



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

ระบบตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อ

Cathodic Protection System

นางสาวศวดี มั่นคง

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา ระบบตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อ

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาวศวดี มั่นคง

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมการวัดและควบคุม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.สุธรรม สัทธรรมสกุล

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายสุพจน์ พรหมพยุง

สถานประกอบการ บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)

บทคัดย่อ

โครงการสหกิจศึกษานี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อ ของระบบการขนส่งน้ำมันในท่อใต้ดิน หรือเรียกอีกอย่างว่า “ Cathodic Protection System ” ซึ่งในระบบจะมีการติดตั้งระบบตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อ ไว้บริเวณหลายจุดโดยเว้นระยะทุกๆ 500 เมตร ตลอดความยาวของท่อน้ำมัน ซึ่งตัวเปรียบเทียบ ในกรณีนี้จะใช้เป็น $CuCuSO_4$ เพราะเป็นระบบที่ใช้ในบริเวณใต้ดิน แต่เนื่องจากท่อมีระยะที่ค่อนข้างยาว ทางบริษัทจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบการตรวจวัดเพื่อเพิ่มความสะดวกและประหยัดระยะเวลาในการทำงาน โดยการเชื่อมต่อระบบการตรวจวัดดังกล่าวเข้ากับเครือข่ายไร้สาย ในกรณีนี้ใช้เป็นบอร์ด Starter-kit GRAVITECH ของ LoRa – IOT by CAT Telecom ซึ่งทำงานเทียบเท่ากับบอร์ด Arduino แต่มีการฝังชิพของ LoRa - IOT ไว้ด้วย โดยจะใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโค้ดเพื่อเชื่อมต่อการทำงานของระบบกับบอร์ดดังกล่าว แล้วจึงส่งข้อมูลขึ้นระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อแสดงผลบนเว็บไซต์

คำสำคัญ : Cathodic Protection System, Arduino IDE, LoRa-IOT

Research Title: Cathodic Protection System

Student intern name: Ms. Yossawadee Munkhong

Faculty: Engineering

Department: Instrumentation Engineering

Advisor name: Asst.Prof.Sutham Satthamsakul

Mentor name: Mr. Supoch Prampayoong

Company: BANGKOK AVIATION FUEL SERVICES PUBLIC COMPANY LIMITED

ABSTRACT

This cooperative education project aims to study and design a monitoring system to prevent corrosion in pipes. Transportation of oil in underground pipelines. Also known as "Cathodic Protection System", in which the system is installed, the measuring system to prevent corrosion in pipes. Many areas are spaced every 500 meters along the length of the oil pipeline. The comparator In this case, it is $CuCuSO_4$ because the system used in the underground area. However, since the pipe has a relatively long term. The company got the idea to develop a measurement system to simplify and save time at work. By connecting the measurement system to the wireless network. In this case, a board Starter-kit GRAVITECH of LoRa - IOT by CAT Telecom, which is functionally equivalent to Arduino board, but with embedded chips LoRa-IOT with by using the Arduino IDE to write code to connect to their work. Such a system board And then send the information to display on the internet site.

Keywords: Cathodic Protection System, Arduino IDE, LoRa-IOT

กิตติกรรมประกาศ

โครงการสหกิจศึกษาเรื่องระบบตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยการสนับสนุนจากหลายฝ่ายที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางทำให้โครงการสหกิจศึกษาเรื่องนี้บรรลุวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี ผู้เขียนจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผศ.สุธรรม สัทธรรมสกุล อาจารย์นิเทศโครงการสหกิจศึกษาที่คอยให้คำปรึกษาชี้แนะ และดูแลตลอดระยะเวลาในการปฏิบัติสหกิจศึกษา รวมถึงช่วยตรวจทานรายงานสหกิจศึกษาและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ทำให้โครงการสหกิจศึกษาและรายงานสหกิจศึกษาเรื่องระบบตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อเสร็จสิ้นสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ที่มอบโอกาสในการเข้ามาทำสหกิจศึกษาประจำปีการศึกษา 2562 รวมถึงคุณสุพจน์ พรหมพยุง (ผู้จัดการแผนกวิศวกรรมไฟฟ้า) ซึ่งเป็นผู้ดูแลที่คอยให้คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางตลอดการทำโครงการสหกิจศึกษา

นางสาวยศวี มั่นคง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	Error! Bookmark not defined.
กิตติกรรมประกาศ.....	Error! Bookmark not defined.
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	Error! Bookmark not defined.
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	Error! Bookmark not defined.
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	Error! Bookmark not defined.
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 วิธีการศึกษา.....	Error! Bookmark not defined.
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบการป้องกันสนิมแบบแคโทดิก.....	5
2.2.1 ทฤษฎีการกัดกร่อนพื้นฐาน.....	5
2.2.2 หลักการป้องกันการกัดกร่อนพื้นฐาน.....	7
2.2.3 โครงสร้างที่ต้องการป้องกัน.....	9
2.2.3.1 เภมท์การป้องกันการกัดกร่อนของโครงสร้างขนาดต่างๆ.....	9
2.2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสนิม.....	10
2.2.5 การป้องกันเหล็กไม่ให้เกิดสนิม.....	11
2.2.5.1 วิธีการเคลือบผิวเหล็ก.....	11
2.2.5.2 วิธีการทำให้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม.....	11
2.2.5.3 วิธีการป้องกันแบบแคโทดิก.....	12
2.2.5.4 วิธีการใช้กระแสไฟฟ้า.....	12

2.2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบ Cathodic Protection	12
2.3 โปรแกรมที่ใช้ในการทำงาน	13
2.3.1 โปรแกรม Arduino IDE	13
2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมต่อ.....	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการของโครงการ	16
3.1 วิธีการดำเนินโครงการ.....	16
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ	17
3.2.1 อุปกรณ์วัดค่าความต่างศักย์	17
3.2.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สาย LoRa by CAT Telecom.....	18
3.3 การออกแบบฟังก์ชันการทำงานของระบบ	19
3.4 ขั้นตอนการเชื่อมต่อระบบ	20
3.4.1 หน้าจอเข้าสู่ระบบ (Login).....	20
3.4.1.1 หน้าจอเข้าสู่ระบบ (Login).....	21
3.4.1.2 การลงทะเบียนเข้าใช้งาน (Sign up).....	21
3.4.1.3 หน้าจอหลังจากเข้าสู่ระบบ.....	22
3.4.2 สร้างโปรไฟล์การเชื่อมต่อ	23
3.4.3 เมนูจัดการอุปกรณ์	24
3.4.4 เมนูจัดการอุปกรณ์เชื่อมต่อ	Error! Bookmark not defined.
3.4.5 เมนูการใช้งานข้อมูล	25
3.4.6 เมนูการส่งข้อมูลจากโครงข่ายมายังอุปกรณ์	25
3.4.6.1 เมนูการส่งข้อมูลจากระบบมายังอุปกรณ์.....	25
3.4.6.2 เมนูคำสั่งการสั่งงานจากระบบมายังอุปกรณ์	26
3.4.7 เมนูจัดการสมาชิกของผู้ใช้	26
3.5 ขั้นตอนการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับโปรแกรม Arduino IDE.....	27
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	30
4.1 กล่าวนำ.....	30
4.2 ผลการทดสอบการแสดงผลข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย LoRa IoT	30

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	32
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	32
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข	32
5.2.1 ปัญหาที่พบ.....	32
5.2.2 แนวทางการแก้ไข	32
5.3 ข้อเสนอแนะ	32
บรรณานุกรม.....	34
ประวัติผู้เขียน.....	36



สารบัญรูปร่างภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 การกัดกร่อน	Error! Bookmark not defined.
2.2 การกัดกร่อนของเหล็กภายในหยดน้ำ.....	Error! Bookmark not defined.
2.3 องค์ประกอบของการกัดกร่อน	7
2.4 การป้องกันการกัดกร่อนด้วยโลหะกันกร่อน.....	Error! Bookmark not defined. 8
2.5 การติดตั้งโลหะกันกร่อน	8
2.6 โลหะกันกร่อนที่ยังไม่ได้ใช้งานกับที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว.....	9
2.7 ปฏิกิริยาการเกิดสนิม	11
2.8 เหล็กที่เกิดสนิม	12
2.9 ระบบ Cathodic protection	Error! Bookmark not defined. 3
2.10 โปรแกรม Arduino IDE	14
2.11 ระบบการเชื่อมต่อไร้สาย LoRa IoT	15
3.1 วิธีการดำเนินโครงการงาน	16
3.2 Voltage Sensor	17
3.3 ตัวอย่างการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดกับ Sensor	17
3.4 อุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สาย LoRa by CAT Telecom	18
3.5 บอร์ด starter-kit GRAVITECH	19
3.6 ภาพโดยรวมของ Cathodic protection	19
3.7 หน้าจอเข้าสู่ระบบ	20
3.8 การลงทะเบียนเข้าใช้งาน	22
3.9 หน้าจอหลังจากเข้าสู่ระบบ.....	22
3.10 สร้างโปรไฟล์การเชื่อมต่อ.....	23
3.11 เมนูจัดการอุปกรณ์เชื่อมต่อ	24
3.12 เมนูการใช้งานข้อมูล.....	25
3.13 เมนูการทดสอบการส่งงานจากระบบมายังอุปกรณ์	25
3.14 เมนูคำสั่งการส่งงานจากระบบมายังอุปกรณ์	26

3.15 เมนูจัดการสมาชิกของผู้ใช้บริการ	26
3.16 โปรแกรม Arduino IDE – การเพิ่มบอร์ด (1).....	27
3.17 โปรแกรม Arduino IDE – การเพิ่มบอร์ด (2).....	27
3.18 โปรแกรม Arduino IDE – การเพิ่มบอร์ด (3).....	28
3.19 โปรแกรม Arduino IDE – การเลือกบอร์ด	28
3.20 ตัวอย่างการกรอกรหัสข้อมูล	29
4.1 หน้าจอแสดงผลการทดสอบบนระบบอินเทอร์เน็ต.....	30



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน.....	3
2.1 ตารางแสดงเกณฑ์ค่าศักย์ไฟฟ้าเทียบกับขั้วมาตรฐาน	10



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

บริษัท บริการเชื้อเพลิงการบินกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) (อังกฤษ : BANGKOK AVIATION FUEL SERVICES PCL. ชื่อย่อ : BAFS) บริษัทก่อตั้งขึ้นเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ.2526 โดยคณะรัฐมนตรีอนุมัติให้ดำเนินการตามความเห็นและมติสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติในการจัดตั้งโครงการเติมน้ำมันอากาศยาน ปัจจุบันบริษัทเป็นบริษัทเดียวที่ได้รับสิทธิจากรัฐบาลไทยในการดำเนินธุรกิจจัดเก็บ และให้บริการเติมน้ำมันเชื้อเพลิงแก่อากาศยานทุกประเภทและทุกเที่ยวบิน ณ ท่าอากาศยานดอนเมือง โดยบริษัทให้บริการเชื้อเพลิงการบินอย่างครบวงจรทั้ง 3 ระบบ คือ ระบบคลังน้ำมันอากาศยาน ระบบส่งน้ำมันอากาศยานผ่านท่อฯ และระบบเติมน้ำมันอากาศยาน โดยมีลูกค้าหรือผู้ว่าจ้างเติมน้ำมัน

ซึ่งลูกค้าหรือผู้ว่าจ้างเติมน้ำมัน คือ บริษัทผู้ค้าน้ำมันต่างๆ ที่ขายน้ำมันอากาศยานให้แก่สายการบิน ซึ่งบริษัทมีการให้บริการเติมน้ำมันอากาศยาน 2 ประเภท คือ น้ำมันอากาศยานสำหรับเครื่องบินไอพ่น (JET A-1) และน้ำมันอากาศยานสำหรับเครื่องบินลูกสูบ (AVGAS) ในวันที่ 28 กันยายน พ.ศ. 2549 ได้มีการย้ายท่าอากาศยานนานาชาติของไทยจากท่าอากาศยานดอนเมืองไปยังท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยบริษัทและบริษัทย่อยได้ให้บริการเชื้อเพลิงการบินอย่างครบวงจรทั้ง 3 ระบบเช่นเดียวกับที่ท่าอากาศยานดอนเมือง

นอกจากการให้บริการของบริษัทที่ท่าอากาศยานดอนเมือง และท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ บริษัทได้ให้บริการเติมน้ำมันอากาศยานสำหรับเครื่องบินไอพ่นให้แก่สายการบินบางกอกแอร์เวย์ ณ ท่าอากาศยานภูมิภาค 2 แห่ง คือ ท่าอากาศยานสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี และท่าอากาศยานสุโขทัย โดยบริษัทได้รับสัญญาอนุญาตให้ดำเนินการให้บริการเติมน้ำมันอากาศยานจากบริษัท การบินกรุงเทพ จำกัด โดยขยายระยะเวลาการให้ดำเนินการเป็น 25 ปี เริ่มตั้งแต่ปี 2543 ถึง 2567

สำหรับหัวข้อโครงการที่ได้รับมอบหมายในการปฏิบัติงานสหกิจศึกษาเป็นการศึกษาและออกแบบระบบการป้องกันสนิมท่อน้ำมันด้วยวิธีแคโทดิก (Cathodic Protection System) โดยรายละเอียดของการทำงาน คือ ศึกษา และออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดการทำงานของระบบการป้องกันสนิมท่อน้ำมันด้วยวิธีแคโทดิก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการป้องกันสนิมของโครงสร้างเหล็กแบบแคโทดิก
- 1.2.2 เพื่อออกแบบวงจรระบบการป้องกันสนิมของโครงสร้างเหล็กแบบแคโทดิก
- 1.2.3 เพื่อออกแบบการเชื่อมต่อข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย LoRa – IoT
- 1.2.4 เพื่อฝึกตนเองให้เป็นผู้มีความมุ่งมั่น ตั้งใจ อดทนและตรงต่อเวลา ซึ่งตรงกับอัตลักษณ์ของสถาบัน “ซื่อสัตย์ ใฝ่รู้ สู้งาน”

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ศึกษาการใช้โปรแกรม Arduino IDE เพื่อนำมาเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วัดค่าแรงดันตกคร่อมในระบบป้องกันสนิมของโครงสร้างเหล็กแบบแคโทดิก
- 1.3.2 ออกแบบการเชื่อมต่อข้อมูลโดยใช้ระบบไร้สาย LoRa – IoT

1.4 วิธีการดำเนินการโครงการ

- 1.4.1 ศึกษาการใช้งานโปรแกรม Arduino IDE
- 1.4.2 ศึกษาหลักการการทำงานของระบบการป้องกันสนิมของโครงสร้างเหล็กแบบแคโทดิก
- 1.4.3 เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วัดค่าแรงดันตกคร่อมในระบบป้องกันสนิมของโครงสร้างเหล็กแบบแคโทดิก
- 1.4.4 เชื่อมต่อข้อมูลที่ได้ผ่านระบบการเชื่อมต่อข้อมูลโดยใช้ระบบไร้สาย LoRa – IoT
- 1.4.5 ทดสอบการทำงานของระบบ
- 1.4.6 แก้ไขความผิดพลาดและความเหมาะสม
- 1.4.7 Factory Acceptance Test (FAT)

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	เดือน	สิงหาคม				กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน			
	สัปดาห์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ศึกษาโปรแกรมที่ใช้ในโรงงาน		■	■														
ศึกษาหลักการทำงานของระบบการป้องกันสนิมของโครงสร้างเหล็กแบบแคโทดิก				■	■	■	■										
เขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์วัดค่าแรงดันตกคร่อมในระบบ							■	■									
เชื่อมต่อข้อมูลผ่านระบบการเชื่อมต่อข้อมูลโดยใช้ระบบไร้สาย LoRa – IoT										■	■	■	■				
ทดสอบการทำงานของระบบ														■			
แก้ไขความผิดพลาดและความเหมาะสม														■	■		
Factory Acceptance Test (FAT)																■	■

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ผู้ปฏิบัติสามารถใช้งานระบบการป้องกันสนิมของโครงสร้างเหล็กแบบแคโทดิกได้จริง

1.5.2 ได้รับความรู้และความเข้าใจในกระบวนการทำงานของระบบการป้องกันสนิมของ

โครงสร้างเหล็กแบบแคโทดิก

1.5.3 เชื่อมต่อข้อมูลที่ได้ผ่านระบบการเชื่อมต่อข้อมูลโดยใช้ระบบไร้สาย LoRa – IoT ได้

1.5.4 ฝึกการทำงานอย่างเป็นระบบ และสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้

1.5.5 ฝึกตนเองให้เป็นผู้มีความมุ่งมั่น ตั้งใจ อดทนและตรงต่อเวลา ซึ่งตรงกับอัตลักษณ์ของสถาบัน “ซื่อสัตย์ ใฝ่รู้ สู้งาน”



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการทำปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เพื่อเป็นแนวทางและการศึกษาทำความเข้าใจ ซึ่งจะมีเนื้อหาเกี่ยวกับระบบการป้องกันสนิมของโครงสร้างเหล็กแบบแคโทดิก รวมทั้งอุปกรณ์และโปรแกรมที่ใช้ในระบบ

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบการป้องกันสนิมของโครงสร้างเหล็กแบบแคโทดิก

2.2.1 ทฤษฎีการกัดกร่อนพื้นฐาน

การกัดกร่อนหมายถึงการเสื่อมสภาพของโลหะโดยการทำปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีกับสิ่งแวดล้อม เช่น การกัดกร่อนในเหล็ก คือ การเกิดสนิม ซึ่งการกัดกร่อนนั้นอาศัยออกซิเจน และน้ำ ซึ่งมีอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นส่วนสำคัญ ดังนั้นเราจึงพบเห็นการกัดกร่อนเกิดขึ้นทั่วไป

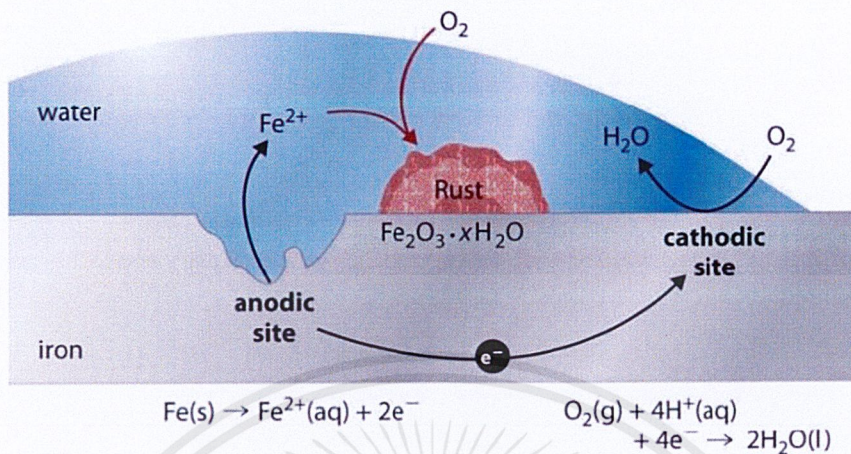


รูปที่ 2.1 การกัดกร่อน

การกัดกร่อนนั้นสามารถเกิดได้ทั้งในกรณีที่โลหะต่างชนิดกันมาติดกัน โดยโลหะที่ง่ายต่อการทำปฏิกิริยาจะเป็นแอโนดและเกิดการกัดกร่อน ในขณะที่โลหะอีกชนิดจะได้รับการป้องกัน อย่างไรก็ตามการกัดกร่อนสามารถเกิดภายในโลหะชิ้นเดียวกันได้ เนื่องจากมีโครงสร้างจุลภาค หรือองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน

ในกรณีของเหล็กภายใต้หยดน้ำ บริเวณที่เป็นขั้วแคโทด (Cathodic site) จะเป็นบริเวณต้านริมนสุดของหยดน้ำ เนื่องจากบริเวณนั้นมีออกซิเจนมาก จึงใช้เป็นสารตั้งต้นในการเกิด

ปฏิกิริยาได้ดี ในขณะที่ด้านในที่มีออกซิเจนน้อยกว่าจะเป็นแอโนด (Anodic site) สารละลาย คือ หายตัว ในขณะที่ทางเดินไฟ คือ ตัวโลหะ



รูปที่ 2.2 การกัดกร่อนของเหล็กภายใต้หยดน้ำ

การกัดกร่อนประกอบด้วย 4 องค์ประกอบ ได้แก่

- แอโนดเป็นโลหะหรือส่วนของโลหะที่เกิดปฏิกิริยาการละลาย หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือการกัดกร่อน เมื่อโลหะเกิดการละลายจะได้เป็นไอออนโลหะ (Mn⁺)และอิเล็กตรอน (e⁻) โดยไอออนโลหะจะละลายอยู่ในสารละลายในขณะที่อิเล็กตรอนจะผ่านไปทางเดินไฟไปยังแคโทด
- แคโทด เป็นโลหะหรือส่วนของโลหะที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน โดยใช้ ออกซิเจนเป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยา โดยขั้วแคโทดนี้เป็นส่วนที่ไม่เกิดการกัดกร่อน เนื่องจากได้รับอิเล็กตรอนจากแอโนดมาป้องกัน โดยสมการรีดักชันที่แคโทดนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม เช่นในกรณีที่เป็นกลางหรือสภาวะต่าง เช่น ในน้ำ สารตั้งต้นปฏิกิริยาจะเป็นน้ำและออกซิเจน ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาจะเป็นไฮดรอกไซด์ โดยในการป้องกันการกัดกร่อนด้วยโลหะการกัดกร่อน ปฏิกิริยาที่โครงสร้างที่ต้องการป้องกันจะเป็นปฏิกิริยานี้หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาแคโทดิก
- สารละลาย ซึ่งเป็นตัวกลางของไอออน เช่น น้ำ น้ำทะเล
- สะพานไฟ เช่น สายไฟหรือการติดกันของโลหะด้วยการสัมผัสกัน เชื่อมต่อกันยึดติดกันด้วยน็อตสกรู

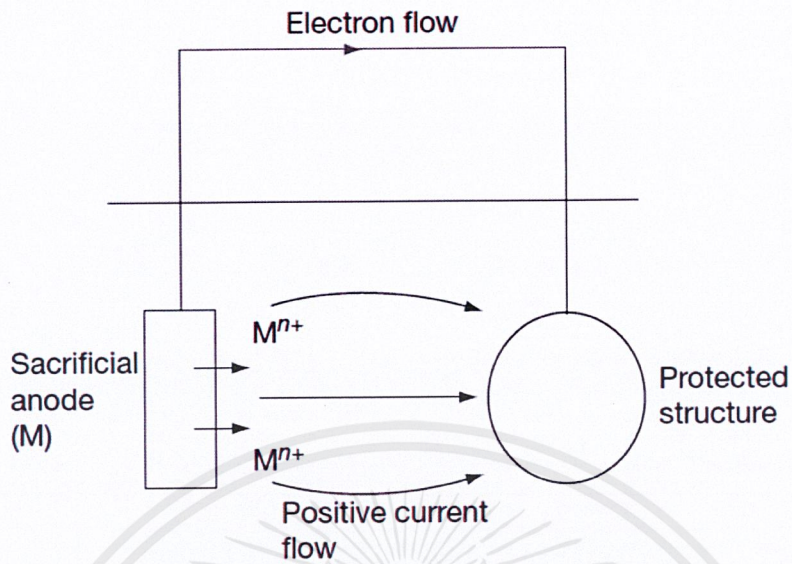


รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของการกั้ดกร่อน

จากองค์ประกอบของการกั้ดกร่อน หากนำโลหะที่เกิดการกั้ดกร่อนได้ง่ายกว่ามาติดเข้ากับโครงสร้างที่ต้องการป้องกันจะสามารถป้องกันการกั้ดกร่อนได้ ซึ่งวิธีการป้องกันแบบนี้เรียกว่า การป้องกันแบบแคโทดิก (Cathodic protection) โดยให้โครงสร้างที่ต้องการป้องกันเป็นแคโทด ในขณะที่โลหะที่เกิดการกั้ดกร่อนได้ง่ายเป็นแอโนด และการป้องกันการกั้ดกร่อนวิธีนี้จะใช้ได้ต้องมีสารละลาย ดังนั้นจึงใช้ได้เฉพาะกับโครงสร้างใต้น้ำเท่านั้น

2.2.2 หลักการป้องกันการกั้ดกร่อนด้วยโลหะกันกร่อน

การป้องกันการกั้ดกร่อนด้วยโลหะกันกร่อนเป็นวิธีการที่ใช้ในการป้องกันการกั้ดกร่อนโครงสร้างในน้ำ หรือในทะเล โดยการนำโลหะที่เกิดการกั้ดกร่อนได้ง่ายกว่า (แอโนด) มาเชื่อมต่อหรือติดกับโครงสร้างที่ต้องการป้องกัน (แคโทด) โดยโลหะที่เกิดการกั้ดกร่อนได้ง่ายนี้ เรียกว่า โลหะกันกร่อนหรือแอโนดหรือ Sacrificial anode โดยเมื่อแคโทดและแอโนดมีการเชื่อมต่อกัน โลหะกันกร่อนจะเกิดการละลาย ได้เป็นไอออน Mn^+ ในสารละลาย และ e^- ซึ่งจะเคลื่อนตามสะพานไฟมาที่โครงสร้างที่ป้องกัน ดังรูปที่ 2.4 การป้องกันการกั้ดกร่อนด้วยโลหะกันกร่อน ซึ่งแสดงโครงสร้างที่ป้องกันส่วนใหญ่จะมีการเคลือบผิวหรือเคลือบสี เพื่อช่วยป้องกันการกั้ดกร่อนอีกชั้นหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ใช้โลหะกันกร่อนน้อยลงและเป็นการประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายและพลังงาน โดยระหว่างใช้งานโลหะกันกร่อนจะเกิดการละลายออก เพื่อให้ได้อิเล็กตรอนจ่ายไปยังโครงสร้าง ดังนั้นโลหะกันกร่อนจึงมีขนาดเล็กลง และหมดไปในที่สุด



รูปที่ 2.4 การป้องกันการกัดกร่อนด้วยโลหะกันกร่อน



รูปที่ 2.5 การติดตั้งโลหะกันกร่อนในเรือ



ยังไม่ผ่านการใช้งาน



ผ่านการใช้งานแล้ว

รูปที่ 2.6 โลหะกันกร่อนที่ยังไม่ได้ใช้งานกับที่ผ่านการใช้งานแล้ว

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าโลหะกันกร่อนที่ผ่านการใช้งานนอกจากจะมีรูปร่างและขนาดเปลี่ยนไปแล้ว ยังมีผลผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนปกคลุมที่ผิว ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของโลหะกันกร่อนลดลง ดังนั้นในการผลิตโลหะกันกร่อนต้องการเติมธาตุที่ช่วยให้ผลผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนเหล่านี้หลุดออกได้ง่าย เพื่อให้โลหะกันกร่อนเกิดการละลายได้ง่ายขึ้น อย่างไรก็ตามหากโลหะกันกร่อนจ่ายไฟหรืออิเล็กตรอนให้กับโครงสร้างมากเกินไปจะเรียกว่า Overprotection ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างความเปราะเนื่องจากไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น (สมการที่ 3) ที่เรียกว่า Hydrogen embrittlement หรือผิวเคลือบอาจเกิดการหลุดล่อนได้ในการป้องกันการกัดกร่อนด้วยโลหะกันกร่อนให้มีประสิทธิภาพนั้นขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ โครงสร้างที่ต้องการป้องกัน สิ่งแวดล้อมที่ใช้งาน และโลหะกันกร่อน

2.2.3 โครงสร้างที่ต้องการป้องกัน

ในการป้องกันการกัดกร่อนของโครงสร้างใต้แนวน้ำนั้น อาจไม่ได้มีเฉพาะโครงสร้างเหล็ก เช่น ตัวเรือเท่านั้น แต่อาจมีโลหะชนิดอื่น เช่น ไบเจอร์ซึ่งทำจากโลหะทองแดงผสม ซึ่งจะมีเงื่อนไขในการป้องกันการกัดกร่อนต่างกันดังนี้

2.2.3.1 เกณฑ์การป้องกันการกัดกร่อนของโครงสร้างชนิดต่างๆ ด้วยโลหะกันกร่อน

จากหลักการการป้องกันการกัดกร่อนที่โลหะกันกร่อนจ่ายอิเล็กตรอนให้กับโครงสร้าง หากจะวัดเป็นกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ที่จ่ายให้กับโครงสร้างจะทำได้ยากและมีข้อผิดพลาด ดังนั้นในการประเมินว่าระบบการป้องกันเกิดประสิทธิผลหรือไม่ จึงวัดจากศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้าง โดยเมื่อติดโลหะกันกร่อนแล้ว หากศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างเป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนดใน ตารางที่ 1 แสดงว่าการป้องกันการกัดกร่อนมีประสิทธิผล โดยเกณฑ์ค่าศักย์ไฟฟ้านี้เรียกว่า ศักย์ไฟฟ้าป้องกัน (Protection potential)

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงเกณฑ์ค่าศักย์ไฟฟ้าเทียบกับขั้วมาตรฐาน

ชนิดโครงสร้าง	เกณฑ์ค่าศักย์ไฟฟ้า เทียบกับขั้วมาตรฐาน ชนิด CuCuSO4 (V)	เกณฑ์ค่าศักย์ไฟฟ้า เทียบกับขั้วมาตรฐาน ชนิด AgAgCl (V)
โครงสร้างเหล็ก	-0.85	-0.80
โครงสร้างเหล็ก (กรณีมีจุลชีพ)	-0.95	-0.90
โครงสร้างโลหะ ผสมทองแดง	-0.5 ถึง -0.65	-0.45 ถึง -0.60

สำหรับการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างในทะเลนั้นจะใช้ขั้วไฟฟ้ามาตรฐานชนิด Ag/AgCl และการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของโครงสร้างในดินจะใช้ขั้วไฟฟ้ามาตรฐานชนิด Ag/AgCl โดยเกณฑ์ที่เทียบกับขั้วมาตรฐานชนิดนี้ได้แสดงไว้ในตารางข้างต้น

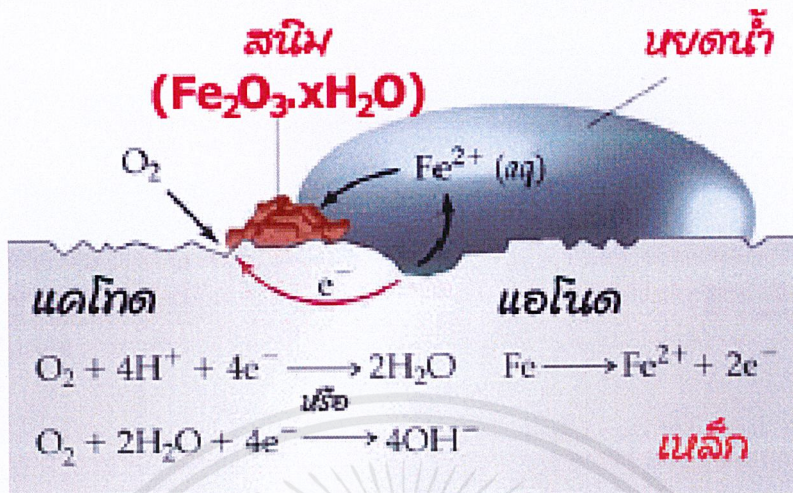
2.2.4 ปฏิกิริยาการเกิดสนิม

สนิม (rust) เป็นโลหะส่วนที่มีการเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม เนื่องจากได้รับปฏิกิริยาเคมีที่มีอากาศ น้ำ หรือความร้อนเป็นตัวการสำคัญทำให้โลหะมีคุณสมบัติแตกต่างไปจากเดิม เช่น สีที่เปลี่ยนไป มีความแข็งแรงลดลง และทำให้เกิดการผุกร่อน ตัวอย่างที่เราพบเห็นอยู่บ่อยๆ ได้แก่ เหล็ก

ปัจจัยในการเกิดสนิมในเหล็กกล้า เนื่องจากเหล็กเป็นวัสดุนำไฟฟ้าอยู่แล้ว ยังมีสามปัจจัยที่เหลือคือ ขั้วบวก ขั้วลบ และสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งสื่อำประจุไฟฟ้า เช่น ออกซิเจน และความชื้น โดยมีสูตรทางเคมี คือ



อากาศ



รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาการเกิดสนิม

2.2.5 การป้องกันเหล็กไม่ให้เกิดสนิม

2.2.5.1 ใช้วิธีการเคลือบผิวเหล็ก เพื่อป้องกันไม่ให้เนื้อเหล็กสัมผัสกับน้ำและอากาศโดยตรง เช่น การทาสี การชุบโลหะ อาทิ ดีบุก สังกะสี วิธีนี้มักใช้งานขนาดเล็กหรือกลาง ข้อเสียของวิธีนี้คือ ผิวเคลือบชนิดนี้ สามารถหลุดออกได้ง่าย ทั้งทางกายภาพและทางเคมี และผิวเคลือบบางชนิดยังเร่งให้เกิดสนิมเร็วขึ้น เช่น ดีบุก เป็นต้น

2.2.5.2 ใช้วิธีทำให้เป็นเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) โดยการเติมธาตุอื่นๆ ที่สามารถทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางๆ ขึ้นที่ผิวเหล็ก เช่น โครเมียม นิกเกิล ธาตุเหล่านี้จะสามารถสร้างฟิล์มบางๆ ที่ติดแน่นบนผิวเหล็ก ช่วยป้องกันไม่ให้เนื้อเหล็กสัมผัสกับบรรยากาศโดยตรง ผิวเคลือบชนิดนี้มีความคงทนทั้งทางกายภาพและเคมี เหล็กกล้าไร้สนิมมีหลายเกรด แต่ละเกรดก็จะส่วนผสมที่ต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งานแต่ละประเภท



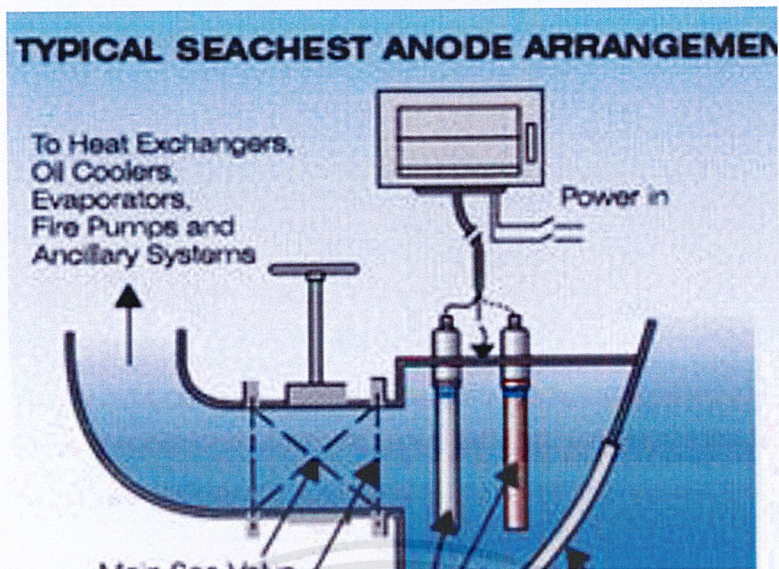
รูปที่ 2.8 เหล็กที่เกิดสนิม

2.2.5.3 วิธีการป้องกันแบบแคโทดิก โดยใช้โลหะกันกร่อน ผูกติดกับชิ้นงานที่ต้องการไม่ให้เกิดสนิม โลหะที่นิยมใช้เป็นโลหะกันกร่อน เช่น แมกนีเซียม สังกะสี อะลูมิเนียม ที่ทำการขัดผิวออกแล้ว

2.2.5.4 ใช้วิธีการใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อให้เหล็กมีศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าบริเวณใกล้เคียง (อังกฤษ: Impressed Current) ซึ่งจะทำให้เหล็กไม่เกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนและกลายเป็นสนิม วิธีนี้สามารถป้องกันการเกิดสนิมได้ทุกสภาพแวดล้อม แต่มีค่าใช้จ่ายที่สูง และต้องอาศัยแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าซึ่งไม่สะดวกกับการโยกย้ายไปมา จึงเหมาะสมกับโครงสร้างใหญ่ๆ ที่ต้องใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เสี่ยงต่อการเกิดสนิมอย่างรุนแรง เช่น ท่อที่ฝังอยู่ในดิน ท่อส่งน้ำมันใต้ทะเล เป็นต้น

2.2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบ Cathodic Protection

โลหะเกิดการผุกร่อนจากการเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี โดยโลหะจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งมีปฏิกิริยาเกิดขึ้นเช่นเดียวกับแอโนดในเซลล์กัลวานิกหรือเซลล์อิเล็กโทรไลต์ ดังนั้นถ้าไม่ต้องการให้เกิดการผุกร่อน จึงต้องให้โลหะนั้นมีสถานะเป็นแคโทดหรือคล้ายกับแคโทด โดยใช้โลหะที่เสียอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่าเหล็ก (มีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ (E_0) น้อยกว่าเหล็ก) ไปพันหรือต่อกับเหล็ก ซึ่งจะทำให้โลหะนั้นกัดกร่อนแทนเหล็ก เช่น การเชื่อมต่อแมกนีเซียมตามท่อ หรือตามโครงเรือ จะทำให้เหล็กผุกร่อนช้าลง เนื่องจากแมกนีเซียมเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่าเหล็กจะเสียอิเล็กตรอนแทน เปรียบเสมือนกับให้แมกนีเซียมเป็นแอโนด และให้เหล็กเป็นแคโทด จึงเรียกวิธีนี้ว่า “วิธีแคโทดิก (Cathodic Protection)”



รูปที่ 2.9 ระบบ Cathodic Protection

ค่าศักย์ไฟฟ้าของเหล็กเมื่อเทียบกับ Reference Electrode ที่แสดงว่าเกิดการป้องกันสนิมแบบแคโทดิก (Cathodic Protection) ในโครงการนี้เราจะใช้ค่าศักย์ไฟฟ้าของเหล็กเมื่อเปรียบเทียบกับ Reference Electrode คือ Saturated Copper-Copper Sulfate Reference Electrode (CSE) เนื่องจากเป็นการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเหล็กในน้ำทะเลและใต้ดิน

2.3 โปรแกรมที่ใช้ในการทำงาน

2.3.1 โปรแกรม Arduino IDE

Arduino IDE เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับ Upload โปรแกรมสั่งงานหรือสเกทช์ (Sketch) ซึ่งเขียนด้วยโปรแกรมภาษา C หรือ C++ เข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ อาทิ เช่น Arduino Uno, Arduino Nano, Arduino Pro Mini, Arduino Mega และไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล Arduino อื่นๆ ซึ่งบอร์ด Arduino สามารถเชื่อมต่อไปยังเซนเซอร์ประเภทต่างๆ หรือเชื่อมต่อไปยังรีเลย์เพื่อควบคุมการเปิด/ปิดไฟฟ้า เป็นต้น นอกจากนี้ เรายังสามารถ Arduino IDE ในการอัปโหลดโปรแกรมไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลอื่นๆ อาทิ เช่น Node MCU, ESP 8266 และอื่นๆ ได้อีกด้วย



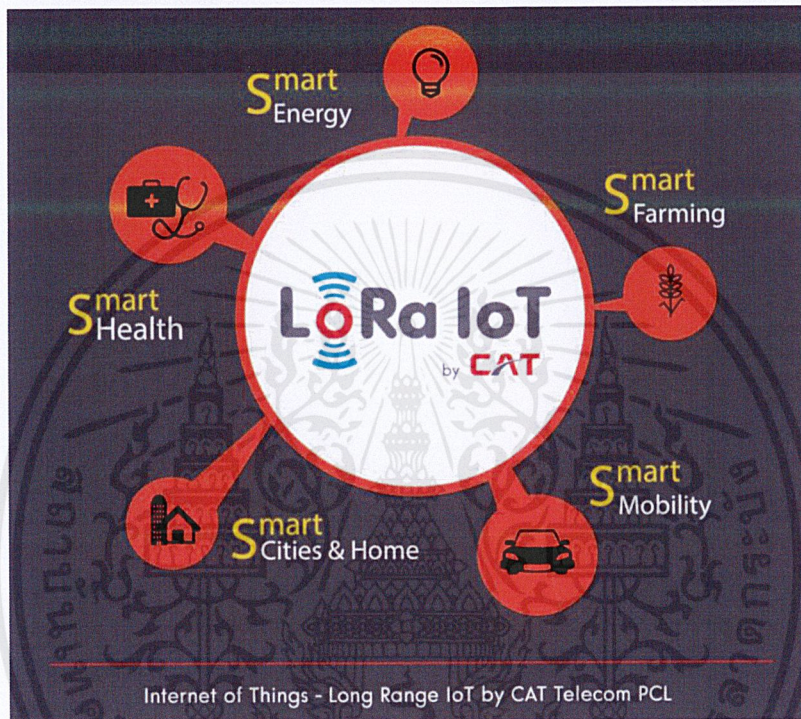
รูปที่ 2.10 โปรแกรม Arduino IDE

Arduino IDE สามารถใช้งานได้ภายในระบบปฏิบัติการ Windows, Mac และ Linux คอมโพเนนต์ส่วนใหญ่จะเขียนขึ้นใน JavaScript เพื่อให้สามารถแก้ไขและเรียบเรียงได้ง่าย แม้ว่าความตั้งใจหลักจะขึ้นอยู่กับการเขียนโค้ด แต่ก็มีคุณสมบัติอื่นๆ อีกหลายอย่างที่น่าสนใจ ได้รับการติดตั้งวิธีที่จะแบ่งปันรายละเอียดกับผู้มีส่วนได้เสียโครงการอื่นๆ ได้อย่างง่ายดาย ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนเค้าโครงภายในและ schematics เมื่อจำเป็น มีคำแนะนำในเชิงลึกซึ่งจะเป็นประโยชน์ในระหว่างขั้นตอนการติดตั้งเริ่มต้น มีคำแนะนำสำหรับผู้ที่ยังไม่มีประสบการณ์เป็นจำนวนมากกับบอร์ด Arduino

2.4 เครือข่ายที่ใช้ในการเชื่อมต่อ

LoRa เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมต่อไร้สายเหมาะสำหรับงาน Internet of Things (IoT) มีจุดเด่นในเรื่องของระยะทางในการสื่อสาร สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ในระยะไกล 5-15 กิโลเมตร และเนื่องจากพลังงานที่ใช้ในช่วงรับ-ส่งข้อมูลค่อนข้างต่ำ อีกทั้งยังสามารถกำหนดให้อุปกรณ์เข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานในกรณีที่ไม่ได้ส่งข้อมูล จึงทำให้ LoRa เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายในการใช้งาน

พื้นที่ให้บริการ ปัจจุบัน CAT ได้เริ่มดำเนินการติดตั้งและให้บริการโครงข่าย LoRa ตั้งแต่ กลางปี 2560 และภายในไตรมาส 2 ของปี 2561 นี้จะทยอยเปิดบริการในไปในหัวเมืองใหญ่ๆ 18 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานครและปริมณฑล เชียงใหม่ ขอนแก่น ระยอง น่าน สระบุรี นครนายก ปราจีนบุรี สงขลา สุราษฎร์ธานี นครราชสีมา มหาสารคาม อุดรธานี อุบลราชธานี และนครปฐม รวมถึง 3 จังหวัดในโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก หรือ EEC ได้แก่ ชลบุรี ระยอง และ ฉะเชิงเทรา



รูปที่ 2.11 ระบบการเชื่อมต่อไร้สาย LoRa IoT

บทที่ 3

วิธีดำเนินการโครงการ

3.1 วิธีดำเนินการโครงการ

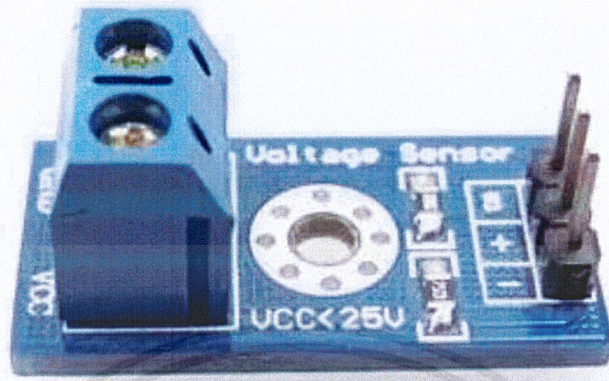


รูปที่ 3.1 วิธีดำเนินการโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

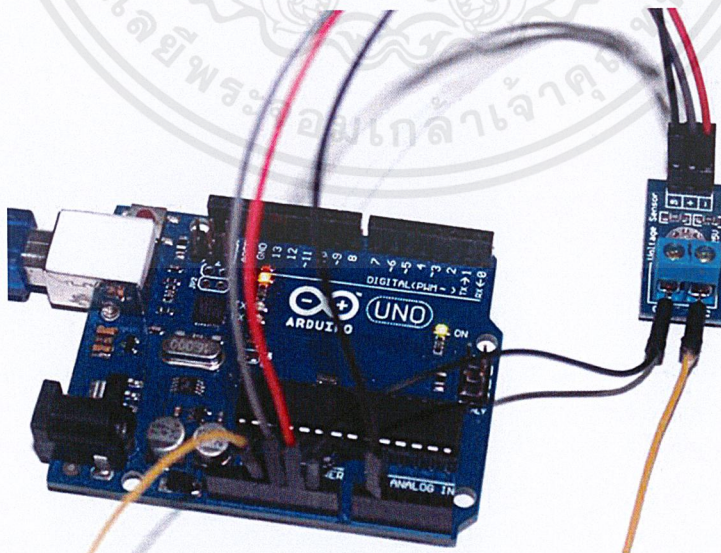
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงงาน

3.2.1 อุปกรณ์วัดค่าความต่างศักย์



รูปที่ 3.2 Voltage Sensor

โมดูลนี้ขึ้นอยู่กับหลักการออกแบบของตัวแบ่งความต้านทานเปิดใช้งาน แรงดันไฟฟ้าอินเทอร์เฟซเทอร์มินัลป้อนแคบ ๆ ทำครั้ง Arduino แรงดันไฟฟ้าอินพุตอะนาล็อกถึง 5V แล้วแรงดันอินพุตของโมดูลตรวจจับแรงดันไม่เกิน $5V \times 5 = 25V$ (3.3V หากใช้ระบบแรงดันไฟฟ้าอินพุตต้องไม่เกิน $3.3V \times 5 = 16.5V$) เนื่องจากชิป AVR Arduino ใช้ใน 10 AD ดังนั้นความละเอียดการจำลองของโมดูลนี้คือ $0.00489V$ ($5V / 1023$) ดังนั้นโมดูลตรวจจับแรงดันไฟฟ้าอินพุตขั้นต่ำจึงตรวจจับแรงดัน $0.00489V \times 5 = 0.02445V$



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการเชื่อมต่อระหว่างบอร์ดกับเซนเซอร์

วิธีการใช้งาน

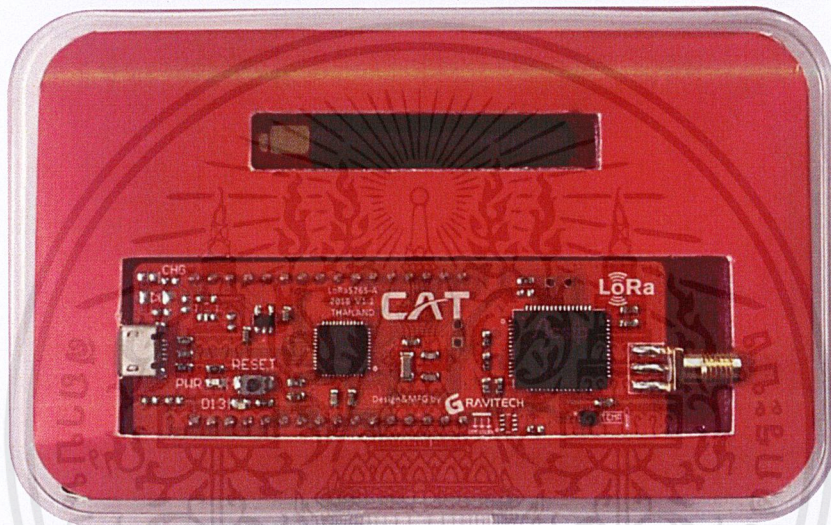
ขา - ต่อกับ กราวด์

ขา + ต่อกับไฟ 5 หรือ 3.3 โวลต์

ขา S ต่อกับขา A1

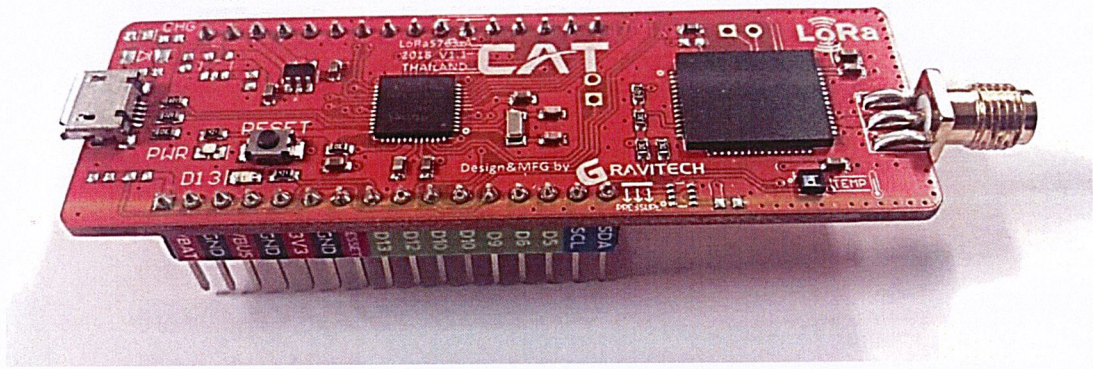
ขา Vcc ต่อกับไฟที่ต้องการวัด

3.2.2 อุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สาย LoRa by CAT Telecom



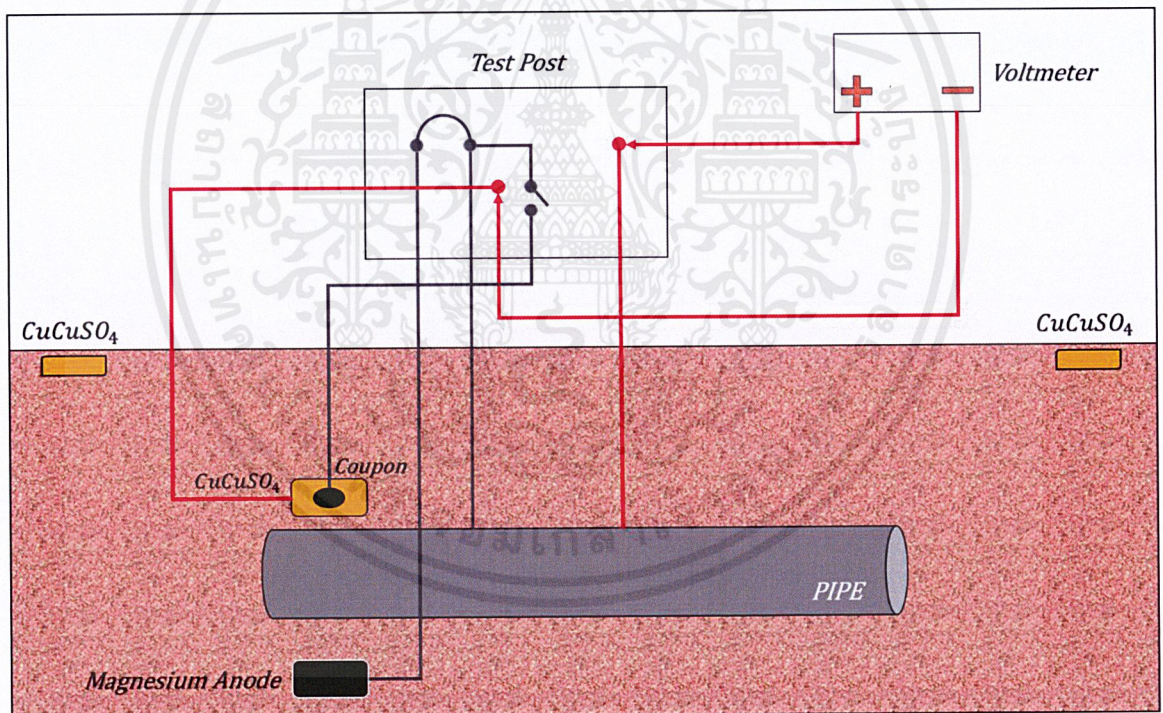
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สาย LoRa by CAT Telecom

LoRa เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมต่อไร้สายเหมาะสำหรับงาน Internet of Thing (IoT) ที่ข้อมูลหลักๆมาจากเซ็นเซอร์รับข้อมูลต่างๆ โดยเป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้งานแพร่หลาย บริษัทชั้นนำผู้พัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์พัฒนาอุปกรณ์รองรับการเชื่อมต่อ LoRa เทคโนโลยี LoRa มีจุดเด่นในเรื่องระยะทางในการสื่อสาร สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ในระยะไกล 5-15 กิโลเมตร ประหยัดพลังงานจากการใช้พลังงานในช่วงรับ-ส่งข้อมูลค่อนข้างต่ำ ในช่วงที่ไม่ส่งข้อมูล สามารถกำหนดให้อุปกรณ์เข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานได้ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย



รูปที่ 3.5 บอร์ด Starter-kit GRAVITECH

3.3 ออกแบบฟังก์ชัน การทำงานของระบบ



รูปที่ 3.6 ภาพโดยรวมของ Cathodic Protection

โครงการนี้ใช้ Voltage Module Sensor เชื่อมต่อกับบอร์ด Starter-kit GRAVITECH ในระบบการสื่อสารไร้สาย LoRa by CAT Telecom แล้วใช้โปรแกรม Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมเพื่อเชื่อมต่อและควบคุมการทำงานของระบบตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อ

จากรูปที่ 3.6 เป็นการแสดงรูปแบบวงจรของระบบป้องกันสนิมของท่อขนส่งน้ำมันใต้ดิน โดยจะมีการฝัง Mg Anode ไว้ใกล้กับท่อน้ำมัน เพื่อให้ทำหน้าที่สูญเสียอิเล็กตรอนแทนท่อน้ำมัน โดยการวัดของระบบ Cathodic protection จะมีอยู่หลายส่วนตามเส้นสีแดงดังรูป แต่ในส่วนที่ศึกษา จะทำการวัดเทียบระหว่าง CuCuSO4 กับ ท่อเหล็ก (เส้นสีแดง) เพื่อตรวจสอบคุณภาพของ Mg Anode ว่ายังทำงานได้อยู่หรือไม่ โดยมีข้อกำหนดว่าหาก Mg ยังทำงานอยู่ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างท่อกับตัว Ref. (ในกรณีนี้ใช้เป็น CuCuSO4) ที่วัดได้จะต้องมีค่าประมาณ -500 มิลลิโวลต์

3.4 ขั้นตอนการเชื่อมต่อระบบ

เริ่มต้นจากการสมัครแอดแควนและล็อกอินใช้งานได้ที่ Web site คือ <https://loraiot.cattelcom.com/portal/login>

3.4.1 หน้าจอเข้าสู่ระบบ (Login)

1.1. Login

Username
Enter your username

Password
Enter your password

Login

Not a member? Sign Up 1.2.

Forgot Password? 1.4.

© 2019, LoRa IoT by CAT TELECOM

Resend Verify Email 1.3. User Guide 1.5.

รูปที่ 3.7 หน้าจอเข้าสู่ระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วย

- 1.1. เข้าสู่ระบบ (Login)
- 1.2. การลงทะเบียนเข้าใช้งาน (Sign Up)
- 1.3. การส่งอีเมลยืนยันการสมัครเข้าใช้บริการอีกครั้ง
(Resend Verify Email)
- 1.4. ลืมรหัสผ่าน (Forgot Password)
- 1.5. คู่มือการใช้งาน Web Portal (User Guide)

3.4.1.1 เข้าสู่ระบบ (Login)

ผู้ใช้กรอกข้อมูล username และ password หลังจากนั้นกดปุ่ม Login เพื่อเข้าสู่ระบบการใช้งาน ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบความถูกต้องของ password

3.4.1.2 การลงทะเบียนเข้าใช้งาน (Sign Up)

ผู้ใช้บริการ (Subscriber) หมายถึง ผู้ใช้งานบริการ LoRa IoT by CAT เป็นผู้ถือครองสิทธิ์ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับโครงข่าย LoRa IoT by CAT (Connectivity) และเป็นผู้รับผิดชอบต่ออุปกรณ์ที่ถูกนำมาเชื่อมต่อกับโครงข่าย รวมถึงข้อมูลที่ถูกส่งระหว่างอุปกรณ์กับโครงข่าย ผู้ใช้บริการอาจมีสถานะเป็นบุคคลธรรมดาหรือเป็นนิติบุคคล ห้างร้าน บริษัท หรือ องค์กรต่าง ๆ ก็ได้

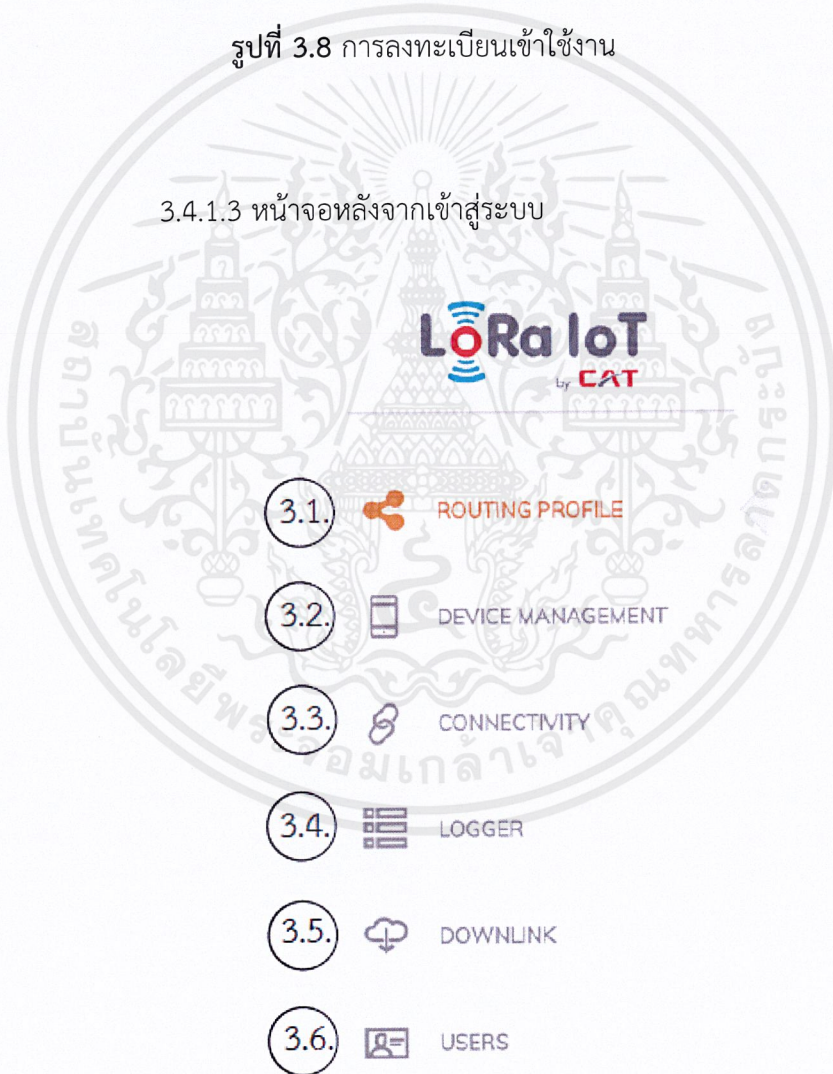
บัญชีผู้ใช้งาน (User Account) หมายถึง บัญชีที่ใช้สำหรับให้แต่ละบุคคล เข้าใช้งานระบบ Portal ของ LoRa IoT by CAT เพื่อดำเนินการต่าง ๆ เกี่ยวกับ อุปกรณ์ และสิทธิ์ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ของผู้ใช้บริการ

ซึ่งในการสมัครเป็นผู้ใช้บริการแต่ละครั้ง ระบบจะทำการสร้างบัญชีผู้ใช้งาน ตั้งต้น เพื่อเป็นบัญชีที่สามารถจัดการข้อมูลต่าง ๆ ของผู้ใช้บริการ อีกทั้งยังสามารถ สร้างบัญชีผู้ใช้งานเพิ่มเติม เพื่อร่วมกันบริหารจัดการอุปกรณ์และสิทธิ์ในการ เชื่อมต่อของผู้ใช้บริการได้อีกด้วย



รูปที่ 3.8 การลงทะเบียนใช้งาน

3.4.1.3 หน้าจอหลังจากเข้าสู่ระบบ



รูปที่ 3.9 หน้าจอหลังจากเข้าสู่ระบบ

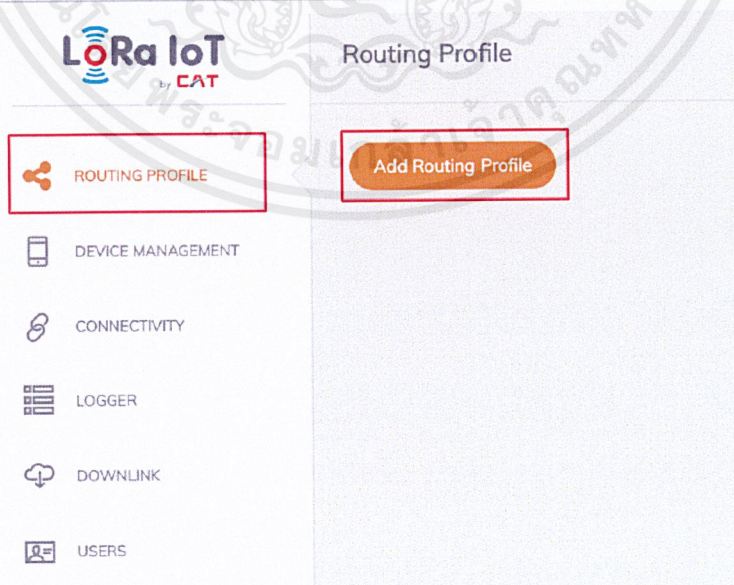
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วย

- 3.1. เมื่อกำหนดโปรไฟล์การเชื่อมต่อ (Routing Profile)
- 3.2. เมนูจัดการอุปกรณ์ (Device Management)
- 3.3. เมนูจัดการอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Connectivity)
- 3.4. เมนูการใช้งานข้อมูล (Logger)
- 3.5. เมนูการส่งข้อมูลจากโครงข่ายมายังอุปกรณ์ (Downlink)
- 3.6. เมนูจัดการสมาชิกผู้ใช้บริการ (Users)

3.4.2 สร้างโปรไฟล์การเชื่อมต่อ (Routing Profile)

ผู้ใช้เข้าเมนูกำหนดโปรไฟล์การเชื่อมต่อ (Routing Profile) หลังจากนั้นกดปุ่ม Add Routing Profile เพื่อเข้าสู่กระบวนการสร้างโปรไฟล์การเชื่อมต่อใหม่ โดยระบบจะแสดงหน้าจอ Routing Profile เพื่อให้ผู้ใช้กรอกชื่อโปรไฟล์การเชื่อมต่อ (Routing Profile Name) ทั้งนี้ผู้ใช้สามารถกรอกข้อมูลได้ตามความต้องการของผู้ใช้ แล้วกดปุ่ม Yes เพื่อยืนยัน หรือกดปุ่ม No เพื่อยกเลิก

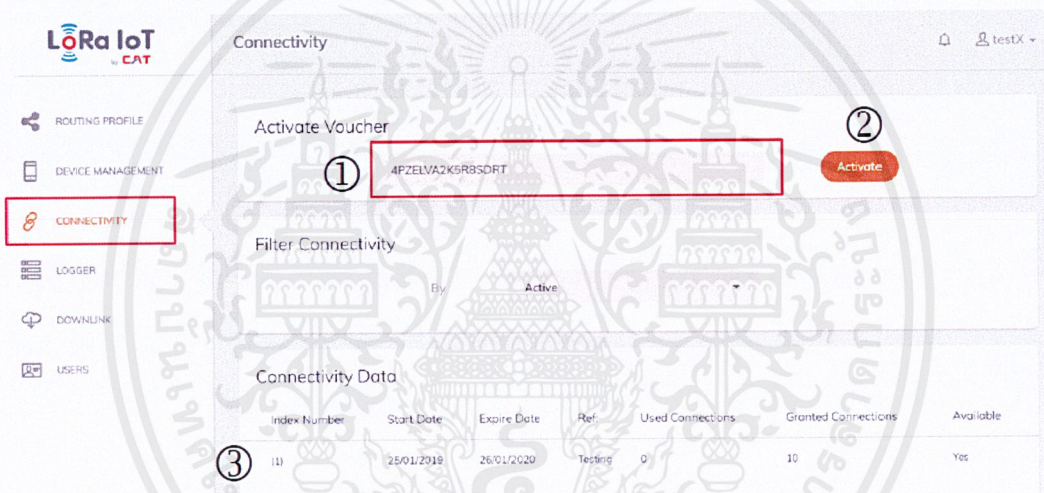


รูปที่ 3.10 สร้างโปรไฟล์การเชื่อมต่อ

3.4.3 เมนูจัดการอุปกรณ์ (Device Management)

ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการเพิ่มอุปกรณ์ทีละ 1 อุปกรณ์ ให้กดปุ่ม Add Device แล้วกรอกรายละเอียดของอุปกรณ์ ตามประเภทของ Activation Mode ซึ่งประกอบด้วย OTAA และ ABP ทั้งนี้ผู้ใช้จะต้องกรอกรายละเอียดให้ถูกต้องครบถ้วนตามเงื่อนไขของแต่ละ Activation Mode หลังจากนั้นกดปุ่ม Yes เพื่อยืนยัน หรือกดปุ่ม No เพื่อยกเลิก

3.4.4 เมนูจัดการอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Connectivity)

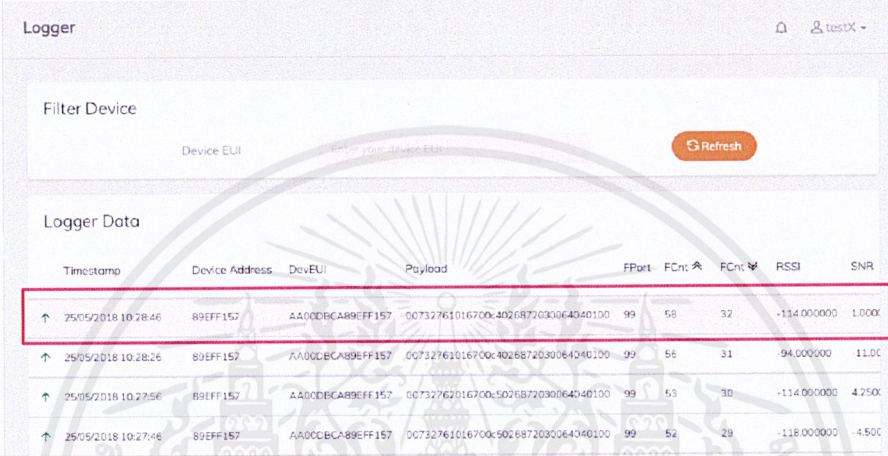


รูปที่ 3.11 เมนูจัดการอุปกรณ์เชื่อมต่อ

1. นำรหัสการสั่งซื้อรายการเชื่อมต่อ (Connectivity) กรอกในช่อง Activate Voucher
2. สร้างรายการเชื่อมต่อ โดยกดปุ่ม Activate
3. รายละเอียด Connectivity

3.4.5 เมนูการใช้งานข้อมูล (Logger)

เมนูที่ใช้สำหรับแสดงรายละเอียดการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์กับ
โครงข่าย LoRa ไปยัง Application Server ทั้งนี้ในกรณีที่ผู้ใช้กำหนด Payload
Format ของอุปกรณ์ เป็น “Cayenne LPP” ผู้ใช้สามารถกดไปที่รายการของข้อมูล
นั้น ๆ ระบบจะแสดงข้อมูล Payload ที่ถูกแปลงค่าให้อยู่ในรูปแบบ json หรือที่
เรียกว่า “Payload (parsed)”

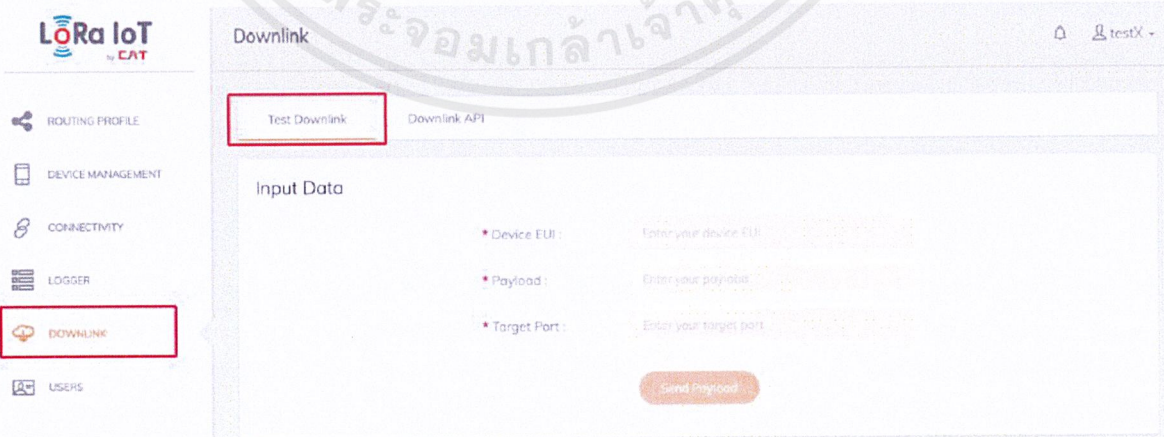


Timestamp	Device Address	DevEUI	Payload	FPort	FCnt	FCnt	RSSI	SNR
25/05/2018 10:28:46	89EFF157	AA00BCA89EFF157	007327610167004026872030064040100	99	58	32	-114.000000	1.0000
25/05/2018 10:28:26	89EFF157	AA00BCA89EFF157	007327610167004026872030064040100	99	56	31	94.000000	-11.0000
25/05/2018 10:27:56	89EFF157	AA00BCA89EFF157	007327620167005026872030064040100	99	55	30	-114.000000	4.2500
25/05/2018 10:27:46	89EFF157	AA00BCA89EFF157	007327610167005026872030064040100	99	52	29	-118.000000	-4.5000

รูปที่ 3.12 เมนูการใช้งานข้อมูล

3.4.6 เมนูการส่งข้อมูลจากโครงข่ายมายังอุปกรณ์ (Downlink) ประกอบด้วย 2
เมนู คือ

3.4.6.1 เมนูทดสอบการส่งงานจากระบบมายังอุปกรณ์ (Test Downlink)



Downlink

Test Downlink Downlink API

Input Data

* Device EUI : Enter your device EUI

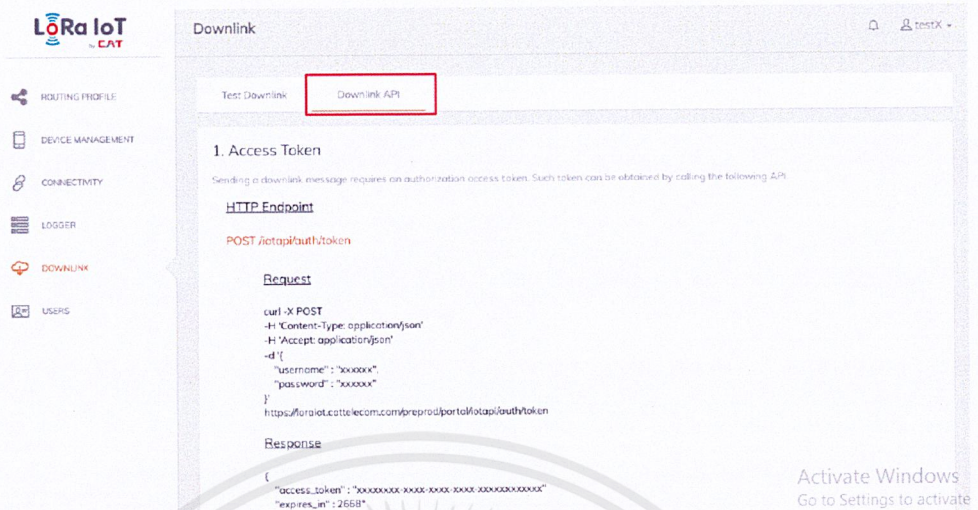
* Payload : Enter your payload

* Target Port : Enter your target port

Send Payload

รูปที่ 3.13 เมนูทดสอบการส่งงานจากระบบมายังอุปกรณ์

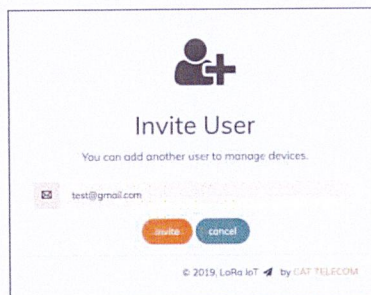
3.4.6.2 เมนูคำสั่งการสั่งงานจากระบบมายังอุปกรณ์ (Downlink Api)



รูปที่ 3.14 เมนูคำสั่งการสั่งงานจากระบบมายังอุปกรณ์

3.4.7 เมนูจัดการสมาชิกของผู้ใช้บริการ (Users)

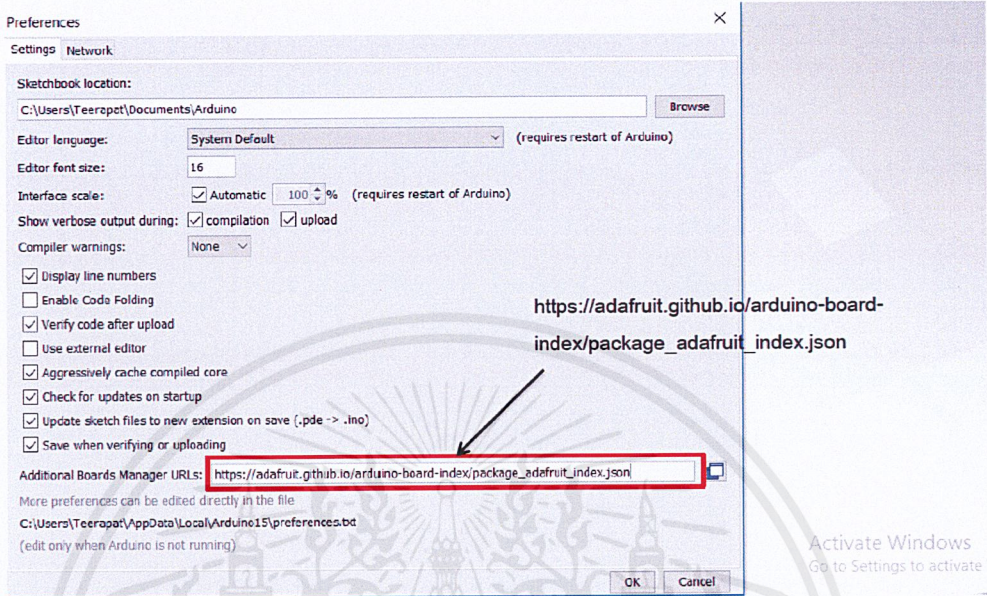
ในกรณีที่ผู้ให้บริการ (Subscriber) ต้องการเพิ่มบัญชีผู้ใช้งาน (User) เพื่อช่วยในการบริหารจัดการบัญชีของผู้ให้บริการ (Subscriber) สามารถทำได้โดยเข้าเมนู Invite และกดปุ่ม + ระบบจะแสดงหน้าจอ Invite User ให้ผู้ใช้กรอกอีเมลที่ผู้ให้บริการ (Subscriber) ต้องการเพิ่ม



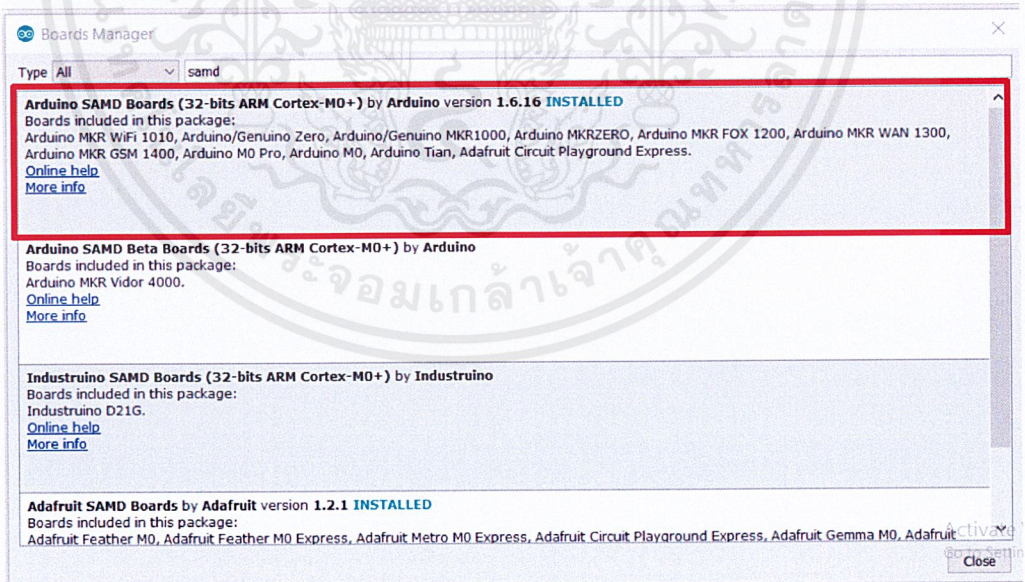
รูปที่ 3.15 เมนูจัดการสมาชิกของผู้ใช้บริการ

3.5 ขั้นตอนการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับโปรแกรม Arduino IDE

เข้าโปรแกรม Arduino IDE แล้วเพิ่มบอร์ด Starter-kit GRAVITECH เข้าไปในโปรแกรมเพื่อให้ทำงานร่วมกันได้โดยการกรอกลิงค์ตามที่แสดงด้านล่างไปลงในช่อง URL

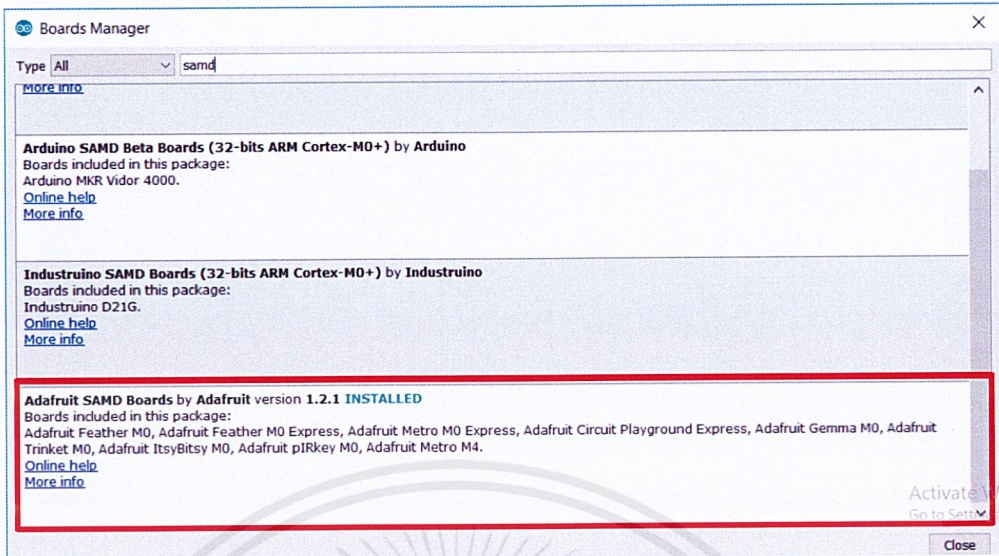


รูปที่ 3.16 โปรแกรม Arduino IDE – การเพิ่มบอร์ด (1)
กดเพิ่มอุปกรณ์ Arduino SAMD Board แล้วกด Installed



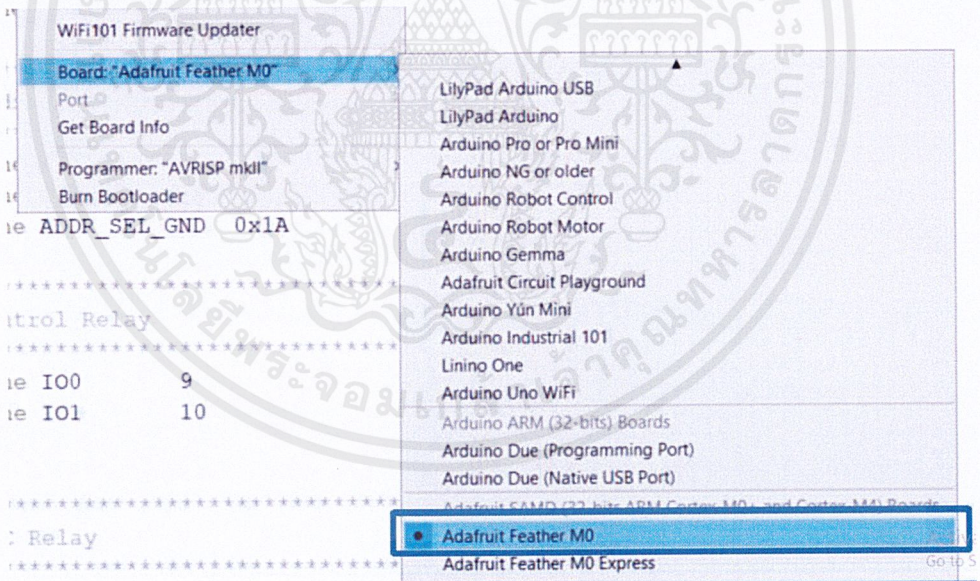
รูปที่ 3.17 โปรแกรม Arduino IDE – การเพิ่มบอร์ด (2)

กดเพิ่มอุปกรณ์อีกชิ้นคือ Adafruit SAMD Board แล้วกด Installed



รูปที่ 3.18 โปรแกรม Arduino IDE – การเพิ่มบอร์ด (3)

เมื่อติดตั้งแล้วให้กดแถบโปรแกรม Tools แล้วเลือก Board Adafruit Feather M0



รูปที่ 3.19 โปรแกรม Arduino IDE – การเลือกบอร์ด

จากนั้นเข้าไปที่ลิงค์ด้านล่างตามที่ทางเจ้าหน้าที่ส่งมา แล้วนำไปวางที่โปรแกรม Arduino IDE แล้วตั้งค่ารหัสต่างๆของบอร์ด Starter-kit GRAVITECH ลงในบรรทัดต่างๆ ของโปรแกรมที่เขียนไว้ ดังนี้

- บรรทัดที่ 126 รหัส Device class
- บรรทัดที่ 134 รหัส Device EUI
- บรรทัดที่ 143 รหัส Device address
- บรรทัดที่ 126 รหัส Network session key
- บรรทัดที่ 126 รหัส application session key

cat_lora.ino

<https://drive.google.com/open?id=119kNiRu88N>
WpEGV1_nGvgSbg8TdHh5F

Line126	set device class
Line134	set device EUI
Line143	set device address
Line151	set network session key
Line159	set application session key

```

133 //*****
134 Serial2_String_Write("mac set_deveui xxxxxxxxxxxxxxxx");
135 str1 = "";
136 delay(250);
137 str1 = Serial2.readString();
138
139 Serial.print("set_deveui");
140 Serial.println(str1);
141
142 //*****
143 Serial2_String_Write("mac set_devaddr xxxxxxxx");
144 str1 = "";
145 delay(250);
146 str1 = Serial2.readString();
147 Serial.print("set_devaddr");
148 Serial.println(str1);
  
```

รูปที่ 3.20 ตัวอย่างการกรอกรหัสข้อมูล

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

4.1 กล่าวนำ

เนื่องจากทางบริษัทมีแนวคิดที่จะพัฒนาและแก้ไขระบบตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อ ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบันเป็นการใช้พนักงานใช้เครื่องวัดเดินตรวจวัดทุกจุดที่มีการตั้งไว้ในทุกๆ ระยะ 500 เมตรตลอดความยาวของท่อ ซึ่งท่อของทางบริษัทมีระยะทางที่ค่อนข้างยาว ดังนั้นทางบริษัทจึงมีแนวคิดในการนำระบบการตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อด้วยวิธี Cathodic Protection ซึ่งเป็นการติดตั้งระบบการตรวจวัดไว้ในจุดต่างๆของแนวท่อ แต่ในระบบจะมีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบการสื่อสารไร้สายเพื่อให้เห็นผลการตรวจวัดไปยังจอคอมพิวเตอร์ที่ห้อง Control Room ซึ่งในกรณีนี้ใช้อุปกรณ์ Starter-kit GRAVITECH Board ผ่านระบบการสื่อสารไร้สาย LoRa – IoT by CAT Telecom ในการสื่อสารข้อมูล จากการดำเนินงานโครงการนี้ ระบบตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อ มีผลการดำเนินงานดังนี้

4.2 ผลการทดสอบการแสดงผลข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย LoRa - IOT



The screenshot displays the CAT LoRa-IoT system interface. On the left, there is a navigation menu with icons and labels for ROUTING PROFILE, DEVICE MANAGEMENT, CONNECTIVITY, LOGGER, DOWNLINK, and USERS. The main area shows a table of data logs. The table has columns for Timestamp, Device Address, DevEUI, Payload, FPort, FCnt (with an up arrow icon), FCnt (with a down arrow icon), and RSSI. The data rows show a sequence of timestamps from 18/12/2019 16:02:25 down to 18/12/2019 15:50:20, with corresponding device addresses, DevEUIs, payloads, and other metrics.

Timestamp	Device Address	DevEUI	Payload	FPort	FCnt	FCnt	RSSI
↑ 18/12/2019 16:02:25	76217280	FF1721AC76217280	abcdef	15	24	7	
↑ 18/12/2019 16:01:27	76217280	FF1721AC76217280	abcdef	15	23	7	
↑ 18/12/2019 16:00:23	76217280	FF1721AC76217280	abcdef	15	22	7	
↑ 18/12/2019 15:59:22	76217280	FF1721AC76217280	abcdef	15	21	7	
↑ 18/12/2019 15:58:22	76217280	FF1721AC76217280	abcdef	15	20	6	
↑ 18/12/2019 15:57:24	76217280	FF1721AC76217280	abcdef	15	19	5	
↑ 18/12/2019 15:56:20	76217280	FF1721AC76217280	abcdef	15	18	4	
↑ 18/12/2019 15:54:20	76217280	FF1721AC76217280	abcdef	15	16	3	
↑ 18/12/2019 15:53:20	76217280	FF1721AC76217280	abcdef	15	15	3	
↑ 18/12/2019 15:51:20	76217280	FF1721AC76217280	abcdef	15	13	3	
↑ 18/12/2019 15:50:20	76217280	FF1721AC76217280	abcdef	15	12	3	

รูปที่ 31 หน้าจอแสดงผลการทดสอบบนระบบอินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 31 หน้าจอแสดงผลการทดสอบบนระบบอินเทอร์เน็ต คือ เป็นหน้าจอแสดงผลบนหน้าเว็บไซต์ ซึ่งในหน้าจอแสดงผลค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ตรวจวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าจะอยู่ที่หน้าเว็บเพจ LOGGER ซึ่งมีการแสดงผลของ วันเดือนปี เวลา รหัส Address รหัส EUI รายละเอียดต่างๆ ของอุปกรณ์ และช่องขวาสุดเป็นการแสดงค่าผลลัพธ์ของเซนเซอร์วัดแรงดันตกคร่อมที่ใช้ในการทำงาน ซึ่งคือผลลัพธ์สุดท้ายที่ต้องการ

หลังจากดำเนินโครงการนี้ และทดสอบการใช้งานแสดงให้เห็นว่า ระบบตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อดังกล่าว ช่วยลดระยะเวลาในการดำเนินงานและทำให้ผู้ใช้งานสามารถทำงานได้สะดวกมากยิ่งขึ้น เนื่องจากว่าระบบเดิมผู้ใช้งานทำการเดินตรวจวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นจุดๆ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถดูการแสดงผลของค่าที่ตรวจวัดได้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ห้อง Control Room แบบเรียลไทม์ได้ตลอดเวลา



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในส่วนของการออกแบบและจัดทำอุปกรณ์สำหรับระบบตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อ สามารถทำการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง เข้าใจหลักการทำงานของเซนเซอร์ บอร์ด Starter-kit GRAVITECH และระบบการสื่อสารไร้สาย LoRa by CAT Telecom ทำให้สามารถเลือกใช้งานและติดตั้งได้อย่างเหมาะสม โดยระบบการสื่อสารไร้สายดังกล่าว ทำให้สามารถแสดงผลของค่าที่ต้องการวัดได้ตลอดเวลา ซึ่งทำให้บรรลุตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือ จากที่เคยทำการวัดเพียงปีละ 2 ครั้ง โดยพนักงานจะถือมิเตอร์เดินตรวจวัดในระยะทุกๆ 500 เมตร ตลอดแนวความยาวของท่อ แต่ระบบตรวจวัดการป้องกันสนิมในท่อสามารถช่วยให้ลดแรงงานในการเดินตรวจวัดของพนักงานประหยัดเวลาในการทำงาน และทำให้สามารถทำการตรวจสอบการทำงานได้บ่อยโดยไม่มีข้อจำกัด

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไข

5.2.1 ปัญหาที่พบ

- 1) เนื่องจากไม่เคยศึกษา หรือมีความรู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการนี้มาก่อน ทำให้ต้องใช้เวลาในการ ศึกษาหาข้อมูลเป็นระยะเวลาหนึ่ง เพื่อให้เข้าใจในเนื้อหา
- 2) ข้อมูลบางอย่าง เป็นข้อมูลที่เฉพาะเจาะจงสำหรับโครงการนี้เท่านั้น ไม่สามารถหารายละเอียดจากที่อื่นได้
- 3) ไม่มีความรู้และประสบการณ์ในการออกแบบและเชื่อมต่ออุปกรณ์ไร้สาย LoRa ทำให้มีปัญหาในการตัดสินใจเลือกใช้งานอุปกรณ์

5.2.2 แนวทางการแก้ไข

- 1) ศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และหลักการทำงานของอุปกรณ์ให้มากขึ้น
- 2) ศึกษาวิธีการใช้งานโปรแกรมจากอินเทอร์เน็ต สอบถามเทคนิคในการใช้งานเพิ่มเติมและความรู้ต่าง ๆ จากพี่ ๆ ในบริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากเป็นงานที่เกี่ยวข้องกับท่อที่อยู่ใต้ดินจึงต้องใช้การเชื่อมต่อแบบไร้สายในการรับค่า ดังนั้นควรศึกษาหาข้อมูลของหลักการทำงานรวมถึงศึกษาการออกแบบ และเชื่อมต่ออุปกรณ์ไร้สายให้เกิดความเข้าใจอย่างชัดเจน เพื่อการตัดสินใจเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานตามความเหมาะสม



บรรณานุกรม

[1]. Corrosion. Available from

[https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/General_Chemistry_Textbook_Maps/Map%3A_General_Chemistry_\(Petrucci_et_al.\)/20%3A_Electrochemistry/20.6%3A_Corrosion%3A_Unwanted_Voltaic_Cells](https://chem.libretexts.org/Textbook_Maps/General_Chemistry_Textbook_Maps/Map%3A_General_Chemistry_(Petrucci_et_al.)/20%3A_Electrochemistry/20.6%3A_Corrosion%3A_Unwanted_Voltaic_Cells)

[2] Lionel Louis Shreir, Shreir's Corrosion: Management and control of corrosion. Volume 4, Elsevier, 2010

[3] Sacrificial anodes. Available from

<http://wordpress.mrreid.org/2013/06/03/sacrificial-anodes>

[4] Anodes & Antifoul. Available from:

<http://www.theboatworks.com.au/anodes-antifoul/>

[5] Corrosion protection. Available from:

<http://www.wantarengineering.com/servicecorrosionprotection.html>

[6] Cathodic Protection Materials/Equipment Manufacturing and

Supply. Available from: <http://lerwick.com.sg/cathodicprotection-material.html>

[7] Esen Metal-Zinc Anodes. Available from :

http://www.esenmetal.net/en/zinc_anodes.html

[8] Esen Metal-Aluminium Anodes. Available from :

http://www.esenmetal.net/en/aluminium_anodes.html

[9] Gerhard Hirt, Reiner Kopp, editors, Thixoforming: Semi-solid Metal Processing.

Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009

- [10] C. I. T., Tetsuichi Motegi, and F. Tanabe. New Semi-Solid Casting of Copper Alloys Using an Inclined Cooling Plate. In 8th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloy and Composites. 2004. Limassol, Cyprus.
- [11] Recommended Practice, Cathodic protection design, DNVGLRP-B401, Edition June 2017.
- [12] B. Linde, Galvanic Anode Specifications –A Manufacturer’S Perspective. Available from :
<http://www.cathodicanodes.com.au/pdf/Galvanic%20Anode%20Specifications%20-20A%20Manufacturers%20 Perspective%2013SEP10.pdf>
- [13] Underwater Anodes Replacement. Available from:
<http://sigurdshipping.com/services/underwater-servicesvessels/underwater-anodes-replacement/>
- [14] Testing corrosion protection system. Available from:
http://assets.fluke.com/appnotes/electricalpower/B0269b_u.pdf
- [15] <https://i4biz.nrct.go.th/download/ebook/30022.pdf>
- [16] <https://il.mahidol.ac.th/e-media/electrochemistry/web/electrochem04.htm>
- [17] https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/262_MT10_16.pdf
- [18] <https://www.trueplookpanya.com/knowledge/content/67727/-blo-sciche-sci->
- [19] <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7182-2017-06-05-14-44-28>
- [20] http://www.ubu.ac.th/web/files_up/08f2017111114445194.pdf
- [21] <http://www.thaimp.co.th/article.html>

ประวัติผู้เขียน

- ชื่อ – นามสกุล : นางสาวศวตี มั่นคง
- วัน เดือน ปีเกิด : 17 ธันวาคม พ.ศ.2540
- ภูมิลำเนา : 88/61 หมู่บ้านอยู่เจริญโครงการ 4 หมู่ 5 ตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี 12150
- อีเมลล์ : yossawadee1740@gmail.com
- โทรศัพท์ : 086-895-8613
- ประวัติการศึกษา : ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น
โรงเรียนฤทธิยะวรรณาลัย
: ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนฤทธิยะวรรณาลัย
: ระดับปริญญาตรี
ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ประวัติการทำงาน : มิถุนายน – กรกฎาคม พ.ศ.2562
นักศึกษาฝึกงาน แผนกวิศวกรรมไฟฟ้า ฝ่ายเทคนิค
บริษัท บริการเช่าเพลิงการบินกรุงเทพจำกัด (มหาชน)
: สิงหาคม – พฤศจิกายน พ.ศ.2562
นักศึกษาสหกิจศึกษา แผนกวิศวกรรมไฟฟ้า ฝ่ายเทคนิค
บริษัท บริการเช่าเพลิงการบินกรุงเทพจำกัด (มหาชน)