



นักศึกษา ☒ ปกติ ☐ สมทบ

รายงานความก้าวหน้าโครงการวิศวกรรมไฟฟ้า

หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ชื่อโครงการ

(ภาษาไทย) การป้องกันด้วยแคโทด

(ภาษาอังกฤษ) Cathodic Protection

ผู้จัดทำ

นายคันธนะ ลิวสกุลวงศ์ รหัสนักศึกษา 16440413001-0 โทร. 0979950941

นายธนวัฒน์ ศรีนอง รหัสนักศึกษา 16440413001-5 โทร. 0836592514

ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ได้ตรวจโครงการแล้ว เห็นควร ☐ อนุมัติให้สอบได้ ☐ ปรับปรุงเนื้อหาหรือรูปแบบใหม่ ลงชื่อ (.....)	ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ได้ตรวจโครงการแล้ว เห็นควร ☒ อนุมัติให้สอบได้ ☐ ปรับปรุงเนื้อหาหรือรูปแบบใหม่ ลงชื่อ (.....)
---	--

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาความสำคัญและของหัวข้อโครงการปริญญานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของโครงการ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขอบเขตของโครงการ ขั้นตอนและวิธีดำเนินการของโครงการ รวมถึงแผนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อโครงการ

ในปัจจุบัน โลหะถูกนำมาใช้เป็นโครงสร้างหลักในหลายๆ สิ่งในงานระบบไฟฟ้า เช่น ตัวเครื่องจักรกลไฟฟ้า, หม้อแปลงไฟฟ้า, ตู้ MDB, และตัวถังคอมเพรสเซอร์แอร์ อย่างไรก็ตาม พบว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้า, ตู้ MDB, และตัวถังคอมเพรสเซอร์แอร์มักประสบปัญหาการกัดกร่อนจากสนิมที่ได้รับไอทะเล ซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายและทำให้ระยะเวลาการใช้งานลดลง นอกจากนี้ยังทำให้ระบบไฟฟ้าได้รับความเสียหายและเพิ่มค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงบ่อยขึ้น โดยเฉพาะหม้อแปลงไฟฟ้าและตัวถังคอมเพรสเซอร์แอร์มักถูกกัดกร่อนจากไอทะเลมากที่สุด

ไอเกลือที่เกิดจากน้ำทะเลจะเร่งปฏิกิริยาการเกิดสนิมโดยการเพิ่มการนำไฟฟ้าบนพื้นผิวโลหะและทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเร็วขึ้นได้ ดังนี้ การเพิ่มการนำไฟฟ้า: เมื่อไอเกลือที่มีโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกาะบนพื้นผิวโลหะ เกลือจะละลายในความชื้นของอากาศกลายเป็นไอออนของโซเดียม (Na^+) และคลอไรด์ (Cl^-) ซึ่งช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้าระหว่างโลหะกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นได้ง่ายและเร็วขึ้นการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน: คลอไรด์ไอออน (Cl^-) จะช่วยเร่งกระบวนการออกซิเดชัน โดยทำให้เหล็กสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้เหล็กทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นเหล็กออกไซด์ (สนิม) ได้เร็วขึ้น [1]



ภาพที่ 1 เครื่องคอยล์ร้อนแอร์ที่อาคาร 58 อาคารศูนย์วิทยะบริการ มทร.สงขลา

คณะผู้จัดทำจึงตระหนักถึงความสำคัญของการหาวิธีชะลอการกัดกร่อนจากไอเกลือทะเล เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้ให้ยาวนานขึ้น

คณะผู้จัดทำจึงเลือกใช้ระบบ Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) ซึ่งจะได้รับพลังงานจากระบบโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ เพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกให้กับระบบ เนื่องจาก ปัจจุบันระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในท้องตลาดมีราคาถูกลง

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 2.1 เพื่อป้องกันการเกิดสนิมอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีโลหะเป็นโครงสร้างภายนอก
- 2.2 เพื่อยืดอายุของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีโลหะที่มีการชุบหรือทาสีกันสนิมให้มีอายุยาวนานขึ้น
- 2.3 ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนโครงสร้างที่เป็นโลหะที่มีการเกิดสนิม

3. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 3.1 ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนโครงสร้างโลหะที่มีการเกิดสนิม
- 3.2 อุปกรณ์ทางไฟฟ้าหรือโครงสร้าง จะไม่เกิดการเป็นสนิมขึ้น
- 3.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อป้องกันการเกิดสนิมอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีโลหะเป็นโครงสร้างภายนอก
- 1.2.2 เพื่อยืดอายุของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีโลหะที่มีการชุบหรือทาสีกันสนิมให้มีอายุยาวนานขึ้น
- 1.2.3 ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนโครงสร้างที่เป็นโลหะที่มีการเกิดสนิม

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 ออกแบบและสร้างชุดทดลองป้องกันการสนิม โดยใช้โลหะแท่งเป็นตัวอย่างการทดลอง
- 1.3.2 ทดสอบการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะจากการเกิดสนิม ไม่น้อยกว่า 7 รูปแบบ
- 1.3.3 ชุดทดลองใช้แหล่งพลังงานจากโซล่าเซลล์ โดยใช้แรงดัน อยู่ในช่วง 5-12 V และกระแส อยู่ในช่วง 10–30 mA
- 1.3.4 มีระบบบันทึกการปิดโหนดเมื่อไม่ใช้งานในพื้นที่ควบคุมได้
- 1.3.4 เก็บตัวอย่างข้อมูลผลการเปลี่ยนแปลงทุกวันไม่น้อยกว่า 2 เดือน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนโครงสร้างโลหะที่มีการเกิดสนิม
- 1.4.2 อุปกรณ์ทางไฟฟ้าหรือโครงสร้าง จะไม่เกิดการเป็นสนิมขึ้น
- 1.4.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการโครงการ

- 1.5.1 ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงการ
- 1.5.2 เข้าปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ
- 1.5.3 ศึกษาข้อมูลอุปกรณ์ที่นำมาทำโครงการ
- 1.5.4 ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันการสนิมด้วยไฟฟ้า
- 1.5.5 สอบหัวข้อโครงการ
- 1.5.6 จัดซื้ออุปกรณ์ และเริ่มทำชุดจ่ายกระแสและแรงดัน

	สิทธิบัตร										
9	เขียนสรุปโครงงาน										

บทที่ 2

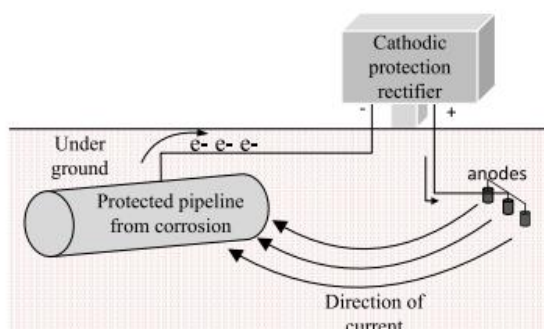
ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและหลักการทำงานในโครงการปริญญาโท ดังต่อไปนี้

2.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Offshore Structural Corner (กุมภาพันธ์ 23, 2556) ได้นำเสนอระบบ ICCP เป็นระบบกันสนิมที่กำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นเรื่อยๆ สำหรับแท่นกลางทะเลที่รักษาสีสิ่งแวดล้อม โดยระบบนี้ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งกำเนิดปล่อยอิเล็กตรอนแทนเพื่อชดเชยส่วนที่เหล็กสูญเสียไปหรือก็คือปล่อยกระแสไฟฟ้ามาเป็นเกาะป้องกัน (Shielding Dome) ไม่ให้โครงสร้างเหล็กถูกกัดกร่อน คือทำให้เหล็กมีสภาพเป็น Cathode รับอิเล็กตรอนแทน โดยติดตั้ง Reference Electrode ไว้วัดความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้า จากนั้นใช้ Rectifier ส่งกระแสไฟลงมาทดแทน โดยเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับจากแหล่งกำเนิดเป็นกระแสตรงแล้วปล่อยลงมาตามสายไฟและหัวจ่ายที่เห็นในรูป ซึ่งจะติดตั้งตามโครงสร้างที่ต้องการจะปกป้องจากการกัดกร่อน ระบบนี้มีประสิทธิภาพมากสำหรับพื้นที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูง และพื้นที่ที่ต้องการปกป้องกว้างมาก แต่ข้อเสียคือบำรุงรักษายากและราคาแพง แต่ปัจจุบันได้รับความนิยมมากกับอุตสาหกรรม Offshore Wind Energy เนื่องจากเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่า

2.1.2 Shokoufeh ValadKhani และคณะ (พฤศจิกายน, 2564) ได้นำเสนอ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับเอาต์พุตแบบแปรผันสำหรับการใช้งานป้องกันแคโทดิกด้วย DC-DC ความถี่แปรผันและรอบหน้าที่ตัวแปลงฟูลบริดจ์ [3] เป็นการป้องกันการเกิดสนิมโดยใช้แคโทด (Cathodic Protection, CP) เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนของโครงสร้างโลหะสำคัญ เช่น ท่อใต้ดิน สะพาน และโครงสร้างใต้น้ำ การตรวจสอบ CP อย่างถาวรจำเป็นสำหรับโครงสร้างสำคัญ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ ท่อขนส่งน้ำมันและก๊าซเป็นตัวอย่างที่ชัดเจนของภัยคุกคามนี้ ท่อที่ฝังอยู่สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ด้วยการเคลือบฉนวนและ CP โดยการฉีดกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (dc) หรือแรงดันไฟฟ้าเข้าไปในท่อ การทำ CP จะเกิดขึ้นโดยการบังคับให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านอิเล็กโทรไลต์ ผลการทดลองของ Shokoufeh Valadkhani และทีมในปี 2021 พบว่า เครื่องแปลงไฟฟ้าต้นแบบที่พัฒนาขึ้นสามารถรักษาประสิทธิภาพสูงได้ในช่วงกำลังไฟที่หลากหลาย โดยตัวแปลงสามารถปรับความถี่และรอบการทำงานของพัลส์ได้ตามความต้องการของระบบ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิกได้จริง



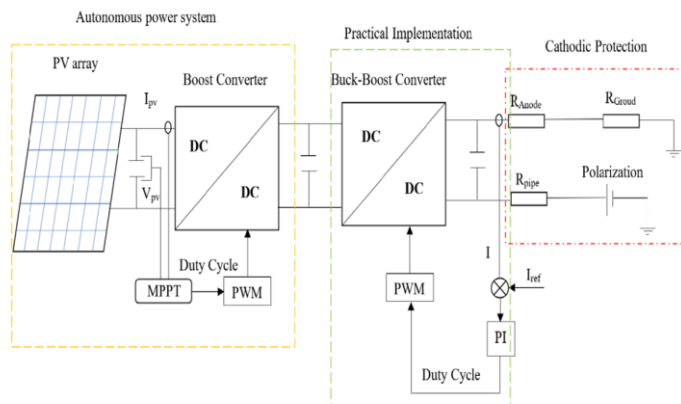
ภาพที่ 2 หลักการทำงาน

2.1.3 Hao Liu, และคณะ (2563) ได้เสนอการออกแบบป้องกันสนิมแบบชั้นเดียวมักนำไปสู่การเกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรงในบางส่วนของเสาส่งสัญญาณไฟฟ้า จากลักษณะการกระจายตัวของปัจจัยที่ทำให้เกิดสนิม โดยบทความนี้ได้นำเสนอแนวคิดการออกแบบป้องกันสนิมแบบแบ่งระดับสำหรับเสาส่งไฟฟ้า และให้ข้อเสนอแนะเฉพาะสำหรับการรักษาป้องกันสนิม บทความนี้ใช้เสาส่งไฟฟ้าเป็นตัวอย่างในการออกแบบป้องกันสนิมแบบแบ่งระดับ และดำเนินมาตรการการรักษาใน

ลักษณะเดียวกัน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแผนการออกแบบนี้สามารถรับประกันอายุการป้องกันสนิมของเสาทั้งหมดได้เท่าที่จะเป็นไปได้

2.1.4 Xiaoping Guo และคณะ (2564) ได้นำเสนอ สมรรถนะการกัดกร่อนและกลไกการแปลง สนิมของการเคลือบทนต่อพื้นผิวอีพ็อกซีที่ดัดแปลงด้วยกราฟีน โดยเคลือบอีพ็อกซีที่ปรับปรุงด้วย กราฟีน (Graphene Modified Epoxy Surface Tolerant Coating) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดการกัดกร่อนบน พื้นผิวเหล็กที่มีสนิมอยู่ก่อนแล้ว โดยมีการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการแปลงสนิมและการ ป้องกันการกัดกร่อนของสารเคลือบชนิดนี้บนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีสนิมอยู่เดิม โดยผลการ ทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการเคลือบพื้นผิวอีพ็อกซีที่ปรับปรุงด้วยกราฟีน (Graphene Modified Epoxy Surface Tolerant Coating) มีประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนบนเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีสนิม โดยทำให้สนิมส่วนใหญ่ละลายและเปลี่ยนสภาพด้วยปฏิกิริยากับกรดฟอสฟอริก ซึ่งช่วยให้เกิดการเคลือบ ผิวที่แน่นและมีความทนทานมากขึ้น

2.1.5 AREZKI FEKIK และคณะ (2567) ได้นำเสนอ Hardware Implementation of a Solar-Powered Buck-Boost Converter for Enhanced Cathodic Protection Using Texas Instruments C2000 Board โดยบทความนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการนำเสนอการนำฮาร์ดแวร์ของตัวแปลงบัค-บูสต์ที่ ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบ Cathodic Protection โดยเน้นถึงข้อดีของ การรวมบอร์ด Texas Instruments C2000 และมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ที่เป็น แหล่งพลังงานหมุนเวียน ซึ่งช่วยเพิ่มระยะเวลาการเกิดสนิมของโครงสร้างโลหะและลดผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อม โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้งานฮาร์ดแวร์มีประสิทธิภาพในการควบคุม กระแส ขาออกของตัวแปลง Buck-Boost เพื่อการปกป้องแคโทดที่น่าเชื่อถือ



ภาพที่ 3 วงจรการทำงาน

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและหลักการทำงาน

2.2.1 การคำนวณขนาดของกระแสไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดสนิม

การคำนวณกระแสไฟฟ้าเพื่อป้องกันการเกิดสนิมในระบบ Cathodic Protection เป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบเพื่อให้แน่ใจว่าโครงสร้างโลหะที่ต้องการป้องกันได้รับกระแสไฟฟ้าเพียงพอในการป้องกันการกัดกร่อน โดยทั่วไปมีขั้นตอนการคำนวณและปัจจัยที่ต้องพิจารณาดังนี้:

1. การหากระแสป้องกัน (Protective Current)

กระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของโครงสร้างโลหะ สามารถคำนวณได้จากสมการพื้นฐาน ดังนี้:

$$I = A \times J$$

- I คือ กระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้เพื่อป้องกันการกัดกร่อน (หน่วยเป็นแอมแปร์, A)
- A คือ พื้นที่ผิวของโลหะที่สัมผัสกับสารกัดกร่อน (หน่วยเป็นตารางเมตร, m²)
- J คือ ความหนาแน่นของกระแสป้องกัน (Current Density) ที่จำเป็น (หน่วยเป็นแอมแปร์ต่อตารางเมตร, A/m²)

2. การกำหนดค่าความหนาแน่นของกระแสป้องกัน (J)

ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าป้องกันที่จำเป็นในการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและสภาพแวดล้อมที่โลหะสัมผัส เช่น น้ำทะเล น้ำจืด หรือดิน โดยมีตัวอย่างค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในสถานการณ์ต่าง ๆ ดังนี้:

สภาพแวดล้อม	ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า (mA/m ²)
โครงสร้างในอากาศแห้ง (Dry Atmosphere)	0.1 - 1.0
ดินแห้ง (Dry Soil)	1 - 10
ดินชื้น (Moist Soil)	10 - 20
ดินเปียกหรือน้ำใต้ดิน (Wet Soil or Groundwater)	20 - 50
คอนกรีต (Concrete Structures)	0.2 - 10
น้ำจืด (Fresh Water)	10 - 50
น้ำกร่อย (Brackish Water)	50 - 150
น้ำทะเล (Seawater)	100 - 500
บริเวณคลื่นซัดสาด (Splash Zone - Marine)	500 - 1,000

รูปที่ 4- ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในสถานการณ์ต่าง

3. การคำนวณพื้นที่ผิวของโลหะ (A)

ในการคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ต้องการต่อตารางพื้นที่ผิว ของโลหะที่ต้องการป้องกัน (A) โดยคิดเฉพาะพื้นที่ที่สัมผัสกับสารกัดกร่อน เช่น น้ำหรือดิน

4. ตัวอย่างการคำนวณ

สมมติว่าเรามีโครงสร้างเป็นเหล็กที่ใช้ในการทดลอง โดยมีข้อมูลดังนี้:

-ขนาดพื้นที่ผิวเหล็ก = 30 ตร.ซม (ดังนั้น = 0.003 เมตร)

-ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าป้องกันสำหรับเหล็กในดิน = 0.02 A/m² (J)

ขั้นตอนการคำนวณ:

1.คำนวณพื้นที่ผิวของท่อ (A):

$$A = 30 \text{ cm}^2 = \frac{30}{10,000} = 0.003 \text{ m}^2$$

2.คำนวณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ (I):

$$I = A \times J = 0.003 \text{ m}^2 \times 0.02 \text{ A/m}^2 = 0.0006 \text{ A}$$

ดังนั้น กระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้เพื่อป้องกันการเกิดสนิมบนท่อเหล็กนี้คือ 0.6 mA

3.คำนวณหาขนาดแอโนด

ข้อมูลของอลูมิเนียมแอโนด:

ความสามารถในการจ่ายกระแส (C) = 2000 Ah/kg

ประสิทธิภาพ (η) = 0.90

หาต้องการป้องกันการกัดกร่อนระยะเวลา 1 ปี

$$t = 365 \times 24 = 8,760 \text{ ชม}$$

$$U = \frac{I \times t}{C \times \eta} = \frac{0.6 \text{ mA} \times 8,760}{2,000 \times 0.9} = 0.0029 \text{ Kg} \approx 2.9 \text{ g}$$

สรุป ต้องใช้อลูมิเนียม 2.9 กรัม ต่อเหล็กขนาด 30 ตร.ชม ให้เพิ่มเวลาการกัดกร่อนเป็น 1 ปี

2.2.2 การหาขนาดแบตเตอรี่และแผงโซลาร์เซลล์

การหาขนาดแบตเตอรี่และแผงโซลาร์เซลล์สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ต้องอิงกับปริมาณพลังงานที่ต้องการใช้งานในแต่ละวัน และจำนวนชั่วโมงแสงแดดที่เพียงพอในพื้นที่ที่ติดตั้งโซลาร์เซลล์ วิธีคำนวณคร่าว ๆ มีดังนี้:

1. การหาขนาดแบตเตอรี่

แบตเตอรี่จะต้องเก็บพลังงานเพียงพอสำหรับการใช้งานในช่วงที่ไม่มีแสงแดด เช่น ตอนกลางคืนหรือในวันที่มีเมฆมาก

ขั้นตอนการคำนวณขนาดแบตเตอรี่:

คำนวณการใช้พลังงานต่อวัน (Watt-hour หรือ Wh)

การใช้พลังงานต่อวัน (Wh) = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (W) x จำนวนชั่วโมง (hr)

คำนวณความจุแบตเตอรี่ที่ต้องการ (Ah) = $\frac{\text{พลังงานที่ใช้ต่อวัน (wh)}}{\text{แรงดันของระบบ (V)}} \times \frac{1}{\text{ความลึกในการคายประจุ (DoD)}}$

DoD คือค่าที่บอกว่าแบตเตอรี่จะถูกคายประจุได้มากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปใช้ DoD ประมาณ 0.8 หรือ 80%

2. การหาขนาดแผงโซลาร์เซลล์

แผงโซลาร์เซลล์ต้องผลิตพลังงานเพียงพอที่จะชดเชยการใช้พลังงานทั้งหมดในแต่ละวัน

ขั้นตอนการคำนวณขนาดแผงโซลาร์เซลล์:

1. คำนวณการใช้พลังงานต่อวัน (Wh) เหมือนกับขั้นตอนหาขนาดแบตเตอรี่
2. หาจำนวนชั่วโมงที่แสงแดดมีความเข้มพอที่จะผลิตไฟฟ้าได้ (ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยต่อวันในพื้นที่)
3. คำนวณกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ที่ต้องการ (W)

ขนาดแผงโซลาร์เซลล์ (W) = $\frac{\text{พลังงานที่ใช้ต่อวัน (wh)}}{\text{จำนวนชั่วโมงแสงแดด (hr) x ประสิทธิภาพของระบบ}}$

โดยทั่วไปใช้ประสิทธิภาพระบบประมาณ 0.75 ถึง 0.85 เพื่อพิจารณาการสูญเสียต่าง ๆ เช่น การสูญเสียในสายไฟ และอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ

ตัวอย่างการคำนวณ:

สมมติว่าคุณมีอุปกรณ์ใช้พลังงานรวม 1,200 Wh ต่อวัน และแสงแดดเพียงพอในพื้นที่เฉลี่ย 5 ชั่วโมงต่อวัน

ขนาดแบตเตอรี่:

-แรงดันระบบ 12V

-DoD 80%

ขนาดแบตเตอรี่ (Ah) = $\frac{1200}{12} \times \frac{1}{0.8} = 125$ Ah ขนาดแผงโซลาร์เซลล์:

-ประสิทธิภาพระบบ 0.8

ขนาดแผงโซลาร์เซลล์ (W) = $\frac{1200}{5 \times 0.8} = 300$ W

ดังนั้น คุณจะต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีความจุประมาณ 125 Ah และแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 300 W [8]

2.2.3 ทฤษฎีการเกิดสนิมของเหล็ก

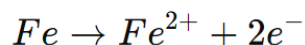
1. ความหมายของสนิม

สนิม (Rust) เป็นผลผลิตจากกระบวนการกัดกร่อนของโลหะโดยเฉพาะเหล็ก ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเมื่อเหล็กสัมผัสกับออกซิเจนและน้ำในสภาพแวดล้อม

2. กลไกการเกิดสนิมของเหล็ก

กระบวนการเกิดสนิมของเหล็กเป็นปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Reaction) ที่เกี่ยวข้องกับขั้วแอโนดและแคโทด

2.1 ปฏิกิริยาที่แอโนด (Anodic Reaction) – การออกซิเดชันของเหล็ก

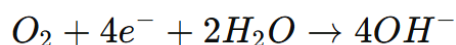


- อะตอมของเหล็ก (Fe) สูญเสียอิเล็กตรอนและกลายเป็นไอออนเหล็ก (Fe^{2+})

- กระบวนการนี้ทำให้เหล็กค่อยๆ สึกกร่อนออกไป

2.2 ปฏิกิริยาที่แคโทด (Cathodic Reaction) – การรีดักชันของออกซิเจน

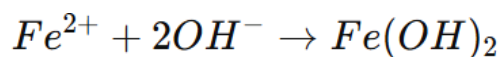
- ถ้ามีน้ำและออกซิเจนในสภาพแวดล้อม ปฏิกิริยาที่แคโทดจะเกิดขึ้น ดังนี้



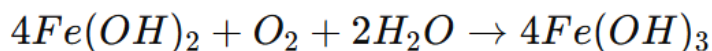
- ออกซิเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนและน้ำ ได้เป็นไอออนไฮดรอกไซด์ (OH^-)

2.3 การก่อตัวของสนิม (Rust Formation)

- ไอออน Fe^{2+} ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาแอโนดจะทำปฏิกิริยากับ OH^- ที่เกิดจากปฏิกิริยาแคโทด



- เมื่อสัมผัสกับออกซิเจน $Fe(OH)_2$ จะถูกออกซิไดซ์เป็น เฟอริกไฮดรอกไซด์



เมื่อแห้งจะกลายเป็น เฟอริกออกไซด์ ($Fe_2O_3 \cdot xH_2O$) ซึ่งเป็นสนิมที่เราพบเห็น

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดสนิม

3.1 ความชื้นและน้ำ: เพิ่มอัตราการเกิดสนิม เพราะช่วยนำไฟฟ้าและทำให้ไอออนเคลื่อนที่

3.2 ออกซิเจน: จำเป็นสำหรับปฏิกิริยารีดักชันที่แคโทด

3.3 เกลือและไอออนในน้ำ: เช่น NaCl ในบรรยากาศทะเล จะเพิ่มการนำไฟฟ้า ทำให้สนิมเกิดเร็วขึ้น

3.4 pH ของสภาพแวดล้อม: กรด (pH ต่ำ) เร่งการกัดกร่อน

3.5 ความต่างศักย์ของโลหะ: โลหะต่างชนิดกันอาจทำให้เกิด เซลล์กัลวานิก ซึ่งเร่งการกัดกร่อน

4. วิธีป้องกันการเกิดสนิม

4.1 การเคลือบผิว (Coating): เช่น สี เคลือบพลาสติก กัลวาไนซ์ (สังกะสี)

4.2 การป้องกันด้วยไฟฟ้า (Cathodic Protection): ใช้โลหะที่มีศักย์ต่ำกว่า เช่น สังกะสี หรือแมกนีเซียม มาเสียสละตัวเองแทนเหล็ก

4.3 การควบคุมสภาพแวดล้อม: ลดความชื้น หลีกเลี่ยงสภาพแวดล้อมที่มีไอออนเกลือ

2.2.4 รูปแบบการกัดกร่อน

1. การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Corrosion)

การกัดกร่อนแบบกัลวานิกเป็นรูปแบบหนึ่งของการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเมื่อมีวัสดุที่ต่างกัน 2 ชนิด (เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมและแมกนีเซียม) มาเชื่อมทางไฟฟ้าต่อกัน หรือสัมผัสกันทางกายภาพ หรือสัมผัสกับสารละลายที่นำไฟฟ้า เช่น อิเล็กโทรไลต์

2.การกัดกร่อนในที่อับ (Crevice Corrosion)

การกัดกร่อนในที่อับคือการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่อับบนผิวโลหะที่สัมผัสโดยตรงกับสารกัดกร่อน การกัดกร่อนประเภทนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณของสารละลายที่ค้างอยู่ตามพื้นที่ที่เป็นหลุม หรือพื้นที่ที่เป็นซอก บริเวณแคบๆที่มีสารละลายเข้าไปขังอยู่ได้เป็นเวลานานโดยไม่มีการถ่ายเท ทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจน ในน้ำหรือสารละลายภายในซอกไม่เท่ากับภายนอก ทำให้เกิดการครบเซลล์การกัดกร่อนชนิดเซลล์ความเข้มข้น โดยบริเวณในซอกจะเกิดเป็นขั้วแอโนดคือการสูญเสียเนื้อโลหะ

3.การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion)

การกัดกร่อนแบบสนิมขุมหรือการกัดกร่อนแบบรูเข็ม เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาก โดยเฉพาะกับโลหะที่ได้พัฒนาให้มีฟิล์ม ป้องกันการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้าได้แล้ว แต่เมื่อฟิล์มบางแตกแยกออกเฉพาะบางที่ ก็จะเกิดการกัดกร่อนเฉพาะ ที่กัดกร่อนลึกลงไปเรื่อยๆ ทำให้สังเกตเห็นได้ยากเนื่องจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนได้ปกคลุมเอาไว้ การกัดกร่อน แบบนี้ทำให้ทำนายได้ยาก โดยทั่วไปสนิมขุมมักจะเกิดทิศทางเดียวกันกับแรงโน้มถ่วงของโลก การเกิดการกัดกร่อน ในแนวอื่นก็เกิดได้แต่น้อย

4.การสูญเสียส่วนผสมบางตัว (Selective leaching)

เป็นรูปแบบหนึ่งของการกัดกร่อนซึ่งเกิดโดยการละลายของธาตุบางตัวจากโลหะอัลลอยด์ เป็นผลจากการกระทำซึ่งสิ่งแวดล้อมได้โลหะที่ว่องไวที่สุด ออกจากอัลลอยด์ เหลือไว้แต่โครงสร้างพูนซึ่งเต็มไปด้วยโลหะที่เสถียรที่สุด วัสดุที่เหลือจึงสูญเสียความแข็งแรงทางกายภาพไปมาก การกัดกร่อนแบบนี้มักมีชื่อตามธาตุที่ละลายออกมา เช่น ถ้าสังกะสีละลายออกมาเรียกว่า dezincification

5.การกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular Corrosion)

โดยปกติขอบเกรนมักจะเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าเนื้อเกรนอยู่แล้ว โดยขอบเกรนจะแสดงตัวเป็นขั้วแอโนด(สูญเสียเนื้อโลหะ) ภายในเกรนจะแสดงตัวเป็นขั้วคาโทด หากบริเวณขอบเกรนมีอนุภาคอื่นๆมาตกตะกอนอยู่ หรือมีธาตุหนึ่งมากหรือน้อยเกินไป ขอบเกรนอาจจะถูกกัดกร่อนหรือทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้นอีก เมื่อการกัดกร่อนเกิดขึ้นได้ ระยะเวลาหนึ่ง บริเวณพื้นที่ที่แสดงตัว เป็นแอโนดจะเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงไป การกัดกร่อนก็จะเกิดกระจายอยู่ทั่วไปเป็นแบบ Uniform attack กัดเซาะทั้งก้อน บริเวณที่เป็นแอโนด คาโทด จะเปลี่ยนตลอดเวลา

6.การกัดกร่อน-สึกกร่อน (Erosion Corrosion)

เมื่อมีการเสียดสีและการสึกกร่อนต่อโลหะในสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน ได้ด้วยนั้น จะมีผลรวมของการกระทำต่อโลหะ อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เชิงกล และเชิงเคมีซึ่งส่งผลให้เกิดการการทำลายและการเสื่อมสภาพของโลหะอย่างรวดเร็ว

7.การกัดกร่อน-ความล้า (Fatigue Corrosion)

ความล้าหรือ fatigue เป็นอาการของโลหะที่ถูกแรงกระทำซ้ำๆ กัน หรือซ้ำแล้วซ้ำเล่า แรงที่กระทำเป็นได้ทั้ง tensile และ compressive stress จนที่สุดแล้วโลหะนั้นก็แตกหักเสียหาย (fracture) โดยปกติแล้ว การกัดกร่อนแบบนี้เกิดเมื่อขนาดแรงเค้นต่ำกว่าค่า yield point และเกิดเมื่อถูกกระทำซ้ำแล้วซ้ำเล่าในช่วงเวลาหนึ่ง และในสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อนด้วย ดังนั้นจึงถูกกระทำทั้งทางกล และทางเคมี โดยมีผลไปลดความต้านทานของโลหะจนถึงจุดที่เกิดความเสียหาย

8.การกัดกร่อนร่วมกับความเค้น (Stress Corrosion)

การกัดกร่อนชนิดนี้จะเกิดกับโลหะที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีสารกัดกร่อน และมีความเค้นแรงดึงกระทำกับโลหะ ความเค้นนี้อาจเป็นความเค้นตกค้าง หรือความเค้นภายนอกที่มากระทำ การเสียหายแบบนี้ผิวโลหะอาจไม่ถูกกัดกร่อน หรือไม่เปลี่ยนแปลงเลย แต่ในเนื้อโลหะจะมีรอยร้าวเล็กๆ อยู่มากมาย ตัวอย่างโลหะที่เกิดการกัดกร่อนแบบนี้ เช่น ทองเหลืองจะไม่ทนต่อแอมโมเนีย ในขณะที่เหล็กกล้าไร้สนิมจะไม่ทนต่อไอออนของคลอไรด์ เป็นต้น ลักษณะของการกัดกร่อนที่มีความเค้นเข้ามาเกี่ยวข้อง จะมีลักษณะรอยร้าวเป็นกิ่งก้าน โดยที่รอยร้าวนี้อาจเกิดตามขอบเกรนหรือผ่าเกรนก็ได้

9.การกัดกร่อนแบบได้ชั้นเคลือบ (filiform corrosion)

เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายใต้ชั้นเคลือบ เช่น การทาสีพลาสติกบนผิวเหล็กกล้า หรือ การเคลือบแล็กเกอร์บนผิวแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก จัดเป็นการกัดกร่อนแบบ Crevice ประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นแบบ Under film corrosion พบได้กับโลหะที่มีการทาเคลือบผิวเพื่อป้องกัน การกัดกร่อนทั่วผิวหน้า เช่น เหล็กกล้าคาร์บอน แมกนีเซียม และ อลูมิเนียม

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การออกแบบการทำงานจ่ายแรงดันและกระแสในการป้องกันการเกิดสนิมด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความรู้จากทฤษฎีต่างๆ มาประยุกต์ใช้ โดยจ่ายแรงดันและกระแสที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้มาซึ่ง แรงดันและกระแสที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า

3.1 ออกแบบตู้ควบคุมแรงดันและกระแส



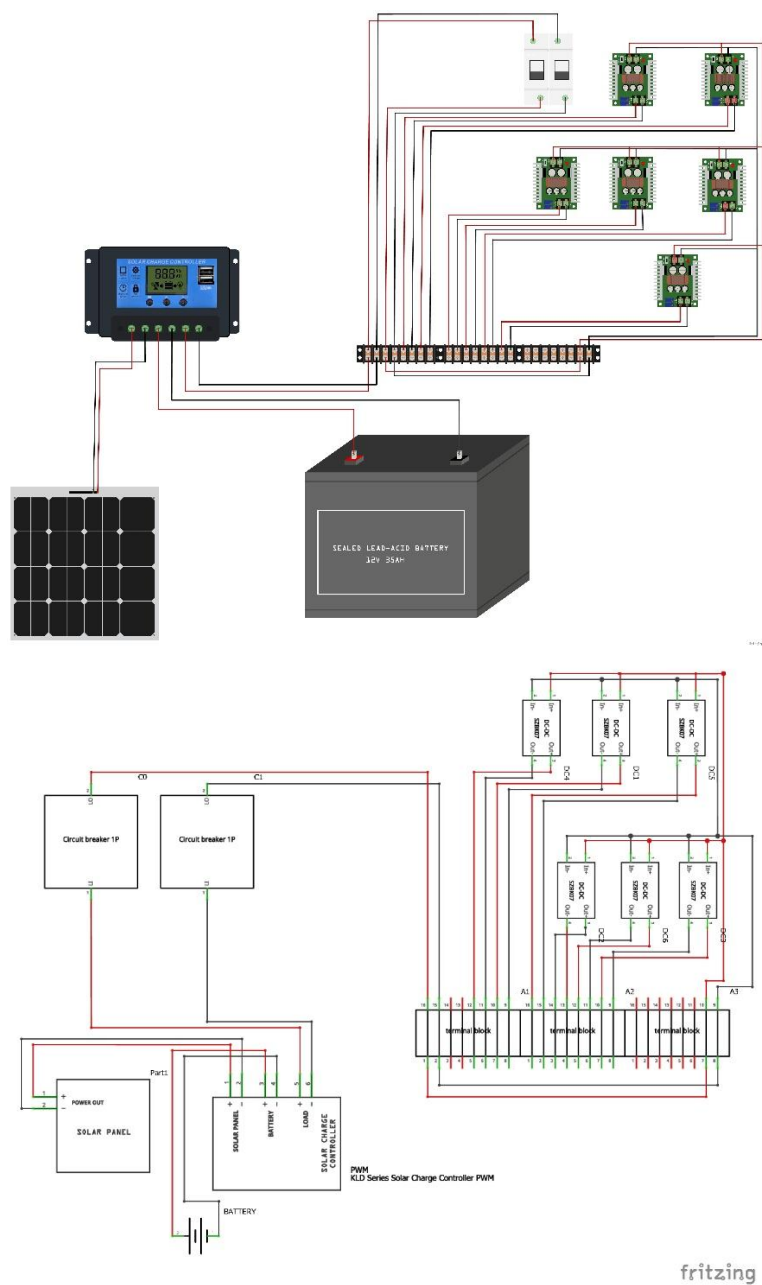
รูปที่ 5-ตู้ควบคุมแรงดันและกระแส

3.2 ปรับระดับแรงดันและกระแส

3.2.1 แรงดัน 9V, 12V, 16V ไม่ควบคุมกระแส

3.2.2 แรงดัน 5V, 9V, 12V ควบคุมกระแส

3.3 การออกแบบการต่อวงจร



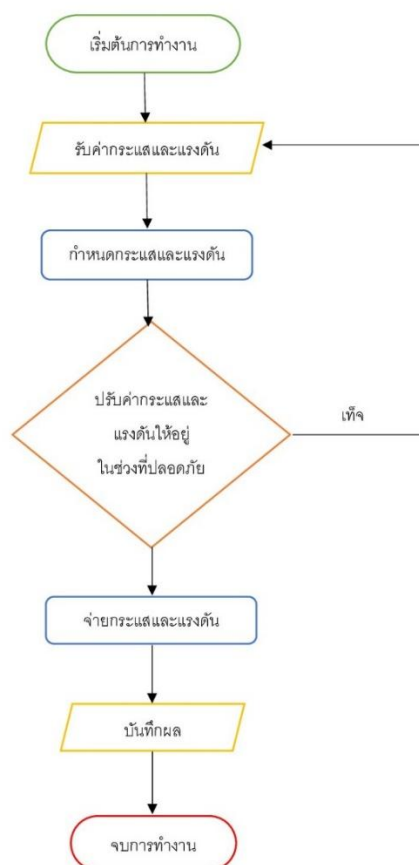
รูปที่ 6- แสดงการออกแบบการต่อวงจร

3.3.1 รายการอุปกรณ์ของวงจร

ตาราง 3-1 ตารางรายการอุปกรณ์ของวงจร

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	รายละเอียด
1.	แผงโซลาร์เซลล์	2	18V 400W
2.	Buck-Boots Converter	7	5-11V 50mA-15A
3.	Circuit Breaker DC	1	2 Pole 10 AT
4.	วงจรควบคุมฟัดลม	1	ควบคุมการเปิด/ปิดฟัดลมจากอุณหภูมิ
5.	ฟัดลม DC	1	ขนาด 12V
6.	แบตเตอรี่	1	ขนาด 12V 100AH
7.	Charger Controller	1	ขนาด 12V 30A
8.	ตู้กันน้ำ	1	ขนาด 44x61x23 ซม.
9.	เหล็ก	7	เหล็กหล่อเหล็ยมนัดัน ขนาด 1 นิ้ว
10.	อลูมิเนียม	6	ทรงสี่เหล็ยมน ขนาด 12x10x1 ซม.

3.5 Flow Chart การทำงานของโครงการ



รูปที่ 7- แสดงการทำงานของ Flow Chart

3.6.1 ขั้นตอนการทำงานของ Flow Chart

- 1) เริ่มต้นการทำงานของ Flow Chart
- 2) รับค่ากระแสและแรงดันสำหรับชิ้นงาน
- 3) กำหนดกระแสและแรงดัน
- 4) ปรับค่ากระแสและแรงดันให้อยู่ในช่วงปลอดภัย
- 5) จ่ายกระแสและแรงดัน
- 6) เก็บค่าบันทึกผล
- 7) จบการทำงาน

บทที่ 4

ผลการทดลองการป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการเกิดสนิมที่ผิวเหล็กโดยมีการใช้ระบบ Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองโดยการจับภาพจากวิดีโอ

ในโครงการนี้ใช้กล่องจำนวน 1 ตัว สำหรับการตรวจจับภาพวิดีโอพื้นที่คาน้ำสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า และได้ทำการวัดขนาดพื้นที่ผิวของเหล็ก มีพื้นที่ผิวที่ 290 ตร.ซม ปักลึก 13.5 ซม

ตัวอย่าง	แรงดัน V	กระแส A	ระยะเวลา	ผิวที่เป็น สนิม ตร.ซม	หมายเหตุ
ชุดที่1	12V	0.04	20วัน	208	ไม่โดนกัดกร่อน
ชุดที่2	9V	0.06	20วัน	290	เนื้อเหล็กโดนกัดกร่อน 14ตร.ซม
ชุดที่3	9V	0.05	20วัน	290	เนื้อเหล็กโดนกัดกร่อน 32ตร.ซม
ชุดที่4	9V	0.05	20วัน	195	ไม่โดนกัดกร่อน
ชุดที่5	16V	0.05	20วัน	290	เนื้อเหล็กโดนกัดกร่อน 38ตร.ซม
ชุดที่6	9V	0.07	20วัน	290	เนื้อเหล็กโดนกัดกร่อน 44ตร.ซม
ชุดที่7	ไม่จ่าย แรงดัน	-	20วัน	290	ไม่โดนกัดกร่อน

สรุปผลการทดลอง

จากภาพที่ 4-1 ถึง ภาพที่ 4-6 เป็นการทดสอบการตรวจจับภาพจากกล้องวิดีโอ โดยการติดตั้งกล้องจำนวน 1 ตัว เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของผิวโลหะที่ทำการทดลอง เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงการเกิดสนิม เทียบกับ โลหะที่ไม่ได้ติดตั้งระบบไว้ ด้วยเวลาที่ช้าด้วยเวลา 2 วัน แต่มีการพบผลการทดลองเพิ่มเติมจากการทดลอง

จากภาพที่ 4-7 คือการเกิดผลข้างเคียงจากการทดลองทดลองสลับขั้วแหล่งจ่ายโดยแรงดันบวกจ่ายเข้าขั้วแคโทดกับแอโนด ทำให้เกิดปฏิกิริยา เหล็กสูญเสียอิเล็กตรอน เกิดการกัดกร่อนทางไฟฟ้า จะพบเห็นได้ชัด จากโลหะที่จ่ายแรงดันไม่จำกัดกระแส



ภาพที่4-1



ภาพที่4-2



ภาพที่4-3 หลังติดตั้งวันแรก



ภาพที่4-4 หลังติดตั้ง4วัน



ภาพที่4-5หลังติดตั้ง 7 วัน



ภาพที่4-6 สภาพขึ้นเห็ดจากการทดลอง



ภาพที่ 4-7 เหล็กที่สูญเสียอิเล็กตรอนจากการสับซัว