EE04-แบบขอสอบป้องกัน

นักศึกษา ☐ ปกติ ☐ สมทบ

การสอบป้องกันโครงงานวิศวกรรมไฟฟ้า
หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

****

ชื่อโครงการ

การป้องสนิมด้วยแคโทด

Cathodic Protection

ผู้จัดทำ

นายต้นธนะ ลิวสกุลวงศ์ รหัสนักศึกษา 16440413001-0 โทร. 0979950941

นายธนวัฒน์ ศรีนอง รหัสนักศึกษา 16440413001-5 โทร. 0836592514

ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	**ความเห็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลัก**
ได้ตรวจโครงงานและรายงานฉบับสมบูรณ์แล้ว เห็นควร ☐ อนุมัติให้สอบได้ ☐ ปรับปรุงเนื้อหาหรือรูปแบบใหม่ ลงชื่อ..... (.....)	ได้ตรวจโครงงานและรายงานฉบับสมบูรณ์แล้ว เห็นควร ☐ อนุมัติให้สอบได้ ☐ ปรับปรุงเนื้อหาหรือรูปแบบใหม่ ลงชื่อ..... (ผศ.ชาญณรงค์ พงค์รักธรรม)

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

การป้องสนิมด้วยแคโทด

Cathodic Protection

ต้นธนะ ลิวสกุลวงศ์

Tonthana Liwsakulwong

ธนวัฒน์ ศรีนอง

Thanawat Srinong

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

A PROJECT REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY SRIVIJAYA

2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

การป้องสนิมด้วยแคโทด

Cathodic Protection

ต้นธนะ ลิวสกุลวงศ์

Tonthana Liwsakulwong

ธนวัฒน์ ศรีนอง

Thanawat Srinong

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

A PROJECT REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY SRIVIJAYA

2567

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ปริญญานิพนธ์ : การป้องสนิมด้วยแคโทด
ชื่อ : นายต้นธนะ ลิวสกุลวงศ์
: นายธนวัฒน์ ศรีนอง
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประธานที่ปรึกษา

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญณรงค์ พงค์รักธรรม)

กรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมคิด สุทธิศักดิ์)

.....กรรมการ
(ดร.สลักจิตร แบลนชาร์ด)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญณรงค์ พงค์รักธรรม)
หัวหน้าหลักสูตร/ประธานหลักสูตร

Project Report Title	: Cathodic Protection
Name	: Mr.Tonthana Liwsakulwong
	: Mr.Thanawat Srinong
Major Field	: Electrical Engineering

Major Advisor

.....

(Asst.Prof. Channarong Phongraktham)

Examining Committee

.....Chairperson

(Assistant Professor Dr. Pitak Bunnun)

.....Committee

(Asst.Prof.Somkid Suttisak)

.....Committee

(Dr. Salakjit Blanchard)

Accepted by the Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Bachelor of Electrical Engineering.

.....

(Asst.Prof. Channarong Phongraktham)

Chief Curriculum/Head of Curriculu

หัวข้อปริญญานิพนธ์ : การป้องกันสนิมด้วยแคโทด
โดย : นายต้นธนะ ลิวสกุลวงศ์
: นายธนวัฒน์ ศรีนอง
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญณรงค์ พงค์รักธรรม
ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
ปีการศึกษา : 2567

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอการออกแบบและสร้างชุดสาธิตเครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า หรือ ICCP โดยทำการทดลองหาแรงดันและกระแสที่ดีที่สุดสำหรับใช้ในการป้องกันการเกิดสนิมของเหล็ก ซึ่งเกิดจากการสูญเสียอิเล็กตรอน ชุดสาธิตเครื่องป้องกันสนิม จะใช้บอร์ด buck-boost converter มาปรับกระแสและแรงดันโดย แบ่งออกเป็น การทดลองชุดที่ 1 หาแรงดันและกระแสที่ดีที่สุด โดยมีชุดการทดลอง 7 ชุด แบ่งเป็น ชุดการทดลองที่มีการควบคุมกระแส 3 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองที่ไม่มีการควบคุมกระแส 3 ชุดการทดลองและชุดการทดลองที่ไม่มีการป้องกัน 1 ชุด โดยจากการทดลองปรับแรงดันและกระแสที่ดีที่สุดคือ 9 V 50 mA จากการทดลองทั้งหมด 30 วัน พบว่าแรงดันและกระแสดังกล่าว สามารถป้องกันการเกิดสนิมได้มากที่สุด การทดลองชุดที่ 2 หาระยะห่างแอโนดและแคโทดที่ดีที่สุด โดยใช้ผลการทดลองที่ 1 คือ 9 V 50 mA มาทดลองโดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง คือ ทดลองที่ระยะ 1 เมตร ,1.5 เมตร ,2 เมตร และไม่มีการป้องกัน ผลการทดลองพบว่า ในระยะ 1.5 เมตร ป้องกันได้ดีที่สุด โดยใน 15 วันที่ทำการทดลองที่ 2 ในระยะที่ 1.5 เมตร เกิดสนิมขึ้นน้อยที่สุด และในระยะ 1 เมตรเกิดขึ้นน้อยใกล้เคียงกัน และในการทดลองมีการวัดศักย์ทางไฟฟ้าโดยใช้ Copper Sulphate เปรียบเทียบพบว่า ในระดับแรงดัน 9 Vและกระแส 50 mA และระยะห่าง 1.5 สามารถป้องกันการเกิดสนิมได้ดี โดยวัดได้ที่ -603.6 mV

(ปริญญานิพนธ์นี้มีจำนวนทั้งสิ้น 79 หน้า)

Thesis Title	: Cathodic Corrosion Protection
By	: Mr. Tonnthana Liewsakunwong
	: Mr. Thanawat Srinong
Advisor	: Asst. Prof. Channarong Pongraktam
Department	: Electrical Engineering
Academic Year	: 2024

Abstract

This project presents the design and construction of a demonstration system for Impressed Current Cathodic Protection (ICCP), aimed at preventing the corrosion of steel caused by electron loss. The system utilizes a buck-boost converter board to adjust voltage and current levels. The experiment was conducted in two phases. In the first phase, the objective was to determine the optimal voltage and current for corrosion prevention. Seven test conditions were examined: three with controlled current, three without current control, and one without any protection. After a 30-day trial, the combination of 9 V and 50 mA was found to be the most effective in preventing corrosion. The second phase focused on determining the optimal distance between the anode and cathode using the optimal voltage and current from the first phase. Four test conditions were set: distances of 1 meter, 1.5 meters, 2 meters, and a control with no protection. The results over 15 days showed that a 1.5-meter distance provided the best corrosion resistance, with minimal rust formation—closely followed by the 1-meter distance.

Electric potential measurements using a Copper Sulphate reference electrode confirmed that at 9 V, 50 mA, and a distance of 1.5 meters, the system effectively prevented corrosion, with a measured potential of -603.6 mV.

(This thesis contains a total of 79 pages.)

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาชี้แนะและช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ชาญณรงค์ พงค์รักธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาหลักของโครงงาน ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พิทักษ์ บุญนุ่น ผศ.สมคิด สุทธิศักดิ์ และดร.สลักจิตร แบลนชาร์ด กรรมการสอบหัวข้อโครงงานที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานมาโดยตลอดตั้งแต่ต้นจนโครงงานเล่มนี้สำเร็จเรียบร้อย ผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณด้วยความเคารพอย่างสูง ณ โอกาส นี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่สนับสนุนให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ ตลอดจนให้กำลังใจที่ดีเสมอมาจนโครงงานสำเร็จด้วยดี คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากการทำโครงงานนี้ ผู้ศึกษาขอน้อมบูชาพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความเมตตาแกผู้ศึกษามาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ และบุคลากรในสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุก ๆ ท่านที่ให้ความรู้ คำปรึกษาและความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ซึ่งเป็นที่ศึกษาหาความรู้และผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพ

ต้นธนะ ลิวสกุลวงศ์
ธนวัฒน์ ศรีนอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของการโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินโครงการ	3
1.6 แผนการดำเนินงาน	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎี	5
2.1 ทบทวนวรรณกรรม	5
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	8
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	21
3.1 ออกแบบตู้ควบคุมแรงดันและกระแส	21
3.2 ลักษณะการทดลอง	21
3.3 การออกแบบการต่อวงจร	23
3.4 การวัดค่า EC ในดิน	32
3.5 การวัดค่า PH ในดิน	34
3.6 รายการอุปกรณ์ของวงจร	37
3.7 Flow Chart การทำงานของโครงงาน	41

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองการป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า 42

4.1 ผลการทดลองที่ 1 โดยการจับภาพจากวิดีโอ 42

4.2 ผลการทดลองที่ 2 44

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 54

5.1 สรุปผลที่ได้จากการทำโครงการ 54

5.2 ปัญหาและอุปสรรค์ในการทำโครงการ 54

5.3 ข้อควรระวังและเสนอแนะ 55

5.4 แนวทางในการพัฒนาโครงการ 55

เอกสารอ้างอิง 56

ภาคผนวก ก งบประมาณ 58

ภาคผนวก ข คู่มือแนะนำการใช้งาน 60

ประวัติผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ 63

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1-1 แผนการดำเนินงาน 4

2-1 ตารางเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากการวัดศักย์ไฟฟ้ากับการตีความผลการวัด 16

2-2 ค่ามาตรฐาน EC ในดินและน้ำ 18

2-3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่า EC 19

3-1 แรงดันและกระแสที่จ่ายของวงจร Bucks-Boots Converter ที่ควบคุมกระแสได้ 22

3-2 แรงดันและกระแสที่จ่ายของวงจร Bucks-Boots Converter ที่ควบคุมกระแสไม่ได้ 22

3-3 ค่า EC ทีมีผลต่อการนำไฟฟ้าของดิน 32

3-4 ตารางรายการอุปกรณ์ของวงจร 37

4-1 ตารางผลการทดลองที่ 1 42

4-2 ผลการทดลองที่ 2 45

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

1-1 โครงคอยล์ร้อนแอร์ที่อาคาร 58 อาคารศูนย์วิทยบริการ มทร.สงขลา 2

2-1 หลักการทำงาน 6

2-2 วงจรการทำงาน 7

2-3 ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในสถานการณ์ต่าง 8

2-4 Half-Cell Potential Measurement 15

2-5 การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเหล็กในโครงสร้างอาคาร 16

3-1 ตู้ควบคุมแรงดันและกระแส 21

3-2 วงจรของระบบ ICCP ในการทดลองที่ 1 23

3-3 ไดอะแกรมของวงจรเครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า 24

3-4 วงจรจ่านไฟให้กับแอโนดและแคโทดในการทดลองชุดที่ 1 25

3-5 วงจรของระบบ ICCP ในการทดลองชุดที่ 1 26

3-6 ไดอะแกรมของแหล่งจ่ายของระบบ ICCP ในการทดลองชุดที่ 1 27

3-7 วงจรของระบบ ICCP ในการทดลองที่ 2 27

3-8 ไดอะแกรมของระบบ ICCP ในการทดลองที่ 2 28

3-9 วงจรแหล่งจ่ายของระบบ ICCP ในการทดลองชุดที่ 2 29

3-10 ไดอะแกรมแหล่งจ่ายของระบบ ICCP ในการทดลองชุดที่ 2 30

3-11 วงจรจ่ายไฟให้กับแอโนดและแคโทดในการทดลองที่ 2 31

3-12 ไดอะแกรมของแหล่งจ่าย ICCP ในการทดลองที่ 2 32

3-13 ผลการวัดค่า EC ในชิ้นที่ 1 ในการทดลองที่ 2 33

3-14 ผลการวัดค่า EC ในชิ้นที่ 2 ในการทดลองที่ 2 33

3-15 ผลการวัดค่า EC ในชิ้นที่ 3 ในการทดลองที่ 2 34

3-16 ผลการวัดค่า PH ของการทดลองที่ 1 35

3-17 ผลการวัดค่า PH ในชิ้นที่ 1 ในการทดลองที่ 2 35

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

3-18 ผลการวัดค่า PH ในชิ้นที่ 2 ในการทดลองที่ 2 36
3-19 ผลการวัดค่า PH ในชิ้นที่ 3 ในการทดลองที่ 2 36
3-20 วงจร Buck-Boost Converter 12 V 38
3-21 แท่งอลูมิเนียม 38
3-22 แบตเตอรี่ลิเทียม 12 V 100ah 39
3-23 แผงโซล่าเซลล์ 12 V 400 W 39
3-24 ตู้กันน้ำพลาสติก 39
3-25 Circuit Breaker DC 40
3-26 บอร์ดควบคุมพัดลมระบายความร้อน 40
3-27 แสดงการทำงานของ Flow Chart 41
4-1 ชุดการทดลองทั้ง 7 ชุดวันแรก 43
4-2 ชุดการทดลองทั้ง 7 ชุดหลังติดตั้ง 4 วัน 43
4-3 สภาพชิ้นเหล็กจากการทดลอง 30 วัน 43
4-4 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 2 44
4-5 ชุด A การทดลองวันที่ 2 46
4-6 ชุด A การทดลองวันที่ 5 46
4-7 ชุด A การทดลองวันที่ 7 47
4-8 ชุด A การทดลองวันที่ 10 47
4-9 ชุด A การทดลองวันที่ 15 48
4-10 ชุด B การทดลองวันที่ 2 48
4-11 ชุด B การทดลองวันที่ 7 49
4-12 ชุด B การทดลองวันที่ 10 49
4-13 ชุด B การทดลองวันที่ 15 50
4-14 ชุด C การทดลองวันที่ 2 50

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-15 ชุด C การทดลองวันที่ 7 51

4-16 ชุด C การทดลองวันที่ 13 51

4-17 ชุด C การทดลองวันที่ 15 52

4-18 ผลการวัดศักย์ไฟฟ้าในชุด B 52

4-19 ผลการวัดศักย์ไฟฟ้าในชุด A 53

4-20 ผลการวัดศักย์ไฟฟ้าในชุด C 53

5-1 ผลของการสลับขั้วแอโนดและแคโทด 55

บทที่ 1
บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาความสำคัญและของหัวข้อโครงงานปริญญานิพนธ์ วัตถุประสงค์ของโครงงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ขอบเขตของโครงงาน ขั้นตอนและวิธีดำเนินการของโครงงาน รวมถึงแผนการดำเนินงาน ดังต่อไปนี้

1.1 ความสำคัญและที่มาของหัวข้อโครงงาน

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

ไอเกลือที่เกิดจากน้ำทะเลจะ เร่งปฏิกิริยาการเกิดสนิมโดยการเพิ่มการนำไฟฟ้าบนพื้นผิวโลหะ และทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดเร็วขึ้นได้ ดังนี้ การเพิ่มการนำไฟฟ้า เมื่อไอเกลือที่มีโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกาะบนพื้นผิวโลหะ เกลือจะละลายในความชื้นของอากาศ กลายเป็นไอออนของโซเดียม (Na^+) และคลอไรด์ (Cl^-) ซึ่งช่วยเพิ่มการนำไฟฟ้าระหว่างโลหะกับออกซิเจนในอากาศ ทำให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นได้ง่ายและเร็วขึ้นการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน คลอไรด์ไอออน (Cl^-) จะช่วยเร่งกระบวนการออกซิเดชัน โดยทำให้เหล็กสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้เหล็กทำปฏิกิริยากับออกซิเจนกลายเป็นเหล็กออกไซด์ (สนิม) ได้เร็วขึ้น [1]

ภาพที่ 1-1 โครงคอยล์ร้อนแอร์ที่อาคาร 58 อาคารศูนย์วิทยบริการ มทร.สงขลา

คณะผู้จัดทำจึงตระหนักถึงความสำคัญของการหาวิธีชะลอการกัดกร่อนจากไอเกลือทะเล เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้ให้ยาวนานขึ้น

คณะผู้จัดทำจึงเลือกใช้ระบบ Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) ซึ่งจะได้รับพลังงานจากระบบโซล่าเซลล์และแบตเตอรี่ เพื่อใช้เป็นพลังงานทางเลือกให้กับระบบเนื่องจาก ปัจจุบันระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในท้องตลาดมีราคาถูกลง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อป้องกันการเกิดสนิมอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีโลหะเป็นโครงสร้างภายนอก

1.2.2 เพื่อยืดอายุของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่มีโลหะที่มีการชุบหรือทาสีกันสนิมให้มีอายุยาวนานขึ้น

1.2.3 ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนโครงสร้างที่เป็นโลหะที่มีการเกิดสนิม

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ออกแบบและสร้างชุดทดลองป้องกันสนิม โดยใช้โลหะแท่งเป็นตัวอย่างการทดลอง

1.3.2 ทดสอบการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะจากการเกิดสนิม ไม่น้อยกว่า 7 รูปแบบ

1.3.3 ชุดทดลองใช้แหล่งพลังงานจากโซล่าเซลล์ โดยใช้แรงดัน อยู่ในช่วง 5-12 V และกระแสอยู่ในช่วง 10–30 mA

1.3.4 เก็บตัวอย่างข้อมูลผลการเปลี่ยนแปลงทุกวันไม่น้อยกว่า 45 วัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ประหยัดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนโครงสร้างโลหะที่มีการเกิดสนิม

1.4.2 อุปกรณ์ทางไฟฟ้าหรือโครงสร้าง จะไม่เกิดการเป็นสนิมขึ้น

1.4.3 สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการโครงงาน

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับโครงงาน

1.5.2 เข้าปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

1.5.3 ศึกษาข้อมูลอุปกรณ์ที่นำมาทำโครงงาน

1.5.4 ศึกษาการทำงานของการป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า

1.5.5 สอบหัวข้อโครงงาน

1.5.6 จัดซื้ออุปกรณ์ และเริ่มทำชุดจ่ายกระแสและแรงดัน

1.5.7 รายงานความก้าวหน้า

1.5.8 ทดสอบการทำงาน

1.5.9 แก้ไขข้อผิดพลาด

1.5.10 สรุปผลการทำงาน

1.5.11 จัดทำปริญญานิพนธ์

1.5.12 สอบจบโครงงาน

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินงาน

ที่	กิจกรรม	ก.ค .67	ส.ค .67	ก.ย. 67	ต.ค .67	พ.ย .67	ธ.ค. 67	ม.ค .67	ก.พ .67	มี.ค .67	เม.ย. 67
1	ศึกษา หลักการ ทำงานของ การป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า จากงานวิจัย										
2	ศึกษาและออกแบบวงจรจ่ายกระแสและแรงดันโดยปรับค่าได้										
3	สร้างและประกอบวงจร										
4	วัดค่า และวิเคราะห์ข้อมูล										
5	ทดลองและตรวจสอบความเป็นสนิม										
6	เปรียบเทียบผลการทดลอง										
7	สรุปผลการทดลอง										
8	เขียนบทความตีพิมพ์/ขออนุญาติสิทธิบัตร										
9	เขียนสรุปโครงงาน										

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

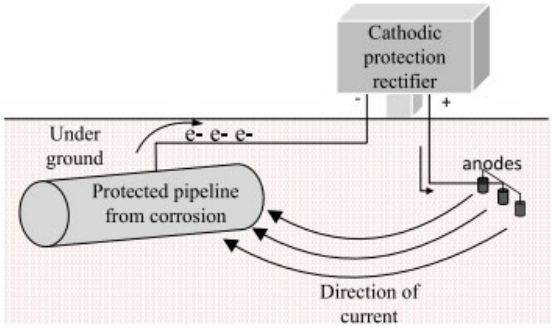
ในบทนี้จะกล่าวถึงการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง รวมถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและหลักการทำงานในโครงงานปริญญานิพนธ์ ดังต่อไปนี้

2.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Offshore Structural Corner (กุมภาพันธ์ 23, 2556) ได้นำเสนอระบบ ICCP เป็นระบบกันสนิมที่กำลังเป็นที่นิยมมากขึ้นเรื่อยๆ สำหรับแท่นกลางทะเลที่รักษ์สิ่งแวดล้อม 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]

2.1.2 Shokoufeh ValadKhani และคณะ (พฤศจิกายน, 2564) ได้นำเสนอ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับเอาต์พุตแบบแปรผันสำหรับการใช้งานป้องกันแคโทดิกด้วย DC–DC ความถี่แปรผันและรอบหน้าที่ตัวแปลงฟูลบริดจ์ 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 โดยตัวแปลงสามารถปรับ

ความถี่และรอบการทำงานของพัลส์ได้ตามความต้องการของระบบ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิกได้จริง [3]

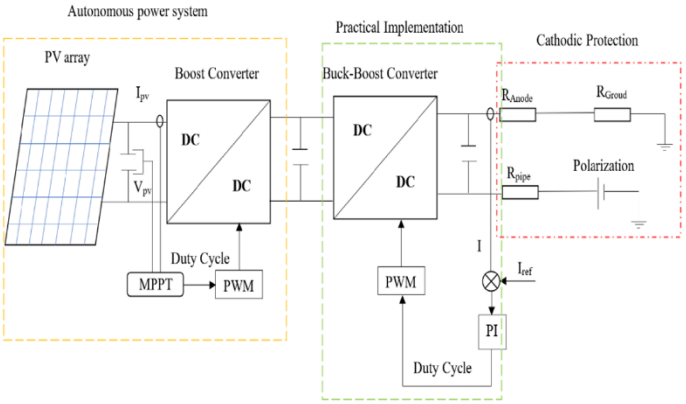


ภาพที่ 2-1 หลักการทำงาน

2.1.3 Hao Liu,และคณะ (2563) ได้เสนอการออกแบบป้องกันสนิมแบบชั้นเดียวมักนำไปสู่การเกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรงในบางส่วนของเสาส่งสัญญาณไฟฟ้า จากลักษณะการกระจายตัวของปัจจัยที่ทำให้เกิดสนิม โดยบทความนี้ได้นำเสนอแนวคิดการออกแบบป้องกันสนิมแบบแบ่งระดับสำหรับเสาส่งไฟฟ้า และให้ข้อเสนอแนะเฉพาะสำหรับการรักษาป้องกันสนิม บทความนี้ใช้เสาส่งไฟฟ้าเป็นตัวอย่างในการออกแบบป้องกันสนิมแบบแบ่งระดับ และดำเนินมาตรการการรักษาในลักษณะเดียวกัน ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าแผนการออกแบบนี้สามารถรับประกันอายุการป้องกันสนิมของเสาทั้งหมดได้เท่าที่จะเป็นไปได้ [4]

2.1.4 Xiaoping Guo และคณะ (2564) ได้นำเสนอ สมรรถนะการกัดกร่อนและกลไกการแปลงสนิมของการเคลือบทนต่อพื้นผิวอีพ็อกซี่ดัดแปลงด้วยกราฟีน โดยเคลือบอีพ็อกซี่ที่ปรับปรุงด้วยกราฟีน (Graphene Modified Epoxy Surface Tolerant Coating) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดการกัดกร่อนบนพื้นผิวเหล็กที่มีสนิมอยู่ก่อนแล้ว โดยมีการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการแปลงสนิมและการป้องกันการกัดกร่อนของสารเคลือบชนิดนี้บนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีสนิมอยู่เดิม โดยผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าการเคลือบพื้นผิวอีพ็อกซี่ที่ปรับปรุงด้วยกราฟีน (Graphene Modified Epoxy Surface Tolerant Coating) มีประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนบนเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีสนิม โดยทำให้สนิมส่วนใหญ่ละลายและเปลี่ยนสภาพด้วยปฏิกิริยากับกรดไฟติค ซึ่งช่วยให้เกิดการเคลือบผิวที่แน่นและมีความทนทานมากขึ้น [5]

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-บูสต์ที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบ Cathodic Protection โดยเน้นถึงข้อดีของการรวมบอร์ด Texas Instruments C2000 และมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ที่เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน ซึ่งช่วยเพิ่มระยะเวลาการเกิดสนิมของโครงสร้างโลหะและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้งานฮาร์ดแวร์มีประสิทธิภาพในการควบคุม กระแสขาออกของตัวแปลง Buck-Boost เพื่อการปกป้องแคโทดคอย่างน่าเชื่อถือ [6]



ภาพที่ 2-2 วงจรการทำงาน

2.1.6 SeonYeob Li และคณะ, Korea Gas Corporation (KOGAS) (2007) ได้เสนอเซนเซอร์แบบฟิล์มบางของเหล็ก (TFER – Thin Film Electrical Resistance) สำหรับตรวจจับอัตราการกัดกร่อนของเหล็ก โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดจากการสูญเสียความหนาของโลหะ เซนเซอร์มีความหนา 600 นาโนเมตร ผลิตด้วยเทคนิค magnetron sputtering และออกแบบให้มีรูปแบบเส้นเดี่ยวหรือหลายเส้นเพื่อวัดการกัดกร่อนทั่วไปและเฉพาะจุดได้ เซนเซอร์ผ่านการทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ซึ่งแสดงให้เห็นว่าให้ผลแม่นยำและเชื่อถือได้ [7]

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

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, m^2)
- J คือ ความหนาแน่นของกระแสป้องกัน (Current Density) ที่จำเป็น (หน่วยเป็นแอมแปร์ต่อตารางเมตร, A/m^2)

2.การกำหนดค่าความหนาแน่นของกระแสป้องกัน (J) ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าป้องกันที่จำเป็นในการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและสภาพแวดล้อมที่โลหะสัมผัส เช่น น้ำทะเล น้ำจืด หรือดิน โดยมีตัวอย่างค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในสถานการณ์ต่าง ๆ ดังภาพนี้

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

ภาพที่ 2-3 ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในสถานการณ์ต่าง

3. การคำนวณพื้นที่ผิวของโลหะ (A) ในการคำนวณหากระแสไฟฟ้าที่ต้องการต้องทราบพื้นที่ผิว 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)

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

2.คำนวณกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้ (I)

$$I = A \times J = 0.003\ m^2 \times\ 0.02\ A/m^2\ =\ 0.0006\ AI$$

ดังนั้น กระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้เพื่อป้องกันการเกิดสนิมบนท่อเหล็กนี้คือ 0.6 mA

3.คำนวนหาขนาดแอโนด

ข้อมูลของอลูมิเนียมแอโนด: ความสามารถในการจ่ายกระแส (C) = 2000 Ah/kg ประสิทธิภาพ (η) = 0.90

หากต้องการป้องกันการกัดกร่อนระยะเวลา 1 ปี

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

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

สรุป ต้องใช้อลูมิเนียม 2.9 กรัม ต่อเหล็กขนาด30ตร.ซม ให้เพิ่มเวลาการกัดกร่อนเป็น 1 ปี [8]

2.2.2 การหาขนาดแบตเตอรี่และแผงโซล่าเซลล์

การหาขนาดแบตเตอรี่และแผงโซล่าเซลล์สำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ต้องอิงกับปริมาณพลังงานที่ต้องการใช้งานในแต่ละวัน และจำนวนชั่วโมงแสงแดดที่เพียงพอในพื้นที่ที่ติดตั้งโซล่าเซลล์ วิธีคำนวณคร่าว ๆ มีดังนี้:

1. การหาขนาดแบตเตอรี่ แบตเตอรี่จะต้องเก็บพลังงานเพียงพอสำหรับการใช้งานในช่วงที่ไม่มีแสงแดด เช่น ตอนกลางคืนหรือในวันที่มีเมฆมาก

ขั้นตอนการคำนวณขนาดแบตเตอรี่

คำนวณการใช้พลังงานต่อวัน (Watt-hour หรือ Wh)

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

$$\text{คำนวณความจุแบตเตอรี่ที่ต้องการ (Ah)} = \frac{\text{พลังงานที่ใช้ต่อวัน } (\mathbf{wh})}{\text{แรงดันของระบบ } (\mathbf{v})} \ \mathbf{X} \ \frac{1}{\text{ความลึกในการคายประจุ } (\mathbf{DoD})}$$

DoD คือค่าที่บอกว่าแบตเตอรี่จะถูกคายประจุได้มากน้อยเพียงใด โดยทั่วไปใช้ DoD ประมาณ 0.8 หรือ 80%

2. การหาขนาดแผงโซล่าเซลล์ แผงโซล่าเซลล์ต้องผลิตพลังงานเพียงพอที่จะชดเชยการใช้พลังงานทั้งหมดในแต่ละวัน

ขั้นตอนการคำนวณขนาดแผงโซล่าเซลล์

1 .คำนวณการใช้พลังงานต่อวัน (Wh) เหมือนกับขั้นตอนหาขนาดแบตเตอรี่

2. หาจำนวนชั่วโมงที่แสงแดดมีความเข้มพอที่จะผลิตไฟฟ้าได้ (ชั่วโมงแสงแดดเฉลี่ยต่อวันในพื้นที่)

3. คำนวณกำลังไฟฟ้าของแผงโซล่าเซลล์ที่ต้องการ (W)

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

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 ขนาดแผงโซล่าเซลล์:

- ประสิทธิภาพระบบ 0.8

ขนาดแผงโซล่าเซลล์ (W)= $\frac{1200}{5\ x\ 8}$ = 300 W

ดังนั้น คุณจะต้องใช้แบตเตอรี่ที่มีความจุประมาณ 125 Ah และแผงโซล่าเซลล์ขนาด 300 W [9]

2.2.3 ทฤษฎีการเกิดสนิมของเหล็ก

1. ความหมายของสนิม

สนิม (Rust) เป็นผลผลิตจากกระบวนการกัดกร่อนของโลหะโดยเฉพาะเหล็ก ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเมื่อเหล็กสัมผัสกับออกซิเจนและน้ำในสภาพแวดล้อม

2. กลไกการเกิดสนิมของเหล็ก

กระบวนการเกิดสนิมของเหล็กเป็นปฏิกิริยา ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Reaction) ที่เกี่ยวข้องกับขั้วแอโนดและแคโทด

2.1 ปฏิกิริยาที่แอโนด (Anodic Reaction) – การออกซิเดชันของเหล็ก

$$Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^{-}$$

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

- กระบวนการนี้ทำให้เหล็กค่อยๆ สึกกร่อนออกไป

2.2 ปฏิกิริยาที่แคโทด (Cathodic Reaction) – การรีดักชันของออกซิเจน

- ถ้ามีน้ำและออกซิเจนในสภาพแวดล้อม ปฏิกิริยาที่แคโทดจะเกิดขึ้น ดังนี้

$$O_2 + 4e^{-} + 2H_2O \rightarrow 4OH$$

- ออกซิเจนในอากาศทำปฏิกิริยากับอิเล็กตรอนและน้ำ ได้เป็นไอออนไฮดรอกไซด์ (OH^{-})

2.3 การก่อตัวของสนิม (Rust Formation)

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

$$\mathrm{Fe}^{2+} + 2\mathrm{OH}^- \rightarrow \mathrm{Fe(OH)_2}$$

- เมื่อสัมผัสกับออกซิเจน Fe(OH)2Fe(OH)_2 จะถูกออกซิไดซ์เป็น เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์

$$4\mathrm{Fe(OH)_2} + \mathrm{O_2} + 2\mathrm{H_2O} \rightarrow 4\mathrm{Fe(OH)_3}$$

เมื่อแห้งจะกลายเป็น เฟอร์ริกออกไซด์ $(\mathrm{Fe_2O_3 \cdot xH_2O})$ 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 [10]

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 โดยบริเวณในซอกจะเกิดเป็นขั้วแอโนดคือเกิดการสูญเสียเนื้อโลหะ

3.การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) การกัดกร่อนแบบสนิมขุมหรือการกัดกร่อนแบบรูเข็ม เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมากโดยเฉพาะกับโลหะที่ได้พัฒนาให้มีฟิล์ม ป้องกันการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้าได้แล้ว แต่เมื่อฟิล์มบางแตกแยกออกเฉพาะบางที่ ก็จะเกิดการกัดกร่อนเฉพาะ ที่กัดกร่อนลึกลงไปเรื่อยๆ ทำให้สังเกตเห็นได้ยากเนื่องจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนได้ปกคลุมเอาไว้ การกัดกร่อน แบบนี้ทำให้ทำนายได้ยาก โดยทั่วไปสนิมรูเข็มมักจะเกิดทิศทางเดียวกันกับแรงโน้มถ่วงของโลก การเกิดการกัดกร่อน ในแนวอื่นก็เกิดได้แต่น้อย

4.การสูญเสียส่วนผสมบางตัว (Selective leaching) เป็นรูปแบบหนึ่งของการกัดกร่อน ซึ่งเกิดโดยการละลายของธาตุบางตัวจากโลหะอัลลอยด์ เป็นผลจากการกระทำซึ่งสิ่งแวดล้อมไล่โลหะที่ว่องไวที่สุด ออกจากอัลลอยด์ เหลือไว้แต่โครงสร้างพรุนซึ่งเต็มไปด้วยโลหะที่เสถียรที่สุด วัสดุที่เหลือจึงสูญเสียความแข็งแรงทางกายภาพไปมาก การกัดกร่อนแบบนี้มักมีชื่อตามธาตุที่ละลายออกมา เช่น ถ้าสังกะสีละลายออกมาเรียกว่า dezincification

5.การกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular Corrosion) โดยปกติขอบเกรนมักจะเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าเนื้อเกรนอยู่แล้ว โดยขอบเกรนจะแสดงตัวเป็นขั้วแอโนด (สูญเสียเนื้อโลหะ) ภายในเกรนจะแสดงตัวเป็นขั้วแคโทด หากบริเวณขอบเกรนมีอนุภาคอื่นๆมาตกตะกอนอยู่ หรือมีธาตุหนึ่งมากหรือน้อยเกินไป ขอบเกรนอาจจะถูกกัดกร่อนหรือทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้นอีก เมื่อการกัดกร่อนเกิดขึ้นได้ระยะเวลาหนึ่ง บริเวณพื้นที่ที่แสดงตัว เป็นแอโนดจะเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงไป การกัดกร่อนก็จะเกิดกระจายอยู่ทั่วไปเป็นแบบ Uniform attack กัดเซาะทั้งก้อน บริเวณที่เป็นแอโนด แคโทด จะเปลี่ยนตลอดเวลา

6.การกัดกร่อน-สึกกร่อน (Erosion Corrosion) เมื่อมีการเสียดสีและการสึกกร่อนต่อโลหะในสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนได้ด้วยนั้น 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 การเสียหายแบบนี้ผิวโลหะอาจไม่ถูกกัดกร่อนหรือไม่เปลี่ยนแปลงเลย แต่ในเนื้อโลหะจะมีรอยร้าวเล็กๆ อยู่มากมาย ตัวอย่างโลหะที่เกิดการกัดกร่อนแบบนี้ เช่น ทองเหลืองจะไม่ทนต่อแอมโมเนีย ในขณะที่เหล็กกล้าไร้สนิมจะไม่ทนต่อไอออนของคลอไรด์เป็นต้น ลักษณะของการกัดกร่อนที่มีความเค้นเข้ามา เกี่ยวข้อง จะมีลักษณะรอยร้าวเป็นกิ่งก้าน โดยที่รอยร้าวนี้อาจเกิดตามขอบเกรนหรือผ่าเกรนก็ได้

9.การกัดกร่อนแบบใต้ชั้นเคลือบ (filiform corrosion) เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายใต้ชั้นเคลือบ เช่น การทาสีพลาสติกบนผิวเหล็กกล้า หรือ การเคลือบแลกเกอร์บนผิวแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก จัดเป็นการกัดกร่อนแบบ Crevice ประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นแบบ Under film corrosion พบได้กับโลหะที่มีการทาเคลือบผิวเพื่อป้องกัน การกัดกร่อนทั่วผิวหน้า เช่น เหล็กกล้าคาร์บอน แมกนีเซียม และอลูมิเนียม [11]

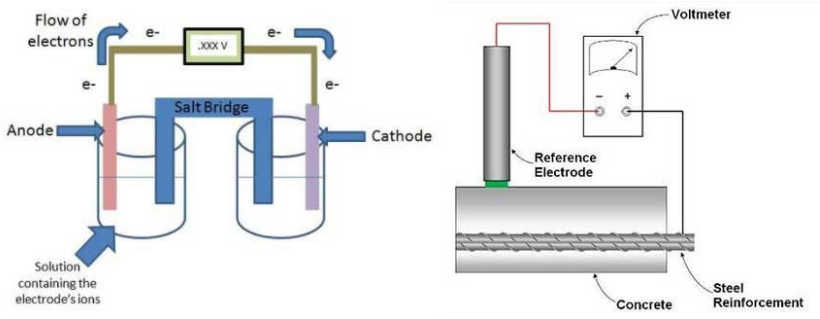
2.2.5 การวัดศักย์ไฟฟ้าในระบบ ICCP (Impressed Current Cathodic Protection)

การวัดค่าศักย์ไฟฟ้า (Potential Measurement) ของโครงสร้างโลหะ เช่น เหล็ก เป็นวิธีสำคัญในการตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบป้องกันการกัดกร่อนแบบจ่ายกระแสไฟฟ้า (ICCP) โดยใช้หลักการเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าระหว่างโลหะ (แคโทด) กับอิเล็กโทรดอ้างอิง (Reference Electrode) ซึ่งนิยมใช้แท่งทองแดงในสารละลาย $CuSO_4$ อิ่มตัว หรือที่เรียกว่า $Cu/CuSO_4$ Electrode

การวัดศักย์ไฟฟ้าดำเนินการโดยใช้อุปกรณ์ Digital Multimeter ที่มีความต้านทานภายในสูง เช่น FLUKE 179 หรือ UNI-T UT61E+ โดยขั้วบวกของเครื่องวัดจะต่อเข้ากับอิเล็กโทรดอ้างอิง และขั้วลบจะต่อเข้ากับโครงสร้างโลหะ จากนั้นอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าและบันทึกไว้เพื่อตรวจสอบว่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมหรือไม่

ตามมาตรฐาน NACE SP0169-2013 โครงสร้างโลหะถือว่าได้รับการป้องกันจากการกัดกร่อนอย่างเหมาะสมเมื่อค่าศักย์ไฟฟ้าเทียบกับ Cu/$CuSO_4$ Electrode มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ -0.850 V หากต่ำกว่านี้มากเกินไป เช่น ต่ำกว่า -1.200 V อาจส่งผลให้เกิด Overprotection และทำให้ชั้นเคลือบผิวของโลหะเสียหายได้ จุดวัดควรเลือกวางใกล้ผิวดินบริเวณที่อยู่เหนือโครงสร้างโลหะ และควรดำเนินการวัดทั้งในระหว่างการติดตั้งระบบ ICCP และเป็นระยะ ๆ เพื่อประเมินความต่อเนื่องของประสิทธิภาพการป้องกัน โดยควรวัดอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง หรือถี่ขึ้นในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง เช่น ใกล้ชายฝั่งทะเล

การวัดศักย์ไฟฟ้าในระบบ ICCP จึงเป็นกระบวนการที่สำคัญและจำเป็นในการควบคุมและประเมินประสิทธิภาพของการป้องกันการกัดกร่อนในงานระบบไฟฟ้า โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการปนเปื้อนไอเกลือจากทะเล



ภาพที่ 2-4 Half-Cell Potential Measurement

เมื่อทำการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าระหว่างโครงสร้างโลหะ (แคโทด) กับอิเล็กโทรดอ้างอิง Cu/$CuSO_4$ จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเป็น “ค่าศักย์ไฟฟ้าแคโทด” (Cathodic Potential) ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ว่าโลหะได้รับการป้องกันการกัดกร่อนเพียงพอหรือไม่ โดยค่าที่ได้จะมีหน่วยเป็นโวลต์ (V) และเป็นค่าลบ เนื่องจากแคโทดมีศักย์ต่ำกว่าอิเล็กโทรดอ้างอิง

ตารางที่ 2-1 ตารางเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากการวัดศักย์ไฟฟ้ากับการตีความผลการวัด

ค่าที่วัดได้ (V vs $Cu/CuSO_4$)	การตีความจากผลการวัด
> -0.850 V	การป้องกันไม่เพียงพอ โลหะยังเสี่ยงต่อการเกิดสนิม
-0.850 V ถึง -1.200 V	การป้องกันเพียงพอ โลหะได้รับการป้องกันจากสนิม
< -1.200 V	Overprotection อาจทำให้เคลือบผิวโลหะเสียหายได้

ตัวอย่าง:หากวัดได้ -0.780 V แสดงว่าแรงดันระหว่างแคโทดกับอิเล็กโทรดอ้างอิงยังสูงเกินไป ⟶ การป้องกันไม่เพียงพอ อาจต้องเพิ่มกระแสในระบบ ICCP

หากวัดได้ -0.950 V แสดงว่าการป้องกันอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ⟶ ระบบทำงานได้ดี

หากวัดได้ -1.300 V แสดงว่าศักย์ต่ำเกินไป ⟶ อาจต้องลดกระแสลง เพื่อหลีกเลี่ยง Overprotection

ภาพที่ 2-5 การวัดค่าศักย์ไฟฟ้าของเหล็กในโครงสร้างอาคาร

ปัจจัยที่อาจมีผลต่อค่าศักย์ไฟฟ้า:

- ความต้านทานของดิน (Soil Resistivity)
- ความเข้มข้นของ $CuSO_4$ ในอิเล็กโทรดอ้างอิง
- สภาพอากาศ ความชื้น อุณหภูมิ
- ระยะห่างระหว่างจุดวัดกับแหล่งจ่ายกระแส
- ความผิดพลาดของเครื่องมือวัดหรือสายวัด

การวัดศักย์ไฟฟ้าในระบบป้องกันสนิมด้วย ICCP ได้ดำเนินการโดยใช้อิเล็กโทรดอ้างอิงแบบ $Cu/CuSO_4$ ตามมาตรฐาน NACE SP0169-2013 และ ISO 15589-1:2023 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลที่กำหนดให้อิเล็กโทรดชนิดนี้เหมาะสมสำหรับการวัดศักย์ในระบบที่โลหะสัมผัสดินหรือสภาพแวดล้อมชื้น โดยอิเล็กโทรดชนิดนี้ให้ค่าศักย์ที่เสถียรและเชื่อถือได้ในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ Cathodic Protection [12]

2.2.6 ความนำไฟฟ้าไฟฟ้า (Electrical Conductivity – EC)

1. ความหมายและหลักการค่าความนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) คือค่าที่แสดงถึงความสามารถของสารละลายในการนำกระแสไฟฟ้า โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าหรือไอออนในของเหลวนั้น เช่น ประจุบวก (เช่น Na^+, K^+, Ca^{2+}) และประจุลบ (เช่น Cl^-, SO_4^{2-}) เมื่อมีความต่างศักย์ไฟฟ้าไหลผ่านสารละลายเหล่านั้น

ความสามารถในการนำไฟฟ้าของสารละลายจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักดังนี้:

- ความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย
- ประเภทของไอออน (ขนาด, ค่า valence)
- อุณหภูมิของสารละลาย (อุณหภูมิสูง $\longrightarrow$ การเคลื่อนที่ของไอออนเร็วขึ้น)

2. หน่วยวัดและการแปลงหน่วยของ EC ค่าความนำไฟฟ้าไฟฟ้าจะถูกวัดในหน่วย:

- ไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (µS/cm)
- มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร (mS/cm)
- เดซิซีเมนส์ต่อเมตร (dS/m) (นิยมในเกษตรกรรม)

การแปลงหน่วย: 1 mS/cm=1000 µS/cm=1 dS/m1

3. ค่ามาตรฐาน EC ในสารละลายต่าง ๆ

ตารางที่ 2-2 ค่ามาตรฐาน EC ในดินและน้ำ

ประเภทตัวอย่าง	ค่า EC โดยประมาณ (ที่ 25°C)
น้ำกลั่น (Deionized water)	0.5 – 2 µS/cm
น้ำฝน	5 – 50 µS/cm
น้ำประปา	100 – 500 µS/cm
น้ำกร่อย	1,000 – 10,000 µS/cm
น้ำทะเล	ประมาณ 50,000 µS/cm
ดินปลูกทั่วไป	100 – 2000 µS/cm (0.1 – 2 dS/m)
ดินเค็มจัด	> 4000 µS/cm (4 dS/m)

4. ความสำคัญของค่า EC ในการป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า (ICCP)

ในระบบ Cathodic Protection แบบจ่ายกระแสภายนอก (Impressed Current Cathodic Protection – ICCP) การวัดค่าความนำไฟฟ้าไฟฟ้า (EC) มีความสำคัญทางอ้อม เนื่องจาก

- ดินหรือน้ำที่มีค่า EC สูง จะมี resistivity ต่ำ ⟶ กระแสไฟฟ้าสามารถไหลจากแอโนดไปยังแคโทด (โลหะ) ได้ดี
- หาก EC ต่ำ (resistivity สูง) ⟶ กระแสต้านทานการไหล ⟶ ประสิทธิภาพของ ICCP ลดลง ⟶ ต้องออกแบบให้ใช้แอโนดมากขึ้น หรือเพิ่มแรงดัน

ดังนั้น การทราบค่า EC หรือดินที่ใช้ฝังโครงสร้างโลหะ มีผลต่อการออกแบบ ICCP ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมนั้น ๆ

5. ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า EC

ตารางที่ 2-3 ปัจจัยที่มีผลต่อค่า EC

ปัจจัย	**ผลกระทบต่อ EC**
อุณหภูมิ	อุณหภูมิสูงทำให้ค่า EC เพิ่มขึ้นประมาณ 2% ต่อ °C
ปริมาณเกลือ/แร่ธาตุ	ไอออนมาก ⟶ EC สูง
ชนิดของสารละลาย	บางชนิดนำไฟฟ้าได้ดีกว่าด้วยความสามารถของไอออน

6. การแปลงค่า EC เป็น TDS (Total Dissolved Solids)

ค่าความนำไฟฟ้า EC สามารถแปลงเป็นค่า TDS (ค่าของแข็งละลายทั้งหมด) ได้โดยประมาณ:

$$\text{TDS (ppm)} = \text{EC } (\mu\text{S/cm}) \times \text{Factor}$$

ค่าปกติของ Factor อยู่ระหว่าง 0.5 – 0.7 ขึ้นกับชนิดของเกลือในน้ำ (NaCl, KCl ฯลฯ)

(Total Dissolved Solids: TDS) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ระบุปริมาณสารละลายที่ไม่สามารถกรองออกได้ด้วยกระดาษกรองทั่วไป โดย TDS ประกอบด้วยไอออนต่าง ๆ เช่น แคลเซียม (Ca^{2+}), แมกนีเซียม (Mg^{2+}), โซเดียม (Na^{+}), โพแทสเซียม (K^{+}), คลอไรด์ (Cl^{-}), ไบคาร์บอเนต (HCO_3^{-}), ซัลเฟต (SO_4^{2-}) และอนุภาคอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้

ค่าของ TDS วัดได้จากการชั่งน้ำหนักสารตกค้างหลังจากการระเหยน้ำ หรือโดยการแปลงค่าความนำไฟฟ้าเป็นค่าประมาณของ TDS โดยใช้สูตรใกล้เคียง:

$$\text{TDS (mg/L)} \approx \text{EC } (\mu\text{S/cm}) \times k$$

โดยค่าคงที่ k อยู่ในช่วง 0.5–0.7 ขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนในสารละลาย

ค่าของ TDS มีความสำคัญในระบบการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ โดยเฉพาะในระบบ Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) เนื่องจากน้ำที่มีค่า TDS สูงจะมีการนำไฟฟ้าสูง ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าระหว่างโลหะกับสารละลายได้ง่าย ซึ่งเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้เกิดสนิมหรือการกัดกร่อนได้ [13]

2.2.7 สนิมดำ (Black Rust)

หรือที่เรียกทางเคมีว่า Magnetite (Fe_3O_4) เป็นรูปแบบหนึ่งของออกไซด์ของเหล็กที่เกิดขึ้นในสภาวะที่มี ออกซิเจนต่ำหรือไม่มีออกซิเจนเลย (reducing condition) ซึ่งต่างจาก สนิมแดง (Red Rust: $Fe_2O_3 \cdot H_2O$) ที่เกิดในสภาวะที่มีออกซิเจนมากและความชื้นสูง

สรุปลักษณะของสนิมดำ (Black Rust)

สนิมดำ หรือ Fe_3O_4 (Magnetite) เป็นสนิมที่มีสีดำหรือดำอมเขียว เกิดขึ้นในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ เช่น ในดินหรือภายในท่อที่ไม่มีการระบายอากาศดี สนิมชนิดนี้มีลักษณะยึดเกาะแน่นกับผิวโลหะและมีความคงตัวมากกว่าสนิมแดง (Fe_2O_3) อย่างไรก็ตาม แม้จะดูเหมือนไม่รุนแรง แต่หากเกิดสะสมหรือกลายเป็นฉนวน อาจนำไปสู่การกัดกร่อนแบบซ่อนเร้น (ใต้ฟิล์มหรือใต้ตะกอน) ได้ โดยเฉพาะในระบบ ICCP ที่ควบคุมศักย์ไฟฟ้าไม่เหมาะสม (เช่น จ่ายกระแสมากเกินไป - overprotection)

ความเป็นไปได้ของการเกิดสนิมดำในระบบ ICCP

1. กลไกหลักของ ICCP ระบบ ICCP ทำงานโดยจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปยังแอโนด เพื่อทำให้โลหะที่ต้องการป้องกัน (เช่น เหล็ก) ทำหน้าที่เป็นแคโทด ซึ่งช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (ไม่กลายเป็นสนิมแดง Fe_2O_3) โดยหลักแล้วจะไม่ทำให้เกิดสนิม

2. สภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเกิดสนิมดำ สนิมดำ (Fe_3O_4 หรือ magnetite) มักเกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมที่มีออกซิเจนต่ำ เช่น ภายในท่อที่น้ำไม่ไหลเวียน หรือในดินที่มีสภาวะรีดิวซ์สูง ซึ่งแม้จะมีระบบ ICCP แต่ถ้าศักย์ไฟฟ้าถูกปรับให้อยู่ในช่วง Overprotection (ศักย์ไฟฟ้าแคโทดต่ำเกินไป เช่น ต่ำกว่า -1.2 V vs. $Cu/CuSO_4$) ก็อาจทำให้เกิด hydrogen evolution และสร้างสภาวะรีดิวซ์ที่เอื้อต่อการก่อตัวของ Fe_3O_4

การเกิด สนิมเหล็กสีดำ (Fe_3O_4) จะเกิดได้ดีในดินที่มี pH อยู่ระหว่าง 6.5 ถึง 8.5 ซึ่งเป็นช่วงที่เหล็กไม่ถูกกัดกร่อนเร็ว และเอื้อต่อการสร้างฟิล์ม Fe_3O_4 ได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำหรือระบบปิด เช่น ระบบ ICCP ใต้ดิน

3. ความผิดพลาดที่เป็นไปได้ในระบบ ICCP ที่ทำให้เกิดสนิมดำ

- จ่ายกระแสมากเกิน (Overprotection)
- ไม่ตรวจสอบศักย์ไฟฟ้าแคโทดอย่างสม่ำเสมอ
- บริเวณพื้นผิวมีการสะสมของไฮโดรเจนและลดออกซิเจน [14]

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

การออกแบบการทำงานจ่ายแรงดันและกระแสในการป้องกันการเกิดสนิมด้วยไฟฟ้า โดยใช้ความรู้จากทฤษฎีต่างๆ มาประยุกต์ใช้ โดยจ่ายแรงดันและกระแสที่แตกต่างกันเพื่อ ให้ได้มาซึ่ง แรงดันและกระแสที่มีประสิทธิภาพที่สุดในการป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า

3.1 ออกแบบตู้ควบคุมแรงดันและกระแส

ภาพที่ 3-1 ตู้ควบคุมแรงดันและกระแส

3.2 ลักษณะการทดลอง

3.2.1 ทดลองชุดที่ 1 ทดลองหาแรงดันที่เหมาะสมในการทำงานของ ระบบ ICCP หรือการป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า โดยทดลองที่แรงดัน 9V-16 V เป็นจำนวน 7 ชุดโดย มีการแบ่งออกเป็น ดังนี้

1. 9-16 V ที่ควบคุมกระแส 3 ชุด

ตารางที่ 3-1 แรงดันและกระแสที่จ่ายของวงจร Bucks-Boots Converter ที่ควบคุมกระแสได้

แรงดัน (V)	**กระแส (mA)**
9	**50**
12	**50**
16	**50**

2. 9-12 V ที่ไม่ควบคุมกระแส

ตารางที่ 3-2 แรงดันและกระแสที่จ่ายของวงจร Bucks-Boots Converter ที่ควบคุมกระแสไม่ได้

แรงดัน (V)	**กระแส (mA)**
9	**60**
9	**70**
12	**40**

3.2.2 การทดลองชุดที่ 2 ทดลองหาระยะห่างที่เหมาะสม ระหว่างแอโนดและแคโทด โดยใช้แรงดันที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองที่ 1 นำมาทดลอง โดยมีระยะห่าง ดังนี้

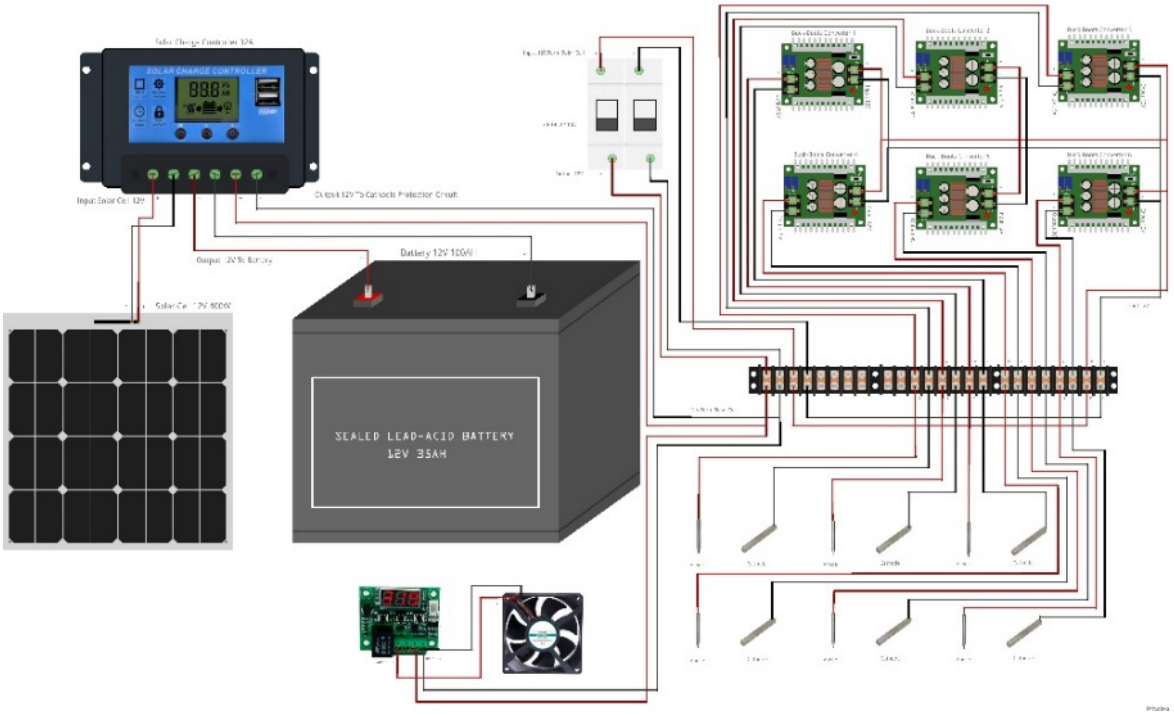
1. ระยะห่างระหว่างแอโนด-แคโทด ที่ 1 เมตร โดยแรงดันอยู่ที่ 9 V กระแสอยู่ที่ 50 mA โดยประมาณ

2. ระยะห่างระหว่างแอโนด-แคโทด ที่ 1.5 เมตร โดยแรงดันอยู่ที่ 9 V กระแสอยู่ที่ 50 mA โดยประมาณ

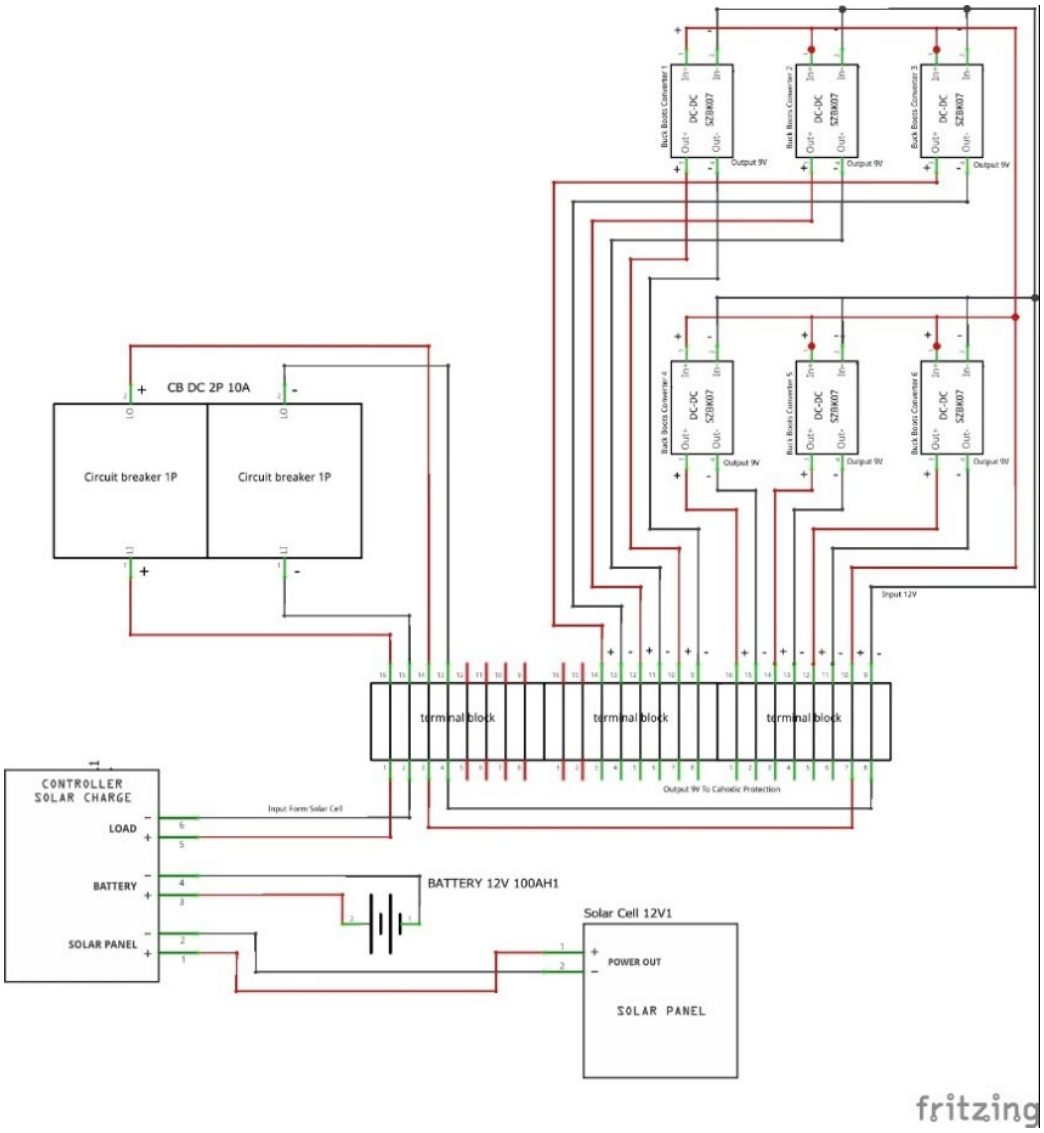
3. ระยะห่างระหว่างแอโนด-แคโทด ที่ 2 เมตร โดยแรงดันอยู่ที่ 9 V กระแสอยู่ที่ 50 mA โดยประมาณ

3.3 การออกแบบการต่อวงจร

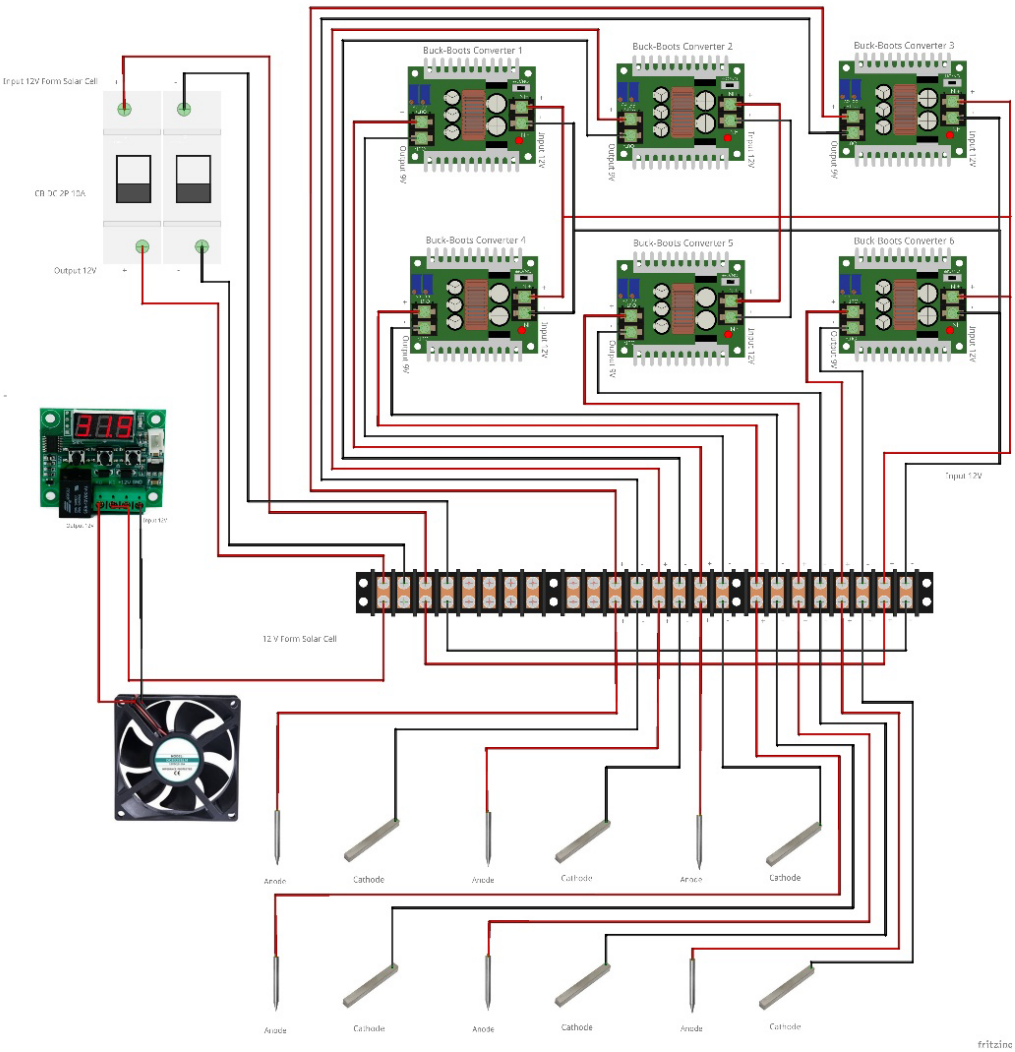
3.3.1 การทดลองชุดที่ 1 ใช้แหล่งจ่ายเป็นระบบโซล่าเซลล์จ่ายให้กับระบบ ICCP และเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานในเวลาไม่มีแดด และสะดวกในการจ่ายไฟให้กับระบบ ICCP เพราะใช้ไฟฟ้ากระแสตรงในการทำงาน ป้องกันการเกิดสนิม โดยการทดลองที่ 1 จะใช้วงจร Buck-Boots Converter จำนวน 6 ชุด โดยแบ่งการทดลองเป็น 7 ชุดดั่งตาราง โดยมีการทดลอง 1 ชุดไม่จ่ายไฟหรือไม่ได้รับการป้องกันการเกิดสนิมด้วยไฟฟ้า (ICCP)



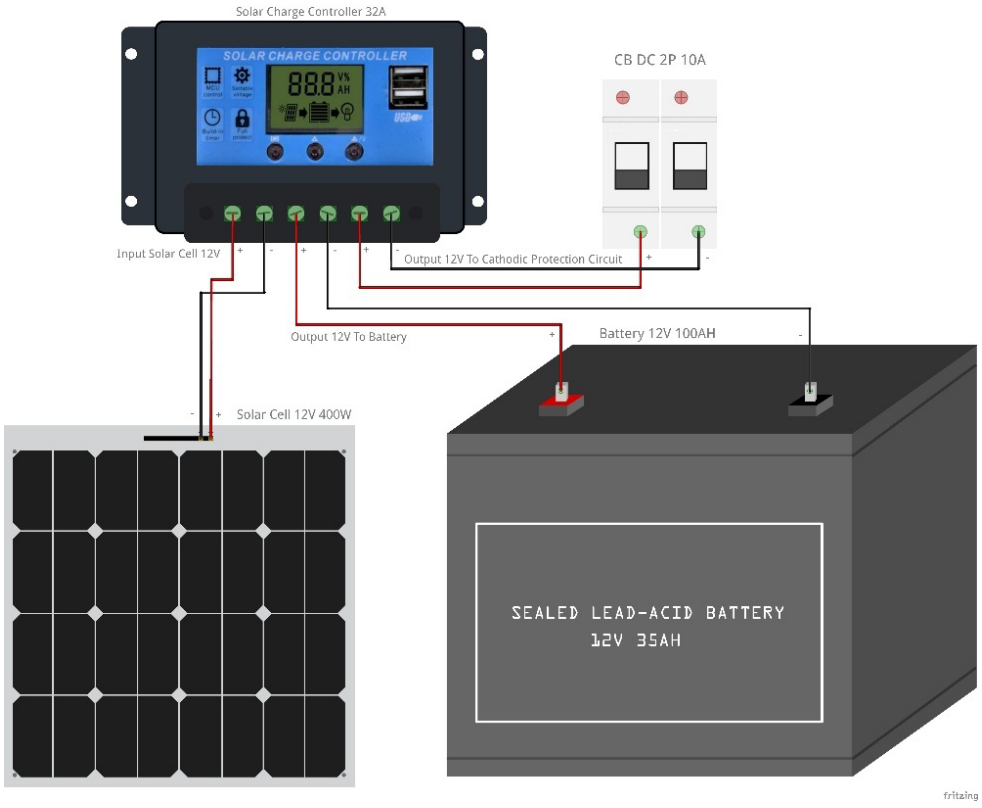
ภาพที่ 3-2 วงจรของระบบ ICCP ในการทดลองที่ 1



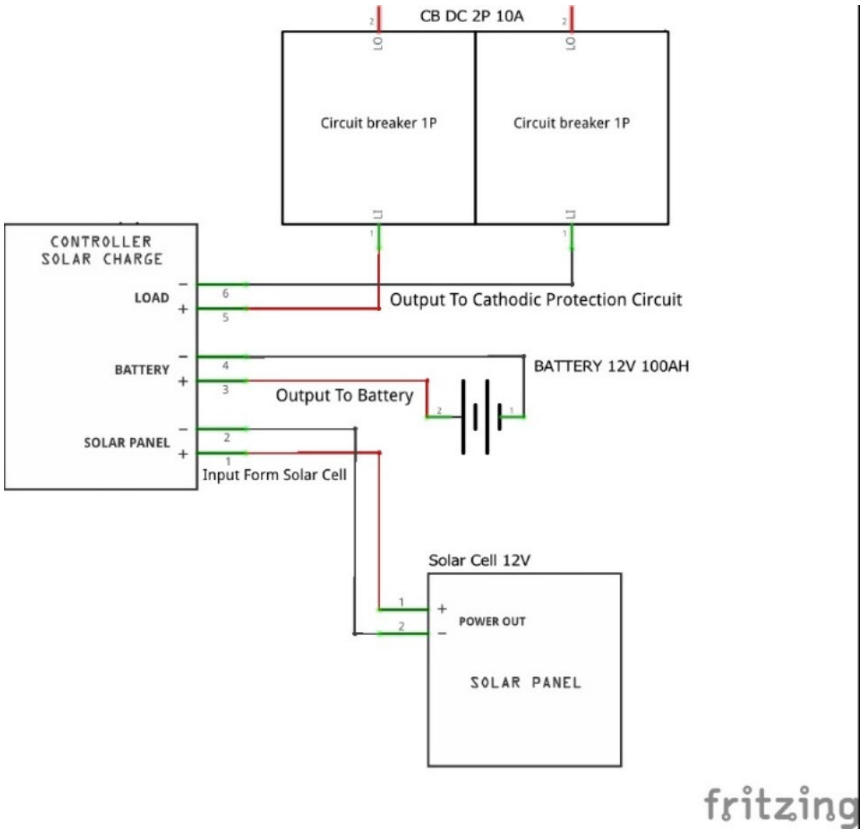
ภาพที่ 3-3 ไดอะแกรมของวงจรเครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า



ภาพที่ 3-4 วงจรจ่ายไฟให้กับแอโนดและแคโทดในการทดลองที่ 1

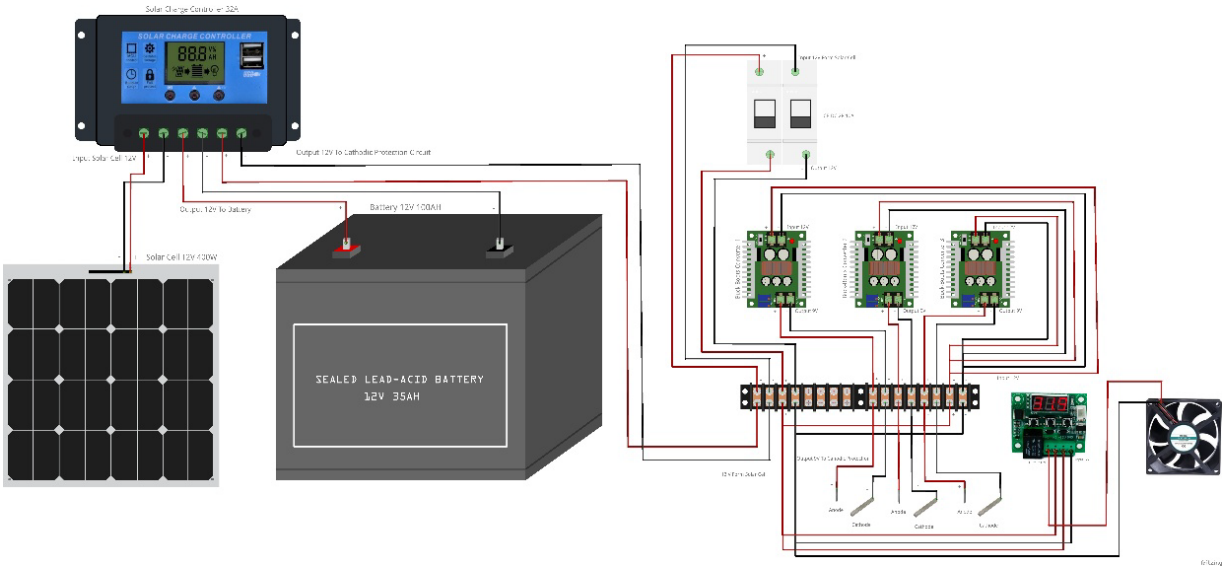


ภาพที่ 3-5 วงจรแหล่งจ่ายของระบบ ICCP ในการทดลองชุดที่ 1

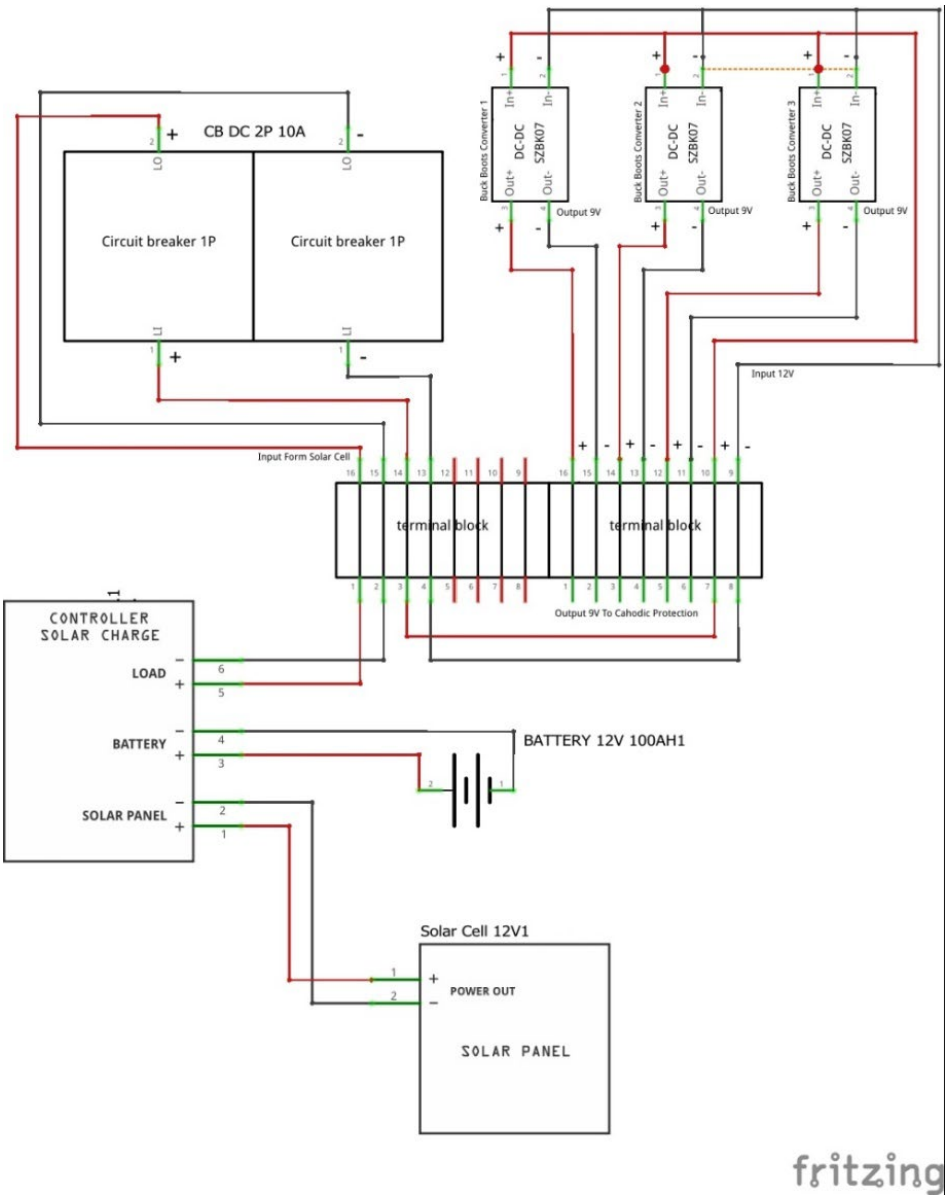


ภาพที่ 3-6 ไดอะแกรมของแหล่งจ่ายของระบบ ICCP ในการทดลองชุดที่ 1

3.3.2 การทดลองชุดที่ 2

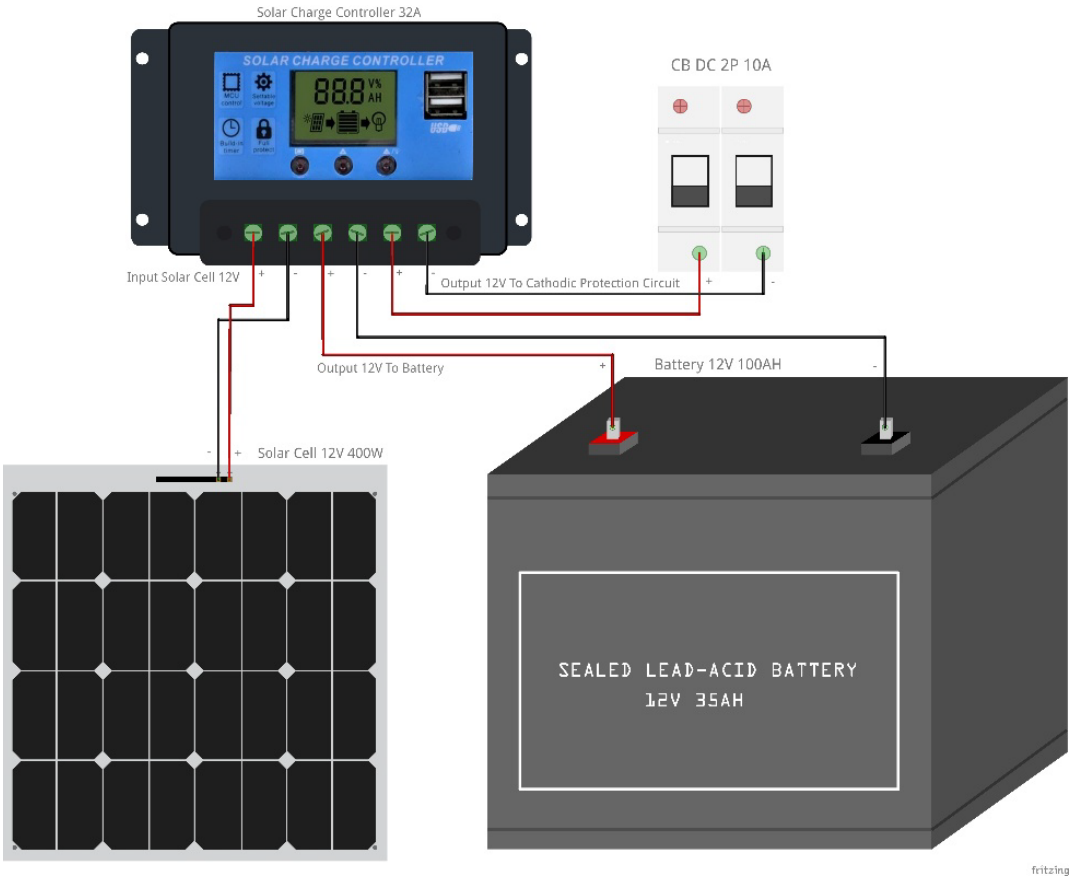


ภาพที่ 3-7 วงจรของระบบ ICCP ในการทดลองชุดที่ 2

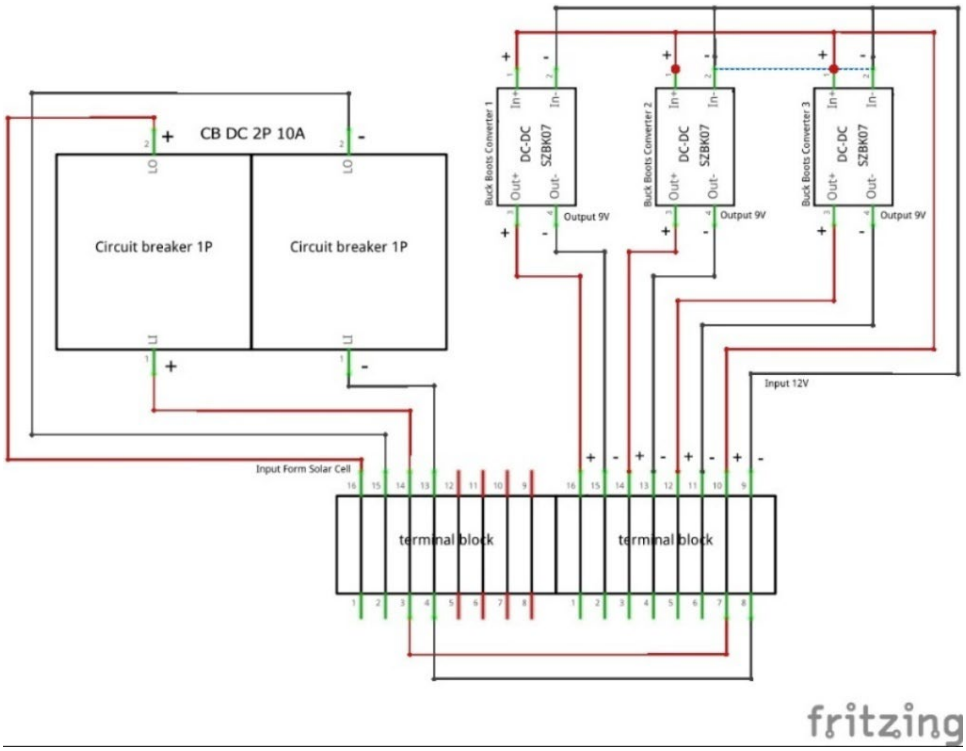


ภาพที่ 3-8 ไดอะแกรมของระบบ ICCP ในการทดลองที่ 2

การทำงานของวงจร เริ่มจากแหล่งจ่ายที่ใช้จะเป็น โซล่าเซลล์ ขนาด 12 V 400 W จ่ายเข้าสู่ Solar Charge Controller โดยจะทำหน้าที่ควบคุมแรงดันและกระแสจากแผงโซล่าเซลล์ให้คงที่ เพื่อจะจ่ายให้กับระบบ ICCP และชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อเก็บกระแสไฟไว้ใช้ในเวลาไม่มีแดด

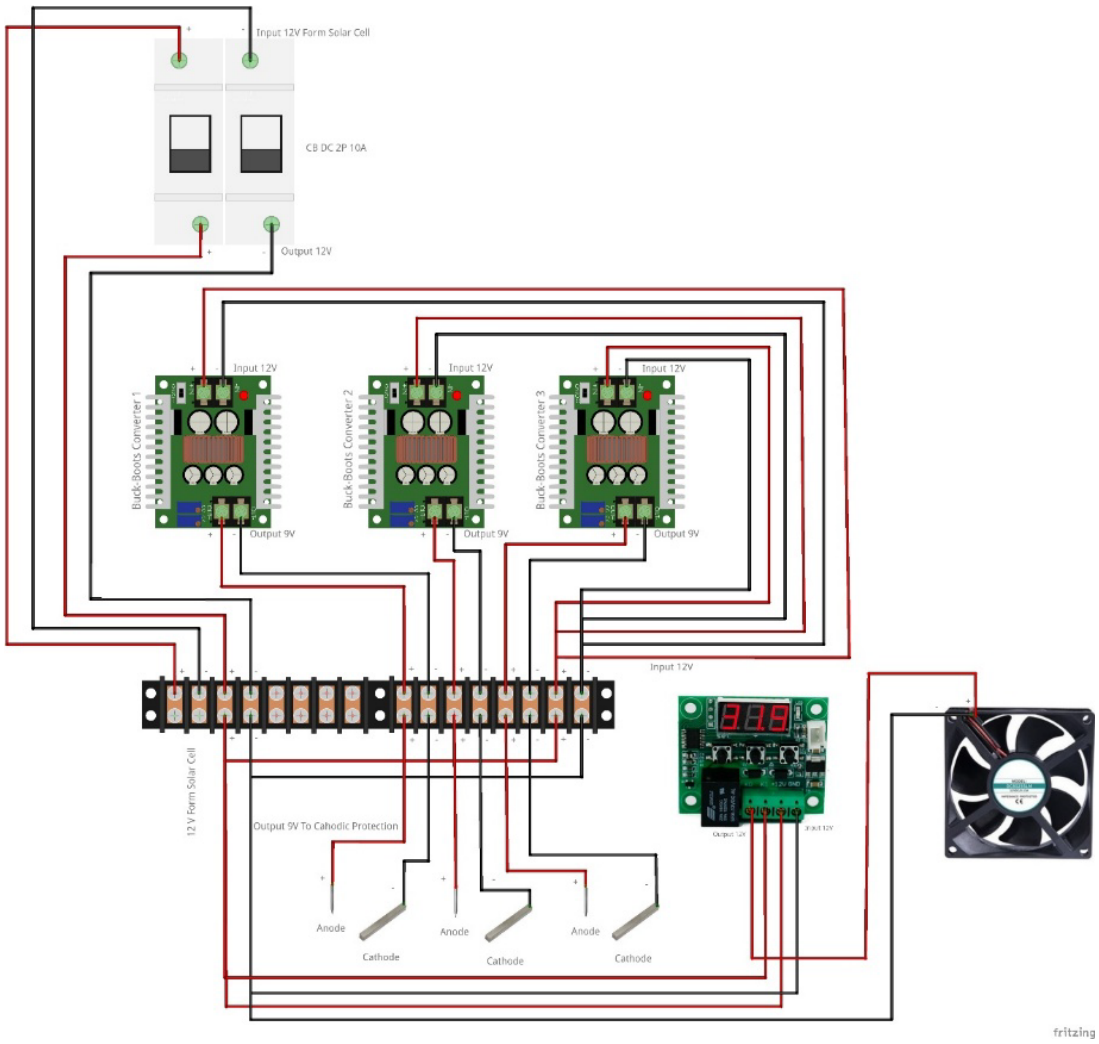


ภาพที่ 3-9 วงจรแหล่งจ่ายของระบบ ICCP ในการทดลองชุดที่ 2

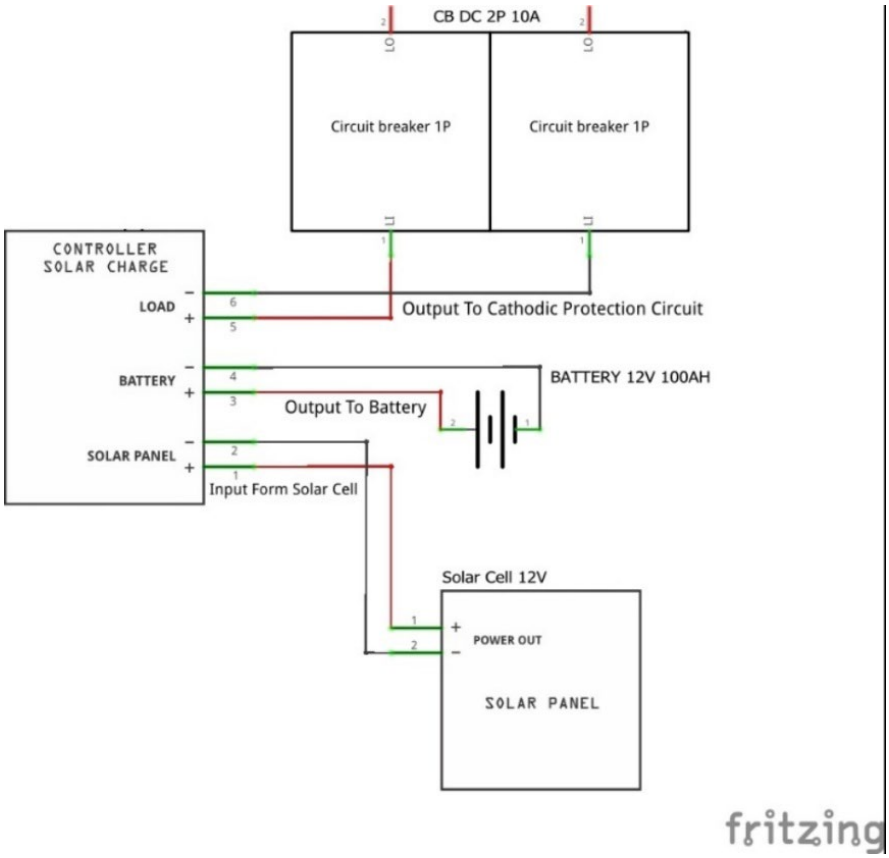


ภาพที่ 3-10 ไดอะแกรมแหล่งจ่ายของระบบ ICCP ในการทดลองชุดที่ 2

จากนั้นกระแสไฟจาก Solar Charge Controller จ่ายให้กับ วงจร Bucks-Boots Converter โดยวงจร Bucks-Boots Converter จะทำการแปลงกระแสและแรงดัน โดยจาการทดลองจะมีวงจร 3 ชุดที่ควบคุมกระแสได้ในการทดลองที่ 1 กำหนดแรงดันไว้ที่ 9-16 V กระแส 50 mA และวงจรที่ควบคุมกระแสไม่ได้อีก 3 ชุด ส่วนในการทดลองที่ 2 จะมีวงจรเหลือ 3 ชุดปรับแรงดันไว้ที่ 9 V ตามผลการทดลองชุดแรกที่ได้แรงดันดีที่สุดคือ 9 V กระแสประมาณ 50 mA โดยกระแสที่กำหนดมาจากการคำนวณหาค่ากระแสจากพื้นผิวเหล็ก จากนั้นกระแสไฟขาออกจากบอร์ด จะนำไปจ่ายให้กับ เหล็กที่ไม่มีการเคลือบป้องกันหรือแคโทด ซึ่งเป็นเหล็กที่ต้องการป้องกันไม่ให้เกิดสนิมหรือป้องกันไม่ให้สูญเสียอิเล็กตรอน โดยจะนำสายขั้วลบไปต่อกับเหล็ก และขั้วบวกจะต่อเข้ากับอลูมิเนียมหรือแอโนด ซึ่งเป็นตัวสูญเสียอิเล็กตรอนแทนแคโทด



ภาพที่ 3-11 วงจรจ่ายไฟให้กับแอโนดและแคโทดในการทดลองที่ 2



ภาพที่ 3-12 ไดอะแกรมของแหล่งจ่าย ICCP ในการทดลองที่ 2

3.4 การวัดค่า EC

การวัดค่า EC ในดินผลการวัดจะเทียบค่าความนำไฟฟ้าได้ ดังตารางนี้

ตารางที่ 3-3 ค่า EC ทีมีผลต่อการนำไฟฟ้าของดิน

ค่า EC (mS/cm)	การนำไฟฟ้าของดิน
< 0.05 mS/cm	ต่ำมาก (Highly resistive)
0.05 – 0.10 mS/cm	ต่ำ (Resistive)
0.10 – 0.25 mS/cm	ปานกลางต่ำ (Moderate–low)
0.25 – 0.50 mS/cm	ปานกลาง (Moderate)
0.50 – 1.00 mS/cm	ดี (Good conductivity)
> 1.00 mS/cm	ดีมาก (Highly conductive)

ผลการวัดค่า EC(Electrical Conductivity) หรือ ค่าความนำไฟฟ้าของดินหรือน้ำ ได้ดังนี้

3.4.1 ชิ้นที่ 1 ระยะห่างระหว่างแอโนดและแคโทด ในระยะ 1 เมตร ได้ค่า EC ออกมาที่ 0.23 ซีเมนส์ต่อเมตร (S/m) แสดงว่า การนำไฟฟ้าของดินอยู่ในระดับ ปานกลาง สามารถกระจายกระแสได้ดี

ภาพที่ 3-13 ผลการวัดค่า EC ในชิ้นที่ 1 ในการทดลองที่ 2

3.4.2 ชิ้นที่ 2 ระยะห่างระหว่างแอโนดและแคโทด ในระยะ 1.5 เมตร ได้ค่า EC ออกมาที่ 0.14 ซีเมนส์ต่อเมตร (S/m) แสดงว่า การนำไฟฟ้าของดินอยู่ในระดับ ปานกลางถึงต่ำ สามารถกระจายกระแสได้ไม่ค่อยดีมาก ควรจะเพิ่มกระแสให้สูงขึ้น เพื่อให้กระแสกระจายได้ถึง

ภาพที่ 3-14 ผลการวัดค่า EC ในชิ้นที่ 2 ในการทดลองที่ 2

3.4.3 ชิ้นที่ 3 ระยะห่างระหว่างแอโนดและแคโทด ในระยะ 1 เมตร ได้ค่า EC ออกมาที่ 0.28 ซีเมนส์ต่อเมตร (S/m) แสดงว่า การนำไฟฟ้าของดินอยู่ในระดับ ปานกลาง สามารถกระจายกระแสได้ดี

ภาพที่ 3-15 ผลการวัดค่า EC ในชิ้นที่ 3 ในการทดลองที่ 2

3.5 การวัดค่า PH ในดิน

ค่า PH ในดินมีผลต่อการเกิดสนิมของเหล็ก เมื่อ ค่า PH เป็นกรดจะทำให้โอกาศสนิมส้มหรือสนิมที่มีการกัดกร่อนเกิดขึ้นได้ง่ายขึ้น แต่หากค่า PH มีค่าเป็นด่างจะมีโอกาสเกิดสนิมดินหรือสนิมดำ ได้ง่ายขึ้น ซึ่งสนิมดำจะไม่มีการกัดกร่อนเนื้อเหล็กแต่จะยึดเกาะผิวของเหล็กแน่น แต่ส่งผลในระยะยาวคือกระแสไฟฟ้าจากระบบ ICCP จะไหลเข้าหาเหล็กได้ยากขึ้น โดยผลการวัดค่า PH จะมีดังนี้

3.5.1 ผลการวัดค่า PH ในการทดลองที่ 1

ค่า PH ที่วัดได้อยู่ที่ 6.4 คือมีสถานะเป็นกลาง

ภาพที่ 3-16 ผลการวัดค่า PH ของการทดลองที่ 1

3.5.2 ผลการวัดค่า PH ในการทดลองที่ 2

3.5.2.1 เหล็กชิ้นที่ 1 ระยะห่างระหว่างแอโนดและแคโทด 1 เมตร จะมีค่า PH อยู่ที่ 8.5 คือมีค่าเป็นด่างอ่อนๆ ทำให้มีโอกาสเกิดสนิมดำขึ้นได้

ภาพที่ 3-17 ผลการวัดค่า PH ในชิ้นที่ 1 ในการทดลองที่ 2

3.5.2.2 เหล็กชิ้นที่ 2 ระยะห่างระหว่างแอโนดและแคโทด 1.5 เมตร จะมีค่า PH อยู่ที่ 6.4 คือมีค่าเป็นกลาง ทำให้มีโอกาสน้อยที่จะเกิดสนิมส้มและสนิมดำ จากการกัดกร่อนของดิน

ภาพที่ 3-18 ผลการวัดค่า PH ในชิ้นที่ 2 ในการทดลองที่ 2

3.5.2.3 เหล็กชิ้นที่ 3 ระยะห่างระหว่างแอโนดและแคโทด 2 เมตร จะมีค่า PH อยู่ที่ 4.5 คือมีค่าเป็นกรด มีโอกาสที่จะเกิดสนิมส้มหรือสนิมที่มีการกัดกร่อนมากกว่าชิ้นที่ 1 และ 2 เนื่องจากดินมีค่าเป็นกรด

ภาพที่ 3-19 ผลการวัดค่า PH ในชิ้นที่ 3 ในการทดลองที่ 2

3.6 รายการอุปกรณ์ของวงจร

ตาราง 3-4 ตารางรายการอุปกรณ์ของวงจร

ลำดับที่	รายการ	จำนวน	รายละเอียด
1.	แผงโซล่าเซลล์	2	12 V 400 W
2.	Buck-Boots Converter	7	5-11 V 50 mA-15 A
3.	Circuit Breaker DC	1	2 Pole 10 AT
4.	วงจรควบคุมพัดลม	1	ควบคุมการเปิด/ปิดพัดลมจากอุณหภูมิ
5.	พัดลม DC	1	ขนาด 12 V
6.	แบตเตอรี่	1	ขนาด 12 V 100 AH
7.	Charger Controller	1	ขนาด 12 V 30 A
8.	ตู้กันน้ำ	1	ขนาด 44x61x23 ซม.
9.	เหล็ก	11	เหล็กหล่อเหลี่ยมตัน ขนาด 1 นิ้ว
10.	อลูมิเนียม	9	ทรงสี่เหลี่ยม ขนาด 12x10x1 ซม.

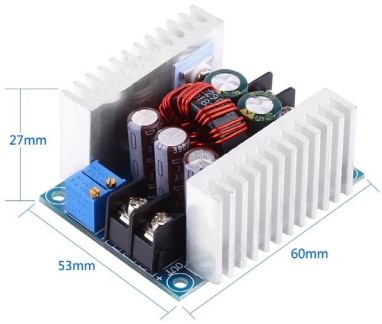
อุปกรณ์ที่สำคัญ

1. วงจร Buck-Boost Converter 12 V

วงจร Buck-Boost Converter เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC) โดยมีคุณสมบัติที่สามารถปรับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นหรือต่ำลงตามความต้องการได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดยมี 2 โหมดหลักคือ:

1. Buck (Step-down): ใช้ลดแรงดันไฟฟ้าขาออกให้ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า

2.Boost(Step-up):ใช้เพิ่มแรงดันไฟฟ้าขาออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าการทำงาน วงจร Buck-Boost จะสลับการทำงานของสวิตช์ระหว่างเปิดและปิดอย่างรวดเร็ว โดยการควบคุมการเปิด-ปิดนี้จะปรับอัตราการแปลงแรงดัน ซึ่งการทำงานขึ้นอยู่กับอัตราการนำไฟฟ้าของสวิตช์ (Duty Cycle)



ภาพที่ 3-20 วงจร Buck-Boost Converter 12 V

2. แท่งอลูมิเนียม

ใช้เป็นตัวนำทางด้านแอโนด เนื่องจากอลูมิเนียมมีคุณสมบัติที่สามารถปล่อยอิเล็กตรอนและสละตัวเองเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของโลหะที่เป็นแคโทดได้ดี

ภาพที่ 3-21 แท่งอลูมิเนียม

3. แบตเตอรี่ Deep Cycle 12 V 100 ah

แบตเตอรี่ Deep Cycle คือแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาเพื่อจ่ายไฟต่อเนื่องและสามารถคายประจุได้ลึก (Deep Discharge) ต่างจากแบตเตอรี่รถยนต์ทั่วไปที่ออกแบบมาเพื่อจ่ายไฟสูงในช่วงเวลาสั้นๆ แบตเตอรี่ Deep Cycle สามารถใช้งานได้หลากหลาย เช่น ระบบโซลาร์เซลล์ รถกอล์ฟ และอื่นๆ ที่ต้องการการจ่ายไฟต่อเนื่อง

ภาพที่ 3-22 แบตเตอรี่ลิเทียม 12 V 100 ah

4. แผงโซล่าเซลล์ ขนาด 12 V 400 W

แผงโซล่าเซลล์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานได้ มีหลายประเภท ซึ่งประเภทที่นิยมกัน คือ แบบใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอน (Silicon Semiconductor) มีหน้าที่เป็นตัวดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนพลังงานเป็นกระแสไฟฟ้าแบบ DC

ภาพที่ 3-23 แผงโซล่าเซลล์ 12 V 400 W

5. ตู้กันน้ำพลาสติก

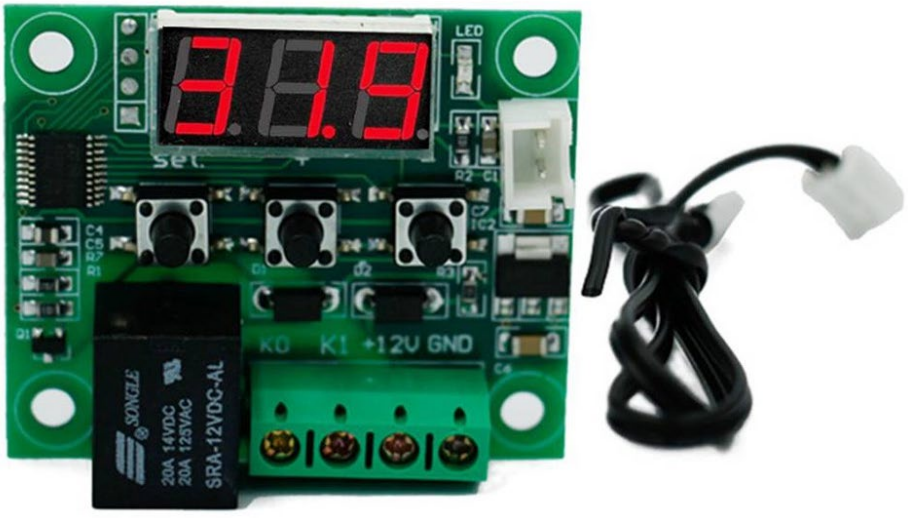
ภาพที่ 3-24 ตู้กันน้ำพลาสติก

6. Circuit Breaker DC 2P 10 A

ภาพที่ 3-25 Circuit Breaker DC

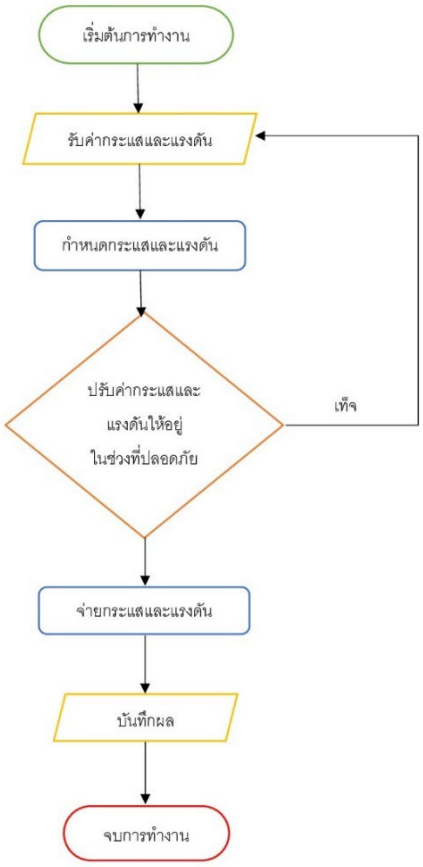
7. บอร์ดควบคุมพัดลมระบายความร้อน

บอร์ดควบคุมพัดลมระบายความร้อน โดยวัดอุณหภูมิภายในตู้ หากอุณหภูมิสูงเกินจากที่ตั้งไว้ 1 องศาเซลเซียส พัดลมจะทำงาน



ภาพที่ 3-26 บอร์ดควบคุมพัดลมระบายความร้อน

3.7 Flow Chart การทำงานของโครงงาน



ภาพที่ 3-27 แสดงการทำงานของ Flow Chart

3.7.1 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 ผลการทดลองที่ 1 โดยการจับภาพจากวิดีโอ

ในโครงงานนี้ใช้กล้องจำนวน 1 ตัว สำหรับการตรวจจับภาพวิดีโอพื้นที่ดาดฟ้าสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า และได้ทำการวัดขนาดพื้นที่ผิวของเหล็ก มีพื้นที่ผิวที่ 290 ตร.ซม ปักลึก13.5 ซม ดังนั้นพื้นที่ผิวที่อยู่ในดินจะอยู่ที่ประมาณ 90 ตร.ซม. เนื่องจากการป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้าแบบ ICCP จะป้องกันได้แค่พื้นผิวเหล็กที่อยู่ในดิน แต่จะไม่สามารถป้องกันพื้นผิวของเหล็กที่อยู่เหนือดินได้

ตารางที่ 4-1 ตารางผลการทดลองที่ 1

ตัวอย่าง	**แรงดัน (V)**	**กระแส (mA)**	**ระยะเวลา (วัน)**	**ผิวที่เป็นสนิม ตร.ซม**	**ผิวที่เป็นสนิม เปอร์เซ็นต์ (%)**
ชุดที่ 1	9	50	30	0	0
ชุดที่ 2	12	50	30	8	9
ชุดที่ 3	16	50	30	90	100
ชุดที่ 4	9	60	30	90	100
ชุดที่ 5	9	40	30	90	100
ชุดที่6	12	70	30	90	100
ชุดที่7	ไม่จ่ายแรงดัน	-	30	90	100

สรุปผลการทดลองที่ 1

จากผลการทดลองที่ 1 จากพื้นผิวที่เป็นสนิม สรุปได้ว่า แรงดันที่ 9 V กระแสอยู่ที่ 50 mA สามารถป้องกันสนิมได้ดีที่สุด เนื่องจากสนิมเหล็กที่อยู่ในดินไม่เกิดขึ้นเลย จากการทดลองทั้งหมด 30 วัน รองลงมาเป็นแรงดันที่ 12 V กระแส 50 mA มีสนิมเกิดที่เหล็กที่จมดินอยู่ 9% ของพื้นผิวเหล็กที่จมในดิน แต่ในชุดการทดลองที่ควบคุมกระแสนั้น ในชุดการทดลองที่แรงดัน 16 V มีการเกิดสนิม 100% จึงสรุปได้ว่า แรงดัน 9 V ดีที่สุด และควบคุมกระแสไว้ที่ 50 mA

ภาพที่ 4-1 ชุดการทดลองทั้ง 7 ชุดวันแรก

ภาพที่ 4-2 ชุดการทดลองทั้ง 7 ชุดหลังติดตั้ง 4 วัน

ภาพที่ 4-3 สภาพชิ้นเหล็กจากการทดลอง 30 วัน

4.2 ผลการทดลองที่ 2

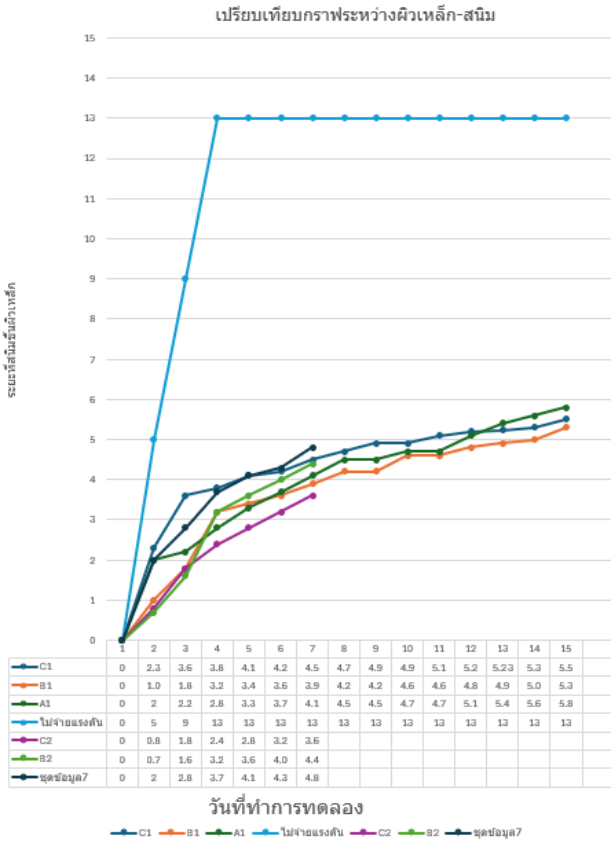
4.2.1 ผลการทดลองโดยเก็บค่าจากพื้นผิวของเหล็กที่เกิดสนิม

ในการทดลองที่ 2 ได้ทำการวัดขนาดพื้นที่ผิวของเหล็ก มีพื้นที่ผิวที่ 280 ตร.ซม. ปักลึก 13 ซม. ดังนั้นพื้นที่ผิวที่อยู่ในดินจะอยู่ที่ประมาณ 90 ตร.ซม. เนื่องจากการป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้าแบบ ICCP จะป้องกันได้แค่พื้นผิวเหล็กที่อยู่ในดิน แต่จะไม่สามารถป้องกันพื้นผิวของเหล็กที่อยู่เหนือดินได้

โดยในการทดลองที่ 2 นี้ ได้ทดลองหาระยะที่ดีที่สุดระหว่างแอโนดและแคโทด โดยได้ทำการทดลอง 4 ชุดการทดลองหลัก คือ

1. A1 ระยะห่าง 2 เมตร
2. B1 ระยะห่าง 1.5 เมตร
3. C1 ระยะห่าง 1 เมตร
4. ไม่ได้รับการป้องกัน

และมี 3 การทดลองเสริม เพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบว่า ชุดหลักเป็นไปตามผลการทดลอง คือชุด A2,B2,C2



ภาพที่ 4-4 กราฟแสดงผลการทดลองที่ 2

จากกราฟ จะแสดงให้เห็นชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองหลักจะทำการทดลอง 15 วัน และมีการทดลองเสริมอีก 7 วัน โดยค่าในตารางจะเป็นพื้นผิวที่เกิดสนิม โดยทำการวัดพื้นผิวที่เกิดสนิมด้วยเวอร์เนียร์ และชุดทดลองที่ไม่ได้ทำการจ่ายไฟ เป็นสนิมทั้งหมด ดูได้จากพื้นที่ที่จุ่มลงไปในดิน 13 ซม. เป็นสนิมทั้งหมด

ตารางที่ 4-2 ผลการทดลองที่ 2

วันที่ทำการทดลอง / พื้นผิวที่เกิดสนิม	ชุด A (ระยะ 2 เมตร) ตร.ซม.	ชุด A คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ %	ชุด B (ระยะ 1.5 เมตร) ตร.ซม.	ชุด B คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ %	ชุด C (ระยะ 1 เมตร) ตร.ซม.	ชุด C คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ %
1	0	0	0	0	0	0
2	2	2.22	1	1.11	2.3	2.56
3	2.2	2.44	1.8	2	3.6	4
4	2.8	3.11	3.2	3.56	3.8	4.22
5	3.3	3.67	3.4	3.78	4.1	4.56
6	3.7	4.11	3.6	4	4.2	4.67
7	4.1	4.56	3.9	4.33	4.5	5
8	4.5	5	4.2	4.67	4.7	5.22
9	4.5	5	4.2	4.67	4.9	5.44
10	4.7	5.22	4.6	5.11	4.9	5.44
11	4.7	5.22	4.6	5.11	5.1	5.67
12	5.1	5.67	4.8	5.33	5.2	5.78
13	5.4	6	4.9	5.44	5.23	5.81
14	5.6	6.22	5	5.56	5.3	5.89
15	5.8	6.44	5.3	5.89	5.5	6.11

และจากการทดลอง เราจะเห็นได้ว่าชุด B มีการเกิดสนิมน้อยที่สุด จึงได้วัดค่าศักย์ไฟฟ้าในชุดการทดลอง B เพิ่มเติม โดยค่าศักย์ไฟฟ้าที่ดี ที่แสดงว่าเหล็กไม่เกิดการกัดกร่อนอยู่ที่ -850 mV ถึง -600 mV โดยจากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าจะได้ ที่ -603.6 mV ผลการวัดศักย์ไฟฟ้าในชุด A มีค่าที่ -534 mV และ ผลการวัดศักย์ไฟฟ้าในชุด C มีค่าที่ -512.3 mV

ภาพที่ 4-5 ชุด A การทดลองวันที่ 2

ภาพที่ 4-6 ชุด A การทดลองวันที่ 5

ภาพที่ 4-7 ชุด A การทดลองวันที่ 7

ภาพที่ 4-8 ชุด A การทดลองวันที่ 10

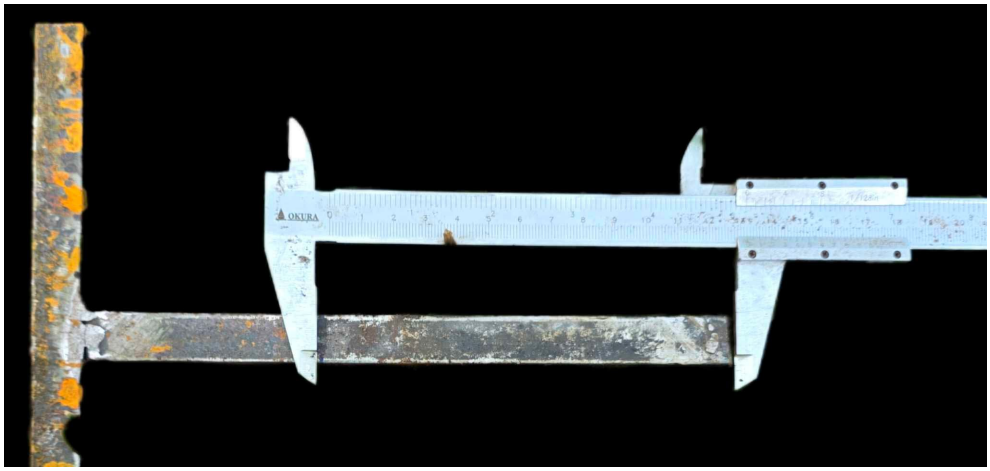
ภาพที่ 4-9 ชุด A การทดลองวันที่ 15

ภาพที่ 4-10 ชุด B การทดลองวันที่ 2

ภาพที่ 4-11 ชุด B การทดลองวันที่ 7

ภาพที่ 4-12 ชุด B การทดลองวันที่ 10

ภาพที่ 4-13 ชุด B การทดลองวันที่ 15



ภาพที่ 4-14 ชุด C การทดลองวันที่ 2

ภาพที่ 4-15 ชุด C การทดลองวันที่ 7

ภาพที่ 4-16 ชุด C การทดลองวันที่ 13

ภาพที่ 4-17 ชุด C การทดลองวันที่ 15

ภาพที่ 4-18 ผลการวัดศักย์ไฟฟ้าในชุด B

ภาพที่ 4-19 ผลการวัดศักย์ไฟฟ้าในชุด A

ภาพที่ 4-20 ผลการวัดศักย์ไฟฟ้าในชุด C

สรุปผลการทดลองที่ 2

จากผลการทดลองที่ 1 แรงดันและกระแสที่ดีที่สุดอยู่ที่ 9 V 50 mA จึงได้นำมาทดลองในการทดลองที่ 2 เพื่อหาระยะที่ดีที่สุด โดยใช้ระยะ 1 เมตร 1.5 เมตร และ 2 เมตร โดยจากผลการทดลองชุด B ระยะ 1.5 เมตรดีที่สุด คือ มีการเกิดสนิมที่ 5.89% ในวันที่ 15 และจากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าในชุดการทดลอง B มีค่าดีที่สุดซึ่งอยู่ที่ -603.6 mV

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ชุดการทดลอง B มีระยะที่ดีที่สุดในการป้องกันสนิม ในระยะห่างระหว่างแอโนดและแคโทดอยู่ที่ 1.5 เมตร

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการทดสอบเครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า (ICCP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการทำงานของการป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า ออกแบบและสร้างระบบป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงบทสรุปผลของโครงงาน ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงงาน รวมทั้งข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาต่อสำหรับผู้สนใจ

5.1 สรุปผลที่ได้จากการทำโครงการ

จากการศึกษาและทำการทดลองโครงการเครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า ทำให้ได้เรียนรู้เกี่ยวกับการเกิดสนิมของเหล็ก และการป้องกันสนิมของเหล็กด้วยไฟฟ้า ซึ่งจะต้องมีการคำนวณหากระแสที่จะจ่ายให้กับโครงสร้างเหล็ก โดยมีปัจจัยในการคำนวณหา คือ พื้นที่ผิวของเหล็ก สภาพแวดล้อม และขนาดของแอโนด หรือตัวสูญเสียอิเล็กตรอนแทน และในการสร้างเครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้าครั้งนี้ มีการทดสอบหาค่าแรงดันที่ดีที่สุดในการป้องกันสนิม และหาระยะห่างระหว่างแอโนดและแคโทด ที่ดีที่สุดในการใช้งาน โดยจะได้ผลออกมาคือ ที่ 9 V ระยะห่าง 1.5 เมตร ดีที่สุด โดยบอร์ดที่เราใช้ปรับแรงดันและกระแสจะเป็น Bucks-Boots Converter DC ซึ่งหาง่ายในท้องตลาด

5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการทำโครงการ

5.2.1 ระยะเวลาในการเกิดสนิม การเกิดสนิมต้องใช้ระยะเวลานาน ถึงจะเห็นผลที่ชัดเจน และไม่มีความแน่นอนในการเกิด ดังนั้นต้องทำการวัดและสังเกตการณ์เกิดสนิมในทุกๆวัน

5.2.2 สภาพแวดล้อมที่ไม่แน่นอน ในการทดสอบเครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า เหล็กที่เราต้องการทดลองไม่ให้เกิดสนิมจะฝังลงในดิน ซึ่งดินที่ฝังลงไปจะมีค่า PH ค่า EC ที่แตกต่างกัน รวมถึงแร่ธาตุต่างๆ ในดิน

5.2.3 อุณหภูมิ เนื่องจากเครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้าจะต้องอยู่ใกล้กับ เหล็กที่เราทดสอบ ซึ่งต้องอยู่ในที่โล่งแจ้ง หรือในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง และทำงานตลอดเวลา

5.2.4 การปรับกระแส ยิ่งเหล็กมีพื้นที่ผิวน้อย กระแสก็ยิ่งน้อยลง ทำให้การควบคุมกระแสทำได้ยาก

5.2.5 หากมีการสลับขั้วแหล่งจ่ายที่จ่ายให้กับแอโนดและแคโทด จะเกิดการกัดกร่อนแทนการป้องกันสนิม

ภาพที่ 5-1 ผลของการสลับขั้วแอโนดและแคโทด

5.3 ข้อควรระวังและเสนอแนะ

5.3.1 ควรศึกษาหลักการทำงานของระบบป้องกันสนิมให้เข้าใจก่อนใช้งาน

5.3.2 ตรวจสอบดูขั้วในการจ่ายไฟเข้าหาแคโทดและแอโนดให้ถูกต้อง ก่อนใช้งาน

5.3.3 หากโครงสร้างมีขนาดใหญ่ขึ้น กระแสก็จะสูง อาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้

5.4 แนวทางในการพัฒนาโครงการ

5.4.1 พัฒนาหรือปรับเปลี่ยน บอร์ด Bucls-Boots Converter ให้สามารถจ่ายกระแสได้มากขึ้น

5.4.2 พัฒนาให้มีซอฟแวร์ในการคำนวณกระแสในการจ่ายให้กับแอโนดและแคโทด ตามพื้นที่ผิว

เอกสารอ้างอิง

[1] Jones, D.A. 1996. จาก Principles and Prevention of Corrosion.

[2] Offshore Structural Corner 2023 หลักการทำงาน ICCP สำหรับแท่นกลางทะเล รูปแบบที่สามารถติดตั้งได้ สืบค้นเมื่อ 2 กันยายน 2567 จาก เว็ป kkurojjanawong.worldpress

[3] Shokoufeh ValadKhani และคณะ 2021 ได้นำเสนอ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสลับเอาต์พุตแบบแปรผันสำหรับการใช้งานป้องกันแคโทดิก จาก IEEE Xplore

[4] Hao Liu,และคณะ 2020 ได้เสนอการออกแบบป้องกันสนิมแบบชั้นเดียวมักนำไปสู่การเกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง จาก IEEE Xplore

[5] Xiaoping Guo และคณะ 2021 ได้นำเสนอ สมรรถนะการกัดกร่อนและกลไกการแปลงสนิมของการเคลือบทนต่อพื้นผิวอีพ็อกซี่ดัดแปลงด้วยกราฟีน โดยเคลือบอีพ็อกซี่ที่ปรับปรุงด้วยกราฟีน จาก Frontiers

[6] Arezki Fekik, 2024 Hardware Implementation of a Solar-Powered Buck-Boost Converter for Enhanced Cathodic Protection Using Texas Instruments C2000 Board จาก IEEE Xplore

[7] SeonYeob Li และคณะ, Korea Gas Corporation (KOGAS) ได้นำเสนอเซนเซอร์แบบฟิล์มบางของเหล็ก (TFER – Thin Film Electrical Resistance) สำหรับตรวจจับอัตราการกัดกร่อนของเหล็ก

[8] A W Peabody,Ronald Bianchetti 2001 จาก Text Book Peabody’s Control of Pipeline corrosion (2nd Edition) กล่าวถึงการคำนวณหากระแสที่จะจ่ายให้กับการป้องกันสนิมของท่อโลหะ

[9] Michael Boxwell 2021 จาก The Solar Electricity Handbook กล่าวถึงการคำนวณหาขนาดแผงโซล่าเซลล์ และอุปกรณ์ต่างๆในระบบโซล่าเซลล์

[10] Jones, D. A. (1996). Principles and Prevention of Corrosion (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. อธิบายกลไกการเกิดสนิมของเหล็กในดินและน้ำ โดยละเอียด พร้อมสมการการเกิดออกซิเดชัน-รีดักชัน

[11] ISO 15589-1:2015. Petroleum, petrochemical and natural gas industries Cathodic protection of pipeline systems Part 1: On-land pipelines. อธิบายเทคนิคการวัดศักย์ไฟฟ้าแบบ "instant-off potential", การใช้เครื่องวัด และมาตรการป้องกัน Overprotection

[12] NACE International. (2013). SP0169-2013: กล่าวถึงหลักการและแนวทางปฏิบัติในการควบคุมการกัดกร่อนจากภายนอกของท่อโลหะที่ฝังดินหรืออยู่ใต้น้ำ โดยเน้นเฉพาะการใช้เทคนิคการป้องกันด้วยกระแสไฟฟ้า (Cathodic Protection - CP) ทั้งแบบ Sacrificial Anode และ Impressed Current Cathodic Protection (ICCP)

[13] NACE International. (2013). SP0169-2013: กล่าวถึงความสำคัญของค่าพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อม เช่น pH, resistivity และ moisture ที่ส่งผลต่อความเร็วในการกัดกร่อนและความเหมาะสมของระบบ ICCP

[14] ASTM G102-89(2015), Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements. กล่าวถึงมาตรฐานการประเมินการกัดกร่อนจากข้อมูลเชิงไฟฟ้า รวมถึงการแยกแยะชนิดของสนิมจากผลทดสอบ

ภาคผนวก ก

งบประมาณ

งบประมาณของเครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า(ICCP)

เครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้าชุดนี้มีงบประมาณในการสร้าง ประมาณ

ตารางที่ ก-1 งบประมาณการสร้างเครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า (ICCP)

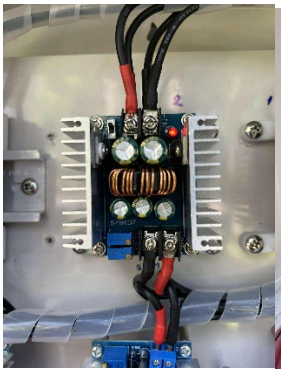
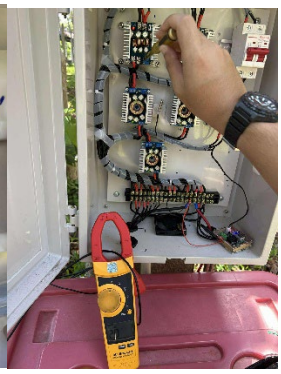
ที่	รายการ	จำนวน	ราคา	ราคารวม
1	วงจร Buck-Boost Converter	6	200	1,200
2	แท่งอลูมิเนียม 22mm.	12	212	2,544
3	แผงโซล่าเซลล์ 800w	1	720	720
4	แบตเตอรี่ 100ah	1	2,050	2,050
5	ตู้กันน้ำพลาสติก	1	443	443
6	Charge Controller	1	301	301
7	บอร์ดควบคุมพัดลมจากอุณหภูมิ	1	250	250
8	พัดลม DC 12V	1	80	80
9	เบรกเกอร์ DC 2P 10A	1	400	400
10	สายไฟ 1x1.5 mm	1	415	415
11	สายไฟโวล่าเซลล์ 4mm²	1	473	473
12	MC4 Connector	2	14	28
13	ขายึดบอร์ด	10	15	150
14	กล้องวงจรปิด	1	415	415
15	เทอร์มินอล 12 ช่อง	2	64	128
รวม				9,597

ภาคผนวก ข

คู่มือแนะนำการใช้งาน

คู่มือการใช้งานเครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า (ICCP)

ตารางที่ ข-1 คำอธิบายการใช้งานเครื่องป้องกันสนิมด้วยไฟฟ้า (ICCP)

ลำดับที่	แสดงรูปภาพ	คำอธิบาย
1		วัดขนาดพื้นผิวของชิ้นงานที่ต้องการป้องกันสนิม
2		ต่อสายขั้วลบเข้ากับเหล็กหรือโครงสร้างที่ต้องการป้องกันสนิม และต่อสายขั้วลบเข้ากับอลูมิเนียมหรือตัวสูญเสียอิเล็กตรอนแทน
3	 	คำนวณขนาดของกระแสตามพื้นผิวของเหล็กหรือโครงสร้าง และประเภทของตัวนำ (ดิน,น้ำ) แล้วปรับแรงดันและกระแสเพื่อจ่ายให้กับ เหล็กหรือโครงสร้าง

4		ตรวจเช็คการไหลของกระแสที่ไหลไปยังแอโนดและแคโทด เพื่อเช็คความถูกต้องของการจ่ายกระแสและขั้วของแอโนดและแคโทดถูกต้อง

ประวัติผู้จัดทำปริญญานิพนธ์

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ : นายต้นธนะ ลิวสกุลวงศ์

สาขา : วิศวกรรมไฟฟ้า

วัน-เดือน-ปีเกิด : วันที่ 20 พฤศจิกายน 2544

สถานที่เกิด : จังหวัดตรัง

ที่อยู่ : 50/23 หมู่ที่ 1 ถนนพิกุลทอง ตำบลย่านตาขาว อำเภอย่านตาขาว จังหวัดตรัง 92140

ประวัติการศึกษา : ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคตรัง ปี 2563

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อ : นายธนวัฒน์ ศรีนอง

สาขา : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

วัน-เดือน-ปีเกิด : วันที่ 20 พฤษภาคม 2545

สถานที่เกิด : จังหวัดสงขลา

ที่อยู่ : 21/3 หมู่ที่ 1 ตำบลวัดจันทร์ อำเภอสทิงพระ จังหวัดสงขลา 90190

ประวัติการศึกษา : ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ ปี 2564