.04	2.65	4.92	4.23	7.57	No	No
4	2.04	2.02	2.51	4.83	3.95	7.34	No	No
5	2.03	2.03	2.54	4.89	4.18	7.43	No	No

$t_1 + t_2$ ของทั้ง 5 ตัวอย่าง = 36.73 วินาที

ตารางที่ 23 ค่าเวลาทดสอบการติดไฟ การลามไฟของตัวป้ายสัญลักษณ์ กฟน.

ผลการทดสอบการติดไฟ การลามไฟของตัวป้ายสัญลักษณ์ กฟน.

กระบวนการทดสอบ มาตรฐาน UL 94 (**Vertical Burning Test**)

วันเริ่มทดสอบ 3 เมษายน 2563

อุณหภูมิขณะทดสอบ 28 °C

ความชื้นสัมพัทธ์ 48 %

ผลการทดสอบ

sample	UL 94 Classification
ABS Logo Plate	V-0

(3) การทดสอบสมบัติความเป็นฉนวนไฟฟ้าของตัวท่อร้อยสายสื่อสาร และตัวป้ายสัญลักษณ์ กฟน.

ได้ผลการทดสอบในตารางที่ 24 ผลที่ได้คือ ผ่าน

ตารางที่ 24 ผลการทดสอบความเป็นฉนวนทางไฟฟ้ามาตรฐาน IEC 60364

ตัวอย่าง	**ค่าความต้านทานไฟฟ้า แรงดัน1000 V_{dc} (MΩ)**
ท่อร้อยสารสื่อสาร	20
ตัวป้ายสัญลักษณ์ กฟน	43

ผู้ทำการทดสอบ

(ผศ.ดร. วรวุฒิ มรรคเจริญ)

	ชิ้นส่วนที่ทดสอบ		
การทดสอบ	RFID tag (ABS)	ท่อป้องกัน (HDPE)	ป้ายสัญลักษณ์ (ABS)
(1) ทนแสงแดด (2) ทนรังสี UV (3) ทนมลภาวะ (4) ทนน้ำ ไม่เป็นสนิม (5) ไม่กรอบแตก น้ำหนักเบา	(หัวข้อ 4.1.1) มาตรฐาน ASTM G 154-00A	(หัวข้อ 4.1.4) มาตรฐาน ASTM G 154-00A	(หัวข้อ 4.1.5) มาตรฐาน ASTM G 154-00A
(6) ไม่ติดไฟ-ลามไฟ (class V0-V1)	(หัวข้อ 4.1.2)	(หัวข้อ 4.1.4)	(หัวข้อ 4.1.5)
(7) มีความเป็นฉนวนไฟฟ้า	(หัวข้อ 4.1.3)	(หัวข้อ 4.1.4)	(หัวข้อ 4.1.5)
ผลการทดสอบ	**ผ่าน**	**ผ่าน**	**ผ่าน**

ตารางที่ 25 สรุปผลการทดสอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร

4.2 ผลการจัดระเบียบสายสื่อสาร

กสทช. ได้กำหนดให้ทดลองนำร่องจัดระเบียบสายสัญญาณ พร้อมทั้งนำร่องติดตั้งทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร บริเวณริมถนนในซอยสายลม จากปากทางเข้าซอยถึงหน้าสำนักงาน กสทช. จำนวน 15 ชุด ซึ่งผลการดำเนินงานเสร็จสิ้นตามแผนที่ได้วางไว้ ผลการทดสอบระบบได้ผ่านตามเงื่อนไขที่ กสทช. กำหนด และข้อมูลสายสื่อสารได้ถูกบันทึกลงฐานข้อมูลเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ตัวอย่างท่อป้องกัน และการติดตั้งในซอยสายลม แสดงไว้ในรูปที่ 75 และรูปที่ 76 ตามลำดับ

รูปที่ 75 ตัวอย่างท่อป้องกันที่ติดตั้งบริเวณริมถนนในซอยสายลม

ในการติดตั้งท่อป้องกันนั้น ขั้นตอนสุดท้ายจะมีการล็อกท่อด้วย SECURITY SEALS ซึ่งใช้ได้เพียงครั้งเดียว หากมีการตัดโดยผู้ประกอบการที่จะดำเนินซ่อมแซมสาย จำเป็นต้องไปขออนุญาตใหม่จากหน่วยงาน กสทช. กฟน. หรือกฟภ. ต่อไป ตัวอย่างของ SECURITY SEALS แสดงไว้ในรูปที่ 77

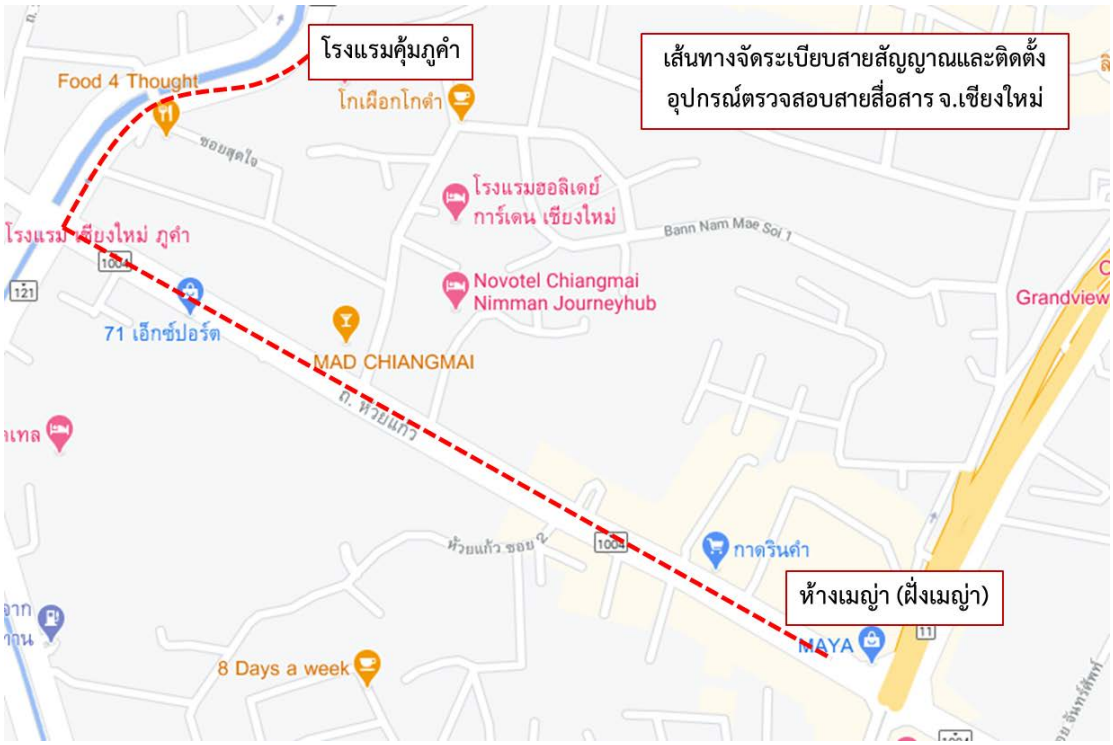
รูปที่ 76 ท่อป้องกันที่ติดตั้งแล้วภายในซอยสายลม

รูปที่ 77 สายยูล็อก SECURITY SEALS

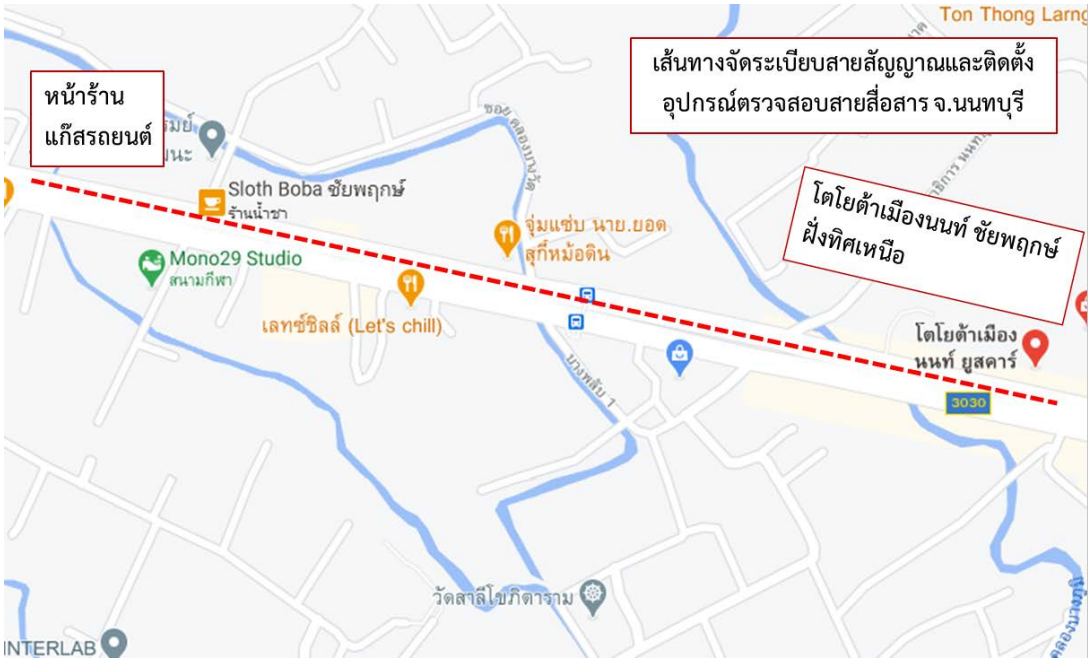
หลังจากการทดสอบนำร่องเสร็จสิ้นลง สำนักงาน กสทช. ได้กำหนดเส้นทางสำหรับทดลองติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารไว้อีก 2 เส้นทางระยะทางรวม 2 กม. ตามรูปที่ 78 (a) และ (b) ตามลำดับ ได้แก่

1. เมืองเชียงใหม่ ถนนห้วยแก้ว ตั้งแต่หน้าห้างสรรพสินค้าเมญ่าถึงโรงแรมคุ้มภูคำ ถนนชลประทาน ระยะทาง 1 กม.
2. เขตบางบัวทอง จ. นนทบุรี ถนนชัยพฤกษ์ ตั้งแต่หน้าสถานีบริการแก๊สรถยนต์ถึงศูนย์จำหน่ายรถยนต์โตโยต้า เมืองนนท์ สาขาชัยพฤกษ์ ระยะทาง 1 กม.

ผลการจัดระเบียบสายสื่อสาร เส้นทางที่ 1 จัดระเบียบสายสื่อสารทั้งหมด 39 ต้น สายสื่อสารโทรคมนาคม ลดลงจากเดิมประมาณ 40% เส้นทางที่ 2 จัดระเบียบสายสื่อสารทั้งหมด 37 ต้น สายสื่อสารโทรคมนาคม ลดลงประมาณ 50%



(a) เส้นทางในเมืองเชียงใหม่



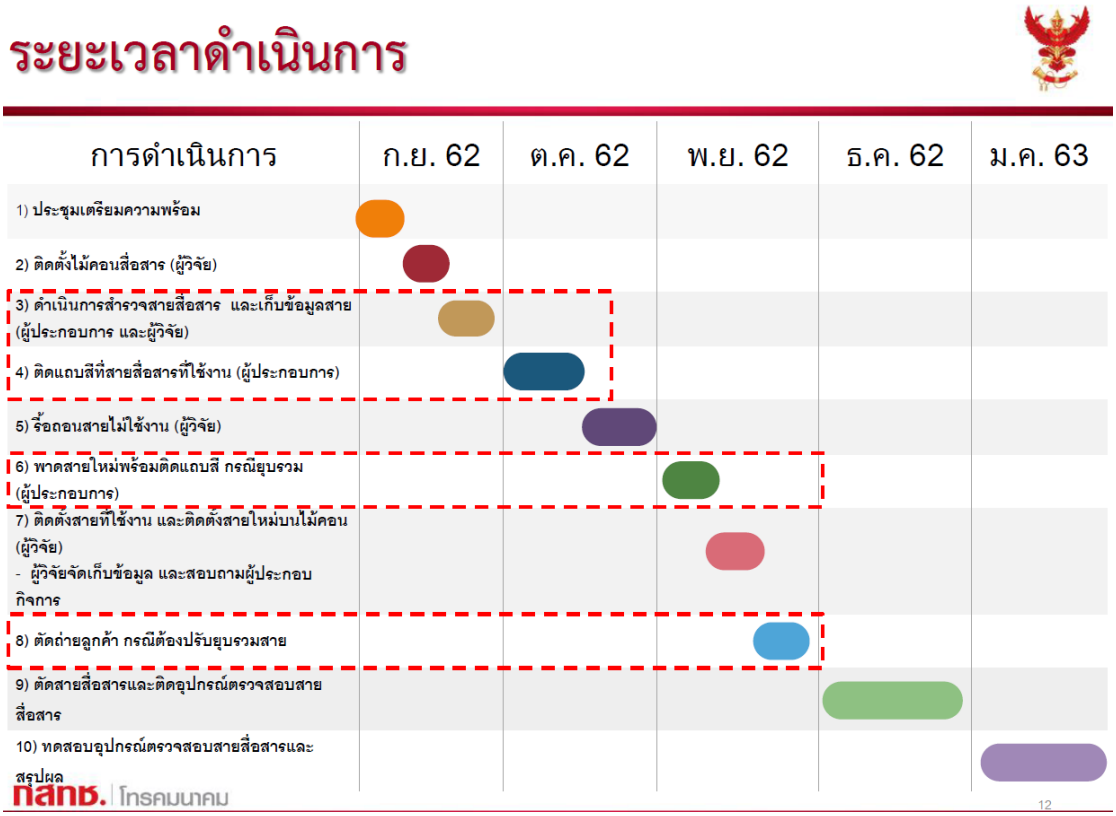
(b) เส้นทางในจังหวัดนนทบุรี

รูปที่ 78 เส้นทางสำหรับทดลองติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร

โดยที่กำหนดการจัดระเบียบสายสัญญาณที่วางแผนไว้ จะเริ่มในเดือนกันยายน 2562 - ธันวาคม 2562 และทำการติดตั้งทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารภายในเดือนมกราคม 2563 ดังที่แสดงในรูปที่ 79

โดยสรุป ผลการจัดระเบียบสายเคเบิลสื่อสาร ทำได้เรียบร้อยตามแผนงานที่วางไว้ แต่การดำเนินงานติดตั้งทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารมีเหตุให้ต้องล่าช้าออกไป อันเนื่องจาก 2 สาเหตุหลักคือ (1) วัสดุ HDPE ที่ใช้ผลิตท่อ ผู้ผลิตรายแรกนำวัสดุที่ไม่ได้มาตรฐานมาใช้ กล่าวคือ ไม่ผ่านการลามไฟ ทำให้ต้องใช้เวลาเพิ่มในการสืบหาวัสดุที่ได้มาตรฐานและทดลองฉีดใหม่ โดยผู้ผลิตรายใหม่ และ (2) ความล่าช้าอันเนื่องมาจากการระบาดของ COVID-19 ที่ภาครัฐออกมาตรการ lock-down ทำให้โครงการไม่สามารถดำเนินการได้ อย่างไรก็ดีการติดตั้งและทดสอบระบบได้ดำเนินการเสร็จสิ้นเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ในช่วงต้นเดือนพฤษภาคม 2563

ผลการจัดระเบียบสายเคเบิลสื่อสาร ได้แก่ภาพถ่ายเปรียบเทียบ ก่อน-หลัง การจัดระเบียบและข้อมูลสายเคเบิลก่อนการจัดระเบียบ ได้ถูกรวบรวมไว้ในภาคผนวก



รูปที่ 79 ระยะเวลาดำเนินการจัดระเบียบสายสัญญาณ – ติดตั้งทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร (ตามแผนเดิม)

รายละเอียดผลการดำเนินงานในการจัดระเบียบสายสัญญาณ

ขั้นตอนการดำเนินงานในการจัดระเบียบสายสัญญาณโดยทีมวิศวกรวิจัย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ทีมงานวิจัย ต้องประสานงานกับ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) และ การไฟฟ้านครหลวง (MEA) ดำเนินการสำรวจ จำนวนและตำแหน่งของเสาไฟฟ้า พร้อมทั้งเก็บข้อมูล จำนวน ชนิด และขนาดของสายสื่อสารบนเสาไฟฟ้าแต่ละต้น ในพื้นที่เส้นทางการจัดระเบียบสายสื่อสาร
2. ทีมงานวิจัย ต้องวางแผนปฏิบัติงานจัดระเบียบสายสื่อสาร อาทิ ขั้นตอนการปฏิบัติ กำหนดวันปฏิบัติการ เริ่มต้นต้นสิ้นสุด เป็นต้น
3. ทีมงานวิจัย ต้องประสานความเข้าใจเกี่ยวกับแผนการจัดระเบียบสายสื่อสารกับหน่วยงานของรัฐที่เป็นเจ้าของที่ดินและทรัพย์สิน อาทิ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้านครหลวง กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท เทศบาล เป็นต้น เพื่อให้การปฏิบัติการจัดระเบียบสายสื่อสารเป็นไปด้วยความเรียบร้อย และถูกต้องตามมาตรฐานที่กำหนด และหากจำเป็นอาจต้องมีการปรับปรุง

มาตรฐานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องให้สอดคล้องกับสภาพการณ์ปัจจุบันและการพัฒนาด้านเทคโนโลยี

4. ทีมงานวิจัย ต้องจัดหา อุปกรณ์จับยึด และอุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ ที่จำเป็นให้เพียงพอกับจำนวนและเหมาะสมกับชนิดของสายสื่อสารที่มีอยู่ในพื้นที่เส้นทางการจัดระเบียบสายสื่อสาร
5. ทีมงานวิจัย ต้องดำเนินการรื้อถอนคอนไม้เก่าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) และ การไฟฟ้านครหลวง (MEA)
6. ทีมงานวิจัย ต้องประสานงานร่วมกับ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) และการไฟฟ้านครหลวง (MEA) และผู้ประกอบกิจการที่เป็นเจ้าของสายสื่อสารโทรคมนาคม เพื่อดำเนินการรื้อถอนสายสื่อสารที่ไม่ได้ใช้งานออก และติดตั้งสายสื่อสารที่ใช้งานกับคอนใหม่
7. ทีมงานวิจัย ดำเนินการจัดระเบียบสายสื่อสารบนเสาไฟฟ้าให้ตรงตามมาตรฐานที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) และการไฟฟ้านครหลวง (MEA) กำหนดไว้ และมีความสวยงามเป็นระเบียบเรียบร้อย
8. ทีมงานวิจัยต้องจัดทำรายงานผลการดำเนินงาน และการประเมินผลการปฏิบัติการจัดระเบียบสายสื่อสาร ซึ่งต้องรวมถึงสภาพปัญหาอุปสรรคที่เกี่ยวข้องกับแผนปฏิบัติการจัดระเบียบสายสื่อสารของแต่ละพื้นที่ พร้อมทั้งจัดทำข้อเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น

<u>ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการจัดระเบียบสายสัญญาณที่เชียงใหม่</u>

พบปัญหาและอุปสรรคที่ต้องขอความช่วยเหลือจาก กสทช. และ กฟภ. ดังต่อไปนี้

1. สายสื่อสารพาดติดเสาไฟฟ้ากดทับสายไฟฟ้าแรงต่ำทำให้เกิดไฟฟ้ารั่ว
2. สายสื่อสารยึดกับเสาไฟฟ้าทำให้พนักงานไฟฟ้าปฏิบัติงานไม่สะดวก เพราะมีสายไฟฟ้าที่ได้ดำเนินการตัดและพันเทปไว้แต่ไม่สามารถรื้อถอนได้
3. สายสื่อสารติดตั้งกับเสาไฟฟ้าจำนวนมาก และยังมีลูปอีกจำนวนมาก ทำให้การดำเนินการรื้อถอนสายตายหรือสายที่ไม่ได้ใช้งานออกจากเสาไฟฟ้า ทำได้ยากและเป็นอันตรายเพราะสายสื่อสารปะปนกับสายแรงต่ำของการไฟฟ้า
4. มีสายสื่อสารที่ระยะหย่อนยานต่ำกว่ามาตรฐาน อาจทำให้ถูกรถบรรทุกเกี่ยวดึงสายสื่อสารจนเสาไฟฟ้าล้ม

5. ส่วนที่ไฟฟ้าส่วนภูมิภาคต้องช่วยปรับปรุง แร็คไฟแรงต่ำที่ให้บริการกับผู้ใช้ไฟ ชำรุดเสียหาย และยังมีสายสื่อสารลักลอบนำสายสื่อสารพาดผ่านอยู่ในแร็คไฟแรงต่ำของการไฟฟ้าฯ อีกด้วย
6. ไฟฟ้าลงและดูด สายไฟมีสภาพเก่า แต่ยังไม่ถึงเวลาหรือการจัดการเปลี่ยนใหม่ ทำให้ช่างติดตั้งต้องระวังกันเอง การทำงานต้องใช้ความระมัดระวังเพิ่มขึ้น มีการแก้ปัญหาโดยการพันเทปไว้ให้บางส่วน เพื่อให้ทำงานต่อไปได้
7. สายสื่อสารมีจำนวนเกินกว่ากำหนด (เกินกว่าขนาดท่อ) ในบางจุด ทำให้ใส่ลงท่อไม่ได้
8. สายสื่อสารมีการไขว้ไปมาระหว่างหน้าเสาและหลังเสา ทำให้ยากที่จะใส่ท่อ หรือใส่ท่อไม่ได้
9. ทางแยก 2 จุด จัดระเบียบสายไม่ได้ จำเป็นต้องให้ผู้ประกอบการและการไฟฟ้ามาช่วยแยกสายออกจากกัน ระหว่างสายสื่อกับสายไฟฟ้า 2 จุดนี้ต้องหยุดและข้ามไปก่อน เพราะต้องรอผู้ประกอบการ
10. รถติดตั้ง (กระเช้า) ไม่สามารถเข้าไปติดตั้งได้ในบางช่วงเสาไฟฟ้า เพราะดินมีลักษณะเป็นโคลน อ่อน และยุบตัวจากการที่อยู่ใกล้คลอง มีน้ำขัง รถกระเช้าเข้าไปจอดแล้วไม่มั่นคงอาจพลิกคว่ำได้ ทำให้ต้องหยุด และข้ามการติดตั้งจุดนี้ไป

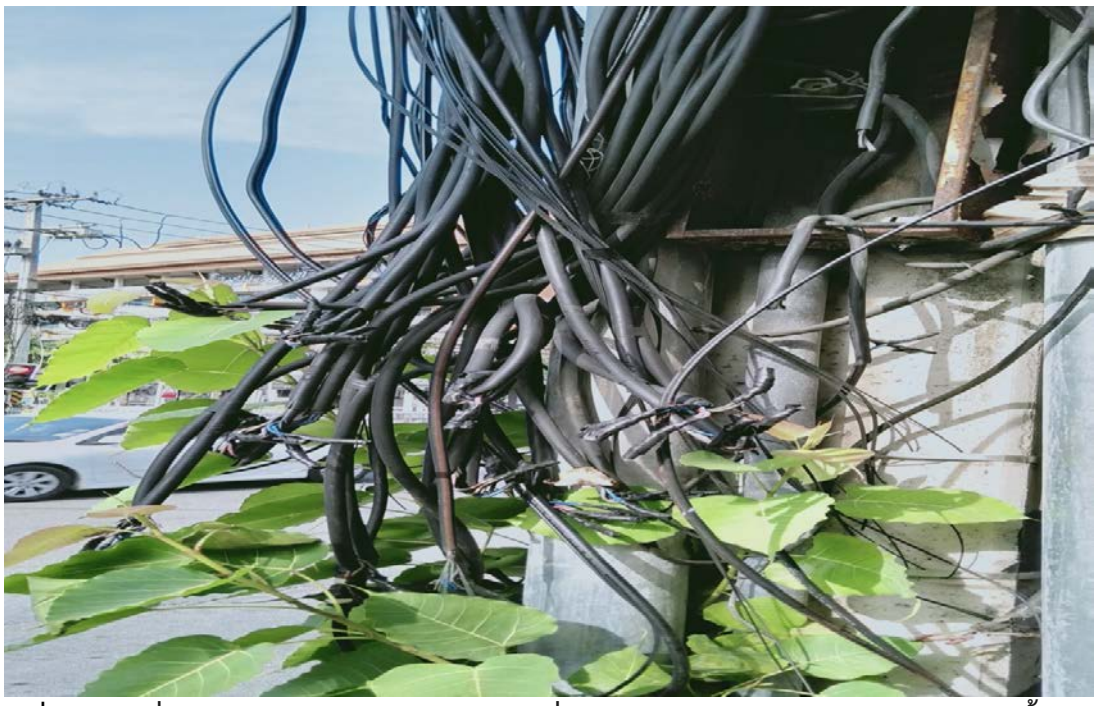
<u>ปัญหาและอุปสรรคที่พบในการจัดระเบียบสายสัญญาณที่ถนนราชพฤกษ์ นนทบุรี</u>

พบปัญหาและอุปสรรคที่ต้องขอความช่วยเหลือจาก กสทช. และ กฟน. ดังต่อไปนี้

1. สายสื่อสารพาดติดเสาไฟฟ้ากดทับสายไฟฟ้าแรงต่ำทำให้เกิดไฟฟ้ารั่ว
2. สายสื่อสารยึดกับเสาไฟฟ้าในระดับที่สูงกว่าสายไฟฟ้าแรงต่ำ ทำให้พนักงานจัดระเบียบสายสื่อสารไม่สามารถรื้อถอนสายสื่อสารเพื่อจัดระเบียบสายจับยึดใส่ในเควิทได้
3. สายสื่อสารติดตั้งกับเสาไฟฟ้าจำนวนมาก และยังมีลูปอีกจำนวนมาก ทำให้การดำเนินการรื้อถอนสายตายหรือสายที่ไม่ได้ใช้งานออกจากเสาไฟฟ้า ทำได้ยากและเป็นอันตรายเพราะสายสื่อสารปะปนกับสายแรงต่ำของการไฟฟ้านครหลวง

4. สายสื่อสารพาดสายระหว่างกลางของสายไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ Drop out จะเป็นอันตรายมากสำหรับสายไฟฟ้าแรงสูง สารสื่อที่มีสายสะพาน (F8) อาจจะเสียดสี ทำให้สายไฟ ชำรุดได้ ควรต้องประสานงานกับการไฟฟ้านครหลวงในการตัดต้นไม้ เพราะมีสายไฟ อยู่ในนั้นด้วย

รูปที่ 80 สายสื่อสารพาดติดเสาไฟฟ้ากดทับสายไฟฟ้าแรงต่ำทำให้เกิดไฟฟ้ารั่ว



รูปที่ 81 สายสื่อสารยึดกับเสาไฟฟ้า มีสายไฟฟ้าที่ถูกตัดและพันเทปไว้ แต่ไฟฟ้าไม่สามารถรื้อถอนได้

รูปที่ 82 สายสื่อสารติดตั้งกับเสาไฟฟ้าจำนวนมาก และยังมีลูปอีกจำนวนมาก

รูปที่ 83 สายสื่อสารที่ระยะหย่อนยานต่ำกว่ามาตรฐาน อาจถูกรถบรรทุกเกี่ยวดึงสายสื่อสารได้

รูปที่ 84 แร็คไฟแรงต่ำชำรุดเสียหาย และมีการลักลอบนำสายสื่อสารพาดผ่านอยู่ในแร็คไฟแรงต่ำ

รูปที่ 85 สายสื่อสารพาดติดเสาไฟฟ้ากดทับสายไฟฟ้าแรงต่ำทำให้เกิดไฟฟ้ารั่ว

รูปที่ 86 สายสื่อสารยึดกับเสาไฟฟ้าในระดับที่สูงกว่าสายไฟฟ้าแรงต่ำทำให้พนักงานจัดระเบียบสายสื่อสารไม่สามารถรื้อถอนสายสื่อสารเพื่อจัดระเบียบสายจับยึดใส่ในเควิทได้

รูปที่ 87 สายสื่อสารติดตั้งกับเสาไฟฟ้าจำนวนมาก และมีลูปอีกจำนวนมาก เป็นอันตรายเพราะสายสื่อสารปะปนกับสายแรงดันต่ำ

รูปที่ 88 สายสื่อสารพาดสายระหว่างกลางของสายไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ Drop out

4.3 ผลการติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร

หลังจากการจัดระเบียบสายเคเบิลสื่อสารเสร็จเรียบร้อยแล้ว คณะวิจัยได้ทำการติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร ในทั้ง 3 พื้นที่ ที่ กสทช. กำหนดให้ กล่าวคือ (1) จุดติดตั้งบริเวณริมถนนในซอยสายลม (2) จุดติดตั้งพื้นที่จังหวัดนนทบุรี (3) จุดติดตั้งพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ และได้ทำการบันทึกข้อมูลสายสื่อสารที่พาดผ่านบนเสาไฟฟ้าที่ได้รับอนุญาตถูกต้องในพื้นที่ติดตั้งดังกล่าว ตามจำนวนติดตั้งดังต่อไปนี้

1. ริมถนน ภายในซอยสายลม (รูปที่ 76) จากปากทางเข้า ถึงบริเวณหน้าสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ จำนวนติดตั้ง 15 ชุด
2. จังหวัด เชียงใหม่ เส้นทางถนนคลองชลประทาน - ถนนห้วยแก้ว ตั้งแต่โรงแรมคุ้มภูคา ถนนคลองชลประทานถึงห้างสรรพสินค้าเมญ่า ถนนห้วยแก้ว ระยะทาง 1 กม. (รูปที่ 78 (a)) จัดระเบียบสายสื่อสารทั้งหมด 39 ต้น สามารถติดตั้งได้จำนวน 71 ชุด
3. จังหวัด นนทบุรี เส้นทางถนนชัยพฤกษ์ ตั้งแต่หน้าสถานีบริการแก๊สถึงศุนย์จำหน่ายรถยนต์โตโยต้า เมืองนนท์ สาขาชัยพฤกษ์ ฝั่งทิศเหนือ ระยะทาง 1 กม. (รูปที่ 78 (b)) จัดระเบียบสายสื่อสารทั้งหมด 37 ต้น สามารถติดตั้งได้จำนวน 72 ชุด

การติดตั้งและทดสอบการอ่าน

(1) การทดสอบบริเวณริมถนน ชัยพฤกษ์ ตำบลบางพลับ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี

การทดสอบทำโดยการอ่านค่า RFID Tag จากตัว RFID reader โดย

1.1) ตั้ง RFID reader อยู่กับที่ ทำการอ่านที่ระยะ ห่างออกไป 8 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 89 ผลการทดสอบสามารถอ่านค่าได้

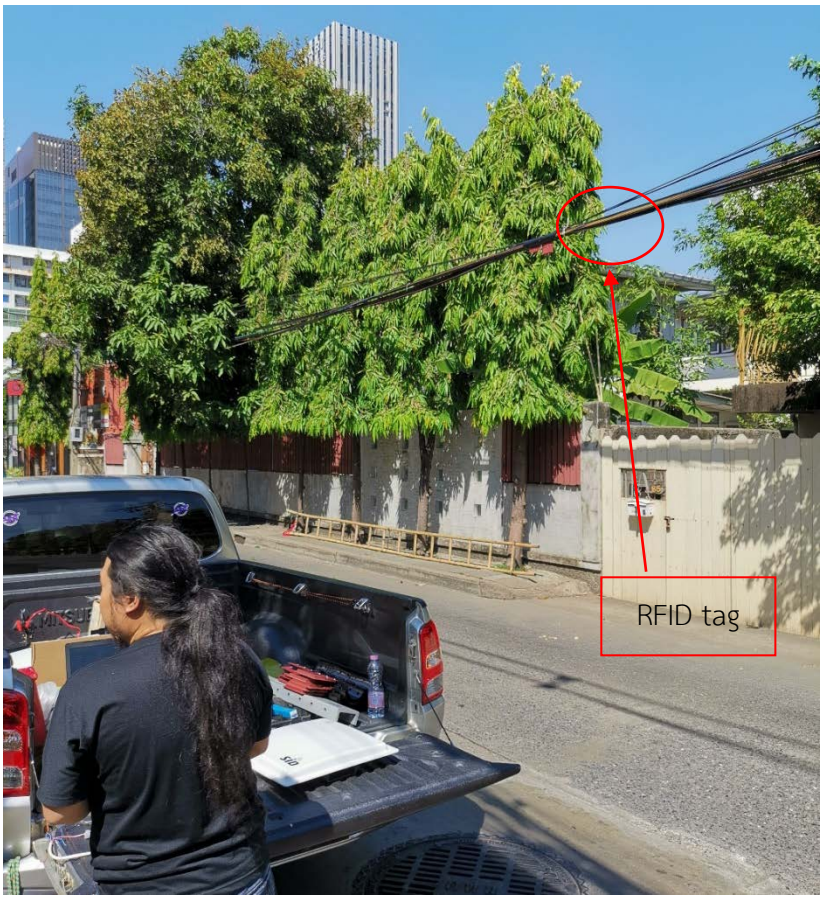
รูปที่ 89 การอ่านค่าจาก RFID tag **เมื่ออ่านโดย** RFID reader **ที่อยู่กับที่**

1.2) วาง RFID reader อยู่ในรถ และขับรถผ่านด้วยความเร็วถึง 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง ผลการทดสอบสามารถอ่านค่าได้ โดยระยะห่างจากถนนประมาณ 10 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 90

รูปที่ 90 การอ่านค่าจาก RFID tag เมื่อขับรถผ่าน

(2) การทดสอบริมถนน ภายในซอยสายลม และบริเวณหน้าสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ

เมื่อวันจันทร์ที่ 25 พฤศจิกายน 2562 ทำการทดสอบร่วมกับกรรมการตรวจรับงานโครงการ โดยวาง RFID reader อยู่ในรถ และขับรถผ่านด้วยความเร็ว 20 กิโลเมตร/ชั่วโมง ผลการทดสอบสามารถอ่านค่าได้ โดยมีจุดติดตั้งทั้งหมด 15 จุด ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 91 (a) และ (b)



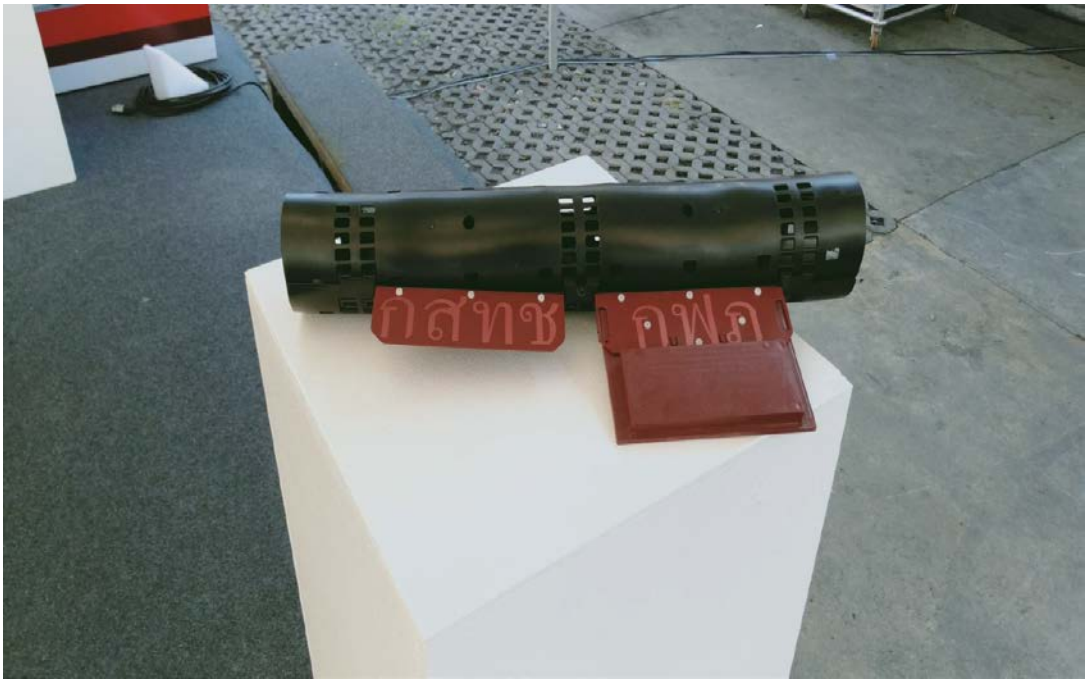
(a)

(b)

รูปที่ 91 การทดสอบการอ่านค่าจาก RFID tag บริเวณหน้าสำนักงาน กสทช. (a) RFID reader บนรถยนต์ และ RFID tag ที่ติดบนท่อครอบสายสื่อสาร (b) RFID tag บนท่อครอบสายสื่อสาร

(3) การทดสอบบริเวณ ลานอเนกประสงค์ กาดรินคำ ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ในพิธีเปิดเส้นทางการติดตั้งทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร (รูปที่ 92 (a) – (d)) เมื่อวันศุกร์ที่ 29 พฤศจิกายน 2562 ทำการสาธิตการอ่าน RFID tag ให้ผู้เข้าร่วมพิธีเปิดงานได้รับชม จากบริเวณลานอเนกประสงค์ถึงจุดติดตั้งท่อครอบสายสื่อสาร ระยะทางกว่า 10 เมตร ผลการทดสอบสามารถอ่านค่าได้



(a)

(b)

(c)

(d)

รูปที่ 92 การทดสอบติดตั้งและการอ่านค่าจาก RFID tag ณ. กาดรินคำ ริมถนนห้วยแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ (a) RFID tag ติดตั้งกับท่อครอบสายสื่อสาร (b)-(c) ท่อครอบสายสื่อสารติดตั้งครอบสายสื่อสาร โดยประธานในพิธี (d) เวทีที่จัดวาง RFID reader บริเวณลานอเนกประสงค์กาดรินคำ

4.4 ผลการบันทึกข้อมูลสายสื่อสาร

จำนวนชุดข้อมูลทั้งหมดที่ได้ถูกบันทึกลงในฐานข้อมูลสายสื่อสาร ณ ปัจจุบัน จะมีเท่ากับจำนวนจุดติดตั้ง หรือ 158 ชุดข้อมูล ข้อมูลที่บันทึกประกอบด้วย

1) ขนาดเส้นเคเบิล (ชนิดของสายสัญญาณ, จำนวนเส้น)

2) เส้นผ่านศูนย์กลางของสาย (ขนาด)

3) จำนวนความจุของสาย (จำนวน core)

4) ชื่อบริษัทที่เป็นเจ้าของสาย

เนื่องจากข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้มีจำนวนมาก จึงได้จัดทำเป็นรายงานอีกเล่มหนึ่งแยกต่างหาก (ภาคผนวกของรายงานฉบับสมบูรณ์)

ตัวอย่างตารางข้อมูลที่เก็บ ณ จุดติดตั้งที่ ถนนห้วยแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ และถนนชัยพฤกษ์ จังหวัดนนทบุรี แสดงไว้ในตารางที่ 25 และ ตารางที่ 26 ตามลำดับ ตัวอย่างผลการจัดเก็บข้อมูลแสดงไว้ในรูปที่ 93

กล่าวโดยสรุป ในบทนี้ได้รายงานผลการดำเนินงานของโครงการทั้งในส่วนการพัฒนาออกแบบ และการติดตั้งทดสอบระบบ ดังนี้

1) ผลการทดสอบคุณสมบัติของท่อป้องกันและ RFID tag ตามหัวข้อ 4.1
ผลการทดสอบคือผ่าน โดยสรุปไว้ในตารางที่ 25

2) ผลการจัดระเบียบสายสื่อสาร ตามหัวข้อ 4.2
ผลการจัดระเบียบสายเคเบิลสื่อสาร ทำได้เรียบร้อยตามแผนงานที่วางไว้ แม้ว่าการดำเนินงานติดตั้งทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารจะมีเหตุให้ต้องล่าช้าออกไป

3) ผลการติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร ตามหัวข้อ 4.3
ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร จำนวน 158 ชุด ใน 3 จุดติดตั้ง สามารถอ่านข้อมูลได้ถูกต้องที่ระยะกว่า 10 เมตร ที่ความเร็ว 40 กม./ชม ในที่โล่ง

4) ผลการบันทึกข้อมูลสายสื่อสาร ตามหัวข้อ 4.4
รวบรวมไว้ในภาคผนวกของรายงานฉบับสมบูรณ์

ตารางที่ 26 ข้อมูลที่เก็บจากการติดตั้ง เส้นทางถนนห้วยแก้ว - ถนนชลประทาน จังหวัดเชียงใหม่

#	RFID	หมายเลขท่อ	Latitude	Longitude	เวลาที่บันทึก	Status
1	20000000469F0FE4	24142	18.806746	98.962542	10/20/2020	Active
2	2000000046A03320	24141	18.806596	98.962433	10/20/2020	Active
3	20000000469F0737	24143	18.806562	98.962264	10/20/2020	Active
4	20000000469F6062	24674	18.806493	98.962052	10/20/2020	Active
5	2000000046A00890	24127	18.806746	98.962542	10/20/2020	Active
6	20000000469FB675	24130	18.806453	98.961962	10/20/2020	Active
7	20000000469EB8CC	24668	18.806469	98.961904	10/20/2020	Active
8	20000000469F06FD	24421	18.806365	98.961634	10/20/2020	Active
9	2000000046A0095B	24331	18.806314	98.961256	10/20/2020	Active
10	2000000046A00941	24413	18.806279	98.961186	10/20/2020	Active
11	20000000469F0BDF	24129	18.806083	98.960936	10/20/2020	Active
12	20000000469EB92E	24411	18.805974	98.960827	10/20/2020	Active
13	2000000046A00B3D	24422	18.805892	98.960795	10/20/2020	Active
14	2000000046A008B7	24412	18.805824	98.960719	10/20/2020	Active
15	20000000469FB812	24425	18.805637	98.96071	10/20/2020	Active

#	RFID	หมายเลขท่อ	Latitude	Longitude	เวลาที่บันทึก	Status
1	2000000046A008CB	24101	13.926116	100.462883	10/20/2020	Active
2	2000000046A0098D	24102	13.926012	100.463122	10/20/2020	Active
3	20000000469F0CDF	24103	13.926116	100.46323	10/20/2020	Active
4	20000000469FB639	24104	13.926048	100.46323	10/20/2020	Active
5	20000000469F05BC	24105	13.926046	100.463475	10/20/2020	Active
6	20000000469FB612	24199	13.926029	100.463592	10/20/2020	Active
7	20000000469F653E	24197	13.925947	100.46385	10/20/2020	Active
8	20000000469F0549	24196	13.925941	100.463944	10/20/2020	Active
9	20000000469EB9FC	24120	13.925970	100.464041	10/20/2020	Active
10	20000000469FB765	24198	13.925924	100.464316	10/20/2020	Active
11	20000000469FB522	24191	13.925929	100.464224	10/20/2020	Active
12	20000000469FB729	24192	13.925823	100.464588	10/20/2020	Active
13	20000000469F0F5B	24193	13.925827	100.464652	10/20/2020	Active
14	20000000469F5C3A	24194	13.925714	100.465126	10/20/2020	Active
15	20000000469EB8B6	24181	13.925705	100.465034	10/20/2020	Active

ตารางที่ 27 ข้อมูลที่เก็บจากการติดตั้ง เส้นทางถนนชัยพฤกษ์ จังหวัดนนทบุรี

RFID	2000000046A00941
Location	18.806279
	98.961186
หมายเลขท่อ	24413
สถานที่ใกล้เคียง	-
บันทึกโดย	name surname
เวลาที่บันทึก	2020-06-09 19:23:37

ผู้ให้บริการ	สายสัญญาณ	ขนาด(mm)	จำนวน(เส้น)	ประเภท	จำนวน core	Marking
TRUE	ใยแก้วนำแสง	12	3	-	60	✓
TRUE	ใยแก้วนำแสง	12	2	-	24	✓
TRUE	ใยแก้วนำแสง	6	9	-	-	✓
TRUE	ใยแก้วนำแสง	16	2	-	72	✓
3BB	ใยแก้วนำแสง	12	2	-	12	✓
TOT	ใยแก้วนำแสง	19	2	-	24	✓
TOT	ใยแก้วนำแสง	16	4	-	24	✓
CAT	ใยแก้วนำแสง	12	3	-	12	✓
SYMPHONY	ใยแก้วนำแสง	12	2	-	24	✓
Interlink	ใยแก้วนำแสง	16	3	-	12	✓
AIS - SBN	ใยแก้วนำแสง	12	2	-	24	✓

รูปที่ 93 ตัวอย่างข้อมูลจุดติดตั้ง พร้อมรูปถ่าย และรายละเอียด จากในฐานข้อมูล

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

คณะวิจัยได้ทำการศึกษาเทคโนโลยีอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารแบบต่างๆ ที่มีอยู่ในปัจจุบัน และได้สรุปออกมาเป็นระบบที่นำเสนอและพัฒนาในงานวิจัยนี้ โดยระบบอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

1. ท่อป้องกัน หรือท่อครอบสายสื่อสาร เพื่อใช้บ่งบอกสายสื่อสารที่ได้รับอนุญาตถูกต้อง แยกออกจากสายสื่อสารที่ไม่ได้รับอนุญาต
2. แผ่นป้าย RFID ติดอยู่กับท่อป้องกัน เพื่อบ่งบอกรหัสเฉพาะตัว (ID) ของท่อป้องกัน
3. ระบบสารสนเทศข้อมูลสายสื่อสาร สำหรับอ่านรหัส RFID และอ่านหรือบันทึกข้อมูลสายสื่อสารลงในฐานข้อมูล และแสดงผลข้อมูลที่บันทึกไว้
4. ระบบฐานข้อมูลของสายสื่อสารที่ได้รับอนุญาตถูกต้อง แผนผังของระบบได้แสดงไว้ในรูปที่ 1

โดยที่คุณสมบัติของท่อป้องกันมีดังต่อไปนี้

(1) ทนแสงแดด
(2) ทนรังสี UV
(3) ทนมลภาวะ
(4) ทนน้ำ ไม่เป็นสนิม
(5) ไม่กรอบแตก น้ำหนักเบา
(6) ไม่ติดไฟ มีค่าความเป็นฉนวนไฟฟ้า
(7) ให้รองรับจำนวนและขนาดของสายสื่อสารเส้นผ่านศูนย์กลางรวมไม่ต่ำกว่า 100 มม. ถึง 300 มม.
(8) มีตราสัญลักษณ์บนตัวอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารตามที่สำนักงาน กสทช. กำหนด

ทั้งนี้ อุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารซึ่งประกอบด้วยท่อป้องกัน แผ่นป้ายชื่อ และ RFID tag ผ่านการทดสอบการลามไฟ UL94 class V0 ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและรังสี UV ตามมาตรฐาน ASTM G 154-00A และมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 60364

ระบบสารสนเทศข้อมูลสายสื่อสารที่ได้พัฒนาขึ้น ประกอบด้วย

(1) เครื่องอ่าน RFID สำหรับอ่านรหัส ID ที่บันทึกไว้ในแผ่น RFID โดยสามารถอ่านได้ที่ระยะไกลกว่า 10 เมตร จากรถที่ขับอยู่บนถนน ไปยังตำแหน่งที่ติดตั้งท่อป้องกัน
(2) อุปกรณ์ Android ทั้งแบบมือถือ หรือ Tablet ที่ลงโปรแกรม ระบบตรวจสอบสายสื่อสาร สำหรับอ่านหรือบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลสายสื่อสาร ผ่านเครือข่าย cloud
(3) โปรแกรมระบบตรวจสอบสายสื่อสาร ที่พัฒนาโดยคณะวิจัย
(4) คอมพิวเตอร์พกพา สำหรับเชื่อมต่อเครื่องอ่าน RFID และสื่อสารกับอุปกรณ์ Android ผ่านทางโปรแกรม ระบบตรวจสอบสายสื่อสาร

ระบบฐานข้อมูลสายสื่อสารที่ออกแบบและพัฒนาโดยคณะวิจัยสำหรับจัดเก็บข้อมูลคุณลักษณะของสายเคเบิลสื่อสาร ได้แสดงไว้ในรูปที่ 66 ประกอบด้วย server 5 ชุด เป็นระบบ Linux มีฐานข้อมูลเป็น MariaDB โดยแยกสถานที่ติดตั้งเป็น 2 สถานที่ ทั้งสองระบบเชื่อมต่อกันผ่านทางอินเตอร์เน็ตโดยใช้โปรโตคอล IPsec VPN การเข้าถึงระบบสามารถกระทำได้ผ่านอุปกรณ์ Android mobile device เข้ามาทาง VPN gateway ของระบบฐานข้อมูล และมีข้อมูลสายสื่อสารดังต่อไปนี้

(1) ขนาดเส้นเคเบิล สีของเส้น
(2) เส้นผ่าศูนย์กลางของสาย
(3) จำนวนความจุของสาย (จำนวน core)
(4) ชื่อบริษัทที่เป็นเจ้าของสาย

นอกจากนี้ฐานข้อมูลยังบันทึกข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น พิกัดตำแหน่งที่ติดตั้งท่อป้องกัน รหัส ID ของท่อป้องกัน วันที่ดำเนินการติดตั้ง ภาพถ่ายบริเวณจุดติดตั้งท่อป้องกัน เป็นต้น

นอกเหนือไปจากการวิจัยและพัฒนาระบบตรวจสอบสายสื่อสารดังกล่าวแล้ว คณะวิจัยได้ทำการจัดระเบียบสายสัญญาณในพื้นที่บริเวณที่ กสทช. กำหนดให้ และจัดทำต้นแบบของระบบอุปกรณ์

ตรวจสอบสายเคเบิลสื่อสารดังกล่าว ส่งมอบแก่ กสทช. และยังได้ทำการผลิต ติดตั้งและทดสอบอุปกรณ์ดังกล่าวในสภาวะใช้งานจริง ในพื้นที่จัดระเบียบสายสัญญาณดังกล่าว จำนวน 158 ชุด โดยแบ่งเป็น (1) ริมถนนในซอยสายลม จากปากทางเข้า ถึงหน้าสำนักงาน กสทช. จำนวน 15 ชุด (2) เส้นทางถนนชัยพฤกษ์ จังหวัดนนทบุรี จำนวน 72 ชุด และ (3) เส้นทางถนนคลองชลประทาน – ถนนห้วยแก้ว จังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 71 ชุด รวมระยะทางติดตั้งทั้งหมดกว่า 2 กิโลเมตร

ในการทดสอบการอ่านข้อมูล ID จากแผ่นป้าย RFID โดยใช้เครื่องอ่านที่กำลังส่ง 1 วัตต์ ในขณะขับรถบนถนนที่ความเร็วกว่า 40 กม./ชม. เมื่อผ่านจุดติดตั้ง ได้ระยะการอ่านไกลกว่า 10 เมตร

ต้นทุนอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสารในงานวิจัยนี้ สามารถประมาณการได้ดังนี้

(1) ต้นทุน RFID tag

ต้นทุน RFID tag (จำนวนที่ผลิตได้และทดสอบ 240 ชุด)		
ค่าออกแบบ	5,000	บาท
ค่าทำโมลด์	210,000	บาท
ค่าผลิตประกอบ RFID Tag	185,000	บาท
ค่าวัสดุอิเล็กทรอนิกส์	200,000	บาท
ค่าวัสดุบรรจุภัณฑ์ (PCB)	70,000	บาท
ต้นทุน (บาท)	670,000.00	บาท

ตารางที่ 28 ต้นทุน RFID tag

(2) ต้นทุน ท่อป้องกัน+แผ่นป้ายชื่อหน่วยงาน

ต้นทุน ท่อป้องกัน+แผ่นป้ายชื่อหน่วยงาน (จำนวนที่ฉีดใช้งาน 160 ชิ้น)		
ค่าพัฒนาการจัดระเบียบสายสื่อสาร	430,000	บาท
ค่าออกแบบ	20,000	บาท
ค่าทำโมลด์	1,100,000	บาท
ค่าผลิต	186,000	บาท
ต้นทุน (บาท)	1,736,000.00	บาท

ตารางที่ 29 ต้นทุน ท่อป้องกัน+แผ่นป้ายชื่อหน่วยงาน

(3) ต้นทุนอื่นๆ

ค่าใช้จ่ายอื่นๆ		
ค่าแรงงานและค่าปฏิบัติการภาคสนาม (ค่าติดตั้งทดสอบอุปกรณ์)	250,000	บาท
ค่าดูแลรักษาระบบสารสนเทศข้อมูลสายสื่อสารและระบบฐานข้อมูล	20,000	บาท/เดือน
ค่าวิศวกรและช่างเทคนิคภาคสนาม ค่าวิศวกรควบคุมงาน 3 คน x 53,000 บาทต่อเดือน x 9 เดือน	1,431,000	บาท
ค่าบริหารจัดการ	10	%
ค่าประกันดูแลรักษาอุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร (ไม่ได้คิดราคาในงานวิจัย)	0	บาท

ตารางที่ 30 ต้นทุนอื่นๆ

5.2 ข้อเสนอแนะ

(1) อุปกรณ์ตรวจสอบสายสื่อสาร

ท่อป้องกันที่ได้ติดตั้งไปแล้วพบว่ามีบางส่วนเปิดอ้าออก หรือมิฉะนั้นก็มีแผ่น RFID tag หลุดร่วงลงมาที่พื้น จากการวิเคราะห์สาเหตุพบว่าการที่ท่อเปิดอ้าออกเกิดจากขอเกี่ยวล็อกมีขนาดเล็กและท่อเกิดการบิดงอได้เมื่อถูกลมปะทะแรง หรือเมื่ออากาศร้อนจัด-เย็นจัด ท่อเกิดการขยายตัว-หดตัว ทำให้ขอเกี่ยวที่อยู่บริเวณขอบท่อหลุดออกจากตำแหน่งล็อก ท่อจึงเปิดอ้าออก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการดัดแปลงแก้ไขแม่พิมพ์ท่อตรงตำแหน่งขอเกี่ยวให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และให้แข็งแรงขึ้นไม่หลุดออกง่าย และควรทำการรัดท่อป้องกันด้วยสายรัดหนวดกุ้ง เพื่อให้ท่อคงรูปอยู่ได้ขณะมีลมปะทะ ไม่บิดงอได้โดยง่าย

นอกจากนี้บริเวณข้อพับของท่อป้องกันมักจะปริแตก เนื่องจากแรงเค้นภายในเนื้อพลาสติกจำเป็นต้องมีการแก้ไขแม่พิมพ์ โดยตัดส่วนข้อพับทิ้ง แล้วยึดส่วนของท่อทั้งสองซีกเข้าด้วยกันด้วยแผ่นสเตนเลส แทนส่วนของข้อพับเดิม

การที่แผ่น RFID tag มีโอกาสหลุดร่วงนั้น พบว่าน็อตพลาสติกที่ใช้ยึดแผ่น RFID tag ติดกับแผ่นป้าย มีขนาดเล็กเกินไป ทำให้เมื่อแผ่น RFID tag รับแรงปะทะของลม น็อตจะมีโอกาสหักได้ง่าย จึงต้องใช้น็อตที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

หากจะลดแรงปะทะลม แผ่น RFID tag ควรจะยุบรวมไปกับแผ่นป้าย จะทำให้พื้นที่ปะทะลมลดลงประมาณกว่า 1 ใน 3 หรือลดแรงปะทะลมเหลือประมาณ 60%-70%

(2) ระบบสารสนเทศข้อมูลสายสื่อสารและระบบฐานข้อมูล

ในงานวิจัยนี้ ระบบสารสนเทศข้อมูลและระบบฐานข้อมูลสายสื่อสารของ กสทช. ที่ได้พัฒนาขึ้น (CIS - Cable Identification System) ทำงานอย่างเอกเทศ มิได้เชื่อมต่อกับระบบที่มีอยู่เดิมของ การไฟฟ้านครหลวง (ระบบ GIS) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (ระบบ TAM) เมื่อมิได้มีการแชร์ข้อมูลกันอย่าง real time ทำให้การทำงานจัดระเบียบสายสื่อสาร การสำรวจ/เพิ่ม-ถอน/แจ้งเตือน/ซ่อมบำรุง สายสื่อสารและท่อป้องกัน อาจเกิดการล่าช้า เนื่องจากข้อมูลอาจไม่สอดคล้องกัน หรือต้องรอการ update ข้อมูลให้เป็นปัจจุบันเสียก่อน ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ในอนาคตระบบ CIS ของ กสทช. ควรเชื่อมต่อกับระบบ GIS ของการไฟฟ้านครหลวง และ TAM ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

(3) การขออนุญาตเปิดท่อป้องกันการละเมิดพาดสายสื่อสาร

ข้อเสนอแนะขั้นตอนการขออนุญาตเปิดท่อป้องกันการละเมิดพาดสายสื่อสารมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ผู้รับผิดชอบ	ผู้เกี่ยวข้อง
3.1 ก่อนดำเนินการพาดสายสื่อสารใหม่ หรือซ่อมบำรุงสายที่ชำรุดเสียหาย หรือเปลี่ยนขนาดของสายสื่อสาร ขอให้ผู้ประกอบการ (OPERATOR) ดำเนินการขอสิทธิแห่งทางจาก กสทช. ก่อน	ผู้ประกอบการ	กสทช.
3.2 ขออนุญาตไปยัง การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) หรือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)	ผู้ประกอบการ	การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) หรือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.)
3.3 ขอเบิกอุปกรณ์ล็อคท่อป้องกันการละเมิด (SECURITY SEAL) จาก กฟน. หรือ กฟภ. เพื่อเปิดท่อป้องกันการละเมิด	ผู้ประกอบการ	กฟน. หรือ กฟภ.
3.4 หลังจากพาดสายสื่อสารเสร็จเรียบร้อยต้องถ่ายรูปก่อนและหลังทำ เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องรับทราบ	ผู้ประกอบการ	กสทช. และ กฟน./กฟภ.
3.5 แจ้งรหัสหมายเลข อุปกรณ์ล็อกท่อป้องกันการละเมิด (SECURITY SEAL) เพื่อให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องรับทราบ	ผู้ประกอบการ	กสทช. และ กฟน./กฟภ.
3.6 ผู้ขออนุญาตพาดสายสื่อสารต้องลงรายละเอียดขนาดสายสื่อสาร จำนวนเส้น และชนิดของสายสื่อสาร	ผู้ประกอบการ	กสทช. และ กฟน./กฟภ.
3.7 ในกรณีการปฏิบัติงานพาดสายสื่อสาร เกิดความเสียหายกับ ท่อป้องกันการละเมิดพาดสายสื่อสาร ขอให้แจ้งหน่วยงาน เพื่อดำเนินการเบิกท่ออันใหม่และทำการติดตั้งให้เรียบร้อย	ผู้ประกอบการ	กสทช. และ กฟน./กฟภ.
3.8 การดำเนินการทั้งหมดเพื่อเป็นการป้องกัน และป้องปรามผู้ที่ไม่รับผิดชอบต่อการสังคม และลดการเกิดอุบัติเหตุ จากการพาดสายสื่อสาร และควบคุมปริมาณสายสื่อสารไม่ให้เกินมาตรฐานของ การไฟฟ้านครหลวง และ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำหนด	ผู้ประกอบการ	กสทช. และ กฟน./กฟภ.

ตารางที่ 31 ข้อเสนอแนะขั้นตอนการขออนุญาตเปิดท่อป้องกันการละเมิดพาดสายสื่อสาร

ทั้งนี้ ข้อเสนอแนะดังกล่าวข้างต้นสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ตามความเหมาะสมในการปฏิบัติงานจริงต่อไปในอนาคต

บรรณานุกรม

[1] Datasheet UHF RFID Antenna Reader SID-ANTU12HP-1201

[2] Datasheet SL3S1204 UCODE 7, NXP Semiconductors Netherlands B.V.

[3] D. R. Kozischek et al., US patent US 7760094 B1, “RFID systems and methods for optical fiber network deployment and maintenance”, 2010

[4] D. R. Kozischek et al., US patent US 8264355 B2, “RFID systems and methods for optical fiber network deployment and maintenance”, 2012

[5] Datasheet RO4000 Series, High frequency circuit materials, Rogers corporation

ประวัตินักวิจัย

ชื่อ – นามสกุล : นาย เลิศศักดิ์ เลขวัต
ตำแหน่งงานปัจจุบัน : รองคณบดี
ตำแหน่งในโครงการ : หัวหน้าคณะผู้วิจัย
ที่อยู่ :เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ชั้น 4 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา
แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
อีเมล์ : lertsak.le@kmitl.ac.th
โทรศัพท์ : 02-329-8264โทรศัพท์มือถือ : 081-341-1020 โทรสาร : 02-329-8263
สถานที่ทำงาน : วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
ประวัติการศึกษา :

-ปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง (วศ.บ.อิเล็กทรอนิกส์)

-ปริญญาโท George Washington University, Washington DC, USA (M.Sc. Electrophysics)

-ปริญญาเอก Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, USA (Ph.D. electrical and computer engineering)

ประสบการณ์การทำงาน :

-Seagate Technology USA (electronics design advisory engineer)

-Seagate Technology Thailand (senior principle design engineer)

-Read-Rite Thailand (now Western Digital Thailand) (senior manager)

-Asian Institute of Technology (lecturer)

-NECTEC/NSTDA (manager/director of Thailand Hard Disk Drive Industrial Cluster)

-สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง ตำแหน่ง รองคณบดี

ใบอนุญาต / ทะเบียน :
นักวิจัยด้าน :
Electronics, Electromagnetics, Magnetic Recording Technology

ชื่อ – นามสกุล : นาย ฉัตรพล ภคศิริ
ตำแหน่งงานปัจจุบัน : อาจารย์
ตำแหน่งในโครงการ : คณะผู้วิจัย
ที่อยู่ :เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ชั้น 4 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา
แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
อีเมล์ : chatrpol@gmail.com
โทรศัพท์ : 02-329-8264 โทรศัพท์มือถือ : 092-278-7312 โทรสาร : 02-329-8263
สถานที่ทำงาน : วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
ประวัติการศึกษา :
- ปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (วศ.บ.)
- ปริญญาโท University of Houston, Texas, U.S.A. (M.S.E.E.)
- ปริญญาเอก University of Houston, Texas, U.S.A. (Ph.D.)

ประสบการณ์การทำงาน :
- Fabrinet Co., Ltd. ตำแหน่ง Sr. Optical Engineer
- Asian University ตำแหน่ง Lecturer
- Silicon Craft Technologies Co., Ltd. ตำแหน่ง Senior RF design engineer
- สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง ตำแหน่ง อาจารย์

ใบอนุญาต / ทะเบียน :
นักวิจัยด้าน : วงจรความถี่สูง เสาอากาศ
ความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง : การออกแบบเสาอากาศ วงจรความถี่สูง วงจรรวมความถี่สูง
ผลงานที่ผ่านมา : ออกแบบเสาอากาศย่ายความถี่สูง วงจรกระจายสัญญาณความถี่สูง

ชื่อ – นามสกุล : นาย วรวุฒิ มรรคเจิญ
ตำแหน่งงานปัจจุบัน : อาจารย์
ตำแหน่งในโครงการ : คณะผู้วิจัย
ที่อยู่ :เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ชั้น 4 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา
แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
อีเมล์ : worawut.ma@kmitl.ac.th
โทรศัพท์ : 02-329-8264โทรศัพท์มือถือ : 086-901-7322 โทรสาร : 02-329-8263
สถานที่ทำงาน : วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
ประวัติการศึกษา :

-ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาศาสตรบัณฑิต วท.บ. (ฟิสิกส์)

-ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต วท.ม.(วัสดุศาสตร์)

-ปริญญาเอก มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต ปร.ด. (Materials Science)

ประสบการณ์การทำงาน :

-สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง

ตำแหน่ง อาจารย์/นักวิจัย

ใบอนุญาต / ทะเบียน :

นักวิจัยด้าน :

1) การออกแบบระบบการผลิต และการปรับปรุงระบบการผลิต

2) การสังเคราะห์วัสดุและทดสอบสมบัติของวัสดุ

3) การออกแบบเครื่องมือและระบบวิเคราะห์สมบัติในวัสดุ

4) การออกแบบและพัฒนาวัสดุผสม

5) การศึกษาสมบัติในวัสดุ และวิเคราะห์สมบัติ การผุกร่อน และความทนทานของวัสดุ

ชื่อ – นามสกุล : นายฤทธา มโนมัยเสาวภาคย์
ตำแหน่งงานปัจจุบัน : กรรมการผู้จัดการ
ตำแหน่งในโครงการ : ที่ปรึกษาโครงการส่วนสารสนเทศ
ที่อยู่ : 140 ถ.ศรีราชานคร1 ต.ศรีราชา อ.ศรีราชา จังหวัด ชลบุรี
อีเมล์ : rittha@ine.co.th or rittha@gmail.com
โทรศัพท์ : 02-402-8609 มือถือ: 081-2956751 โทรสาร: 033-045367
สถานที่ทำงาน : บริษัท อินเตอร์เน็ตอีสท์ จำกัด
ประวัติการศึกษา: ปริญญาตรี
ประสบการณ์การทำงาน : 32 ปี
ใบอนุญาต / ทะเบียน : -
นักวิจัยด้าน : การจัดการระบบเครือข่ายสารสนเทศและพัฒนาแอพลิเคชั่นบนมือถือ, ระบบรักษาความปลอดภัยบนเครือข่ายอินเตอร์เน็ต, การเชื่อมโครงข่ายโทรคมนาคม
ความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง : ติดตั้งและดูแลระบบปฏิบัติการลีนุกซ์, การติดตั้ง Firewall, การควบคุมการใช้งานอินเทอร์เน็ตของบุคลากรในองค์กร, การจัดการระบบจัดเก็บข้อมูลการใช้งานบุคลากรในองค์กรตามพรบ.คอมพิวเตอร์, การวางระบบ VPN, การจัดการระบบอีเมล์, การจัดการอีเมล์ขยะ, การวางระบบสำรองข้อมูลขององค์กร, โปรแกรมป้องกันไวรัสทั้งบนเครื่องแม่ข่าย, การตรวจสอบระบบสื่อสาร
ผลงานที่ผ่านมา:

วิทยากรอบรมการใช้อุปกรณ์ฝึกสอนในห้องปฏิบัติการไฟฟ้า, ระบบควบคุม, ระบบสื่อสารให้อาจารย์วิทยาลัยเทคนิค สังกัดกรมอาชีวะศึกษา

อาจารย์พิเศษห้องปฏิบัติการอิเล็คทรอนิคส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี(ปี พศ 2535)

จัดทำโครงการประกาศผลการสอบเอ็นทรานซ์บนอินเตอร์เน็ตครั้งแรกในประเทศ (ปี พศ. 2541)

จัดทำระบบการออกอากาศวิทยุผ่านอินเตอร์เน็ตครั้งแรกในประเทศ (จากสถานี FM 107.75 อสมท พัทยา)

ติดตั้งห้องทดลองรวมระบบปฏิบัติการทุกระบบ(DOS, Microsoft Windows, Linux, DEC UNIX, HP UNIX, Sun Solaris, Novell Netware) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสาขาคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ติดตั้งระบบกรองไวรัสบน email server ของ กสทช (งบประมาณปี พศ. 2548)

ติดตั้งและดูแล Server Linux Internet gateway, File server ให้กับบริษัทต่างๆมากกว่า 500 เครื่อง

ติดตั้งเดินสายไฟเบอร์ออพติกสัญญาณอินเตอร์เน็ตบ้านของ AIS

รับฝากวาง server และ Web Site ของบริษัทและหน่วยงานต่างๆ มากกว่าร้อยองค์กร

ชื่อ – นามสกุล : นายณพงศ์ แก้ววรรณรัตน์
ตำแหน่งงานปัจจุบัน : ผู้จัดการ
ตำแหน่งในโครงการ : ผู้ประสานงานโครงการ
ที่อยู่ : 27 หมู่6 ซอยพหลโยธิน 55 ถนนพหลโยธิน แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพฯ
อีเมล์ : pexthreeheart@gmail.com or pex2561@gmail.com
โทรศัพท์ : 081-874-2623 โทรศัพท์มือถือ : 086-567-3064 โทรสาร :
สถานที่ทำงาน : บริษัท พีอีเอ็กซ์ จำกัด
ประวัติการศึกษา : ปริญญาโท
ประสบการณ์การทำงาน : 24 ปี
ใบอนุญาต / ทะเบียน : -
นักวิจัยด้าน : ทางด้านสายเคเบิลสื่อสารโทรคมนาคม และ Cross arm Fiberglass Reinforced Polymer (FRP)
ความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง : ตรวจสอบสายสื่อสารโทรคมนาคม และการจัดระเบียบสายสื่อสารที่รกรุงรัง และรื้อสายตามที่ไม่ใช้งานออกจากเสาไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และ การไฟฟ้านครหลวง
ผลงานที่ผ่านมา : เมื่อปี พ.ศ. 2558 – 2562 ได้ดำเนินการจัดระเบียบสายสื่อสารโทรคมนาคมร่วมกับ กสทช. , การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้านครหลวง ในการรื้อสายตายที่ไม่ใช้งานออกจากเสาไฟฟ้า ทำให้เกิดความเป็นระเบียบเรียบร้อยและปลอดภัยกับประชาชนที่ได้ใช้ฟุตบาทในการเดินทางไปทำงาน หรือทำกิจกรรมในชีวิตประจำวัน และได้ให้ความรู้กับ ผู้ประกอบการโทรคมนาคมในการพาดสายสื่อสาร แบบถูกวิธีและได้มาตรฐานของการไฟฟ้าฯ กำหนด เป็นต้น

ชื่อ – นามสกุล : นาย ประทีป มานะสัมมากิจ
ตาแหน่งงานปัจจุบัน : นักศึกษา
ตาแหน่งในโครงการ : คณะผู้วิจัย
ที่อยู่ :เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ชั้น 4 อาคารเฉลิมพระเกียรติ 55 พรรษา
แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
อีเมล์ : dstartaeza@gmail.com
โทรศัพท์ : 02-329-8264 โทรศัพท์มือถือ : 089-445-2068 โทรสาร : 02-329-8263
สถานที่ทางาน : วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง
ประวัติการศึกษา : ปริญญาตรี วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (วศ.บ.)
ประสบการณ์การทางาน : ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC)
ใบอนุญาต / ทะเบียน :
นักวิจัยด้าน : วงจรความถี่สูง
ความเชี่ยวชาญเฉพาะทาง : การออกแบบวงจรความถี่สูงบนแผ่นวงจรพิมพ์
ผลงานที่ผ่านมา : ออกแบบวงจรขยาย วงจรกระจายสัญญาณความถี่สูง