

การเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเกยระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็กกล้า  
ในแหล่งน้ำทะเลไทย

CORROSION RATE COMPARISON OF ALUMINUM AND STEEL LAP JOINT  
IN THAI MARINE ENVIRONMENT

นฤพนธ์ จันทรักษา

NARUPHOL JUNKHOW

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

2553

การเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเกยระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็กกล้า  
ในแหล่งน้ำทะเลไทย

นฤพนธ์ จันทร์ขาว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

2553

**CORROSION RATE COMPARISON OF ALUMINUM AND STEEL LAP JOINT  
IN THAI MARINE ENVIRONMENT**



NARUPHON JUNKHOW

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR  
THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING  
IN INDUSTRIALS ENGINEERING DEPARTMENT OF INDUSTRIALS ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2010

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้าศึกษาอยู่ในคณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือ  
เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีและข้อความต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอกหรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายณฤพนธ์ จันทร์ขาว



หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเกาะระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็กกล้าในแหล่งน้ำทะเลไทย
ชื่อนักศึกษา	นายณฤพนธ์ จันทร์ขาว
รหัสประจำตัว	124970404004-9
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

### บทคัดย่อ

ในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ รอยต่อวัสดุต่างชนิดกันเป็นรอยต่อที่มีความสำคัญ เนื่องจากรอยต่อของวัสดุต่างชนิดทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นซึ่งสามารถแสดงข้อดีของวัสดุแต่ละชนิดออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้หากพิจารณาปัญหาการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ในปัจจุบันได้มีการนำเอาอะลูมิเนียมเข้ามาใช้งานแทนที่ชิ้นส่วนเหล็ก เพื่อลดน้ำหนักของรถยนต์และส่งผลกระทบต่อการใช้เชื้อเพลิงอย่างประหยัด ด้วยเหตุนี้จึงทำให้รอยต่อของอะลูมิเนียมและเหล็กมีความสำคัญในการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในศึกษาอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกล้า AISI 1015 และอะลูมิเนียม AA 1100 ในแหล่งน้ำทะเลไทย ได้แก่ น้ำทะเลฝั่งภูเก็ต ฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด ฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง และฝั่งอ่าวมะนาว หาน้ำหนักที่สูญเสียและอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานทดสอบ การทดลองใช้การทดสอบแบบจุ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยมีระยะเวลาในการทดสอบแต่ละสภาวะที่ 30 วัน ชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบถูกนำไปทำการวิเคราะห์ห้อตราและกลไกการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในรอยต่อเกาะ

ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ การศึกษาอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกล้า AISI1015 และอะลูมิเนียม AA 1100 ในแหล่งน้ำทะเลไทย พบว่าในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต มีการสูญเสีย น้ำหนักของเหล็กและอะลูมิเนียมมากที่สุด คือ 4.4395% และ 10.1460% ตามลำดับ และมีอัตราการกัดกร่อนของเหล็กและอะลูมิเนียมมากที่สุดที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่า 0.2472 มม./ปี และ 0.6622 มม./ปี ตามลำดับ พบธาตุอะลูมิเนียม (Al) ในปริมาณมากที่สุดของเหล็ก จากการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด นั้นแสดงให้เห็นว่าเกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกบนผิวภายในรอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียมจึงเป็นเหตุทำให้อะลูมิเนียมเกิดการกัดกร่อนได้เร็วขึ้น

คำสำคัญ : อะลูมิเนียม, เหล็กกล้าคาร์บอน, น้ำหนักที่สูญเสีย และอัตราการกัดกร่อน

**Thesis Title :** CORROSION RATE COMPARISON OF ALUMINUM AND  
STEEL LAP JOINT IN THAI MARINE ENVIRONMENT

**Student Name :** Mr. Naruphol Junkhow

**Student ID :** 124970404004-9

**Degree Award :** Master of Engineering

**Study Program :** Industrial Engineering

**Academic year :** 2010

**Thesis Advisor** Dr. Kittipong Kimapong

### ABSTRACT

A Joint of different materials type is significantly in car industry because it provides a flexible structure to allow functional efficiency of each material. Although, there is one major disadvantage that is weight which is affected directly to fuel consumption. Recently, Aluminum has been used for replacing structural steel to reduce the weight of car and it can decrease of fuel consumption. Therefore, research and development of a joint between Aluminum and Steel is continuously studied. This research aims to study the corrosion rate of AISI 1015 steel and AA 1100 aluminum lap joint in Thai marine environment as well as examine in the weight loss of the sample. The experiments were conducted under seawater condition in four areas; there are Phuket Marine, Maptaphut Industrial coastal, Laemchabang Industrial coastal and Manao Bay at Prajuab Kirikhan province. In order to pursue the results of this study for 30 days and then an analysis of corrosion rate and its mechanism which were occurred in the lap joint were conducted.

The results of this study indicated that the maximum weight loss of AISI 1015 steel and AA 1100 aluminum lap joint were occurred at Phuket Marine condition which loss 4.4395% and 10.1460% respectively. Moreover, it also indicated that the maximum corrosion rate of AISI 1015 steel and AA 1100 aluminum lap joint were occurred under the condition of Phuket Marine at 30 days which were 0.2472 mm/year and 0.6622 mm/year respectively. In addition, the results of Scanning Electron Microscope approach was found that there are many aluminum compound (Al) on metal surface which is caused from the galvanic corrosion in the inner zone of AISI 1015 steel and AA 1100 aluminum lap joint. This was caused the faster corrosion of AA 1100 aluminum.

**Keywords :** Aluminium , Carbon Steel, weight loss and corrosion rate

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอกราบขอบพระคุณอย่างยิ่งต่ออาจารย์ที่ปรึกษา ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิดในการดำเนินวิทยานิพนธ์และการเขียนวิทยานิพนธ์ตลอดจนการแก้ปัญหา อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล ดร.สมศักดิ์ อธิธิโสภณกุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี กรรมการผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำแนวคิด ในการวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่และอาจารย์ในสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้การสนับสนุนทางการเตรียมน้ำ ทะเลในการทดสอบ ทำนี้ขอขอบคุณสมาชิกกลุ่มพัฒนากระบวนการผลิตวัสดุทุกท่านที่สนับสนุน ร่วมคิดร่วมสร้างจนทำให้งานสำเร็จลุล่วงด้วยดี

นฤพนธ์ จันทร์ขาว

3 ตุลาคม 2553



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel)	3
2.2 อะลูมิเนียม (Aluminum)	5
2.3 การกัดกร่อน (Corrosion)	6
2.4 น้ำทะเล	16
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อน	17
2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกาว	19
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน	24
3.1 แผนการดำเนินงาน	24
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	25
บทที่ 4 ผลการทดลอง	39
4.1 อิทธิพลของน้ำทะเลฝั่งภูเก็ตต่ออัตราการกัดกร่อนระหว่างอะลูมิเนียม AA 1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015	39
4.2 อิทธิพลของน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาตาพุดต่ออัตราการกัดกร่อนระหว่างอะลูมิเนียม AA 1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015	45
4.3 อิทธิพลของน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบังต่ออัตราการกัดกร่อนระหว่างอะลูมิเนียม AA 1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015	50



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 อิทธิพลของน้ำทะเลอำมะนาวต่ออัตราการกัดกร่อนระหว่างอะลูมิเนียม AA 1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015	55
4.5 การทดสอบปริมาณธาตุบนผิวชิ้นงานทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบ ส่องกวาด	63
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	72
5.1 สรุปผล	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	
ก ตารางผลการทดลอง	77
ข ผลงานวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่	91
ประวัติผู้เขียน	100



## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียม AA 1100	6
2.2	ส่วนประกอบของเกลือในน้ำทะเล	17
3.1	ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทดสอบ	25
4.1	ปริมาณธาตุภายในและภายนอกของรอยต่อเกลยจากการวิเคราะห์การกระจายตัวของรังสีเอ็กซ์ (X-ray dispersive spectrometry) ของชิ้นงานทดสอบในน้ำทะเลแหล่งต่างๆ	63



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโลหะในกลุ่มเหล็ก โดยตัวเลขระบุถึงเปอร์เซ็นต์คาร์บอนของเหล็ก	4
2.2	การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ	7
2.3	การกัดกร่อนภายในผลึก	8
2.4	การกัดกร่อนแบบกัลวานิก	9
2.5	การกัดกร่อนแบบเซาะลึก	9
2.6	การกัดกร่อนในมุมอับ	10
2.7	การกัดกร่อนแบบรูเข็ม	11
2.8	การกัดกร่อนเนื่องจากจุลินทรีย์	12
2.9	การกัดกร่อนแบบสึกกร่อน	12
2.10	การกัดกร่อนแบบฉุครูด	13
2.11	การกัดกร่อนแบบรูพรุน	14
2.12	การกัดกร่อนจากความเค้นรอยร้าวบนผิวโลหะ CuZn 20 Al บริเวณรอยต่อหมายเลขที่อยู่ในบรรยากาศแอมโมเนียเจือปน	15
2.13	แสดงถึงผลของอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้ารีดเย็น 0.06% คาร์บอนในสารละลายเกลือคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส	18
2.14	ภาพแสดงอำนาจแยกแยะของ SEM	19
2.15	แผนภาพแสดงการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด	20
2.16	แผนภาพแสดงสัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับสาร	21
2.17	ภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิ	21
2.18	ภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ	22
2.19	สเปกตรัมของเทคนิคเอเนอร์จีดีสเพอร์ซีฟสเปกโตรเมตรี (EDS)	22
3.1	แผนภาพการไหลกระบวนการในการทำวิทยานิพนธ์	24
3.2	ขนาดของชิ้นงานทดสอบ	25
3.3	ขีดผิวของชิ้นงานทดสอบ	26
3.4	ล้างชิ้นงานด้วยอะซิโตน	26
3.5	เป่าชิ้นงานด้วยเครื่องเป่าลมร้อน	27

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.6	ชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทำการทดสอบ	27
3.7	ลักษณะการต่อเกยวัสดุพร้อมทำการทดสอบ	27
3.8	การหาพื้นผิวชิ้นงานทดสอบ	28
3.9	ชุดทดสอบการกัดกร่อน	29
3.10	ขนาดของแผ่นสังกะสีก่อนทำการพับขึ้นรูป	30
3.11	อ่างให้ความร้อนที่เจาะรูเรียบร้อยแล้ว	31
3.12	อ่างให้ความร้อนที่ทำการติดตั้ง (Heater) แล้ว	31
3.13	ชุดควบคุมอุณหภูมิในการทดสอบการกัดกร่อน	32
3.14	แบบตู้ทดสอบการกัดกร่อน	32
3.15	ตู้กระจกที่ติดตั้งแผ่นยางกันอากาศเข้าออก	33
3.16	ฝาปิดตู้กระจก	33
3.17	ท่อระบายอากาศ	34
3.18	เครื่องปั๊มลมขนาดเล็กกับท่ออากาศเข้า	34
3.19	จุกยาง	34
3.20	เทอร์โมมิเตอร์	34
3.21	ท่ออากาศเข้า	35
3.22	อุปกรณ์สำหรับแขวนชิ้นงานทดสอบ	35
3.23	ลักษณะตะขอแขวนชิ้นงาน	35
3.24	ชุดทดสอบการกัดกร่อน	36
3.25	ชิ้นงานทดสอบที่แขวนพร้อมทำการทดสอบ	36
3.26	ชุดทดสอบการกัดกร่อน	37
3.27	การเป่าลมชิ้นงานทดสอบให้แห้ง	37
3.28	การกำจัดออกไซด์ของวัสดุทดสอบ	38
3.29	ทำความสะอาดด้วยอะซิโตนหลังกำจัดออกไซด์	38
4.1	ผิวชิ้นงานของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต	40
4.2	ผิวชิ้นงานของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต	41

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบ ในน้ำทะเลฝิ่งภูเก็ตของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015	42
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบ ในน้ำทะเลฝิ่งภูเก็ตของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100	42
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝิ่ง ภูเก็ตของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015	44
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝิ่ง ภูเก็ตของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100	44
4.7	ผิวชิ้นงานของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝิ่ง อุตสาหกรรมมาบตาพุด	45
4.8	ผิวชิ้นงานของแผ่นอะลูมิเนียม AA1100 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝิ่งอุตสาหกรรม มาบตาพุด	46
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบ ในน้ำทะเลฝิ่งอุตสาหกรรมมาบตาพุดของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015	47
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบ ในน้ำทะเลฝิ่งอุตสาหกรรมมาบตาพุดของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100	48
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝิ่ง อุตสาหกรรมมาบตาพุดของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015	49
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝิ่ง อุตสาหกรรมมาบตาพุดของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100	49
4.13	ผิวชิ้นงานของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝิ่ง อุตสาหกรรมแหลมฉบัง	51
4.14	ผิวชิ้นงานของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝิ่งอุตสาหกรรม แหลมฉบัง	52
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบ ในน้ำทะเลฝิ่งอุตสาหกรรมแหลมฉบังของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015	53
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบ ในน้ำทะเลฝิ่งอุตสาหกรรมแหลมฉบังของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100	53

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเล ฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบังของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015	54
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเล ฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบังของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100	55
4.19	ผิวชิ้นงานของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่ง อำมมะนาว	56
4.20	ผิวชิ้นงานของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอำมมะนาว	57
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการ ทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอำมมะนาวของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015	58
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการ ทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอำมมะนาวของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100	58
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเล ฝั่งอำมมะนาวของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015	59
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเล ฝั่งอำมมะนาวของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100	60
4.25	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบอัตราการกัดกร่อน ของเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 จากการทดสอบในน้ำทะเลแหล่งต่างๆ	61
4.26	การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบอัตราการกัดกร่อน ของอะลูมิเนียม AA 1100 จากการทดสอบในน้ำทะเลแหล่งต่างๆ	62
4.27	ภาพถ่ายพื้นผิวชิ้นงานทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน (ฝั่งภูเก็ต)	64
4.28	ภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานทดสอบที่กำลังขยาย 200 เท่า (ฝั่งภูเก็ต)	65
4.29	ภาพถ่ายพื้นผิวชิ้นงานทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน (ฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด)	66
4.30	ภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานทดสอบที่กำลังขยาย 200 เท่า (ฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด)	66
4.31	ภาพถ่ายพื้นผิวชิ้นงานทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน (ฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง)	67
4.32	ภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานทดสอบที่กำลังขยาย 200 เท่า (ฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง)	68
4.33	ภาพถ่ายพื้นผิวชิ้นงานทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน (ฝั่งอำมมะนาว)	68
4.34	ภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานทดสอบที่กำลังขยาย 200 เท่า (ฝั่งอำมมะนาว)	69

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในงานทางด้านอุตสาหกรรม ประเทศไทยได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะกลุ่มของวัสดุที่จะนำเข้ามาใช้ในงานโครงสร้างต่างๆ ไปของอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเกี่ยวกับการขนส่ง อุตสาหกรรมยานยนต์ การต่อเรือ เป็นต้น ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้งานในที่นี้กล่าวได้ว่ามีความสำคัญ เป็นอันดับหนึ่งและสองตามลำดับ คือเหล็กและอะลูมิเนียม โดยทั่วไปแล้วเหล็กและอะลูมิเนียมจะมีสภาวะการกัดกร่อนไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับสภาพการนำไปใช้งานของชิ้นส่วนนั้นๆ เช่น ในสภาวะที่มีอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง หรือในสภาวะที่มีการนำเอาวัสดุต่างชนิดกันมาเชื่อมหรือติดเข้าด้วยกัน [1]

การกัดกร่อน (Corrosion) คือ การที่โลหะถูกทำลายด้วยกระบวนการทางเคมี ไฟฟ้าเคมี หรือการปฏิสัมพันธ์กันทางโลหะวิทยา (Metallurgical interaction) ระหว่างวัสดุกับสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปแล้วกระบวนการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ แต่ดำเนินต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ในบางกรณีการกัดกร่อนเกิดขึ้นเพียงรอยตื้นหรือรอยหมองบางๆ บนผิวโลหะ ซึ่งเป็นตัวหน่วงการเกิดการกัดกร่อนในช่วงต่อไปด้วยซ้ำ แต่ในบางกรณีรอยแผลอันเกิดจากการกัดกร่อนมีลักษณะกว้างและลึก บริเวณรอบๆ เป็นรูพรุน เช่นนี้ยากที่จะหาทางป้องกันหรือยับยั้งอีกต่อไป [2] จะเห็นได้ว่าในการนำรอยต่อของวัสดุชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดไปใช้งานในสภาวะบรรยากาศต่างๆ เช่น สารละลายของเหลว น้ำธรรมชาติ ความชื้นในอากาศ ฝน หรือ สารละลายที่สร้างขึ้น ล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดปัญหาการกัดกร่อน [3]

อย่างไรก็ตามเนื่องจากอะลูมิเนียมยังมีข้อจำกัดทางด้านสมบัติบางประการทำให้มีการนำเอาอะลูมิเนียมมาใช้งานร่วมกับเหล็ก ด้วยเหตุนี้รอยต่อของวัสดุต่างชนิดจึงมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม เพราะรอยต่อของวัสดุต่างชนิด ทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่นและสามารถนำข้อดีของวัสดุแต่ละชนิดมาใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้น ซึ่งทำให้รอยต่อของอะลูมิเนียมและเหล็กมีการใช้งานเพิ่มมากขึ้น ในอดีตมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับรอยต่อชนิดต่างๆ ของวัสดุชนิดเดียวกันรอยต่อโดยเฉพาะระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็ก มีงานวิจัยที่รายงานผลการทดลองไว้ไม่มากนัก จึงได้มีการนำมาทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสภาวะที่มีการกัดกร่อน โดยเฉพาะสภาวะในน้ำทะเล เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับอัตราการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในวัสดุสองชนิดนี้ เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมที่จะนำมาแก้ไขปัญหาก็อาจเกิดขึ้นในรอยต่อของเหล็กกับอะลูมิเนียมต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ศึกษาอัตราการกัดกร่อนระหว่างอะลูมิเนียม AA 1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 ในน้ำทะเลต่างๆ ในประเทศไทย

1.2.2 ศึกษากลไกการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อเกาะระหว่างอะลูมิเนียม AA 1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 ในน้ำทะเลต่างๆ ในประเทศไทย

## 1.3 ขอบเขต

1.3.1 วัสดุตัวอย่างคือ ชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 ขนาด 20x40x1 มิลลิเมตร และชิ้นงานอะลูมิเนียม AA 1100 ขนาด 20x40x1 มิลลิเมตร ต่อเกยกันที่ระยะ 20 มิลลิเมตร

1.3.2 จำนวนวัสดุตัวอย่างชนิดละ 41 ชิ้น ต่อการทดลองใน 1 เดือน ต่อ 1 น้ำทะเล

1.3.3 ทดสอบน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต ทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด ทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง และทะเลฝั่งอ่าวมะนาว

1.3.4 ทดสอบด้วยชุดทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่มระบบปิดที่อุณหภูมิของน้ำทะเล 40 องศาเซลเซียส

1.3.5 วิเคราะห์ผิวชิ้นงานทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงอัตราการกัดกร่อนระหว่างอะลูมิเนียม AA 1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 ในน้ำทะเลต่างๆ ในประเทศไทย

1.4.2 เป็นแนวทางในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กและอะลูมิเนียมในน้ำทะเลไทย ได้ในอนาคต



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) [4]

เหล็กกล้าคาร์บอน คือ เหล็กกล้าที่มีคาร์บอนเป็นธาตุผสมหลัก และมีปริมาณธาตุผสมอื่นๆ อยู่ในปริมาณน้อย ตามนิยามของมาตรฐาน AISI (American Iron and Steel Institute) จำกัดปริมาณธาตุผสมไว้ดังนี้ แมงกานีสไม่เกิน 1.65% ซิลิกอนไม่เกิน 0.60% ทองแดงไม่เกิน 0.60% และปริมาณของฟอสฟอรัสรวมกับกำมะถันไม่เกิน 0.05% เราถือได้ว่า เฉพาะธาตุคาร์บอนเท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของเหล็กกล้าชนิดนี้ ธาตุผสมในเหล็กกล้าประเภทนี้ นอกจากคาร์บอนแล้วจะมี ซิลิกอนและแมงกานีส ส่วนกำมะถัน และฟอสฟอรัสจะอยู่ในรูปของสารมลทิน

การจำแนกชนิดของเหล็กกล้าคาร์บอนบางครั้งอาศัยปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่เป็นเกณฑ์ในการแบ่ง ได้แก่

1. เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ มีคาร์บอนต่ำกว่า 0.20% เป็นกลุ่มที่ใช้งานกันอย่างกว้างขวางมาก เช่น อุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ จะใช้ทำชิ้นส่วนที่เป็นเหล็กแผ่นบางต่างๆ หรือเหล็กแผ่นขนาดใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป เหล็กกล้าชนิดนี้จะมีความแข็งแรงน้อย เหนียว และแปรรูปได้ง่าย ใช้กับงานที่ไม่ต้องการความแข็งแรงสูง

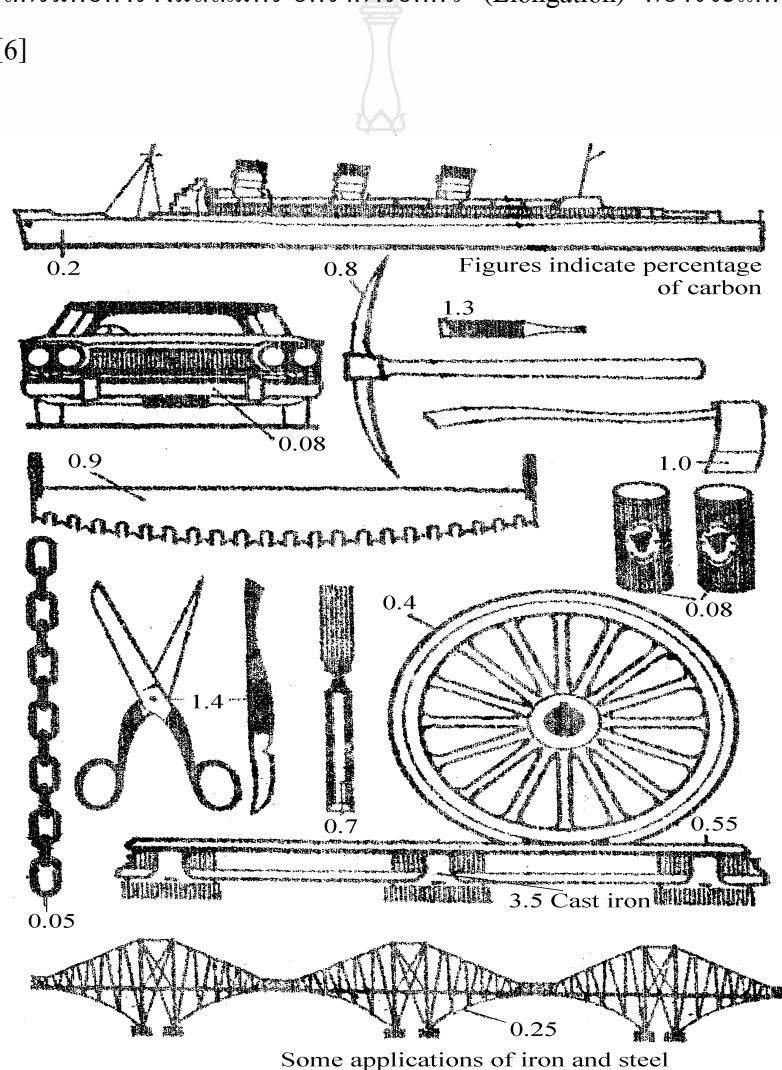
2. เหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง มีปริมาณคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.50% เป็นกลุ่มที่มีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น เพลาข้อเหวี่ยง และชิ้นส่วนข้อต่อต่างๆ

3. เหล็กกล้าคาร์บอนสูง มีปริมาณคาร์บอนมากกว่า 0.5% มีความแข็งแรง แข็งแกร่ง และความแข็งแรงสูง ใช้ทำสปริงและเครื่องมือตัดต่างๆ [5]

สมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าคาร์บอนจะขึ้นตรงกับประเภทและปริมาณของโครงสร้างจุลภาคภายในเนื้อเหล็กนั้นๆ เฟอไรต์มีกำลังวัสดุและความแข็งแรงไม่สูงนักแต่มีความเหนียว ซีเมนไตต์มีความแข็งแรงแต่เปราะ เพิร์ลไลท์มีกำลังวัสดุสูงและสามารถยึดตัวได้ดีภายใต้แรงดึง และท้ายสุดออกสเตนไนต์มีกำลังวัสดุต่ำ นิ่ม สามารถรีดให้เข้ารูปได้ง่าย เป็นต้น ส่วนประเภทและปริมาณของโครงสร้างจุลภาคจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าคาร์บอนนั้นๆ โดยรูปที่ 2.1 จะแสดงตัวอย่างการใช้งานของโลหะประเภทเหล็ก โดยระบุเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนจากเหล็กที่นำไปใช้ทำชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ [4]

ลักษณะทั่วไปเหล็กคาร์บอน (Carbon steel) เป็นวัสดุช่างประเภทเดียวที่มีคุณสมบัติทางความแข็งแรง (Strength) และความอ่อนตัวจากที่ทราบว่าธาตุคาร์บอนเป็นธาตุที่อยู่ได้ในเหล็กกล้า

สองลักษณะคือ ในสภาพสารละลายของแข็ง (Solid solution) และธาตุคาร์บอนอ่อนตัว (Ductility) ที่เปลี่ยนแปลงได้กว้างมากตามปริมาณของคาร์บอนที่มีอยู่ในเหล็ก ทำให้เหมาะที่จะเลือกใช้ได้ตามความเหมาะสมของลักษณะงาน ดังตัวอย่างเช่นในเหล็กคาร์บอน ถ้ามีปริมาณของคาร์บอนต่างกันเพียงเล็กน้อยจะทำการชุบแข็งด้วยวิธีแตกต่างกันหรือทำการขึ้นรูป (Mechanical forming) แตกต่างกันอีกอาจจะทำให้เหล็กมีความแข็งแรงแตกต่างกันได้อย่างมากมาย คืออาจจะแปรค่าความแข็งแรงได้ถึงจำนวน 10 กิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตร อัตราการยืดตัว (Elongation) ก็อาจจะแตกต่างกันได้ตั้งแต่ 50% ถึง 0.1% [6]



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ที่ทำจากโลหะในกลุ่มเหล็ก โดยตัวเลขระบุถึงเปอร์เซ็นต์คาร์บอนของเหล็ก [4]

## 2.2 อะลูมิเนียม (Aluminium) [7]

อะลูมิเนียม เป็นโลหะที่ได้รับความนิยมใช้งานมากที่สุดในกลุ่มโลหะ ทั้งนี้เพราะ อะลูมิเนียมมีสมบัติที่ดีหลายประการ ดังนี้

1. มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา และมีกำลังวัสดุต่อน้ำหนักสูง
  2. มีความเหนียวมาก สามารถขึ้นรูปด้วยกรรมวิธีต่างๆ ได้ง่าย และรุนแรง โดยไม่เสี่ยงต่อการแตกหัก
  3. จุดหลอมเหลวต่ำ หล่อหลอมง่าย และมีอัตราการไหลตัวสูง
  4. ค่าการนำไฟฟ้า คิดเป็น 64.94% ตามมาตรฐานของ IACS (International Association of Classification Societies) ซึ่งไม่สูงนัก แต่เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ดังนั้นจึงใช้เป็น ตัวนำไฟฟ้า ในกรณีที่กำลังถึง เรื่องน้ำหนักเป็นสำคัญ
  5. เป็นโลหะที่ไม่มีพิษต่อร่างกาย และไม่มีค่าการนำความร้อนสูง
  6. ผิวหน้าของ อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ มีดัชนีการสะท้อนแสงสูงมาก จึงใช้ทำแผ่นสะท้อนในแพลตฟอร์มรูป งานสะท้อนแสงในโคมไฟ และไฟหน้ารถยนต์
  7. ทนทานต่อการเกิดเป็นสนิม และการผุกร่อน ในบรรยากาศที่ใช้งานโดยทั่วไปได้ดีมาก แต่ไม่ทนทาน ต่อการกัดกร่อนของกรดแก่ และด่างต่างๆไป
  8. ซื้อง่าย ในท้องตลาด และราคาไม่แพงนัก
  9. เป็นโลหะที่ยังมีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง
- การผสมโลหะอื่น เช่น เหล็ก (Iron) ซิลิกอน (Silicon) สังกะสี (Zinc) ทองแดง (Copper) แมกนีเซียม (Magnesium) ดีบุก (Tin) ไททานเนียม (Titanium) ลิเทียม (Lithium) โครเมียม (Chromium) ทังสแตน (Tungsten) แมงกานีส (Manganese) นิกเกิล (Nickel) เซอร์โคเนียม (Zirconium) และ โบรอน (Boron) เป็นต้น เพียงเล็กน้อยทำให้อะลูมิเนียมมีสมบัติเฉพาะที่สามารถนำไปใช้กับงานประเภทต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้น [7]

### 2.2.1 มาตรฐานอะลูมิเนียมเกรด 1100 [7]

สมบัติ อะลูมิเนียม 1100 คืออะลูมิเนียมบริสุทธิ์ในทางการค้า เป็นอะลูมิเนียม ที่มีปริมาณอะลูมิเนียมต่ำสุด 99.3% ถึง 99.7% เหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน เช่น ตัวนำไฟฟ้า และแผ่นสะท้อนแสง เป็นต้น โดยเพิ่มธาตุเหล็ก และทองแดงเข้าไป จะทำให้มีความยืดหยุ่น ความอ่อนตัว และคุณสมบัติการเชื่อมดี อะลูมิเนียมบริสุทธิ์ทางการค้าจะถูกนำไปใช้งาน ทางด้านเครื่องตกแต่ง นำไปขึ้นรูป หรือทำเป็นบรรจุภัณฑ์ชนิดต่างๆ [7]

ตารางที่ 2.1 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียม AA 1100 [6]

ธาตุผสม	ปริมาณ	ธาตุผสม	ปริมาณ
อะลูมิเนียม (Al)	99.50	แมงกานีส (Mn)	0.05
ซิลิกอน (Si)	0.10	สังกะสี (Zn)	0.10
เหล็ก (Fe)	0.10	ทองแดง (Cu)	0.05-0.02
อื่นๆ	0.1		

### 2.3 การกัดกร่อน (Corrosion) [6]

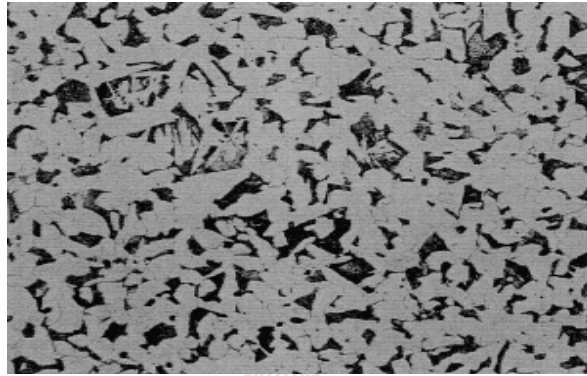
การกัดกร่อน คือ การเสื่อมสภาพของโลหะที่ทำให้สมบัติของโลหะ เปลี่ยนไปในทางเลวลง โดยโลหะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบของโลหะหรือที่เรียกว่าสนิม ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของการกัดกร่อน เป็นเหตุให้โลหะเกิดความเสียหาย ในแต่ละปีโลกมีค่าใช้จ่าย จากปัญหาการกัดกร่อนมากมาย ทั้งที่เป็น การซ่อมแซม บำรุงรักษา หรือการรีไซเคิลใหม่ทดแทน ส่วนที่ชำรุดเสียหายจนไม่อาจใช้การได้อีกต่อไป บางครั้งก็เป็นค่าใช้จ่ายที่มากเกินไปจนควร เช่น การออกแบบเพื่อ ใช้โลหะหนาเกินความจำเป็น นอกจากนั้นยังมีค่าใช้จ่ายของการค้นคว้าวิจัย เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนาให้มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง สามารถใช้ได้แม้ในสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อน หรือจะกล่าวอีกนัยหนึ่ง การกัดกร่อนคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ของโลหะซึ่งเป็นปฏิกิริยาให้อิเล็กตรอน โดยที่โลหะประกอบด้วยอะตอมโลหะเกาะเกี่ยวกันตลอดเนื้อโลหะด้วยพันธะโลหะซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ ที่มีคู่อิเล็กตรอนที่พันธะเป็นชนิดไม่ประจำ โลหะจึงมีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนย้ายได้ ที่ยึดเหนี่ยวทั้งหมดเข้าด้วยกัน โลหะจึงมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า เมื่อโลหะเกิดการกัดกร่อน อิเล็กตรอนที่พันธะจะหลุดออก ทำให้อะตอมโลหะเปลี่ยนเป็น อีออนโลหะประจุบวก เมื่อมีการให้และรับอิเล็กตรอนครบเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เรียกว่า เซลล์การกัดกร่อน โลหะที่ให้อิเล็กตรอนเป็นขั้วแอโนด (Anode) อิเล็กตรอนเดินทางไปตามเนื้อโลหะ สิ่งแวดล้อมที่รับอิเล็กตรอนเป็นขั้วคาโทด (Cathode) และความชื้นหรือสารละลายที่ผิวโลหะเป็นอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ให้อีออนเดินทางให้ครบเซลล์

ดังนั้น การกัดกร่อนจึงสามารถเกิดขึ้นได้ทั่วไป อาจกล่าวได้ว่า โลหะเกือบทุกชนิดเกิดการกัดกร่อนได้เสมอ ต่างกันที่ความยากง่ายของการเกิดการกัดกร่อน และอัตราการกัดกร่อนเร็วหรือช้า สาเหตุของการเกิดการกัดกร่อนจึง มาจากทั้งโลหะและสิ่งแวดล้อม และสามารถแบ่งแยกการกัดกร่อนออกเป็นประเภทดังนี้ [6]

#### 2.3.1 การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอทั่วผิวหน้า (General or Uniform Corrosion) [6]

การกัดกร่อนแบบนี้เห็นอยู่ทั่วไป โลหะจะถูกกัดกร่อนอย่างสม่ำเสมอทั่วผิวของโลหะนั้น โดยปกติจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า การกัดกร่อนเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอบนผิวหรือเป็นบริเวณกว้าง มีผลให้โลหะบางเรื่อยๆ หรือมีน้ำหนักร่นหายไป คือ เบาลงเรื่อยๆ การกัดกร่อน

ประเภทนี้ในแง่ของเทคนิคไม่ค่อยเป็นปัญหาและไม่ก่อให้เกิด อันตรายรุนแรงเท่าใดนัก เนื่องจากสามารถหาอัตราการกัดกร่อนและออกแบบเพื่อ พร้อมทั้งทำนายอายุการใช้งานของชิ้นส่วนที่เกิดการกัดกร่อนแบบนี้ได้ และเปลี่ยนใหม่เมื่อถึงเวลาอันควร ลักษณะการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ [8]

การกัดกร่อนในรูปแบบอื่นส่วนมาก เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายในและยากต่อการประเมินสภาพ การกัดกร่อน นอกจากนี้ยังเกิดขึ้นในพื้นที่เฉพาะของชิ้นส่วนหรือโครงสร้าง ซึ่งจะส่งผลให้เกิด ความเสียหายที่ไม่คาดคิดหรือความเสียหายก่อนกำหนดของเครื่องมือหรือเครื่องจักร

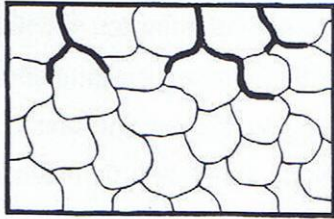
### 2.3.2 การกัดกร่อนสม่ำเสมอที่หยุดในเวลาสั้นหรือเวลายาวโดยสมบูรณ์ [9]

โดยผลจากการกัดกร่อนจะเป็นชั้นผิว (ไม่มีรูพรุนอากาศ) ที่จับบนผิววัสดุที่ถูกกัดกร่อน ชั้นผิวนี้จึงทำหน้าที่ป้องกันสารกัดกร่อน ได้เฉพาะอย่าง จึงเรียกว่า ความต้านการกัดกร่อน (Corrosion Strength) ของโลหะ

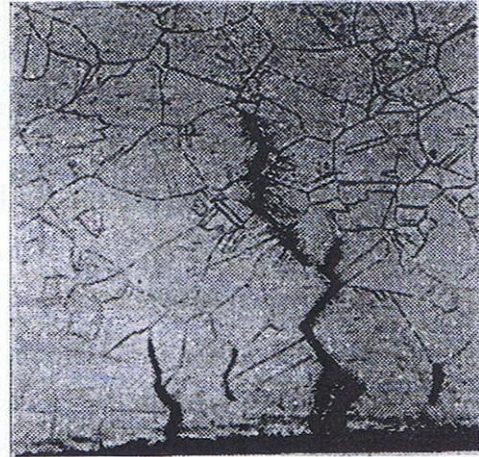
ตัวอย่างเช่น การเกิดสนิมของทองแดงหรือบรอนซ์ที่เรียกว่า พาตินา (Patina) ทำให้โลหะนี้ทนต่อการกัดกร่อนจากบรรยากาศ ลักษณะนี้จะเกิดกับอะลูมิเนียม ตะกั่ว โครเมียม สังกะสี ดีบุก นิกเกิลและอื่นๆ ที่ทนต่อการกัดกร่อนของบรรยากาศ เพราะมีชั้นผิวออกไซด์หรือคาร์บอนेट ชั้นผิวเหล่านี้จะสังเกตได้จากการเกิดผิวมัน ข้อมสีผิวโลหะ เช่น รอยตัดของตะกั่วจะเปลี่ยนสีผิวเป็นสีเทาอย่างรวดเร็ว

### 2.3.3 การกัดกร่อนภายในผลึก (Intercrystalline Corrosion) [9]

การกัดกร่อนภายในผลึกจะเกิดตามขอบเม็ดเกรนภายในผลึกโลหะ ทั้งนี้เนื่องจากที่ผิวเม็ดเกรนยึดเหนี่ยวกันไม่ดี (หลวม) และค่าความเค้นลดต่ำลง ปรากฏการณ์เช่นนี้เป็นอันตรายมาก เพราะไม่สามารถสังเกตดูจากภายนอกได้ ดังรูปที่ 2.3



(ก) ภาพจำลอง



(ข) ภาพโครงสร้างจริง (จุลภาค)

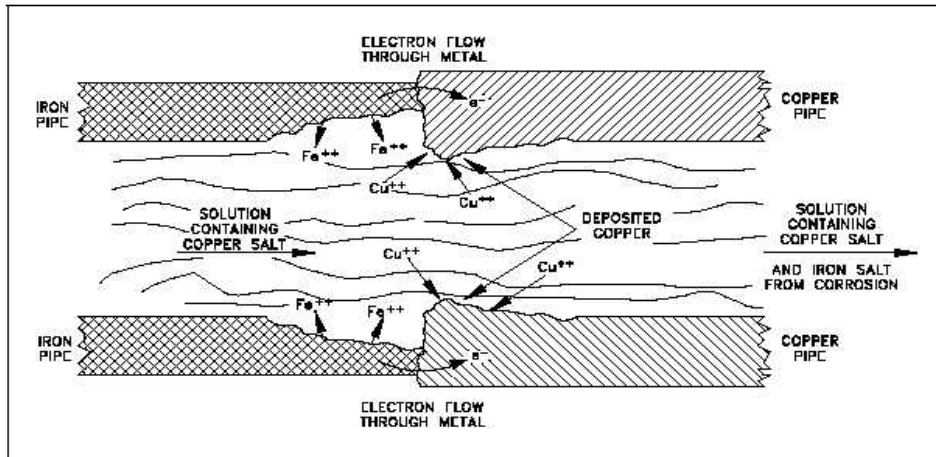
รูปที่ 2.3 การกัดกร่อนภายในผลึก [9]

#### 2.3.4 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Corrosion) [6]

โลหะแต่ละชนิดจะมีค่าศักย์เฉพาะตัว ดังนั้นถ้าหากมีโลหะ 2 ชนิด สัมผัสกันอยู่และมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์และส่วนโลหะเชื่อมต่อกันไฟฟ้า หรือต่อกันอย่างครบวงจรไฟฟ้าเคมี เมื่อเวลาผ่านไป โลหะที่มีศักย์ต่ำกว่าจะเกิดการกัดกร่อนก็คือ อานอด ขณะที่โลหะที่มีศักย์สูงกว่าจะไม่กัดกร่อนก็คือ คาโทด ความต่างศักย์ของโลหะทั้งสอง ยิ่งมากเท่าไร ความรุนแรงก็มากขึ้นเท่านั้น

ความต่างศักย์จะทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนระหว่างวัสดุทั้งสอง ทำให้เพิ่มอัตราการกัดกร่อนของโลหะ ที่มีค่าความต้านทานต่อการกัดกร่อนน้อย และจะลดอัตราการกัดกร่อนของโลหะที่มีค่าความต้านทานมากกว่า โดยปกติโลหะที่มีค่าความต่างศักย์มากจะมีการกัดกร่อนค่อนข้างน้อยหรือแทบจะไม่เกิดเลย เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าและความแตกต่างของโลหะ จึงมีการเรียกการกัดกร่อนแบบนี้ว่าการกัดกร่อนแบบกัลวานิกหรือการกัดกร่อนแบบโลหะสองชนิดปริมาณกระแสและการกัดกร่อนขึ้นกับความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะทั้งสอง

วิศวกรรมการออกแบบจะต้องทราบถึงความเป็นไปได้ของการกัดกร่อนแบบกัลวานิก ตั้งแต่การระบุรายละเอียดของวัสดุที่จะนำไปใช้ในเครื่องจักร บางครั้งเพื่อเป็นการประหยัด อาจใช้วัสดุต่างชนิดกันมาเชื่อมกัน โดยเฉพาะโลหะที่มีค่าความต่างศักย์กันมากควรระมัดระวังให้ดี ความต่างศักย์ที่เกิดจากกัลวานิกเซลล์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลา เนื่องจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนที่สะสมอยู่ที่ขั้วคาโทดหรืออานอดจะทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลง ลักษณะการกัดกร่อนแบบกัลวานิกแสดงในรูปที่ 2.4 [6]



รูปที่ 2.4 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก [8]

### 2.3.5 การกัดกร่อนแบบเซาะลึก (Erosion Corrosion) [5]



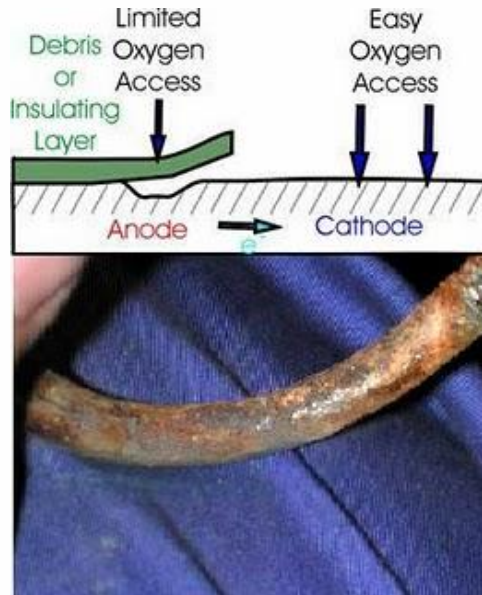
รูปที่ 2.5 การกัดกร่อนแบบเซาะลึก (ก) เกิดขึ้นกับใบพัดปั๊มแรงดัน (ข) เกิดขึ้นกับข้อต่อโครง [5]

เป็นการกัดกร่อนของโลหะเนื่องจากการเคลื่อนที่ของสารละลายกัดกร่อนผ่านผิวโลหะอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการกัดเซาะร่วมด้วย ทำให้ร่องรอยของการกัดกร่อนมีลักษณะเป็นคลื่น เป็นร่อง หรือเป็นแอ่ง อาจกล่าวอย่างสรุปได้ว่า การกัดกร่อนแบบนี้เกิดเนื่องจากการไหล และเป็นผลรวมของการทำลายทางเคมีและการขัดสีทางกลแสดงดังรูปที่ 2.5

### 2.3.6 การกัดกร่อนในที่อับ (Crevice Corrosion) [6]

การกัดกร่อนในที่อับคือการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่อับบนผิวโลหะที่สัมผัสโดยตรงกับสารกัดกร่อน การกัดกร่อนประเภทนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณของสารละลายที่ค้างอยู่ตามพื้นที่ที่เป็นหลุม หรือพื้นที่ที่เป็นซอก บริเวณแคบๆ ที่มีสารละลายเข้าไปขังอยู่ได้เป็นเวลานาน โดยไม่มีการถ่ายเท

ทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจน ในน้ำหรือสารละลายภายในซอกไม่เท่ากับภายนอก ทำให้เกิดการ  
 ครบเซลล์การกัดกร่อนชนิดเซลล์ความเข้มข้น โดยบริเวณในซอกจะเกิดเป็นขั้วแอโนดคือเกิดการสูญเสีย  
 เนื้อโลหะ การสัมผัสระหว่างผิวโลหะและผิวที่ไม่ใช่โลหะ สามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนในที่อับได้  
 เช่น ปะเก็นรอยต่อระหว่างยางกับเหล็กกล้าไร้สนิมที่จุ่มอยู่ในน้ำทะเล



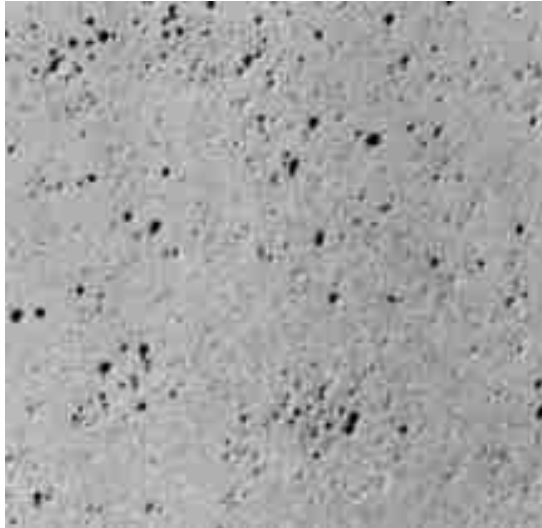
รูปที่ 2.6 การกัดกร่อนในที่อับ [8]

เนื่องจากสารละลายที่ขังอยู่มีปริมาณจำกัดและหยุดนิ่ง ออกซิเจนที่ใช้ในการ  
 เกิดปฏิกิริยาคาโทดิกจึงลดจำนวนลดลงเรื่อยๆ จนหมด แต่ปฏิกิริยาแอโนดิกยังดำเนินอยู่ จึงทำให้  
 ความเข้มข้นของประจุบวกสูง ดังนั้นเพื่อรักษาสมดุลของประจุไว้ ถ้ามีสารเจือปนโดยเฉพาะคลอริน  
 ประจุลบของคลอรินจะเคลื่อนที่เข้ามาในรอยแตก และทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้เป็นโลหะ ไฮดรอก  
 ไซด์และกรดไฮโดรคลอริก กรดนี้จะกัดผิวของ โลหะออกมาทีละน้อย ส่งผลให้รอยแตกและรอยร้าว  
 ขยายตัวไปเรื่อยๆ ลักษณะการกัดกร่อนในที่อับ แสดงในรูปที่ 2.6 [6]

### 2.3.6 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) [6]

การกัดกร่อนแบบรูเข็ม เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาก โดยเฉพาะกับ โลหะที่ได้พัฒนาให้มีฟิล์ม  
 ป้องกันการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้าได้แล้ว แต่เมื่อฟิล์มบางแตกแยกออกเฉพาะบางที่ ก็จะเกิดการกัด  
 กร่อนเฉพาะที่กัดกร่อนลึกลงไปเรื่อยๆ ทำให้สังเกตเห็นได้ยากเนื่องจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนได้ปก  
 คลุมเอาไว้ การกัดกร่อน แบบนี้ทำให้ทำนายได้ยาก โดยทั่วไปมักจะเกิดทิศทางเดียวกันกับแรงโน้ม  
 ถ่วงของโลกการเกิดการกัดกร่อน ในแนวอื่นก็เกิดได้แต่น้อย การกัดกร่อนแบบรูเข็มเป็นลักษณะที่ทำให้  
 ให้เป็นรูหรือหลุมในเนื้อ โลหะ รูเหล่านี้จะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ได้ แต่โดยส่วนมากจะมีขนาดเล็ก  
 บางครั้งจะเห็นรูกระจายอยู่ห่างกัน หรืออาจอยู่ใกล้กันจนดูคล้ายผิวโลหะที่ขรุขระ



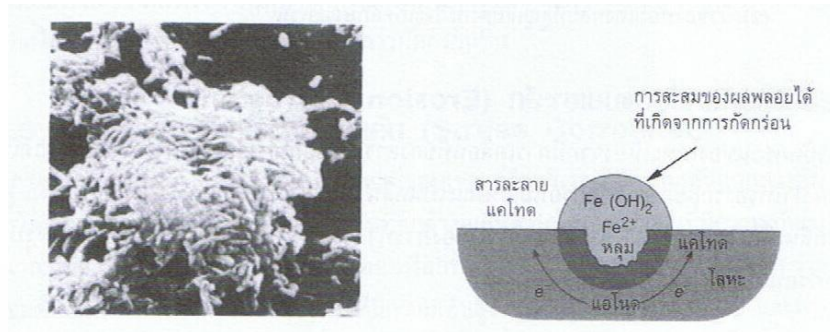


รูปที่ 2.7 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม [8]

การกัดกร่อนแบบรูเข็มเป็นการกัดกร่อนที่ก่อให้เกิดความเสียหายและรุนแรงที่สุด ซึ่งทำให้อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือชิ้นส่วนต่างๆ เกิดความเสียหายเนื่องจากการเจาะลึกด้วยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของโครงสร้างทั้งหมดที่น้อย ลักษณะยากที่จะตรวจสอบพบเพราะมีขนาดเล็ก นอกจากนั้นยังยากที่จะตรวจวัดเชิงปริมาณและ ตรวจวัดการขยายตัวของสภาพการกัดกร่อนของแบบรูเข็มได้ เพราะความลึกและจำนวนของรูที่เปลี่ยนแปลง ภายใต้อุณหภูมิเฉพาะสภาวะใดสภาวะหนึ่ง การเกิดการกัดกร่อนของแบบรูเข็มยังยากที่จะทำนายได้จากทดสอบในห้องทดลองอีกด้วย บางครั้งอาจใช้เวลานานจึงปรากฏสภาพของการกัดกร่อน การเกิดการกัดกร่อนของแบบรูเข็มเป็นการเกิดเฉพาะที่และ เป็นรูปแบบการกัดกร่อนที่รุนแรง ความเสียหายที่เกิดขึ้นมักจะเกิดอย่างฉับพลัน ลักษณะการกัดกร่อนแบบรูเข็มแสดงในรูปที่ 2.7 [6]

### 2.3.7 การกัดกร่อนเนื่องจากจุลินทรีย์ (Microbial Corrosion) [5]

จุลินทรีย์หลายชนิด เช่น เชื้อราหรือแบคทีเรีย จะทำให้เกิดสภาวะสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการเกิดการกัดกร่อนแบบเคมีไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะสิ่งแวดล้อมที่มีความชื้นและมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กเจริญเติบโตบนผิวของโลหะ สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กนี้จะเติบโตอยู่ในบริเวณหรือขอบเขตที่จำกัด และก่อให้เกิดผลพลอยได้ที่ทำให้สภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปและเอื้อต่อการกัดกร่อน เช่น แบคทีเรียบางชนิดจะทำให้ซัลเฟตในสภาวะแวดล้อมลดลง และผลิตกรดซัลฟูริกขึ้นมาแทน และเป็นตัวที่ทำให้การกัดกร่อนโลหะ ตัวอย่างของการกัดกร่อนแบบนี้ได้แก่ ถังเชื้อเพลิงของเครื่องบินที่ทำจากอะลูมิเนียม ซึ่งเมื่อสัมผัสกับความชื้นและมีแบคทีเรียอยู่ แบคทีเรียจะเจริญเติบโตและผลิตกรดขึ้นมา และเมื่อกรดสัมผัสกับอะลูมิเนียม ก็จะกัดกร่อนอะลูมิเนียมและทำให้ถังเชื้อเพลิงรั่วได้

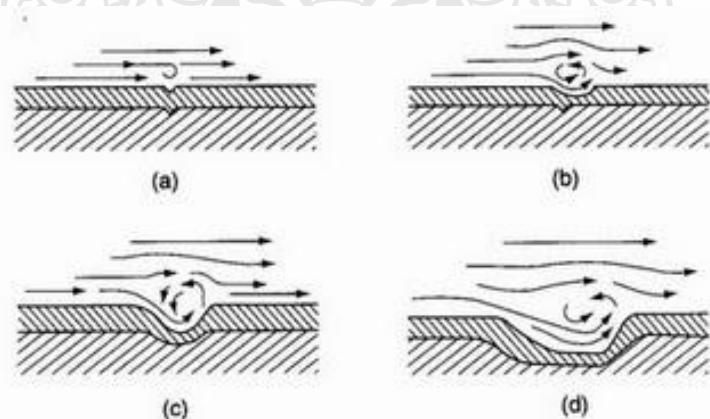


รูปที่ 2.8 การกัดกร่อนเนื่องจากจุลินทรีย์ (ก)ลักษณะของแบคทีเรียที่เกิดบนผิวโลหะ (x2700)  
(ข) การเกิดการกัดกร่อนบนพื้นผิวของโลหะที่มีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กปกคลุมอยู่ [5]

การเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กบนผิวโลหะทำให้เกิดเซลล์ออกซิเจนเข้มข้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8 พื้นที่ปกคลุมโดยมีสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจะมีสภาวะแอโนด และบริเวณที่ไม่ถูกปกคลุมจะมีสภาพเป็นแคโทด ในขนาดเดียวกันสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กจะลดอัตราการแพร่ของออกซิเจนที่จะเข้าสู่พื้นที่ที่สิ่งมีชีวิตขนาดเล็กปกคลุมอยู่ ก็จะถูกเผาผลาญโดยสิ่งมีชีวิตเหล่านั้น และทำให้เกิดเซลล์ออกซิเจนเข้มข้นขึ้น และเกิดการกัดกร่อนแบบจุดขึ้นที่ผิวโลหะที่ถูกปกคลุมโดยสิ่งมีชีวิตดังกล่าว

### 2.3.8 การกัดกร่อนแบบสึกกร่อน (Erosion Corrosion) [6]

เมื่อมีการเสียดสีและการสึกกร่อนต่อโลหะในสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนได้ด้วยนั้น จะมีผลรวมของการกระทำต่อโลหะ อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เชิงกล และเคมีซึ่งส่งผลให้เกิดการการทำลายและการเสื่อมสภาพของโลหะอย่างรวดเร็ว อธิบายดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การกัดกร่อนแบบสึกกร่อน [8]

การกัดกร่อนประเภทนี้เริ่มจากการกัดกร่อนที่มีของไหล ไหลผ่านโลหะและมักไหลด้วยความเร็วสูง หากของไหลนี้มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง เมื่อโลหะเริ่มสึกจะทำให้โลหะเกิดการกัดกร่อนได้ง่าย

ขึ้น หากโลหะนั้นมีฟิล์มปกคลุมผิวได้ การไหลของของไหล อาจทำให้ฟิล์มถูกทำลายไปบางส่วน ถ้าฟิล์มนี้สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้อย่างง่ายและรวดเร็ว การกัดกร่อนก็จะไม่รุนแรงนัก แต่ถ้าฟิล์มใหม่เกิดขึ้นได้ช้าก็จะทำให้การกัดกร่อนเกิดขึ้นรุนแรง และรวดเร็ว [6]

### 2.3.9 การกัดกร่อนแบบฉุดครูด (Fretting Corrosion) [6]

เป็นการกัดกร่อนที่เกิดในสภาวะบรรยากาศปกติ บริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างโลหะ เมื่อโลหะนั้นกำลังถูกแรงกระทำดังรูปที่ 2.10

#### 1) ปัจจัยพื้นฐานของการเกิดการกัดกร่อนแบบฉุดครูด

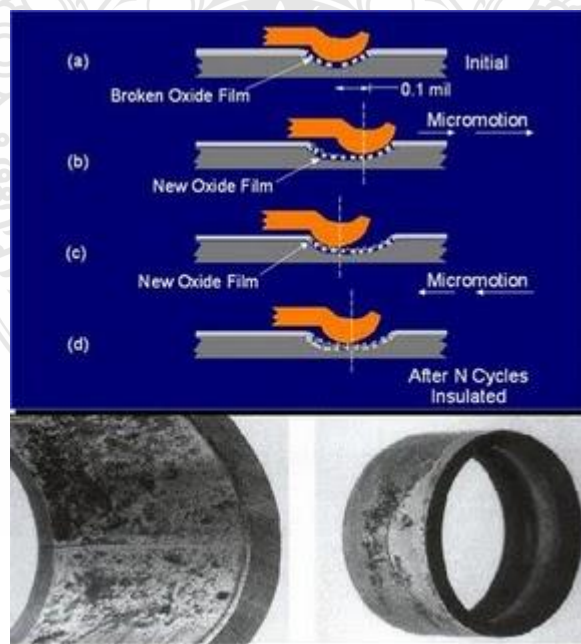
- โลหะที่หันหน้าเข้าหากันนั้น กำลังถูกแรงกระทำ
- มีการสั่นสะเทือนบริเวณผิวหน้าสัมผัส ผิวด้านหนึ่งตีกระทบหรือถูอยู่อีกผิวหน้าหนึ่ง
- ระหว่างผิวหน้าโลหะทั้งสองมีการสั่นไถล

#### 2) ผลที่เกิดจากการกัดกร่อนแบบฉุดครูด

- สูญเสียเนื้อโลหะบริเวณพื้นผิวสัมผัสเป็นโลหะออกไซด์ เกิดกับเหล็ก เหล็กกล้า
- ทำให้ขนาดของพิคัดความเผื่อ (Size tolerance) ผิดพลาด จากที่เคยเข้ากันได้ดีก็จะ

หลวม

- การกัดกร่อนแบบฉุดครูดทำให้เกิดการหลวมแล้วก็จะเกิดความเครียดที่มากเกินไป (Excessive strain) นำไปสู่การเกิดร่องซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของรอยร้าว และจะเกิดการแตกหักจากความล้า (Fatigue fracture) ในที่สุด



รูปที่ 2.10 การกัดกร่อนแบบฉุดครูด [8]

### 3) กลไกการเกิดการกัดกร่อนแบบฉุครูด 2 แนวคิด

- เนื้อโลหะเป็นอนุภาคเล็กๆ ของผิวโลหะที่สัมผัสกัน
- เกิดเป็นออกไซด์แล้วหลุดออกมา

ความชื้นลดความเสียหายจากการกัดกร่อนแบบฉุครูดความชื้นเป็นสารหล่อลื่น เพราะวาสนิมกับน้ำ จะก่อให้เกิดความเสียหายจากการเสียดสีน้อยกว่าออกไซด์ที่มีสภาพแข็ง และบริเวณที่ขาดออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจนจะทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบฉุครูดน้อยลง การฉุครูดจะเกิดมากขึ้นเมื่อมีน้ำหนักหรือความเค้นมากระทำมากขึ้นและถ้าอากาศดึงเอาอนุภาคของโลหะเข้ามาพร้อมด้วยแสดงว่ามี การดึง (Tension) ความเค้นเฉือน (Shear stress) ร่วมด้วย ดังรูปที่ 2.10 [6]

#### 2.3.10 การกัดกร่อนแบบรูพรุน (Cavitation Corrosion) [6]

เป็นรูปแบบหนึ่งของการกัดกร่อนเฉพาะที่ ซึ่งเกิดจากผลรวมของความเสียหายบนผิวโลหะเป็นแห่งๆ อันเนื่องมาจากฟองอากาศที่มาจับตัวกันแล้วชำรุดแล้ว หรือเนื่องมาจากการกัดเซาะทางเคมีต่อพื้นที่ที่ถูกทำลาย การกัดกร่อนแบบนี้อาจพบได้ในสภาพไหลปั่นป่วน (Turbulent flow) ของของเหลว เช่น ใกล้อ้อ ใบพัดเรือและในปั้มน้ำ

การเกิดและการแตกของฟองก๊าซแล้วชำรุดแล้วอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันในบางบริเวณซึ่งลดต่ำกว่าหรือ เพิ่มสูงกว่าความดันไอของของเหลว การสับต่ออย่างรวดเร็วของการเกิดและการแตกของฟองอากาศนี้ทำให้เกิดการสั่นที่ทรงพลังซึ่งสามารถทำลายผิวโลหะหรือวัสดุได้เป็นจุดๆ ถ้ามีผิวออกไซด์บางบนโลหะเคลื่อนการสั่นก็จะไปถูเอาฟิล์มป้องกัน (Protective film) ออก ทำให้โลหะเปลือยและว่องไวต่อการกัดกร่อน โดยโลหะเปลือยจะสัมผัสกับอิเล็กโตรไลต์ในบางจุด พื้นผิวตรงนั้นอาจปรากฏให้เห็นลักษณะรูพรุนๆ คล้ายฟองน้ำ ลักษณะการเสียหายจะคล้ายกับการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion) แสดงดังรูปที่ 2.11 [6]



รูปที่ 2.11 การกัดกร่อนแบบรูพรุน [8]

### 1) กลไกการเกิดการกัดกร่อนแบบรูพรุน

- การเกิดฟองบนฟิล์มป้องกัน
- ฟองก๊าซแตกสลายและทำลายฟิล์มป้องกัน
- เนื้อโลหะใต้ฟิล์มป้องกันถูกทำลายเกิดการกัดกร่อนต่อมาเกิด ฟิล์มป้องกันขึ้นใหม่
- ต่อมาฟองก๊าซฟองใหม่มาสัมผัสตำแหน่งเดิมอีก
- ฟองก๊าซใหม่แตกสลายทำลายฟิล์มป้องกันอีก
- เนื้อโลหะบริเวณที่ฟิล์มถูกทำลายกัดกร่อนต่อไปอีก ต่อมาเกิดฟิล์มป้องกันขึ้น

ใหม่อีก

- กระบวนการกัดกร่อนเกิดซ้ำซาก จนรอยกัดกร่อนเป็นรูลึก

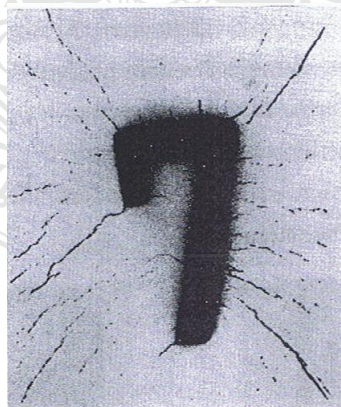
การกัดกร่อนแบบรูพรุนที่เกิดส่วนใหญ่ มีสาเหตุร่วมกันกับการกัดกร่อนและแรงกระทำทางกล ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมสูงขึ้น

### 2.3.11 การกัดกร่อนจากความเค้นรอยร้าว (Stress Corrosion Cracking) [9]

สาเหตุการกัดกร่อนประเภทนี้เกิดจาก

- วัสดุที่ไวต่อความเค้นรอยร้าว (Stress Cracking)
- สารมีขมิ้ม (ของเหลว ก๊าซ) ที่กัดทำลายวัสดุนี้
- ความเค้นที่เกิดจากภายนอกและภายในชิ้นงาน
- การแปรรูปขณะเย็นหรือภาวะที่กระทำต่อภายนอกจะมีผลทำให้เกิดความเค้นใน
- โครงสร้างอะตอมทำให้ช่วงบริเวณที่มความเค้น เกิดสภาวะไม่คงทน (Base) เมื่อ

อยู่ติดกับบริเวณที่ไม่ได้รับความเค้นจะเกิดรอยร้าวที่ขยายลึกเข้าไปข้างใน รอยร้าวจะเกิดในลักษณะภายในผลึก (Intercrystalline) หรือผ่านผลึก (Transcrystalline)



รูปที่ 2.12 การกัดกร่อนจากความเค้นรอยร้าวบนผิวโลหะ CuZn 20 Al บริเวณรอยตอกหมายเลขที่อยู่  
ในบรรยากาศแอมโมเนียเจือปน [9]

ความเค็มร่อยรัวมักจะเกิดกับเหล็กกล้าโครเมียม-นิกเกิล ที่อยู่ในสารละลายที่มีคลอไรด์เจือ สำหรับส่วนผสมทองแดง-สังกะสีจะเกิดในบรรยากาศที่มีแอมโมเนียเจือปน ส่วนผสมอะลูมิเนียมที่เจือแมกนีเซียมเกินกว่า 5% จะเกิดขึ้นในอากาศสดรูปที่ 2.12

## 2.4 น้ำทะเล [10]

น้ำทะเลประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ ปะปนอยู่ในรูปของสารละลาย ในน้ำทะเล 1 ลิตร มีเกลืออยู่ 35 กรัม ในบริเวณที่น้ำทะเลอุณหภูมิสูง เช่น ใจกลางมหาสมุทรบริเวณเส้นศูนย์สูตร แสงแดดมีความเข้มสูง ทำให้น้ำในมหาสมุทรระเหยเป็นไอน้ำ ทิ้งแร่ธาตุที่ตกค้างไว้ในจนน้ำทะเลมีความเข้มข้นของเกลือมาก แต่ในที่หนาวเย็นที่บริเวณขั้วโลก แสงแดดตกกระทบบนผิวโลกเป็นมุมเฉียง พลังงานที่ตกกระทบน้อย ปริมาณการระเหยของน้ำทะเลย่อมน้อยตามไปด้วย ความเข้มข้นของเกลือจึงไม่มาก ในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำ ความเข้มข้นของเกลือจะน้อยเนื่องจาก อิทธิพลของน้ำจืดจากแม่น้ำลำคลอง ทำให้น้ำทะเลเจือจาง

เกลือในทะเลและมหาสมุทรมีกำเนิดมาจากแร่ธาตุบนพื้นโลก น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี น้ำฝนละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศทำให้มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ น้ำที่อยู่บนพื้นโลกละลายแร่ธาตุในหินและดิน และไหลรวมกันเป็นแม่น้ำลำธาร ไปสะสมกันในมหาสมุทร สารละลายเกลือเหล่านี้อยู่ในแร่ธาตุที่สำคัญได้แก่ โซเดียม (Na) และคลอไรด์ (Cl) เมื่อน้ำระเหยออกไป ธาตุเหล่านี้จึงรวมตัวกันเป็นสารประกอบ ได้แก่ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) คลอไรด์เป็นไอออนที่กัดกร่อนที่สุดตัวหนึ่งพบได้ทั้งใน น้ำทะเล น้ำบาดาล น้ำประปา หรือจากการเผาพลาสติกที่มีคลอรีน เช่น พีวีซี (Polyvinyl chloride) คลอไรด์ไอออนในน้ำจะกัดกร่อนเหล็กกล้า และเหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากคลอไรด์จะทำให้การนำไฟฟ้าของน้ำสูงขึ้น หรือทำลายออกไซด์ฟิล์มที่ปกป้องผิวเหล็กอยู่ เป็นต้น คลอไรด์ อาจเป็นต้นเหตุของการเกิดการกัดกร่อนเป็นที่ทราบกันดีว่าเหล็กกล้าคาร์บอนและอะลูมิเนียมเมื่ออยู่ในน้ำทะเลนั้น จะถูกกัดกร่อน แต่เมื่อพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อนเป็นเรื่องที่ค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากการกัดกร่อนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ คือปริมาณคลอไรด์ ปริมาณออกซิเจน ความเป็นกรด่าง (pH) อุณหภูมิ อัตราไหล ปริมาณและชนิดของไอออนลบ สารเคมีอื่นๆ รวมไปถึงอายุของเหล็กกล้าคาร์บอนและอะลูมิเนียมที่อยู่ในน้ำนั้นๆ เหล็กเมื่อสัมผัสกับน้ำในช่วงแรกอัตราการกัดกร่อนจะสูง แต่เมื่อเกิดมีสนิมขึ้นมาหุ้มการกัดกร่อนจะลดลง ดังรูปที่ 2.13 แสดงถึงผลของความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำที่สัมผัสกับอากาศ ที่มีต่ออัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าที่อุณหภูมิห้อง อัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นสูงสุดที่ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เท่ากับ 3% และเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมคลอไรด์เพิ่มขึ้นอีก อัตราการกัดกร่อนจะลดลง เนื่องจากปริมาณของออกซิเจนในน้ำต่ำลง นอกจากนี้จะเห็นว่าโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl) กัดกร่อนรุนแรงกว่าโซเดียมคลอไรด์และลิเทียมคลอไรด์ (LiCl) กัดกร่อนเหล็กน้อยที่สุด [11]

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเกลือในน้ำทะเล [10]

ส่วนประกอบของเกลือในน้ำทะเล	
คลอไรด์ (Cl)	54.3%
โซเดียม (Na)	30.2%
ซัลเฟต (SO <sub>4</sub> )	7.6%
แมกนีเซียม (Mg)	3.7 %
แคลเซียม (Ca)	1.2%
โปแตสเซียม (K)	1.1%
ธาตุอื่นๆ	1.9%

ในน้ำทะเลสงบจะมีปริมาณคลอไรด์ 3.15% ซึ่งเป็นเกลือคลอไรด์ของ โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม และแคลเซียม ถ้าเหล็กจมในน้ำทะเลสงบอัตราการกัดกร่อนแบบทั่วไปประมาณ 3 - 12 มิลต่อปี (หน่วย : mpy = mil per year, 1 mil = 0.001 นิ้ว) หรือ 76 - 305 ไมครอนต่อปี ถ้าเหล็กจมในน้ำทะเลที่มีคลื่น อัตราการกัดกร่อนแบบทั่วไป ประมาณ 15 มิลต่อปี อัตราการกัดกร่อนแบบหลุม ประมาณ 45 มิลต่อปี ทั้งนี้เนื่องจากทะเลที่มีคลื่นซึ่งจะเป็นการเติมออกซิเจนตลอดเวลา ดังนั้นออกซิเจนในน้ำมากอัตราการกัดกร่อนสูงขึ้น

น้ำทะเลมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ประมาณ 7.8 - 8.1 แต่ถ้าในอ่าวหรือท่าเทียบเรือน้ำทะเลจะมีค่าความเป็นกรดต่างลดลงเหลือประมาณ 7 เนื่องจากบริเวณนี้มักมีสิ่งมีชีวิตที่สามารถสร้างไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ ซึ่งส่งผลให้การกัดกร่อนสูงขึ้น

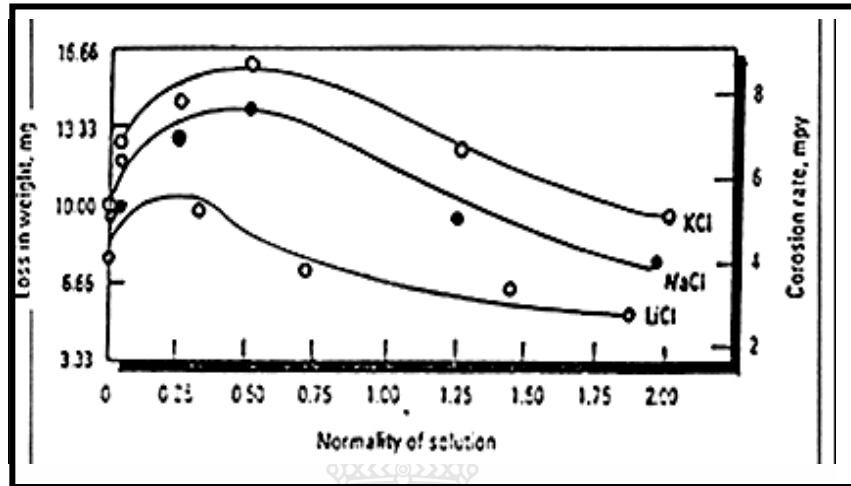
น้ำทะเลที่มีเกลือละลายอยู่อย่างอิ่มตัวจะกัดกร่อนน้อย เนื่องจากออกซิเจนจะละลายในน้ำทะเลนั้นได้น้อยลง ตัวอย่างเช่น ท่อเหล็กกล้าที่มีน้ำทะเลไหลอยู่ภายในมีอายุการใช้งานนาน 19 ปี อัตราการกัดกร่อน 1 มิลต่อปี หรือ 25 ไมครอนต่อปี แต่ภายนอกท่อมีไอน้ำมาควบแน่น และมีฉนวนพันห่อคอยอุ้มน้ำเอาไว้ไม่ให้ระเหยไปได้ จึงมีการกัดกร่อนมากกว่า คือ ปริมาณ 4 มิลต่อปี หรือ 100 ไมครอนต่อปี [11]

## 2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อน

### 2.5.1 อัตราการไหล [11]

น้ำทะเลที่หยุดนิ่งหรือไหลอย่างช้าๆ อัตราการไหลน้อยกว่า 1.5 เมตรต่อวินาที จะก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนมากกว่าน้ำทะเลที่ไหล อาจเกิดการกัดกร่อนแบบหลุม การกัดกร่อนเนื่องจากความแตกต่างของปริมาณออกซิเจน (Oxygen concentration cells) และการกัดกร่อนเนื่องจากแบคทีเรีย (Microbiologically influenced corrosion, MIC) แต่ถ้าอัตราการไหลสูงกว่า 2.4

เมตรต่อวินาที สนิมหรือออกไซด์ที่ผิวเหล็ก ซึ่งเป็นตัวช่วยชะลอให้การกัดกร่อนช้าลง จะถูกทำลาย เป็นผลให้เกิดการกัดกร่อนแบบสึกกร่อน (Erosion corrosion) อัตราการกัดกร่อนประมาณ 30 - 50 มิล ต่อปี [9]



รูปที่ 2.13 แสดงถึงผลของอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้ารีดเย็น 0.06% คาร์บอน ในสารละลายเกลือคลอไรด์ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส [11]

### 2.5.2 อุณหภูมิ [11]

- น้ำทะเลที่มีปริมาณคลอไรด์ต่ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ออกซิเจนจะละลายในน้ำทะเลได้น้อยลงทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลง
- น้ำทะเลที่มีปริมาณคลอไรด์สูง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการกัดกร่อนไม่ลดลง แม้ ออกซิเจนในน้ำทะเลนั้นจะลดลงก็ตาม

### 2.5.3 ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) [11]

สารละลายคลอไรด์ที่มีค่าความเป็นกรดต่างน้อยกว่า 4 หรือมีค่าความเป็นกรดมากขึ้น หรือมีค่าความเป็นกรดต่างยิ่งต่ำ อัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

- ที่ค่าความเป็นกรดต่างมากกว่า 4 ปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้น คือ รีดักชันของออกซิเจน (Reduction of Oxygen) ความเร็วของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเร็วของการแพร่ของออกซิเจน ซึ่งเป็นไปอย่างช้าๆ
- ที่ค่าความเป็นกรดต่างน้อยกว่า 4 ปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้น คือ รีดักชันของไฮโดรเจนไอออน (Reduction of Hydrogen Ion) ผลของปฏิกิริยา คือ ก๊าซไฮโดรเจน ไฮโดรเจนไอออนมีอยู่มาก เนื่องจากเป็นกรด ดังนั้นปฏิกิริยาการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว



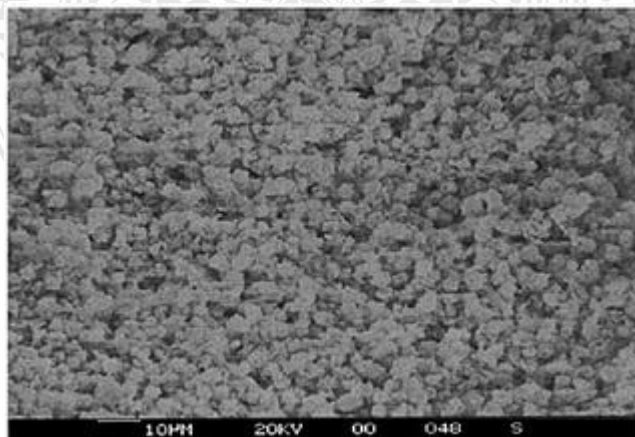
- ที่ค่าความเป็นกรดต่างมากกว่า 9 ปฏิริยาการกัดกร่อนจะช้าลงมาก เนื่องจากมีฟิล์มไฮดรอกไซด์ที่ผิวเหล็กการใช้สารยับยั้งในการควบคุมการกัดกร่อนนั้น มักจะให้ผลดีก็ต่อเมื่อปริมาณคลอไรด์ไม่เกินขอบเขตที่จำกัดค่าหนึ่งเท่านั้น [11]

#### 2.5.4 สารเคมีอื่นๆ [11]

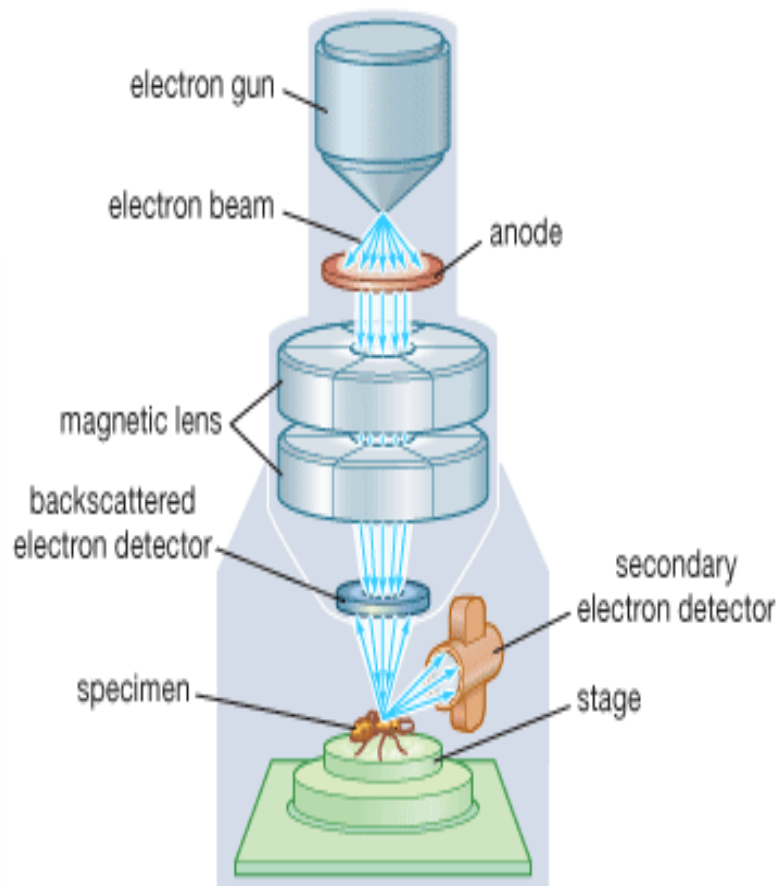
หากในน้ำทะเลมีคลอไรด์อยู่อย่างเดียว การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นไม่ซับซ้อนนัก แต่ถ้ามีสารเคมีอื่นๆอยู่ด้วย การกัดกร่อนจะซับซ้อนมากขึ้น เช่น ภาวะความดันที่ทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม 316 แคลด (Clad) บนเหล็กกล้าภายในบรรจุเอสเทอร์ที่มีคลอไรด์ค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 4.5 มีการเติมโซเดียมคลอไรด์ ในระบบด้วยภาวะใบนี้อายุการใช้งาน 18 ปี โดยไม่เกิดการกัดกร่อนเนื่องจากความเค้น มีเพียงหลุมตื้นๆ ไม่ก็หลุม ทั้งนี้เนื่องจากในภาชนะนี้มี เอมีน (Amine) และ โซเดียมอะซิเตต (Sodium acetate) ซึ่งเป็นสารยับยั้งปนอยู่ด้วย [11]

#### 2.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด [12]

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope, SEM) เป็นเทคนิคเฉพาะทางที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ศึกษาโครงสร้างและสมบัติบางประการของสสาร ที่มีอำนาจแยกแยะเชิงระยะ (Spatial resolution) สูงกว่ากล้องจุลทรรศน์แสง ทั้งนี้เป็นเพราะ SEM จะใช้สมบัติคลื่นของอิเล็กตรอน ซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นกว่า ทำให้ SEM มีอำนาจแยกแยะได้ถึง 0.2 นาโนเมตร และด้วยความสามารถในการบีบลำอิเล็กตรอนให้เป็นมุมแคบๆ ได้ทำให้ภาพมีความชัดลึกสูงแสดงดังรูปที่ 2.14 นอกจากนี้ SEM ยังสามารถใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ เช่น การวิเคราะห์การกระจายตัวรังสีเอ็กซ์ (Energy Dispersive Spectrometry, EDS) และเวฟเล็งธิดิสเพอร์ซีฟสเปกโทรเมตรี (Wavelength Dispersive Spectrometry, WDS) เพื่อให้ข้อมูลในเชิงเคมีด้วย



รูปที่ 2.14 ภาพแสดงอำนาจแยกแยะของ SEM [13]



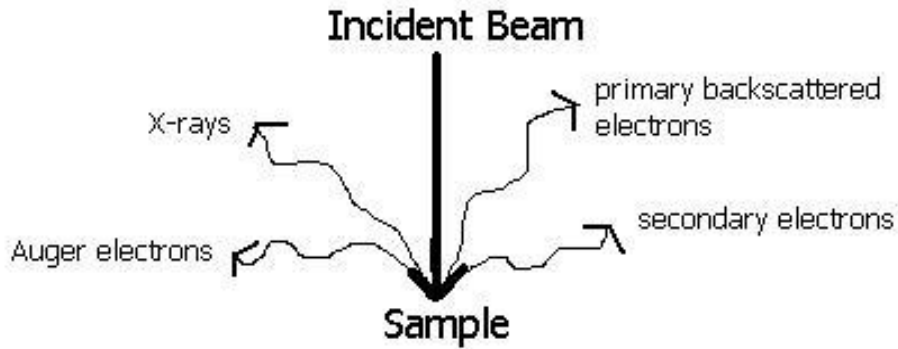
© 2008 Encyclopædia Britannica, Inc.

รูปที่ 2.15 แผนภาพแสดงการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด [13]

ส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่อง SEM ในส่วนบนสุดจะเป็นแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (Electron source) หรือ ปืนอิเล็กตรอน (Electron gun) ซึ่งนับได้ว่าเป็นหัวใจของ SEM อิเล็กตรอนจากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ซึ่งภายในมีสภาพสุญญากาศด้วยความต่างศักย์ในช่วง 0-30 kV (บางครั้งเครื่องอาจทำได้สูงถึง 50 kV) โดยทิศทางการเคลื่อนที่จะควบคุมด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic lens) 2 ชุดหรือมากกว่า และปริมาณของอิเล็กตรอนจะควบคุมโดย แอมเพอร์เจอร์ (Aperture) หรือช่องเปิด ซึ่งมีขนาดต่าง ๆ กันตามลักษณะการใช้งาน เลนส์คอนเดนเซอร์อันแรก (First condenser lens) อาจนับเป็นองค์ประกอบที่สำคัญสูงสุดต่อการควบคุมทรานส์มิสชันของอิเล็กตรอน (Electron optics) เนื่องจากเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่บีบลำอิเล็กตรอนที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลง (Demagnification) ส่วนเลนส์วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์อันสุดท้ายนั้นทำหน้าที่โฟกัสอิเล็กตรอนไปตกกระทบกับผิวของวัตถุเป้าหมายโดยคอยกราดภาพ (Scan coil) ทำหน้าที่กราดอิเล็กตรอนบนผิววัตถุในกรอบสี่เหลี่ยม คล้ายกับการกราดภาพบนจอโทรทัศน์ดังรูปที่ 2.15

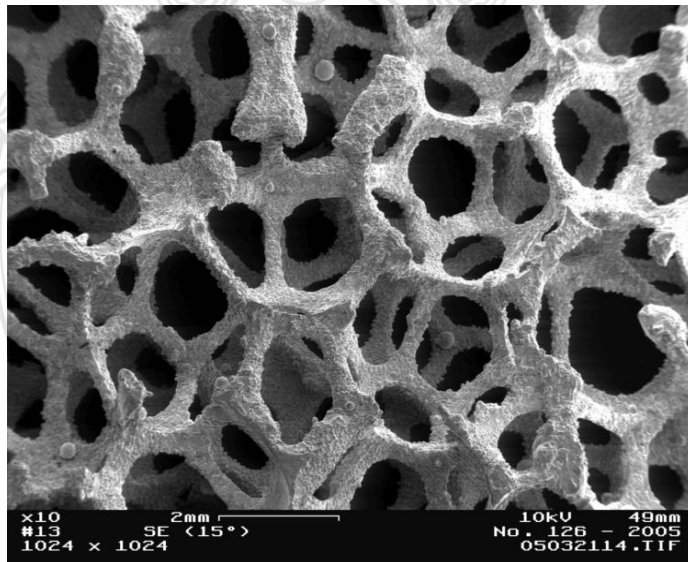
### 2.6.1 สัญญาณต่าง ๆ (Various types of signal)

สัญญาณแบบต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนกับสสาร และอันตรกิริยาอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นตามมา แสดงดังรูปที่ 2.16



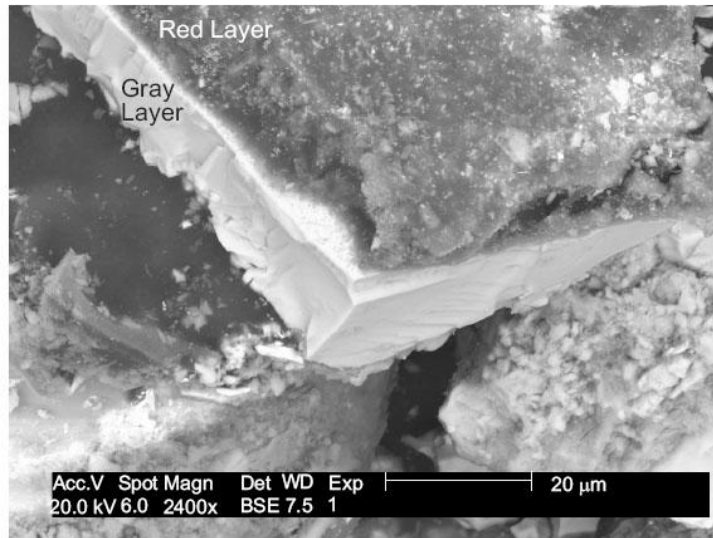
รูปที่ 2.16 แผนภาพแสดงสัญญาณต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างอันตรกิริยาของอิเล็กตรอนกับสสาร [13]

1) สัญญาณแบบอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron, SE) ให้ข้อมูลลักษณะพื้นผิว และเป็นสัญญาณที่เรานำมาสร้างภาพมากที่สุด อิเล็กตรอนทุติยภูมิยังมีแบบย่อย ๆ อีกหลายแบบตามกลไกและแหล่งกำเนิด



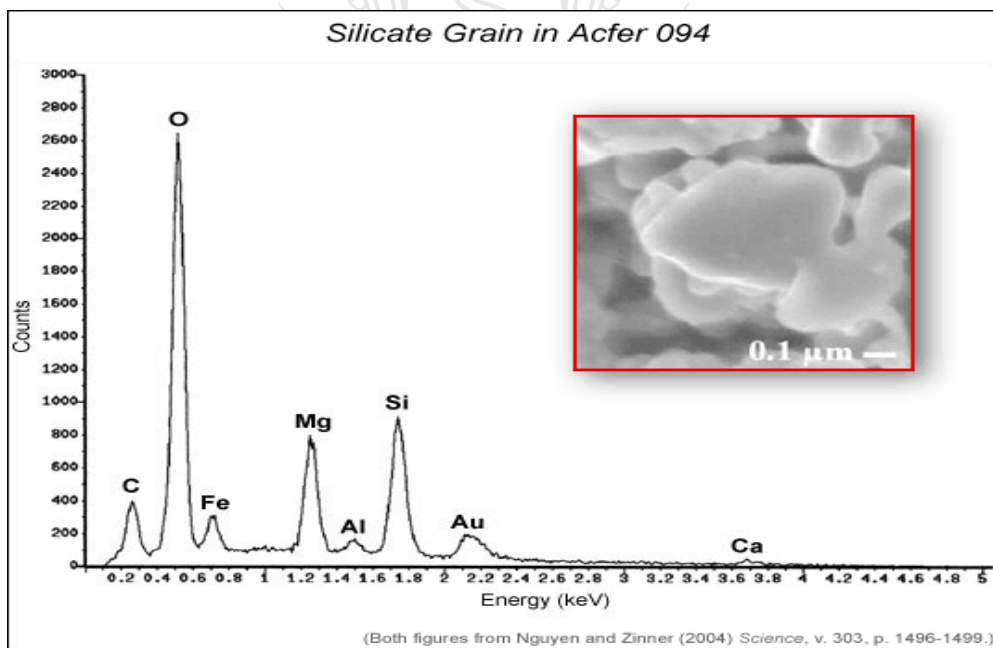
รูปที่ 2.17 ภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิ [13]

2) สัญญาณแบบอิเล็กตรอนที่กระเจิงกลับ (Back Scattered Electron, BSE) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับส่วนผสมทางเคมี และลักษณะโทโพกราฟฟีของพื้นผิว



รูปที่ 2.18 ภาพจากสัญญาณอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ [13]

3) สัญญาณแบบเอ็กซ์เรย์ (X-ray) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดของธาตุองค์ประกอบ เป็นสัญญาณที่ใช้เทคนิค EDS และ WDS



รูปที่ 2.19 สเปกตรัมของเทคนิคเอเนอร์จิสเพอร์ซิปสเปกโทรเมตรี (EDS) [14]

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.7.1 Almeida และ Morcillo [15]

ศึกษาการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อของวัสดุเหล็กกล้าอิเล็กโทรลิตาไนซ์ หรือเหล็กกล้าเคลือบสังกะสีด้วยวิธีการทางไฟฟ้า โดยการทดสอบในสภาวะพ่นน้ำเกลือ (Salt-spray) และทำการศึกษากลไกการเกิดการกัดกร่อนภายในรอยต่อ หลังจากทำการพ่นน้ำเกลือเป็นระยะเวลาที่สั้น พบว่าคลอไรด์ไอออนจากภายนอกถูกดึงเข้าไปในรอยต่อของบริเวณที่ไม่มีออกซิเจนเพื่อให้เกิดความสมดุลภายในพื้นที่แคบ และก่อให้เกิดการกัดกร่อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดกรดไฮโดรคลอริกภายในพื้นที่แคบๆ

### 2.7.2 Almeida และ Morcillo [16]

ศึกษาการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อของวัสดุเหล็กกล้ากัลวานิก หรือเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี โดยการทดสอบในสภาวะพ่นน้ำเกลือ และทำการศึกษากลไกการเกิดการกัดกร่อนภายในรอยต่อของระหว่างเหล็กกล้ากัลวานิก หลังจากทำการพ่นน้ำเกลือเป็นระยะเวลาที่สั้น พบว่ากลไกการเกิดการกัดกร่อนมีลักษณะเดียวกันกับรอยต่อของระหว่างเหล็กกล้าอิเล็กโทรลิตาไนซ์ ภายในพื้นที่แคบๆ พบสังกะสีออกไซด์ก่อตัวขึ้น และพบการก่อตัวของกรดไฮโดรคลอริกเช่นเดียวกับรอยต่อของระหว่างเหล็กกล้าอิเล็กโทรลิตาไนซ์ อย่างไรก็ตามอัตราการเกิดการกัดกร่อนมีค่าน้อยกว่ารอยต่อของระหว่างเหล็กกล้าอิเล็กโทรลิตาไนซ์

### 2.7.3 Almeida และ Morcillo [17]

ศึกษาการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อของระหว่างวัสดุเหล็กกล้าอิเล็กโทรลิตาไนซ์และเหล็กกล้ากัลวานิก โดยการทดสอบในสภาวะพ่นน้ำเกลือ และทำการศึกษากลไกการเกิดการกัดกร่อนภายในรอยต่อของระหว่างวัสดุเหล็กกล้าอิเล็กโทรลิตาไนซ์ และเหล็กกล้ากัลวานิก หลังจากทำการพ่นน้ำเกลือเป็นระยะเวลาที่สั้น พบว่าการเกิดการกัดกร่อนภายในรอยต่อของระหว่างวัสดุเหล็กกล้าอิเล็กโทรลิตาไนซ์และเหล็กกล้ากัลวานิกมีค่าที่แตกต่างกัน อัตราการกัดกร่อนมีค่าลดลงในด้านเหล็กกล้ากัลวานิกและเพิ่มขึ้นในด้านของเหล็กกล้าอิเล็กโทรลิตาไนซ์ ปริมาณสังกะสีด้านเหล็กกล้าอิเล็กโทรลิตาไนซ์มีการถูกใช้ที่มากกว่าเนื่องจากความแตกต่างของอนุกรมกัลวานิก

### 2.7.4 Chico และคณะ [18]

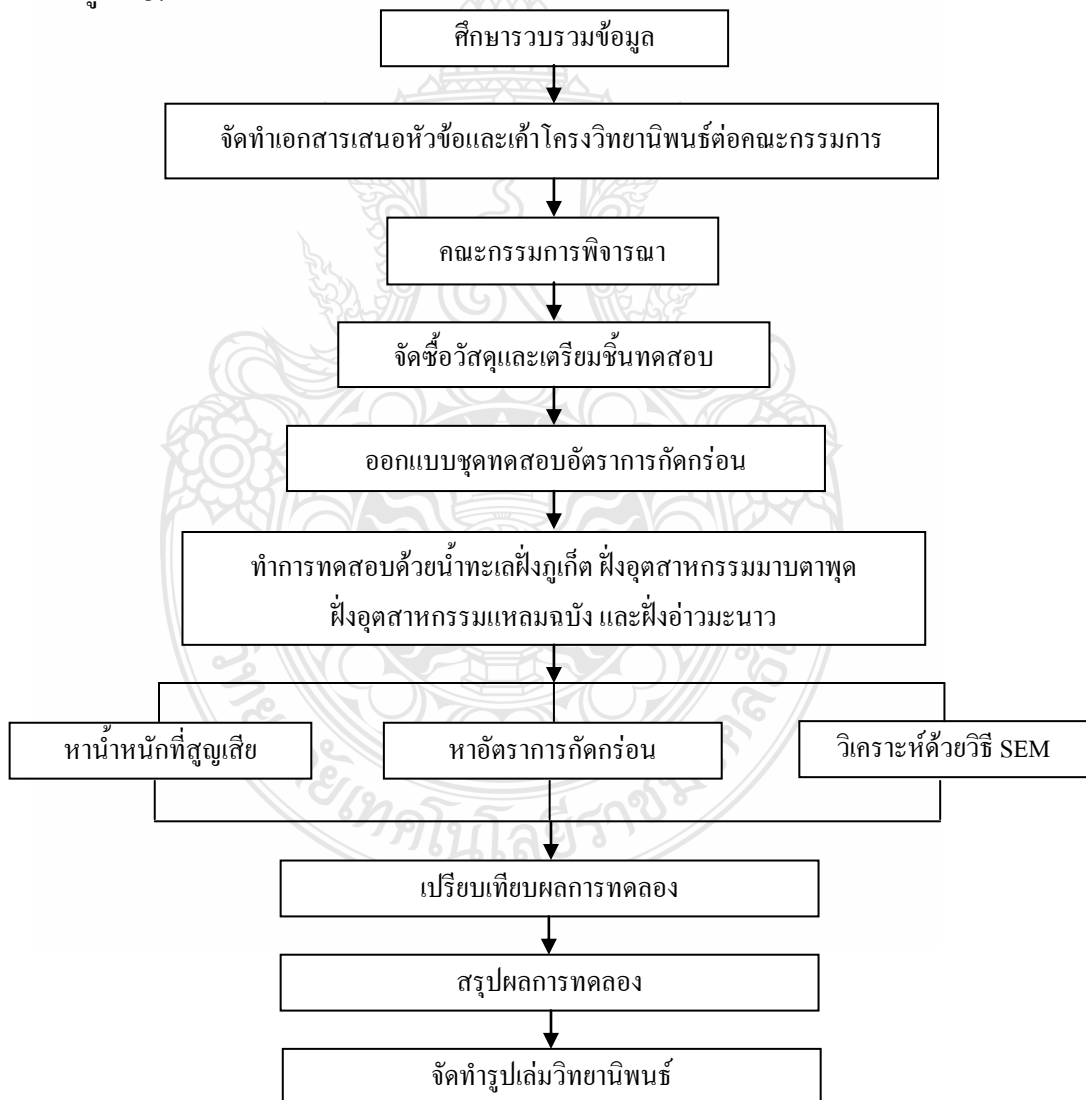
ศึกษาการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อที่ใช้ในงานก่อสร้างระหว่างเหล็กกล้าเคลือบผิว เช่น เหล็กที่ผ่านการทาสี การจุ่มชุบเคลือบผิวสังกะสี โดยการทดสอบในสภาวะพ่นน้ำเกลือในรอยต่อ พบการกัดกร่อนที่มีความแตกต่างกัน พบว่าในรอยต่อของเหล็กกล้าเคลือบผิวด้วย 55%Al-Zn การกัดกร่อนเกิดในบริเวณที่มีปริมาณของสังกะสีมากจนกระทั่งถึงผิวของเหล็กกล้า ขณะที่บริเวณที่มีอะลูมิเนียมไม่เกิดการกัดกร่อน ขณะที่รอยต่อที่เคลือบด้วยผิวเคลือบผสมระหว่างโลหะและสารอินทรีย์ให้ค่าอัตราการกัดกร่อนปานกลางในสภาวะปกติ อย่างไรก็ตามในสภาวะที่มีการเร่งการทดลอง การกัดกร่อนเริ่มเกิดในรอยต่อและขยายไปที่พื้นที่ที่ไม่ใช่รอยต่อภายใต้ผิวเคลือบ

# บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงาน

### 3.1 แผนการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานการทดสอบอัตราการกักตัวของรอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนกับอะลูมิเนียมในแหล่งน้ำทะเลต่างๆ ได้แก่ น้ำทะเลฝั่งภูเก็ต น้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด น้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง และน้ำทะเลฝั่งอำเภอนาว ซึ่งการทดลองนี้ได้ใช้ระยะเวลาในการทดสอบค่อนข้างเหมาะสม จึงได้กำหนดแผนการดำเนินงานให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เสร็จตามซึ่งรายละเอียดของการวางแผนการดำเนินงานโดยมีแผนภาพการไหลกระบวนการทดลองดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการไหลกระบวนการในการทำวิทยานิพนธ์

### 3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

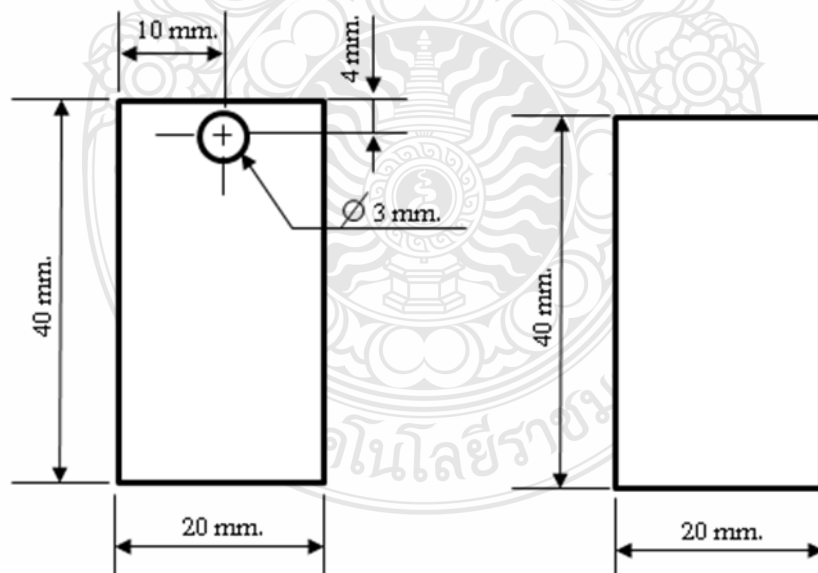
วัสดุที่ใช้ในการทดสอบอัตราการกัดกร่อนคือ อะลูมิเนียมเกรด AA 1100 และเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด AISI 1015 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมี แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทดสอบ

อะลูมิเนียม AA1100		เหล็กกล้าคาร์บอน AISI1015	
อะลูมิเนียม	99.00 %	เหล็ก	99.00 %
ทองแดง	0.20 %	คาร์บอน	0.18 %
ซิลิกอน	0.65 %	แมงกานีส	0.60 %
แมงกานีส	0.05 %	ซัลเฟอร์	0.05 %
สังกะสี	0.10 %	ฟอสฟอรัส	0.04 %
อื่นๆ	0.15 %	อื่นๆ	0.13 %

#### 3.2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ขนาดของอะลูมิเนียมและเหล็ก มีขนาดความกว้าง 20 มม. ยาว 40 มม. และหนา 1 มม. ทำการเจาะรูที่เหล็กเพื่อใช้ในการแขวนชิ้นงานทดสอบจุ่มในน้ำทดสอบ ซึ่งกำหนดขนาดของวัสดุ ตามมาตรฐาน ASTM G2-88 [19] แสดงดังรูป 3.2



(ก) เหล็กกล้าคาร์บอน

(ข) อะลูมิเนียม

รูปที่ 3.2 ขนาดของชิ้นงานทดสอบ

ก) นำเหล็กและอะลูมิเนียมไปทำการขัดขอบชิ้นงานที่เกิดรอยเย็นจากการตัด และทำการขัดที่ผิวทั้งหมดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 เพื่อกำจัดออกไซด์ที่ผิวของชิ้นงานและคราบสกปรกแสดงดังรูปที่ 3.3

ข) ทำความสะอาดชิ้นงานอีกครั้งด้วยอะซิโตนเพื่อล้างคราบสกปรกที่เกิดจากการขัดแล้วนำไปเป่าด้วยเครื่องเป่าลมร้อน เพื่อให้ชิ้นงานแห้งสนิทก่อนนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าของวัสดุทั้งสองชนิดก่อนนำไปทำการจุ่มแช่ในน้ำทดสอบ ดังรูปที่ 3.4 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

ค) ทำการต่อเกยเหล็กและอะลูมิเนียมที่ระยะผิวสัมผัสของชิ้นงานทดสอบทั้งสอง 20 มม.หนีบด้วยคลิปพลาสติก 2 ข้างเพื่อไม่ให้ชิ้นงานทั้งสองหลุดออกจากกัน ใช้ชิ้นงานทดสอบทั้งสอง 41 ชิ้น/ 1 น้ำทดสอบ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.3 ขัดผิวของชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 3.4 ล้างชิ้นงานด้วยอะซิโตน

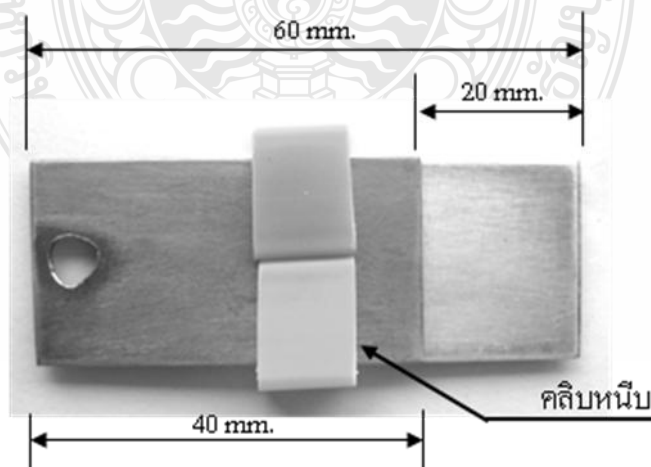




รูปที่ 3.5 เป่าชิ้นงานด้วยเครื่องเป่าลมร้อน



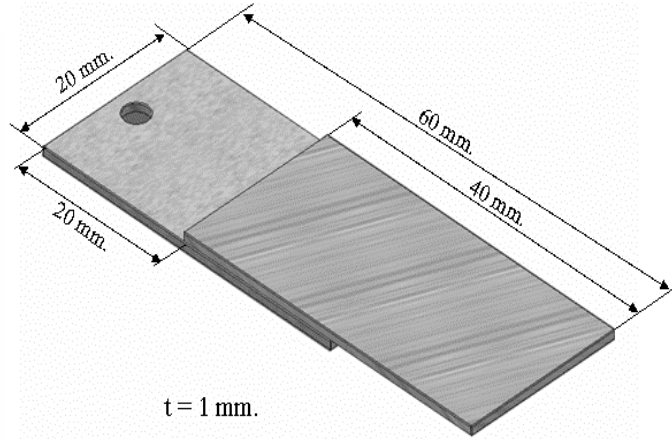
รูปที่ 3.6 ชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทำการทดสอบ



รูปที่ 3.7 ลักษณะการต่อแถววัสดุพร้อมทำการทดสอบ

### 3.2.2 ออกแบบอุปกรณ์ชุดทดสอบ

คำนวณหาปริมาณน้ำทดสอบโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM G2-88 [19] พื้นที่ผิวชิ้นงานทดสอบที่ทำการต่อเทียบเรียบร้อยแล้ว 1 ชิ้น แสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การหาพื้นที่ผิวชิ้นงานทดสอบ

$$\text{พื้นที่ผิว} = \text{กว้าง} \times \text{ยาว} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ผิวเหล็ก} &= (20 \times 20) + (20 \times 40) + 2(1 \times 20) + 2(1 \times 40) \\ &= 1440 \quad \text{ตารางมิลลิเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ผิวอะลูมิเนียม} &= (20 \times 20) + (20 \times 40) + 2(1 \times 20) + 2(1 \times 40) \\ &= 1440 \quad \text{ตารางมิลลิเมตร} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ผิวรวม (A)} &= 1440 + 1440 \quad \text{ตารางมิลลิเมตร} \\ &= 2880 \quad \text{ตารางมิลลิเมตร} \\ &= 28.8 \quad \text{ตารางเซนติเมตร} \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดสอบ (V)} = A \cdot n \cdot r \quad (3.2)$$

เมื่อ V = ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดสอบ

A = พื้นที่ผิวชิ้นงานทดสอบ

n = จำนวนชิ้นงานทดสอบ (41 ชิ้น/ 1 น้ำทดสอบ)

r = อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวชิ้นงานทดสอบต่อสารละลาย  
(20 มม./ตร.ซม.)

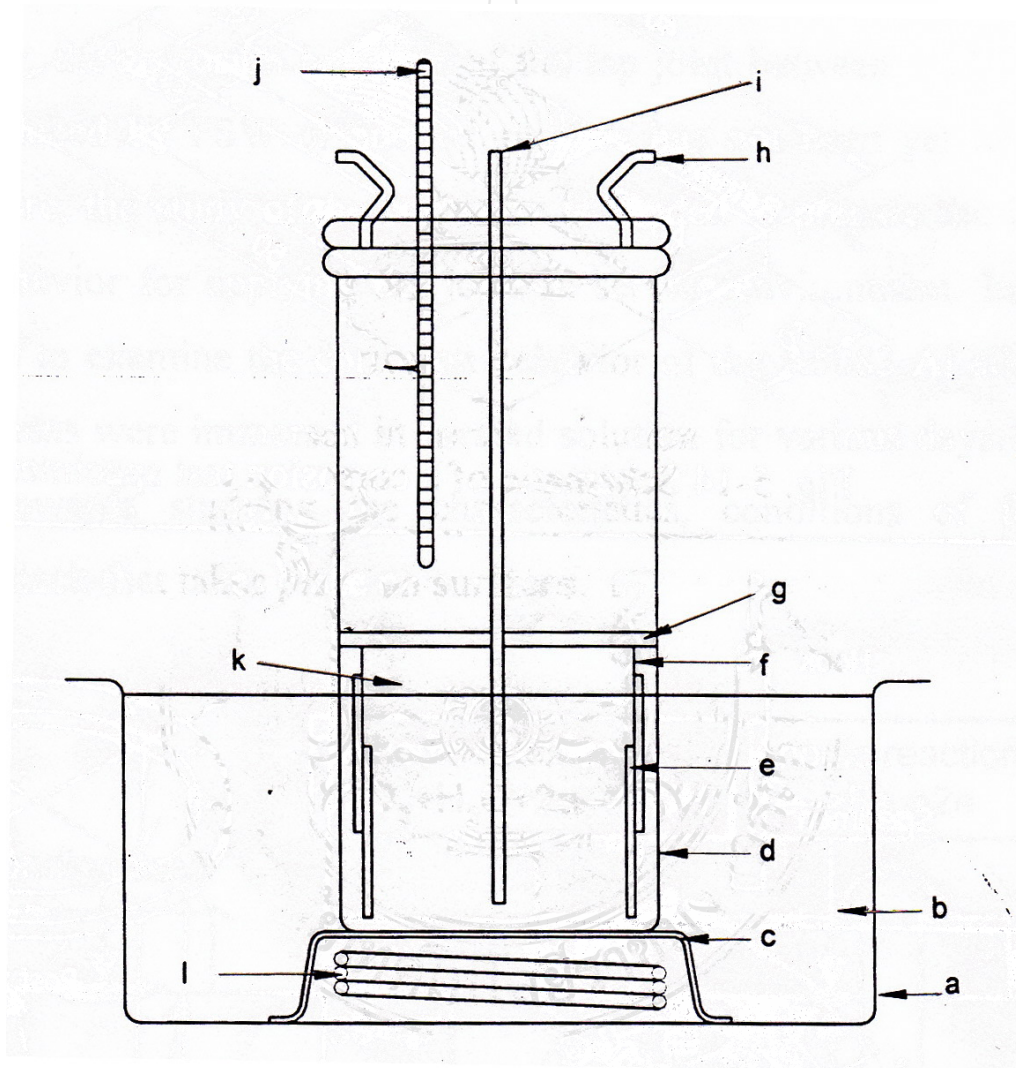
$$\text{แทนค่า V} = 28.8 \times 41 \times 20$$

ดังนั้น ปริมาณน้ำที่จะใช้ในการทดสอบ (V) = 23.616 ลิตร

ก) หลักการออกแบบอุปกรณ์ทดสอบการกัดกร่อน

ทำการออกแบบชุดทดสอบการหาอัตราการกัดกร่อนในแหล่งน้ำทะเลไทยตามมาตรฐาน ASTM G31-72[20] ดังรูปที่ 3.9

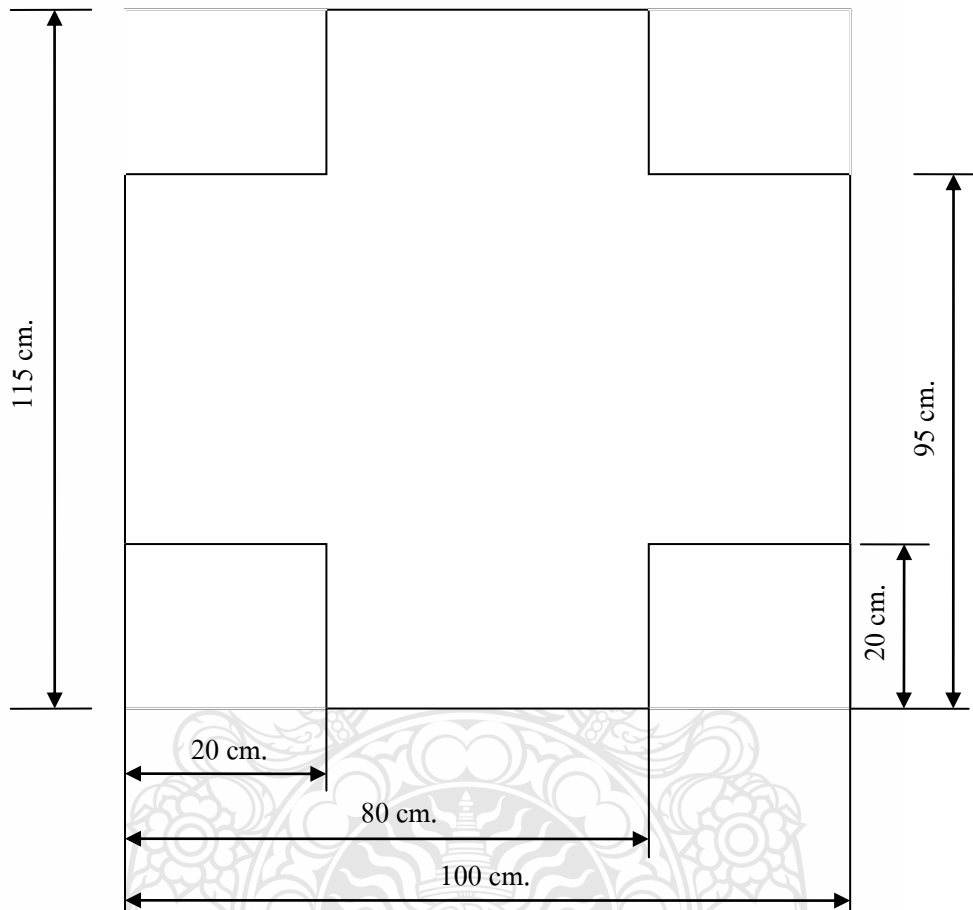
จากการออกแบบชุดควบคุมตัวแปรการทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่มนี้ตามมาตรฐาน ASTM ได้มีการนำชุดทดสอบมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ เพื่อให้การทดสอบเกิดความถูกต้องและแม่นยำมากที่สุด ซึ่งได้ทำการออกแบบวัสดุและอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับมาตรฐาน เพื่อใช้ในการทำการทดสอบอัตราการกัดกร่อนระหว่างรอยต่อของเหล็กและอะลูมิเนียมจากน้ำทะเล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.9 ชุดทดสอบการกัดกร่อน (a) อ่างให้ความร้อน (b) น้ำร้อน (c) ขารองตู้ (d) ตู้ทดสอบ (e) วัสดุตัวอย่าง (f) ตะขอแวน (g) ที่แวนขึ้นงาน (h) ท่อระบายอากาศออก (i) ท่อลมเข้า (j) เทอร์โมมิเตอร์ (k) น้ำทดสอบ และ (l) ขดลวดให้ความร้อน [18]

- อ่างให้ความร้อน

- นำแผ่นสังกะสีขนาดกว้าง 100 มม. ยาว 115 ซม. และหนา 0.5 มม. มาตัดมุมทั้ง 4 ข้างออกขนาดกว้าง 20 ซม. และยาว 20 ซม. โดยวัดจากขอบนอกที่มุม แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ขนาดของแผ่นสังกะสีก่อนทำการพับขึ้นรูป

- ทำการพับขึ้นรูปสังกะสีที่ได้เตรียมไว้ จะได้อ่างสังกะสีขนาดกว้าง 60 ซม. ยาว 75 ซม. สูง 20 ซม. แล้วทำการเชื่อมจุดที่บริเวณมุมทั้งสี่ด้านของขอบอ่าง จากนั้นนำไปบัดกรีที่ขอบด้านในเพื่อป้องกันการรั่วซึมของน้ำภายในอ่าง และเจาะรูที่ผนังด้านละ 2 รู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 มม. ระยะห่างระหว่างรูในขนาดที่เหมาะสม ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 อ่างให้ความร้อนที่เจาะรูเรียบร้อยแล้ว

- ใช้ขดลวดให้ความร้อน (Heater) บริเวณรูที่เจาะเพื่อเตรียมต่อเข้ากับตู้ควบคุมอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 อ่างให้ความร้อนที่ทำการติดขดลวด (Heater) แล้ว

- ตู้ควบคุมอุณหภูมิ
  - ใช้ตู้โลหะมาตรฐานขนาด  $20 \times 25 \times 15$  ซม.
  - ติดตั้งเครื่องตัดอุณหภูมิ (Thermostart)
  - ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermostart)
  - ติดตั้งโซลิตสตอร์รี่เสย์
  - ติดตั้งหลอดไฟแสดงสถานการณ์ทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ

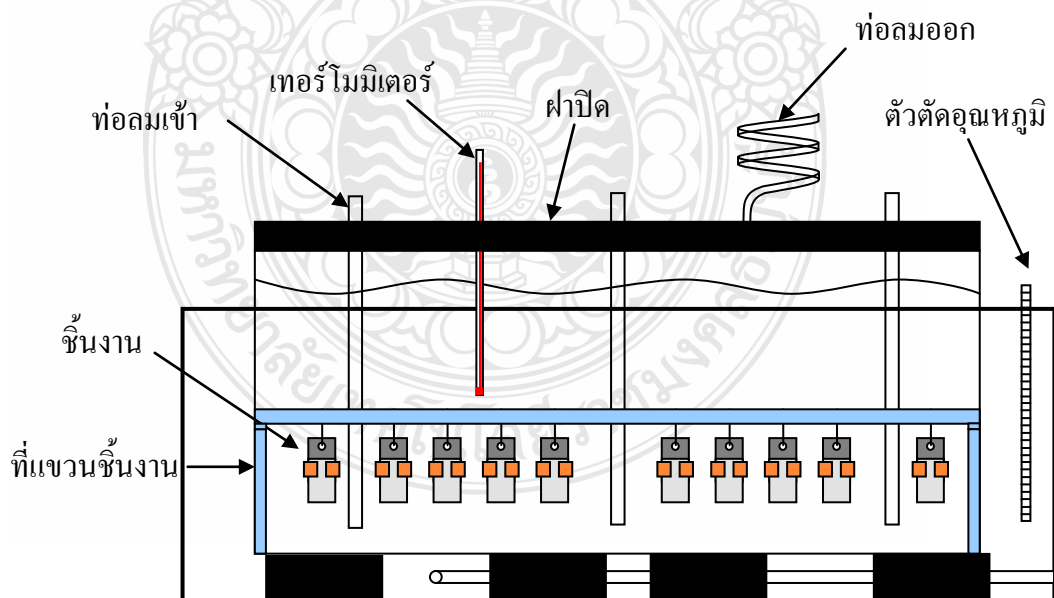
ทำการต่อตู้ควบคุมอุณหภูมิ เข้ากับอ่างให้ความร้อนที่ได้เตรียมไว้เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของขดลวดให้ความร้อน (Heater) ซึ่งมีการต่อวงจรไฟฟ้าภายในตู้ควบคุมและการต่อเข้ากับอ่างให้ความร้อน อธิบายดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ชุดควบคุมอุณหภูมิในการทดสอบการกัดกร่อน

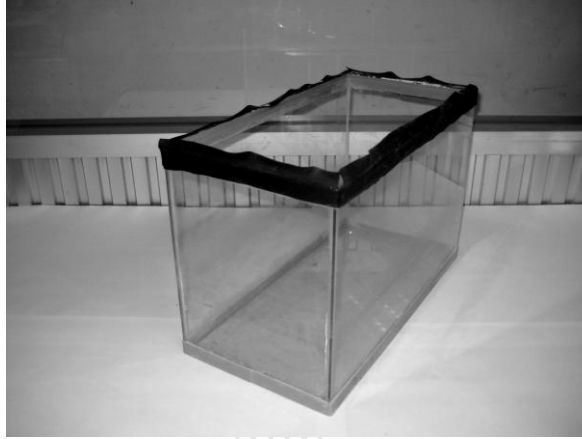
- ตู้ควบคุมตัวแปร

ออกแบบตู้ทดสอบการกัดกร่อนตามมาตรฐาน ASTM G31-72[20] ดังรูปที่ 3.14



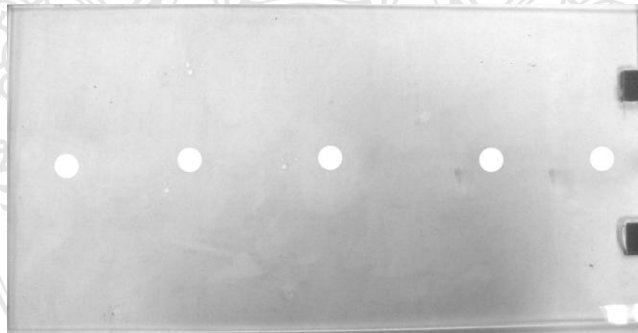
รูปที่ 3.14 แบบตู้ทดสอบการกัดกร่อน

- เตรียมตู้กระจกขนาด 25.830 ลิตร กว้าง 210 มม. ยาว 410 มม. สูง 300 มม. ตู้มีความหนา 5 มม. พร้อมติดแผ่นยางบางๆ ที่ขอบเพื่อป้องกันอากาศเข้า และการระเหยของน้ำออก บริเวณขอบตู้ แสดงดังรูปที่ 3.15



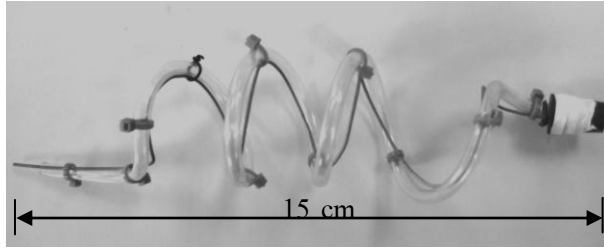
รูปที่ 3.15 ตู้กระจกที่ติดแผ่นยางกันอากาศเข้าออก

- นำฝาของตู้กระจก ใช้แผ่นอะคริลิกขนาดกว้าง 20 ซม. ยาว 40 ซม. หนา 0.5 ซม. ทำการเจาะรูเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. จำนวน 5 รู เพื่อใช้สำหรับติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ 1 รู ท่อนำอากาศเข้า 3 รู และท่อระบายอากาศ 1 รู ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ฝาปิดตู้กระจก

- ท่อระบายอากาศ ใช้สายยางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. ตัดตามลวดขดเป็นเกลียวเพื่อป้องกันการระเหยออกมาของไอน้ำ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ท่อระบายอากาศ

- ตัดสายยางยาว 50 ซม. จำนวน 6 เส้น เพื่อนำไปรวมกับเครื่องปั๊มลมขนาดเล็กที่มีขนาดความดันเท่ากับ 0.012 MPa กับท่ออากาศเข้า ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 เครื่องปั๊มลมขนาดเล็กกับท่ออากาศเข้า

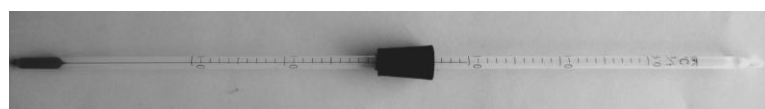
รูปที่ 3.19

- จุกยาง ใช้สวมอัดเข้ากับรูที่ฝาปิดที่ทำการเจาะเรียบร้อยแล้วจำนวน 5 รู ดัง



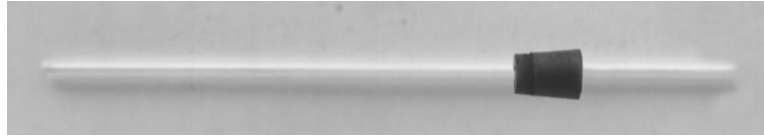
รูปที่ 3.19 จุกยาง

- นำเทอร์โมมิเตอร์และท่อแก้ว (ท่ออากาศเข้า) รวมเข้ากับจุกยาง เพื่อนำไปรวมกับฝาปิด ดังรูปที่ 3.20 และรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.20 เทอร์โมมิเตอร์





รูปที่ 3.21 ท่ออากาศเข้า



รูปที่ 3.22 อุปกรณ์สำหรับแขวนชิ้นงานทดสอบ

- อุปกรณ์สำหรับแขวนวัสดุทดสอบ โดยทำการตัดแผ่นอะคริลิก [22] ขนาด กว้าง 5 ซม. ยาว 38 ซม.หนา 3 มม. จำนวน 4 ชิ้น แล้วนำมาทำการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มม. จำนวน 22 รู และทำขาตั้งขนาดกว้าง 1.5 ซม. ยาว 1.5 ซม. สูง 10 ซม. ดังรูปที่ 3.22
- ที่แขวนชิ้นงาน ทำจากพลาสติกชนิด PVC [23] มีลักษณะเป็นรูปตัวเอส หรือ สามารถแขวนชิ้นงานทดสอบได้สะดวกต่อการสวมใส่ชิ้นงานและแขวนชิ้นงาน ดังรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 ลักษณะตะขอแขวนชิ้นงาน

- ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดเข้ากับอ่างให้ความร้อน จะได้ชุดทดสอบอัตราการกัดกร่อนดังรูปที่ 2.24

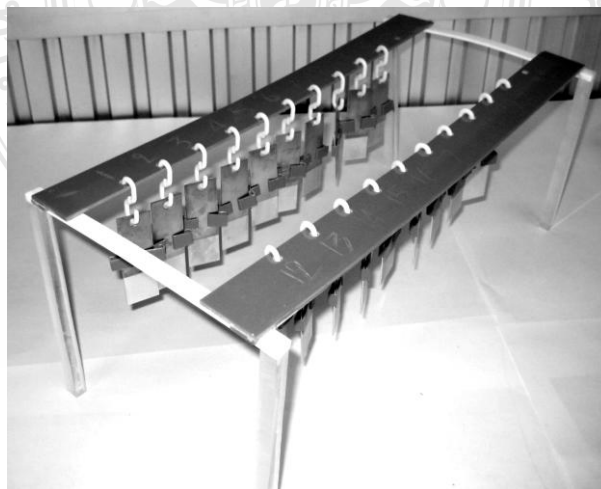


รูปที่ 3.24 ชุดทดสอบการกัดกร่อน

### 3.2.3 กระบวนการทดสอบ

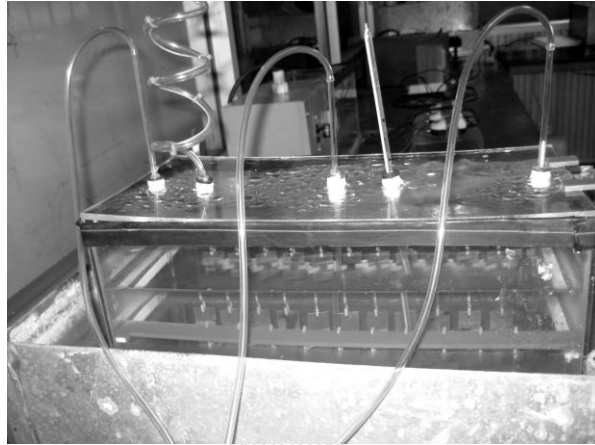
วิธีการทดสอบการศึกษากิจกรรมของน้ำทะเลไทยต่ออัตราการกัดกร่อนของรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 กับอะลูมิเนียม AA1100 โดยเริ่มจากขั้นตอนตามลำดับดังนี้

ก) นำชิ้นงานทดสอบที่ได้เตรียมไว้เรียบร้อยแล้วมาทำการแขวนบนอุปกรณ์แขวนวัสดุทดสอบ โดยเรียงลำดับตามผลการบันทึกข้อมูลของน้ำหนักที่ทำการชั่งเก็บข้อมูลก่อนทำการทดสอบเรียบร้อยแล้วดังรูปที่ 3.25 เพื่อความสะดวกต่อการเก็บข้อมูลในการหาค่าอัตราการกัดกร่อน



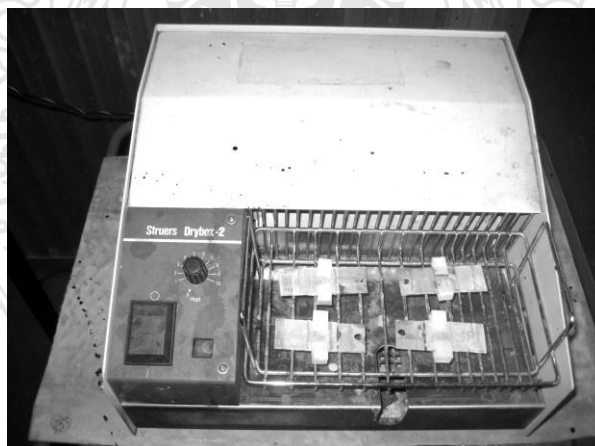
รูปที่ 3.25 ชิ้นงานทดสอบที่แขวนพร้อมทำการทดสอบ

ข) นำวัสดุที่แขวนเรียบร้อยแล้วแช่ในน้ำทะเลที่ตั้งอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยการปรับตั้งให้แล้วเสร็จจากชุดควบคุมความร้อน เป็นระยะเวลา 30 วัน/ 1 น้ำทะเลทดสอบ จากนั้นปิดฝาตู้ทดสอบให้สนิท แล้วเปิดเครื่องปั๊มลมทั้งหมดเพื่อให้น้ำทะเลในตัวกระจายมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 ชุดทดสอบการกัดกร่อน

ง) ทำการเก็บชิ้นงานทุกๆ 3 วัน เมื่อครบตามระยะเวลาการเก็บชิ้นงาน แล้วนำมาเป่าลมด้วยเครื่องเป่าลมร้อนดังรูปที่ 3.27 เพื่อให้ชิ้นงานแห้งสนิทก่อนนำไปกำจัดออกไซด์ตามกระบวนการของแต่ละวัสดุทดสอบ



รูปที่ 3.27 การเป่าลมชิ้นงานทดสอบให้แห้ง

จ) เหล็กกล้าคาร์บอน จะทำการกำจัดออกไซด์ด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ กับสังกะสีที่มีขนาดเล็ก ส่วนอะลูมิเนียมถูกกำจัดออกไซด์ด้วยกรดไนตริกจนออกไซด์ที่ผิววัสดุทดสอบหมดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM G1-90 [21] แสดงดังรูปที่ 3.28 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) การล้างออกไซด์ของเหล็ก (ข) การล้างออกไซด์ของอะลูมิเนียม

รูปที่ 3.28 การกำจัดออกไซด์ของวัสดุทดสอบ

ฉ) นำชิ้นงานทดสอบที่ทำกรกำจัดออกไซด์เรียบร้อยแล้วไปทำความสะอาดด้วยอะซิโตนอีกครั้งหนึ่งแสดงดังรูปที่ 3.29 เพื่อกำจัดเศษออกไซด์ที่ติดบนชิ้นงานทดสอบขณะล้างให้หมดไป แล้วนำไปเป่าให้แห้งก่อนนำไปชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบ



รูปที่ 3.29 ทำความสะอาดด้วยอะซิโตนหลังกำจัดออกไซด์

### 3.2.4 กระบวนการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด

นำชิ้นงานทดสอบในวันที่ 30 ทุกน้ำทะเลทดสอบไปทำการตรวจสอบหาปริมาณธาตุที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) โดยการแยกเหล็กและอะลูมิเนียมออกจากกันแล้วเป่าด้วยเครื่องเป่าลมร้อนให้ชิ้นงานทดสอบแห้งสนิทจากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้าในการส่องที่ 20 KV ระยะในการส่อง 200 เท่า และขนาด 100  $\mu\text{m}$ .

## บทที่ 4

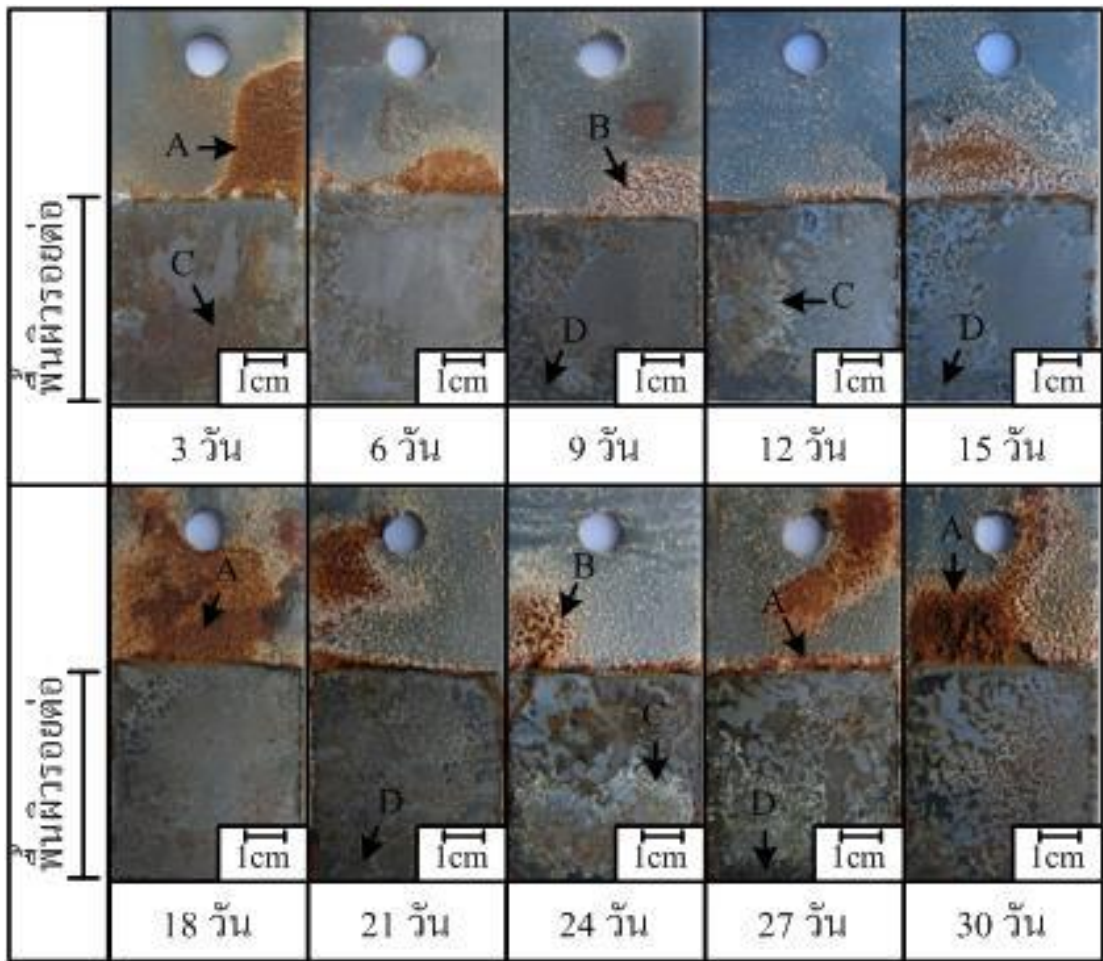
### ผลการทดลอง

จากการวิจัยในการทดสอบหาอัตราการกัดกร่อน ระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 และ อะลูมิเนียม AA 1100 ในสภาวะน้ำทะเลไทยจากแหล่งต่างๆ โดยทำการต่อเกลและทำการทดสอบ ซึ่ง ถูกควบคุมด้วยตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาในการกัดกร่อน ได้เร็วขึ้น การทดลองนี้จะทำการ ตรวจสอบคุณลักษณะการเกิดออกไซด์ (สนิม) บนผิวชิ้นงานงานทดสอบทั้งภายในและภายนอกรอยต่อ เกล หาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย หาอัตราการกัดกร่อน และดูกลไกการกัดกร่อนภายในรอยต่อเกล ของวัสดุทั้งสองชนิดในลักษณะที่แตกต่างกันซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

#### 4.1 อิทธิพลของน้ำทะเลฝั่งภูเก็ตต่ออัตราการกัดกร่อนระหว่างอะลูมิเนียม AA 1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015

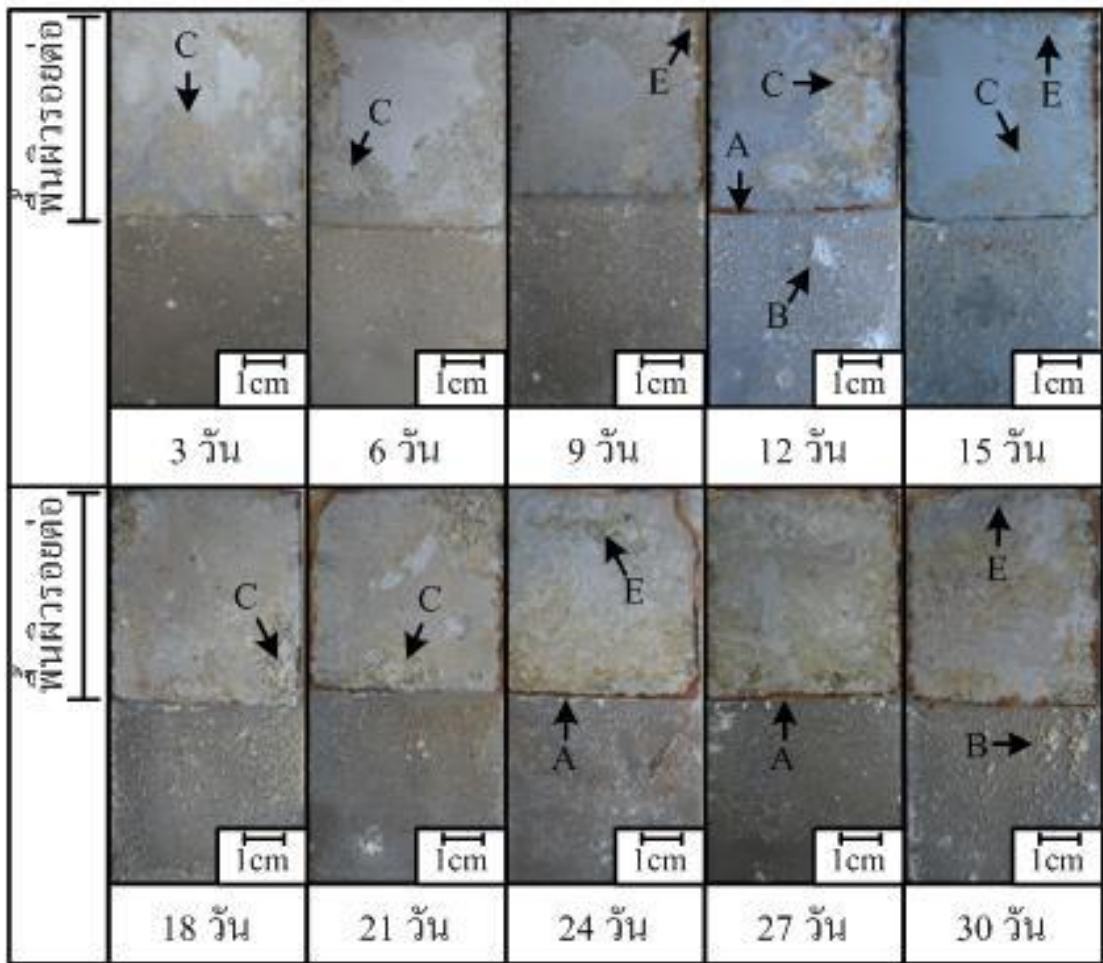
##### 4.1.1 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวบนชิ้นงานทดสอบ

การทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลเกาะภูเก็ต แสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่าที่ผิวของแผ่น เหล็กมีลักษณะของออกไซด์สีแดงเกาะในปริมาณที่มากขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการจุ่มแช่ (แสดง ด้วยลูกศร A) โดยเฉพาะ 3 วันแรก ออกไซด์สีแดงเกาะในปริมาณที่มากบนผิวภายนอกและบริเวณ ขอบรอยต่อในช่วงวันที่ 6 ถึงวันที่ 15 ออกไซด์มีประมาณลดลง เพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 18 และวันที่ 30 บริเวณพื้นผิวเหล็กที่ไม่เกิดออกไซด์จะเริ่มมีขาวขุ่นเข้มขึ้นเรื่อยๆ และมีเม็ดเกลือสีขาวเกาะอยู่ทั่ว พื้นผิวของเหล็กตามระยะเวลาจุ่มแช่ที่เพิ่มมากขึ้น ที่บริเวณขอบของรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมมีก้อน เกลือเกาะแทรกอยู่ตามออกไซด์เป็นปริมาณมาก (แสดงด้วยลูกศร B) ส่วนบริเวณภายในผิวสัมผัสของ รอยต่อเกล พบคราบแผ่นฟิล์มสีขาวขุ่นปนด้วยคราบออกไซด์สีแดง (แสดงด้วยลูกศร C) กระจายอย่าง ไม่สม่ำเสมอทั่วบริเวณผิวสัมผัสพบอย่างไม่ต่อเนื่องบนชิ้นงานทดสอบขึ้นอยู่กับลักษณะการกัดกร่อน ภายในผิวรอยต่อของวัสดุทั้งสองชนิด (ลูกศร D) แสดงถึงลักษณะที่เป็นหลุมตื้นๆ สีดำ ส่วนมากจะ เกิดบริเวณขอบภายในผิวรอยต่อ เกิดเนื่องจากสูญเสียเนื้อของผิวหน้าแผ่นเหล็กไปเพราะเกิดการกัด กร่อนภายในผิวสัมผัสระหว่างอะลูมิเนียมจึงส่งผลทำให้เกิดในบริเวณที่มากขยายเข้ามาตรงกลาง ภายในผิวสัมผัส สังเกตได้จากชิ้นงานวันที่ 9 ซึ่งยังพบว่ามีปริมาณน้อย และเพิ่มมากขึ้นในช่วงท้ายๆ ของระยะเวลาทดสอบ จึงทำให้พื้นผิวภายในรอยต่อของเหล็กเกิดความเรียบไม่สม่ำเสมอ ขึ้นอยู่กับ กลไกการกัดกร่อนภายในรอยต่อตามระยะเวลาในการจุ่มแช่ชิ้นงาน



รูปที่ 4.1 ผิวชิ้นงานของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต

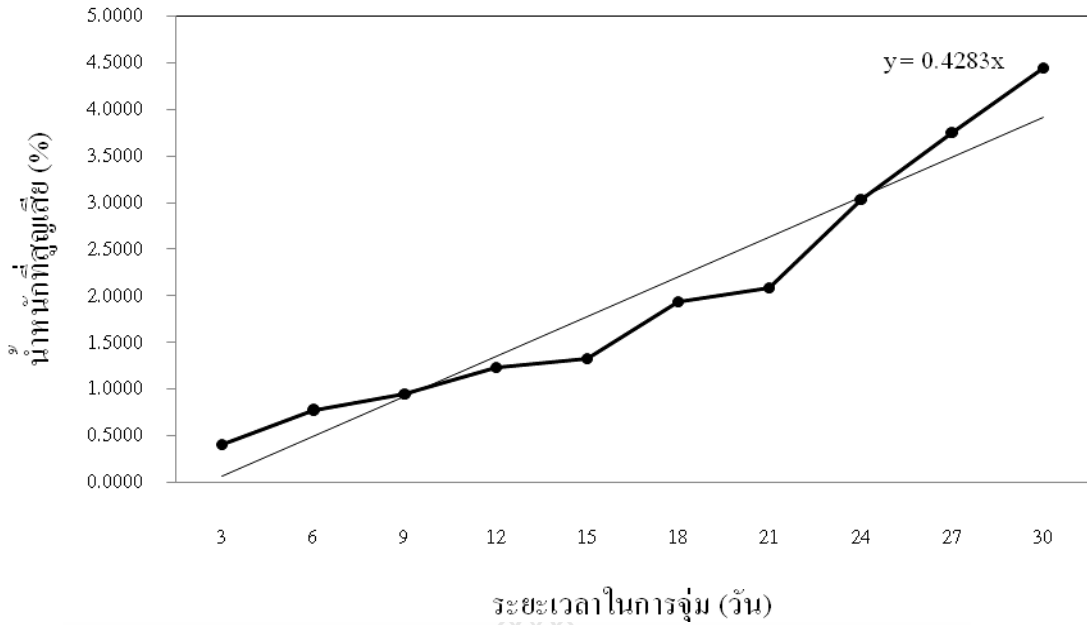
รูปที่ 4.2 แสดงผิวแผ่นอะลูมิเนียม จากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต พบว่าที่ผิวอะลูมิเนียมทั้งภายนอกและภายในรอยต่อจะมีลักษณะที่แตกต่างกันมาก ซึ่งผิวภายนอกนั้นมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มสีเทาเคลือบทั่วทั้งผิวกวและปกคลุมอีกชั้นด้วยคราบเกลือสีขาวบางๆ กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ในวันที่ 12 และวันที่ 30 มีก้อนเกลือสีขาวขนาดเล็กเกาะอยู่ที่บริเวณต่างๆ (แสดงด้วยลูกศร B) ที่บริเวณขอบรอยต่ออยู่ระหว่างเหล็กมีก้อนออกไซด์เกาะอยู่ตลอดแนวในปริมาณที่น้อย (แสดงด้วยลูกศร A) ส่วนบริเวณภายในรอยต่อเกิดแผ่นฟิล์มสีขาวปกคลุมไปทั่วพื้นผิวภายในเห็นได้ชัดเจนตั้งแต่ช่วงแรกถึงวันสุดท้ายของการทดสอบ ที่แผ่นฟิล์มขาวมีคราบออกไซด์สีเหลืองแทรกตัวอยู่อย่างสม่ำเสมอ (แสดงด้วยลูกศร C) ซึ่งในช่วงแรกจะพบในปริมาณน้อยและเริ่มเพิ่มมากขึ้นในช่วง 15 วันหลัง ที่บริเวณของขอบพื้นที่สีขาวขุ่นจะมีลักษณะเป็นหลุมสีเทาส่วนมากพบที่บริเวณขอบภายในรอยต่อ (แสดงด้วยลูกศร E) เกิดจากการสูญเสียเนื้ออะลูมิเนียมไปเนื่องจากเกิดการกัดกร่อนภายในรอยต่ออยู่ระหว่างเหล็ก จึงทำให้ผิวหน้าแผ่นอะลูมิเนียมบริเวณผิวสัมผัสมีผิวที่ขรุขระเป็นหลุมอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับพื้นผิวบริเวณนอกรอยต่ออยู่ ซึ่งมีผิวเรียบสม่ำเสมอตลอดพื้นผิว



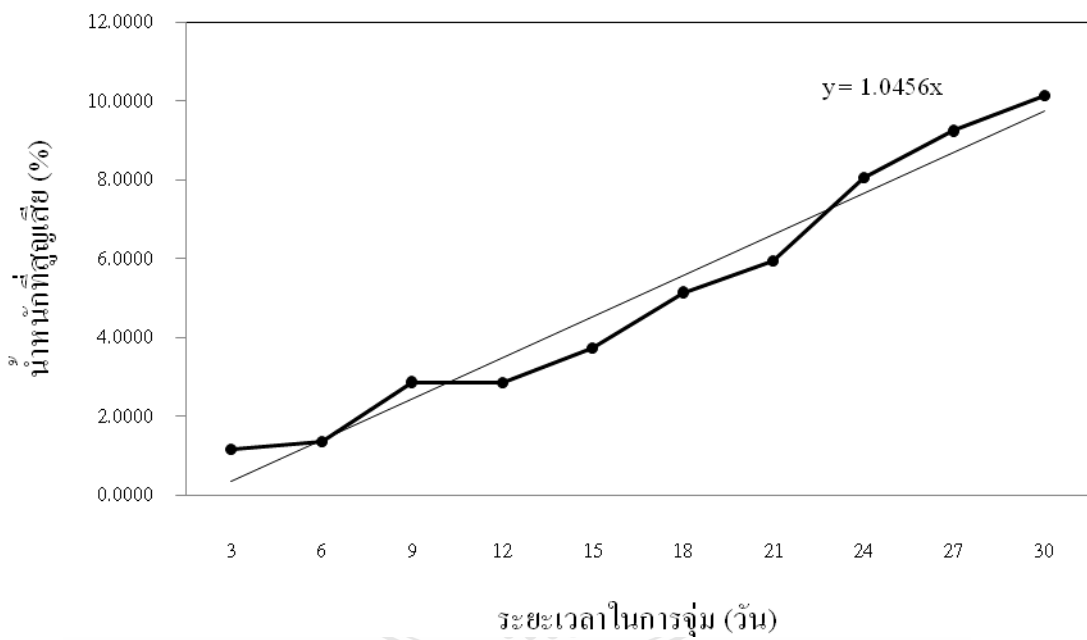
รูปที่ 4.2 ผิวชิ้นงานของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต

#### 4.1.2 แนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กและอะลูมิเนียม

น้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กและอะลูมิเนียมจากการทดสอบอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ตนำชิ้นงานทดสอบที่ผ่านการจุ่มแช่ในน้ำทดสอบตามระยะเวลาต่างๆ มาทำการกำจัดออกไซด์ออก โดยแยกเหล็กและอะลูมิเนียมออกจากกัน เนื่องจากมีวิธีการกำจัดออกไซด์ที่ไม่เหมือนกันตามมาตรฐาน ASTM G1-90 [21] กล่าวคือ สำหรับวัสดุที่เป็นเหล็กกำจัดออกไซด์โดยการนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์กับเกลือสังกะสีที่อุณหภูมิ 80 – 90°C ที่ระยะเวลา 30 นาที ส่วนอะลูมิเนียมทำการกำจัดออกไซด์โดยใช้สารละลายกรดไนตริกที่อุณหภูมิห้อง หลังจากทำการกำจัดออกไซด์ของวัสดุทั้งสองชนิดเรียบร้อยแล้ว จะนำชิ้นงานทดสอบมาชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบเพื่อเก็บข้อมูลของน้ำหนักที่สูญเสียไปของวัสดุทั้งสองชนิด ซึ่งอธิบายไว้ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบในน้ำทะเลฟุ้งฤทธิ์ของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบในน้ำทะเลฟุ้งฤทธิ์ของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100

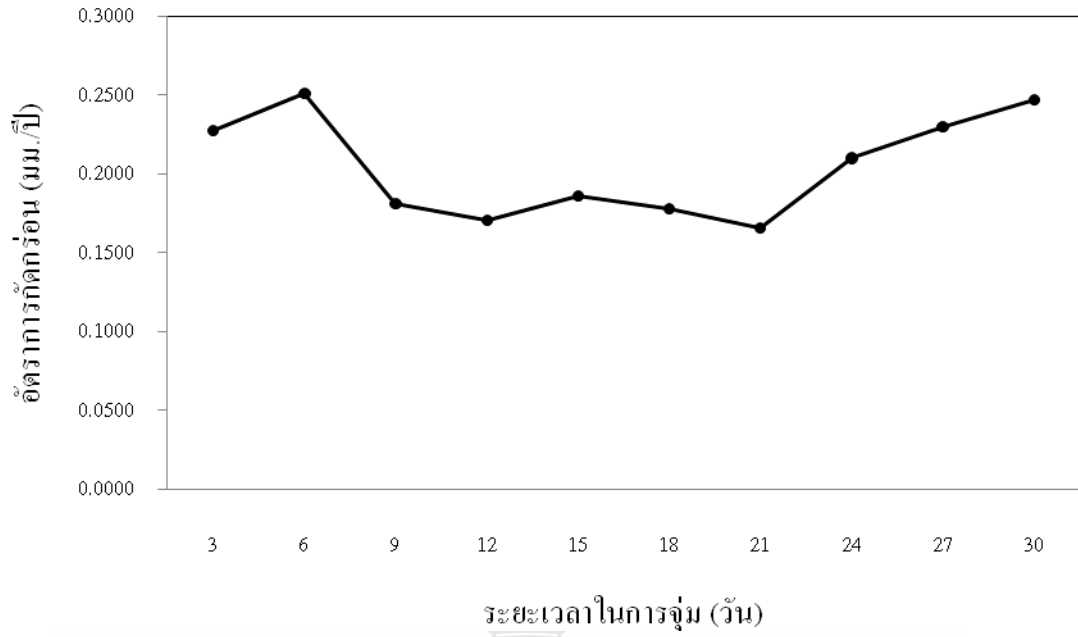


การสูญเสียน้ำหนักของแผ่นเหล็ก ดังรูปที่ 4.3 พบว่ามีลักษณะแนวโน้มที่เพิ่มอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีลักษณะคล้ายขั้นบันได ในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 9 มีการเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ และเริ่มชะลอตัวในวันที่ 12 ถึงวันที่ 21 จากนั้นเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้งอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีความชันมากกว่าเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักที่สูญเสียที่มีค่าเท่ากับ 0.4283 มีความแตกต่างจากเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียของอะลูมิเนียมดังรูปที่ 4.4 มีค่ามากกว่าค่าแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กมีค่าเท่ากับ 1.0456 พบว่าค่าน้ำหนักที่สูญเสียมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและคงที่ในวันที่ 9 ถึงวันที่ 12 หลังจากนั้นมีการเพิ่มขึ้นอย่างคงที่สม่ำเสมอในลักษณะที่ขนานไปกับเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียนั้น แสดงว่าการสูญเสียน้ำหนักของอะลูมิเนียมมีมากกว่าการสูญเสียน้ำหนักของเหล็ก

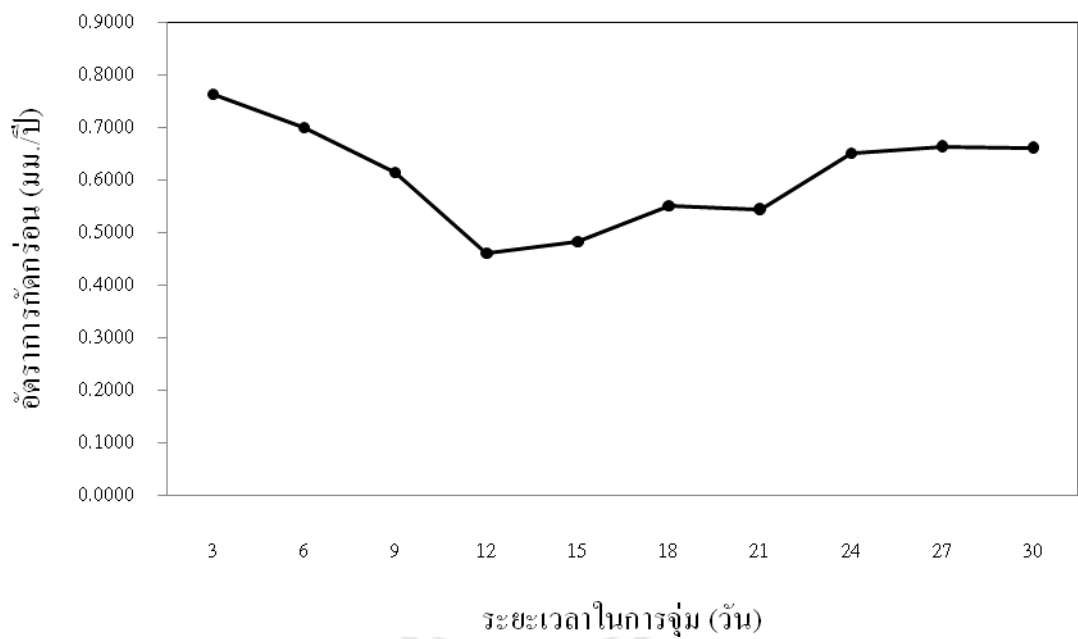
#### 4.1.3 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กและอะลูมิเนียม

จากข้อมูลการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กและอะลูมิเนียม สามารถนำมาหาค่าอัตราการกัดกร่อนตามมาตรฐาน ASTM G1-90 [21] ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าน้ำหนักที่สูญเสียไปของวัสดุทั้งสองชนิดและระยะเวลาของการทดสอบ อธิบายไว้ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

รูปที่ 4.5 แสดงอัตราการกัดกร่อนของแผ่นเหล็ก จากการทดสอบในน้ำทะเลที่งูเกิดที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า เหล็กมีอัตราการกัดกร่อนมากในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 9 และลดลงในช่วงวันที่ 12 ถึงวันที่ 21 เกิดเนื่องจากการสูญเสียน้ำหนักที่ค่อนข้างคงที่หรือสูญเสียเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากนั้นเริ่มสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 24 ถึงวันที่ 30 อย่างต่อเนื่อง สาเหตุที่ทำให้เหล็กเกิดการกัดกร่อนมากในช่วงแรกเกิดเนื่องจากเหล็กเกิดปฏิกิริยากับสภาวะน้ำทะเลที่ใช้ในการทดสอบจึงทำให้เกิดการกัดกร่อนที่รวดเร็ว จึงทำให้เกิดออกไซด์และเกิดพฤติกรรมกัดกร่อนได้มากในช่วงแรกเกิดจากการสูญเสียน้ำหนักในปริมาณมากขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นด้วยและพบการสูญเสียน้ำหนักมาก บริเวณที่เกิดออกไซด์และบริเวณที่เกิดก้อนเกลือปกคลุมอย่างหนาแน่น โดยเฉพาะบริเวณขอบของบริเวณรอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียม ส่วนวันที่ 30 เหล็กมีอัตราการกัดกร่อนเท่ากับ 0.2472 มม./ปี ซึ่งมีอัตราการกัดกร่อนที่แตกต่างไปจากอะลูมิเนียมไปในปริมาณมาก แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่า อัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมใน 3 วันแรกเกิดขึ้นมากและลดลงอย่างต่อเนื่องถึงวันที่ 12 จากนั้นเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันอย่างไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับระยะเวลาต่างๆ ซึ่งอะลูมิเนียมนี้มีอัตราการกัดกร่อนในวันที่ 30 เท่ากับ 0.6622 มม./ปี มีค่ามากกว่าอัตราการกัดกร่อนของเหล็ก เกิดเนื่องจากอะลูมิเนียมเกิดการสูญเสียน้ำหนักไปจากการกัดกร่อนทั้งภายในและภายนอกรอยต่อเกาะและเกิดจากการสูญเสียไอออนที่เกิดภายในรอยต่อกับเหล็ก จึงเป็นเหตุทำให้อะลูมิเนียมเกิดการกัดกร่อนมากกว่าเหล็กสังเกตได้จากเนื้ออะลูมิเนียมที่สูญหายไปหลังจากการกำจัดออกไซด์อะลูมิเนียม และพบว่าบริเวณภายในขอบและบริเวณภายในรอยต่อเกาะเกิดการกัดกร่อนในปริมาณที่มากกว่าบริเวณอื่น



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราคาร์บอนในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ตของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015

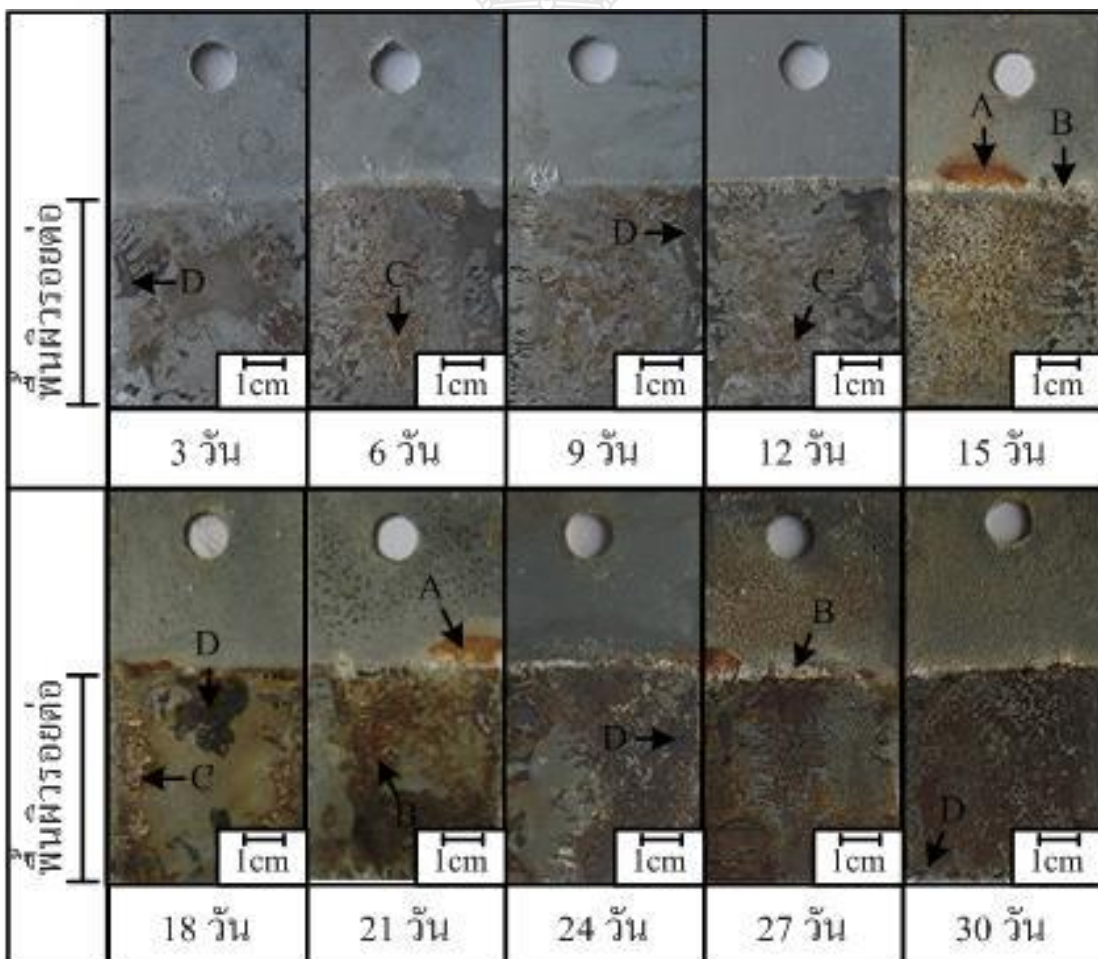


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราคาร์บอนในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ตของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100

## 4.2 อิทธิพลของน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุดต่ออัตราการกัดกร่อนระหว่าง อะลูมิเนียม AA 1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015

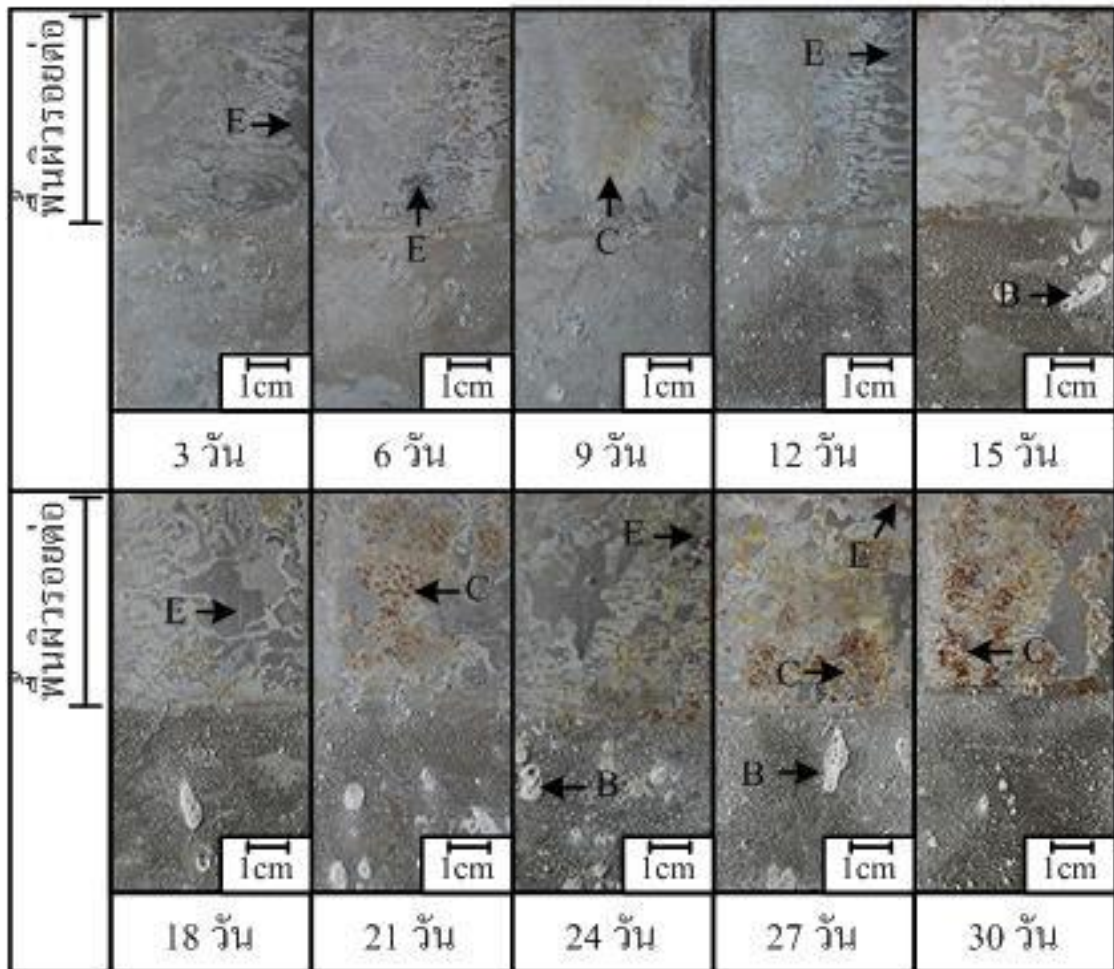
### 4.2.1 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวบนชิ้นงานทดสอบ

การทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลมาบตาพุด แสดงด้วยรูปที่ 4.7 พบว่าในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 12 ไม่มีออกไซด์แดงเกาะที่ผิวจนรอยต่อเลยเกิดเหมือนเป็นแผ่นฟิล์มสีขาวอ่อนๆ ปกคลุมทั่วผิวแผ่นเหล็ก เริ่มมีก้อนออกไซด์สีแดง และก้อนเกลือมาเกาะที่บริเวณขอบรอยต่อของอะลูมิเนียมในบริเวณที่ไม่มากนัก (แสดงด้วยลูกศร A และ B) ตามลำดับ ตั้งแต่วันที่ 15 ถึงวันที่ 30 ซึ่งมีความแตกต่างจากผิวภายนอกแผ่นเหล็กที่น้ำทะเลฝั่งภูเก็ตมีปริมาณออกไซด์ในปริมาณที่มากตลอดระยะเวลาจุ่มแช่และผิวชิ้นงานเริ่มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ ปะปนด้วยเม็ดเกลือที่ละเอียดเกาะกระจายทั่วพื้นผิวในวันที่ 27 และวันที่ 30 ส่วนบริเวณภายในผิวสัมผัสจะพบคราบสีขาวขุ่นปะปนคราบสีเหลืองกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอทั่ว (แสดงด้วยลูกศร C) มีปริมาณที่มากในช่วงวันที่ 6 ถึง



รูปที่ 4.7 ผิวชิ้นงานของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่ง  
อุตสาหกรรมมาบตาพุด

วันที่ 12 และพบหลุมตื้นๆ สีดำ เกิดที่บริเวณขอบภายในผิวสัมผัสตั้งแต่ช่วงแรกถึงวันสุดท้ายของการทดสอบในปริมาณที่น้อยและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (แสดงด้วยลูกศร D) ซึ่งเกิดจากการสูญเสียเนื้อของผิวหน้าเหล็กบริเวณภายในผิวรอยต่อ เนื่องจากเกิดการกัดกร่อนภายในผิวสัมผัสระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียม ทำให้เกิดผิวขรุขระบริเวณขอบนอกขยายเข้ามาด้านในอย่างเห็นได้ชัดตามระยะเวลาการจุ่มแช่



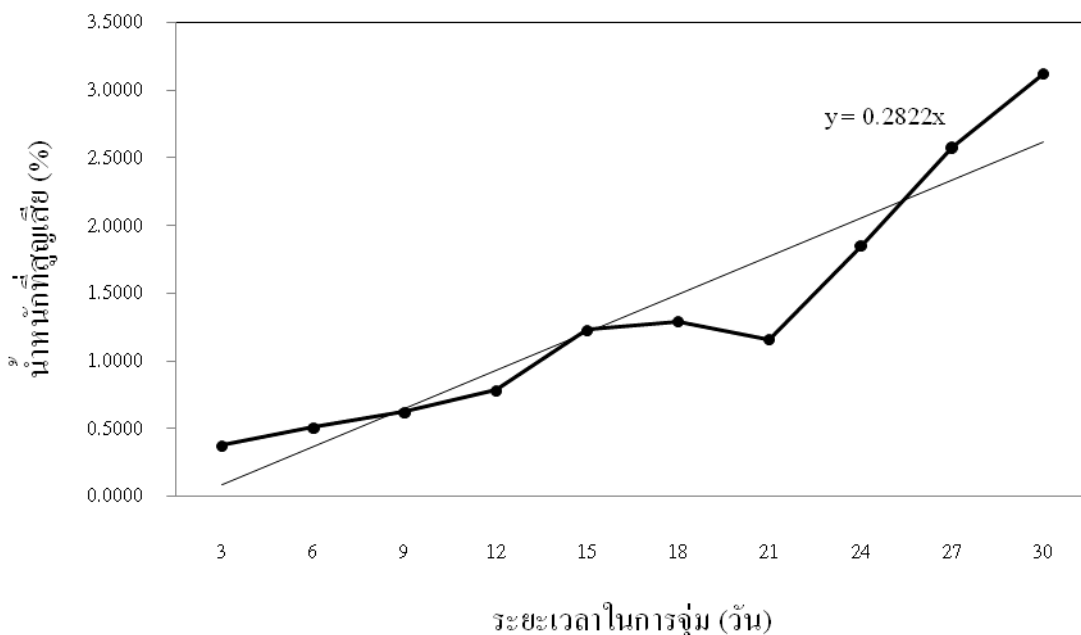
รูปที่ 4.8 ผิวชิ้นงานของแผ่นอะลูมิเนียม AA1100 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด

รูปที่ 4.8 แสดงพื้นผิวอะลูมิเนียม จากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลมาบตาพุด พบว่าพื้นผิวบริเวณภายนอกรอยต่อมีแผ่นฟิล์มสีขาวขุ่นและสีเทาปกคลุมอยู่ทั่วพื้นผิวทุกๆ ชิ้นงานทดสอบ มีสีที่เข้มขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาทดสอบ และเริ่มมีเม็ดเกลือที่ละเอียดมาเกาะทับอีกชั้น ตั้งแต่วันที่ 9 มีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นในช่วงวันที่ 15 ถึงวันที่ 30 (แสดงด้วยลูกศร B) ส่วนบริเวณภายในรอยต่อเคยมีลักษณะเป็นคราบกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอทั่วแผ่นฟิล์มสีขาวขุ่นปะปนด้วยคราบออกไซด์สีแดงที่หลุดออกมาจากแผ่นเหล็ก (แสดงด้วยลูกศร C) ในช่วงครึ่งแรกของระยะเวลาทดสอบจะเกิดขึ้นน้อย และเริ่มมีปริมาณที่มากขึ้นในวันที่ 21 ถึงวันที่ 30 ที่บริเวณขอบขอบแผ่นเหล็กบริเวณภายในผิวสัมผัส

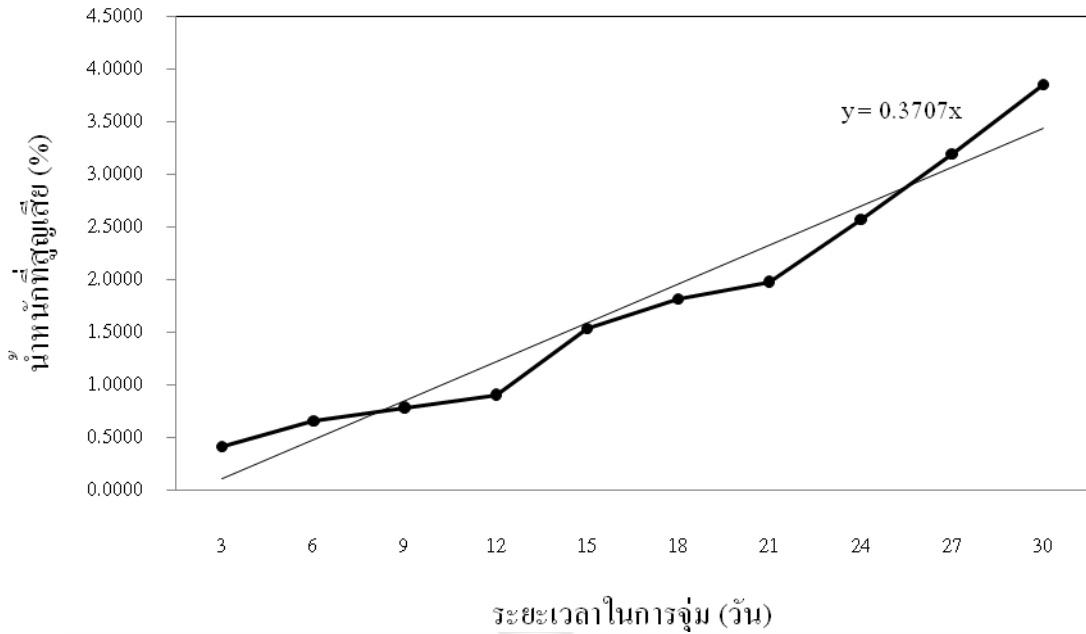
จะมีหลุมสี่เทาเป็นบ่อตื้นๆ (แสดงด้วยลูกศร E) เกิดกระจายอยู่ไม่สม่ำเสมออยู่ทั่วพื้นผิว เกิดจากการสูญเสียเนื้อของอะลูมิเนียมที่เกิดจากการกัดกร่อนภายในพื้นที่ต่อเกย ซึ่งมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นอยู่กับระยะเวลาจุ่มแช่ มีลักษณะที่แตกต่างจากพื้นผิวบริเวณภายนอกผิวรอยต่อ ซึ่งมีลักษณะที่เป็นพอกพูนขึ้นของแผ่นฟิล์มที่เคลือบอยู่ ซึ่งบริเวณภายในรอยต่อเกยมีลักษณะที่เกิดการลดลงหรือสูญเสียเนื้อของอะลูมิเนียมไปอย่างเห็นได้ชัด

#### 4.2.2 แนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กและอะลูมิเนียม

รูปที่ 4.9 แสดงค่าการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กจากการทดสอบอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลชายฝั่งอุตสาหกรรมมาตาพุด พบว่าเส้นแนวโน้มน้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กมีค่าเท่ากับ 0.2888 ซึ่งเป็นค่าน้อยเมื่อเทียบกับเส้นแนวโน้มน้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กจากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ตและน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง ดังที่อธิบายมาแล้วข้างต้น ค่าน้ำหนักที่สูญเสียน้ำหนักใน วันที่ 3 ถึงวันที่ 18 มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าที่เพิ่มขึ้นไม่มากนัก นั้นแสดงว่าเกิดการสูญเสียน้ำหนักไปของแผ่นเหล็กแต่ละช่วงเวลามีค่าที่เพิ่มขึ้นต่างกันไม่มากเมื่อเทียบกับค่าที่สูญเสียน้ำหนักในวันที่ 24 ถึงวันที่ 30 ซึ่งเกิดการสูญเสียน้ำหนักไปในปริมาณที่มาก เมื่อเทียบกับความชันของเส้นแนวโน้ม พบว่ามีความชันมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด และเกิดการลดลงของน้ำหนักที่สูญเสียน้ำหนักในวันที่ 21 เกิดเนื่องจากชิ้นงานทดสอบบางชิ้นเกิดการกัดกร่อนในปริมาณที่น้อยจึงทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กมีการลดลงเท่ากับ 0.2822 ส่วนรูปที่ 4.10 แสดงถึงการสูญเสียน้ำหนักของอะลูมิเนียม ซึ่งมีลักษณะที่ไม่แตกต่างไปจากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต แต่มีค่าแนวโน้ม



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาตาพุดของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015

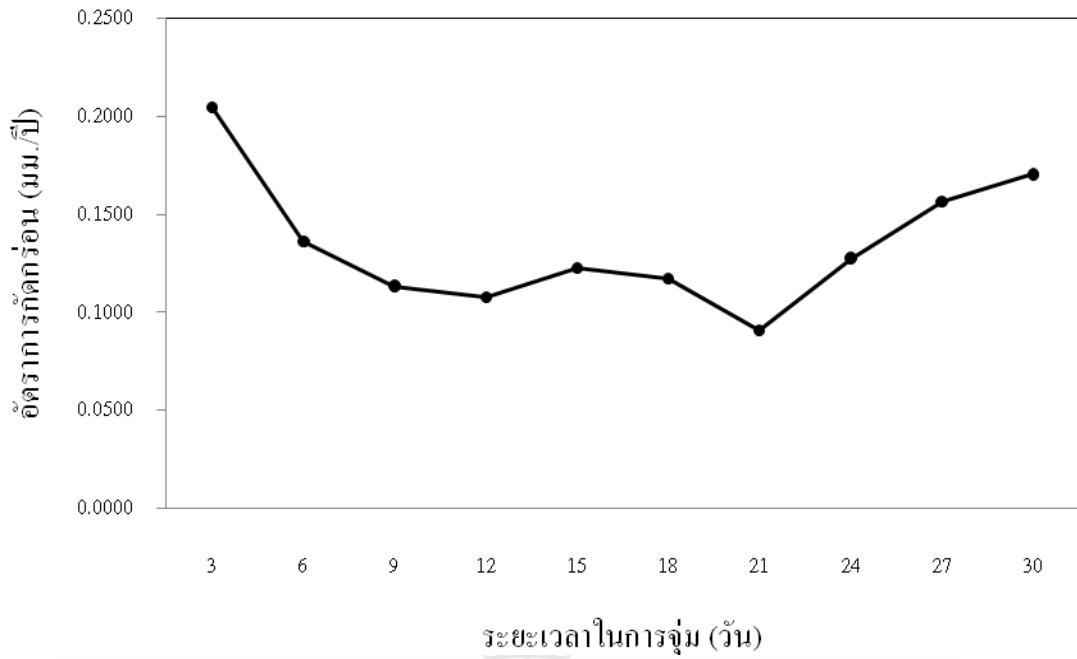


รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียน้ำจากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุดของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100

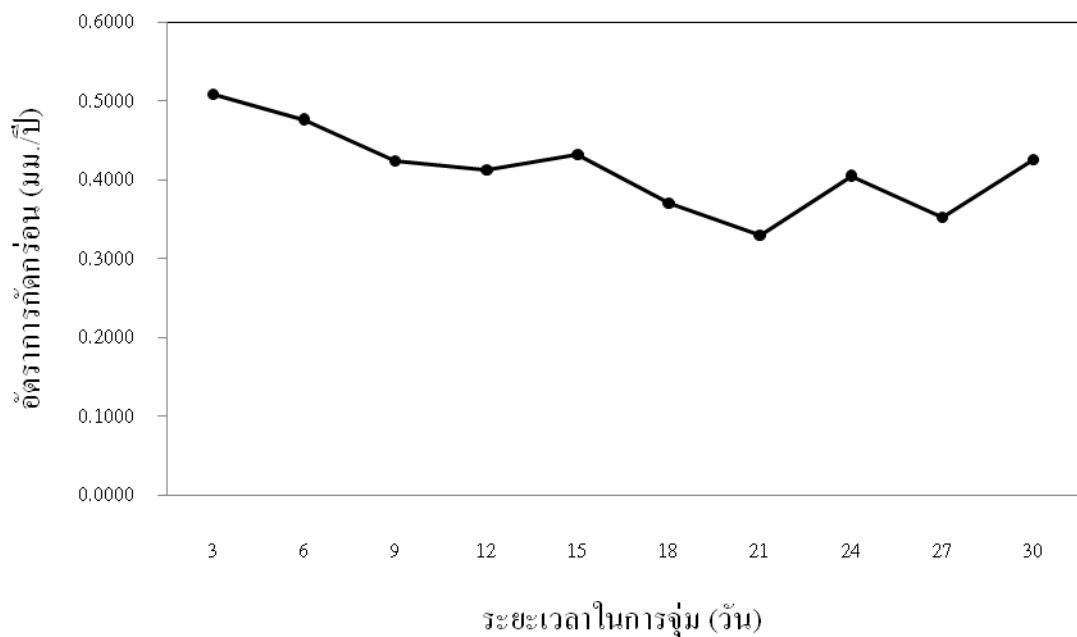
น้ำหนักที่สูญเสียน้ำไปเท่ากับ 0.3707 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแหล่งน้ำทะเลทั้งสองแหล่ง ดังที่กล่าวมาแล้ว ค่า น้ำหนักที่สูญเสียน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วง 12 วันแรกและคงที่ในช่วงวันที่ 15 ถึงวันที่ 21 และวันที่ 27 จากนั้นมีการเพิ่มขึ้นสูงอย่างเห็นได้ชัดในวันที่ 24 และวันที่ 30 แสดงให้เห็นว่าการสูญเสียน้ำของ อะลูมิเนียมแต่ละช่วงเวลามีค่าไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับการกัดกร่อนทั้งภายใน และภายนอกของรอยต่อ เกลือระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียม

#### 4.2.3 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กและอะลูมิเนียม

รูปที่ 4.11 แสดงอัตราการกัดกร่อนของเหล็กจากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรม มาบตาพุด พบว่าอัตราการกัดกร่อนมีลักษณะที่มากในช่วงวันที่ 3 เกิดเนื่องจากเหล็กเกิดการสูญเสียน้ำหนักในปริมาณที่มากในช่วงระยะเวลาสั้นๆ และลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 12 จากนั้นเพิ่มขึ้น และลดลงสลับกันอย่างไม่สม่ำเสมอจนถึงวันที่ 21 แสดงว่าการเกิดออกไซด์ที่ผิวเหล็กเกิดขึ้นไม่มากนัก จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้นจึงทำให้อัตราการกัดกร่อนในช่วงนี้เกิดการชะลอตัวและเริ่มคงที่ ค่าอัตราการกัดกร่อนมีค่าน้อยสุด จากนั้นมีการเพิ่มขึ้น ต่อเนื่องอีกครั้งจนถึงวันสุดท้ายของการทดสอบในช่วงระยะเวลานี้เกิดการกัดกร่อนค่อนข้างมาก เนื่องจากน้ำทะเลมีปริมาณที่ลดลงจากการระเหยออกของน้ำทะเลที่ผ่านท่อระบายอากาศ จึงทำให้ ความเข้มข้นของน้ำทะเลภายในตู้ทดสอบมีความเข้มข้นมากยิ่งขึ้นเป็นเหตุทำให้เกิดออกไซด์ใน



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่ง  
อุตสาหกรรมมาบตาพุดของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่ง  
อุตสาหกรรมมาบตาพุดของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100

ปริมาณที่มากและมีการสูญเสียน้ำหนักไปในปริมาณมากเช่นเดียวกัน ดังนั้นมีค่าอัตราการกัดกร่อนในวันที่ 30 จึงมีค่าเพิ่มมากขึ้นเท่ากับ 0.1707 มม./ปี ส่วนอัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมจากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งมาบตาพุด พบว่าเส้นกราฟมีแนวโน้มที่ลดลง แสดงดังรูปที่ 4.12 คล้ายกับอัตราการกัดกร่อนของเหล็กดังรูปที่ 4.11 ค่าอัตราการกัดกร่อนมีแนวโน้มที่ลดลง มีค่าสูงในช่วงวันที่ 3 และลดลงกลับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในวันที่ 12 จากนั้นลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าต่ำสุดในวันที่ 21 เป็นเช่นนี้สลับกันไปจนถึงวันสุดท้ายของระยะเวลาทดสอบ ซึ่งมีค่าอัตราการกัดกร่อนในวันที่ 30 มีค่าเท่ากับ 0.4270 มม./ปี แสดงให้เห็นว่าอะลูมิเนียมมีอัตราการกัดกร่อนมากกว่าเหล็กที่ระยะเวลาที่เท่ากัน และเกิดการกัดกร่อนสูงสุดในวันที่ 3 ที่เหมือนกัน

### 4.3 อิทธิพลของน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบังต่ออัตราการกัดกร่อนระหว่าง

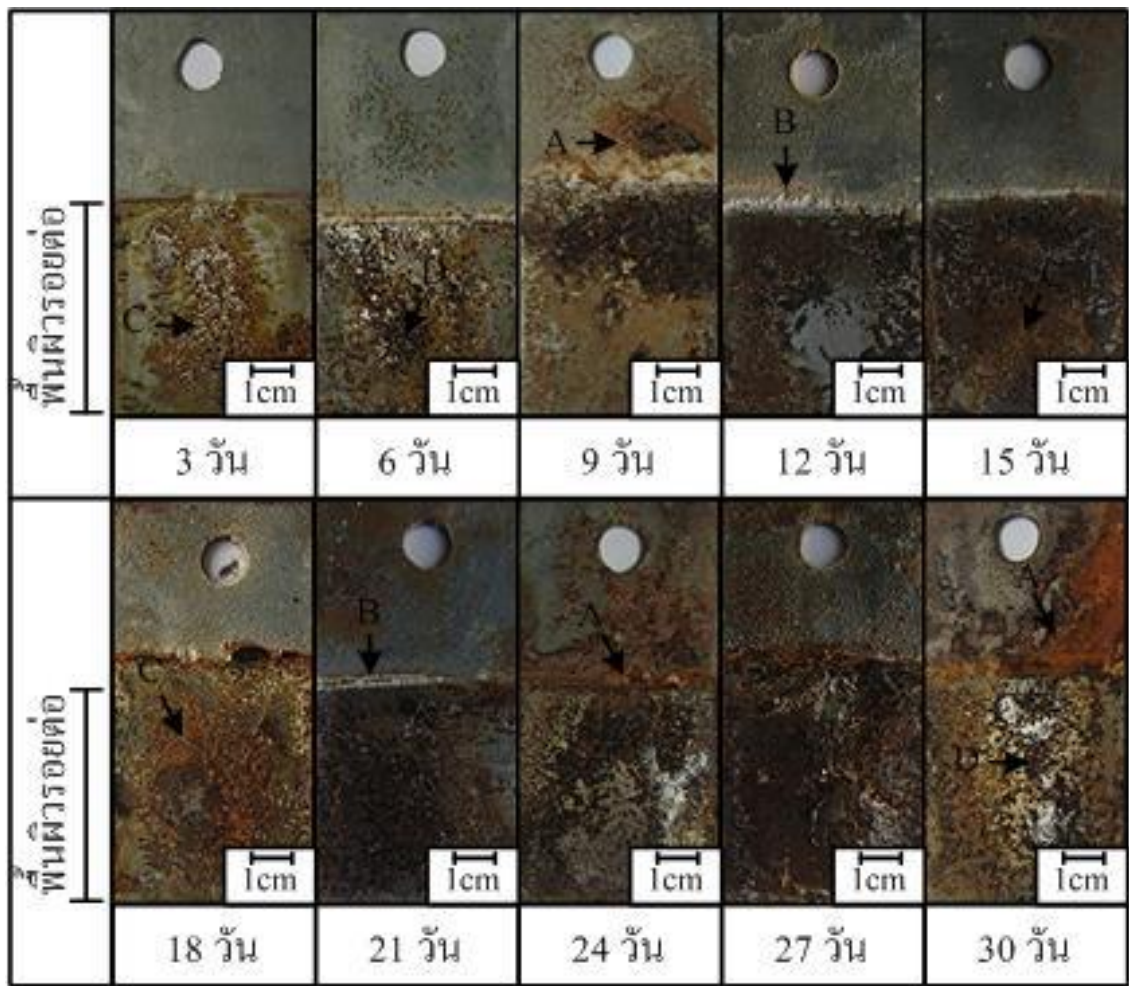
#### อะลูมิเนียม AA 1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015

##### 4.3.1 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวบนชิ้นงานทดสอบ

การทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบังจากรูปที่ 4.13 ซึ่งแสดงถึงพื้นผิวหน้าของแผ่นเหล็กที่ผ่านการจุ่มแช่ที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า การเกิดออกไซด์ที่บริเวณภายในและภายนอกผิวสัมผัสมีลักษณะที่แตกต่างกัน ผิวนอกขอบแผ่นเหล็กมีสีที่เข้มขึ้นจากเดิมมากคล้ายแผ่นฟิล์มบนทุกๆ ชิ้นงานทดสอบแต่มีก้อนออกไซด์บริเวณที่มากในวันที่ 9 24 และวันที่ 30 (แสดงด้วยลูกศร A) ในช่วงวันที่ 6 ถึงวันที่ 21 มีก้อนเกลือสีขาวเกาะอยู่ที่บริเวณขอบรอยต่อเกาะระหว่างอะลูมิเนียมยาวตลอดแนวในปริมาณที่ไม่มากนัก (แสดงด้วยลูกศร B) ส่วนบริเวณภายในผิวสัมผัสของแผ่นเหล็กเกิดแผ่นฟิล์มสีขาวปะปนด้วยคราบออกไซด์สีแดงในบริเวณที่มากเกือบทั่วบริเวณพื้นผิวภายในรอยต่อ (แสดงด้วยลูกศร C) สาเหตุที่ทำให้เกิดคราบออกไซด์เกิดขึ้นในปริมาณที่มากนี้เนื่องจากความชื้นที่เกลือตกค้างภายในรอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียมหลังจากปล่อยให้แห้ง จึงทำให้เกิดออกไซด์เพิ่มขึ้นมาในปริมาณที่มาก หลังจากเก็บชิ้นงานทดสอบขึ้นจากน้ำทดสอบ อีกทั้งยังพบกลุ่มสีดำตื้นๆ ลักษณะที่หายบกระจ่ายอยู่ไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งบริเวณภายในรอยต่อมีปริมาณที่น้อยและมากขึ้นอยู่กับระยะเวลาการจุ่มแช่ชิ้นงาน (แสดงด้วยลูกศร D) ส่วนมากจะเกิดที่บริเวณขอบและเริ่มขยายเข้ามาด้านใน แสดงให้เห็นถึงที่ผิวหน้าของแผ่นเหล็กสูญเสียไปขณะประกบอยู่กับแผ่นอะลูมิเนียม ซึ่งเกิดจากกลไกที่เกิดการกัดกร่อนขึ้นภายในรอยต่อเกาะนั่นเอง

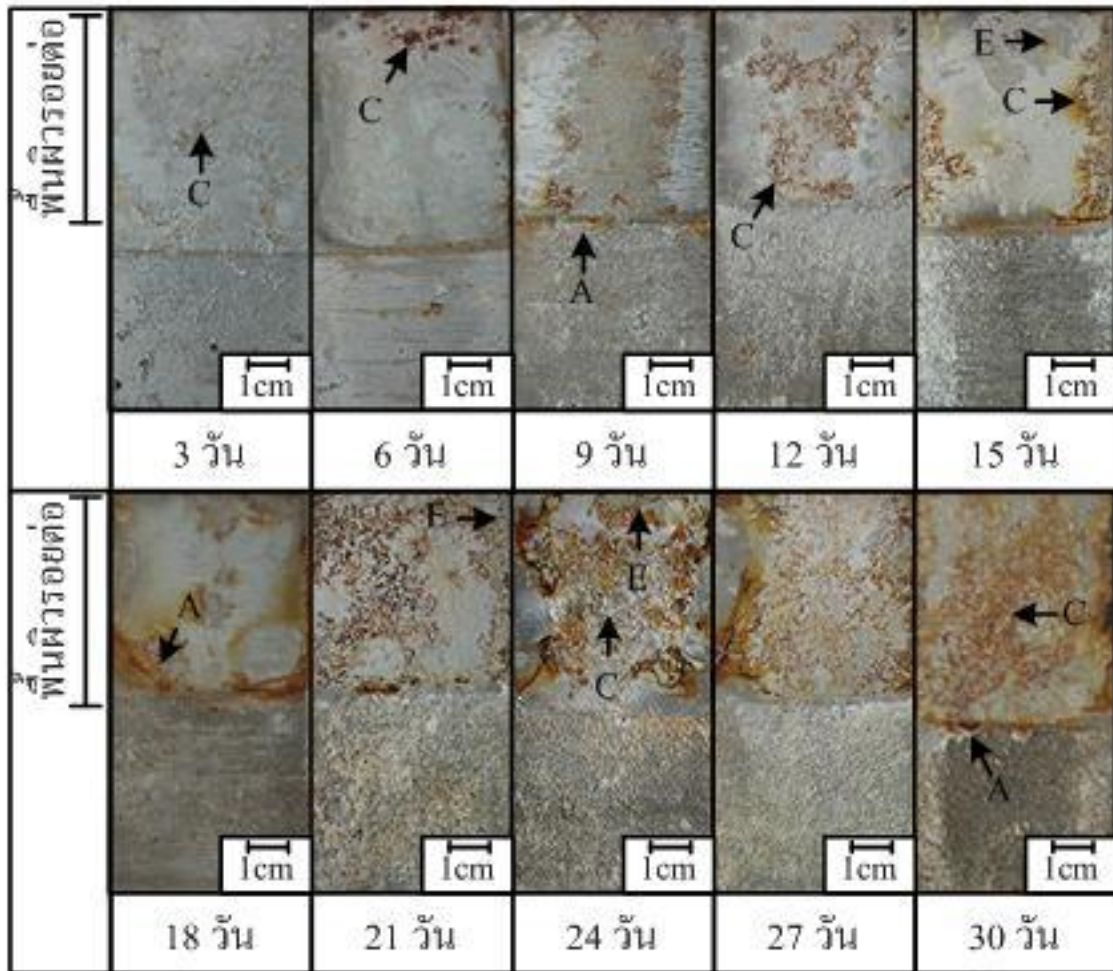
การทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง จากรูปที่ 4.14 แสดงพื้นที่ผิวของแผ่นอะลูมิเนียม โดยเฉพาะที่ผิวนอกรอยต่อมีลักษณะเป็นสีเทาเข้มคล้ายแผ่นฟิล์มเคลือบอยู่บางเรียบและมีสีที่เข้มขึ้นทั่วบริเวณพื้นผิวมีเม็ดเกลือขนาดเล็กปกคลุมทับอีกชั้นหนึ่งมีปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น คราบเกลือสีขาวเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเนื่องจากออกไซด์ของเหล็กเข้ามาเกาะอยู่ด้วย ดังชิ้นงานวันที่ 21 ถึงวันที่ 30 ที่บริเวณขอบของรอยต่อระหว่างแผ่นอะลูมิเนียมกับแผ่นเหล็กมีก้อนออกไซด์





รูปที่ 4.13 ผิวชิ้นงานของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่ง  
อุตสาหกรรมแหลมฉบัง

สีแดงเกาะติดตลอดแนวต่อเกย (แสดงด้วยลูกศร A) ส่วนบริเวณภายในรอยต่อของอะลูมิเนียมพบว่า ในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 6 มีเฉพาะแผ่นฟิล์มสีขาวขุ่นปกคลุมอย่างไม่สม่ำเสมอ และหลังจากนั้นเริ่มมี คราบออกไซด์สีแดงแทรกเข้ามาอยู่ในแผ่นฟิล์มที่เคลือบอยู่ในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึง สุดท้ายของระยะเวลาการทดสอบ (แสดงด้วยลูกศร C) พื้นที่ที่เป็นสีเทามีลักษณะเป็นบ่อตื้นๆ เกิดขึ้น เป็นจุดๆ บนผิวรอยต่อส่วนใหญ่มักจะพบบริเวณขอบของบริเวณที่เกิดคราบออกไซด์สีแดง (แสดง ด้วยลูกศร E) และเกิดที่บริเวณขอบขยายเข้ามาด้านในบริเวณผิวสัมผัส เนื่องจากเกิดการกัดกร่อน ภายในรอยต่อเกยระหว่างเหล็กจึงทำให้เกิดความสูญเสียเนื้ออะลูมิเนียมไปขึ้นอยู่กับระยะเวลาการจุ่ม แช่

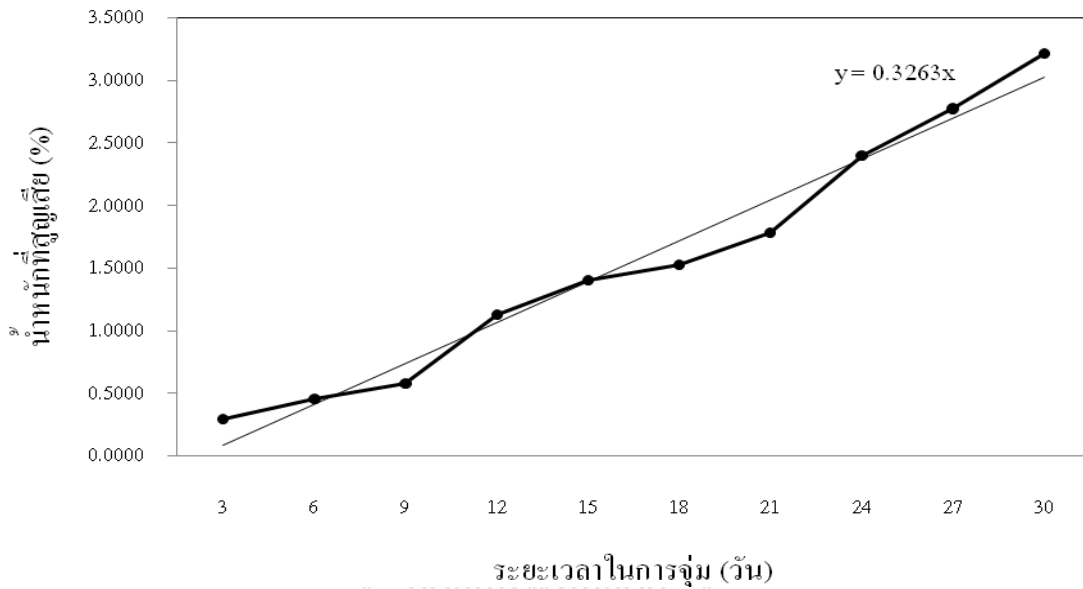


รูปที่ 4.14 ผิวชิ้นงานของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่ง  
อุตสาหกรรมแหลมฉบัง

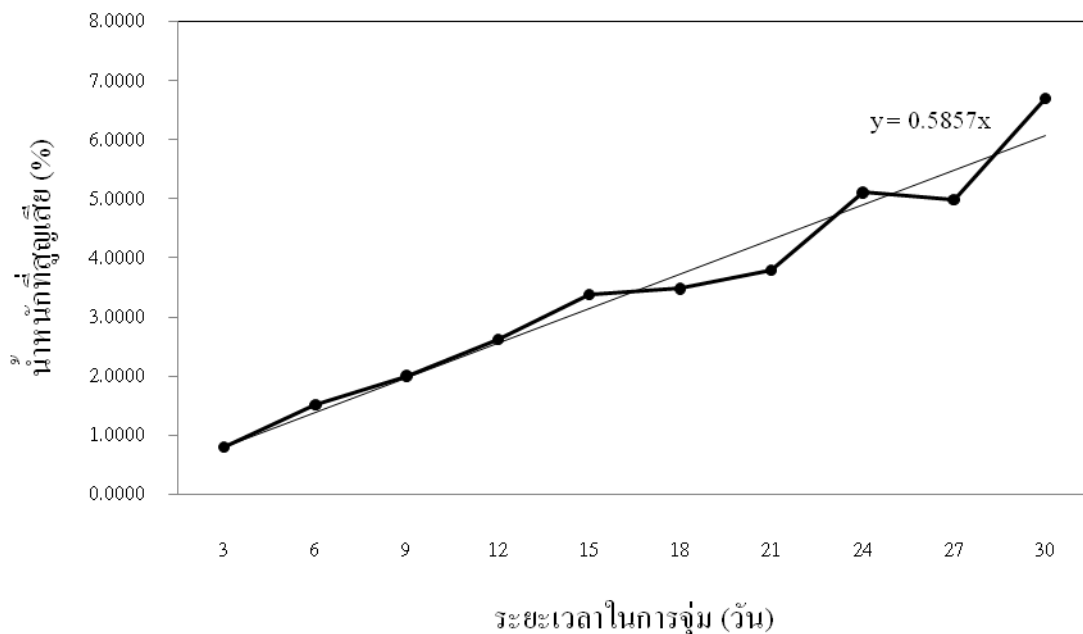
#### 4.3.2 แนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กและอะลูมิเนียม

จากเส้นกราฟดังรูปที่ 4.15 พบว่าในช่วง 15 วัน มีการเพิ่มขึ้นของเส้นกราฟนั้นแสดงว่าเหล็กมีการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในวันที่ 18 จากนั้นมีการเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 30 อย่างไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของเส้นกราฟมีความชันใกล้เคียงกับเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 15 และวันที่ 24 ถึงวันที่ 30 แสดงว่ามีการสูญเสียน้ำหนักไปในปริมาณที่มากเมื่อเทียบกับค่าของเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียมีค่าเท่ากับ 0.3263 ส่วนเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของอะลูมิเนียม แสดงดังรูปที่ 4.16 พบว่ามีแนวโน้มที่มากกว่าเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียของเหล็ก และมีลักษณะการสูญเสียน้ำหนักที่ลักษณะที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่วันที่ 3 ถึงวันที่ 15 ลดลงเล็กน้อยในวันที่ 18 จากนั้นเพิ่มขึ้นจนถึงวันสุดท้ายของการทดสอบ เมื่อนำการเปรียบเทียบระหว่างเส้นแนวโน้มน้ำหนักที่สูญเสียไปของเหล็กและอะลูมิเนียม ดังรูปที่ 4.9 และ 4.10 ทำให้เห็นได้ชัดเจนว่าอะลูมิเนียมเกิดการสูญเสียน้ำหนัก

น้ำหนักไปในปริมาณที่มากกว่าเหล็กหลังจากกำจัดออกไซด์ออกไปจากชิ้นงานทดสอบไปในแต่ละช่วงเวลา



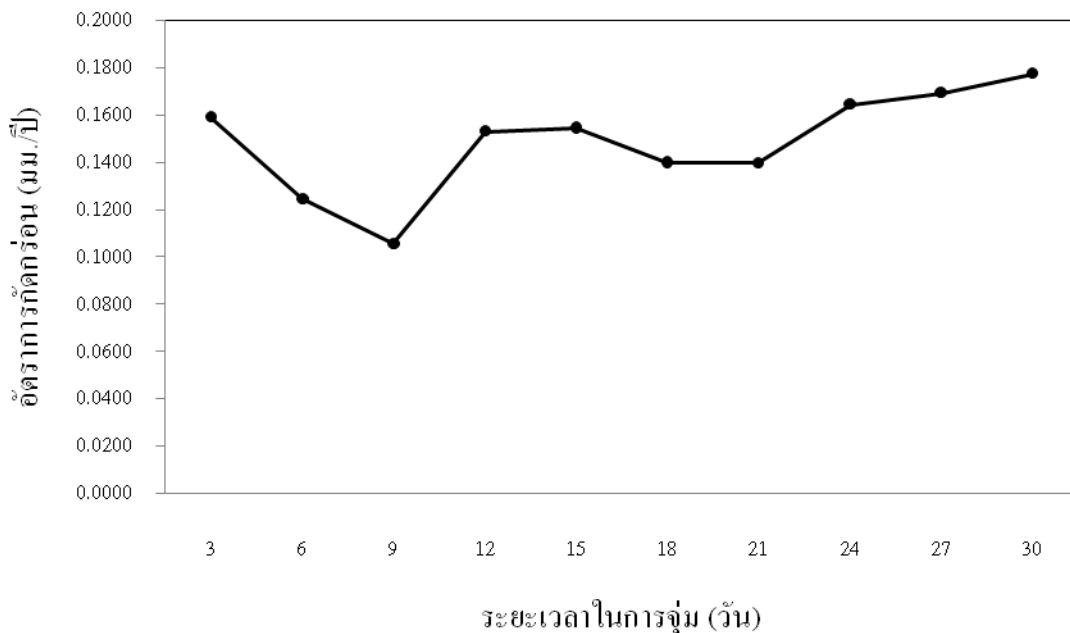
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบในน้ำทะเลฟุ้งอุตสาหกรรมแหลมฉบังของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015



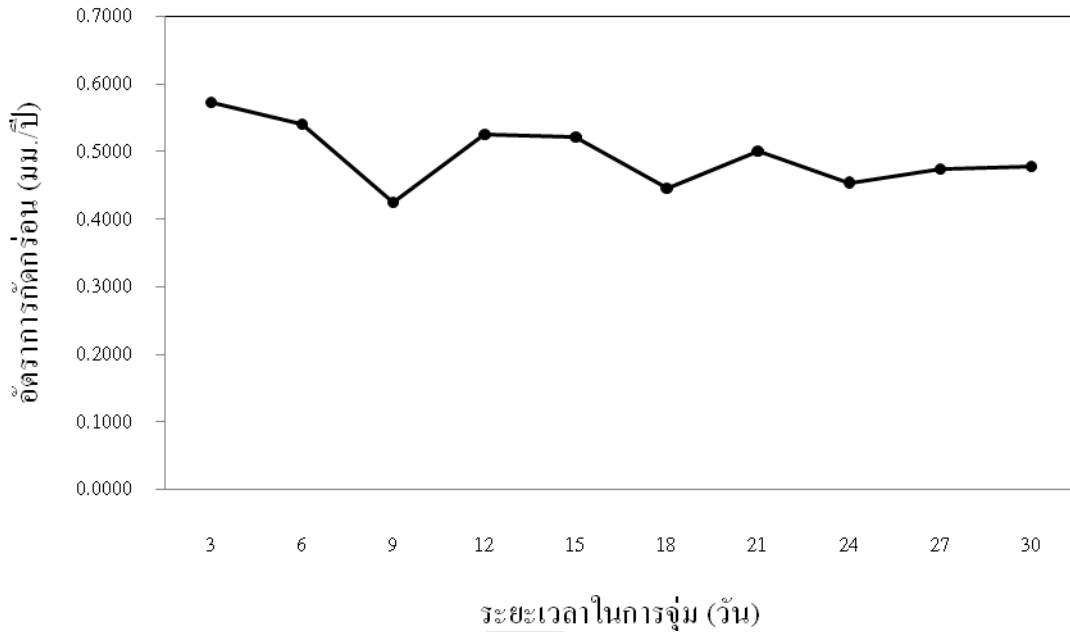
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบในน้ำทะเลฟุ้งอุตสาหกรรมแหลมฉบังของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100

### 4.3.3 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กและอะลูมิเนียม

อัตราการกัดกร่อนของเหล็กจากการทดสอบที่ระยะเวลาต่างๆ ดังรูปที่ 4.17 พบว่าเกิดการกัดกร่อนมากในช่วงวันที่ 3 และลดลงอย่างต่อเนื่องมีค่าน้อยสุดในวันที่ 9 เนื่องจากช่วงแรกเกิดการกัดกร่อนมากและลดลงเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง เกิดจากเหล็กเกิดปฏิกิริยาในน้ำทะเลอย่างรวดเร็วจึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักในปริมาณที่มากและลดลงตามระยะทดสอบ ส่วนในช่วงที่สอง จากนั้นเกิดการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นและคงที่ในวันที่ 12 และวันที่ 15 เป็นเช่นนี้สลับกันตามช่วงระยะเวลาต่างๆ ในวันที่ 24 ถึง วันที่ 30 เกิดการกัดกร่อนเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องเกิดการกัดกร่อนคงที่ เนื่องจากเหล็กเกิดการสูญเสียน้ำหนักที่ลดลงและเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจึงทำให้เกิดการกัดกร่อนในลักษณะแนวโน้มนิ่งขึ้นลงอย่างไม่คงที่ ซึ่งมีค่าอัตราการกัดกร่อนในวันที่ 30 เท่ากับ 0.1775 มม./ปี เมื่อเทียบกับค่าอัตราการกัดกร่อนในวันที่ 30 ของอะลูมิเนียม ดังรูปที่ 4.18 มีค่าเท่ากับ 0.4777 มม./ปี ซึ่งมีค่าที่แตกต่างกันมาก เนื่องจากพฤติกรรมของการกัดกร่อนของเหล็กและอะลูมิเนียมมีลักษณะที่ไม่เหมือนกัน พบว่าในช่วงวันที่ 3 อะลูมิเนียมเกิดการกัดกร่อนในปริมาณที่มากและลดลงเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 9 ซึ่งมีค่าอัตราการกัดกร่อนต่ำสุด จากนั้นเส้นกราฟมีลักษณะสูงขึ้น คงที่ และลดลงสลับกันอยู่ไม่สม่ำเสมอขึ้นอยู่กับค่าน้ำหนักที่สูญเสียไปจากพฤติกรรมของการกัดกร่อนของเหล็กและอะลูมิเนียมที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ ในช่วงวันที่ 24 ถึงวันที่ 30 การกัดกร่อนเริ่มชะลอตัวและคงที่เกิดเนื่องจากการแลกเปลี่ยนไอออนภายในรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กลดลง จึงทำให้อะลูมิเนียมเกิดการสูญเสียน้ำหนักค่อนข้างมาก และทำให้เกิดการกัดกร่อนที่มากตามไปด้วยขึ้นอยู่กับระยะเวลาของการทดสอบ



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบังของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015

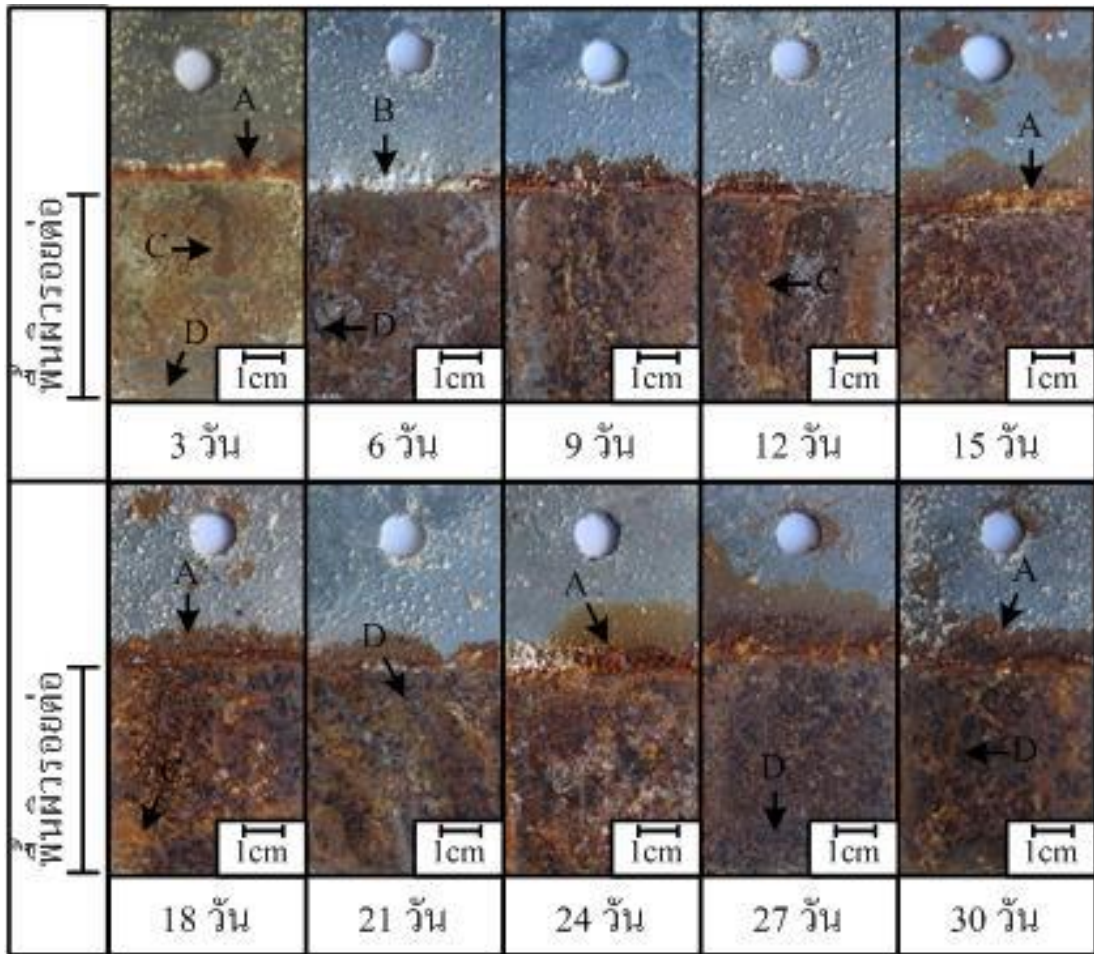


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการดูดซับน้ำในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบังของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100

#### 4.4 อิทธิพลของน้ำทะเลอ่าวมะนาวต่ออัตราการดูดซับน้ำระหว่างอะลูมิเนียม AA 1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015

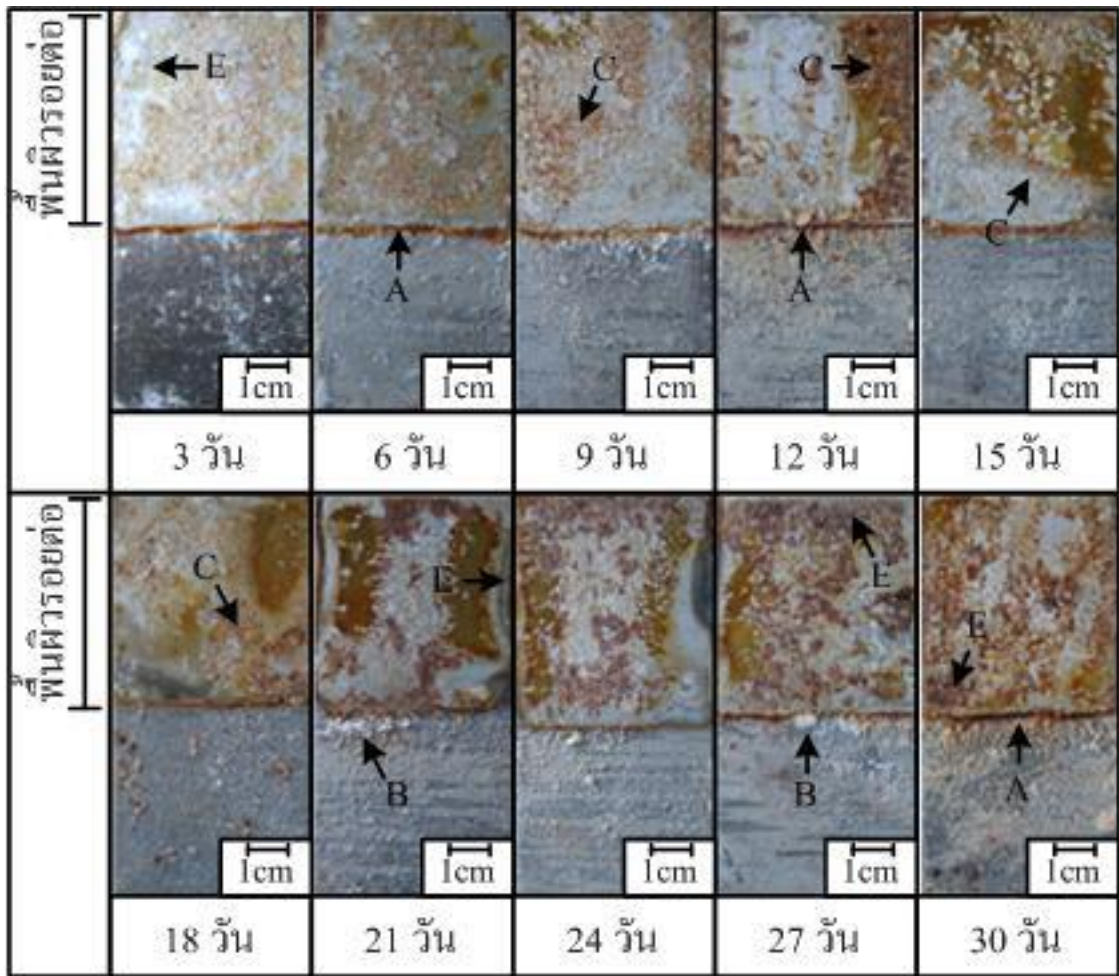
##### 4.4.1 วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวบนชิ้นงานทดสอบ

รูปที่ 4.19 แสดงถึงผิวแผ่นเหล็ก จากการทดสอบการดูดซับน้ำในน้ำทะเลอ่าวมะนาว มีลักษณะการเกิดออกไซด์ที่บริเวณภายนอกผิวสัมผัส คือเกิดออกไซด์เป็นก้อนบริเวณขอบรอยต่อระหว่างอะลูมิเนียมยาวตลอดแนวนบนแผ่นเหล็กทุกช่วงระยะเวลาทดสอบ (แสดงด้วยลูกศร A) เกิดก้อนเกลือแทรกอยู่ด้วยในปริมาณที่ไม่มาก (ดังลูกศร B) ในวันที่ 6 และวันที่ 24 บริเวณผิวนอกผิวสัมผัสเกิดเหมือนแผ่นฟิล์มบางๆ สีขาวขุ่นปกคลุมทั่วพื้นผิว อีกทั้งมีเม็ดเกลือขนาดเล็กเกาะกระจายอยู่ทั่วและมีคราบออกไซด์สีแดงบางๆ ขยายออกมาจากขอบรอยต่อเกยขึ้นมาด้านบน ชิ้นงานวันที่ 15 และวันที่ 27 ส่วนบริเวณภายในรอยต่อเกยจะมีลักษณะคล้ายกับชิ้นงานทดสอบของน้ำทะเลแหลมฉบัง อธิบายในรูปที่ 4.13 พบคราบออกไซด์สีแดงเกาะติดเป็นปริมาณมากกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวภายในรอยต่อเกย ในปริมาณที่มากตั้งแต่วันแรกจนถึงวันสุดท้ายของระยะเวลาจุ่มแช่ (แสดงด้วยลูกศร C) และเกิดการสูญเสียเนื้อของผิวหน้าแผ่นเหล็กไปกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวสัมผัส (แสดงด้วยลูกศร D) ตั้งแต่ในช่วง 3 วันแรกจนถึงวันที่ 30 ของระยะเวลาจุ่มแช่ มีลักษณะเป็นหลุมตื้นๆ สีดำเนื่องจากเกิดออกไซด์ภายในจึงทำให้เกิดสีดำขึ้นภายในหลุมอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 4.19 ผิวชิ้นงานของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอ่าวมะนาว

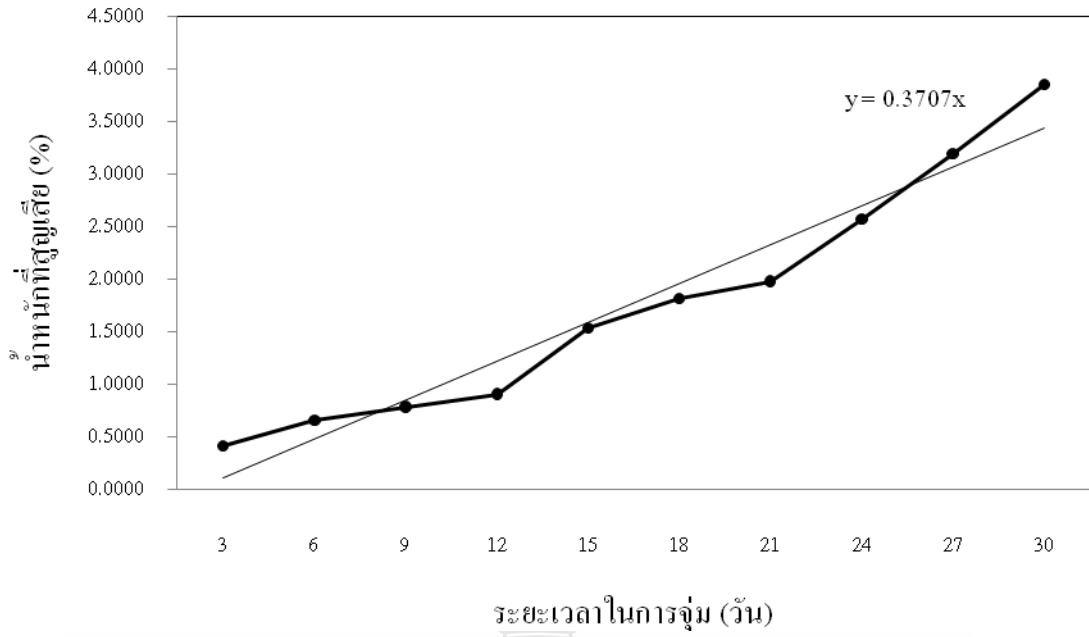
รูปที่ 4.20 แสดงพื้นแผ่นอะลูมิเนียมที่เกิดจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลอ่าวมะนาว พบว่าพื้นผิวภายนอกและภายในรอยต่อเกลมีลักษณะที่แตกต่างกันมาก ซึ่งบริเวณภายนอกรอยต่อเกลมีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มสีเทาปกคลุมอยู่ทั่วผิวอะลูมิเนียม และปกคลุมด้วยเกลือเม็ดละเอียดกระจายทับอีกชั้นบนทุกๆ ชิ้นงานทดสอบ ที่บริเวณขอบของรอยต่อเกลระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กมีออกไซด์ของเหล็กหลุดติดตลอดแนว (แสดงด้วยลูกศร A) ตั้งแต่ชิ้นงานวันที่ 3 ถึงวันที่ 30 อีกทั้งยังมีก้อนเกลือขนาดใหญ่แทรกอยู่ด้วย (แสดงด้วยลูกศร B) ส่วนบริเวณภายในรอยต่อเกล มีคราบออกไซด์สีแดงปะปนด้วยคราบแผ่นฟิล์มสีขาวเกิดขึ้นในปริมาณที่มาก (ดังลูกศร C) เนื่องจากเกิดความชื้นตกค้างภายในรอยต่อเกล จึงทำให้เกิดออกไซด์เพิ่มขึ้นหลังจากเก็บชิ้นงานทดสอบ จึงทำให้เกิดคราบออกไซด์ติดอยู่บริเวณภายในรอยต่อเกลขึ้นมากกว่าแผ่นอะลูมิเนียมจากการทดสอบในน้ำทะเลจากแหล่งต่างๆ และที่บริเวณขอบจะเกิดหลุมสีเทาขึ้นๆ (แสดงด้วยลูกศร E) เกิดขึ้นภายในรอยต่อเกล เนื่องจากเกิดการสูญเสียเนื้ออะลูมิเนียมจากการกัดกร่อนภายในผิวสัมผัสระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็ก ซึ่งมีลักษณะที่คล้ายกับชิ้นงานทดสอบทุกๆ แหล่งน้ำทะเล แต่แตกต่างที่ปริมาณที่มากน้อยไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับสภาวะในน้ำทะเลในแต่ละแหล่ง เป็นต้น



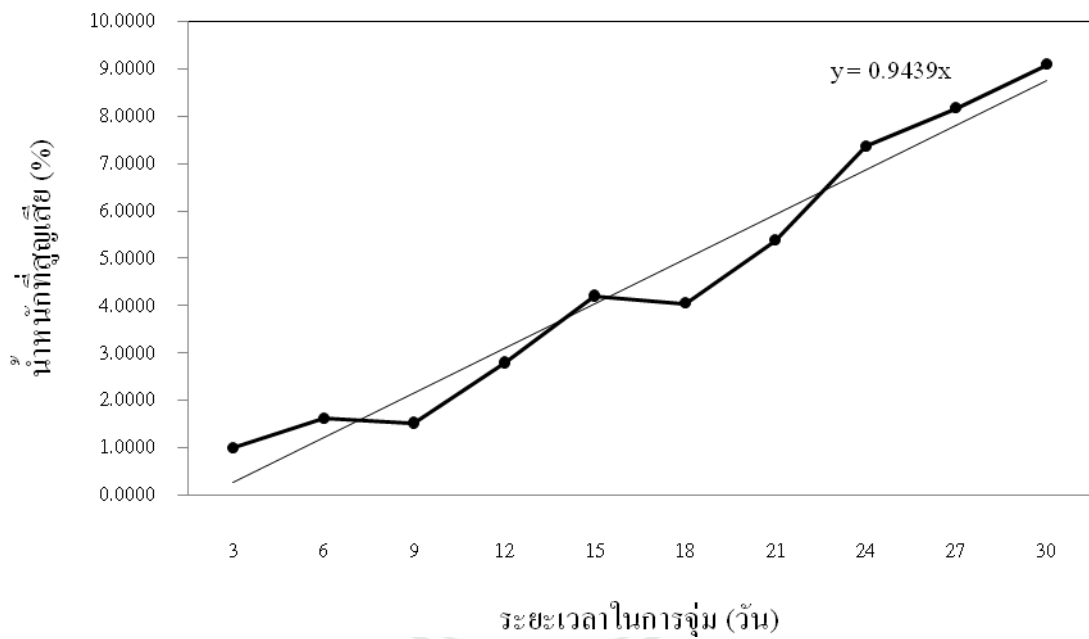
รูปที่ 4.20 ผิวชิ้นงานของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100 จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอ่าวมะนาว

#### 4.4.2 แนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กและอะลูมิเนียม

การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กจากการทดสอบอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลอ่าวมะนาว ดังรูปที่ 4.21 พบว่าในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 9 เกิดการสูญเสียน้ำหนักไปในปริมาณที่ไม่มากนัก และเริ่มมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอ ตั้งแต่วันที่ 12 ถึงวันที่ 21 จากนั้นเกิดการสูญเสียที่คงที่จนถึงวันที่ 30 มีค่าแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียเท่ากับ 0.3707 ซึ่งมีความakorงมาจากค่าแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กจากการทดสอบในน้ำทะเลชายฝั่งภูเก็ต และมีค่ามากกว่าน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง และฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด แสดงให้เห็นถึงเหล็กเกิดการสูญเสียน้ำหนักไปในช่วงเวลาต่างๆ ในน้ำทะเลที่เป็นแหล่งท่องเที่ยวมากกว่าน้ำทะเลแหล่งอุตสาหกรรม ซึ่งมีค่าที่สอดคล้องกับค่าแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของอะลูมิเนียม แสดงดังรูป 4.22 พบว่ามีลักษณะการสูญเสียน้ำหนักในแนวโน้มที่เพิ่มเหมือนกับเหล็กและอะลูมิเนียมจากน้ำทะเลแหล่งต่างๆ ในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 9 มีการสูญเสียน้ำหนักในปริมาณที่เล็กน้อย เมื่อเทียบกับวันที่ 12 และวันที่ 15



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอ่าวมะนาวของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015



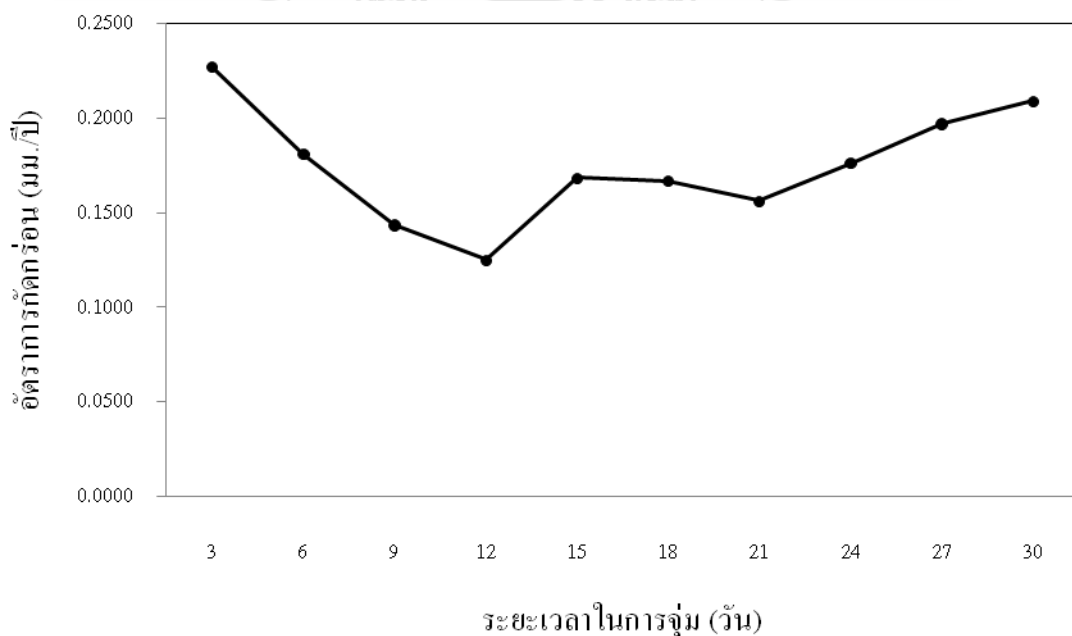
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและน้ำหนักที่สูญเสียจากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอ่าวมะนาวของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100



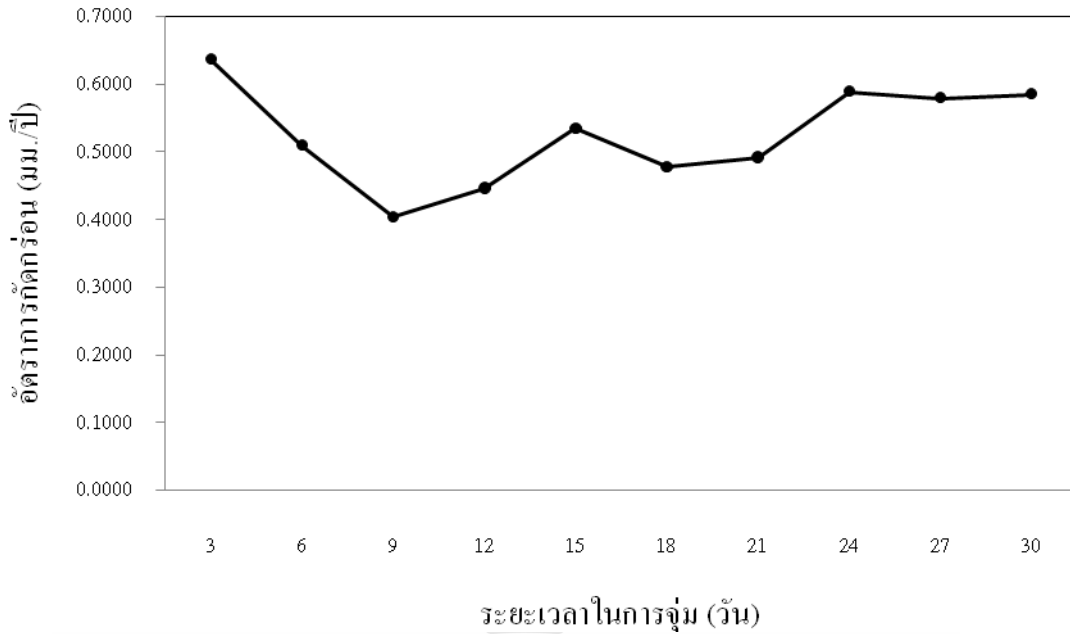
จากนั้นเกิดการสูญเสียในลักษณะที่ใกล้เคียงกับเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสีย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.9439 ซึ่งมีค่าที่สอดคล้องกับค่าแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียของเหล็ก แสดงให้เห็นว่าเหล็กและอะลูมิเนียมเกิดการสูญเสียน้ำหนักไปในแต่ละช่วงเวลาในลักษณะที่แปรผันตรงต่อกัน ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการกัดกร่อนทั้งภายในและภายนอกของรอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียม

#### 4.4.3 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กและอะลูมิเนียม

การทดสอบอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งอ่าวมะนาว พบว่าเหล็กเกิดการกัดกร่อนในลักษณะที่เหมือนกับอัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียม แสดงดังรูปที่ 4.23 แสดงค่าอัตราการกัดกร่อนของเหล็ก พบว่าเหล็กเกิดการกัดกร่อนในปริมาณที่มากในวันที่ 3 จากนั้นลดลงเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง จนถึงวันที่ 12 ซึ่งมีค่าต่ำสุด จากนั้นสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 15 และลดลงอีกครั้งถึงวันที่ 21 การกัดกร่อนเริ่มเกิดมากขึ้นในวันที่ 24 จนถึงวันที่ 30 แสดงให้เห็นว่าเหล็กเกิดการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นในวันที่ 24 ถึงวันที่ 30 ของทุกๆ แหล่งน้ำทะเลเกิดเนื่องจากในช่วงท้ายๆ ของระยะเวลาทดสอบน้ำทะเลมีความเข้มข้นจากการทดสอบมากยิ่งขึ้นจึงทำให้เหล็กเกิดการกัดกร่อนที่เพิ่มมากขึ้นด้วย ทำให้ช่วงแรกเกิดการสูญเสียน้ำหนักของเหล็กในปริมาณที่มาก จึงเป็นเหตุทำให้เกิดการกัดกร่อนค่อนข้างมากนั่นเอง และมีค่าอัตราการกัดกร่อนในวันที่ 30 เท่ากับ 0.2090 มม./ปี ส่วนอัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียม ดังรูปที่ 4.24 พบว่ามีลักษณะที่เหมือนค่าอัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมจากแหล่งน้ำทะเลต่างๆ ซึ่งพบว่าเกิดการกัดกร่อนที่สูงในวันที่ 3 และลดลงอย่างต่อเนื่องในวันที่ 9 จากนั้นเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งอ่าวมะนาวของแผ่นเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015

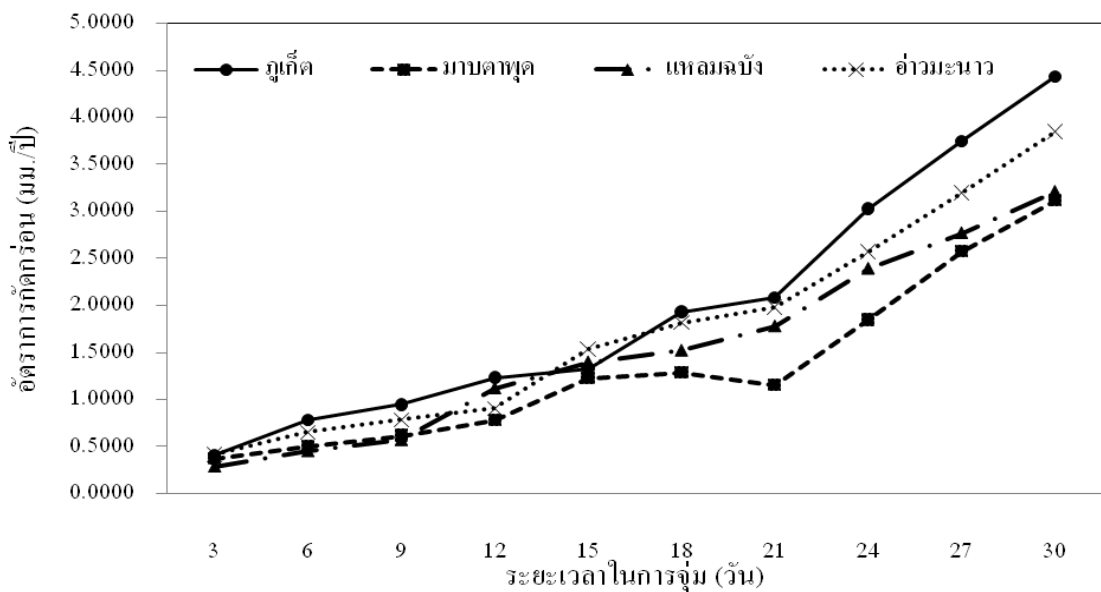


รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบและอัตราการดูดน้ำในน้ำทะเลฝั่งอ่าวมะนาวของแผ่นอะลูมิเนียม AA 1100

และลดลงสลับกันอย่างไม่คงที่ถึงวันที่ 24 เริ่มคงที่จนถึงวันที่ 30 มีค่าอัตราการดูดน้ำในวันที่ 30 เท่ากับ 0.5875 มม./ปี แสดงให้เห็นว่าอะลูมิเนียมเริ่มเกิดการกัดกร่อนที่คงที่ในช่วงท้ายของระยะเวลาทดสอบ ซึ่งไม่เหมือนกับเหล็กที่มีการกัดกร่อนในลักษณะที่เพิ่มขึ้นในช่วงท้าย เป็นเพราะว่าอะลูมิเนียมเกิดการถ่ายเทไอออนที่ลดลง เมื่อระยะเวลาทดสอบเพิ่มมากขึ้น เปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนของเหล็กและอะลูมิเนียมจากการทดสอบในน้ำทะเลแหล่งต่างๆ

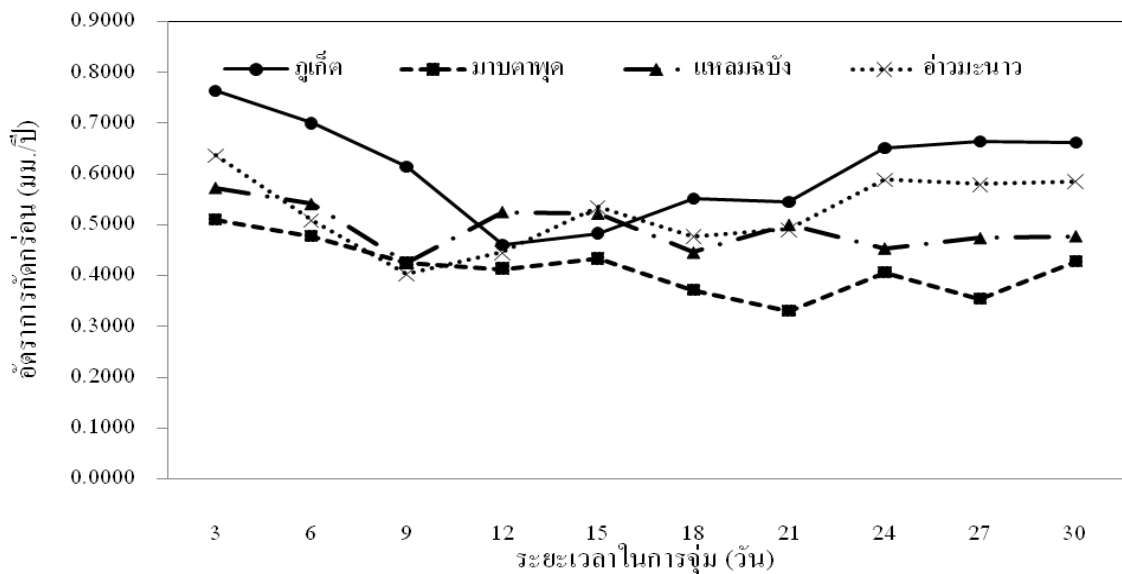
การทดลองหาอัตราการกัดกร่อนของเหล็กและอะลูมิเนียมในน้ำทะเลแต่ละแหล่ง พบว่าเหล็กและอะลูมิเนียมมีแนวโน้มการกัดกร่อนที่แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ เหล็กมีอัตราการกัดกร่อนจากการทดสอบในแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน อธิบายได้ดังรูปที่ 4.25 พบว่า เมื่อเริ่มทดสอบอัตราการกัดกร่อนแผ่นเหล็กมีค่าการกัดกร่อนสูงในวันที่ 3 ทุกๆ แหล่งน้ำทะเล และมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องถึงวันที่ 18 และคงที่เล็กน้อยจนถึงวันที่ 21 แต่อัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ตมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งแตกต่างไปจากแหล่งน้ำทั้งสามแหล่ง นั้นแสดงว่าในช่วงแรกน้ำทะเลฝั่งภูเก็ตเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนในเหล็กที่ค่อนข้างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากความเข้มข้นของน้ำทะเลที่ไม่เหมือนกัน จากนั้นอัตราการกัดกร่อนมีลักษณะที่เพิ่มขึ้นอย่างคงที่ ขึ้นอยู่กับระยะเวลาต่างๆ ในการทดสอบ เมื่อระยะเวลาผ่านไป 21 วัน อัตราการกัดกร่อนสามารถแยกออกได้อย่างชัดเจนว่าน้ำทะเลในแต่ละแห่งมีการกัดกร่อนที่แตกต่างกัน เช่น น้ำทะเลฝั่งภูเก็ตเกิดอัตราการกัดกร่อนในปริมาณที่สูง ส่วนอัตราการกัดกร่อนที่น้อยที่สุดคือน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต เกิดอัตราการกัดกร่อนในปริมาณที่สูง ส่วนอัตราการกัดกร่อนที่น้อยที่สุดคือน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด การทดลองนี้ได้ทำการหาค่าอัตรา

การกัดกร่อนในวันที่ 30 ของการทดลอง พบว่าน้ำทะเลฝั่งภูเก็ตมีค่าอัตราการกัดกร่อนในเหล็กเท่ากับ 0.2472 มม./ปี รองลงมาคือน้ำทะเลฝั่งอ่าวไทยมีค่าอัตราการกัดกร่อนของเหล็กในวันที่ 30 เท่ากับ 0.2090 มม./ปี น้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบังและน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีอัตราการกัดกร่อนของเหล็กในวันที่ 30 เท่ากับ 0.1775 มม./ปี และ 0.1707 มม./ปี ตามลำดับ สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็กที่มากขึ้นต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำหนักที่สูญเสียไปของเหล็กจากปฏิกิริยาที่เกิดร่วมกันกับอะลูมิเนียม ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการกัดกร่อนในปริมาณที่มากขึ้นตามมาเช่นเดียว



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 จากการทดสอบในน้ำทะเลแหล่งต่างๆ

รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมจากการทดสอบอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลแหล่งต่างๆ พบว่ามีลักษณะที่แตกต่างไปจากการกัดกร่อนของเหล็กแต่เหมือนกันในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 6 การกัดกร่อนค่อนข้างคงที่หรือเกิดการกัดกร่อนเพียงเล็กน้อย จากนั้นลดลงมากในวันที่ 9 ส่วนเส้นกราฟของน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต มีลักษณะที่แตกต่างไปจากเส้นกราฟการกัดกร่อนของน้ำทะเลแหล่งอื่น เป็นเพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับอัตราการกัดกร่อนของเหล็กที่เกิดขึ้นในปริมาณที่มากด้วย ในช่วงวันที่ 12 ถึงวันที่ 24 อัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันไปอย่างไม่คงที่เกิดการสูญเสียน้ำหนักของอะลูมิเนียมค่อนข้างน้อยและคงตัว จึงเป็นเหตุทำให้อะลูมิเนียมเกิดการกัดกร่อนค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกัน เริ่มคงที่ในวันที่ 27 และวันที่ 30 เนื่องจาก



รูปที่ 4.26 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการทดสอบอัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียม AA 1100 จากการทดสอบในน้ำทะเลแหล่งต่างๆ

อะลูมิเนียมเกิดการกัดกร่อนภายในรอยต่อเกลียวหรือเกิดปฏิกิริยาที่ลดลงระหว่างเหล็กจึงทำให้ค่าการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมในช่วงทำการทดสอบมีค่าลดลงหรือคงที่ ค่าอัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมจากการทดสอบนี้มีค่าดีที่สุดที่ระยะเวลา 30 วันคือ อัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.6622 มม./ปี รองลงมาคือ น้ำทะเลฝั่งอ่าวมะนาว น้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง และน้ำทะเลฝั่งมาบตาพุด มีค่าอัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมเท่ากับ 0.5875 มม./ปี 0.4777 มม./ปี และ 0.4270 มม./ปี ตามลำดับ ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าอัตราการกัดกร่อนของเหล็กดังที่อธิบายไว้ดังรูปที่ 4.25

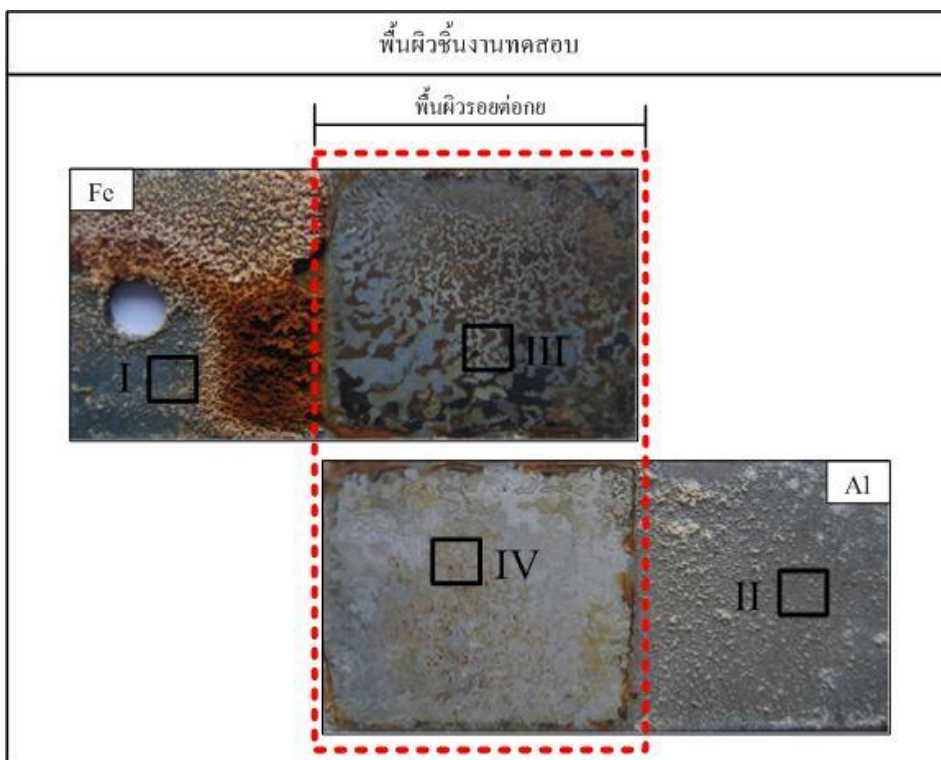
ผลจากการทดสอบ อิทธิพลของน้ำทะเลไทยต่ออัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเกลียวระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 กับอะลูมิเนียม AA 1100 พบว่า ผลการทดสอบของชิ้นงานทดสอบทั้งหมดมีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไปกับอัตราการกัดกร่อนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและส่วนประกอบภายในน้ำทะเล คือ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ซึ่งส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนต่อวัสดุทั้งสองชนิดเป็นอย่างมากและพฤติกรรมกลไกการเกิดการกัดกร่อนทั้งภายในและภายนอกของรอยต่อเกลียวด้วย ค่าผลที่ได้จากการทดสอบอิทธิพลแหล่งน้ำทะเลไทยต่ออัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเกลียวระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียมนี้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการทำการศึกษาและหาวิธีการป้องกันการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อเกลียวระหว่างวัสดุทั้งสองชนิดนี้ต่อไป

#### 4.5 การทดสอบปริมาณธาตุบนผิวชิ้นงานทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด (SEM :Scanning Electron Microscope)

ลักษณะของออกไซด์ที่เกิดบนผิวของเหล็กและอะลูมิเนียมที่ระยะเวลา 30 วัน จากการทดสอบ อัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลแต่ละแหล่งทั้งภายในและภายนอกของรอยต่อเกะระหว่างเหล็กกับ อะลูมิเนียม ซึ่งพบว่าบริเวณภายนอกมีลักษณะการเกิดออกไซด์และเกิดการกัดกร่อนที่แตกต่างไปจาก บริเวณภายในรอยต่อเกะ ดังนั้นจึงได้นำชิ้นงานทดสอบไปทำการทดสอบ SEM เพื่อตรวจสอบหา ปริมาณธาตุเดี่ยวบนพื้นผิวของเหล็กและอะลูมิเนียมทั้งภายในและภายนอกบนผิวชิ้นงาน งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาเฉพาะธาตุที่มีผลต่อการกัดกร่อนกับวัสดุทั้งสองชนิดเท่านั้น ได้แก่ เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) และออกซิเจน (O) ที่ส่งผลทำให้วัสดุทั้งสองเกิดการกัดกร่อนได้ดี โดยเฉพาะ ออกซิเจน ที่เป็นส่วนผสมหลักในน้ำทดสอบ และมีผลต่อออกไซด์ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงปริมาณออกไซด์ ที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานทดสอบ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณธาตุภายในและภายนอกของรอยต่อเกะจากการวิเคราะห์การกระจายตัวของรังสี เอ็กซ์ (X-ray dispersive spectrometry) ของชิ้นงานทดสอบในน้ำทะเลแหล่งต่างๆ

วัสดุ	แหล่งน้ำทะเล	ปริมาณธาตุบริเวณภายนอก รอยต่อ (%)			ปริมาณธาตุบริเวณภายใน รอยต่อ (%)		
		O	Fe	Al	O	Fe	Al
เหล็ก	ภูเก็ต	81.81	14.67	3.51	79.89	18.57	1.55
	มาบตาพุด	77.63	22.16	0.21	64.94	26.38	8.67
	แหลมฉบัง	77.67	21.51	0.81	75.29	14.39	10.30
	อ่าวมะนาว	81.55	16.78	1.68	79.09	20.12	0.67
อะลูมิเนียม	ภูเก็ต	89.40	-	10.60	70.07	-	29.29
	มาบตาพุด	73.06	-	26.94	42.68	-	57.32
	แหลมฉบัง	85.34	-	14.66	58.69	-	41.31
	อ่าวมะนาว	87.13	-	12.87	59.60	-	40.40



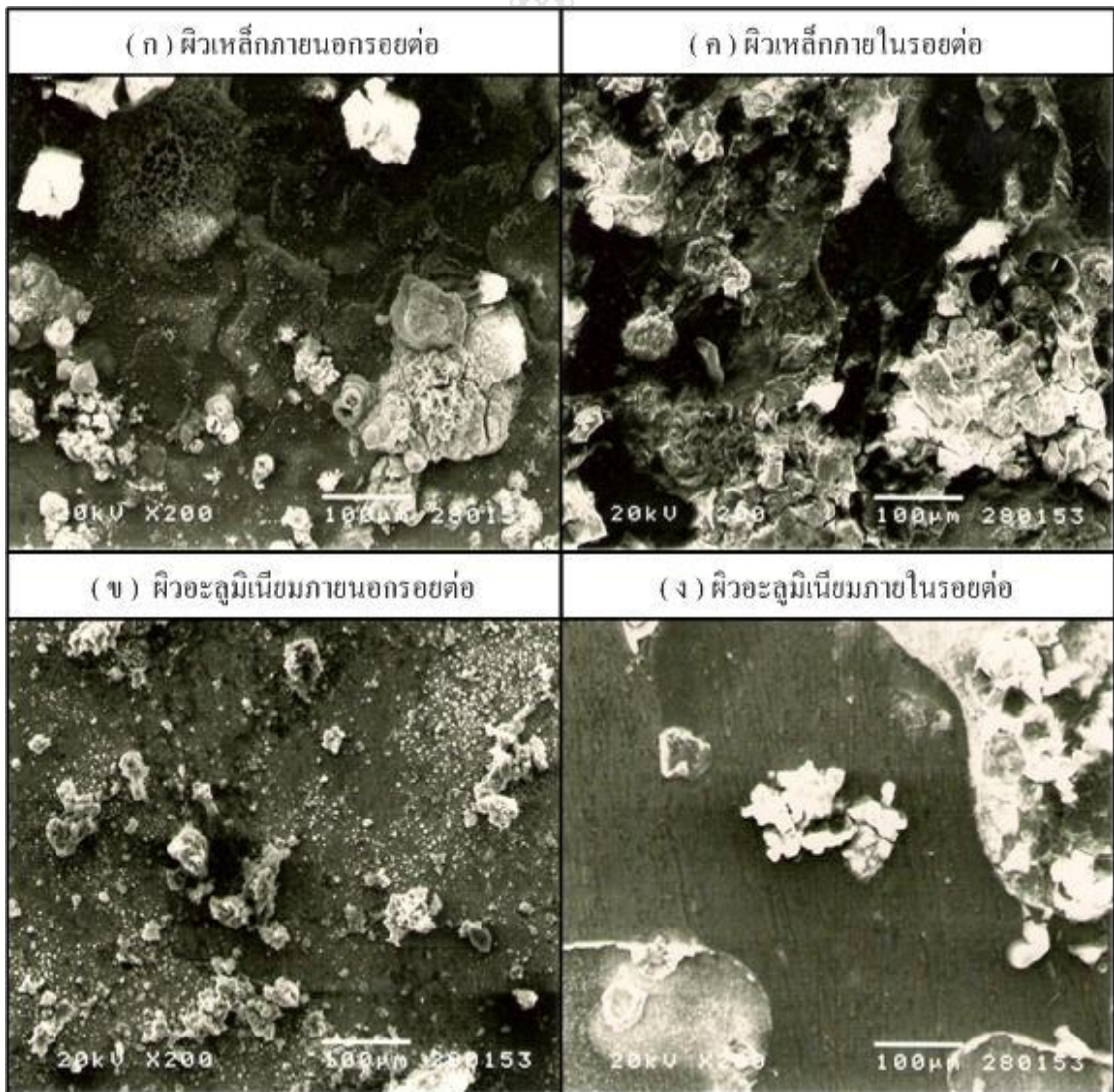
รูปที่ 4.27 ภาพถ่ายพื้นผิวชิ้นงานทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน (ฝั่งภูเก็ต)

การทดสอบในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต ตำแหน่งที่ I และ II คือบริเวณพื้นผิวภายนอกของเหล็กและอะลูมิเนียมที่ไม่ใช่รอยต่อภายในรูปที่ 4.27 โดยผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 4.28 (ก) พบว่าผิวด้านนอกของเหล็กพบการกัดกร่อนลึกลงเข้าไปจากผิวน้ำของเหล็กที่เป็นบ่อนขนาดใหญ่กระจายตัวอยู่รอบๆ ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นก้อนอีกทั้งยังพบคราบออกไซด์ปกคลุมอยู่ทั่วพื้นผิว ส่วนบริเวณผิวน้ำของอะลูมิเนียมพบหลุมเล็กๆ ที่ละเอียดมากที่เกิดจากการกัดกร่อน เมื่อเทียบกับผิวด้านนอกของเหล็กที่ผิวนอกของอะลูมิเนียมถูกปกคลุมด้วยแผ่นฟิล์มบางๆ ทั่วพื้นผิว และมีเม็ดเกลือขนาดเล็กใหญ่เกาะกระจายอยู่ทั่วอย่างไม่สม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 4.28 (ข)

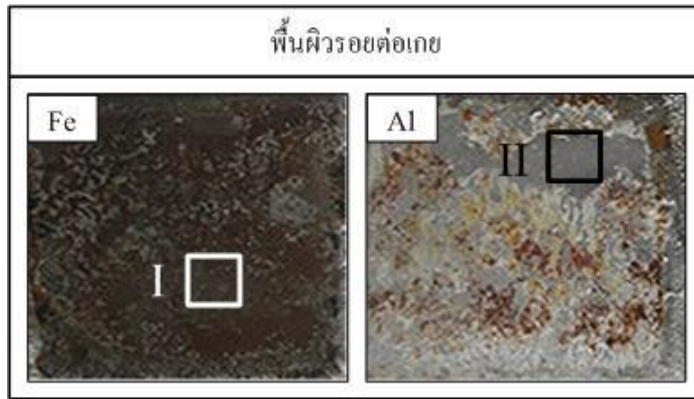
จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของรังสีเอ็กซ์ แสดงในตารางที่ 4.1 พบปริมาณธาตุออกซิเจน (O) ซึ่งเป็นส่วนผสมของออกไซด์สูงที่บริเวณพื้นผิวภายนอกของเหล็กและอะลูมิเนียม แสดงให้เห็นว่าบริเวณผิวนอกของอะลูมิเนียมเกิดการกัดกร่อนในปริมาณที่มากเช่นเดียวกับเหล็กซึ่งมีปริมาณธาตุออกซิเจน (O) มากใกล้เคียงกัน ลักษณะของพื้นผิวภายนอกผิวสัมผัสของเหล็กและอะลูมิเนียมจากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต น้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาตาพุด น้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง และน้ำทะเลฝั่งอ่าวมะนาว มีลักษณะที่เหมือนๆ กัน แต่มีความแตกต่างกันที่ปริมาณออกไซด์ที่เกิดขึ้น

รูปที่ 4.27 ตำแหน่งที่ III และ IV ตามลำดับ โดยผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 4.28 (ค) และ (ง) แสดงพื้นผิวของเหล็กและอะลูมิเนียมภายในรอยต่อ จากการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุ

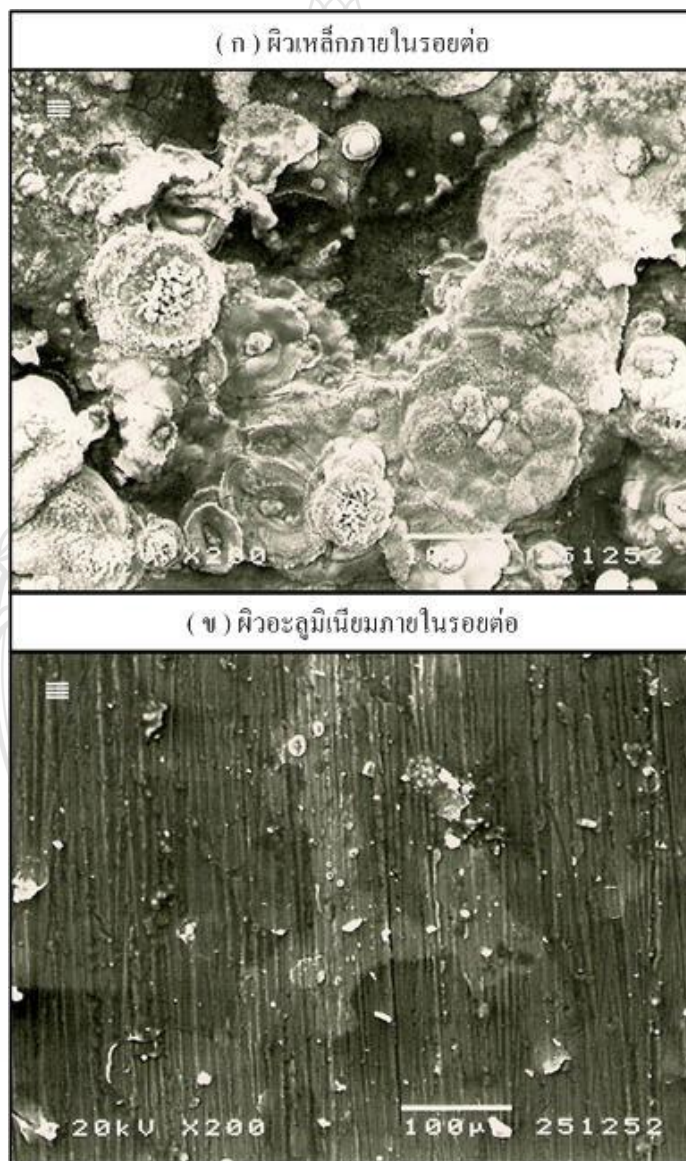
ต่างๆ บนผิวออกไซด์ พบว่าที่ผิวของเหล็กมีปริมาณออกซิเจนมาก เมื่อเทียบกับบริเวณภายนอก แสดงดังตารางที่ 4.1 นั้นแสดงว่าบริเวณภายในผิวสัมผัสเกิดการกัดกร่อนขึ้นด้วย แต่เมื่อเทียบกับบริเวณภายนอกเกิดการกัดกร่อนที่ลึกและเป็นบ่อใหญ่ๆ และเกิดราบออกไซด์กระจายอยู่ทั่วพื้นผิว ซึ่งมีความแตกต่างจากบริเวณภายในผิวรอยต่อของอะลูมิเนียม แสดงดังรูปที่ 4.28 (ง) ซึ่งมีลักษณะเป็นหลุมลึกขนาดกว้างใหญ่เกือบทั่วพื้นผิวภายในรอยต่อหลังจากตรวจพบจากการวิเคราะห์การกระจายตัวของรังสีเอ็กซ์ พบว่ามีปริมาณธาตุออกซิเจน ในบริเวณมากเช่นเดียวกับบริเวณภายนอก แสดงให้เห็นว่าบริเวณภายในรอยต่ออยู่ที่ผิวอะลูมิเนียมเกิดการกัดกร่อนในปริมาณที่มากเช่นเดียวกับเหล็กบนพื้นผิวของแผ่นเหล็กและอะลูมิเนียม ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึงปริมาณออกซิเจนที่เกิดขึ้นตามมา ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.28 ภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานทดสอบที่กำลังขยาย 200 เท่า (ฝั่งเก็ต)



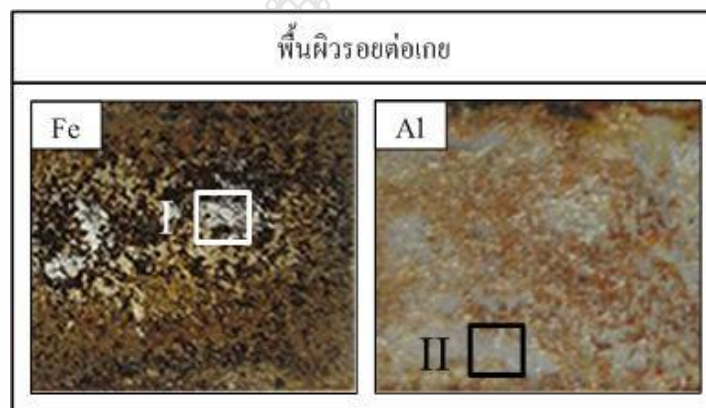
รูปที่ 4.29 ภาพถ่ายพื้นผิวชิ้นงานทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน (ฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด)



รูปที่ 4.30 ภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานทดสอบที่กำลังขยาย 200 เท่า (ฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด)

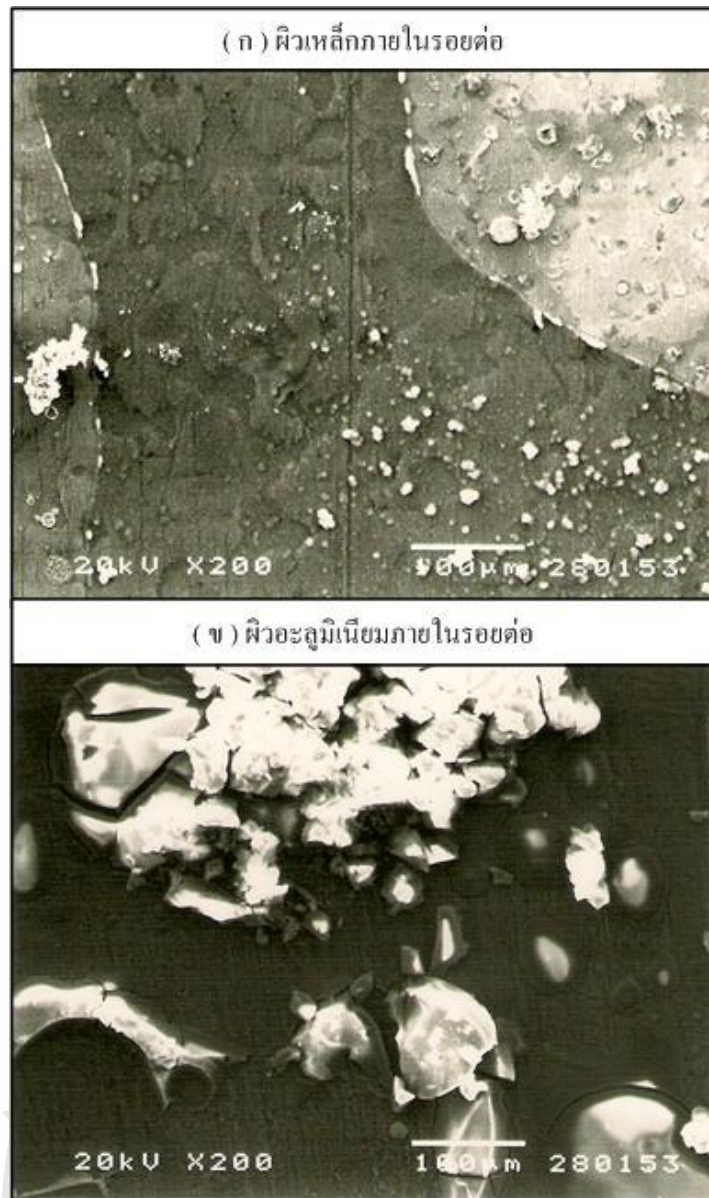


ตำแหน่งที่ I และ II ในรูปที่ 4.29 ซึ่งทำการวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุด้วยรังสีเอ็กซ์ของแผ่นเหล็กและอะลูมิเนียมที่บริเวณภายในรอยต่อจากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด พบว่าเกิดก้อนออกไซด์ขนาดใหญ่ปกคลุมไปทั่วบริเวณร่องทดสอบ SEM และรอบๆ ออกไซด์เกิดหลุมลึกสีดำเป็นบ่อขนาดใหญ่บนผิวของแผ่นเหล็กดังรูปที่ 4.30 (ก) และรูปที่ 4.30 (ข) พบว่าทั่วพื้นผิวของอะลูมิเนียมมีแผ่นฟิล์มสีเข้มปกคลุมอยู่ทั่วพื้นผิวและเกิดหลุมขนาดใหญ่สีขาวซึ่งกินลึกเข้าไปในเนื้ออะลูมิเนียมอย่างเห็นได้ชัด จากการตรวจสอบ SEM พบปริมาณธาตุออกซิเจนเป็นปริมาณมาก เกิดขึ้นบริเวณภายในรอยต่อระหว่างเหล็กและอะลูมิเนียม แสดงดังตารางที่ 4.1 ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นว่าบริเวณภายในรอยต่อทั้งแผ่นเหล็กและแผ่นอะลูมิเนียมเกิดการกัดกร่อนภายในด้วยปริมาณธาตุออกซิเจนในออกไซด์ผิวของวัสดุทั้งสองชนิด

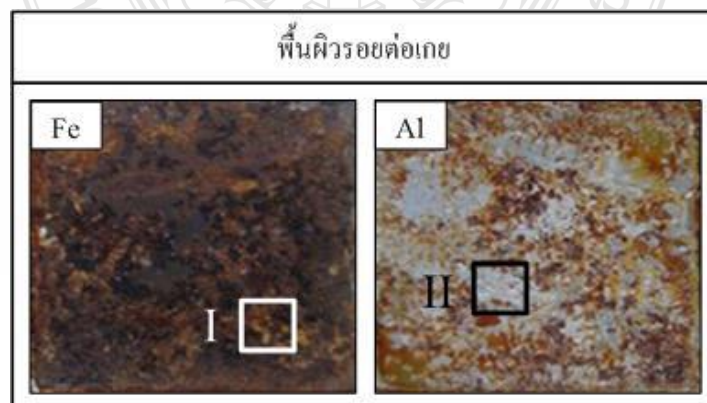


รูปที่ 4.31 ภาพถ่ายพื้นผิวชิ้นงานทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน (ฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง)

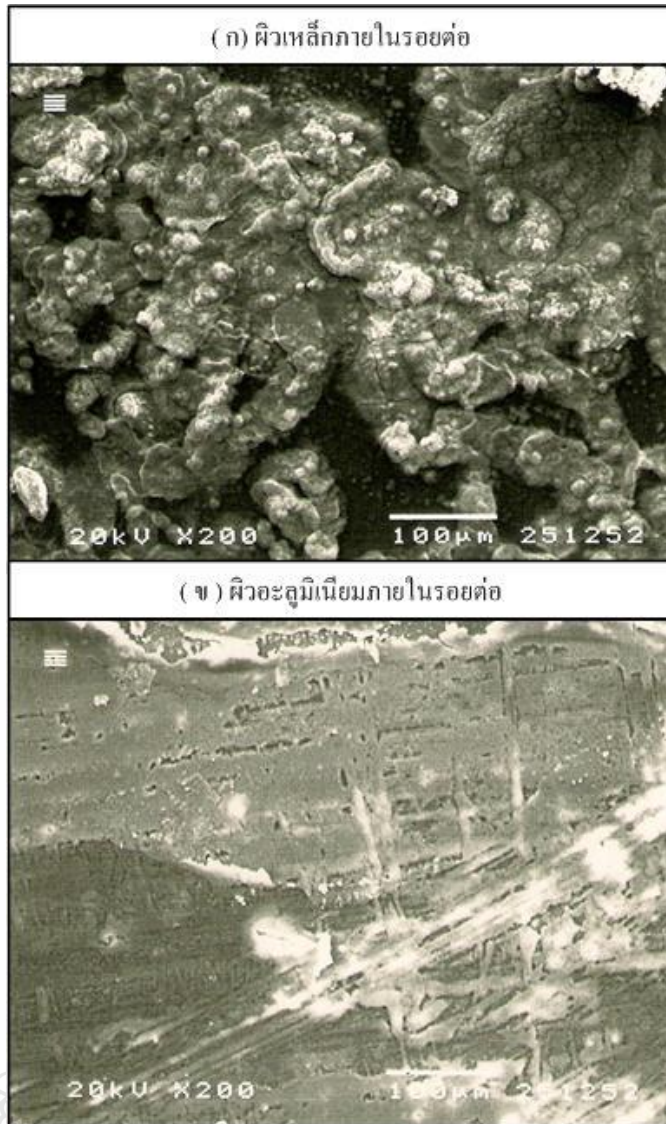
รูปที่ 4.32 (ก) และ (ข) แสดงภาพถ่ายการทดสอบ SEM ของแผ่นเหล็กและอะลูมิเนียมในภายในรอยต่อ จากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง แสดงดังรูปที่ 4.31 ตำแหน่ง I และ II ตามลำดับ พบว่าที่ผิวของเหล็กและอะลูมิเนียมเกิดความแตกต่างกันมากเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะการสูญเสียเนื้อเหล็กไปเกือบทั่วผิวหน้าและมีความลึกลงไปอีกชั้นในส่วนของที่เกิดการกัดกร่อน ส่วนที่บริเวณผิวเหล็กที่ไม่สูญเสียไปจะเกิดหลุมเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วพื้นผิว ซึ่งมีความแตกต่างไปจากผิวของอะลูมิเนียมที่มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มปกคลุมอย่างหนาไม่สามารถมองเห็นการสูญเสียของผิวอะลูมิเนียมได้อย่างชัดเจน เนื่องจากคราบของออกไซด์ที่หลุดออกมาจากเหล็กติดทับอยู่ในส่วนที่ทำการตรวจสอบ คาดว่าบริเวณที่ถูกปกคลุมด้วยฟิล์มและออกไซด์ของเหล็กน่าจะเกิดการสูญเสียไปของผิวอะลูมิเนียมเป็นอย่างมาก เมื่อเทียบกับผิวภายในรอยต่อของอะลูมิเนียมที่น้ำทะเลฝั่งภูเก็ตและมาบตาพุด และปริมาณออกซิเจนที่อยู่บนผิวอะลูมิเนียม ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.32 ภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานทดสอบที่กำลังขยาย 200 เท่า (ฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง)



รูปที่ 4.33 ภาพถ่ายพื้นผิวชิ้นงานทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน (ฝั่งอำมะนา)

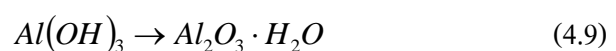
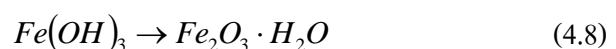
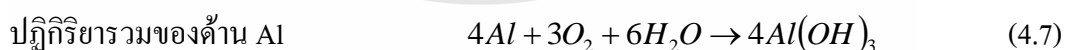
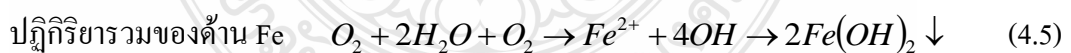
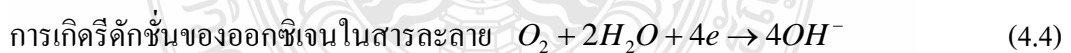
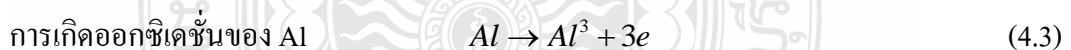
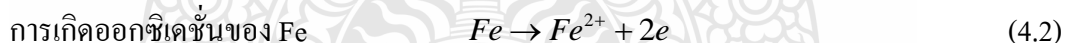
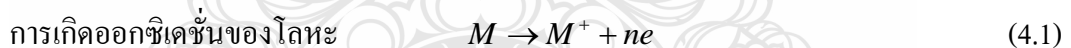


รูปที่ 4.34 ภาพถ่าย SEM ของชิ้นงานทดสอบที่กำลังขยาย 200 เท่า (ฝั่งอำมะนาว)

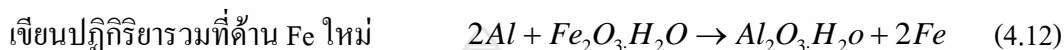
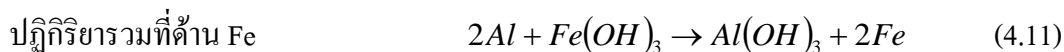
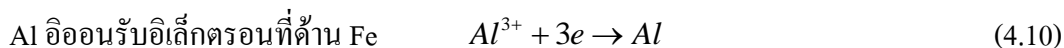
ภาพถ่ายชิ้นงานทดสอบภายในรอยต่อเกยที่ผิวของเหล็กจากการทดสอบในน้ำทะเลฝั่งอำมะนาว แสดงดังรูปที่ 4.34 (ก) ตำแหน่ง I ในรูปที่ 4.33 มีลักษณะการเกิดออกไซด์ที่มาก เนื่องจากชิ้นงานเกิดความขึ้นดก้าง จึงทำให้เกิดออกไซด์เกิดภายในรอยต่อเกยหลังจากแกะออกจากการประกบกับอะลูมิเนียม จึงทำให้มองเห็นภาพจากการทดสอบ SEM ได้ไม่ชัดเจนเพราะมีคราบออกไซด์ปกคลุมอยู่ เมื่อนำไปเทียบกับภาพถ่าย SEM ของน้ำทะเลแหล่งต่างๆ ผลการตรวจสอบมีลักษณะที่เหมือนกัน นั่นคือ เกิดการกัดกร่อนที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นเหล็กและกว้าง ขึ้นอยู่กับจุดหรือบริเวณที่ทำการตรวจสอบด้วยการยิงการกระจายของรังสีเอ็กซ์ ซึ่งมีความสอดคล้องกับปริมาณธาตุออกซิเจนที่เป็นส่วนผสมเหล็กในออกไซด์ที่เป็นเหตุทำให้เกิดการกัดกร่อน ดังตารางที่ 1 ส่วนรูปที่ 4.34 (ข) จากตำแหน่งที่ II รูปที่ 4.33 เป็นลักษณะการสูญเสียของเนื้ออะลูมิเนียมไปทั่วพื้นผิว เกิดจากการกัดกร่อนเช่นเดียวกัน เมื่อเทียบกับรูปที่ 4.32 (ข) ซึ่งได้อธิบายไว้แล้วข้างต้น

ผลจากการตรวจสอบพื้นผิวของชิ้นงานทดสอบด้วยการวิเคราะห์การกระจายตัวของรังสีเอ็กซ์ที่น้ำทะเลแหล่งต่างๆ พบว่าผิวด้านนอกและด้านในผิวรอยต่อของเหล็กมีลักษณะของการเกิดออกไซด์ที่เหมือนกันถูกปกคลุมด้วยคราบออกไซด์ในปริมาณมากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่เป็นหลักฐานบ่งบอกถึงการกัดกร่อนได้เป็นอย่างดี เมื่อเทียบกับบริเวณพื้นผิวของอะลูมิเนียม พบคราบฟิล์มปกคลุมอยู่ทั่วพื้นผิวเช่นเดียวกัน และเกิดหลุมที่เกิดจากการสูญเสียเนื้ออะลูมิเนียมจากการกัดกร่อนตรวจพบออกซิเจนทั้งภายในและภายนอกรอยต่อเกย ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นบนผิวของอะลูมิเนียมเช่นเดียวกันกับเหล็ก ดังแสดงในตารางที่ 1 พบปริมาณธาตุออกซิเจนซึ่งเป็นส่วนผสมหลักของออกไซด์สูงทั้งภายนอกและภายในรอยต่อเกยของเหล็กและอะลูมิเนียม แต่เป็นที่น่าสนใจคือ พบธาตุอะลูมิเนียม (A) อยู่บนพื้นผิวของผิวเหล็ก แสดงให้เห็นถึงการเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนภายในระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็ก ซึ่งเป็นการกัดกร่อนแบบกัลวานิกขึ้นบนรอยต่อเกยและทำให้อะลูมิเนียมเกิดการกัดกร่อนได้เร็วยิ่งขึ้นผลวิเคราะห์ที่ได้เป็นการแสดงค่าในลักษณะของธาตุเดี่ยวเท่านั้นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงชนิดของสารประกอบ เช่น  $Al_2O_3$  หรือ  $Fe_2O_3$  ควรกระทำต่อไปด้วยกรรมวิธีอื่น เช่น การวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์

ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวรังสีเอ็กซ์ดังแสดงใน ตารางที่ 4.1 และภาพถ่าย SEM พบว่าการกัดกร่อนแบบกัลวานิกได้เกิดขึ้นในพื้นที่ของรอยต่อเกย เนื่องจากการตรวจพบของอะลูมิเนียมบนผิวของเหล็ก โดยเกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกนี้มีลักษณะคล้ายกับงานวิจัยของ Kimapong [24] ที่อธิบายให้ทราบถึงกลไกการเกิดดังนี้



ขณะเดียวกันระหว่างเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อเกยปฏิกิริยาเหล่านี้ได้เกิดขึ้น



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นตามสมการ 4.10 ถึง 4.11 เป็นกลไกที่แสดงให้เห็นถึงการถ่ายเท Al ไปสู่ด้าน Fe ตามปฏิกิริยากัลวานิก อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์รูปแบบของสารประกอบบนพื้นผิวของรอยต่อเกยด้วยเครื่องมือที่มีความถูกต้องเที่ยงตรงกว่าการวิเคราะห์การกระจายตัวของรังสีเอ็กซ์ เช่น การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ควรมีการวิเคราะห์ต่อไป



## บทที่ 5

### สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการดำเนินงานการทดสอบอรรถิพลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ และอรรถิพลของอุณหภูมิ ต่ออัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 กับอะลูมิเนียม AA 1100 โดยมีการออกแบบการทดสอบ การกำหนดแนวทางการดำเนินงานให้ เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM G1-90 [19] ซึ่งมีการหาอัตราการกัดกร่อนโดยวิธีการทดสอบการสูญเสีย น้ำหนักของวัสดุทดสอบ การหาอัตราการกัดกร่อนของวัสดุทดสอบตามระยะเวลาการทดสอบ การ เปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียและการเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนจากการทดสอบในแหล่งน้ำทะเล ต่างๆ ว่าน้ำทะเลที่แหล่งใดเกิดอัตราการกัดกร่อนกับวัสดุทดสอบได้ดีกว่ากัน ได้ผลการทดลองมา วิเคราะห์ผลตามแผนการดำเนินงานดังนี้

#### 5.1 สรุป

จากการดำเนินงานการทดสอบอรรถิพลของน้ำทะเลไทยจากแหล่งต่างๆ และต่ออัตราการกัด กร่อนของรอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 กับอะลูมิเนียม AA 1100 ได้มีการ ดำเนินงานตามแผนการอย่างเป็นขั้นตอน โดยทำการทดสอบ รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ผล เปรียบเทียบ ผลและสรุปผลการทดสอบซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

##### 5.1.1 การวิเคราะห์ที่ผิววัสดุทดสอบ

การสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าวัสดุทดสอบในน้ำทะเลทุกๆ แหล่งที่นำมาทำการทดสอบ ออกไซด์หรือสนิมที่เกิดขึ้นบนวัสดุทั้งสองชนิดจากตัวแปรที่ได้ทำการทดสอบมีลักษณะที่คล้ายกัน แต่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ในการทดสอบ ออกไซด์จะเกิดที่บริเวณขอบ รอยต่อของชิ้นงานมากกว่าบริเวณอื่น และที่บริเวณภายในรอยต่อระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียมก็มีออก ไซด์เกิดขึ้นเช่นกัน แต่มีลักษณะเป็นฟิล์มปกคลุมไม่เหมือนสนิมที่เกิดนอกรอยต่อที่มีลักษณะเป็น ก้อนสีแดงซึ่งสามารถมองเห็นได้ชัดเจนด้วยสายตา

จากการวิเคราะห์พื้นผิวชิ้นงานทดสอบหลังจากการกำจัดออกไซด์ เพื่อทำการหาค่า เปรอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียของวัสดุทั้งสองชนิดพบว่าบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนมากที่สุดในส่วนของ เหล็กนั้นเกิดขึ้นที่บริเวณด้านบนของขอบรอยต่อเกาะระหว่างอะลูมิเนียมกับเหล็กที่มีลักษณะเป็นชอก แคลๆ ตรงบริเวณนั้น จึงทำให้คราบเกลือที่อยู่ในน้ำทะเลตกค้างอยู่ในปริมาณที่มาก เป็นสาเหตุที่ทำให้ เกิดการกัดกร่อนของชิ้นงานที่มากกว่าบริเวณอื่นๆ ซึ่งการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในการทดสอบนี้มี ทฤษฎีสอดคล้องกับการกัดกร่อนในที่อับ (Crevice corrosion) และเป็นสาเหตุทำให้เหล็กเกิดการ

สูญเสียสูญเสียเนื้อโลหะไปในปริมาณที่มาก เนื่องจากเกิดการกัดกร่อนภายในบริเวณนี้นั่นเอง ส่วน อะลูมิเนียมจะพบบริเวณที่เกิดการกัดกร่อนมากที่สุดตรงบริเวณภายในรอยต่อเกยระหว่างเหล็กและ บริเวณรอบๆ ขอบผิวสัมผัสของอะลูมิเนียมเอง หลังพบว่าเกิดการสูญเสียเนื้อโลหะไปเมื่อทำการ กำจัดออกไซด์อะลูมิเนียมออกเรียบร้อยแล้ว

### 5.1.2 น้ำหนักที่สูญเสียและอัตราการกัดกร่อน

ก) น้ำทะเลฝั่งภูเก็ต มีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของเหล็กเท่ากับ 0.4283 และ อัตราการกัดกร่อนของเหล็กที่ระยะเวลา 30 วันเป็น 0.2472 มม./ปี ส่วนแนวโน้มของ เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของอะลูมิเนียมเท่ากับ 1.0456 และอัตราการกัดกร่อนของ อะลูมิเนียมที่ระยะเวลา 30 วันเป็น 0.6622 มม./ปี

ข) ทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด มีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไป ของเหล็กเท่ากับ 0.2822 และ อัตราการกัดกร่อนของเหล็กที่ระยะเวลา 30 วันเป็น 0.1705 มม./ปี ส่วนแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของอะลูมิเนียมเท่ากับ 0.3707 และอัตราการกัด กร่อนของอะลูมิเนียมที่ระยะเวลา 30 วันเป็น 0.4270 มม./ปี

ค) ทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง มีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไป ของเหล็กเท่ากับ 0.3262 และ อัตราการกัดกร่อนของเหล็กที่ระยะเวลา 30 วันเป็น 0.1775 มม./ปี ส่วนแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของอะลูมิเนียมเท่ากับ 0.5857 และอัตราการกัด กร่อนของอะลูมิเนียมที่ระยะเวลา 30 วันเป็น 0.4777 มม./ปี

ง) ทะเลฝั่งอ่าวมะนาว มีแนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของเหล็ก เท่ากับ 0.3707 และ อัตราการกัดกร่อนของเหล็กที่ระยะเวลา 30 วันเป็น 0.2090 มม./ปี ส่วนแนวโน้ม ของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของอะลูมิเนียมเท่ากับ 0.9456 และอัตราการกัดกร่อนของ อะลูมิเนียมที่ระยะเวลา 30 วันเป็น 0.5857 มม./ปี

ผลจากการทดสอบอิทธิพลของน้ำทะเลไทยจากแหล่งต่างๆ ต่ออัตราการกัดกร่อนของ รอยต่อเกยระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและอะลูมิเนียมพบว่าน้ำทะเลฝั่งภูเก็ตเกิดการกัดกร่อนในวัสดุ ทั้งสองชนิดดีที่สุดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เนื่องจากตรวจพบปริมาณธาตุที่ส่งผลต่อการเกิดการ กัดกร่อนในวัสดุทั้งสองชนิด จากการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกวาด โดยเฉพาะธาตุ ออกซิเจน (O) ซึ่งตรวจพบในปริมาณมากทั้งภายในและภายนอกรอยต่อเกยที่ผิวของวัสดุทดสอบ เป็น สาเหตุทำให้เกิดการกัดกร่อนมากบนผิวของเหล็กและอะลูมิเนียม ที่ผิวของเหล็กตรวจพบธาตุ อะลูมิเนียม (Al) ในปริมาณมาก นั้นแสดงให้เห็นว่าเกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกบนผิวภายใน รอยต่อเกยระหว่างเหล็กกับอะลูมิเนียม จึงเป็นเหตุทำให้อะลูมิเนียมเกิดการกัดกร่อนได้เร็วขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการทดสอบอิทธิพลของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ต่ออัตราการกัดกร่อนของรอยต่อระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน AISI 1015 กับอะลูมิเนียม AA 1100 คณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 ควรมีการศึกษาลักษณะการเกิดการกัดกร่อนในระดับโครงสร้างจุลภาค

5.2.2 ควรมีการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และการผลิตจากกรรมวิธีต่างๆ ที่จะส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อนที่เกิดขึ้น

5.2.3 ควรมีการทดสอบในสถานะการใช้งานจริง และชิ้นงานที่จะนำมาใช้งานจริงในโรงงานอุตสาหกรรม

5.2.4 ควรมีระยะเวลาในการทดสอบอัตราการกัดกร่อนมากกว่านี้เพื่อให้เห็นผลชัดเจนยิ่งขึ้น

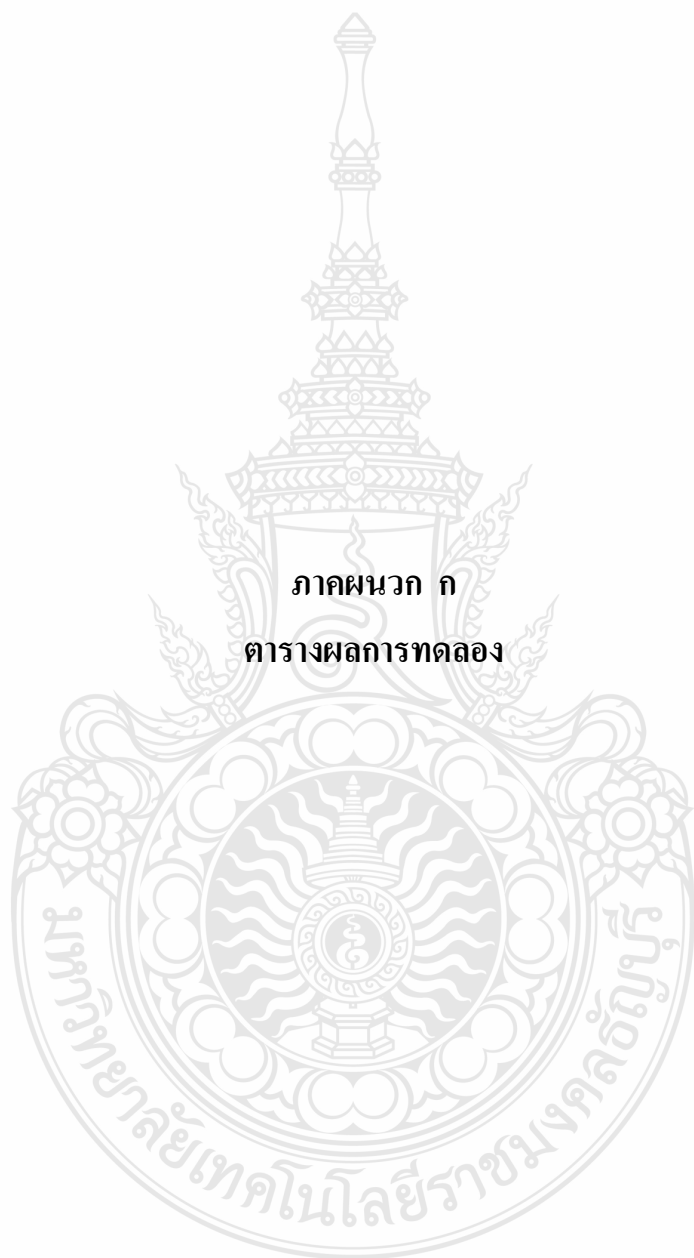




## เอกสารอ้างอิง

- [1] T.A. Branes and I.R. Pashyby "Joining Techniques for Aluminum Spaceframes used in Automobiles Part I-Solid and Liquid Phase Welding" J. of Materials Processing Technology 99 (2000) 62-71.
- [2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วีระพันธ์ สิทธิพงศ์. 2539. "การสึกกร่อนของโลหะ (Corrosion of Metals)". ในโลหะวิทยาภาคทฤษฎี. หน้า 216 . กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนสามัญนิติบุคคล นิยมวิทยา.
- [3] ASM "ASM Handbook Volume 15 Corrosion" ASM International, USA, 2000, CD-ROM.
- [4] สุรสิทธิ์ แก้วพระอินทร์. 2541. โลหะวิทยา. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [5] ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ. 2552. วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [6] กัญจนา ตระกูลดู. 2534. เทคโนโลยีการกัดกร่อน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : เอ็กเพรส มีเดีย.
- [7] [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.ploytronics.com/aluminium.html>. (วันที่ค้นข้อมูล : 14 สิงหาคม 2553).
- [8] [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.corrosionlab.com> (วันที่ค้นข้อมูล : 20 สิงหาคม 2553).
- [9] มานพ ต้นตระกูลจิตต์ 2545. วัสดุวิศวกรรม(ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [10] [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก [http://www.lesa.in.th/7/circulation\\_sea/circulation\\_sea/circulation\\_sea.html](http://www.lesa.in.th/7/circulation_sea/circulation_sea/circulation_sea.html). (วันที่ค้นข้อมูล : 2 กันยายน 2553).
- [11] Gary, Kirby N. 1995. Fight Chloride Corrosion in Aqueous System. แปลโดยศิริพร ดาวาพิเศษ. กรุงเทพฯ : ดอกหญ้า.
- [12] Lin C.B., Mu C.K., Wu W.W., Hung C.H., The effect of joint design and volume fraction on friction welding properties of A360/SiC (p) composites. Welding Research Supplement. 1999;100-108
- [13] Niels H. Harrit, Jeffrey Farrer. Chemical Physics Journal. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://therearenosunglasses.wordpress.com/2009/04/06/>. (วันที่ค้นข้อมูล : 5 สิงหาคม 2553).
- [14] Niels H. Harrit, Jeffrey Farrer. Chemical Physics Journal. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก <http://www.psrhawaii.edu/June04/silicatesMeteorites.html> (วันที่ค้นข้อมูล : 20 สิงหาคม 2553).
- [15] E. Almeida and M. Morcillo "Lap-joint corrosion of automotive coated materials in chloride media: Part 1 – Electro-galvanized steel" Welding Research Supplement and Technology 124 (2000) 169-179.

- [16] E. Almeida and M. Morcillo “Lap-joint corrosion of automotive coated materials in chloride media: Part 2 – Galvanealed steel” *Surface and Technology* 124 (2000) 180-189.
- [17] E. Almeida and M. Morcillo “Lap-joint corrosion of automotive coated materials in chloride media: Part 3 – Electrogalvanized steel/ Galvanealed interface” *Surface and Technology* 124 (2000) 44-52.
- [18] B. Chico, D. Fuente, E. Almeida, M. Morcillo, J.A. Gonzalez and E. Otero “Lap-joint corrosion of precoated materials for building applications” *Surface and Technology* 190 (2005) 65-74.
- [19] Standard Practice for Corrosion Testing of Products of Zirconium, Hafnium, and Their Alloy in Water at 680 F or in Steam at 750 F. Standard Method G2-88. Annual Book of ASTM Standards.
- [20] Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. Standard Method G31-72. Annual Book of ASTM Standards.
- [21] Standard Practice for Preparing Cleaning and Evaluation Corrosion Test Specimens. Standard Method G1-90. Annual Book of ASTM Standards.
- [22] [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก [http://www.en.mahidol.ac.th/EI/abstract/B\\_abstracts\\_5.html](http://www.en.mahidol.ac.th/EI/abstract/B_abstracts_5.html) (วันที่ค้นข้อมูล : 20 สิงหาคม 2553).
- [23] ชลิตต์ มธุรสมนตรี และคณะ. 2544. กระบวนการผลิต. กรุงเทพฯ : ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ.
- [24] K. Kimapong “Friction Stir Welding of Aluminum Alloy and Steel Lap Joint” Doctoral Thesis of Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 2006, 91-119.



**ภาคผนวก ก**  
**ตารางผลการทดลอง**

### การคำนวณน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นทดสอบ

น้ำหนักที่สูญเสีย คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบที่ลดลงหลังจากทำการทดสอบการกัดกร่อนโดยการจุ่มในน้ำแต่ละชนิด สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\text{น้ำหนักที่สูญเสีย (g)} = \text{น้ำหนักก่อนจุ่ม (g)} - \text{น้ำหนักหลังจุ่ม (g)}$$

$$\text{น้ำหนักที่สูญเสีย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนทดลอง} - \text{น้ำหนักหลังทดลอง}}{\text{น้ำหนักก่อนทดลอง}} \times 100$$

ตัวอย่าง การคำนวณหาน้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กที่แช่ในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต วัสดุตัวอย่างชิ้นที่ 9 ซึ่งก่อนการทดลองเหล็กมีน้ำหนัก 6.14 กรัม และเมื่อกำจัดสนิมออกแล้วเหลือน้ำหนัก 6.12 กรัม

$$\text{น้ำหนักที่สูญเสีย (\%)} = \frac{6.14 \text{ g} - 6.12 \text{ g}}{6.14 \text{ g}} \times 100$$

$$\text{น้ำหนักที่สูญเสีย (\%)} = 0.325 \%$$

### การคำนวณอัตราการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบ

อัตราการกัดกร่อน หมายถึง ความหนาของชิ้นทดสอบที่ลดลงเมื่อระยะเวลาผ่านไปหลังจากการจุ่มในน้ำทะเลแหล่งต่างๆ

$$\text{อัตราการกัดกร่อน (มิลลิเมตรต่อปี)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D}$$

เมื่อ  $K =$  ค่าคงที่ ( $8.76 \times 10^4$ )

$T =$  เวลา (ชั่วโมง)

$A =$  พื้นที่ (ตารางเซนติเมตร)

$W =$  น้ำหนักที่สูญเสีย (กรัม)

$D =$  ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)

(ความหนาแน่นของเหล็ก AA 1100 คือ 2.78 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1015 คือ 7.86)

ตัวอย่าง การคำนวณหาอัตราการกัดกร่อนของเหล็กที่แช่ในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต วัสดุตัวอย่างชิ้นที่ 2 และมีการสูญเสียน้ำหนักไป 0.03 กรัม

$$\begin{aligned} \text{อัตราการกัดกร่อน (mm/y)} &= \frac{(8.76 \times 10^4 \times 0.03 \text{ g})}{17.2 \text{ cm}^2 \times 72 \text{ h} \times 2.78 \text{ g/cm}^3} \\ &= 0.763 \text{ mm/y} \end{aligned}$$

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของเหล็กและอะลูมิเนียมจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเล  
ฝั่งภูเก็ต

วันที่	น้ำหนักเหล็ก(กรัม)			น้ำหนักอะลูมิเนียม(กรัม)		
	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	สูญเสีย	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	สูญเสีย
3	6.14	6.12	0.02	2.54	2.5	0.04
	6.06	6.03	0.03	2.55	2.52	0.03
	6.16	6.13	0.03	2.53	2.51	0.02
	6.04	6.02	0.02	2.54	2.51	0.03
6	6.09	6.05	0.04	5.52	5.48	0.04
	6.07	6.02	0.05	5.53	5.47	0.06
	6.11	6.05	0.06	5.55	5.5	0.05
	6.08	6.04	0.04	2.55	2.48	0.07
9	5.99	5.93	0.06	2.49	2.43	0.06
	6.09	6.04	0.05	2.53	2.45	0.08
	6.1	6.03	0.07	2.54	2.46	0.08
	6.11	6.06	0.05	2.51	2.44	0.07
12	6.12	6.06	0.06	2.52	2.43	0.09
	6.14	6.09	0.05	2.5	2.43	0.07
	6.05	5.96	0.09	2.53	2.47	0.06
	6.03	5.93	0.1	2.54	2.47	0.07
15	60.4	60.31	0.09	2.51	2.43	0.08
	6.21	6.13	0.08	2.55	2.45	0.1
	6.13	6	0.13	2.52	2.43	0.09
	6.21	6.1	0.11	2.54	2.43	0.11
18	6.04	5.92	0.12	2.48	2.36	0.12
	6.05	5.94	0.11	2.53	2.39	0.14
	6.16	6.06	0.1	2.51	2.38	0.13
	6.06	5.92	0.14	2.56	2.43	0.13
21	6.17	6.07	0.1	2.53	2.38	0.15
	6.14	5.98	0.16	2.51	2.35	0.16
	6.1	5.97	0.13	2.56	2.41	0.15
	6.03	5.91	0.12	2.49	2.35	0.14
24	6.08	5.91	0.17	2.55	2.34	0.21
	6.11	5.91	0.2	2.57	2.37	0.2
	6.09	5.91	0.18	2.51	2.29	0.22
	6.11	5.92	0.19	2.54	2.35	0.19
27	6.2	5.98	0.22	2.52	2.3	0.22
	6.16	5.92	0.24	2.51	2.27	0.24
	5.93	5.7	0.23	2.56	2.31	0.25
	5.97	5.75	0.22	2.56	2.33	0.23
30	6.09	5.83	0.26	2.55	2.3	0.25
	6.19	5.9	0.29	2.57	2.31	0.26
	6.11	5.83	0.28	2.58	2.31	0.27
	6.16	5.9	0.26	2.55	2.29	0.26

ตารางที่ ก.2 น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของเหล็กและอะลูมิเนียมจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเล  
ฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด

วันที่	น้ำหนักเหล็ก (กรัม)			น้ำหนักอะลูมิเนียม (กรัม)		
	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	สูญเสีย	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	สูญเสีย
3	6.06	6.04	0.02	2.49	2.47	0.02
	6.01	5.99	0.02	2.51	2.5	0.01
	5.94	5.91	0.03	2.53	2.5	0.03
	6.12	6.1	0.02	2.56	2.54	0.02
6	6	5.97	0.03	2.44	2.4	0.04
	5.91	5.88	0.03	2.51	2.48	0.03
	5.94	5.92	0.02	2.42	2.39	0.03
	6.09	6.05	0.04	2.54	2.49	0.05
9	6.11	6.07	0.04	2.46	2.42	0.04
	6.08	6.03	0.05	2.51	2.45	0.06
	6.03	6	0.03	2.51	2.45	0.06
	6	5.94	0.06	2.54	2.5	0.04
12	6.11	6.07	0.04	2.48	2.42	0.06
	6.01	5.95	0.06	2.53	2.46	0.07
	6.12	6.08	0.04	2.47	2.39	0.08
	6.15	6.1	0.05	2.49	2.44	0.05
15	6.09	6.03	0.06	2.51	2.43	0.08
	6.05	5.97	0.08	2.48	2.41	0.07
	5.98	5.91	0.07	2.55	2.46	0.09
	5.94	5.88	0.06	2.51	2.41	0.1
18	6.02	5.93	0.09	2.49	2.42	0.07
	5.97	5.89	0.08	2.56	2.47	0.09
	6.09	6.02	0.07	2.51	2.43	0.08
	5.96	5.89	0.07	2.51	2.4	0.11
21	6.12	6.06	0.06	2.5	2.42	0.08
	6	5.92	0.08	2.52	2.43	0.09
	6.06	5.99	0.07	2.53	2.42	0.11
	6.06	5.99	0.07	2.47	2.37	0.1
24	6.15	6.04	0.11	2.48	2.36	0.12
	6.03	5.91	0.12	2.5	2.37	0.13
	6.05	5.96	0.09	2.49	2.34	0.15
	6.1	5.97	0.13	2.53	2.42	0.11
27	5.9	5.75	0.15	2.49	2.36	0.13
	5.98	5.84	0.14	2.55	2.43	0.12
	6.05	5.89	0.16	2.52	2.41	0.11
	6.12	5.95	0.17	2.48	2.34	0.14
30	6.1	5.89	0.21	2.51	2.35	0.16
	5.97	5.8	0.17	2.5	2.32	0.18
	5.94	5.75	0.19	2.47	2.29	0.18
	6.03	5.85	0.18	2.53	2.38	0.15

ตารางที่ ก.3 น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของเหล็กและอะลูมิเนียมจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเล  
ฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง

วันที่	น้ำหนักเหล็ก (กรัม)			น้ำหนักอะลูมิเนียม (กรัม)		
	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	สูญเสีย	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	สูญเสีย
3	6.17	6.15	0.02	2.5	2.48	0.02
	5.93	5.91	0.02	2.54	2.52	0.02
	5.85	5.84	0.01	2.51	2.48	0.03
	6.01	5.99	0.02	2.5	2.48	0.02
6	6.02	5.99	0.03	2.51	2.48	0.03
	6.04	6	0.04	2.43	2.38	0.05
	6.16	6.14	0.02	2.5	2.45	0.05
	6.02	6	0.02	2.5	2.46	0.04
9	6.09	6.05	0.04	2.54	2.48	0.06
	6.17	6.14	0.03	2.49	2.44	0.05
	6.06	6.01	0.05	2.47	2.42	0.05
	6.11	6.09	0.02	2.46	2.42	0.04
12	6.03	5.97	0.06	2.53	2.44	0.09
	5.97	5.9	0.07	2.52	2.44	0.08
	5.93	5.87	0.06	2.5	2.41	0.09
	6.06	5.98	0.08	2.5	2.43	0.07
15	6.14	6.05	0.09	2.49	2.39	0.1
	6.13	6.05	0.08	2.43	2.35	0.08
	6.02	5.95	0.07	2.35	2.23	0.12
	5.96	5.86	0.1	2.54	2.43	0.11
18	6.04	5.96	0.08	2.58	2.48	0.1
	6.15	6.06	0.09	2.51	2.42	0.09
	6.03	5.92	0.11	2.52	2.41	0.11
	6.01	5.92	0.09	2.53	2.41	0.12
21	6.01	5.91	0.1	2.55	2.41	0.14
	6.09	5.98	0.11	2.53	2.41	0.12
	6.03	5.91	0.12	2.53	2.37	0.16
	5.95	5.85	0.1	2.53	2.4	0.13
24	6.07	5.94	0.13	2.56	2.41	0.15
	6.01	5.86	0.15	2.51	2.37	0.14
	5.96	5.8	0.16	2.53	2.41	0.12
	6.15	6.01	0.14	2.55	2.39	0.16
27	6.04	5.87	0.17	2.46	2.3	0.16
	5.98	5.8	0.18	2.56	2.38	0.18
	6.04	5.88	0.16	2.53	2.36	0.17
	6.07	5.91	0.16	2.52	2.36	0.16
30	6.04	5.83	0.21	2.52	2.32	0.2
	6.14	5.96	0.18	2.54	2.36	0.18
	5.98	5.79	0.19	2.5	2.32	0.18
	6.09	5.89	0.2	2.47	2.28	0.19

ตารางที่ ก.4 น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยของเหล็กและอะลูมิเนียมจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเล  
ฝิ่งอำวะมะนาว

วันที่	น้ำหนักเหล็ก (กรัม)			น้ำหนักอะลูมิเนียม (กรัม)		
	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	สูญเสีย	ก่อนทดสอบ	หลังทดสอบ	สูญเสีย
3	6.01	5.98	0.03	2.5	2.48	0.02
	6.15	6.12	0.03	2.52	2.49	0.03
	6.02	6	0.02	2.55	2.53	0.02
	6.09	6.07	0.02	2.53	2.5	0.03
6	6.25	6.21	0.04	2.52	2.49	0.03
	6.05	6	0.05	2.46	2.41	0.05
	6.13	6.1	0.03	2.49	2.45	0.04
	6.09	6.05	0.04	2.52	2.48	0.04
9	6.02	5.98	0.04	2.53	2.49	0.04
	6.05	6	0.05	5.52	5.46	0.06
	5.95	5.91	0.04	2.56	2.52	0.04
	6.16	6.1	0.06	2.56	2.51	0.05
12	6.07	6.02	0.05	2.55	2.48	0.07
	6.09	6.05	0.04	2.49	2.43	0.06
	6.14	6.07	0.07	2.51	2.43	0.08
	6.05	5.99	0.06	2.5	2.43	0.07
15	5.96	5.88	0.08	2.46	2.37	0.09
	6.08	5.98	0.1	2.53	2.41	0.12
	6.02	5.93	0.09	2.49	2.38	0.11
	6.04	5.94	0.1	2.51	2.41	0.1
18	6.01	5.89	0.12	2.48	2.37	0.11
	6.14	6.05	0.09	2.54	2.42	0.12
	6.02	5.91	0.11	2.55	2.45	0.1
	6.08	5.96	0.12	2.48	2.36	0.12
21	6.03	5.92	0.11	2.51	2.38	0.13
	6.11	5.98	0.13	2.5	2.38	0.12
	5.99	5.87	0.12	2.54	2.39	0.15
	6.14	6.02	0.12	2.49	2.35	0.14
24	5.96	5.81	0.15	2.46	2.26	0.2
	6.03	5.87	0.16	2.56	2.37	0.19
	6.12	5.98	0.14	2.51	2.34	0.17
	6.04	5.87	0.17	2.52	2.34	0.18
27	6.02	5.82	0.2	2.55	2.34	0.21
	6.06	5.87	0.19	2.52	2.32	0.2
	6.14	5.96	0.18	2.5	2.31	0.19
	6.19	5.98	0.21	2.47	2.25	0.22
30	6.03	5.8	0.23	2.53	2.31	0.22
	6.01	5.76	0.25	2.55	2.33	0.22
	5.97	5.75	0.22	2.53	2.28	0.25
	5.89	5.67	0.22	2.51	2.28	0.23



ตารางที่ ก.5 เปอร์เซนต์น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยและอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของเหล็กจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต

วันที่	น้ำหนักที่สูญเสีย(%)	น้ำหนักที่สูญเสีย(%) เฉลี่ย	อัตราการกัดกร่อน (มม./ปี)	อัตราการกัดกร่อน เฉลี่ย(มม./ปี)
3	0.326	0.40975	0.182	0.227
	0.495		0.272	
	0.487		0.272	
	0.331		0.182	
6	0.657	0.78	0.181	0.215
	0.823		0.226	
	0.982		0.272	
	0.658		0.181	
9	1.002	0.94675	0.181	0.181
	0.821		0.226	
	1.146		0.136	
	0.818		0.181	
12	0.981	1.23525	0.136	0.17025
	0.814		0.114	
	1.488		0.204	
	1.658		0.227	
15	0.149	1.33225	0.164	0.18625
	1.288		0.145	
	2.121		0.236	
	1.771		0.2	
18	1.987	1.93475	0.182	0.178
	1.818		0.167	
	1.623		0.151	
	2.311		0.212	
21	1.621	2.087	0.13	0.16575
	2.606		0.208	
	2.131		0.169	
	1.99		0.156	
24	2.796	3.0335	0.193	0.21
	3.273		0.227	
	2.956		0.204	
	3.109		0.216	
27	3.548	3.75175	0.222	0.23025
	3.896		0.245	
	3.878		0.232	
	3.685		0.222	
30	4.269	4.4395	0.236	0.24725
	4.685		0.263	
	4.583		0.254	
	4.221		0.236	

ตารางที่ ก.6 เปอร์เซนต์น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยและอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของเหล็กจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด

วันที่	น้ำหนักที่สูญเสีย(%)	น้ำหนักที่สูญเสีย(%) เฉลี่ย	อัตราการกัดกร่อน (มม./ปี)	อัตราการกัดกร่อน เฉลี่ย(มม./ปี)
3	0.331	0.37425	0.182	0.2045
	0.333		0.182	
	0.506		0.272	
	0.327		0.182	
6	0.51	0.503	0.136	0.13625
	0.508		0.136	
	0.337		0.091	
	0.657		0.182	
9	0.818	0.6185	0.151	0.1135
	0.493		0.091	
	0.663		0.121	
	0.5		0.091	
12	0.655	0.7805	0.091	0.108
	0.999		0.136	
	0.654		0.091	
	0.814		0.114	
15	0.986	1.12275	0.109	0.1225
	1.323		0.145	
	1.171		0.127	
	1.011		0.109	
18	1.496	1.2905	0.136	0.11725
	1.341		0.121	
	1.15		0.106	
	1.175		0.106	
21	0.981	1.15675	0.078	0.091
	1.334		0.104	
	1.156		0.091	
	1.156		0.091	
24	1.789	1.85	0.125	0.12775
	1.991		0.136	
	1.488		0.102	
	2.132		0.148	
27	2.543	2.577	0.151	0.1565
	2.342		0.141	
	2.645		0.162	
	2.778		0.172	
30	3.443	3.119	0.191	0.1705
	2.848		0.154	
	3.199		0.173	
	2.986		0.164	

ตารางที่ ก.7 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยและอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของเหล็กจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลฟุ้งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง

วันที่	น้ำหนักที่สูญเสีย(%)	น้ำหนักที่สูญเสีย(%) เฉลี่ย	อัตราการกัดกร่อน (มม./ปี)	อัตราการกัดกร่อน เฉลี่ย(มม./ปี)
3	0.324	0.29125	0.182	0.15925
	0.337		0.182	
	0.171		0.091	
	0.333		0.182	
6	0.498	0.45425	0.121	0.106
	0.662		0.091	
	0.325		0.151	
	0.332		0.061	
9	0.657	0.5745	0.121	0.106
	0.487		0.091	
	0.826		0.151	
	0.328		0.061	
12	0.995	1.125	0.136	0.15325
	1.173		0.159	
	1.012		0.136	
	1.32		0.182	
15	1.466	1.403	0.164	0.1545
	1.305		0.145	
	1.163		0.127	
	1.678		0.182	
18	1.325	1.52725	0.121	0.14
	1.463		0.136	
	1.824		0.167	
	1.497		0.136	
21	1.663	1.78475	0.13	0.13975
	1.806		0.143	
	1.99		0.156	
	1.68		0.13	
24	2.141	2.399	0.148	0.16475
	2.495		0.17	
	2.684		0.182	
	2.276		0.159	
27	2.815	2.77775	0.172	0.1695
	3.011		0.182	
	2.649		0.162	
	2.636		0.162	
30	3.477	3.218	0.191	0.1775
	2.932		0.164	
	3.178		0.173	
	3.285		0.182	

ตารางที่ ก.8 เปอร์เซนต์น้ำหนักรั่วซึมเฉลี่ยและอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของเหล็กจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลอำวมะนาว

วันที่	น้ำหนักรั่วซึมเฉลี่ย(%)	น้ำหนักรั่วซึมเฉลี่ย(%) เฉลี่ย	อัตราการกัดกร่อน (มม./ปี)	อัตราการกัดกร่อน เฉลี่ย(มม./ปี)
3	0.5	0.4125	0.272	0.227
	0.488		0.272	
	0.333		0.182	
	0.329		0.182	
6	0.64	0.653	0.181	0.181
	0.826		0.226	
	0.489		0.136	
	0.657		0.181	
9	0.664	0.784	0.121	0.1435
	0.826		0.151	
	0.672		0.121	
	0.974		0.181	
12	0.824	0.9035	0.114	0.125
	0.657		0.091	
	1.141		0.159	
	0.992		0.136	
15	1.343	1.535	0.145	0.16825
	1.645		0.182	
	1.496		0.164	
	1.656		0.182	
18	1.997	1.81625	0.182	0.16675
	1.466		0.136	
	1.828		0.167	
	1.974		0.182	
21	1.825	1.978	0.143	0.156
	2.128		0.169	
	2.004		0.156	
	1.955		0.156	
24	2.517	2.5685	0.171	0.17625
	2.654		0.182	
	2.288		0.159	
	2.815		0.193	
27	3.323	3.196	0.202	0.197
	3.136		0.192	
	2.932		0.182	
	3.393		0.212	
30	3.815	3.849325	0.209	0.209
	4.16		0.227	
	3.6863		0.2	
	3.736		0.2	

ตารางที่ ก.9 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยและอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของอะลูมิเนียมจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งภูเก็ต

วันที่	น้ำหนักที่สูญเสีย(%)	น้ำหนักที่สูญเสีย(%) เฉลี่ย	อัตราการกัดกร่อน (มม./ปี)	อัตราการกัดกร่อน เฉลี่ย(มม./ปี)
3	1.57	1.1795	1.018	0.76325
	1.176		0.763	
	0.791		0.509	
	1.181		0.763	
6	0.725	1.36425	0.509	0.70025
	1.085		0.764	
	0.901		0.637	
	2.746		0.891	
9	2.41	2.878	0.509	0.61525
	3.163		0.679	
	3.15		0.679	
	2.789		0.594	
12	3.572	2.875	0.573	0.46175
	2.8		0.446	
	2.372		0.382	
	2.756		0.446	
15	3.188	3.75375	0.408	0.484
	3.922		0.509	
	3.572		0.459	
	4.333		0.56	
18	4.839	5.158	0.509	0.55175
	5.534		0.594	
	5.18		0.552	
	5.079		0.552	
21	5.929	5.946	0.546	0.5455
	6.374		0.582	
	5.859		0.545	
	5.622		0.509	
24	8.235	8.065375	0.668	0.65175
	7.782		0.636	
	8.7645		0.699	
	7.48		0.604	
27	8.731	9.261	0.622	0.66475
	9.562		0.679	
	9.766		0.707	
	8.985		0.651	
30	9.804	10.146	0.637	0.66225
	10.117		0.662	
	10.466		0.688	
	10.197		0.662	

ตารางที่ ก.10 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยและอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของอะลูมิเนียมจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมมาบตาพุด

วันที่	น้ำหนักที่สูญเสีย(%)	น้ำหนักที่สูญเสีย(%) เฉลี่ย	อัตราการกัดกร่อน (มม./ปี)	อัตราการกัดกร่อน เฉลี่ย(มม./ปี)
3	0.804	0.79275	0.509	0.50925
	0.399		0.255	
	1.186		0.764	
	0.782		0.509	
6	1.64	1.51125	0.509	0.4775
	1.196		0.382	
	1.24		0.382	
	1.969		0.637	
9	1.627	1.996	0.34	0.4245
	2.391		0.509	
	2.391		0.509	
	1.575		0.34	
12	2.419	2.60825	0.382	0.4135
	2.767		0.445	
	3.239		0.509	
	2.008		0.318	
15	3.188	3.3815	0.408	0.43325
	2.823		0.357	
	3.53		0.459	
	3.985		0.509	
18	2.812	3.47475	0.297	0.3715
	3.516		0.382	
	3.188		0.34	
	4.383		0.467	
21	3.2	3.792225	0.291	0.33075
	3.572		0.328	
	4.3479		0.34	
	4.049		0.364	
24	4.839	5.103	0.382	0.406
	5.2		0.414	
	6.025		0.478	
	4.348		0.35	
27	5.221	4.98475	0.368	0.35375
	4.706		0.34	
	4.366		0.311	
	5.646		0.396	
30	6.375	6.698	0.408	0.427
	7.2		0.459	
	7.288		0.459	
	5.929		0.382	

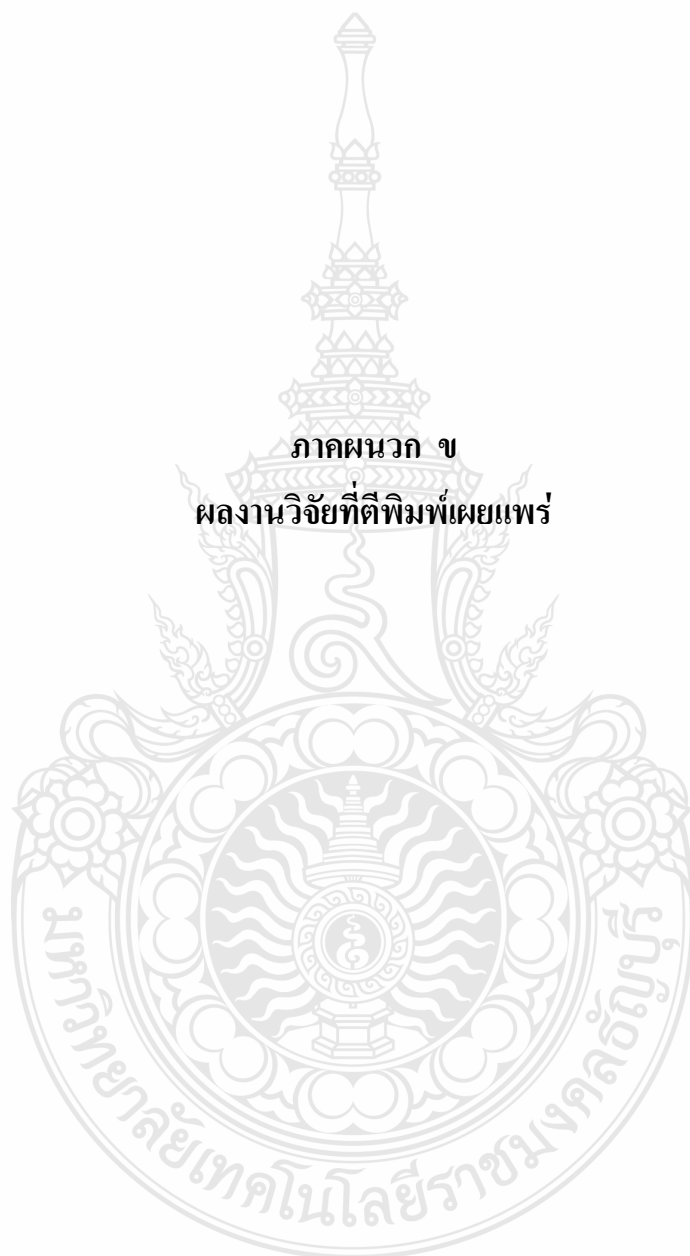
ตารางที่ ก.11 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียเฉลี่ยและอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของอะลูมิเนียมจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งอุตสาหกรรมแหลมฉบัง

วันที่	น้ำหนักที่สูญเสีย(%)	น้ำหนักที่สูญเสีย(%) เฉลี่ย	อัตราการกัดกร่อน (มม./ปี)	อัตราการกัดกร่อน เฉลี่ย(มม./ปี)
3	0.8	0.896	0.509	0.57275
	0.788		0.509	
	1.196		0.764	
	0.8		0.509	
6	1.196	1.7135	0.382	0.54125
	2.058		0.637	
	2		0.637	
	1.6		0.509	
9	2.363	2.006	0.509	0.42475
	2.009		0.425	
	2.025		0.425	
	1.627		0.34	
12	3.558	3.28325	0.573	0.52525
	3.175		0.509	
	3.6		0.573	
	2.8		0.446	
15	4.017	4.187	0.509	0.522
	3.293		0.408	
	5.107		0.611	
	4.331		0.56	
18	3.876	4.142775	0.425	0.44575
	3.586		0.382	
	4.366		0.467	
	4.7431		0.509	
21	5.491	5.42475	0.509	0.50025
	4.744		0.437	
	6.325		0.582	
	5.139		0.473	
24	5.86	5.61425	0.478	0.45375
	5.578		0.446	
	4.744		0.382	
	6.275		0.509	
27	6.505	6.65175	0.453	0.474
	7.032		0.509	
	6.72		0.481	
	6.35		0.453	
30	7.937	7.47925	0.509	0.47775
	7.087		0.459	
	7.2		0.459	
	7.693		0.484	

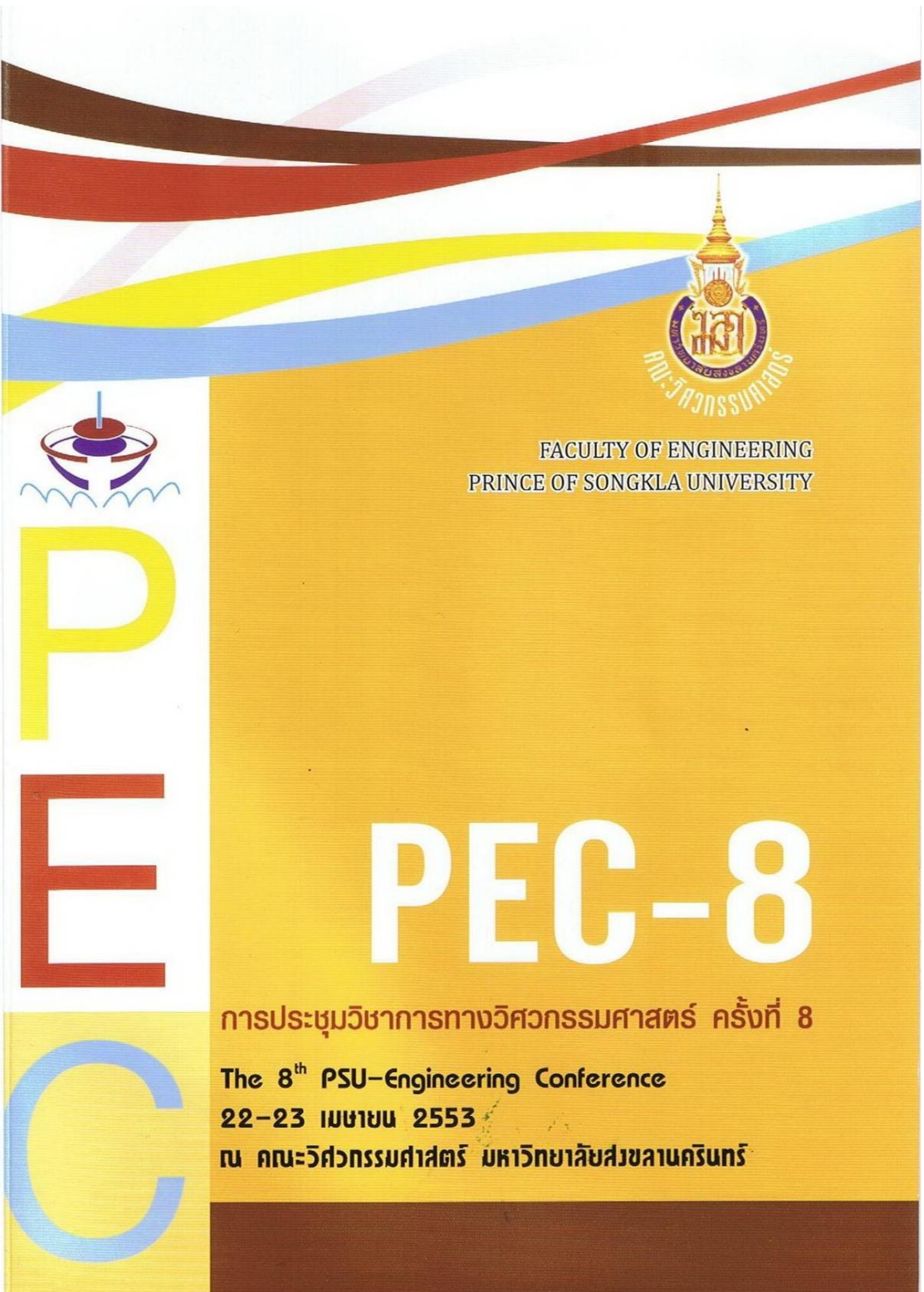
ตารางที่ ก.12 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักร้อยสูญเสียน้ำหนักและอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของอะลูมิเนียมจากการทดสอบการกัดกร่อนในน้ำทะเลฝั่งอ่าวมะนาว

วันที่	น้ำหนักที่สูญเสียน้ำหนัก(%)	น้ำหนักที่สูญเสียน้ำหนักเฉลี่ย	อัตราการกัดกร่อน (มม./ปี)	อัตราการกัดกร่อนเฉลี่ย(มม./ปี)
3	0.8	0.9905	0.509	0.6365
	1.191		0.764	
	0.785		0.509	
	1.186		0.764	
6	1.191	1.60475	0.382	0.50925
	2.033		0.637	
	1.607		0.509	
	1.588		0.509	
9	1.582	1.5465	0.34	0.4035
	1.087		0.509	
	1.563		0.34	
	1.954		0.425	
12	2.746	2.786	0.446	0.44575
	2.41		0.382	
	3.188		0.509	
	2.8		0.446	
15	3.659	4.2015	0.459	0.53475
	4.744		0.611	
	4.418		0.56	
	3.985		0.509	
18	4.436	4.4805	0.467	0.4775
	4.725		0.509	
	3.922		0.425	
	4.839		0.509	
21	5.18	5.37725	0.473	0.49125
	4.8		0.437	
	5.906		0.546	
	5.623		0.509	
24	8.131	7.36725	0.637	0.589
	7.422		0.605	
	6.773		0.541	
	7.143		0.573	
27	8.236	8.17	0.594	0.58
	7.937		0.566	
	7.6		0.538	
	8.907		0.622	
30	8.696	9.0925	0.56	0.58575
	8.628		0.56	
	9.882		0.637	
	9.164		0.586	





**ภาคผนวก ข**  
**ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่**



FACULTY OF ENGINEERING  
PRINCE OF SONGKLA UNIVERSITY

# PEC-8

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 8

The 8<sup>th</sup> PSU-Engineering Conference  
22-23 เมษายน 2553

ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์



การเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนรอยต่อเกยอลูมิเนียม AA1100  
และเหล็กกล้า AISI1015  
Comparison of AA1100 Aluminum and AISI1015 Steel lap Joint  
Corrosion rate in Thai marine Eastern Coast

นฤพนธ์ จันทรชิว\* กิตติพงษ์ กิมะพงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110

E-mail: naruphon\_ball@hotmail.com

Naruphon Junkhow\* Kittipong Kimapong<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology

Thanyaburi Pathumthani 12110

E-mail: naruphon\_ball@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาและเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียม AA1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1015 ในแหล่งน้ำทะเลที่แตกต่างในอ่าวไทย โดยทำการจุ่มรอยต่อลงในน้ำทะเลรวม 2 แหล่ง ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ แนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของอลูมิเนียมในน้ำทะเลอ่าวมะนาวมากกว่าทะเลมาบตาพุดอยู่ที่ 0.1838 แนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของเหล็กกล้าในน้ำทะเลอ่าวมะนาวมากกว่าทะเลมาบตาพุดอยู่ที่ 0.4197 อัตราการกัดกร่อนของอลูมิเนียมในน้ำทะเลอ่าวมะนาวที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่ามากกว่าทะเลมาบตาพุดอยู่ที่ 0.117 มม./ปี อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในน้ำทะเลอ่าวมะนาวที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่ามากกว่าทะเลมาบตาพุดอยู่ที่ 0.273 มม./ปี

การเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนรอยต่อเกยอลูมิเนียม AA1100  
และเหล็กกล้า AISI1015  
Comparison of AA1100 Aluminum and AISI1015 Steel lap Joint  
Corrosion rate in Thai marine Eastern Coat

นฤพนธ์ จันท์ขาว\* กิตติพงษ์ กิมะพงศ์<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110  
E-mail: naruphon\_ball@hotmail.com

Naruphon Junkhow<sup>1\*</sup> Kittipong Kimapong<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology  
Thanyaburi Pathumthani 12110  
E-mail: naruphon\_ball@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาและเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเกยระหว่างอลูมิเนียม AA1100 และเหล็กกล้าคาร์บอน AISI1015 ในแหล่งน้ำทะเลที่แตกต่างกันในประเทศไทย โดยทำการจุ่มรอยต่อลงไปใต้น้ำทะเลรวม 2 แหล่ง ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้ แนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของอลูมิเนียมในน้ำทะเลอ่าวมะนาวมากกว่าทะเลมาบตาพุดอยู่ที่ 0.1838 แนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของเหล็กกล้าในน้ำทะเลอ่าวมะนาวมากกว่าทะเลมาบตาพุดอยู่ที่ 0.4197 อัตราการกัดกร่อนของอลูมิเนียมในน้ำทะเลอ่าวมะนาวที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่ามากกว่าทะเลมาบตาพุดอยู่ที่ 0.117 มม./ปี อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในน้ำทะเลอ่าวมะนาวที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่ามากกว่าทะเลมาบตาพุดอยู่ที่ 0.273 มม./ปี

### Abstract

This research aims to study and compare the corrosion rate of the lap joint between AA1100 aluminum alloy and AISI1015 steel in 2 different sea water source of the gulf of Thailand by immersion method. The results are as follows. The lost weight percentage of aluminum alloy in the Manow bay was larger than that of Mab-Ta-Put Sea about 0.1838. The lost weight percentage of steel in the Manow bay was

larger than that of Mab-Ta-Put sea about 0.4197. The corrosion rate of aluminum alloy in the Manow bay was larger than that of Mab-Ta-Put sea about 0.117 mm/year. The corrosion rate of steel in the Manow bay was larger than that of Mab-Ta-Put sea about 0.273 mm/year.

**คำสำคัญ** รอยต่อเกย, การกัดกร่อน, น้ำทะเล, อลูมิเนียม, เหล็กกล้าคาร์บอน

### 1. บทนำ

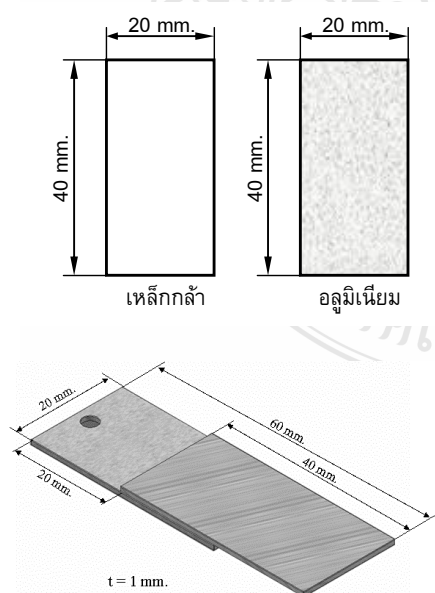
รอยต่อเกยนับเป็นรอยต่อที่มีความสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ ปริมาณการใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 60 เมื่อเปรียบเทียบกับรอยต่อชนิดอื่นๆ เช่น รอยต่อชน [1] รอยต่อเกยในโครงสร้างรถยนต์อาจประกอบไปด้วยรอยต่อเกยของวัสดุชนิดเดียวกัน เช่น รอยต่อเกยของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ซึ่งเป็นวัสดุหลักในการผลิตโครงสร้างตัวถังรถยนต์ หรือรอยต่อวัสดุต่างชนิดกันซึ่งเป็นรอยต่อที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องจากรอยต่อของวัสดุต่างชนิดทำให้เกิดโครงสร้างที่มีความยืดหยุ่น และสามารถนำข้อดีของวัสดุแต่ละชนิดมาใช้จนได้กว้าง ขวางมากขึ้น [2] นอกจากนั้นหากพิจารณาปัญหาการใช้พลังงาน ในอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์ในปัจจุบันได้มีการนำเอาอลูมิเนียมเข้ามาใช้งานแทนที่ชิ้นส่วนเหล็กในโครงสร้างรถยนต์ เพื่อลดน้ำหนักของรถยนต์และจะส่งผลต่อการใช้เชื้อเพลิง

อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้รอยต่อของอลูมิเนียมและเหล็กมีความสำคัญในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น [3]

ในการนำรอยต่อของวัสดุชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดไปใช้งานในสภาวะบรรยากาศต่างๆ เช่น สารละลายของเหลว น้ำธรรมชาติ ความชื้นในอากาศ ฝน หรือ สารละลายที่สร้างขึ้น ล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดปัญหาการกัดกร่อน [4] เนื่องจากสภาวะเหล่านี้เป็นสิ่งแวดล้อมที่มีความสามารถในการนำไอออนสูง และเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ของข้อไฟฟ้าและความเป็นกรดของสารละลาย จากข้อมูลดังกล่าวมาแล้ว คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนของรอย ต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กกล้าเมื่ออยู่ในสภาวะน้ำทะเลของประเทศไทยทั้งสองฝั่ง คือ ฝั่งทะเลอันดามันและอ่าวไทย เพื่อทำการศึกษาและจัดเตรียมข้อมูลที่มีประโยชน์สำหรับการป้องกันและการกัดกร่อนของชิ้นส่วนต่างๆ ในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ต่อไป โดยงานวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อ ศึกษาอัตราการกัดกร่อนภายในรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำในน้ำทะเลแหล่งต่างๆ ในภาคตะวันออกของประเทศไทยและศึกษากลไกการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อระหว่างอลูมิเนียมและเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ

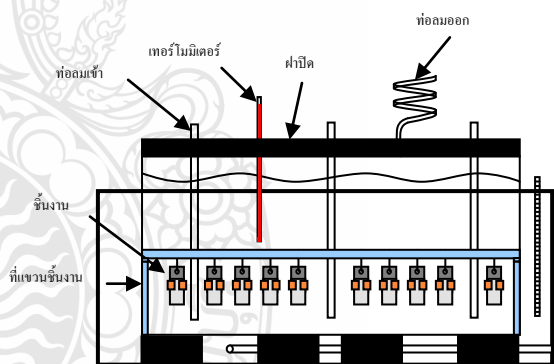
## 2. วิธีการทดลอง

วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ แผ่นอลูมิเนียม AA1100 (Al - 99.50% Si-0.10% Fe-0.10% Mn-0.05% Zn-0.10% Cu-0.05% และอื่น 0.1%) และแผ่นเหล็กกล้า AISI 1015 (Mn <1.65 % Si<0.60% Cu<0.60% P+S<0.05%) วัสดุทั้งสองชนิดมีขนาดความกว้าง 20 มม.ยาว 40 มม.หนา 1 มม.แผ่นวัสดุทดสอบทั้งสองถูกประกอบเป็นลักษณะรอยต่อแยกโดยระยะบริเวณผิวสัมผัสของรอยต่อแยก 20 มม.ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 มิติของชิ้นงานทดสอบ

นำชิ้นงานทดสอบที่ได้ไปทำการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 เพื่อกำจัดกำจัดออกไซด์ที่ผิวของวัสดุทั้งสองและไปทำความสะอาดโดยมาตรฐาน ASTM-G1-88 [5] ก่อนนำจุ่มในชุดทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่ม (Immersion corrosion Testing) ที่สร้างขึ้นอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM G31-72 [6] โดยทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบอัตราการกัดกร่อนให้มีลักษณะที่เหมือนกับมาตรฐาน ASTM G31-72 [6] เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับงานวิจัยนี้ ซึ่งได้ชุดทดสอบอัตราการกัดกร่อนโดยทำการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบต่างๆ ให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม แล้วทำการต่อเกยชิ้นงานทดสอบหนีบด้วยคลิปพลาสติกเพื่อความสะดวกต่อการแกะตรวจสภาพในรอยต่อของชิ้นงาน ใช้จำนวนชิ้นงานทดสอบ 41 ชิ้น/1น้ำทดสอบ จากนั้นทำการจุ่มชิ้นงานลงในชุดทดสอบแล้วทำการควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส และเพิ่มอีกซิเจนจากเครื่องอัดลมขนาดเล็ก ปิดฝาตู้ให้มิดชิด ดังแสดงในรูปที่ 2 ปล่อยให้แห้งแล้วทำการเก็บชิ้นงานทดสอบทุกๆ 3 วัน เป็นเวลา 1 เดือน/1น้ำทะเลทดสอบ ชิ้นงานที่ได้จากการเก็บจะนำไปกำจัดสนิมที่เกิดจากการทดสอบด้วยวิธีการตามมาตรฐาน ASTM G1-90 [7] เพื่อหาพื้นที่สูญเสียและอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานทดสอบ นำชิ้นงานทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน ไปทำการวิเคราะห์ด้วยตาเปล่าทั้งภายในและภายนอกรอยต่อแยก จากนั้นทำการวิเคราะห์อัตราและกลไกการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในรอยต่อแยกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดต่อไป



รูปที่ 2 ชุดทดสอบอัตราการกัดกร่อน

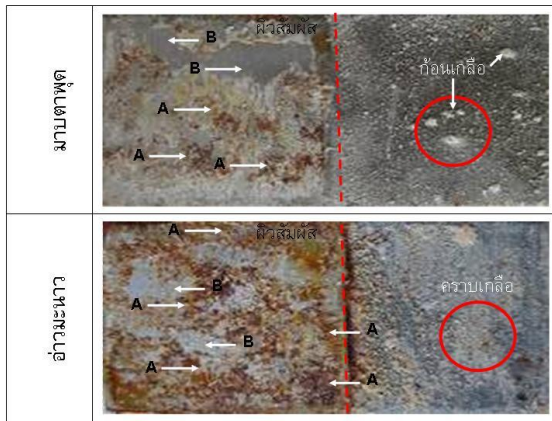
## 3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

### 3.1 อิทธิพลของน้ำทะเลมาบตาพุดและอ่าวมะนาวที่มีผลต่อการเกิดออกไซด์บนอลูมิเนียมและเหล็กกล้า

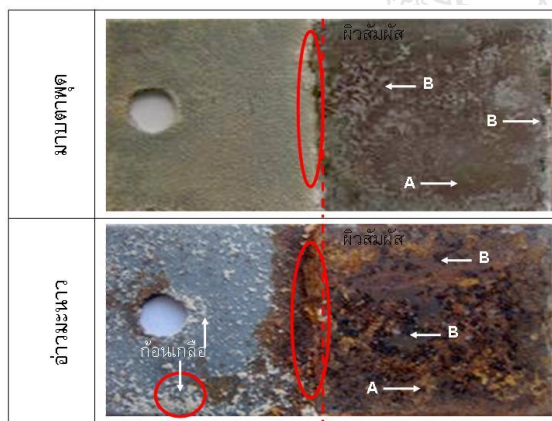
จากการทดสอบอิทธิพลของน้ำทะเลมาบตาพุดและทะเลอ่าวมะนาวพบว่าลักษณะบนพื้นผิวของชิ้นงานทดสอบมีลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งสังเกตได้จากพื้นผิวของอลูมิเนียมดังรูปที่ 3 (ก)

พบว่าบริเวณภายนอกผิวสัมผัสของน้ำทะเลมาบตาพุดที่พื้นผิวมีลักษณะเป็นสีเทาเข้มและมีก้อนเกลือสีขาวขนาดใหญ่เกาะกระจายเป็นจุดๆบนพื้นผิวอลูมิเนียม(แสดงด้วยวงกลม) ซึ่งแตกต่างออกไปจากพื้นผิวของอลูมิเนียมที่ทะเลอ่าวมะนาว พบว่าบริเวณภายนอกผิวสัมผัสมีลักษณะเป็นคราบเกลือสีขาวบนน้ำดาด

กระจายอยู่ทั่วพื้นผิวอลูมิเนียม (แสดงด้วยวงกลม) ส่วนที่บริเวณของรอยต่อของอลูมิเนียมพบว่ามีส่วนที่สังเกตเห็นที่เกิดจากเหล็กติดอยู่ตลอดแนวรอยต่อค่อนข้างหนาแน่นของน้ำทะเลทั้งสองแหล่ง ส่วนบริเวณภายในผิวสัมผัสของอลูมิเนียมที่น้ำทะเลมาพบตาพุทและทะเลอ่าวมะนาวมีลักษณะที่คล้ายกันคือ มีคราบของสนิมแดงที่หลุดออกจากเหล็กติดอยู่เป็นคราบสีน้ำตาลแดงกระจายอยู่ทั่วพื้นผิว (แสดงด้วยอักษร A) แต่ที่น้ำทะเลมาพบตาพุทมีปริมาณน้อยกว่า เนื่อง



(ก) อลูมิเนียม



(ข) เหล็กกล้า

รูปที่ 3 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน ในน้ำทะเลมาพบตาพุทและอ่าวมะนาว

จากความชื้นที่ตกค้างภายในรอยต่อของชิ้นงานที่น้ำทะเลอ่าวมะนาว จึงทำให้เกิดสนิมที่เพิ่มขึ้นน้อยกว่าหลังจากแกะชิ้นงานออกจากกัน ส่วนสนิมขาวของอลูมิเนียมมีลักษณะเป็นคราบสีขาวกระจายเป็นกลุ่มๆ ภายในบริเวณผิวสัมผัสและมีลักษณะเป็นหลุมลึกลงไป ในเนื้ออลูมิเนียม (แสดงด้วยอักษร B) เกิดจากการกัดกร่อนภายในรอยต่อของอลูมิเนียมจากการทดสอบทั้งน้ำทะเลมาพบตาพุทและอ่าวมะนาว

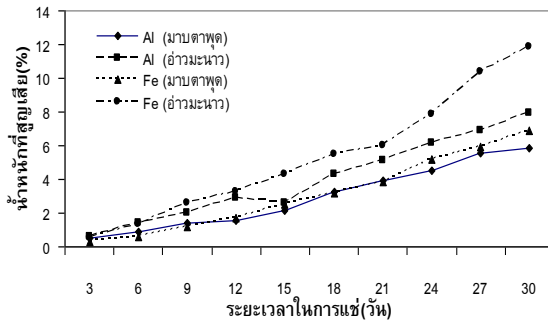
จากอิทธิพลของน้ำทะเลมาพบตาพุทและทะเลอ่าวมะนาว ส่งผลต่อพื้นผิวของเหล็ก ซึ่งมีลักษณะที่ต่างกันดังรูปที่ 3 (ข)

พบว่าบริเวณภายนอกผิวสัมผัสของเหล็ก ที่น้ำทะเลมาพบตาพุทมีลักษณะเป็นสีเทาเข้มถูกปกคลุมด้วยเม็ดเกลือค่อนข้างเล็กละเอียด สีน้ำตาลกระจายอย่างเรียบเสมอกันทั่วพื้นผิวภายนอก ซึ่งแตกต่างจากชิ้นงานที่น้ำทะเลอ่าวมะนาว พบว่าที่พื้นผิวภายนอกบริเวณผิวสัมผัสมีลักษณะเป็นก้อนเกลือขนาดใหญ่มาเกาะอย่างเห็นได้ชัด (แสดงด้วยวงกลม) และเกิดสนิมแดงมาเกาะที่ขอบของรอยต่อเป็นก้อนขนาดใหญ่ เมื่อเทียบกับน้ำทะเลมาพบตาพุทจะเป็นลักษณะของคราบเกลือขนาดใหญ่มาเกาะตลอดขอบรอยต่อ (แสดงด้วยวงรี) ส่วนบริเวณภายในผิวสัมผัสของเหล็กทั้งสองน้ำทะเลทดสอบมีลักษณะของพื้นผิวที่เหมือนกันคือมีสนิมแดงเกิดขึ้นที่ทั่วบริเวณผิวสัมผัส (แสดงด้วยอักษร A) และมีลักษณะเป็นหลุมขนาดเล็กมีสีน้ำตาลเข้มปนดำ (แสดงด้วยอักษร B) กระจายอยู่ทั่วบริเวณภายในผิวสัมผัสของรอยต่อของเหล็กที่มีน้ำทะเลทั้งสองแหล่ง เกิดจากความชื้นตกค้างภายหลังจากการจุ่มน้ำทะเลทดสอบ จึงทำให้เกิดสนิมที่เพิ่มขึ้นหลังจากการแกะชิ้นงาน

### 3.2 เปรียบเทียบน้ำหนักที่สูญเสียของอลูมิเนียมและเหล็กกล้าของน้ำทะเลมาพบตาพุทและอ่าวมะนาว

หลังจากนำวัสดุทดสอบคือ อลูมิเนียมและเหล็กกล้าที่ได้จากการทดสอบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วไปกำจัดสนิมเพื่อหาแนวโน้มของน้ำหนักที่สูญเสียดังรูปที่ 4 พบว่าอลูมิเนียมและเหล็กกล้าคาร์บอนมีการสูญเสียน้ำหนักในช่วง 3 วันแรก ใกล้เคียงกัน และเริ่มมีความแตกต่างกันในช่วงวันที่ 6 ถึงวันที่ 9 อย่างไม่เห็นได้ชัด เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างอลูมิเนียมที่แช่ในน้ำทะเลมาพบตาพุทและอ่าวมะนาวพบว่า เส้นกราฟของอลูมิเนียมที่น้ำทะเลมาพบตาพุทมีแนวโน้มในการสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างไปจากน้ำทะเลอ่าวมะนาว ซึ่งมีแนวโน้มในการสูญเสียน้ำหนักที่ลดลง ในช่วงวันที่ 15 และเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามระยะเวลาทดสอบ และมีแนวโน้มการสูญเสียน้ำหนักที่มากกว่าทะเลมาพบตาพุท ซึ่งพบว่าที่ระยะเวลา 30 วัน ของการทดสอบในน้ำทะเลมาพบตาพุทมีแนวโน้มน้ำหนักที่สูญเสียของอลูมิเนียมเท่ากับ 0.5597 และที่อ่าวมะนาวมีแนวโน้มน้ำหนักที่สูญเสียเท่ากับ 0.7435 เป็นต้น

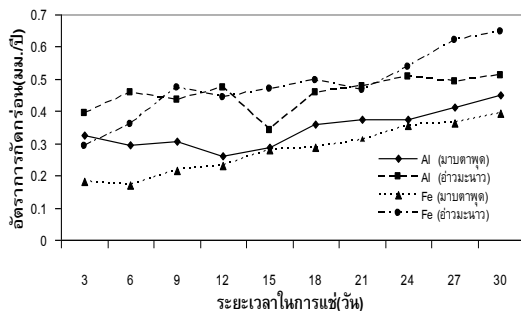
ส่วนแนวโน้มของน้ำหนักที่สูญเสียของเหล็กกล้าคาร์บอนพบว่าเส้นกราฟที่ทะเลมาพบตาพุทมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่มีการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าทะเลอ่าวมะนาว เมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสีย ซึ่งเส้นกราฟมีความชันค่อนข้างมากและมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในช่วงที่ 21 จนถึงวันที่ 30 เป็นต้น จากแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียเหล็กที่ระยะเวลา 30 วัน ในน้ำทะเลมาพบตาพุทมีค่าน้อยกว่าทะเลอ่าวมะนาว มีค่าเท่ากับ 0.6064 และ 1.0261 ตามลำดับ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการแช่และน้ำหนักที่สูญเสีย

### 3.3 เปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนของอลูมิเนียมและเหล็กกล้าของน้ำทะเลมาบตาพุดและอ่าวมะนาว

อัตราการกัดกร่อนของอลูมิเนียมและเหล็กกล้าจากการทดสอบในน้ำทะเลมาบตาพุดและอ่าวมะนาว ดังรูปที่ 5 พบว่าในช่วงที่ 3 วันแรกมีอัตราการกัดกร่อนมากน้อยต่างกันเมื่อสังเกตจากจุดบนเส้นกราฟ ซึ่งอัตราการกัดกร่อนของอลูมิเนียมในน้ำทะเลทั้งสองแหล่งมีลักษณะของเส้นกราฟขึ้นลงอย่างไม่สม่ำเสมอในช่วง 3 วันถึง 15 วัน ที่ทะเลมาบตาพุด เส้นกราฟมีการลดลงอย่างต่อเนื่องและค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ในช่วงระยะเวลาวันที่ 18 ถึงวันที่ 30 ส่วนอัตราการกัดกร่อนของอลูมิเนียมที่ทะเลอ่าวมะนาวลักษณะของเส้นกราฟสลับขึ้นลงคล้ายฟันปลาในช่วงวันที่ 15 และเริ่มสูงขึ้นอีกครั้งอย่างต่อเนื่อง ในช่วงหลังของระยะเวลาการทดสอบ อัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลมาบตาพุดของอลูมิเนียมที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่าเท่ากับ 0.312 มม./ปี ที่อ่าวมะนาวมีค่าเท่ากับ 0.509 มม./ปี แสดงให้เห็นว่าที่อ่าวมะนาวมีการกัดกร่อนของอลูมิเนียมมากกว่าทะเลมาบตาพุด



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการแช่และอัตราการกัดกร่อน

ส่วนอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าที่น้ำทะเลมาบตาพุดและอ่าวมะนาวพบว่าเส้นกราฟการกัดกร่อนที่น้ำทะเลมาบตาพุดมีลักษณะค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีความชันของเส้นกราฟค่อนข้าง

คงที่ ตั้งแต่ช่วงแรกจนไปถึงวันสุดท้ายของระยะทดสอบ ส่วนที่ทะเลอ่าวมะนาวเส้นกราฟมีความชันค่อนข้างมากในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 9 และขึ้นลงเล็กน้อย ในวันที่ 12 ถึงวันที่ 21 จากนั้นเริ่มสูงขึ้นไปจนถึงวันที่ 30 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในน้ำทะเลมาบตาพุดที่ระยะเวลา 30 วัน เท่ากับ 0.376 มม./ปี มีค่าน้อยกว่าอัตราการกัดกร่อนในน้ำทะเลอ่าวมะนาวซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.646 มม./ปี แสดงให้เห็นว่าอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในน้ำทะเลอ่าวมะนาวมีค่ามากกว่ามาบตาพุด

### 3.4 ผลการวิเคราะห์ออลูมิเนียมและเหล็กกล้าด้วย SEM ที่น้ำทะเลมาบตาพุดและอ่าวมะนาว

จากการทดสอบในน้ำทะเลมาบตาพุด บริเวณผิวสัมผัสเกิดสนิมปกคลุมทั่วบริเวณทั้งแผ่น ซึ่งลักษณะของสนิมที่เกิดขึ้นมีขนาดเป็นตุ่มกลมมนเล็กใหญ่สลับกันตามการก่อตัวของออกไซด์ ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างจากส่วนที่อยู่ในบริเวณผิวสัมผัสกับอลูมิเนียมดังรูปที่ 6 (ค) (แสดงด้วยวงกลม) พบว่ามีลักษณะเป็นคราบขนาดใหญ่และมีผิวขรุขระเป็นหลุม สนิมที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นสีเข้มเนื่องจากเกิดจากการกัดกร่อนที่เกิดลึกเข้าไปในเนื้อของเหล็กทั่วทั้งบริเวณผิวสัมผัสของแผ่นเหล็กมากกว่าบริเวณภายนอกที่บริเวณผิวของอลูมิเนียมทั้งภายในและภายนอกผิวสัมผัสมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ค่าเท่ากับ 0.646 มม./ปี แสดงให้เห็นว่าอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในน้ำทะเลอ่าวมะนาวมีค่ามากกว่าทะเลมาบตาพุด

จากรูปที่ 6 (ง) พบว่าบริเวณผิวสัมผัสภายในรอยต่อเกยจะมีลักษณะเป็นคราบสีเทาอ่อนแสดงถึงเนื้ออลูมิเนียมที่สูญเสียไปจากการกัดกร่อนสลับกับคราบสีดำซึ่งเป็นคราบสนิมของเหล็กที่ติดมากับบริเวณผิวสัมผัส และมีคราบเกลือซึ่งมีลักษณะเป็นจุดสีขาวกระจายอย่างเบาบางทั่วผิวสัมผัส (แสดงด้วยลูกศรในสี่เหลี่ยม) ส่วนบริเวณภายนอกผิวสัมผัสจะมีเกลือเป็นก้อนสีขาวทั้งขนาดเล็กและใหญ่เกาะกระจายอยู่ทั่วบริเวณผิวของอลูมิเนียม ดังรูปที่ 6 (จ) ส่วนที่ผิวของอลูมิเนียมเองมีลักษณะเป็นสีเทาเข้มซึ่งเป็นสนิมของอลูมิเนียมที่มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์ม และที่พื้นผิวของอลูมิเนียมถูกปกคลุมด้วยเม็ดเกลือเกาะกระจายอยู่ทั่วผิวนอกของอลูมิเนียม

เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างของสนิมที่เกิดขึ้นบริเวณภายในผิวสัมผัสของเหล็กที่ทดสอบในน้ำทะเลอ่าวมะนาว ดังรูปที่ 7 (ก) (ข) และ (ค) บริเวณภายนอกผิวสัมผัสพบว่ามีลักษณะของสนิมที่เกิดขึ้นเป็นก้อนขนาดใหญ่ในบางจุด ส่วนบริเวณภายในผิวสัมผัสสนิมมีลักษณะเป็นแนวขนยาวเป็นขดม้วน (แสดงด้วยอักษร A และ B ในวงกลม) เนื่องจากบริเวณภายในผิวสัมผัสเกิดสนิมหลังจากนำชิ้นงานทดสอบขึ้นจากน้ำทดสอบเรียบร้อยแล้ว จึงทำให้เกิดสนิมเพิ่มขึ้นจากเดิม ลักษณะของสนิมที่เกิดขึ้นในรอยต่อเกยของอลูมิเนียมจากการทดสอบในน้ำทะเลอ่าวมะนาว ดังรูปที่ 7 (ง) พบว่าบริเวณที่พื้นผิวที่สีเทาอ่อนและสีเทาเข้มเป็นลักษณะคล้ายแผ่นฟิล์มที่มาปกคลุมผิวของอลูมิเนียม (แสดงด้วยอักษร A และ B ในวงกลม) ส่วนพื้นที่สีขาวเป็นเนื้อที่เกิดจากการหลุดของอลูมิเนียมมีลักษณะเป็นหลุมลึก ซึ่งเกิดจากการกัดกร่อนภายใน

บริเวณผิวสัมผัส (แสดงด้วยอักษร C) เมื่อเทียบกับรูปที่ 9 (จ) พบว่าพื้นที่ผิวภายนอกของอลูมิเนียมมีสีดำแสดงถึงผิวที่ถูกปกคลุมด้วยฟิล์มของอลูมิเนียมและมีเกลือสีขาวเกาะอยู่ทั่วพื้นผิวภายนอกของอลูมิเนียม (แสดงด้วยอักษร D และ E) นั้นแสดงว่าบริเวณภายนอกรอยต่อของอลูมิเนียมที่น้ำทะเลอ่าวมะนาวมีปริมาณเกลือมากกว่าน้ำทะเลมาบตาพุด

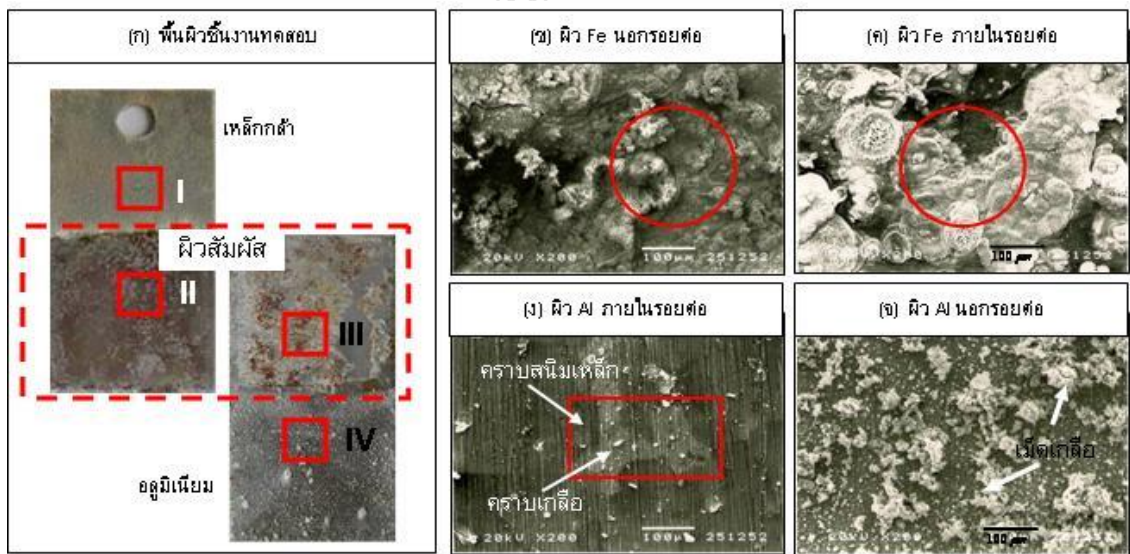
### 3.5 เปรียบเทียบปริมาณธาตุ O, Al และ Fe จากการทดสอบ SEM ในพื้นผิวของอลูมิเนียมและเหล็กกล้า

จากการทดสอบ SEM เพื่อตรวจสอบปริมาณธาตุเดี่ยวในพื้นที่ผิวภายในผิวสัมผัสของอลูมิเนียมและเหล็กกล้าจากการทดสอบที่น้ำทะเลมาบตาพุดและอ่าวมะนาวที่มีผลต่อการเกิดสนิม และเกิดการกัดกร่อนในวัสดุทดสอบทั้งสองชนิดโดยเฉพาะธาตุ O Al และ

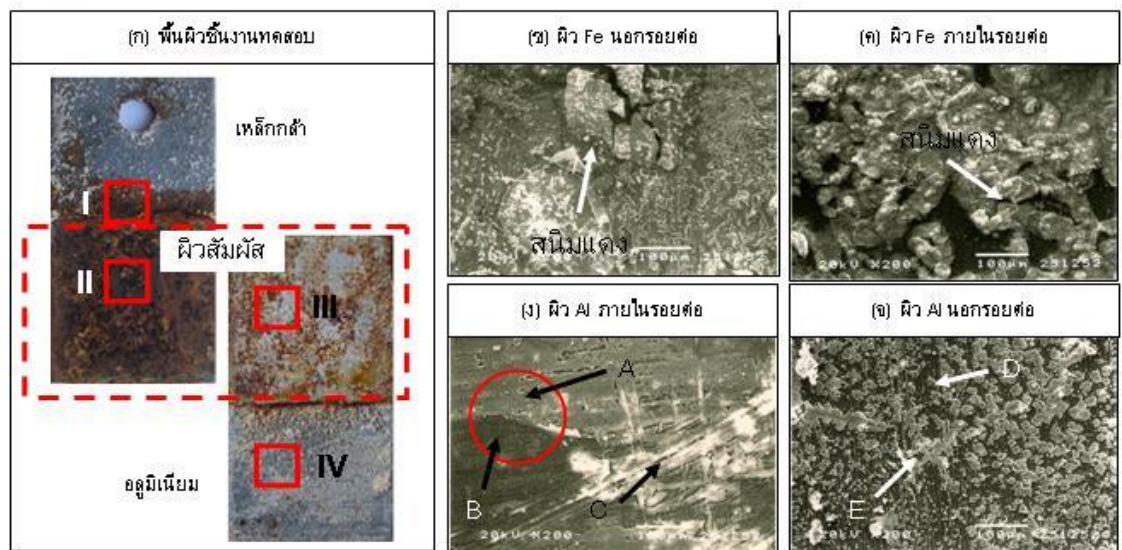
ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีภายในรอยต่อของชิ้นงานทดสอบในรูปที่ 6 และ 7

วัสดุทดสอบ	ปริมาณธาตุ (%)		
	O	Al	Fe
อลูมิเนียม (มาบตาพุด)	42.68	57.02	0.30
อลูมิเนียม (อ่าวมะนาว)	70.70	29.13	0.17
เหล็กกล้า (มาบตาพุด)	79.09	0.79	20.12
เหล็กกล้า (อ่าวมะนาว)	79.89	1.54	18.57

Fe ที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีหรือเรียกว่าเกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนภายในรอยต่อจึงทำให้เกิดสนิมขึ้นภายในผิวสัมผัสและทำให้พบธาตุ O ในปริมาณที่มากกว่าธาตุอื่น และเป็นตัวทำปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนขึ้น ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ให้เห็นถึง



รูปที่ 6 รูปถ่าย SEM พื้นผิวของอลูมิเนียมและเหล็กกล้า ของน้ำทะเลมาบตาพุดที่ระยะเวลา 30 วัน



รูปที่ 7 รูปถ่าย SEM พื้นผิวของอลูมิเนียมและเหล็กกล้า ของน้ำทะเลอ่าวมะนาวที่ระยะเวลา 30 วัน



ปริมาณสนิมที่เกิดขึ้นมากน้อยภายในผิวสัมผัสรอยต่อทั้งของอลูมิเนียมและเหล็กกล้าที่ได้จากการทดสอบในน้ำทะเลมาบตาพุด และอ่าวมะนาว สรุปปริมาณธาตุสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดการกัดกร่อนได้ดังตารางที่ 1

#### 4. สรุป

การกัดกร่อนในแต่ละน้ำทะเลมากน้อยต่างกันขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของธาตุโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ผสมอยู่ในน้ำทะเลแต่ละแหล่งนั้นไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดการกัดกร่อน ซึ่งสรุปผลจากการทดลองในน้ำทะเลทั้งสองแหล่งได้ดังนี้

1. แนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของอลูมิเนียมในน้ำทะเลอ่าวมะนาวมากกว่าทะเลมาบตาพุดอยู่ที่ 0.1838
2. แนวโน้มของเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่สูญเสียไปของเหล็กกล้าในน้ำทะเลอ่าวมะนาวมากกว่าทะเลมาบตาพุดอยู่ที่ 0.4197
3. อัตราการกัดกร่อนของอลูมิเนียมในน้ำทะเลอ่าวมะนาวที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่ามากกว่าทะเลมาบตาพุดอยู่ที่ 0.117 มม./ปี
4. อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในน้ำทะเลอ่าวมะนาวที่ระยะเวลา 30 วัน มีค่ามากกว่าทะเลมาบตาพุดอยู่ที่ 0.273 มม./ปี

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://th.wikipedia.org/wiki/>. 14 กรกฎาคม 2551.
- [2] <http://emerald.mtwc.or.th/th/research/famd/center/genorro.html>. 14 กรกฎาคม 2551.
- [3] กัญญา ตะกุลจุ. 2534. เทคโนโลยีการกัดกร่อน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : เอ็กเพรส มีเดีย.
- [4] Brathod, T.A. and Kutsuna, M. 2004. Joining Techniques for Aluminum Spaceframes used in automobiles Part I- solid and Liquid Phase Welding. J. of Mater. Proc. Tech. 99:62-71
- [5] Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. Standard Method G31-72. Annual Book of ASTM Standards.
- [6] Standard Practice for Preparing Cleaning and Evaluation Corrosion Test Specimens. Standard Method G1-90. Annual Book of ASTM Standards
- [7] Standard Practice for Preparing Cleaning and Evaluation Corrosion Test Specimens. Standard Method G1-88. Annual Book of ASTM Standards

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายณฤพนธ์ จันทร์ขาว
วัน เดือน ปีเกิด	16 พฤศจิกายน 2522
ที่อยู่	99/69 ถ.ปทุมสามโคก ต.บางปรอก อ.เมือง จ.ปทุมธานี 12000
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อ พ.ศ.2546
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ.2547 – 2550	- บริษัท ไทยมิตชูวา จำกัด (มหาชน)
พ.ศ.2550 – ปัจจุบัน	- บริษัท โพลีคอน โพลีพลัส เอ็นจิเนียริง จำกัด
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่	

ณฤพนธ์ จันทร์ขาวและ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, การเปรียบเทียบอัตราการกัดกร่อนรอยต่อเกลออลูมิเนียม AA1100 และเหล็กกล้า AISI1015. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 8 (PEC-8) วันที่ 22-23 เมษายน 2553 ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.