

การศึกษาอัตราการกัดกร่อนของรอยเชื่อมทิกที่ต่อชนระหว่างท่อ
เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L

THE STUDY OF CORROSION RATE OF TIG WELDING BUTT
JOINTS BETWEEN STAINLESS STEEL TUBES AISI304 AND AISI316L

ภัทรพร มั่นกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การศึกษาอัตราการกัดกร่อนของรอยเชื่อมทิกที่ต่อชนระหว่างท่อ
เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L



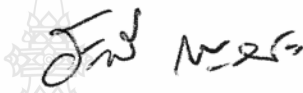
ภัทรพร มั่นกิจ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการผลิต
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

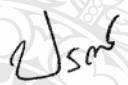
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาอัตราการกัดกร่อนของรอยเชื่อมทิกทอต่อชนระหว่างท่อเหล็กกล้า
ไร้สนิม AISI304 และ AISI316L
The Study of Corrosion Rate of TIG Welding Butt Joints between
Stainless Steel Tubes AISI304 and AISI316L


ชื่อ - นามสกุล ว่าที่ร้อยตรีหญิงภัทรพร มั่นกิจ
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรมและการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา 2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

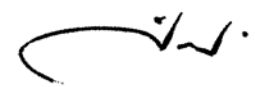

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระพี กาญจนะ, D.Eng.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พิชัย จันทรมณี, Ph.D.)


..... กรรมการ
(อาจารย์ปรกข สิริสุวัฒน์, Ph.D.)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 12 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาอัตราการกัดกร่อนของรอยเชื่อมทิกท่อต่อชนระหว่างท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L
ชื่อ-นามสกุล	ว่าที่ร้อยตรีหญิงภัทรพร มั่นกิจ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, Ph.D.
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L เป็นโลหะสำคัญที่มีความเหมาะสมในการใช้งานอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร เนื่องจากสมบัติความต้านทานการกัดกร่อน อย่างไรก็ตามการใช้งานรอยต่อที่ผ่านการเชื่อมในงานอุตสาหกรรมการผลิตอาหารอาจเป็นคำถามที่มีการศึกษาถึงผลกระทบที่สามารถทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของรอยต่อเมื่อมีการใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตอาหาร งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเชื่อมท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L ในสารละลายที่กำหนดด้วยวิธีการจุ่มและไฟฟ้าเคมี

ท่อไร้ตะเข็บเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L ที่มีขนาดความยาว 60 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 60.3 มม. และความหนาผนังท่อ 2.8 มม. ถูกกำหนดให้ใช้เป็นวัสดุฐานในการทดลองนี้ ชิ้นทดสอบของท่อทั้งสองถูกทำการเชื่อมด้วยตัวแปรการเชื่อมที่กำหนดและทำการเตรียมชิ้นทดสอบเพื่อการทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนแบบจุ่มและวิธีไฟฟ้าเคมีในสารละลาย 3 ชนิด สภาวะการทดสอบการกัดกร่อนประกอบด้วยระยะเวลาการทดสอบ และรูปแบบของสารละลาย หลังจากทำการทดสอบการกัดกร่อน พื้นผิวที่ผ่านการทดสอบถูกทำการศึกษาเพื่อหาคุณลักษณะของพื้นผิวและอัตราการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบ

ผลการทดลองสามารถสรุปมีดังนี้ ผลการจุ่มทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน แสดงอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเชื่อมสูงสุดเมื่อทำการจุ่มทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5% และมีค่าสูงกว่าน้ำสัปรดและน้ำส้มเท่ากับ 16 และ 27% ตามลำดับ การตรวจสอบพื้นผิวชิ้นทดสอบการจุ่ม พบว่าพื้นที่ที่กระแทกร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 เกิดการกัดกร่อนมากกว่าโลหะเชื่อม และพื้นที่ที่กระแทกร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้การใช้รอยเชื่อมทิกต่อชนเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิดกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5% จึงต้องระมัดระวังเป็นพิเศษ ผลการทดสอบลักษณะเดียวกันกับการทดสอบแบบจุ่มสามารถพบได้เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์การกัดกร่อนในเทคนิคไฟฟ้าเคมี รอยต่อเชื่อมทิกที่ใช้เทคนิคไฟฟ้าเคมีแสดงการกัดกร่อนสูงสุดที่พื้นที่กระแทกร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และแสดงการกัดกร่อนต่ำสุดที่เหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L

คำสำคัญ : รอยเชื่อมต่อชน การกัดกร่อน สารละลาย เหล็กกล้าไร้สนิม

Thesis Title	The Study of Corrosion Rate of TIG Welding Butt Joints between Stainless Steel Tubes AISI304 and AISI 316L
Name – Surname	Acting Sub Lt. Parthraporn Mankit
Program	Industrial and Manufacturing Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Kittipong Kimapong, Ph.D.
Academic Year	2019

ABSTRACT

The stainless steels AISI304 and AISI316L are important metal and optimized for applying in a food industry, because of their corrosion resistance property. However, an application of the welded joints of these metals in the food industry is still questionable and is required to study for the impacts which could deteriorate the joints that and used in food industry. This research aims to study a corrosion rate of TIG welding butt joints between stainless steel tubes AISI304 and AISI316L in specified solutions using immersion and electrochemical techniques.

Seamless stainless steel tubes of AISI304 and AISI316L, with 60 millimeters long, 60.3 millimeters outside diameter, and 2.8 millimeters tube wall thickness were determined to be base material for this study. Both types of stainless steel tube were welded using a specified welding process parameter, and then mechanically prepared to be tested on corrosion resistance by immersion, and electrochemical test in three types of solutions. The conditions of corrosion testing consist of test duration and solution type. After corrosion test, the tested surface was systematically investigated for surface characteristics and corrosion rate.

The results of the experiment were summarized as follows. Immersion test results for 30 days showed that the corrosion rate of the welding joints was highest when the joints were immersed in 3.5% sodium chloride solution and was higher than pineapple and orange juice 16 and 27%, respectively. Surface inspection of immersion test specimen was found that the heat affected zone (HAZ) of stainless steel AISI304 was more corrosive than welding metal, and the HAZ of stainless steel AISI316L, respectively. Therefore, the precautions must be taken when using TIG welding butt joint to difference stainless steel with 3.5% sodium chloride solution. The similar results to the immersion test were found when measuring the current and the corrosion potential in the electrochemical technique were investigated. The TIG welding joint using the electrochemical technique showed the highest corrosion at the HAZ of stainless steel AISI304, and the lowest corrosion at stainless steel AISI316L.

Keywords: welding butt joint, corrosion rate, solution, stainless steel

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ไปด้วยความอนุเคราะห์และความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติพงษ์ กิมะพงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิดในการทำงาน การเขียนและการแก้ปัญหาอันเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ ให้งานสำเร็จตามวัตถุประสงค์ และต้องขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพี กาญจนะ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.ปรกช สิริสุวัฒน์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย จันทรมณี ผู้ทรงคุณวุฒิที่ให้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่อง เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มทร.ธัญบุรีที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการทดสอบ สำหรับศึกษาวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจไม่มากนักน้อย หากมีอะไรขาดตกบกพร่อง หรือไม่สมบูรณ์ประการใด ขอกราบขอภัยไว้ ณ โอกาสนี้

ภัทรพร มั่นกิจ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
บทที่ 1 บทนำ.....	15
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	15
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	17
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	18
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	18
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม.....	20
2.2 การกัดกร่อน.....	22
2.3 น้ำผลไม้.....	37
2.4 สารละลายโซเดียมคลอไรด์.....	39
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อนของวัสดุ.....	40
2.6 การประเมินผลพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะจากเส้นโค้งโพลาไรเซชัน.....	41
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	48
3.1 แผนการดำเนินงาน.....	49
3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	50
3.3 การทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่ม.....	53
3.4 การทดสอบการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L และรอยต่อชน เชื่อม.....	59
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	64
4.1 การทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่ม.....	64

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้า	97
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	102
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	102
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	102
บรรณานุกรม.....	103
ภาคผนวก.....	106
ภาคผนวก ก.....	107
ภาคผนวก ข.....	110
ประวัติผู้เขียน	113



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 มาตรฐานเหล็ก AISI	22
ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L	50



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ผลไม้และน้ำผลไม้ทั่วไป	16
รูปที่ 1.2 ส่วนของท่อส่งน้ำผลไม้เข้าสู่กระบวนการผลิต.....	17
รูปที่ 1.3 ส่วนของท่อส่งน้ำผลไม้ที่ต้องเชื่อมต่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด	17
รูปที่ 2.1 ธาตุในเหล็กกล้าไร้สนิม	21
รูปที่ 2.2 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	23
รูปที่ 2.3 ภาพการกัดกร่อนแบบที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอทั่วผิวหน้า	24
รูปที่ 2.4 การกัดกร่อนแบบกัลป์วานิก.....	25
รูปที่ 2.5 การกัดกร่อนในที่อับ.....	27
รูปที่ 2.6 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม.....	28
รูปที่ 2.7 การสูญเสียส่วนผสมบางตัว	29
รูปที่ 2.8 การกัดกร่อน – สีกกร่อน.....	30
รูปที่ 2.9 การกัดกร่อนแบบใต้ชั้นเคลือบ	35
รูปที่ 2.10 เซลล์เคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อน	42
รูปที่ 2.11 เส้นโค้งโพลาริเซชันสำหรับการกัดกร่อน แบบทั่วผิวหน้าของโลหะ (ASTM G 3).....	43
รูปที่ 2.12 เส้นโค้งโพลาริเซชันสำหรับการกัดกร่อนที่เกิดฟิล์มพาสซีฟ (Passive film) คลุมทั่ว ผิวหน้าโลหะ (ASTM G 3)	43
รูปที่ 2.13 เส้นโค้งโพลาริเซชัน (Polarization curve) ของการกัดกร่อนของแผ่นอะลูมิเนียมใน สารละลายกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, 1N H ₂ SO ₄) และอัตราการกัดกร่อนของ อะลูมิเนียม.....	45
รูปที่ 2.14 เส้นโค้งโพลาริเซชัน (Polarization curve) ของการกัดกร่อนของแผ่นสแตนเลส ใน สารละลายโซเดียมคลอไรด์ (5% NaCl) ที่เกิดฟิล์มพาสซีฟ (Passive film)	46
รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	49
รูปที่ 3.2 ขนาดของชิ้นงานแบบไม่เชื่อม	50
รูปที่ 3.3 ขนาดวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L.....	51
รูปที่ 3.4 การตัดชิ้นงาน	51
รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ	52
รูปที่ 3.6 ขนาดวัสดุตัวอย่างที่มีรอยเชื่อม (หน่วย: มิลลิเมตร).....	53

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.7 ชิ้นงานที่ผ่านการขัดแบบจานหมุนใช้กระดาษทราย.....	53
รูปที่ 3.8 ชุดทดสอบการกัดกร่อน	54
รูปที่ 3.9 แบบตู้ทดสอบการกัดกร่อน	55
รูปที่ 3.10 ชุดทดสอบการกัดกร่อนทดลองขึ้นมาเอง	56
รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการนำชิ้นงานไปทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่ม	57
รูปที่ 3.12 การกำจัดออกไซด์ด้วยเครื่องอัลตราโซนิค	58
รูปที่ 3.13 ขนาดวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และ ชิ้นงานแนวเชื่อม	59
รูปที่ 3.14 ขนาดวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และ ชิ้นงานแนวเชื่อม	60
รูปที่ 3.15 ชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L เคลือบซิลิโคน ต่อ สายไฟ.....	60
รูปที่ 3.16 ชิ้นงานที่มีรอยต่อชนเชื่อม เคลือบซิลิโคน และต่อสายไฟ ก่อนนำไปทำการทดสอบ	61
รูปที่ 3.17 การติดตั้งตัวอย่างชิ้นงานในการทดสอบ	62
รูปที่ 3.18 ทดสอบชิ้นงาน	62
รูปที่ 4.1 ชิ้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่ได้จากการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ.....	64
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ	65
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ	66
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ	66
รูปที่ 4.5 ชิ้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่ได้จากการทดลองในสารละลายน้ำส้ม	67
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม	68
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม.....	69

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำสัปเปอร์ด	81
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำสัปเปอร์ด	82
รูปที่ 4.25 ชั้นทดสอบรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือ	83
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังการทดลองหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองสารละลายน้ำเกลือ	84
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ	87
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ	86
รูปที่ 4.29 ชั้นทดสอบรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำส้ม	87
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังการทดลองหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองสารละลายน้ำส้ม	88
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม	89
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองสารละลายน้ำส้ม	90

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.33	ชั้นทดสอบรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำสั้ปะรด.....	91
รูปที่ 4.34	ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังการทดลองหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงาน รอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และ ระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำสั้ปะรด	91
รูปที่ 4.35	ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อม ทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองใน สารละลายน้ำสั้ปะรด	92
รูปที่ 4.36	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงาน ระหว่างเหล็กกล้า ทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองใน สารละลายน้ำสั้ปะรด	93
รูปที่ 4.37	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงาน ระหว่างเหล็กกล้า ไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสั้ปะรด	94
รูปที่ 4.38	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงาน ระหว่างเหล็กกล้า ไร้สนิม AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสั้ปะรด	95
รูปที่ 4.39	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อม ทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองใน สารละลายน้ำเกลือ น้ำส้มและน้ำสั้ปะรด	96
รูปที่ 4.40	เส้นโค้งโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่ได้จากการทดลองในสารละลาย 3.5% NaCl อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	97
รูปที่ 4.41	เส้นโค้งโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ที่ได้จากการทดลองในสารละลาย 3.5% NaCl อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	98
รูปที่ 4.42	เส้นโค้งโพลาไรเซชันของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ที่ได้จากการทดลองในสารละลาย 3.5% NaCl อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	99
รูปที่ 4.43	เส้นโค้งโพลาไรเซชันของรอยเชื่อม (เชื่อมอาร์กทั้งสแตน) ด้านนอกที่ได้จากการทดลองใน สารละลาย 3.5% NaCl อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส.....	100

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.44 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกักความร้อนของวัสดุชิ้นงานทดสอบทั้ง 4 ชิ้นงานทดสอบ.....	100
รูปที่ 4.45 กราฟแสดงการเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าการกักความร้อนของวัสดุชิ้นงานทดสอบทั้ง 4 ชิ้นงานทดสอบ	101
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการกักความร้อนของวัสดุชิ้นงานทดสอบทั้ง 4 ชิ้นงานทดสอบ	102



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

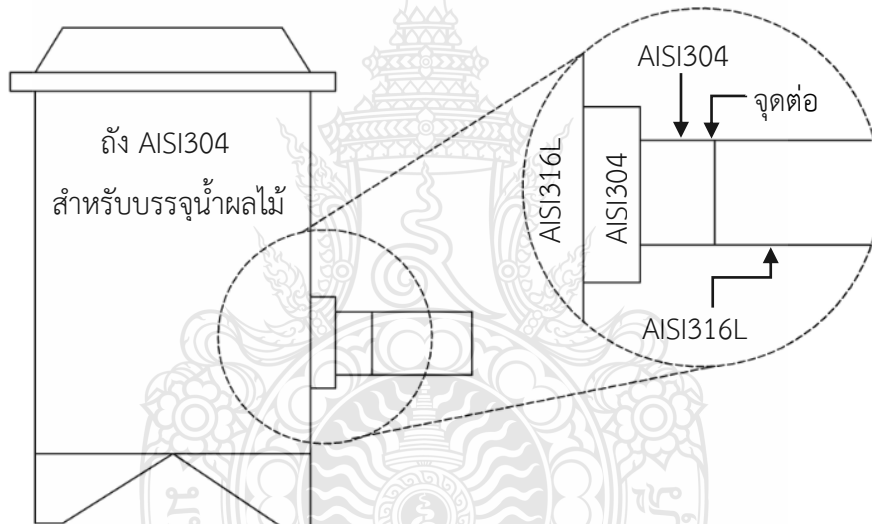
ความนิยมในการรักษาสุขภาพของประชาชนในปัจจุบันส่งผลทำให้การบริโภคเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากการบริโภคเนื้อสัตว์เป็นการบริโภคผักและผลไม้เพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้การเพิ่มผลผลิตในการเพาะปลูกผักและผลไม้เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภคจึงเป็นหัวข้อสำคัญที่มีการกล่าวถึงเพื่อความต้องการผลักดันการเกษตรไทยเพื่อเข้าสู่การเป็นศูนย์กลางและการกระจายอาหารของประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC Food Production and Processing Hub) [1] ตามยุทธศาสตร์การวิจัยรายประเด็นด้านอาหารและความมั่นคงของประเทศ อย่างไรก็ตามเมื่อถึงฤดูกาลในการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้ ปัญหาที่มักเกิดขึ้นในการจำหน่ายผักและผลไม้ คือ ปริมาณของผักและผลไม้ที่มีปริมาณสูงเกินความต้องการและส่งผลทำให้ราคาขายผักและผลไม้ตกต่ำลง [2] ด้วยเหตุนี้การแปรรูปสินค้าเกษตร เช่น ผลไม้เป็นน้ำผลไม้ จึงเป็นหัวข้อที่มีการให้ความสำคัญมากขึ้นเพื่อเป็นการยืดระยะเวลาในการจัดเก็บผลไม้ไว้บริโภคนานขึ้น การผลิตน้ำผลไม้เป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยเสริมให้ประเทศเข้าสู่การเป็นศูนย์กลางและการกระจายอาหารของประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนได้ ดังเห็นได้จากมูลค่าการส่งออกและบริโภคน้ำผลไม้ภายในประเทศที่มีมูลค่าประมาณ 1.3 หมื่นล้านบาท และมีอัตราการเติบโตประมาณร้อยละ 9 ต่อปี [3]



รูปที่ 1.1 ผลไม้และน้ำผลไม้ทั่วไป [4]



รูปที่ 1.2 ส่วนของท่อส่งน้ำผลไม้เข้าสู่กระบวนการผลิต



รูปที่ 1.3 ส่วนของท่อส่งน้ำผลไม้ที่ต้องเชื่อมต่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด

ในกระบวนการผลิตน้ำผลไม้ เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นวัสดุสำคัญในการผลิตเครื่องมือ อุปกรณ์และเครื่องจักรดังรูปที่ 1.2 ในอดีตเมื่อเริ่มทำการผลิตน้ำผลไม้ เหล็กกล้าไร้สนิม 304 อาจเป็นเหล็กกล้าที่มีความสำคัญในการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ เนื่องจากเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีความสามารถในการเชื่อม (Weldability) สูง และมีความสามารถขึ้นรูป (Formability) เป็นรูปร่างต่าง ๆ เช่น ถังบรรจุได้ดี [4] อย่างไรก็ตามเมื่อการผลิตน้ำผลไม้มีความจำเป็นต้องอยู่ภายใต้หลักเกณฑ์ข้อกำหนดขั้นพื้นฐานที่จำเป็นในการผลิตและควบคุม (Good Manufacturing Practice: GMP) [5] ท่อในการส่งถ่ายน้ำผลไม้จำเป็นต้องใช้เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 316L ซึ่งเป็นเกรดที่ทนอุณหภูมิสูงและต่ำได้ดีกว่า และเป็นเกรดที่ถูกแนะนำให้ใช้เป็นพื้นผิวสัมผัสกับ

อาหาร (Food Contact Surface) ใช้ในการผลิตวัสดุและอุปกรณ์ในการสัมผัสน้ำผลไม้ได้ดีกว่าเกรด 304 [6] การนำเอาโลหะทั้งสองประกอบเป็นเครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิตน้ำผลไม้ จำเป็นต้องมีการเชื่อมยึดเข้าด้วยกันเพื่อให้ น้ำผลไม้ไหลผ่านและไม่เกิดการรั่วซึมดังรูปที่ 1.3 อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเมื่อช่างเชื่อมในโรงงานผลิตน้ำผลไม้ได้ทำการเชื่อมรอยต่อนี้และนำไปใช้งานแล้วสักระยะหนึ่ง บริเวณรอยต่อมักเกิดการรั่วซึมเนื่องจากความต้านทานการกัดกร่อน (Corrosion Resistance) และสมบัติทางกลที่ลดลงเนื่องจากความร้อนในการเชื่อมหลอมละลาย ด้วยเหตุนี้การศึกษาพฤติกรรมเกิดการกัดกร่อน ระยะเวลาในการเกิดการกัดกร่อน และวิธีป้องกันการกัดกร่อน ควรมีการพิจารณาและศึกษาเพื่อเตรียมข้อมูลในการประยุกต์ใช้ในระบบส่งถ่ายน้ำผลไม้ เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดการเสื่อมสภาพของรอยต่อและโลหะฐานที่ส่งถ่ายน้ำผลไม้ต่อไป

เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นโลหะที่มีความต้านทานการกัดกร่อนเมื่อถูกใช้ในสภาวะทั่วไปอย่างดีเยี่ยมเนื่องจากปริมาณโครเมียมที่รวมตัวอยู่ในเหล็กก่อให้เกิดฟิล์มโครเมียมออกไซด์บางเคลือบบนผิวเหล็กและป้องกันไม่ให้เหล็กทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในสิ่งแวดล้อมที่สัมผัส [7] อย่างไรก็ตามเมื่อนำเหล็กกล้าไร้สนิมไปใช้ในบรรยากาศของเกลืออัลคาไลน์ หรือบรรยากาศเกลือคลอไรด์ อาจส่งผลทำให้ความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนมีค่าลดลงได้ [8] นอกจากนี้ความสามารถต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมนี้อาจลดลงได้เมื่อโครงสร้างจุลภาคของโลหะฐานถูกให้ความร้อนจนหลอมละลายและแข็งตัวอีกครั้งด้วยกระบวนการเชื่อมหลอมละลาย (Fusion Welding) ความร้อนในการเชื่อมส่งผลทำให้โครเมียมออกไซด์ในเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ และส่งผลทำให้เหล็กถูกแยกตัวออกมาเป็นอิสระและพร้อมในการทำปฏิกิริยากับออกไซด์หรือการกัดกร่อน [9] โดยทั่วไปในการทดสอบการกัดกร่อนของรอยต่องานเชื่อมมักเกิดการกัดกร่อนแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ บริเวณโลหะเชื่อม และพื้นที่ที่กระทบร้อน ในกรณีของการเชื่อมรอยต่อเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดเดียว [10]

ข้อมูลการวิจัยด้านบนพบว่าการทดสอบความต้านทานการกัดกร่อนของรอยเชื่อม ต่อชนต่อระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L ไม่ได้มีรายงานไว้ และการทดสอบส่วนใหญ่เป็นการทดสอบในสารละลายมาตรฐานเท่านั้น หากมีการรายงานผลการทดสอบการกัดกร่อนของรอยต่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิดนี้ในน้ำผลไม้ที่กำหนดมีการศึกษาอาจเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้งานในงานอุตสาหกรรม การผลิตน้ำผลไม้ได้ โครงการวิจัยนี้จึงมีกรอบแนวคิดในการศึกษาความต้านทานการกัดกร่อนของรอยเชื่อมต่อชนต่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L โดยหาตำแหน่งของชิ้นงานรอยต่อว่าตำแหน่งใดมีอัตราการกัดกร่อนสูงสุด เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อชนเชื่อมที่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสัปปะรด ด้วยวิธีการจุ่มและวิธีการทางเคมีไฟฟ้า

1.3 ขอบเขต

- 1.3.1 รอยต่อเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสคลุม (Gas tungsten arc welding: GTAW) หรือการเชื่อมทิก (Tungsten inert gas: TIG) ในการเชื่อมชิ้นงานทดลอง
- 1.3.2 รอยต่อชนเชื่อมทิกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L
- 1.3.3 การเชื่อมเดินแนวรอบท่อโดยท่อถูกยึดอยู่กับที่ และหัวเชื่อมเคลื่อนที่จากตำแหน่ง 1G (ท่าราบ) ตามเส้นรอบวง และสิ้นสุดที่จุดเริ่มต้น
- 1.3.4 ตัวแปรการทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่ม
 - 1.3.4.1 ภาชนะทดสอบแบบจุ่มปิด
 - 1.3.4.2 อุณหภูมิทดสอบ : 45 °C
 - 1.3.4.3 ชนิดสารละลาย : เกลือ 3.5%
 - 1.3.4.4 ชนิดน้ำผลไม้ : น้ำส้ม ค่า pH = 0.9 , น้ำสัปปะรด ค่า pH = 1.8
 - 1.3.4.5 ระยะเวลาทดสอบ 30 วัน
- 1.3.5 ตัวแปรการทดสอบการกัดกร่อนของโลหะโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้า
 - 1.3.5.1 อุณหภูมิทดสอบ : 80 °C
 - 1.3.5.2 ชนิดสารละลาย : เกลือ 3.5%
- 1.3.6 ศึกษาสมบัติของรอยต่อหลังจากการทดสอบการกัดกร่อนประกอบด้วย การหา
น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น การหาน้ำหนักที่สูญเสีย การหาอัตราการกัดกร่อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ทราบถึงอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อชนเชื่อมทิกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสัปปะรด
- 1.4.2 เป็นแนวทางในการป้องกันการกัดกร่อนของรอยต่อชนเชื่อมทิกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสัปปะรด ในการประยุกต์ใช้ในอนาคตได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เหล็กกล้าไร้สนิม (STAINLESS STEEL) [11]

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) เป็นโลหะผสม (Alloy) ที่นิยมใช้เพื่อเป็นวัสดุสร้างเครื่องจักร และอุปกรณ์แปรรูปอาหาร (Food Processing equipment) เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน และทนต่อการกัดกร่อน พื้นผิวที่สัมผัสกับอาหาร (Food contact surface) มีความปลอดภัยและถูกสุขลักษณะทำความสะอาดง่าย เป็นกลาง และไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร

2.1.1 ส่วนประกอบของเหล็กกล้าไร้สนิม

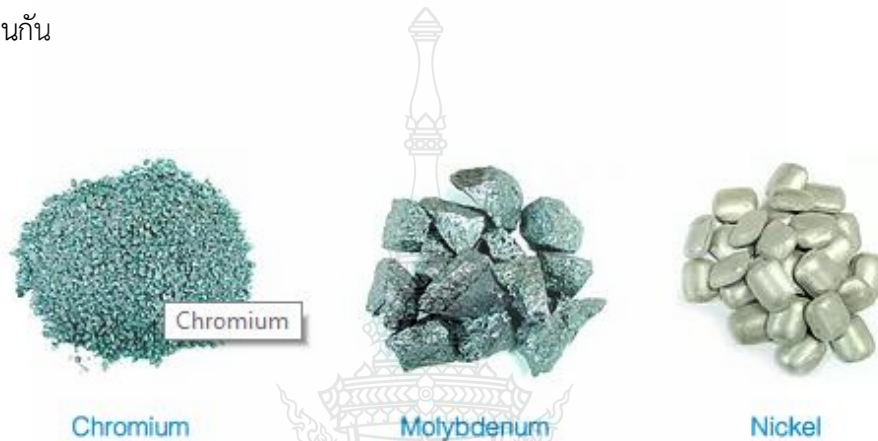
เหล็กกล้าไร้สนิมมีส่วนผสมหลักคือ โครเมียม (Chromium) ซึ่งช่วยป้องกันการกัดกร่อน และนิกเกิล (Ni) มีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง โครเมียมป้องกันการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาการรวมตัวกับออกซิเจน (Oxidation) เป็นโครเมียมออกไซด์ (Chromium oxide film : CrO_2 หรือเรียกว่า Passive film) ซึ่งเป็นฟิล์มบางมาก ติดแน่นที่ผิวของเหล็กกล้า ถ้าฟิล์มนี้ถูกทำลายจากแรงกล สารเคมี หรือออกซิเจน จะถูกสร้างทดแทนขึ้นใหม่ด้วยตัวเอง เหล็กกล้าไร้สนิมต้องมีโครเมียม (Chromium) ผสมอยู่อย่างน้อย 10.5เปอร์เซ็นต์ และอาจมีส่วนผสมอื่น ๆ เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านทานการกัดกร่อน เช่น โมลิบดีนัม (Molybdenum) และไนโตรเจน (Nitrogen) ซึ่งช่วยจัดการเกิดการกัดกร่อนประเภทรูเข็มและมัมมี่ ทองแดง (Copper) จะช่วยเพิ่มคุณสมบัติการต้านทานการกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม ส่วนประกอบของเหล็กกล้าไร้สนิม มักบอกเป็นสัดส่วน เช่น สแตนเลส 18/8 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่มีโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์และนิกเกิล 8 เปอร์เซ็นต์

2.1.2 ประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) จะมีความโดดเด่น ในเรื่องของความทนทานต่อการเป็นสนิมและการกัดกร่อน การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ หรือที่มนุษย์สร้างขึ้นก็ตาม เราก็มักจำเป็นต้องเลือกประเภทและคุณสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิม อย่างถูกต้องเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานเนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิม นั้นมีอยู่หลายประเภทด้วยกัน ซึ่งแต่ละประเภทก็จะถูกนำไปใช้งานที่แตกต่างกันออกไปเหล็กกล้าไร้สนิม สามารถจำแนกออกได้อย่างง่าย ๆ เป็น 5 ประเภท

- 1) เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก
- 2) เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ประเภท เฟอร์ริติก
- 3) เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก (Martensitic)
- 4) เหล็กกล้าไร้สนิมเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกผลึก (Precipitation-hardening martensitic)
- 5) เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์เฟอร์ริติก-ออสเทนนิติก (Duplex ferritic-austenitic)

การแบ่งแยกหรือจำแนกประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิม นั้นสามารถทำได้ด้วยวิธีการเพิ่มหรือลดจำนวนของส่วนผสมที่เป็นธาตุแต่ละตัว ยกตัวอย่าง เช่น การเพิ่มนิกเกิล (Nickel) จะช่วยทำให้โครงสร้างออสเทนไนต์ (Austenitic) ของเหล็กมีความมั่นคงยิ่งขึ้น จึงจัดว่าเหล็กกล้าไร้สนิม ประเภทที่มีจำนวนนิกเกิล (Nickel) สูง จะมีโอกาสของการไม่เกิดคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กเจือปนสูงตามไปด้วย ในขณะที่การเพิ่มคาร์บอน (Carbon) จะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานอย่างไรก็ตามเราสามารถลดต้นทุนด้วยการเพิ่มแมงกานีส (Manganese) แทนนิกเกิล (Nickel) ซึ่งมีราคาสูงกว่าเพื่อให้ได้เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) ที่มีสมบัติดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้เช่นกัน



รูปที่ 2.1 ธาตุในเหล็กกล้าไร้สนิม [11]

เหล็กกล้าไร้สนิม มาจาก คุณสมบัติพิเศษที่ทนต่อรอยเปื้อนสนิมและการกัดกร่อนซึ่งการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นได้ง่ายกับเหล็กคาร์บอน (Carbon steel) ถ้าพื้นผิวของเหล็กคาร์บอน เริ่มสกปรกโดยทั่วไปจะส่งผลให้เกิดการกัดกร่อน แต่จะไม่เกิดปฏิกิริยากับเหล็กกล้าไร้สนิม หลักสำคัญของ ปรากฏการณ์นี้ คือโครเมียม ซึ่งจะต้องอยู่ในส่วนผสมไม่น้อยกว่า 10.5% ส่วนประกอบของโครเมียม ที่บรรจุอยู่ในเหล็ก จะอยู่ในรูปแบบที่หยาบ ติดแน่น ไม่สามารถมองเห็นได้เป็น แผ่นฟิล์ม ที่มีคุณสมบัติความต้านทานการกัดกร่อนอยู่บนผิวเหล็กถ้าผิวถูกทำลายโดยแรงกล หรือ สารเคมีฟิล์มนี้จะสามารถผสานเองได้ถ้ามีออกซิเจนเพียงพอ

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดออสเทนนิติก (Austenitic) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ The American Iron and Steel Institute (AISI) จัดอยู่ในซีรีส์ 300 (series 300) เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่นำใช้งานอย่างกว้าง ขวางในเครื่องจักรและอุปกรณ์แปรรูปอาหาร เกรดที่นิยมใช้มากที่สุด คือ 304 และ 316L มีส่วนผสมของโครเมียม (Cr) อย่างน้อย 16 เปอร์เซ็นต์ และมีนิกเกิล (Ni) ซึ่งช่วยปรับปรุงสมบัติในการขึ้นรูป ความแข็งแรงบางเกรดจะมีโมลิบดีนัม (Mo) ผสมอยู่ด้วยเพื่อเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานเหล็ก AISI [12]

AISI	EN	TYPE	Chem.Composition(%)
304	1.4301	Austenitic	18 Cr , 9 Ni
316L	1.4435	Austenitic	18 Cr , 14 Ni , Mo 3

เหล็กกล้าไร้สนิม 304 อาจเรียกว่าเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด 18/8 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมตระกูลออสเทนนิติก มีโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ นิกเกิล 9 เปอร์เซ็นต์ เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่ The American Iron and Steel Institute (AISI) แนะนำให้ใช้เป็นพื้นผิวที่สัมผัสอาหาร (Food contact surface) แต่ทางมาตรฐานทางด้านสุขอนามัย ประเทศสหรัฐอเมริกา (3A Sanitary Standards) อนุญาตให้ใช้เฉพาะในส่วนสนับสนุน (Utility) เช่น ท่อ (Pipe) เหมาะสำหรับการใช้งานที่อุณหภูมิห้อง ที่ความดันบรรยากาศ มีค่า PH อยู่ในช่วง 6.5-8.0 สามารถทนการกัดกร่อนของสารละลายคลอรีนความเข้มข้นไม่เกิน 50 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm)

เหล็กกล้าไร้สนิม 316L เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมในตระกูลออสเทนนิติก ที่มีส่วนประกอบคือ โครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ นิกเกิล 14 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มส่วนผสมของโมลิบดีนัม 3 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกันการกัดกร่อน ซึ่ง 3A แนะนำให้ใช้เป็นพื้นผิวสัมผัสกับอาหาร (Food contact surface) มีราคาแพงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม 304 สามารถทนอุณหภูมิสูงได้ ทนอุณหภูมิต่ำได้มากกว่า และทนการกัดกร่อนของคลอรีนที่ความเข้มข้นสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ประมาณเท่าตัว ใช้เป็นวัสดุสำหรับเครื่องจักรอุปกรณ์แปรรูปอาหาร เช่น เครื่องจักรอุปกรณ์ในการผลิตเบียร์ (Beer) ผลิตภัณฑ์นม (Dairy product) ผลิตภัณฑ์เครื่องดื่ม (Beverage) เนื้อสัตว์ (Meat) เครื่องบรรจุ ปัมป์วาล์ว ใบพัดอุปกรณ์เครื่องครัว เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้ดี สำหรับถังเก็บแก๊สเหลว เช่น ไนโตรเจนเหลว (Liquid nitrogen) และสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่น แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน (Plate heat exchanger) ท่อและอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Tubular heat exchanger) ถังเก็บ (Storage tank) ภาชนะที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมอาหาร และรถเข็นอาหาร เหล็กกล้าไร้สนิม 316L จึงแข็งแรงและทนการกัดกร่อนได้ดีกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม 316 [11]

2.2 การกัดกร่อน [13]

การกัดกร่อน Corrosion คือ การเสื่อมสภาพของโลหะที่ทำให้สมบัติของโลหะเปลี่ยนไปในทางเลวลง โดยโลหะเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบของโลหะหรือที่เรียกว่าสนิมซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของการกัดกร่อนเป็นเหตุให้โลหะเกิดความเสียหาย ในแต่ละปีโลกมีค่าใช้จ่าย จากปัญหาการกัดกร่อนมากมาย ทั้งที่เป็นการซ่อมแซมบำรุงรักษา หรือการซื้อใหม่ทดแทน ส่วนที่ชำรุดเสียหายจนไม่อาจใช้งานได้อีกต่อไป บางครั้งก็เป็นค่าใช้จ่ายที่

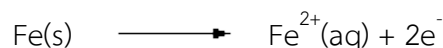
มากเกินไปจนเกินไป การออกแบบเพื่อใช้โลหะหนาเกินความจำเป็น นอกจากนั้นยังมีค่าใช้จ่ายของการค้นคว้าวิจัย เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่ได้พัฒนาให้มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงสามารถใช้ได้แม้ในสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อน

การกัดกร่อน คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ของโลหะซึ่งเป็นปฏิกิริยาให้อิเล็กตรอน โดยที่โลหะประกอบด้วยอะตอมโลหะเกาะเกี่ยวกันตลอดเนื้อโลหะด้วยพันธะโลหะซึ่งเป็นพันธะโควาเลนต์ ที่มีคู่อิเล็กตรอนที่พันธะเป็นชนิดไม่ประจำ โลหะจึงมีอิเล็กตรอนที่เคลื่อนย้ายได้ ที่ยึดเหนี่ยวทั้งหมดเข้าด้วยกัน โลหะจึงมีสภาพเป็นกลางทางไฟฟ้า เมื่อโลหะเกิดการกัดกร่อน อิเล็กตรอนที่พันธะจะหลุดออก ทำให้อะตอมโลหะเปลี่ยนเป็น อีออนโลหะประจุบวกเมื่อมีการให้และรับอิเล็กตรอน ครบเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่เรียกว่า เซลล์การกัดกร่อน โลหะที่ให้อิเล็กตรอนเป็นขั้วแอโนด (Anode) อิเล็กตรอนเดินทางไปตามเนื้อโลหะ สิ่งแวดล้อมที่รับอิเล็กตรอนเป็นขั้วแคโทด (Cathode) และความชื้นหรือสารละลายที่ผิวโลหะเป็นอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ให้อิออนเดินทางให้ครบเซลล์



รูปที่ 2.2 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน [14]

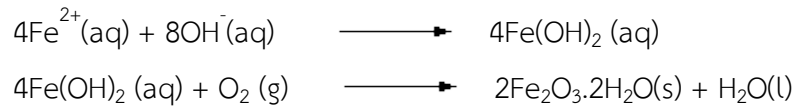
ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวส่วนหนึ่งของเหล็กทำหน้าที่เป็นแอโนด ดังสมการ



ออกซิเจนถูกรีดิวซ์ที่ผิวอีกส่วนหนึ่งของเหล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นแคโทด เมื่อมีน้ำอยู่ด้วย ดังสมการ



และมีปฏิกิริยาต่อเนื่องต่อไปคือ



$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ คือ สนิมเหล็ก

ดังนั้น การกัดกร่อนจึงสามารถเกิดขึ้นได้ทั่วไป อาจกล่าวได้ว่า โลหะเกือบทุกชนิดเกิดการกัดกร่อนได้เสมอ ต่างกันที่ความยากง่ายของการเกิดการกัดกร่อนและอัตราการกัดกร่อนเร็ว - ช้า สาเหตุของการเกิดการกัดกร่อนจึง มาจากทั้งโลหะและสิ่งแวดล้อมและสามารถแบ่งแยกการกัดกร่อนออกเป็นประเภทดังนี้

2.2.1 การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอทั่วผิวหน้า (General or uniform corrosion)

การกัดกร่อนแบบนี้เห็นอยู่ทั่วไป โลหะจะถูกกัดกร่อนอย่างสม่ำเสมอทั่วผิวของโลหะนั้น โดยปกติจะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า การกัดกร่อนเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอบนผิวหรือเป็นบริเวณกว้าง มีผลให้โลหะบางเรื่อย ๆ หรือมีน้ำหนักรหายไป คือ เบาลงเรื่อย การกัดกร่อนประเภทนี้ในแง่ของเทคนิคไม่ค่อยเป็นปัญหาและไม่ก่อให้เกิดอันตรายรุนแรงเท่าใดนัก เนื่องจากสามารถหาอัตราการกัดกร่อนและออกแบบเพื่อพร้อมทั้งทำนายอายุการใช้งานของชิ้นส่วนที่เกิดการกัดกร่อนแบบนี้ได้ และเปลี่ยนใหม่เมื่อถึงเวลาอันควรลักษณะการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ



รูปที่ 2.3 ภาพการกัดกร่อนแบบที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอทั่วผิวหน้า [13]

2.2.1.1 การป้องกัน

- 1) เลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมและอาจทำการเคลือบผิวด้วย
- 2) ใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน
- 3) ใช้การป้องกันแบบคาโทดิก (Cathodic protection)

การกัดกร่อนในรูปแบบอื่นส่วนมาก เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายในและยากต่อการประเมินสภาพ การกัดกร่อน นอกจากนี้ยังเกิดขึ้นในพื้นที่เฉพาะของชิ้นส่วนหรือโครงสร้าง ซึ่งจะเป็นผลให้เกิด ความเสียหายที่ไม่คาดคิดหรือความเสียหายก่อนกำหนดของเครื่องมือหรือเครื่องจักร

2.2.2 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic corrosion)

โลหะแต่ละชนิดจะมีค่าศักย์เฉพาะตัว ดังนั้นถ้าหากมีโลหะ 2 ชนิด สัมผัสกันอยู่และมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์และส่วนโลหะเชื่อมต่อที่นำไฟฟ้า หรือต่อกันอย่างครบวงจรไฟฟ้าเคมี เมื่อเวลาผ่านไป โลหะที่ศักย์ต่ำกว่าจะเกิดการกัดกร่อน (แอโนด) ขณะที่โลหะที่มีศักย์สูงกว่าจะไม่กัดกร่อน (แคโทด) ความต่างศักย์ของโลหะทั้งสอง ยิ่งมากเท่าไรความรุนแรงก็มากขึ้นเท่านั้น ความต่างศักย์จะทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนระหว่างวัสดุทั้งสอง ทำให้เพิ่มอัตราการกัดกร่อนของโลหะที่มีค่าความต้านทานต่อการกัดกร่อนน้อย และจะลดอัตราการกัดกร่อนของโลหะที่มีค่าความต้านทานมากกว่า โดยปกติโลหะที่มีค่าความต่างศักย์มากจะมีการกัดกร่อนค่อนข้างน้อยหรือแทบจะไม่เกิดเลย เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวเกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าและความแตกต่างของโลหะ จึงมีการเรียกการกัดกร่อนแบบนี้ว่า Galvanic corrosion หรือ Two-metal corrosion ปริมาณกระแสและการกัดกร่อนขึ้นกับความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะทั้งสอง

วิศวกรรมการออกแบบจะต้องทราบถึงความเป็นไปได้ของการกัดกร่อนแบบกัลวานิก ตั้งแต่การระบุรายละเอียดของวัสดุที่จะนำไปใช้ในเครื่องจักร บางครั้งเพื่อเป็นการประหยัดอาจใช้วัสดุต่างชนิดกันมาเชื่อมกันโดยเฉพาะโลหะที่มีค่าความต่างศักย์กันมากควรระมัดระวังให้ดี ความต่างศักย์ที่เกิดจากเซลล์กัลวานิก สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลา เนื่องจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน ที่สะสมอยู่ที่ขั้วแคโทดหรือแอโนดจะทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลง ลักษณะการกัดกร่อนแบบกัลวานิกดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก [13]

2.2.2.1 การป้องกัน

วิธีการลดหรือป้องกันการกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic corrosion)

มีหลายวิธีดังนี้

- 1) เลือกใช้วัสดุที่มีค่าวัสดุในอนุกรมกัลวานิก (Galvanic series) ใกล้เคียงกันเท่าที่เป็นได้
- 2) หลีกเลี่ยงอัตราส่วนของพื้นที่แคโทด/แอโนด ปรับให้พื้นที่ทั้งสองใกล้เคียงกัน
- 3) ใช้ฉนวนกันบริเวณที่ใช้โลหะต่างชนิดกันมาสัมผัสกัน
- 4) ใช้สารเคลือบผิวอย่างระมัด ระวังการเคลือบผิวให้อยู่ในสภาพดี
- 5) เติมสารยับยั้ง เพื่อลดความรุนแรงของการกัดกร่อน
- 4) ออกแบบที่ให้ออกแบบเปลี่ยนชิ้นงานที่เป็นแอโนดได้ง่าย
- 5) ติดตั้งวัสดุที่สามที่มีค่าความต่างศักย์น้อยกว่าโลหะทั้งสอง เพื่อให้เกิดการกัดกร่อนแทน

2.2.3 การกัดกร่อนในที่อับ (Crevice corrosion)

การกัดกร่อนในที่อับคือการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่อับบนผิวโลหะที่สัมผัสโดยตรงกับสารกัดกร่อน การกัดกร่อนประเภทนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณของสารละลายที่ค้างอยู่ตามพื้นที่ที่เป็นหลุม หรือพื้นที่ที่เป็นซอก บริเวณแคบ ๆ ที่มีสารละลายเข้าไปขังอยู่ได้เป็นเวลานานโดยไม่มีกรถ่ายเท ทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจน ในน้ำหรือสารละลายภายในซอกไม่เท่ากับภายนอก ทำให้เกิดการครบเซลล์การกัดกร่อนชนิดเซลล์ความเข้มข้น โดยบริเวณในซอกจะเกิดเป็นขั้วแอโนดคือเกิดการสูญเสียเนื้อโลหะการสัมผัสระหว่างผิวโลหะและผิวที่ไม่ใช่โลหะ สามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนในที่อับได้เช่นกัน ปะเก็นรอยต่อระหว่างยางกับเหล็กกล้าไร้สนิมที่จุ่มอยู่ในน้ำทะเล เนื่องจากสารละลายที่ขังอยู่มีปริมาณจำกัดและหยุดนิ่ง ออกซิเจนที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาคาโทดจึงลดจำนวนลดลงเรื่อย ๆ จนหมด แต่ปฏิกิริยาแอโนดยังคงดำเนินอยู่ จึงทำให้ความเข้มข้นของประจุบวกสูง ดังนั้นเพื่อรักษาสมดุลของประจุไว้ถ้ามีสารเจือปนโดยเฉพาะคลอรีน ประจุลบของคลอรีนจะเคลื่อนที่เข้ามาในรอยแตกและทำปฏิกิริยากับน้ำทำให้เป็นโลหะ ไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริก กรดนี้จะกัดผิวของโลหะออกมาทีละน้อย ส่งผลให้รอยแตกและรอยร้าวขยายตัวไปเรื่อย ๆ แสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 การกัดกร่อนในที่อับ [13]

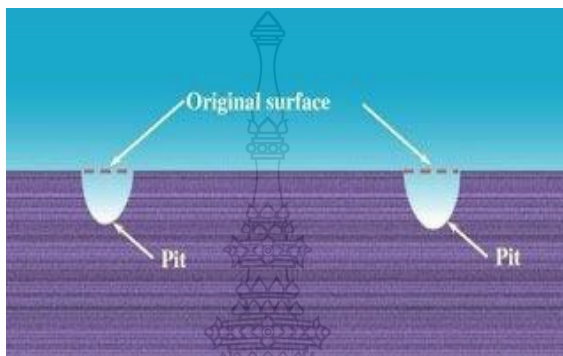
2.2.3.1 การป้องกัน

- 1) ใช้การเชื่อมแบบชน แทนการย้ำหมุดหรือการยึดด้วยสลักเกลียว
- 2) ปิดบริเวณที่เป็นที่อับโดยการเชื่อมหรือการบัดกรี
- 3) ออกแบบถึงความดันให้สามารถระบายน้ำได้ดี พยายามหลีกเลี่ยงรูปร่างที่เป็นมุม
- 4) ตรวจสอบเครื่องมือและสารแปลกปลอมอยู่เสมอ
- 5) กำจัดของแข็งที่ลอยอยู่ก่อนเข้ากระบวนการผลิต
- 6) กำจัดวัสดุเป็ยกที่ตกค้างอยู่ ในระหว่างการหยุดซ่อมประจำปี
- 7) จัดสภาวะสิ่งแวดล้อมให้มีความสม่ำเสมอ
- 8) ใช้ปะเก็นที่เป็นของแข็งและไม่มีการดูดซึม
- 9) ใช้การเชื่อมแทนการม้วนเป็นท่อ

2.2.4 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion)

การกัดกร่อนแบบสนิมขุมหรือการกัดกร่อนแบบรูเข็ม เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาก โดยเฉพาะกับโลหะที่ได้พัฒนาให้มีฟิล์ม ป้องกันการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้าได้แล้ว แต่เมื่อฟิล์มบางแตกแยกออกเฉพาะบางที่ ก็จะเกิดการกัดกร่อนเฉพาะ ที่กัดกร่อนลึกลงไปเรื่อย ๆ ทำให้สังเกตเห็นได้ยากเนื่องจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนได้ปกคลุมเอาไว้ การกัดกร่อน แบบนี้ทำให้ทำนายได้ยาก โดยทั่วไป สนิมขุมมักจะเกิดทิศทางเดียวกันกับแรงโน้มถ่วงของโลก การเกิดการกัดกร่อน ในแนวอื่นก็เกิดได้แต่น้อย Pitting เป็นลักษณะที่ทำให้เป็นรูหรือหลุมในเนื้อโลหะ รูเหล่านี้อาจมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ได้ แต่โดยส่วนมากจะมีขนาดเล็ก บางครั้งจะเห็นรูกระจายอยู่ห่างกัน หรืออาจอยู่ใกล้กันจนดูคล้ายผิวโลหะที่ขรุขระ หลุมเป็นการกัดกร่อนที่ก่อให้เกิดความเสียหายและรุนแรงที่สุด ซึ่งทำให้อุปกรณ์ เครื่องมือ หรือชิ้นส่วนต่าง ๆ เกิดความเสียหายเนื่องจากการเจาะลึกด้วยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของโครงสร้าง

ทั้งหมดที่น้อย ลักษณะมักยากที่จะตรวจสอบพบยากเพราะมีขนาดเล็ก นอกจากนั้นยังยากที่จะตรวจวัดเชิงปริมาณและ ตรวจวัดการขยายตัวของสภาพการกัดกร่อนของหลุมได้ เพราะความลึกและจำนวนของรูที่เปลี่ยนแปลง ภายใต้สภาวะเฉพาะสภาวะใดสภาวะหนึ่ง การเกิดหลุม ยังยากที่จะทำนายได้จากการทดสอบในห้องทดลองอีกด้วย บางครั้งอาจใช้เวลานานจึงปรากฏสภาพของการกัดกร่อน การเกิด Pitting เป็นการเกิดเฉพาะที่และ เป็นรูปแบบการกัดกร่อน



รูปที่ 2.6 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม [13]

2.2.4.1 การป้องกัน

โดยทั่วไปวิธีที่ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนในที่อับก็สามารถนำมาใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนแบบ Pitting ได้เช่นกัน วัสดุที่มีการกัดกร่อนหรือมีแนวโน้มที่จะเกิดการกัดกร่อนแบบ Pitting ไม่ควรนำมาใช้ในการสร้างโรงงานหรือเครื่องมือ วัสดุแต่ละชนิดมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ต่างกัน เช่นการเติมโมลิบดีนัมลงไปในเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ในปริมาณ 2 % ซึ่งทำให้ได้เหล็กกล้าไร้สนิม 316L โดยจะเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบ Pitting โดยจะทำให้เกิดผิว Passive ที่มีความเสถียรมากกว่า คือมีความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนมาก วัสดุ 2 ชนิดนี้ประพฤติตัวต่างกันคือชนิดหนึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในน้ำทะเลแต่อีกชนิดหนึ่งสามารถใช้ได้ในบางกรณี

2.2.5 การสูญเสียส่วนผสมบางตัว (Selective leaching)

เป็นรูปแบบหนึ่งของการกัดกร่อนซึ่งเกิดโดยการละลายของธาตุบางตัวจากโลหะอัลลอยเป็นผลจากการกระทำซึ่งสิ่งแวดล้อมโลหะที่ว่องไวที่สุดออกจากอัลลอยเหลือไว้แต่โครงสร้างพูนซึ่งเต็มไปด้วยโลหะที่เสถียรที่สุด วัสดุที่เหลือจึงสูญเสียความแข็งแรงทางกายภาพไปมาก การกัดกร่อนแบบนี้มักมีชื่อตามธาตุที่ละลายออกมา เช่น ถ้าสังกะสีละลายออกมาเรียกว่า Dezincification โลหะผสมประกอบด้วยโลหะตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป จากที่กล่าวมาว่าโลหะจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าเฉพาะตัว ดังนั้นโลหะที่เป็นส่วนผสมที่มีศักย์ต่ำกว่า จะถูกกัดกร่อนไป ตัวอย่างที่พบมากคือทองเหลือง (ประกอบด้วยทองแดงและสังกะสี) สูญเสีย

สังกะสีไปทำให้ทองเหลืองที่เหลืออยู่เป็นทองแดง ส่วนมากและพรุน ความแข็งแรงต่ำลง การสูญเสียสังกะสี อาจสังเกตได้จากที่เดิมที่เคยมีสีเหลือง เมื่อสูญเสียสังกะสีไป จะทำให้มีสีแดงขึ้น ทองเหลืองที่มีปริมาณ สังกะสีผสมอยู่มากจะเกิดการสูญเสียสังกะสีได้ง่าย

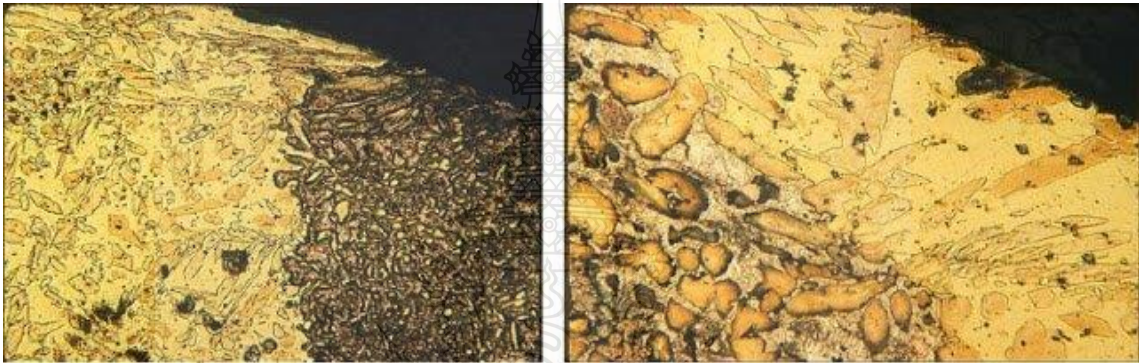
2.2.5.1 กลไกการสูญเสียสังกะสีแบ่งเป็นขั้นตอนคือ

2.2.5.2 ทองเหลือง (ทองแดงและสังกะสี) ถูกกัดกร่อนหรือละลายลงมาใน

สารละลาย

2.2.5.3 สังกะสียังคงอยู่ในสารละลาย

2.2.5.4 ทองแดงกลับไปเป็นโลหะอีกครั้งโดยติดกับชิ้นงานเดิม



รูปที่ 2.7 การสูญเสียส่วนผสมบางตัว [13]

1) การป้องกัน

- (1) ลดความรุนแรงของสภาวะแวดล้อม เช่นกำจัดออกซิเจนจากสารละลาย
- (2) ใช้การป้องกันแบบแคโทด

2.2.6 การกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular corrosion)

โดยปกติขอบเกรนมักจะเกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าเนื้อเกรนอยู่แล้ว โดยขอบเกรนจะแสดงตัวเป็นขั้วแอโนด (สูญเสียเนื้อโลหะ) ภายในเกรนจะแสดงตัวเป็นขั้วแคโทดหากบริเวณขอบเกรนมีอนุภาคอื่น ๆ มาตกตะกอนอยู่ หรือมีธาตุหนึ่งมากหรือน้อยเกินไปขอบเกรนอาจจะถูกกัดกร่อนหรือทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้นอีก เมื่อการกัดกร่อนเกิดขึ้นได้ระยะเวลาหนึ่ง บริเวณพื้นที่ที่แสดงตัวเป็นแอโนดจะเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงไป การกัดกร่อนก็จะเกิดกระจายอยู่ทั่วไปเป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นตลอดทั่วผิวหน้า (Uniform attack) กัดเซาะทั้งก้อน บริเวณที่เป็นแอโนด แคโทด จะเปลี่ยนตลอดเวลาแต่ถ้าบริเวณขอบเกรนแสดงตัวเป็นแอโนดตลอดเวลา การกัดกร่อนก็จะเกิดเฉพาะบริเวณขอบเกรนตลอดเวลาเป็นการกัดกร่อนที่เรียกว่าการกัดกร่อนตามขอบเกรน (Inter granular corrosion) เหล็กกล้าไร้

สนิมออสเทนนิติก เกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรนได้ หากนำไปใช้งานอย่างไม่เหมาะสม โดยทั่วไปเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกทนการกัดกร่อนได้ดี แต่ถ้าเหล็กประเภทนี้ได้รับอุณหภูมิในช่วง 500-800 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานพอสมควร จะทำให้เกิดโครเมียมคาร์ไบด์ตามขอบเกรน โครเมียมที่เดิมเคยอยู่ในเนื้อเหล็กและคอยป้องกันการกัดกร่อนให้เหล็กก็จะมารวมตัวกับคาร์บอน ทำให้บริเวณใกล้ๆ หรือชิดกับขอบเกรนมีโครเมียมต่ำกว่าร้อยละ 12 ซึ่งถือว่าบริเวณนี้ไม่ใช่เหล็กกล้าไร้สนิมอีกต่อไป ดังนั้นบริเวณที่มีโครเมียมต่ำตามขอบเกรนจึงถูกกัดกร่อนได้ง่ายกว่าบริเวณอื่นการควบคุมหรือลดการกัดกร่อนตามขอบเกรนของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก สามารถทำได้ 3 วิธีคือ

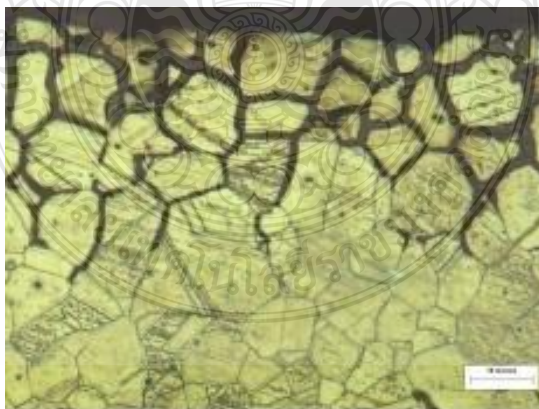
2.2.6.1 การอบชุบ (Heat treatment) ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งปกติจะเรียกว่าการชุบแข็ง (Quench annealing) หรือ การชุบเย็น (Solution quenching)

2.2.6.2 การเติมธาตุบางตัวที่สามารถรวมตัวเป็นคาร์ไบด์ได้ดี (Stabilizer)

2.2.6.3 การลดปริมาณคาร์บอนให้ต่ำกว่า 0.03 เปอร์เซ็นต์

2.2.7 การกัดกร่อน-สึกกร่อน (Erosion corrosion)

เมื่อมีการเสียดสีและการสึกกร่อนต่อโลหะในสิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนได้ด้วยนั้น จะมีผลรวมของการกระทำต่อโลหะ อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์เชิงกล และเชิงเคมีซึ่งส่งผลให้เกิดการการทำลายและการเสื่อมสภาพของโลหะอย่างรวดเร็วการกัดกร่อนประเภทนี้เริ่มจากการกัดกร่อนที่มีของไหล ไหลผ่านโลหะและมักไหลด้วยความเร็วสูง หากของไหลนี้มีฤทธิ์กัดกร่อนสูง เมื่อโลหะเริ่มสึกจะทำให้โลหะเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายขึ้น หากโลหะนั้นมีฟิล์มปกคลุมผิวได้ การไหลของของไหลอาจทำให้ฟิล์มถูกทำลายไป



รูปที่ 2.8 การกัดกร่อน – สึกกร่อน [13]

2.2.8 การกัดกร่อน - ความล้า (Fatigue corrosion)

ความล้าหรือ Fatigue เป็นอาการของโลหะที่ถูกแรงกระทำซ้ำ ๆ กัน หรือซ้ำแล้วซ้ำเล่า แรงที่กระทำเป็นได้ทั้งแรงดึง (Tensile) และความเค้นแรงอัด (Compressive stress) จนที่สุดแล้วโลหะนั้นก็แตกหักเสียหาย (Fracture) โดยปกติแล้ว การกัดกร่อนแบบนี้เกิดเมื่อขนาดแรงเค้นต่ำกว่าค่าจุดล้าของโลหะ (Yield point) และเกิดเมื่อถูกกระทำซ้ำแล้วซ้ำเล่าในช่วงเวลาหนึ่ง และในสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อนด้วย ดังนั้นจึงถูกกระทำทั้งทางกล และทางเคมี โดยมีผลไปลดความต้านทานของโลหะจนถึงจุดที่เกิดความเสียหาย

2.2.9 การกัดกร่อนแบบถูครูด (Fretting corrosion)

เป็นการกัดกร่อนที่เกิดในสภาวะบรรยากาศปกติ บริเวณพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างโลหะเมื่อโลหะนั้นกำลังถูกแรงกระทำ

2.2.9.1 ปัจจัยพื้นฐานของการเกิดการกัดกร่อนแบบถูครูด (Fretting corrosion)

- 1) โลหะที่หันหน้าเข้าหากันนั้น กำลังถูกแรงกระทำ
- 2) มีการสั่นสะเทือนบริเวณผิวหน้าสัมผัส ผิวด้านหนึ่งตีกระทบหรือถูอยู่อีกผิวหน้าหนึ่ง
- 3) ระหว่างผิวหน้าโลหะทั้งสองมีการลื่นไถล

2.2.9.2 ผลที่เกิดจากการกัดกร่อนแบบถูครูด (Fretting corrosion)

- 1) สูญเสียเนื้อโลหะบริเวณพื้นผิวสัมผัสเป็นโลหะออกไซด์เกิดกับเหล็กกล้า
- 2) ทำให้ความเผื่อ (Size tolerance) เสีย จากที่เคยเข้ากันได้ดีก็จะหลวม
- 3) การกัดกร่อนแบบถูครูด (Fretting corrosion) ทำให้เกิดการหลวมแล้วก็จะเกิดความเครียดมากเกินไป (Excessive strain) นำไปสู่การเกิดร่องซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของรอยร้าวและเกิดการล้า (Fatigue fracture)

2.2.9.3 กลไกการเกิดการกัดกร่อนแบบถูครูด (Fretting corrosion) 2 แนวคิด

- 1) เนื้อโลหะเป็น Particle เล็ก ๆ ของผิวโลหะที่สัมผัสกัน
 - 2) เกิดเป็นสารประกอบของธาตุ (Oxide) แล้วหลุดออกมา
- ความขึ้นลดความเสียหายจากการกัดกร่อนแบบถูครูด (Fretting corrosion) ความขึ้นเป็นสารหล่อลื่นเพราะว่า Hydrate rust (สนิม+น้ำ) ก่อให้เกิดความเสียหายจากการเสียดสีน้อยกว่าออกไซด์ที่มีสภาพแห้ง และบริเวณที่ขาดออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจนจะทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบถูครูดน้อยลง จะเกิดมากขึ้นเมื่อมีน้ำหนัหรือความเค้นมากกระทำมากขึ้นและถ้าอากาศมีเอาอนุภาค (Particles) ของโลหะเข้ามาพร้อมด้วยแสดงว่ามีความตึงเครียด (Tension) ความเค้นเฉือน (Shear stress) ร่วมด้วย การกัดกร่อนแบบถูครูด (Fretting corrosion) บางทีเรียกว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันของการเสียดทาน (Friction

oxidation) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของการสึกหรอ (Wear oxidation) การเสียหายจากการถูกกด (False brinelling)

2.2.9.4 การป้องกัน

- 1) หล่อลื่นด้วยน้ำมันที่มีความหนืดต่ำ คุณสมบัติการเกาะยึดสูง
- 2) เพิ่ม Load เพื่อลด Slip ระหว่างผิวหน้าสัมผัส
- 3) ใช้ปะเก็นเพื่อดูดซับการสั่นสะเทือน ป้องกันออกซิเจน
- 4) เพิ่มความแข็งแรงผิวหน้าสัมผัส
- 5) ใช้ Coating หรือ Surface Treatment เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของผิว

โลหะที่สัมผัสกัน

- 6) เพิ่มความแข็งแรงด้วยการยิงทราย (Shot Peening)

2.2.10 การกัดกร่อนแบบรูพรุน (Cavitation corrosion)

เป็นรูปแบบหนึ่งของการกัดกร่อนเฉพาะที่ ซึ่งเกิดจากผลรวมของความเสียหายบนผิวโลหะเป็นแห่งๆ อันเนื่องมาจากฟองอากาศที่มาจับตัวกันแล้วชำรุดหรือเนื่องมาจากการกัดเซาะทางเคมีต่อพื้นที่ที่ถูกทำลาย การกัดกร่อนแบบนี้อาจพบได้ในสภาพไหลปั่นป่วน (Turbulent flow) ของของเหลว เช่น ไกล์ ๆ ใบพัดเรือและใบมีมน้ำ การเกิดและการแตกของฟองก๊าซแล้วชำรุดอาจเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงความดันในบางบริเวณซึ่งลดต่ำกว่าหรือเพิ่มสูงกว่าความดันไอของของเหลว การสับต่ออย่างรวดเร็วของการเกิดและการแตกของฟองอากาศนี้ทำให้เกิดคลื่น (Shock) ที่ทรงพลังซึ่งสามารถทำลายผิวโลหะหรือวัสดุได้เป็นจุด ๆ ถ้ามีผิวออกไซด์บางบนโลหะ คลื่นกระแทก (Shock Wave) จะไปถูเอาฟิล์มป้องกัน (Protective Film) ออก ทำให้โลหะเปลือยและว่องไวต่อการกัดกร่อน โดยโลหะเปลือยจะสัมผัสกับอิเล็กโทรไลต์ในบางจุด พื้นผิวตรงนั้นอาจปรากฏให้เห็นลักษณะพรุน ๆ คล้ายฟองน้ำ ลักษณะการเสียหายจะคล้ายกับการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting)

2.2.10.1 กลไกการเกิดการกัดกร่อนแบบรูพรุน (Cavitation corrosion)

- 1) การเกิดฟองบนฟิล์มป้องกัน (Protective Film)
- 2) ฟองก๊าซแตกสลายและทำลายฟิล์มป้องกัน (Protective Film)
- 3) เนื้อโลหะใต้ฟิล์มป้องกัน (Protective Film) ถูกทำลายเกิดการกัดกร่อน ต่อมาเกิดฟิล์มป้องกัน (Protective Film) ขึ้นใหม่
- 4) ต่อมาฟองก๊าซฟองใหม่มาสัมผัสตำแหน่งเดิมอีก
- 5) ฟองก๊าซใหม่แตกสลายทำลายฟิล์มป้องกัน (Protective Film) อีก
- 6) เนื้อโลหะบริเวณที่ฟิล์มถูกทำลายกัดกร่อนต่อไปอีก ต่อมาเกิดฟิล์มป้องกัน (Protective Film) ขึ้นใหม่

7) กระบวนการกัดกร่อนเกิดซ้ำซาก จนวนรอยกัดกร่อนเป็นรูลึก

การกัดกร่อนแบบรูพุน (Cavitation corrosion) ที่เกิดส่วนใหญ่ มีสาเหตุร่วมกันกับการกัดกร่อนและแรงกระทำทางกล ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะไปลดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมสูงขึ้น

2.2.10.2 การป้องกัน

- 1) ปรับปรุงการออกแบบ เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะของไหลเคลื่อนที่ (Hydrodynamic Pressure) น้อยที่สุด
- 2) เลือกใช้โลหะที่แข็งแรงกว่า มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนดีกว่า
- 3) ขึ้นส่วนบริเวณที่มีโอกาสเกิดการกัดกร่อนแบบรูพุน (Cavitation corrosion) มาก ให้แต่งผิวให้เรียบมากที่สุดเป็นกรณีพิเศษ
- 4) หุ้มด้วยวัสดุที่ยึดหยุ่นได้ เช่น ยาง

2.2.11 การกัดกร่อนร่วมกับความเค้น (Stress corrosion)

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

2.2.11.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อน

- 1) ความเค้น ต้องเป็นความเค้นดึงซึ่งอาจเป็นความเค้นตกค้างในเนื้อวัสดุ ความเค้นมาจากภายนอก ความเค้นเนื่องจากความร้อนหรืออาจจะเกิดจากการเชื่อมก็ได้
- 2) สภาวะแวดล้อม

การกัดกร่อนแบบนี้ทำให้โลหะเกิดความเสียหายเนื่องจากกระบวนการแตกสลาย (Cracking) ที่เกิดขึ้นโดยการกระทำร่วมกันของสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อการกัดกร่อนกับความเค้นแรงดึง (Tensile stress) เอาความเค้นที่กระทำกับโลหะ (Applied stress) และความเค้นภายใน (Internal residual stress) ในบางกรณีความเค้นอาจเกิดจากการสะสมตัวของผลิตภัณฑ์อันเนื่องจากการกัดกร่อน ตัวอย่าง เช่น นี้อตและสกรู เมื่อถูกวางไว้ในสิ่งแวดล้อมที่เอื้อต่อการกัดกร่อน ผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนจะถูกสะสมตัวอยู่ระหว่างนี้อตและสกรู อย่างไรก็ตามปริมาณของ ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มากกว่าปริมาณดั้งเดิมของโลหะ จึงทำให้เกิดความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) ขึ้นบนสกรูซึ่งก็จะเสียหายด้วยกระบวนการแตกสลาย (Cracking)

2.2.11.2 การกัดกร่อนแบบนี้ปกติมีลักษณะพิเศษคือ

- 1) ปรากฏการณ์นี้จะเกิดเฉพาะในโลหะผสมเท่านั้น ในโลหะบริสุทธิ์ไม่เกิด
- 2) ประเภทของสิ่งแวดล้อมที่จะให้เกิดการแตกหักนั้นมีลักษณะ

เฉพาะตัวสำหรับโลหะผสมแต่ละชนิด

- 3) การอบชุบด้วยความร้อนทำให้โครงสร้างเปลี่ยนไปมีผลกับการแตกหัก
- 4) การป้องกันแบบคาโธดิกเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด

2.2.11.2 ตัวแปรที่มีอิทธิพลกับการเกิดรอยแตกเนื่องจากความเค้นในสภาวะกัดกร่อน (Stress corrosion cracking) ได้แก่

- 1) อุณหภูมิ
- 2) องค์ประกอบสารละลาย
- 3) องค์ประกอบของโลหะ
- 4) ขนาดของแรงเค้น
- 5) โครงสร้างของโลหะ

การแตกหักเสียหาย (Cracking) พบว่ามีทั้งแบบ แตกไปตามขอบเกรน (Intergranular Cracking) และแบบผ่ากลางเกรน (Trans granular cracking)

2.2.11.3 การป้องกัน

- 1) ลดความเค้นในเนื้อโลหะลง หรือลดความเค้นที่กระทำกับผิวโลหะ
- 2) ลดความรุนแรงของสภาวะแวดล้อม
- 3) เลือกโลหะที่ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน
- 4) ใช้การป้องกันแบบคาโธด
- 5) ใช้สารยับยั้ง

2.2.12 การกัดกร่อนแบบใต้ชั้นเคลือบ (Filiform corrosion)

เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายใต้ชั้นเคลือบ เช่น การทาสีพลาสติกบนผิวเหล็กกล้า หรือ การเคลือบแลกเกอร์บนผิวแผ่นเหล็กเคลือบดีบุก จัดเป็น Crevice corrosion คือ การกัดกร่อนในที่อับประเภทหนึ่ง ซึ่งเป็นแบบการกัดกร่อนใต้ชั้นเคลือบ (Under film corrosion) พบได้กับโลหะที่มีการทาเคลือบผิวเพื่อป้องกัน การกัดกร่อนทั่วผิวหน้า เช่น เหล็กกล้าคาร์บอน แมกนีเซียม และ อลูมิเนียม ที่เคลือบผิวด้วยดีบุก เงิน ทอง ฟอสเฟต สีนํ้ามันและแลกเกอร์การกัดกร่อนแบบนี้มีผลให้สภาพผิวของชิ้นงานเสียไปเท่านั้น แต่ไม่ได้ทำความเสียหายแก่โครงสร้างของชิ้นงานดังนั้นงานที่ต้องการผิวที่ดี เช่นกระป๋องอาหาร รถยนต์ จึงต้องระวังปัญหาจากการกัดกร่อนภายใต้ชั้นเคลือบ (Filiform corrosion) ภายใต้ผิวเคลือบจะเกิดการกัดกร่อนลุกลามเป็นบริเวณ ซึ่งเป็นผลจากการเกิดการกัดกร่อน

ภายใต้บริเวณจำกัดคือ ภายใต้ผิวเคลือบ ทำให้สนิมและอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้น วนเวียนอยู่ภายใต้ผิวเคลือบแล้วส่งผลต่อเนื่องให้เกิดเป็นบริเวณกว้างขึ้น การกัดกร่อนแบบริเริ่มจากบริเวณหนึ่งซึ่งเรียกว่า ส่วนหัว (Active head) แล้วไปปรากฏสนิมเช่น สีน้ำตาลแดงของสนิมเหล็กในบางส่วนทาง (Inactive tail) ดังนั้นปฏิกิริยาการกัดกร่อนดำเนินไปในบริเวณส่วนหัว สำหรับเหล็กจะเกิดเป็นไอออนเหล็ก Fe^{2+} ที่จะให้ผลทดสอบสีน้ำเงินเขียวกับสารละลายไซยาไนด์ที่ใช้ทดสอบเฉพาะบริเวณหัวและจะเห็นคราบสนิมเหล็กที่บริเวณทางการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นเมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 65-90% ทั้งนี้ชนิดของการเคลือบผิวสีน้ำมัน แล็กเกอร์ และโลหะชนิดที่ยินยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อยจะช่วยลดการเกิดการกัดกร่อนภายใต้ชั้นเคลือบ (Filiform corrosion) นอกจากนั้นการขัดผิวโลหะก่อนการเคลือบก็มีผลเพราะพบว่าทิศทางการขยายตัวของการกัดกร่อนจะไปตามรอยขีดหรือรอยขีดผิวก่อนเคลือบการกัดกร่อนแบบนี้เริ่มจากจุดหนึ่งบนผิวโลหะด้วยการซึมผ่านแบบออสโมซิส เพราะบริเวณนั้นมีไอออนเหล็ก (Fe^{2+}) เกิดขึ้นมาก่อนและมีความเข้มข้นสูง น้ำจากภายนอกจึงผ่านเข้ามาได้ในบริเวณส่วนหัว (Active Head) แต่ในส่วนช่องทางที่ใช้งานอยู่ (Active Tail) จะปรากฏสนิมเหล็กจะมีการซึมออกของน้ำออกไป ขณะนี้ออกซิเจนซึมผ่านแผ่นฟิล์มได้ทั่วผิว ในส่วนทางจะเกิดสภาพกรด จากการเกิดปฏิกิริยาของสนิมกับน้ำ ทำให้การกัดกร่อนเกิดการลุกลามได้ต่อไป



รูปที่ 2.9 การกัดกร่อนแบบใต้ชั้นเคลือบ [13]

2.2.12.1 การป้องกัน

- 1) เก็บชิ้นงานที่เคลือบผิวเสร็จแล้วในบริเวณที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ
- 2) เลือกวัสดุเคลือบผิวที่เหนียวเพราะจะช่วยให้ฟิล์มไม่แตกและการลุกลามไม่รุนแรง
- 3) เลือกใช้วัสดุเคลือบที่ยินยอมให้น้ำซึมผ่านได้น้อย

2.2.13 การกัดกร่อนแบบกราไฟต์ (Graphitic Corrosion) หรือ (Graphitization)

เป็นปัญหาของความเสียหายแบบการสูญเสียส่วนผสมบางตัว (Selective leaching) อีกรูปแบบหนึ่งที่เกิดกับเหล็กหล่อเทาเมื่อถูกใช้งานในสภาวะแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนพอสมควร (โดยสารละลายจะต้องไม่รุนแรงเกินไป) การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นโดยเนื้อเหล็กหล่อเทาที่ผิวชั้นนอก ถูกกัดกร่อนเหลือกราไฟต์ปรากฏให้เห็น จึงเข้าใจผิดเรียกว่าการผุกร่อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากเหล็ก (Graphitization) และบางคนก็เรียกผิด ๆ ว่า Graphitic corrosion สาเหตุก็เพราะว่าในเหล็กหล่อเทา กราไฟต์จะมีขั้วเป็นแคโทดเมื่อเทียบกับเนื้อเหล็กที่มีขั้วเป็นแอโนดเกิดการเกิดการสูญเสียส่วนผสมบางตัว (Selective leaching) โดยเนื้อเหล็กส่วนที่เป็นเนื้อโลหะหลัก (Matrix) เป็นขั้วแอโนด (Anode) ถูกละลายออกไป ส่วนที่เป็นร่างแหกราไฟต์ซึ่งคือคาร์บอน จะแสดงตัวเป็นแคโทด (Cathode) เหล็กจะถูกละลายออกไปเหลือมวลสารที่เป็นรูพรุนของสารประกอบเคมีที่ประกอบด้วย เหล็ก และออกซิเจน (Complex iron oxide) โดยผลจะทำให้เหล็กหล่อเทาสูญเสียความแข็งแรงไปมากและสูญเสียคุณสมบัติของโลหะไปด้วย แต่มีติภายนอกจะไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นถ้าไม่ตรวจสอบพบสภาพความบกพร่องก่อน จะเป็นสภาพที่ก่อให้เกิดอันตรายมาก และขั้นตอนการเกิดจะช้าถ้าอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีการกัดกร่อน สึกกร่อน (Corrosive) มาก ผิวทั้งหมดจะถูกชะละลายออกมา กลายเป็นการกัดกร่อนทั่วผิวหน้า (Uniform attack) ส่วนเหล็กหล่อกราไฟต์กลม (Nodular iron) และเหล็กหล่ออบเหนียว (Malleable iron) จะไม่เกิดการกัดกร่อนแบบกราไฟต์ (Graphitization) เพราะไม่มีร่างแหของกราไฟต์ที่จะช่วยพยุงเนื้อเหล็กหล่อส่วนที่เหลือให้คงรูปร่างไว้ได้ [13]

2.2.14 การวิเคราะห์อัตราการกัดกร่อนของวัสดุตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM G31-72[28]

2.2.14.1 ทำการชั่งน้ำหนักก่อนหลังการทดสอบเพื่อดูน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และบันทึกผลลงในตารางผลการทดลองวัสดุตัวอย่าง และทำกราฟของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

2.2.14.2 ทำการชั่งน้ำหนักหลังการกำจัดสนิมเพื่อดูน้ำหนักที่สูญเสีย และบันทึกผลลงในตารางผลการทดลองวัสดุตัวอย่าง และทำกราฟของน้ำหนักที่สูญเสีย

2.2.14.3 คำนวณหาอัตราการกัดกร่อนเป็นมิลลิเมตรต่อปี ดังสมการที่ 2.1 ดังนี้

$$\text{อัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate)} = \frac{K \times W}{A \times T \times D} \quad (2.1)$$

เมื่อ K คือ ค่าคงที่

W คือ น้ำหนักที่สูญเสีย

A คือ พื้นที่ (ตารางเซนติเมตร)

T คือ เวลา (ชั่วโมง)

D คือ ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

(ความหนาแน่นของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 คือ 7.94 ความหนาแน่นของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L คือ 7.98)

สามารถคำนวณได้ดังนี้ (วัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในน้ำสับประรด ชั้นที่ 7)

$$\text{แทนค่า Corrosion rate} = \frac{8,7600 \times 0.01}{19.18 \times 24 \times 6 \times 8}$$

$$\text{ฉะนั้น Corrosion rate} = 0.0396 \text{ มิลลิเมตรต่อปี}$$

2.3 น้ำผลไม้

องค์ประกอบทางเคมีของผักและผลไม้ [3]

2.3.1 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเซลล์ทุกชนิด ทำให้เซลล์ของพืชเต่งเนื้อเยื่อพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณน้ำแตกต่างกัน เช่น เนื้อเยื่อที่เป็นส่วนสะสมอาหารซึ่งมีปริมาณแป้งสูงจะมีปริมาณน้ำน้อย ผักและผลไม้ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยน้ำมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

2.3.2 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบทางเคมีที่มีมากเป็นที่สองรองจากน้ำมีทั้งที่อยู่ในรูปของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเช่น น้ำตาลชนิดต่าง ๆ และพวกที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงเช่น โพลีแซคคาไรด์ต่าง ๆ ผักและผลไม้จะมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ประมาณ 2-40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด เนื้อเยื่อบางชนิด เช่น แดงกวา มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำมาก ผักส่วนใหญ่มีคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่า 9 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักสดคาร์โบไฮเดรตที่อยู่ในรูปของโพลีแซคคาไรด์ ได้แก่ แป้ง ซึ่งเป็นส่วนที่พืชสะสมไว้ และมีเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิพิน และเพคติน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ นอกจากนั้นจะอยู่ในรูปของน้ำตาลซึ่งมีทั้งที่เป็นไดแซคคาไรด์ คือ น้ำตาลซูโครสและโมโนแซคคาไรด์ คือ น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโตส ซึ่งจะละลายอยู่ในส่วนของของเหลวในเซลล์คาร์โบไฮเดรตจำพวกแป้งและน้ำตาลเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานที่สำคัญแก่ร่างกายมนุษย์ดังนั้น ผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง มันเทศและแยม (Yam) จึงมีความสำคัญในแง่เป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต ส่วนน้ำตาลในผลไม้ทำให้รสชาติของผลไม้ดีขึ้น และยังเป็นแหล่งของพลังงานอีกด้วยคาร์โบไฮเดรตที่เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์เป็นส่วนที่ร่างกายย่อยไม่ได้ จะอยู่ในรูปของเส้นใย (Fiber) เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิพิน และเพคติน เป็นต้น สารประกอบเหล่านี้ร่างกายไม่มีเอนไซม์ช่วยสลาย ทำให้ถูกขับถ่ายออกมาเป็นของเสีย จึงมีความสำคัญต่อระบบการขับถ่ายของร่างกายเป็นอย่างมากแสดงชนิดและปริมาณน้ำตาลที่พบในผลไม้บางชนิด

2.3.3 น้ำตาล

ผลไม้และผักมีปริมาณน้ำตาลในปริมาณที่แตกต่างกันออกไป ตั้งแต่ น้อยมาก เช่น ในมะนาวจนถึงปริมาณที่สูงมากในผลอินทผลัมชนิดของน้ำตาลที่พบมากในผักและผลไม้คือกลูโคส

ฟรุกโตสและซูโครส ซึ่งในการศึกษามักจะรวมน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโตสเข้าด้วยกันแล้วเรียกว่า น้ำตาลรีดิวส์ซิง (Reducing Sugar) ในผลไม้ส่วนใหญ่มักจะมีน้ำตาลกลูโคสมากกว่าฟรุกโตส

2.3.4 น้ำส้ม [3]

ส้มเป็นผลไม้ตระกูล Citrus มีผลผลิตทั้งปีทำให้ทั้งรสเปรี้ยวและหวาน มีคุณค่าทางอาหารสูง ประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ มากมายคือ ให้วิตามินซีสูง แคลเซียม วิตามินเอ วิตามินบี 1 วิตามินบี 2 โปแทสเซียม แคลเซียม โยอาหาร ฟอสฟอรัส เหล็ก ซึ่งส้มแต่ละชนิดจะให้คุณค่าทางสารอาหารไม่ต่างกันมากนัก มีค่าความเป็นกรด 0.9 pH

น้ำส้มคั้นสดดื่มทุกวันเป็นประโยชน์ต่อร่างกายจำนวนมาก ได้แก่ เสริมสร้างกระดูก น้ำส้มสามารถให้แคลเซียม และวิตามินดีแก่ร่างกายได้ดีพอๆกับนม และแคลเซียมจะไปเสริมสร้างกระดูกคอลลาเจนในน้ำส้มช่วยซ่อมแซม ส่วนที่สึกหรอของร่างกาย ให้ผิวมีความยืดหยุ่น ไม่แห้งแตก และยังช่วยสมานแผลหลังผ่าตัด แผลไฟไหม้ ให้หายเร็วและแผลเรียบเนียนขึ้น ช่วยรักษาโรคหัวใจ นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยแห่งองตารีโอตะคั้นพบ สารอาหารในน้ำส้มจะช่วยลดคอเลสเตอรอลชนิดไม่ดี เพิ่มคอเลสเตอรอลส่วนดี ป้องกันหลอดเลือดหัวใจตีบได้ แล้วในน้ำส้มมีโพแทสเซียมสูง ช่วยลดความเป็นความดันโลหิตสูงและเส้นเลือดในสมองอุดตันได้ดี ช่วยป้องกันโรคมะเร็ง ผลในการวิจัยบอกว่าในเวลาที่เราคั้นน้ำส้ม เรามักจะผ่าส้มออกเป็นสองซีก แล้วคั้นจะมีรสชาติของเปลือกออกมาด้วย รสชาติที่ได้จากเปลือกส้มจะมีสาร ไลโมนอยด์ สามารถต้านมะเร็งในช่องปาก คอ ปอด กระเพาะอาหาร ลำไส้ ผิวหนัง ตับ และเต้านม เป็นต้น ป้องกันโรคนิว จากผลงานวิจัย ได้ศึกษาผลการดื่มน้ำส้มป้องกันการเกิดนิวไนโต การดื่มน้ำส้มคั้นจะเพิ่มปริมาณของสารซิเตรต ในน้ำปัสสาวะมีความเป็นกรดลดลง ลดการตกผลึกของกรดยูริก และแคลเซียมออกซาเลท ซึ่งเป็นส่วนจะทำให้เกิดก้อนนิวไนจึงลดความเสี่ยงในการเกิดโรคนิวไนโตได้

งานวิจัยในประเทศสหรัฐอเมริกา ศึกษาวิเคราะห์ประโยชน์ของส้มในการชะลอริ้วรอยแห่งวัยทำให้หน้าใส พบว่าเมื่ออายุเพิ่มมากขึ้น ร่างกายสังเคราะห์คอลลาเจนได้น้อยลง แต่ส้มมีคุณสมบัติช่วยเสริมสร้างคอลลาเจน ทำให้สุขภาพผิวดี ลบเลือนริ้วรอยแห่งวัยหน้าใส และยังช่วยสร้างกระดูกอ่อนให้แข็งแรงด้วย เบต้าแคโรทีนในผลส้ม เป็นสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งทำลายเซลล์ผิวหนังอันเป็นบ่อเกิดของความชรา เบต้าแคโรทีนจึงช่วยชะลอความเสื่อมทำให้ผิว เส้นผม และเล็บมีสุขภาพดี และยังช่วยให้ผนังหลอดเลือดและเส้นเลือดฝอยแข็งแรงหน้าใส ช่วยลดอาการเส้นเลือดฝอยแตกตามใบหน้า

2.3.5 น้ำสับปะรด [3]

สับปะรด เป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่ง มีถิ่นกำเนิดแถวทวีปอเมริกาใต้ ลำต้นสูงประมาณ 80-100 เซนติเมตร ปลูกได้ง่ายโดยใช้ส่วนยอดของผลฝังกลบดิน สับปะรดเป็นพืชในตระกูล Bromeliaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Ananas comosus มีค่าความเป็นกรด 1.8 pH

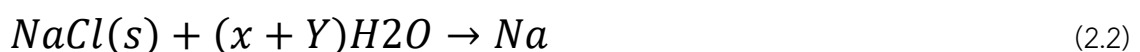
น้ำสับปะรด เป็นน้ำที่ได้จากการคั้นสับปะรดสด มีคุณประโยชน์ต่อร่างกายมากมายหลายประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีเอนไซม์ย่อยโปรตีน ชื่อ Bromelain ซึ่งช่วยย่อยโปรตีนไม่ให้ตกค้างในลำไส้ นอกจากนี้ยังมีเกลือแร่และวิตามินซี เป็นจำนวนมาก

น้ำสับปะรด ประกอบไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งได้แก่ วิตามินซี สารเบต้าแคโรทีน และแมงกานีส ซึ่งช่วยป้องกันอันตรายจากอนุมูลอิสระ ที่จะทำลายเซลล์ของร่างกาย สาร Bromelain เป็นเอนไซม์ ที่ช่วยย่อยโปรตีน ทำให้ร่างกายสามารถดูดซึมได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังเชื่อว่า สาร Bromelain ช่วยลดอาการบวม และการอักเสบจากอาการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อ และการที่ Bromelain สามารถสลายลิ่มเลือด หรือลดการจับตัวของเกล็ดเลือดได้นั้น สามารถ

ในน้ำสับปะรดยังประกอบไปด้วย โยอาอาหาร ซึ่งช่วยในหารย่อยอาหาร ช่วยการเคลื่อนตัวของลำไส้ แมกนีเซียม ในน้ำสับปะรด ช่วยเสริมสร้างกระดูกและเนื้อเยื่อส่วนแคลเซียมก็ช่วยในการเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับกระดูกและฟัน

2.4 สายละลายโซเดียมคลอไรด์ [15]

โซเดียมคลอไรด์เป็นสารประกอบไอออน ประกอบไปด้วยไอออนยึดติดเหนียวกันอยู่ภายใต้แลคทิกซ์ ผลึกด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าระหว่างประจุต่างชนิด ในการที่สายละลายจำพวกนี้จะละลายลงไป ในสายละลายได้ ไอออนบวกไอออนลบเหล่านี้ต้องแยกออกจากกัน เมื่อใส่โซเดียมคลอไรด์ลงไป ในน้ำ โมเลกุลของน้ำเป็นโมเลกุลมีขั้วไดโพล คือ เหมือนกับมีสองขั้วเป็นขั้วบวกและขั้วลบ เมื่อก้อนแข็งไอออนอยู่ในน้ำจะเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้ำกับไอออนของของแข็งบางโมเลกุลก็หันด้านที่เป็นบวก (ด้านไฮโดรเจน) เข้าหาไอออนลบที่อยู่ตามผิวงานของของแข็งหันด้านที่เป็นลบ (ด้านออกซิเจน) เข้าหาไอออนบวก ไอออนบวกไอออนลบ ถูกโมเลกุลน้ำเข้ามาห้อมล้อมดึงดูดและแรงดึงดูดหลุดไปอยู่กับโมเลกุล น้ำกลายเป็นไอออนที่ถูกไฮเดรต ดังสมการที่ 2.2 ดังนี้



2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อนของวัสดุ [16]

อัตราการกัดกร่อนของโลหะผสมนิกเกิล-เหล็กจะให้ข้อมูลพื้นฐาน เช่น อัตราการสูญเสียความหนาของ โลหะ และพฤติกรรมการสร้างชั้นป้องกัน ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการผลิตอุปกรณ์อ่าน และบันทึกข้อมูลในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อลดการกัดกร่อนที่อาจเกิดขึ้นได้ การศึกษาอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสมนิกเกิล-เหล็กสามารถทำได้ด้วยวิธีการ ทางเคมีไฟฟ้าโดยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกโพลาริเซชัน อย่างไรก็ตามการนำโลหะผสมที่อยู่ในอุปกรณ์อ่านและบันทึกข้อมูล จจริงออกมาเพื่อทดสอบนั้นไม่สามารถทำได้เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีขนาดเล็กมากในระดับนาโนเมตร การสร้างโลหะผสม นิกเกิล-เหล็กจำลองจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการผลิตชิ้นงานตัวอย่าง เพื่อการศึกษาอัตราการกัดกร่อน งานวิจัยนี้จะสร้างโลหะ ผสมนิกเกิล-เหล็กที่สัดส่วนเชิงมวลต่าง ๆ กัน โดยการเคลือบผิวด้วยไฟฟ้าลงบน โลหะทองแดง จากนั้นนำโลหะผสมที่เคลือบ ผิวได้มาทำการหาอัตราการกัดกร่อนในน้ำปราศจากไอออน และน้ำปราศจากไอออนที่ปรับค่า pH ให้เท่ากับ 2 และ 5 ด้วยกรด ไฮโดรคลอริก นอกจากนี้สารละลาย จะถูกทำให้อิ่มตัวด้วยอากาศ โดยออกซิเจนจะสามารถเข้าร่วมในปฏิกิริยาการกัดกร่อนได้ด้วย ต่างจาก งานวิจัยทางด้านกรกัดกร่อนโดยทั่วไปที่ใช้ก๊าซเฉื่อยเพื่อกำจัดออกซิเจนออกจากกระบวนการวัด ซึ่งวิธี วัดการกัดกร่อนในงานวิจัยนี้จะคล้ายคลึงกับการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นจริงกับอุปกรณ์อ่านและบันทึกข้อมูล ในกระบวนการผลิต ซึ่งอยู่ใน สภาพอากาศที่มีออกซิเจนปกติซึ่งพบว่าอัตราการกัดกร่อนของโลหะผสม Ni-Fe มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มสัดส่วน เชิงมวลของ Fe

2.5.1 อุณหภูมิ

2.5.1.1 สารละลายที่มีปริมาณคลอไรด์ต่ำ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ออกซิเจนจะละลายใน สายละลายได้น้อยลงทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลง

2.5.1.2 สารละลายที่มีปริมาณคลอไรด์สูง เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อัตราการกัดกร่อนไม่ ลดลง แม้ออกซิเจนจะละลายในสายละลายได้น้อยลงก็ตาม

2.5.2 ค่าความเป็นกรดต่าง

2.5.2.1 สารละลายที่มีค่าความเป็นกรดต่างที่มีน้อยกว่า 4 หรือมีค่าความเป็นกรดมาก ขึ้น หรือมีค่าความเป็นกรดต่างยิ่งต่ำ อัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วค่าที่มีค่าความเป็นกรดต่าง มากกว่า 4 ปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้น คือรีดักชันของออกซิเจนความเร็วของปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเร็ว ของการแพร่ของออกซิเจนซึ่งเป็นไปอย่างช้า

2.5.2.2 ค่าความเป็นกรดต่างน้อยกว่า 4 ปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้น คือ รีดักชันของ ไฮโดรเจน อีออน ผลของปฏิกิริยา คือ ก๊าซไฮโดรเจนไฮโดรเจนอีออนมีอยู่มากเนื่องจากเป็นกรด ดังนั้น ปฏิกิริยาการกัดกร่อนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว

การวัดค่า pH จะเริ่มตั้งแต่ pH 0 ถึง pH 14 โดยมีการวัดภาวะความเป็นกรดของ pH (0-6) หรือภาวะความเป็นด่าง (8-14)

2.5.3 การเชื่อม

การเชื่อมสแตนเลสชนิดออสเทนนิติก เทคนิคการเชื่อมสามารถทำได้หลายวิธี วิธีการเชื่อมที่ใช้ความร้อนสูงและมีอัตราการเย็นตัวของสแตนเลสลงอย่างช้าๆ ทำให้ความต้านทานการกัดกร่อนลดลงในบริเวณที่ถูกความร้อน (HAZ) ใกล้กับบริเวณรอยเชื่อม อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนตามขอบเกรนตรงรอยเชื่อมขึ้นได้

2.6 การประเมินผลพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะจากเส้นโค้งโพลาไรเซชัน (Polarization Curve) [17]

การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้า (Electrochemical technique) เป็นวิธีหนึ่งซึ่งช่วยประเมินอัตราการกัดกร่อนได้ดีและเร็ว และเป็นการจำลองการเกิดกระบวนการกัดกร่อนของโลหะ โดยปกติแล้วการเกิดการกัดกร่อนเป็นปฏิกิริยาทางกายภาพของโลหะกับสภาพแวดล้อมรอบๆ โลหะ ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทประจุไฟฟ้าหรือแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนในสารละลายของน้ำ เรียกว่า ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrochemical reaction) การเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อนเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน เมื่อน้ำหรือสารละลายที่สัมผัสกับโลหะ หลักการของการทดสอบการกัดกร่อนโลหะโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า คือการป้อนศักย์ไฟฟ้าแรงการกัดกร่อน โดยใช้เครื่อง Potentiostat/Galvanostat ในสถานะที่มีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทำหน้าที่เป็นทางเดินของไอออน และเป็นการเชื่อมต่อเซลล์เคมีไฟฟ้า (Electrochemical cell) ดังรูปที่ 2.10 ทำให้เราสามารถคำนวณหาอัตราการกัดกร่อนได้

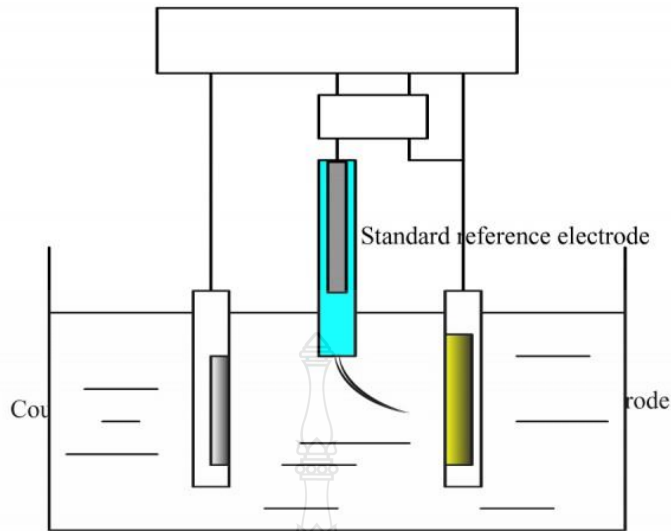
2.6.1 เซลล์เคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนของโลหะประกอบไปด้วย

2.6.1.1 ขั้วทำงาน (Working electrode หรือ Specimen electrode) เป็นขั้วแอโนด ก็คือชิ้นตัวอย่างทดสอบ เป็นขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและให้อิเล็กตรอน

2.6.1.2 ขั้วมาตรฐานอ้างอิง (Standard reference electrode) เป็นขั้วแคโทด (Cathode) ที่เกิดปฏิกิริยารีดักชันและรับอิเล็กตรอน เช่น SCE (Saturated calomel electrode) หรือ Ag/AgCl ที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าคงที่

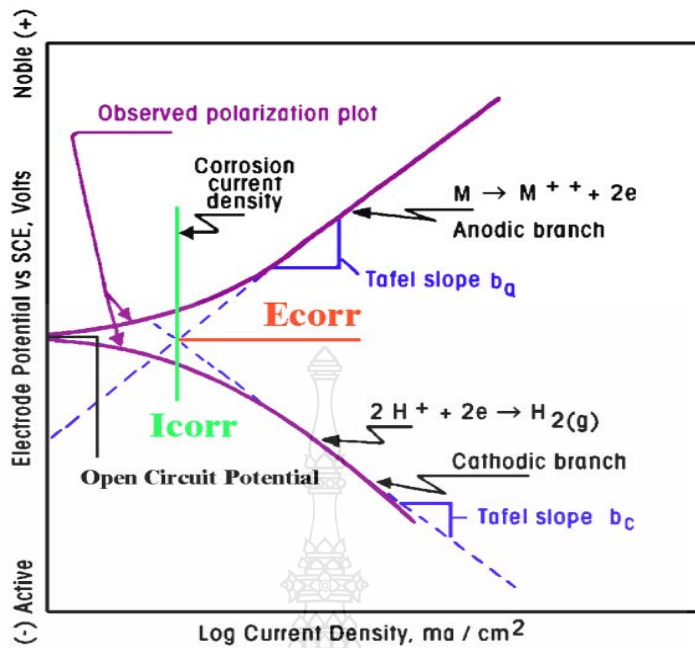
2.6.1.3 ขั้วอิเล็กโทรดกระแส (Counter electrode) มักจะใช้โลหะที่เสถียร เช่น แพลตินัม หรือ กราไฟต์ หรือ เหล็กกล้าไร้สนิม

2.6.1.4 สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ซึ่งเป็นทางเดินของไอออน

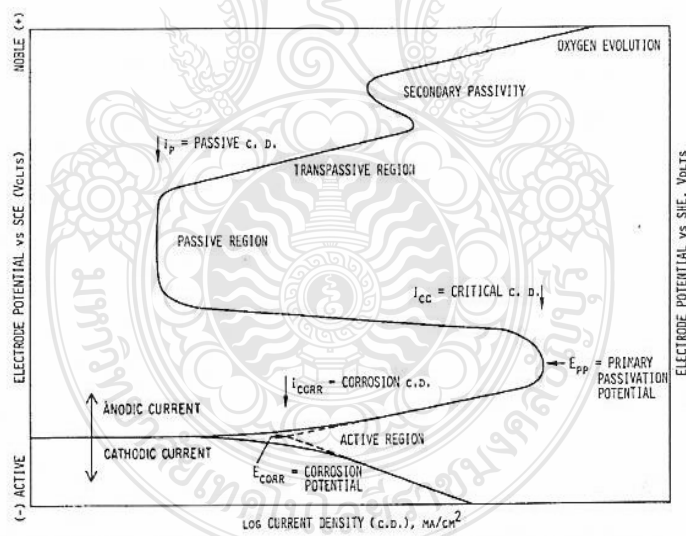


รูปที่ 2.10 เซลล์เคมีไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบการกัดกร่อน [17]

ค่าที่วัดได้จากการทดสอบ ได้เป็นเส้นโค้งโพลาริเซชัน (Polarization curve) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า เมื่อป้อนศักย์ไฟฟ้าจนกระทั่งโลหะเริ่มเกิดการกัดกร่อนเราเรียกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential, E_{corr}) ที่จุดนี้ก็จะได้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density, I_{corr}) ด้วย ซึ่งนำไปคำนวณหาอัตราการกัดกร่อน แสดงดังรูปที่ 2.11 ในขณะเดียวกันถ้าโลหะที่มีฟิล์มพาสซีฟ (Passive film) ที่ทนต่อการกัดกร่อน เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม ถ้าป้อนศักย์ไฟฟ้าต่อไปอีกโลหะนั้นสร้างฟิล์มพาสซีฟ (Passive film) เพื่อป้องกันการกัดกร่อนทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าคงที่หรือลดลง ในขณะที่ป้อนศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่งที่ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าเริ่มเพิ่มขึ้นอีกครั้ง แสดงว่าเกิดการแตกของฟิล์มพาสซีฟ (Passive film) เป็นรูเข็ม (Pitting) นั่นคือค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting potential, E_p) และค่ากระแสไฟฟ้าพาสซีฟ (Passive current density, I_p) แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 เส้นโค้งโพลาริเซชันสำหรับการกัดกร่อน แบบทั่วไปของโลหะ (ASTM G 3) [17,25]



รูปที่ 2.12 เส้นโค้งโพลาริเซชันสำหรับการกัดกร่อนที่เกิดฟิล์มพาสซีฟ (Passive film) คลุ่มทั่วไปของโลหะ (ASTM G 3) [17,25]

2.6.2 ลักษณะของเส้นโค้งโพลาริเซชัน (Polarization curve) แสดงพฤติกรรมกัดกร่อนของโลหะมีรายละเอียดดังนี้

2.6.2.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential, E_{corr}) เป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่โลหะเริ่มเกิดการกัดกร่อน ซึ่งถ้าโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนต่ำจะไวต่อการกัดกร่อนมากกว่าโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนสูง

2.6.2.2 ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density, I_{corr}) เป็นค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่จุดเกิด E_{corr} โดยค่า I_{corr} แสดงถึงการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้า (Uniform corrosion) และสามารถนำมาคำนวณหาค่าอัตราการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้าต่อปีของตัวอย่างทดสอบได้ จากสูตรดังสมการที่ 2.3 ดังนี้

$$\text{อัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate)} = \frac{k \times I_{corr} \times EW}{A \times D} \quad (2.3)$$

k คือ ค่าคงที่ของการคำนวณเปลี่ยนหน่วยต่างๆ เช่น มีค่า 0.13 ถ้าอัตราการกัดกร่อนมีหน่วย มิลต่อปี (Mil per year, mpy) หรือมีค่า 0.00327 ถ้าหน่วย มิลลิเมตรต่อปี (Millimeter per year, mm/y)

I_{corr} คือ ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density) หน่วยเป็นไมโครแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

EW คือ ค่ามวลสมมูล (Equivalent weight) ของโลหะตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบ ถ้าโลหะผสมต้องคำนวณตามสัดส่วน

A คือ พื้นที่ผิวของโลหะตัวอย่าง หน่วยเป็นตารางเซนติเมตร (cm^2)

D คือ ความหนาแน่นของโลหะตัวอย่าง หน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร (g/cm^3)

2.6.2.3 ค่าศักย์ไฟฟ้าขณะที่เกิดฟิล์มที่ผิว (Primary passivation potential, E_{pp}) เป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่โลหะเกิดฟิล์มพาสซีฟ (Passive film) คลุมทั่วผิวหน้าโลหะ ซึ่งมีผลให้เกิดการกัดกร่อนน้อยลง

2.6.2.4 ค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting potential, E_p) เป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่โลหะเกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting) ซึ่งพบในโลหะที่สามารถสร้างฟิล์มพาสซีฟ (Passive film) ที่ทนต่อการกัดกร่อน เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม

2.6.3 ตัวอย่างเส้นโค้งโพลาริเซชัน (Polarization curve) และประเมินผลของการทดสอบแผ่นอะลูมิเนียมในสารละลายกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, 1N H_2SO_4) รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 2.14

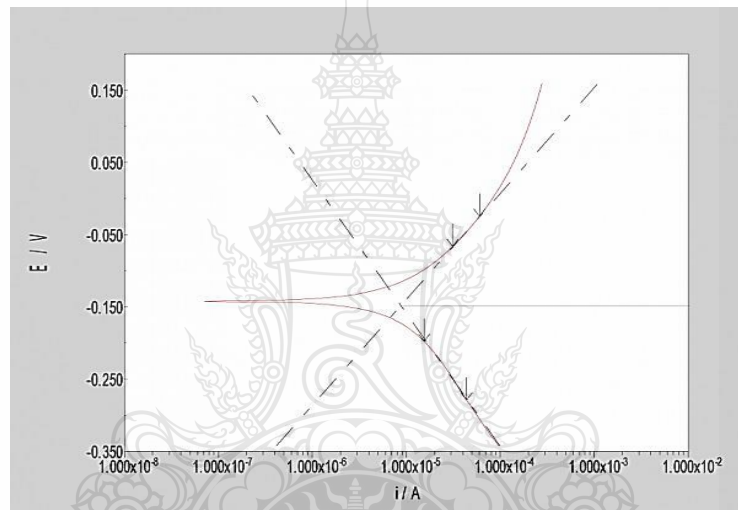
2.6.3.1 จากเส้นโค้งโพลาริเซชัน (Polarization curve) ประเมินผลได้ดังนี้

1) ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential, E_{corr}) = - 0.142 V

2) ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density, i_{corr}) = $81 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

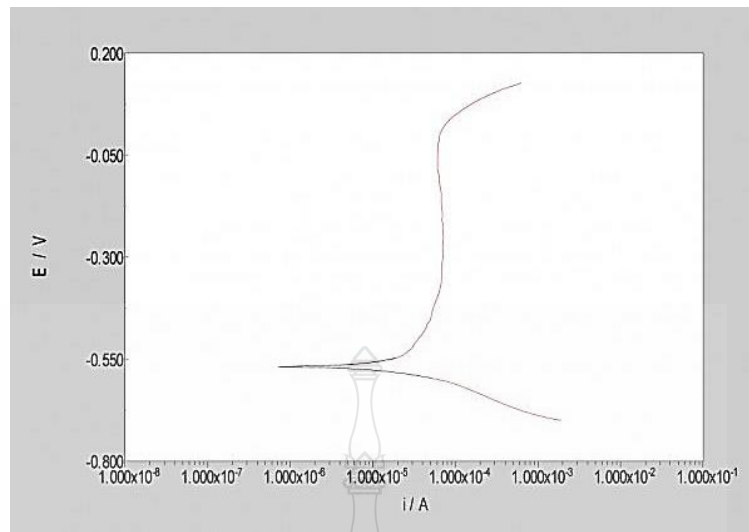
2.6.3.2 ข้อมูลของโลหะตัวอย่าง

- 1) ค่ามวลสมมูล (Equivalent weight) ของอะลูมิเนียม = 99 g.
- 2) พื้นที่ผิวของโลหะตัวอย่าง = 1 cm^2
- 3) ความหนาแน่นของอะลูมิเนียม = $7 \text{ g}/\text{cm}^3$
- 4) คำนวณหาอัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate) = $(k \times i_{\text{corr}} \times \text{EW}) / (A \times D)$
- 5) อัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียม = $0.15 \text{ mm}/\text{y}$



รูปที่ 2.13 เส้นโค้งโพลาริเซชัน (Polarization curve) ของการกัดกร่อนของแผ่นอะลูมิเนียมในสารละลายกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid, $1\text{N H}_2\text{SO}_4$) และอัตราการกัดกร่อนของอะลูมิเนียม [17]

2.6.4 ตัวอย่างเส้นโค้งโพลาริเซชัน (Polarization curve) ที่เกิดฟิล์มพาสซีฟ (Passive film) และประเมินผลค่าศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดแบบรูเข็ม จากการทดสอบแผ่นสแตนเลส ทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (5% NaCl) แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 เส้นโค้งโพลาริเซชัน (Polarization curve) ของการกัดกร่อนของแผ่นสแตนเลส ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ (5% NaCl) ที่เกิดฟิล์มพาสซีฟ (Passive film) [17]

2.6.4.1 เส้นโค้งโพลาริเซชัน (Polarization curve) ที่เกิดฟิล์มพาสซีฟ (Passive film) ประเมินผลได้ดังนี้

ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting potential, E_p) = 0.12 V

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 Almeida และ Morcillo [18] ศึกษาการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อเกลยของวัสดุเหล็กกล้าอิลเลกโทรลิวาไนซ์ หรือ เหล็กกล้าเคลือบสังกะสีด้วยวิธีการทางเคมีไฟฟ้า โดยการทดสอบในสภาวะพ่นน้ำเกลือ (Salt Spray Test) และทำการศึกษากลไกการเกิดการกัดกร่อนภายในรอยต่อเกลย หลังจากทำการพ่นน้ำเกลือพบว่าคลอไรด์ไอออน (เกลือ) เกาะอยู่บริเวณรอยต่อเกลยบริเวณที่ไม่มีออกซิเจน เพื่อทำให้เกิดความสมดุลภายในพื้นที่แคบและก่อให้เกิดการกัดกร่อนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเกิดกรดไฮโดรคลอริก

2.7.2 Almeida และ Morcillo [19] ศึกษาการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อเกลยของวัสดุเหล็กกล้ากัลวานิก หรือเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี โดยการทดสอบในสภาวะพ่นน้ำเกลือ (Salt Spray Test) และทำการศึกษากลไกการเกิดการกัดกร่อน ภายในรอยต่อเกลยระหว่างเหล็กกล้ากัลวานิกหลังจากทำการพ่นน้ำเกลือพบว่ากลไกการเกิดการกัดกร่อนมีลักษณะเดียวกันกับรอยต่อเกลยระหว่างเหล็กกล้าอิลเลกโทรลิวาไนซ์ ภายในพื้นที่แคบๆ พบสังกะสีออกไซด์ก่อตัวขึ้น และพบการก่อตัวขึ้นของกรดไฮโดรคลอริกเช่นเดียวกับรอยต่อเกลย

ระหว่างเหล็กกล้าอัลลอยด์โครมไนซ์ อย่างไรก็ตามอัตราการเกิดการกัดกร่อนมีค่าน้อยกว่ารอยต่อเกาะระหว่างเหล็กกล้าอัลลอยด์โครมไนซ์

2.7.3 Almeida และ Morcillo [20] ศึกษาการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อเกาะระหว่างวัสดุเหล็กกล้าอัลลอยด์โครมไนซ์และเหล็กกล้าคาร์บอนิก โดยการทดสอบในสถานะพ่นน้ำเกลือ (Salt Spray Test) และทำการศึกษากลไกการเกิดการกัดกร่อน ภายในรอยต่อเกาะระหว่างวัสดุเหล็กกล้าอัลลอยด์โครมไนซ์ และเหล็กกล้าคาร์บอนิก หลังจากทำการพ่นน้ำเกลือ พบว่าการเกิดการกัดกร่อนภายในรอยต่อเกาะระหว่างวัสดุเหล็กกล้าอัลลอยด์โครมไนซ์และเหล็กกล้าคาร์บอนิกมีค่าที่แตกต่างกัน อัตราการกัดกร่อนมีค่าลดลง เหล็กกล้าคาร์บอนิกเพิ่มขึ้น

2.7.4 Chico และคณะ [21] ศึกษาการเกิดการกัดกร่อนในรอยต่อที่ใช้ในงานก่อสร้างระหว่างเหล็กกล้าเคลือบผิว เช่น เหล็กที่ผ่านการทาสี การจุ่มชุบเคลือบผิวสังกะสี โดยการทดสอบในสถานะพ่นน้ำเกลือ (Salt Spray Test) ในรอยต่อเกาะ พบการกัดกร่อนที่มีความแตกต่างกัน ในรอยต่อเกาะของเหล็กกล้าเคลือบผิวด้วย 55% Al-Zn การกัดกร่อนเกิดในบริเวณที่มีปริมาณของสังกะสีมากจนกระทั่งถึงผิวของเหล็กกล้า ขณะที่บริเวณที่มีอะลูมิเนียมไม่เกิดการกัดกร่อน ในรอยต่อเกาะที่เคลือบด้วยผิวเคลือบผสมระหว่างโลหะและสารอินทรีย์ให้ค่าอัตราการกัดกร่อนปานกลางในสถานะปกติ อย่างไรก็ตามในสถานะที่มีการเร่งการทดลอง การกัดกร่อนเริ่มเกิดในรอยต่อเกาะและขยายไปที่พื้นที่ที่ไม่ใช่รอยต่อเกาะภายใต้ผิวเคลือบ

ข้อมูลการวิจัยด้านบนพบว่าการศึกษาอัตราการกัดกร่อนของรอยเชื่อมทิกทอต่อระหว่างท่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด AISI304 และ AISI316L ไม่ได้มีรายงานไว้ และการทดสอบส่วนใหญ่เป็นการทดสอบในสารละลายมาตรฐานเท่านั้น หากมีการรายงานผลการทดสอบการกัดกร่อนของรอยต่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิดนี้ในน้ำผลไม้ที่กำหนดมีการศึกษาอาจเป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้งานในงานอุตสาหกรรม การผลิตน้ำผลไม้ได้ โครงการวิจัยนี้จึงมีกรอบแนวคิดในการศึกษาอัตราการกัดกร่อนของรอยเชื่อมทิกทอต่อระหว่างท่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด AISI304 และ AISI316L โดยทำการศึกษาอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อว่าตำแหน่งใดมีอัตราการกัดกร่อนสูงสุด เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประยุกต์ใช้ต่อไป

บทที่ 3

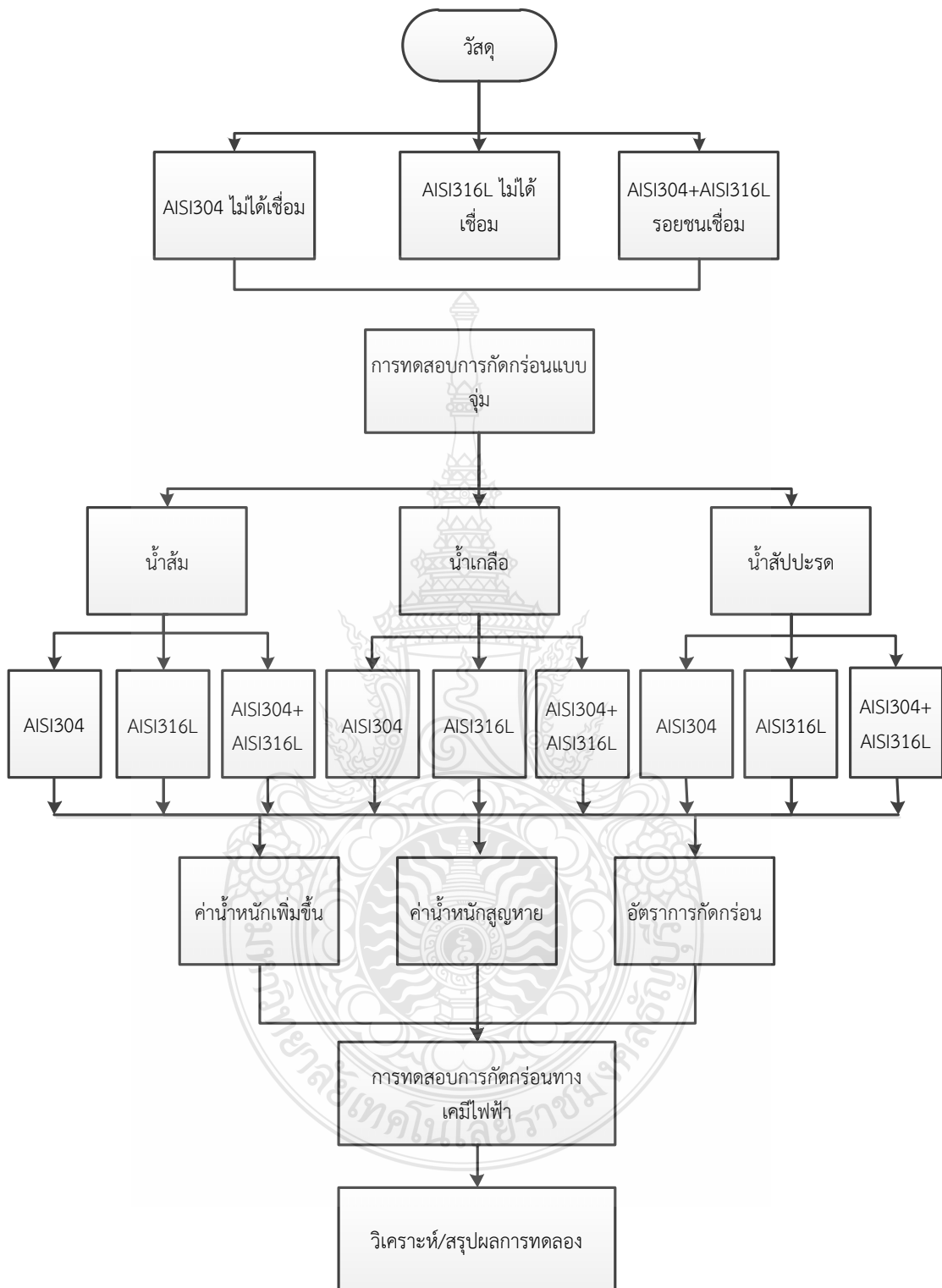
วิธีดำเนินการ

3.1 แผนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยการทดสอบโดยใช้หลักการทดสอบการกัดกร่อนของโลหะ ในการดำเนินงานการเสื่อมสภาพของสมบัตินรอยต่อชนเชื่อมท่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสัปะรด โดยวิธีการทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่ม

การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้า วิเคราะห์ผลจากกราฟของเส้นโค้งโพลาริเซชัน เพื่อหาค่าศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน และหาอัตราการกัดกร่อน แชนในสารละลาย 3.5% NaCl ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งการทดลองนี้ได้กำหนดแผนกิจกรรมการดำเนินงานให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย มีรายละเอียดดำเนินงาน วิธีการดำเนินการวิจัย ตามลำดับ ดังนี้





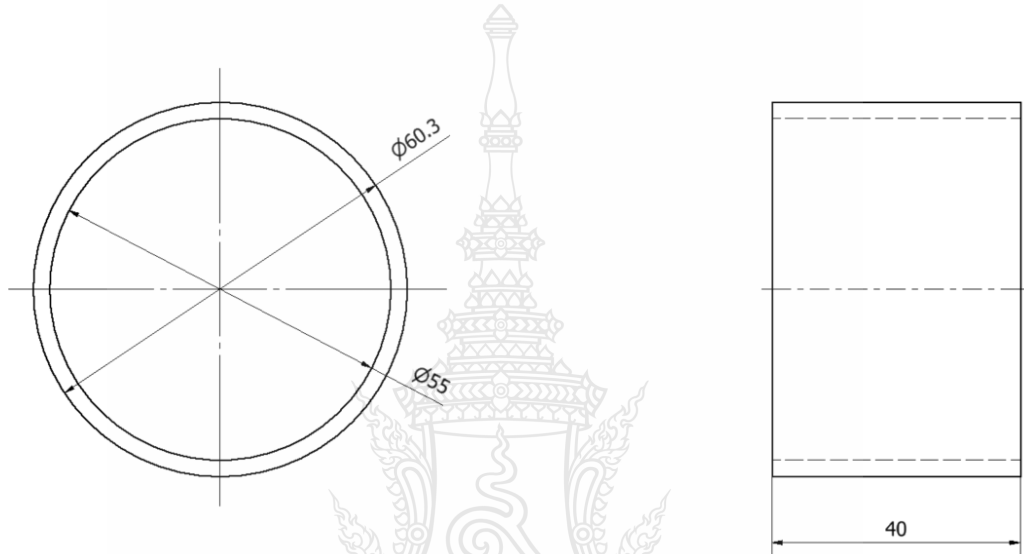
รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่มเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L

3.2.1.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 เป็นท่อทรงกระบอกโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60.3 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร และหนา 2.8 มิลลิเมตร

3.2.1.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L เป็นท่อทรงกระบอกโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 60.3 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร และหนา 2.8 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.2



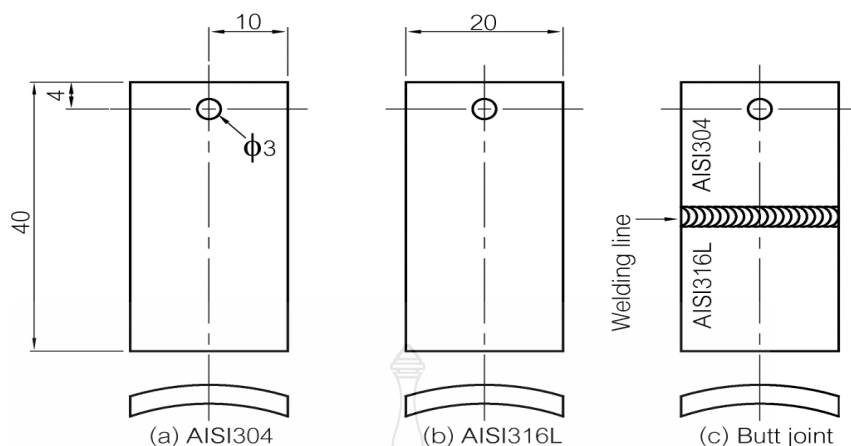
รูปที่ 3.2 ขนาดของชิ้นงานแบบไม่เชื่อม

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L

ชนิดของโลหะ	ส่วนผสมทางเคมี (ร้อยละโดยน้ำหนัก)					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo
AISI304	0.025	0.41	1.14	1.14	16.9	0.02
AISI316L	0.062	0.584	1.70	18.43	12.41	2.05

3.2.1.3 ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ทำการตัดด้วยเลื่อยที่มีการหล่อเย็น โดยตัดเป็นความยาวเพื่อขนาด 42 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.2

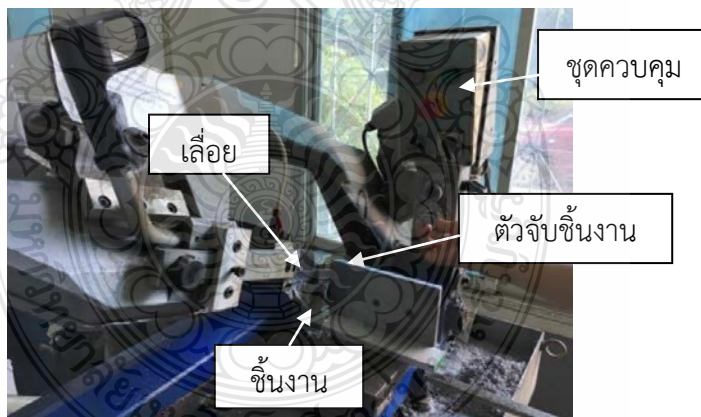
3.2.1.4 ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม ตัดขนาดให้ได้ความกว้าง 20 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดและหนา 2.8 มิลลิเมตร จำนวน 340 ชิ้น ทั้งท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ทำการเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร บริเวณปลายวัสดุทั้งสองชนิด จำนวน 1 รูต่อชิ้น ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขนาดวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L

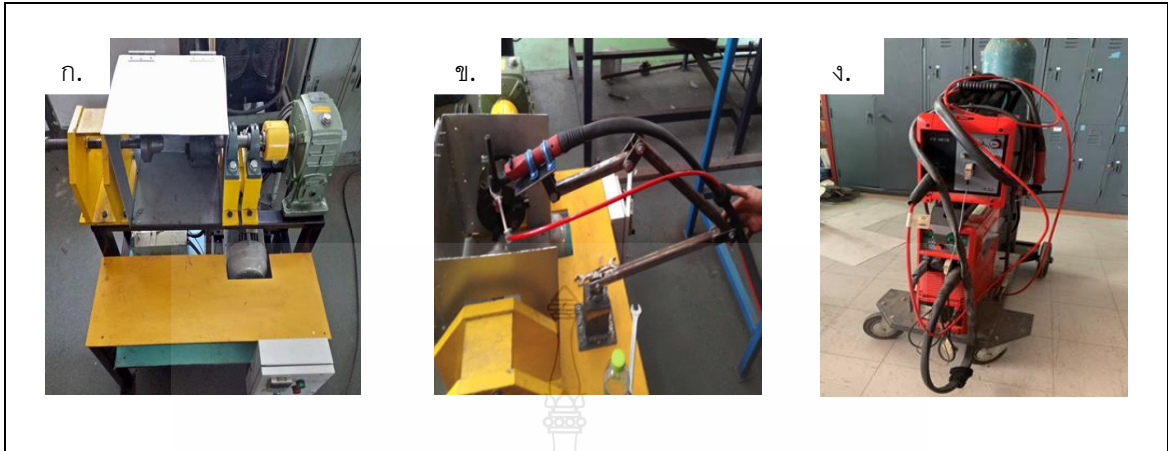
3.2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่มรอยต่อเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L

3.2.2.1 ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ทำการตัดด้วยเลื่อย โดยตัดเป็นความยาวเพื่อขนาด 22 มิลลิเมตร และหนา 2.8 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.4 การตัดชิ้นงาน

3.2.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อม



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ

ก. อุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน ถูกออกแบบเพื่อสำหรับการจับชิ้นงานที่เป็นท่อ หลักการทำงานของอุปกรณ์ เมื่อจับชิ้นงานแล้วหัวจับยึดหมุน โดยสามารถปรับความเร็วรอบได้

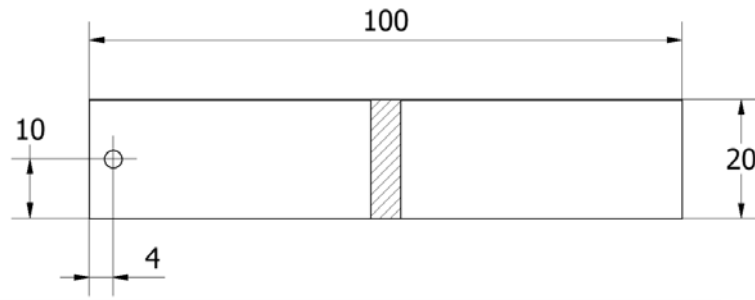
ข. อุปกรณ์จับยึดหัวเชื่อม ออกแบบมาเพื่อยึดหัวเชื่อมให้อยู่กับที่ ใช้ในการเชื่อมอัตโนมัติ โดยสามารถปรับความสูง ระยะห่างจากชิ้นงาน และองศาที่ใช้เชื่อมแก๊สปกคลุม ที่ใช้ในการทดลอง คือ 99.99% Ar

ค. เครื่องเชื่อม Fronius รุ่น MagicWave 2200

3.2.2.3 ขั้นตอนการเชื่อมชิ้นงาน

1) ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L เชื่อมโดยการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สคลุม หรือการเชื่อมทิก การเชื่อมเดินแนวรอบท่อโดยท่อถูกยึดอยู่โดยตัวจับชิ้นงาน ท่อชิ้นงานถูกหมุน ชิ้นงานเคลื่อนที่จากตำแหน่ง 1G (ท่าราบ) ตามเส้นรอบวง และสิ้นสุดที่จุดเริ่มต้นโดยเชื่อมที่กระแสเชื่อม 135 A ความเร็ว 150 มิลลิเมตรต่อนาที

2) วัสดุรอยต่อเชื่อมท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ที่ได้จากการเชื่อม ถูกตัดให้ได้ขนาดกว้าง 20 มิลลิเมตร ยาว 40 มิลลิเมตร เจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร บริเวณปลายวัสดุของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 จำนวน 1 รูต่อชิ้น ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ขนาดวัสดุตัวอย่างที่มีรอยเชื่อม (หน่วย:มิลลิเมตร)

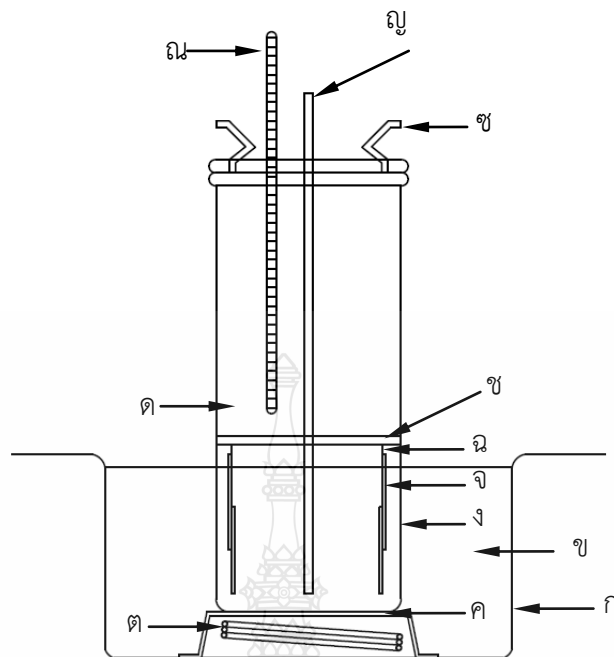
3) ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ถูกตัด และถูกขัดรอยเย็นด้วยกระดาษทราย ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ชิ้นงานที่ผ่านการขัดแบบจานหมุนใช้กระดาษทราย

3.3 การทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่ม

3.3.1 การออกแบบชุดการทดสอบการกัดกร่อนตามมาตรฐาน ASTM G31-72 [22] ดังรูปที่ 3.8

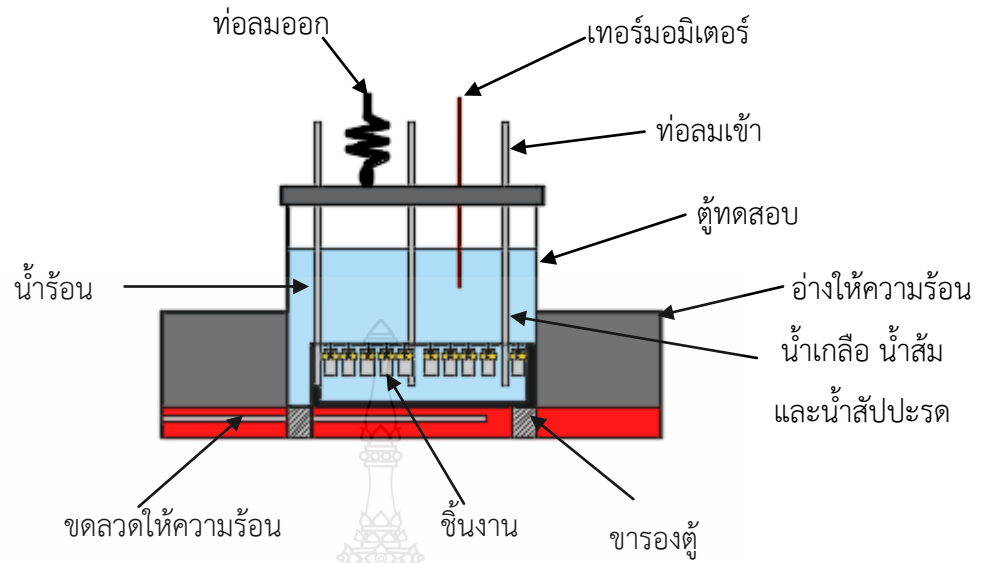


รูปที่ 3.8 ชุดทดสอบการกัดกร่อน (ก) อ่างให้ความร้อน (ข) น้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสัปเปอร์ด (ค) ขารองตู้ (ง) ตู้ทดสอบ (จ) วัสดุตัวอย่าง (ฉ) ตะขอแขวน (ช) ที่แขวนชิ้นงาน (ซ) ท่อระบายอากาศออก (ญ) ท่อลมเข้า (ณ) เทอร์โมมิเตอร์ (ด) น้ำทดสอบ (ต) ขดลวดให้ความร้อน [22]

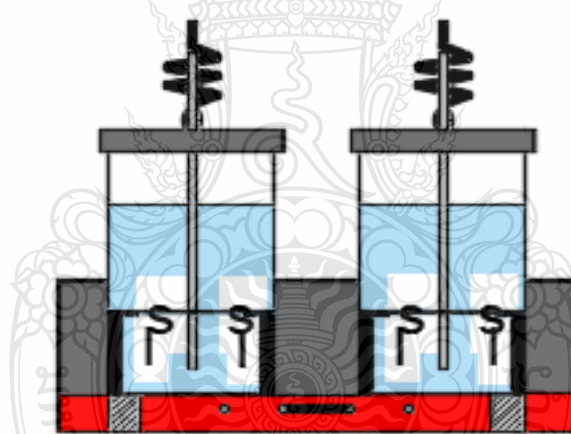
3.3.1.1 การออกแบบชุดทดลองการกัดกร่อนตามมาตรฐาน ASTM G31-72 นั้นได้มีการนำชุดทดสอบนี้มาทำการประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบการกัดกร่อนดังนี้

3.3.2 จัดทำตู้ทดสอบการกัดกร่อน

3.3.2.1 ออกแบบตู้ทดสอบการกัดกร่อนตามมาตรฐาน ASTM G31-72 ดังรูปที่ 3.9



(ก) ภาพด้านหน้ากล่องควบคุมอุณหภูมิ



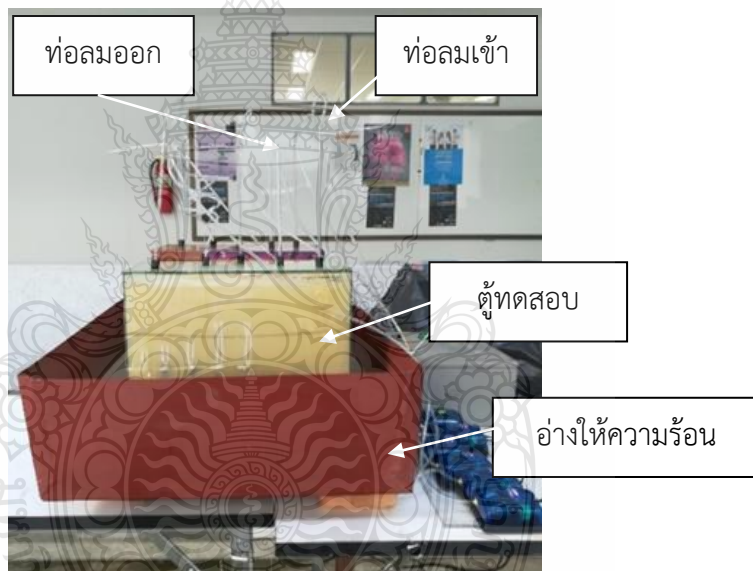
(ข) ภาพด้านข้างกล่องควบคุมอุณหภูมิ

รูปที่ 3.9 แบบตู้ทดสอบการกัดกร่อน

3.3.2.2 เตรียมตู้กระจกขนาด 20 ลิตร กว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร สูง 300 มิลลิเมตร พร้อมทั้งติดตั้งกันอากาศเข้าและอากาศออก ตามบริเวณขอบฝา

3.3.2.3 ทำฝาของตู้กระจกโดยตัดแผ่นอะคริลิก ขนาดกว้าง 200 มิลลิเมตร ยาว 400 มิลลิเมตร สูง 5 มิลลิเมตร และทำการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร จำนวน 5 รู เพื่อใช้ในสำ สำหรับติดตั้ง เทอร์โมมิเตอร์ 1 รู ท่อนำอากาศเข้า 3 รู และท่อนำอากาศออก 1 รู

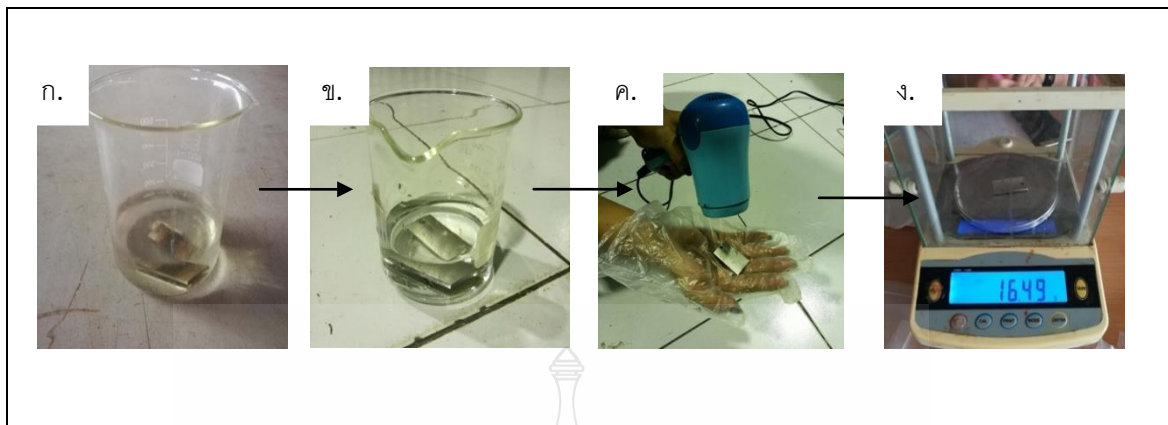
- 3.3.2.4 ทำการตัดท่อระบายอากาศให้เป็นเกลียวเพื่อป้องกันการระเหยออกของไอน้ำ
- 3.3.2.5 ตัดสายยางยาว 500 มิลลิเมตร จำนวน 6 เส้น โดยนำสายยางสวมเข้ากับเครื่องปั๊มลมขนาดเล็กมีขนาดความดันเท่ากับ 0.012 Mpa ส่วนปลายสายยางอีกด้านต่อเข้ากับท่ออากาศเข้า
- 3.3.2.6 จุกยาง สวมอัดเข้าไปในรูของฝาปิดที่เจาะรูไว้สำหรับใส่จุกยาง 5 รู
- 3.3.2.7 เทอร์โมมิเตอร์ ท่ออากาศเข้า และท่อระบายอากาศออก ใส่เข้าไปในรูของจุกยาง
- 3.3.2.8 อุปกรณ์สำหรับแขวนวัสดุตัวอย่างทดลอง โดยการตัดแผ่นอะคริลิกขนาด กว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 380 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชั้น และทำการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร จำนวน 40 รู ทำขาตั้ง ขนาดกว้าง 15 มิลลิเมตร ยาว 15 มิลลิเมตร และสูง 100 มิลลิเมตร
- 3.3.2.9 จัดเตรียมที่แขวนชิ้นงานโดยใช้สายเอ็นจำนวน 40 ชิ้นต่อหนึ่งตู้ทดสอบ
- 3.3.2.10 ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมดเข้ากับอ่างให้ความร้อน ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ชุดทดสอบการกักความร้อนทดลองขึ้นมาเอง

3.3.3 ขั้นตอนการทดสอบการกักความร้อนแบบจุ่ม

วิธีการทดลองการศึกษาการเสื่อมสภาพของสมบัติรอยต่อชนเชื่อมท่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด AISI304 กับ AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม น้ำสัปเปอร์ด โดยเริ่มจากขั้นตอนการตามลำดับดังนี้



รูปที่ 3.11 ขั้นตอนการนำชิ้นงานไปทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่ม

- ก. ชิ้นงานถูกนำมาล้างด้วยอะซิโตนเพื่อล้างสิ่งสกปรกจากการขัด
- ข. การนำชิ้นงานล้างด้วยแอลกอฮอล์อีกครั้ง เพื่อให้ชิ้นงานสะอาด ชิ้นงานถูกเป่าลมร้อนเพื่อให้ชิ้นงานแห้ง โดยใช้เครื่องไทร์เป่าลมร้อน
- ค. ชิ้นงานที่แห้งแล้ว ถูกนำมาชั่งน้ำหนัก โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกผลที่ได้
- ง. วัสดุชิ้นงานทดสอบ 40 ชิ้น ถูกแช่ในน้ำส้ม น้ำสัปปะรดและน้ำเกลือที่อุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส โดยการปรับตั้งให้เสิร์ฟจากชุดควบคุมความร้อน เป็นเวลา 30 วันต่อหนึ่งน้ำการทดลองต่อเหล็กหนึ่งชนิด และทำการปิดฝาของตู้ให้สนิท เปิดเครื่องปั๊มลมทั้ง 6 เครื่อง เพื่อให้ น้ำในตู้กระจกมีการเคลื่อนไหวตลอดเวลา

3.3.4 การเตรียมวัสดุตัวอย่างทดสอบสมบัติต่างๆ

- 3.3.4.1 ทำการเก็บชิ้นงานทดสอบทุก 3 วัน ในการทดสอบ 10 ครั้ง วัสดุตัวอย่างจำนวน 4 ชิ้น ออกจากตู้กระจก แล้วนำชิ้นงานเป่าลมร้อนเพื่อทำให้ชิ้นงานแห้ง ชั่งน้ำหนักพร้อมบันทึกผล
- 3.3.4.2 ขั้นตอนการกัดสนิมออกให้นำเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L กำจัดออกไซด์ออกด้วยกรดไนตริก จนออกไซด์ที่ผิววัสดุตัวอย่างหมดไปตามมาตรฐาน ASTM G1-90 [23] ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การกำจัดออกไซด์ด้วยเครื่องอัลตราโซนิก

3.3.4.3 ชิ้นงานถูกกำจัดสนิม ทำความสะอาดอีกครั้งด้วยอะซิโตน เพื่อจำกัดเศษสนิมที่หลงเหลืออยู่บนวัสดุตัวอย่างให้หมดไป และชิ้นงานถูกเป่าด้วยเครื่องเป่าลมร้อน หลังจากนั้นชั่งน้ำหนักหลังการทดสอบเป็นเวลา 30 วัน ต่อน้ำผลไม้และชิ้นงานทดสอบ

3.3.5 วิธีการวัดผล

3.3.5.1 การวิเคราะห์อัตราการกัดกร่อนของวัสดุตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM G31-72 [22]

- 1) ทำการชั่งน้ำหนักก่อนหลังการทดสอบเพื่อดูน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและบันทึกผลลงในตารางผลการทดลองวัสดุตัวอย่างและทำกราฟของน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น
- 2) ทำการชั่งน้ำหนักหลังการกำจัดสนิมเพื่อดูน้ำหนักที่สูญเสีย และบันทึกผลลงในตารางผลการทดลองวัสดุตัวอย่าง และทำกราฟของน้ำหนักที่สูญเสีย
- 3) คำนวณหาอัตราการกัดกร่อนเป็นมิลลิเมตรต่อปีดังสมการที่ 2.1 ได้กล่าวไว้

$$\text{แทนค่า การกัดกร่อน} = \frac{8,7600 \times 0.01}{19.18 \times 24 \times 6 \times 8} \quad (2.1)$$

ดังนั้น การกัดกร่อน = 0.0396 มิลลิเมตรต่อปี

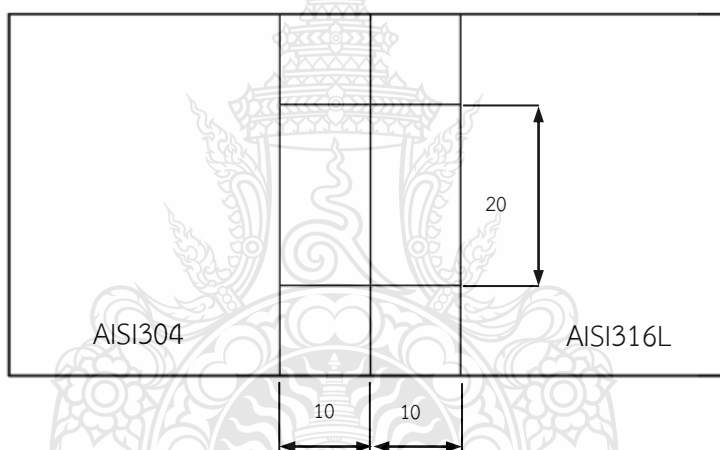
4) บันทึกผลลงในตารางอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานในหน่วยมิลลิเมตร
ต่อปี

5) จัดทำกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราการกัดกร่อนของวัสดุ
ตัวอย่าง

3.4 การทดสอบการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และรอยต่อเชื่อม

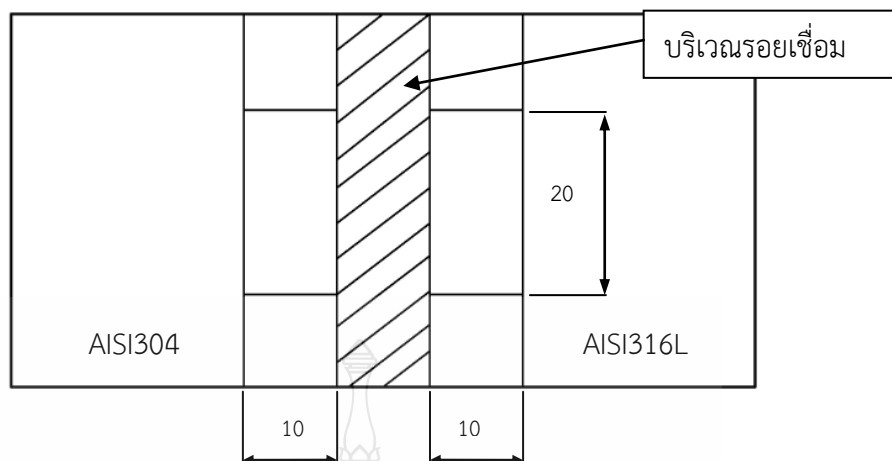
3.4.1 วิธีการเตรียมวัสดุ การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้า

3.4.1.1 ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ทำการตัดด้วย
เลื่อยหล่อเย็น โดยตัดเป็นความยาวข้างละขนาด 10 มิลลิเมตร และสูง 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ขนาดวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และชิ้นงาน
แนวเชื่อม

3.4.1.1 ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมรอยเชื่อมทิก ทำการตัดด้วยเลื่อยหล่อเย็น โดยตัดเป็นความยาว
จากแนวเชื่อมข้างละขนาด 10 มิลลิเมตร และสูง 20 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.14

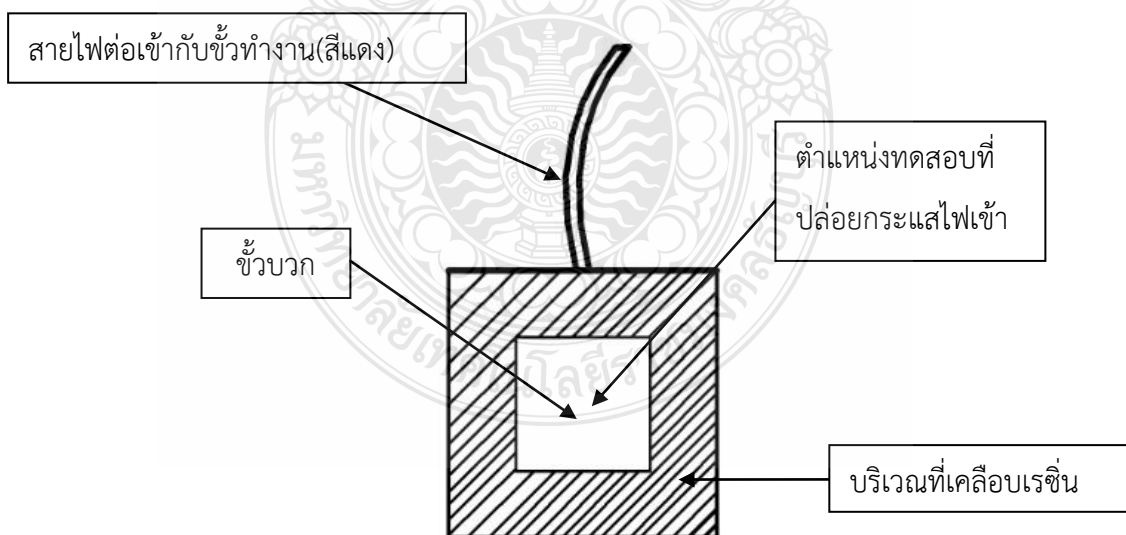


รูปที่ 3.14 ขนาดวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และชิ้นงานแนวเชื่อม

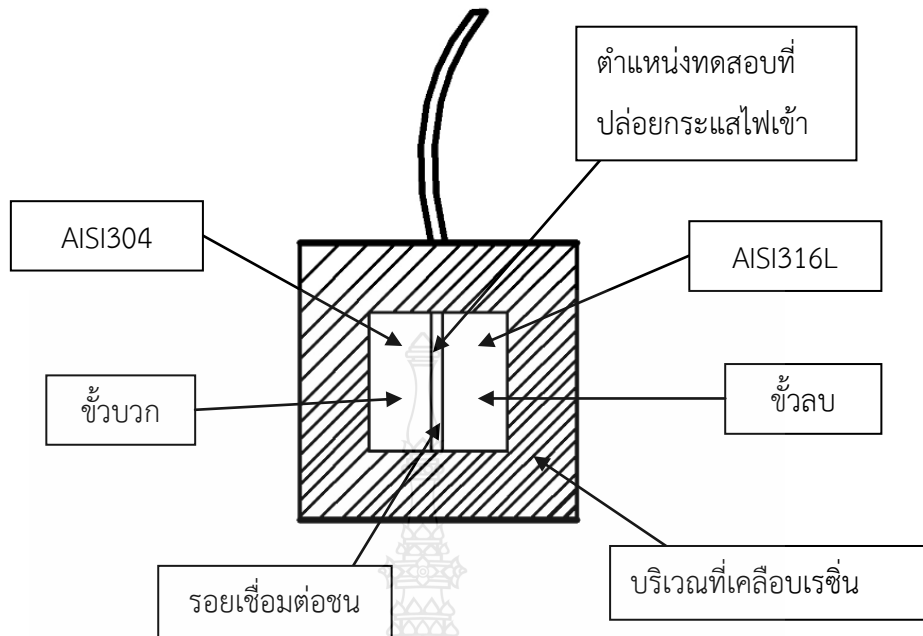
3.4.1.2 ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบถูกนำมาล้างด้วยอะซิโตน เพื่อล้างสิ่งสกปรกออกให้หมด

3.4.1.3 ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบถูกนำมาต่อสายไฟ สำหรับต่อไฟเข้าขณะทดสอบ

3.4.1.4 ชิ้นงานทดสอบถูกนำมาเคลือบเรซินทั้งชิ้นงาน รวมทั้งสายไฟ และเว้นช่องว่างตรงกลางของชิ้นงานไว้ 1 ตารางเซนติเมตร เพื่อเป็นตำแหน่งสำหรับปล่อยกระแสไฟเข้า ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L เคลือบซิลิโคนต่อสายไฟ



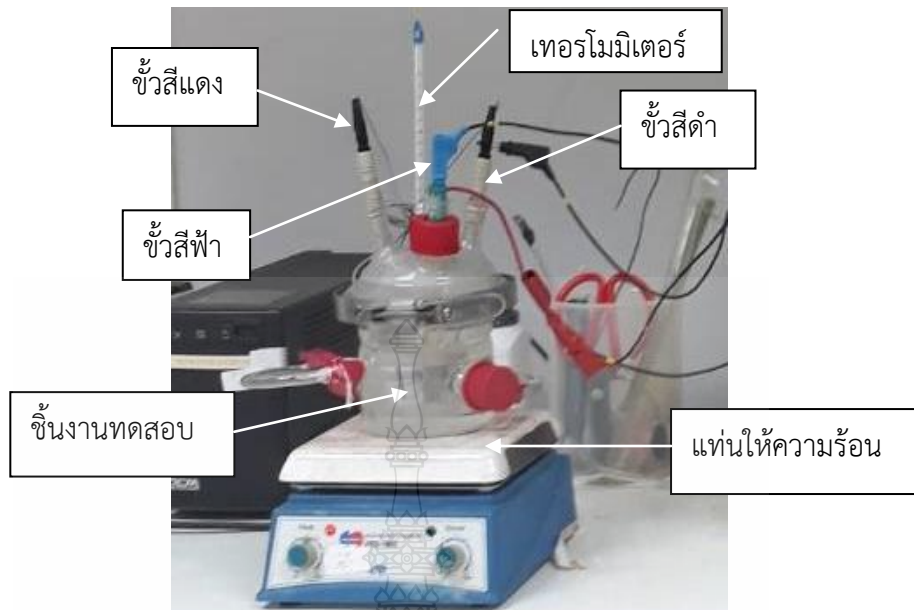
รูปที่ 3.16 ชิ้นงานที่มีรอยต่อชนเชื่อม เคลือบซิลิโคน และต่อสายไฟ ก่อนนำไปทำการทดสอบ

3.4.1.5 ชิ้นงานได้ถูกทำการทดสอบตาม ASTM ASTM G3-89 [24]

ด้วยสภาวะการทดสอบดังนี้

- 1) ชิ้นงานถูกแช่ในสารละลาย 3.5% NaCl (สารละลายอิเล็กโทรไลต์)
- 2) ต่อดวงจรขั้วทำงาน (ขั้วสีแดง) ขั้วมาตรฐานอ้างอิง (ขั้วสีฟ้า) ขั้วอิเล็ก

โทรดกระแส (ขั้วสีดำ)



รูปที่ 3.17 การติดตั้งตัวอย่างชิ้นงานในการทดสอบ

- 3) ตั้งโปรแกรมการทดสอบกำหนดระยะเวลา 45 นาที
- 4) ก่อนส่งการทดสอบ และปรับอุณหภูมิที่แท่นให้ความร้อนจนสารละลายทดสอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และคงอุณหภูมินี้ไว้ตลอดการทดสอบ ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.18 ทดสอบชิ้นงาน

3.4.2 วิธีการวิเคราะห์ผล การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้า

3.4.4.1 การวิเคราะห์ผลจากกราฟของเส้นโค้งโพลาริเซชัน เพื่อหาศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน หน่วยเป็นโวลต์ และหาอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงาน ตามมาตรฐาน ASTM G3-89 [24]

3.4.4.2 คำนวณหาอัตราการกัดกร่อน หน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อปี (mm/y) ดังสมการ 2.3 ได้ดังนี้

- 1) บันทึกผลลงในตารางอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานในหน่วยมิลลิเมตรต่อปี
- 2) จัดทำกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์อัตราการกัดกร่อนของวัสดุตัวอย่าง



บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

จากการวิจัยในการทดลองทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่มของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และรอยต่อเชื่อมทึ่ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI 316L ในสารละลายน้ำเกลือ สารละลายน้ำส้ม สารละลายน้ำส้บปรด พบว่าวัสดุทั้งสองชนิด มีการสูญเสียน้ำหนัก และเกิดการกัดกร่อน ในลักษณะที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการทดสอบและสารละลายที่ใช้ทดลองจุ่มชิ้นงาน การทดลองใช้ชุดการทดสอบเดียวกันกับมาตรฐาน ASTM G31-72 ได้ทำการทดสอบโดยใช้ตัวแปรต่างๆที่ตลอดระยะเวลา 30 วัน มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่ม

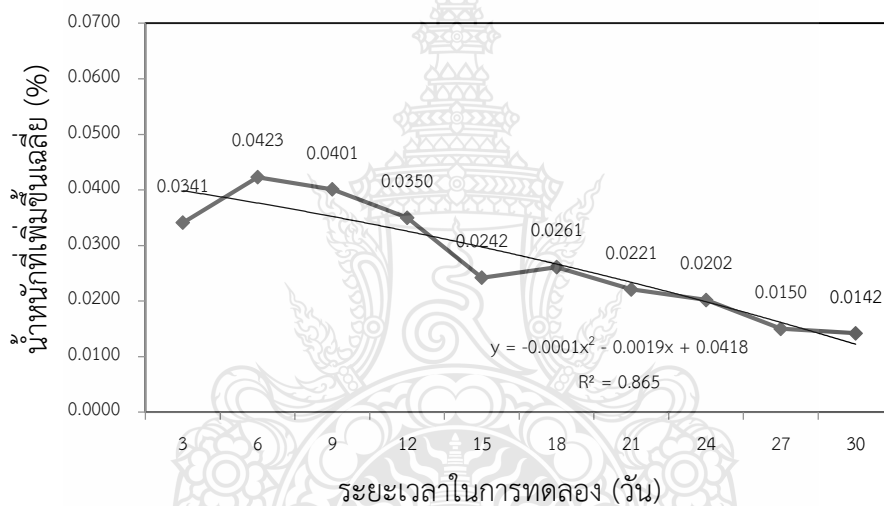
4.1.1 ทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่มของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304

4.1.1.1 ผลการทดสอบแบบจุ่มของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในสารละลายน้ำเกลือ



รูปที่ 4.1 ชิ้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่ได้จากการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ

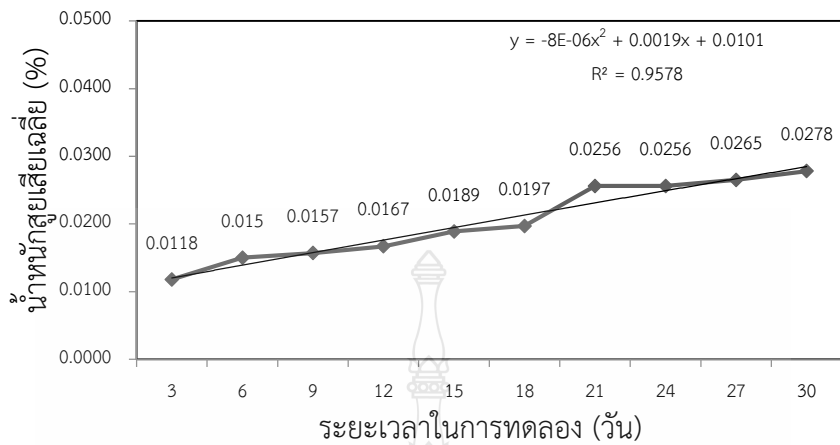
ผลการทดลองการศึกษาอัตราการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในน้ำเกลือ ดังรูปที่ 4.1 พบว่าที่ผิวของชิ้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 มีลักษณะในช่วง 3 วันแรกมีคราบเกลือเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มในปริมาณเล็กน้อย และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 6 ในวันที่ 9 มีคราบเกลือเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มในปริมาณที่ลดลง ในช่วงวันที่ 12 ถึงวันที่ 15 พบว่าที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มไม่มีคราบเกลือเกาะอยู่ เป็นสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ได้สร้างแผ่นฟิล์มบาง ๆ เคลือบอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่ม ในช่วงวันที่ 18 ถึง วันที่ 21 มีคราบเกลือกลับมาเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มแบบกระจายไม่สม่ำเสมอเป็นจุดขนาดเล็ก ๆ ในช่วงวันที่ 24 พบว่าที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มไม่มีคราบเกลือเกาะอยู่ และในช่วงวันที่ 27 ถึง วันที่ 30 มีคราบเกลือกลับมาเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มแบบกระจายไม่สม่ำเสมอเป็นจุดขนาดเล็ก ๆ



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ

รูปที่ 4.2 พบว่าในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 9 มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น แต่หลังจากวันที่ 12 น้ำหนักเฉลี่ยได้เกิดการลดลงจนถึงวันที่ 15 และเกิดน้ำหนักเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 18 อย่างต่อเนื่อง

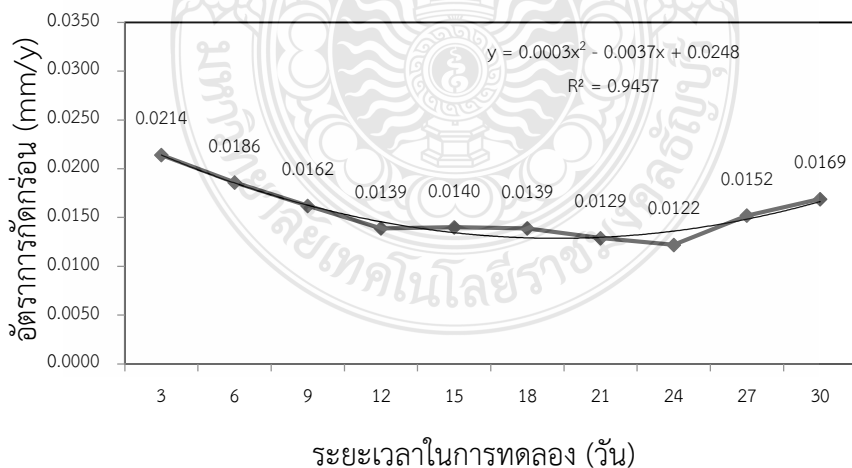
1) การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในสารละลายน้ำเกลือ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ

รูปที่ 4.3 พบว่าความสัมพันธ์ของชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในน้ำเกลือ ในช่วงเริ่มต้นการทดสอบน้ำหนักสูญเสียเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.0030 แต่หลังจากนั้นเมื่อระยะเวลาที่ทำการจุ่มเพิ่มขึ้นค่าสูญเสียมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในลักษณะที่ขนานไปกับเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ที่สูญเสีย

2) อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304

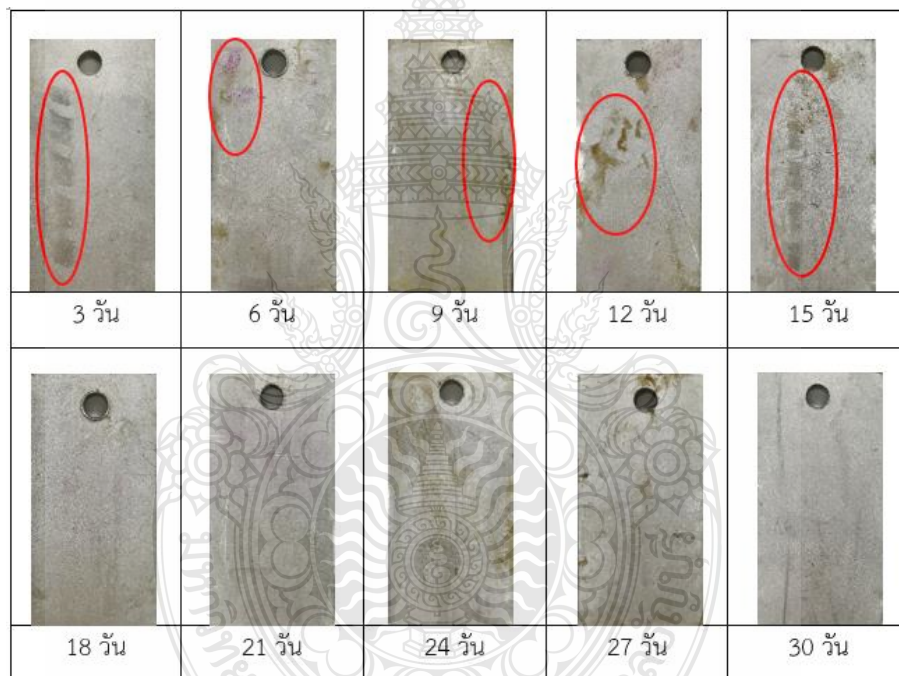


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ

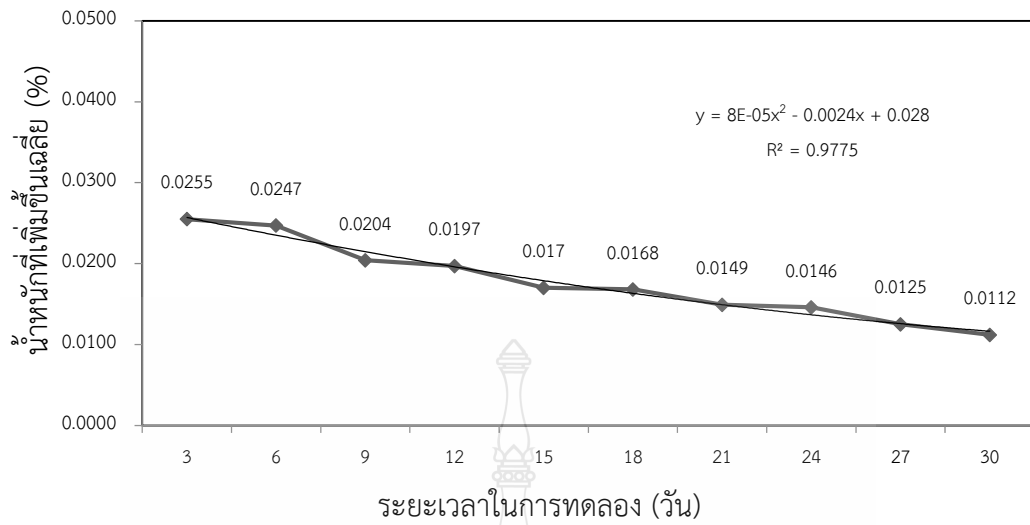
รูปที่ 4.4 พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของชิ้นงาน เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 จากการทดลองพบว่าอัตราการกัดกร่อนมากในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 9 และลดลงในวันที่ 12 เกิดจากการสูญเสียน้ำหนักที่ค่อนข้างคงที่หรือสูญเสียเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากนั้นเริ่มสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 18 มีการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 24 จนถึงวันที่ 30

4.1.1.2 อัตราการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในสารละลายน้ำส้ม

ผลการทดลองการศึกษาอัตราการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ในสารละลายน้ำส้ม ดังรูปที่ 4.5 พบว่าวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 มีคราบสารละลายน้ำส้มเกาะบริเวณผิวชิ้นงานวัสดุตัวอย่าง ดังแสดงด้วยเครื่องหมายวงกลมในรูปถ่ายของการจุ่มทดสอบ ในวันที่ 3,6,9,12 อย่างไรก็ตามไม่สามารถระบุได้ว่าการกัดกร่อนขึ้นบนผิวของชิ้นงานหรือไม่



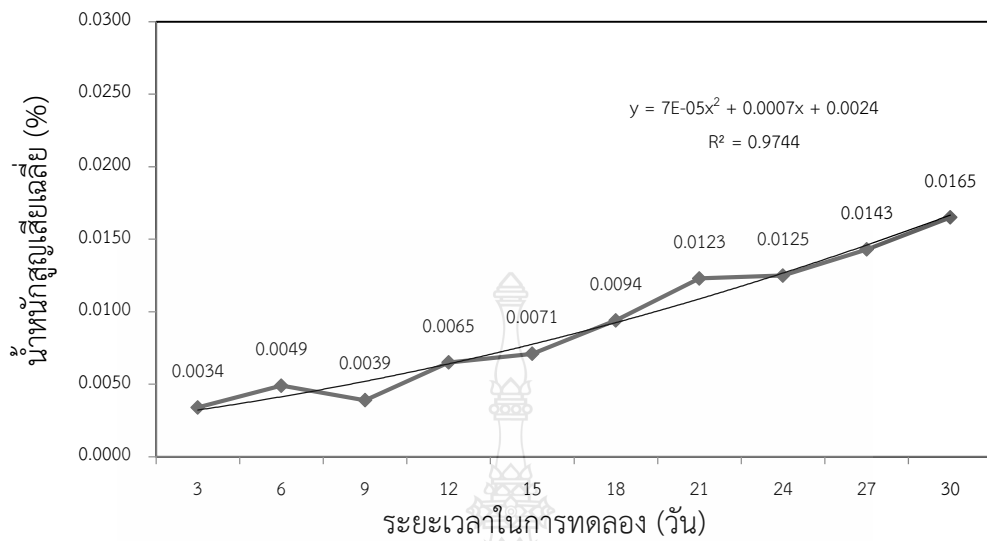
รูปที่ 4.5 ชิ้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่ได้จากการทดลองในสารละลายน้ำส้ม



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม

รูปที่ 4.6 พบว่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักมีการเปลี่ยนแปลงหลังการทดลองของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในสารละลายน้ำส้ม ในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 6 ชิ้นงานมีน้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นสูงสุด ซึ่งแสดงให้เห็นการเกาะยึดและทำปฏิกิริยาของน้ำส้มกับพื้นผิวเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของชิ้นทดสอบมีค่าแนวโน้มลดลงเมื่อระยะเวลาการทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาจุ่มซุบ 30 วัน การลดค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของชิ้นทดสอบที่มีการจุ่มทดสอบยาวนานขึ้นนี้ แสดงให้เห็นว่าสารละลายน้ำส้มที่เกาะยึดบนผิวของชิ้นทดสอบนั้นเกิดการหลุดล่อนออกมา เมื่อระยะเวลาในการทดสอบเพิ่มขึ้น

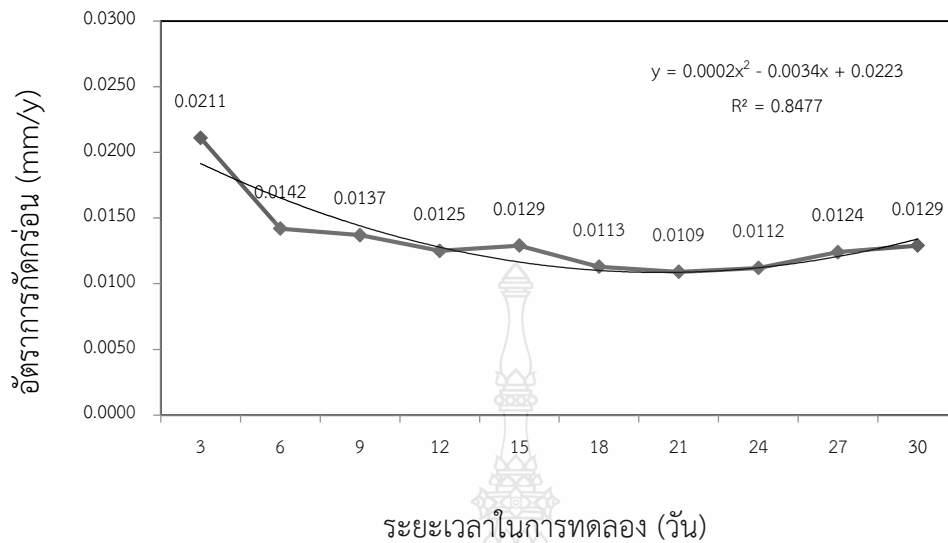
1) การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในสารละลายน้ำส้ม



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม ค่าน้ำหนักสูญเสียของชิ้นงานทดสอบมีแนวโน้มที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนชิ้นในการทดสอบเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นในรูปที่ 4.6 แล้วพบว่า การเกาะยึดของคราบน้ำส้มที่มีค่ามากในช่วงแรกของการทดสอบนั้น เมื่อมีการหลุดล่องออกไป ทำให้เกิดการกัดกร่อนบนพื้นผิวโลหะเพิ่มขึ้นและส่งผลทำให้ค่าน้ำหนักที่สูญเสียของชิ้นทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นได้

2) อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในสารละลายน้ำส้ม



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม

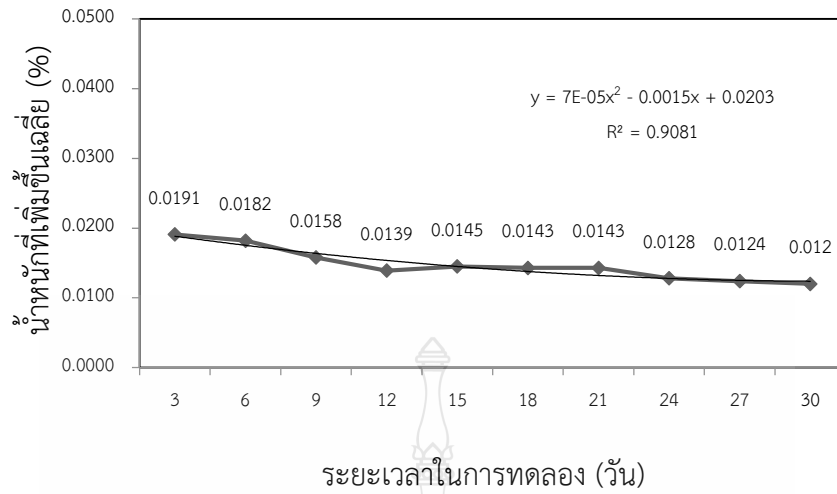
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในน้ำส้มในช่วงวันที่ 3 เนื่องจากชิ้นงานเกิดการสูญเสียน้ำหนักในปริมาณที่มากในช่วงระยะเวลาสั้นๆและลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 12 จากนั้นเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันอย่างไม่สม่ำเสมอจนถึงวันที่ 21 แสดงว่าการเกิดออกไซด์ที่ผิวของชิ้นงานเกิดขึ้นไม่มาก จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในช่วงระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้น จึงทำให้อัตราการกัดกร่อนช่วงนี้เกิดการชะลอตัวและเริ่มคงที่ จากนั้นมีการเพิ่มขึ้นต่อเนื่องอีกครั้งจนถึงวันที่ 30 ในช่วงระยะเวลานี้เกิดการกัดกร่อนค่อนข้างมาก เนื่องจากสารละลายน้ำส้มมีความเข้มข้นมากเป็นเหตุที่ทำให้เกิดออกไซด์ในปริมาณที่มาก และมีการสูญเสียน้ำหนักไปในปริมาณที่มากเช่นเดียวกันค่าอัตราการกัดกร่อน

4.1.1.3 อัตราการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในสารละลายน้ำสัปะรด



รูปที่ 4.9 ชั้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่ได้จากการทดลองในสารละลายน้ำสัปะรด

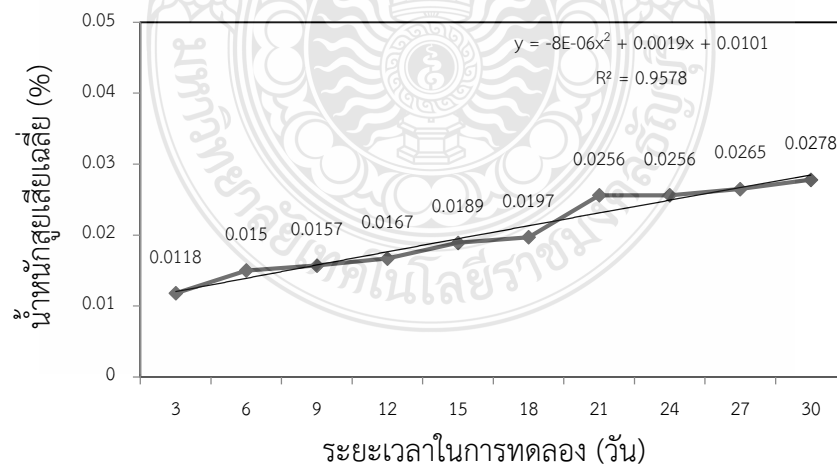
ผลการทดลองการศึกษ้อัตราการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในสารละลายน้ำสัปะรด ดังรูปที่ 4.9 แสดงวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 มีลักษณะในช่วง 3 - 9 มีคราบน้ำสัปะรดเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่ม และมีปริมาณลดลงเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 21 ในวันที่ 24 มีคราบน้ำสัปะรดกลับมาเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่ม ในช่วงวันที่ 27 ถึง วันที่ 30 พบว่าที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มไม่มีคราบน้ำสัปะรดเกาะอยู่ เป็นสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ได้สร้างแผ่นฟิล์มบาง ๆ เคลือบอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่ม ในช่วงวันที่ 12 ถึง วันที่ 21 มีคราบเกลือกลับมาเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มแบบกระจายไม่สม่ำเสมอ ในช่วงวันที่ 27 พบว่าที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มไม่มีคราบน้ำสัปะรดเกาะอยู่



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักรที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยหลังการทดลองการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ปะรด

รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นและลดลงของน้ำหนักรหลังการทดลองของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ปะรด ในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 6 มีค่าน้ำหนักรเฉลี่ยเพิ่มขึ้นสูงสุด และค่อยๆลดลงจนถึงวันที่ 12 และเพิ่มขึ้นลดลงสลับกัน จนถึงวันที่ 30

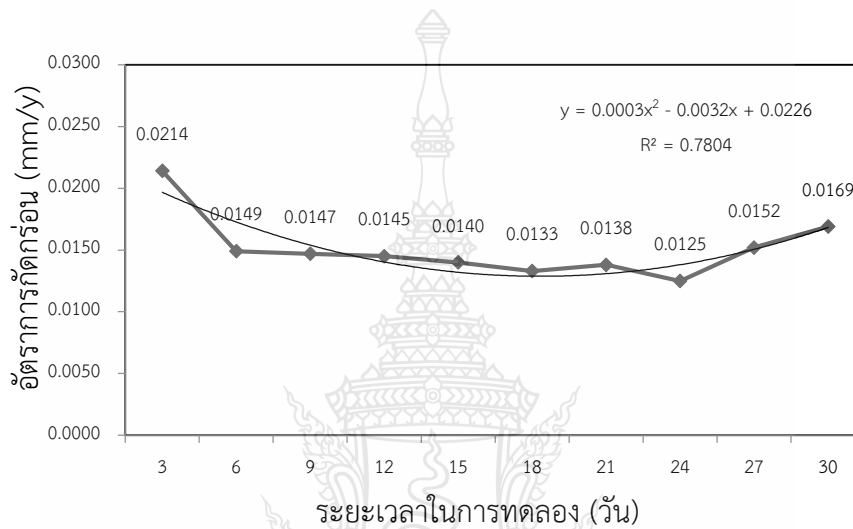
1) การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในสารละลายน้ำส้ปะรด



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักรหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ต่อระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ปะรด

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ต่อระยะเวลาการทดลองในน้ำสัปปะรด ในช่วง 21 วัน มีการเพิ่มขึ้นของเส้น กราฟ แสดงว่าชิ้นงานมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และมีค่าเท่าเดิมในวันที่ 21 ถึงวันที่ 24 ไม่มีการสูญเสียเพิ่มขึ้น จากนั้นมีการสูญเสียเพิ่มขึ้นจนถึงวันที่ 30 อย่างสม่ำเสมอ ลักษณะของกราฟมีความชันใกล้เคียงกับเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย

2) อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ในสารละลายน้ำสัปปะรด



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำสัปปะรด

รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในน้ำสัปปะรด มีอัตราการกัดกร่อนสูงสุดในช่วงวันที่ 3 และลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงวันที่ 18 เนื่องจากช่วงแรกเกิดการกัดกร่อนมากและค่อยๆลดลง เกิดจากชิ้นงานเกิดปฏิกิริยากับสารละลายน้ำสัปปะรดอย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักในปริมาณที่มาก และลดลงตามระยะทดสอบ เกิดการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 21 และลดลงมีค่าต่ำสุดในวันที่ 24 จากนั้นมีค่าการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 27 จนถึงวันที่ 30

4.1.1.4 ข้อมูลการทดลองที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่า

บริเวณภายนอกผิวสัมผัสของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 กับสารละลายทั้ง 3 ชนิด ที่จุ่มทดสอบเป็นเวลา 30 วัน พบว่าที่พื้นผิวของชิ้นทดสอบที่จุ่มทดสอบในน้ำเกลือมีคราบเกลือเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานและพบคราบสีเทาเข้มในบริเวณที่ถูกกัดกร่อนด้วยน้ำเกลือ ในขณะที่เดียวกันเมื่อพิจารณาพื้นผิวของชิ้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่จุ่มในน้ำส้ม พบคราบของน้ำส้ม

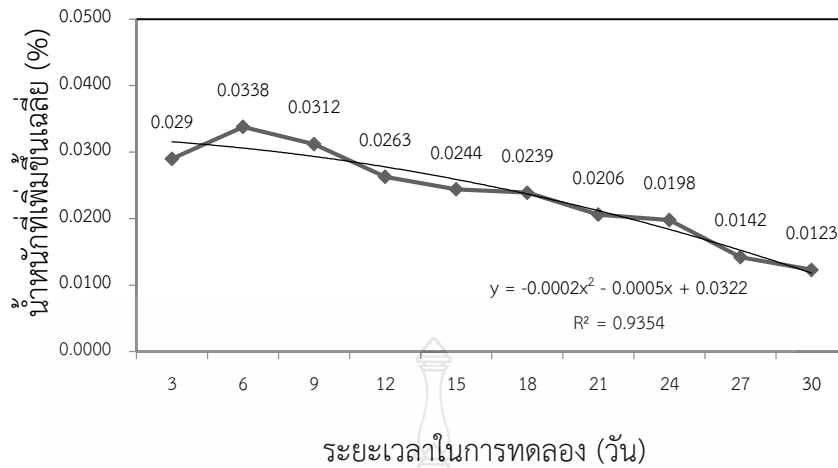
เกาะอยู่ที่ผิวจุ่มในน้ำส้ม แต่เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ที่เกิดการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบที่จุ่มในน้ำเกลือ นั้น พบว่าในชิ้นทดสอบที่จุ่มในน้ำส้ประดนั้นพื้นผิวมีการเปลี่ยนแปลงสีของเหล็กน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่จุ่มด้วยน้ำส้มกับน้ำส้ประด คราบน้ำส้มที่ติดกับพื้นผิวเหล็กกล้ามีปริมาณลดลง แต่พื้นที่ของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 นั้นมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีคล้ำมากกว่าแต่น้อยกว่าชิ้นทดสอบที่จุ่มในน้ำเกลือ

4.1.2 ทดสอบการกัดกร่อนเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L

4.1.2.1 อัตราการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือผลการทดลองการศึกษ้อัตราการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือดังรูปที่ 4.13 พบว่าวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L มีลักษณะ มีคราบเกลือเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่ม โดยลักษณะของเกลือที่เกาะเกิดขึ้นแบบกระจายเป็นจุดขนาดเล็ก เกาะบนชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ แต่ในช่วงวันที่ 6 27 และ 30 มีคราบเกลือฝังลงบนผิวชิ้นงานอย่างเห็นได้ชัด



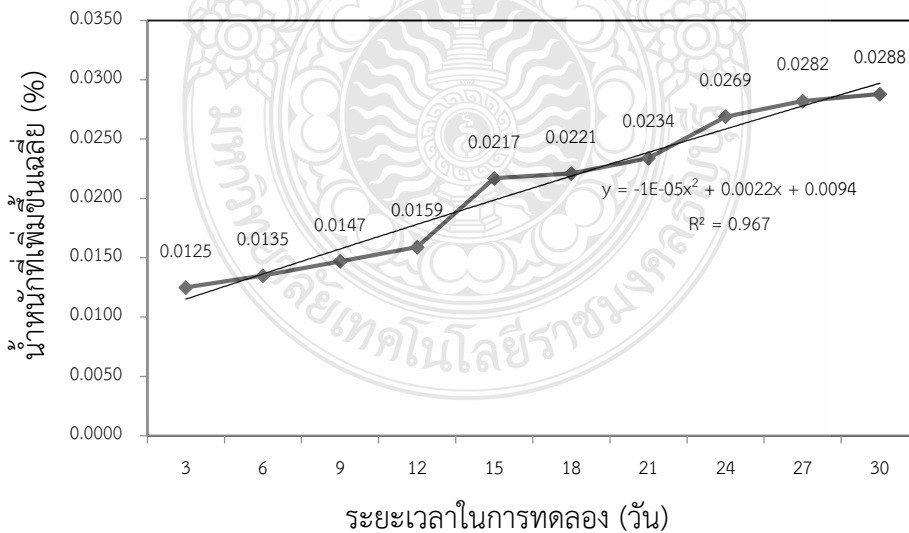
รูปที่ 4.13 ชิ้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ที่ได้จากการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ

รูปที่ 4.14 แสดงวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในน้ำเกลือไม่มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนัก ในช่วงวันที่ 3 จนถึงวันที่ 6 และค่อยๆลดลง จนถึงวันที่ 30 ลักษณะของกราฟมีความชันใกล้เคียงกับเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ย

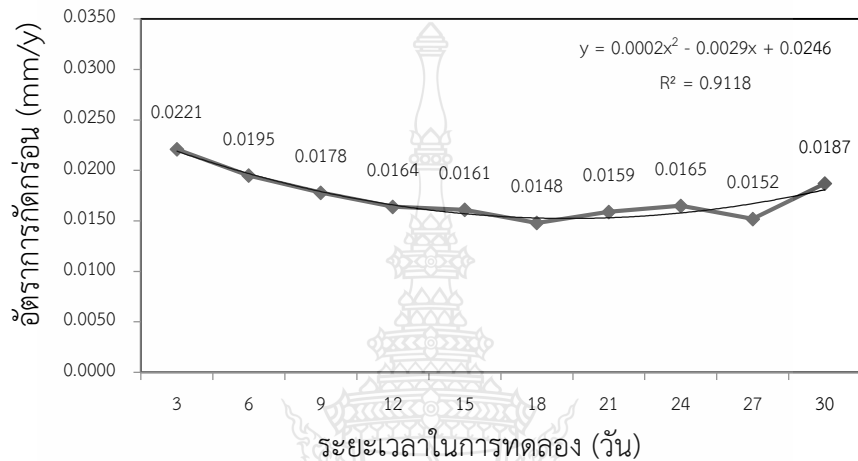
1) การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือ



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และในระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ

รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และในระยะเวลาในการทดลองในสารละลายน้ำเกลือในช่วงวันที่ ในช่วงวันที่ 15 มีการเพิ่มขึ้นของเส้นกราฟสูงสุด แสดงว่าชิ้นงานมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจน ถึงวันที่ 30 อย่างสม่ำเสมอ ลักษณะของกราฟมีความชันใกล้เคียงกับเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย

2) อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ

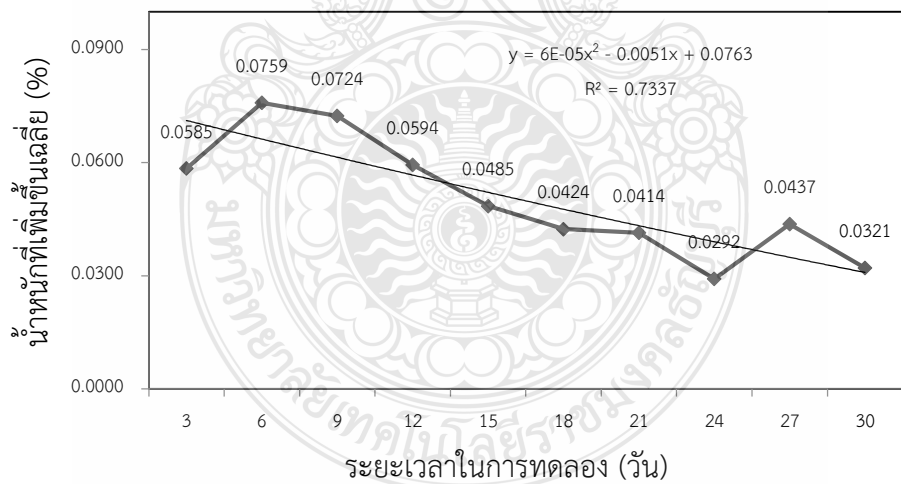
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และระยะเวลาในการทดลองในน้ำเกลือ ในช่วงวันที่ 3 มีอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ในช่วง 3 วันแรกมีอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยสูงสุด และลดลงเรื่อยๆจนถึงวันที่ 18 ซึ่งมีค่าอัตราการกัดกร่อนต่ำสุดของชิ้นงาน และเพิ่มขึ้นลดลงสลับกันอีกครั้งจนถึงวันที่ 30 เนื่องจากช่วงแรกเกิดการกัดกร่อนมากและค่อยๆลดลง เกิดจากชิ้นงานเกิดปฏิกิริยากับสารละลายน้ำเกลืออย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักในปริมาณที่มากและลดลงตามระยะทดสอบ

4.1.2.2 อัตราการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในสารละลายน้ำส้ม

ผลการทดลองการศึกษาอัตราการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ในสารละลายน้ำส้ม ดังรูปที่ 4.17 แสดงวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L มีคราบสารละลายน้ำส้มเกาะบริเวณผิวชิ้นงานวัสดุตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 3 จนถึงวันที่ 12 หลังจากนั้นบนผิวของชิ้นงานมีคราบน้ำส้มเกาะอยู่ในปริมาณที่ลดลง จนถึงวันที่ 30 และไม่มีการเกิดการกัดกร่อนที่บริเวณผิวของชิ้นงาน



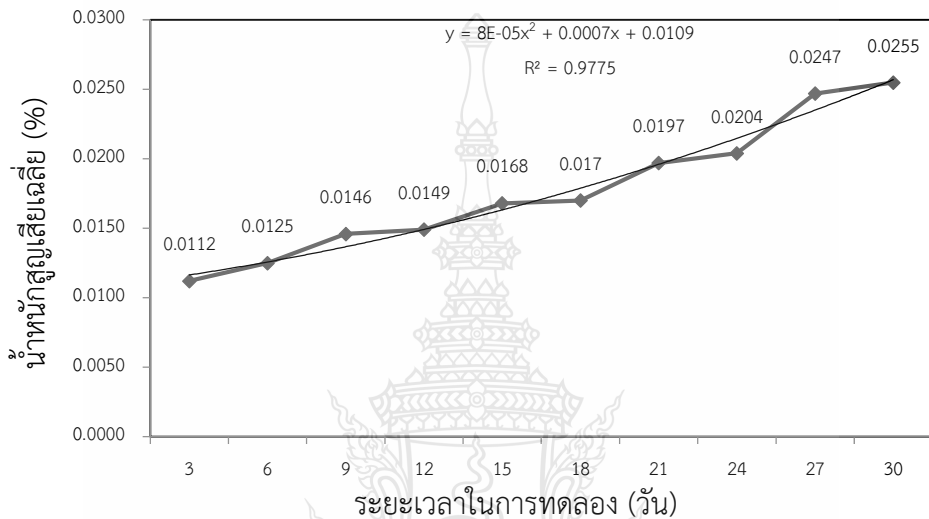
รูปที่ 4.17 ชิ้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ที่ได้จากการทดลองในสารละลายน้ำส้ม



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม

รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในน้ำส้ม ในช่วงวันที่ 3 จนถึงวันที่ 6 มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเฉลี่ยสูงสุด และค่อย ๆ ลดลง จนถึงวันที่ 24 ซึ่งมีค่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักต่ำสุด และเพิ่มขึ้นลดลงสลับกันจนถึงวันที่ 30

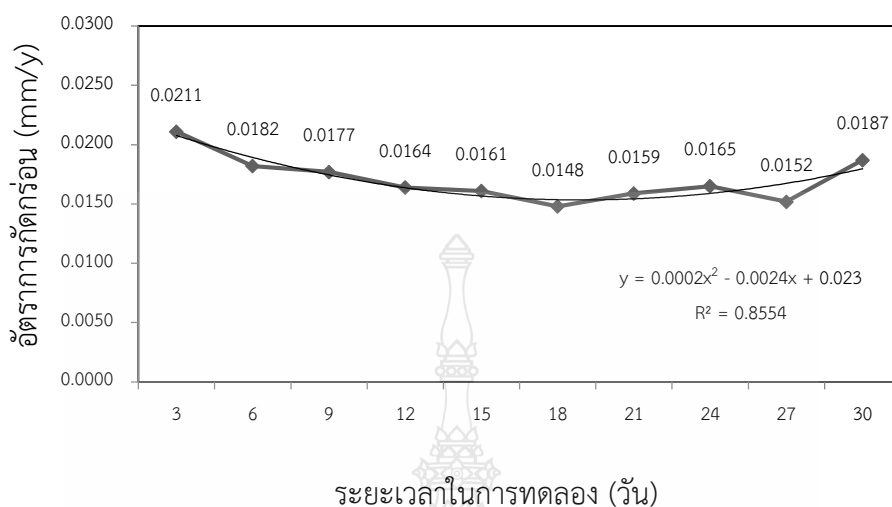
1) การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าไร้สนิมและ AISI316L ในสารละลายน้ำส้ม



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L และระยะเวลาในการทดลองในสารละลายน้ำส้ม

รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และระยะเวลาในการทดลองในสารละลายน้ำส้มผลการทดลองมีน้ำหนักสูญเสียเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 30 ลักษณะของกราฟมีความชันใกล้เคียงกับเส้นแนวโน้มเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสีย

4.1.2.3 อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในสารละลายน้ำส้ม



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม

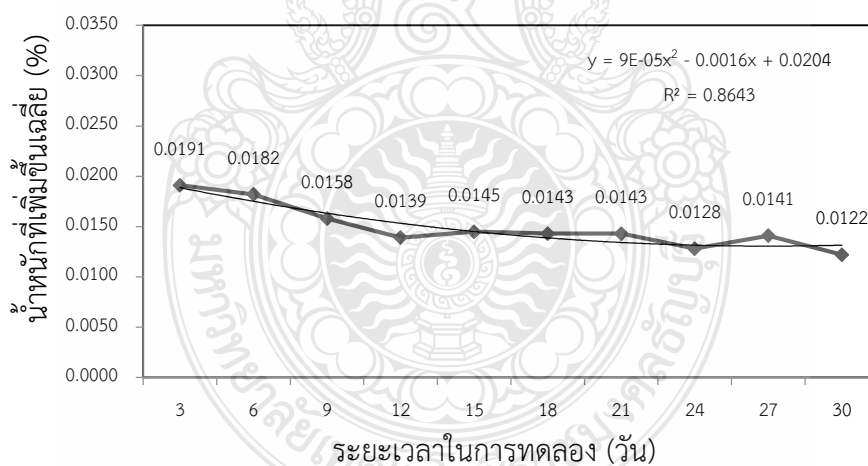
รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราการกัดกร่อนมากในช่วงวันที่ 3 และลดลงในวันที่ 6 เกิดจากการสูญเสียน้ำหนักที่ค่อนข้างคงที่หรือสูญเสียเพิ่มขึ้นเล็กน้อย จากนั้นเริ่มสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 24 และลดลงอีกครั้งในวันที่ 27 และเพิ่มขึ้นอีกครั้งในวันที่ 30 สาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการกัดกร่อนมากในช่วงแรก เกิดจากชิ้นงานเกิดปฏิกิริยากับสารละลายน้ำส้มที่ใช้ในการทดสอบจึงทำให้เกิดการกัดกร่อนที่รวดเร็ว และทำให้เกิดออกไซด์การกัดกร่อนมากในช่วงแรกของการทดสอบ

4.1.2.3 อัตราการกัดกร่อนของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในน้ำสารละลายสัปเปอร์

รูปที่ 4.21 แสดงวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ที่ได้การทดลองในสารละลายน้ำสัปเปอร์ พบว่ามีลักษณะในช่วง 3 วันแรกมีคราบน้ำสัปเปอร์เกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มในปริมาณเล็กน้อย และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นและลดลง ไม่สม่ำเสมอ ในช่วงวันที่ 12 ถึง วันที่ 21 พบว่าที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มมีคราบน้ำสัปเปอร์ มีลักษณะเป็นสีม่วงเกาะ และในช่วงวันที่ 24 ถึง วันที่ 30 จะมีคราบน้ำสัปเปอร์ กลับมาเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มแบบกระจายไม่สม่ำเสมอ



รูปที่ 4.21 ชิ้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ที่ได้จากการทดลองในสารละลายน้ำส้ปะรด

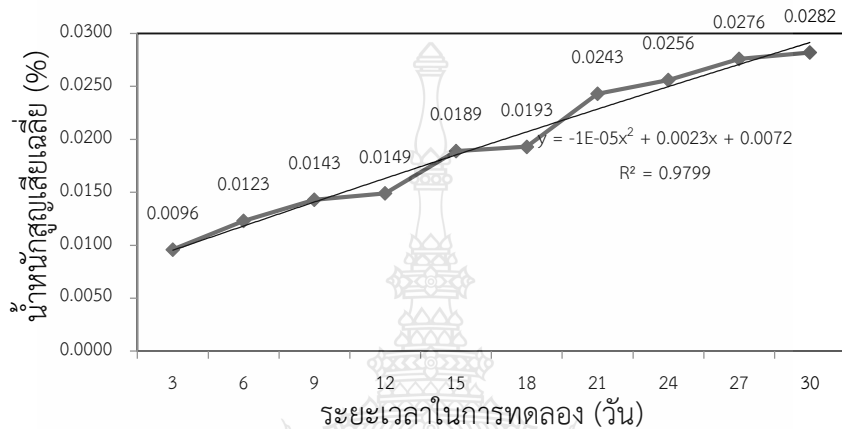


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ปะรด

รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักชิ้นทดสอบหลังการทดลองของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ต่อระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ปะรด ค่า

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มที่มีค่าลดลงเมื่อจำนวนชิ้นในการจุ่มชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น คราบของน้ำสัปะรดมีการเกาะยึดและทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในปริมาณสูง เมื่อเริ่มทำการจุ่มทดสอบและมีปริมาณการเกาะยึดและทำปฏิกิริยาลดลงหรือหลุดออกไปเมื่อทำการจุ่มชิ้นทดสอบในน้ำสัปะรด ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าต่ำสุดเมื่อทำการจุ่มชิ้นทดสอบเป็นเวลา 30 วัน

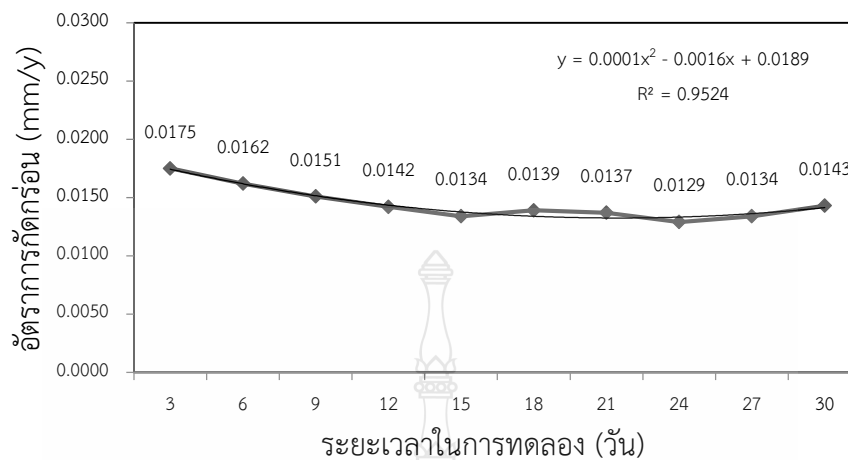
1) การสูญเสียน้ำหนักของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในสารละลายน้ำสัปะรด



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L และในระยะเวลาในการทดลองในสารละลายน้ำสัปะรด

รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ต่อระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำสัปะรด ในช่วงวันที่ 3 มีค่าการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานน้อยที่สุด และมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 30 การเกิดการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังจากที่ทำการจุ่มในน้ำสัปะรดนี้ แสดงให้เห็นว่าถึงแม้ว่าน้ำสัปะรดมีการเกาะยึดและทำปฏิกิริยากับชิ้นทดสอบลดลง เมื่อจำนวนชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้น แต่ไม่สามารถสรุปได้ว่าการกัดกร่อนลดลงไปในทางตรงกันข้าม การกัดกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้น แสดงว่าการเกาะยึดของน้ำสัปะรดและการกัดกร่อนที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของโลหะมีการเกิดขึ้นตลอดเวลาเมื่อจำนวนชิ้นในการจุ่มทดสอบเพิ่มขึ้น

2) อัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในสารละลายน้ำสัปะรด



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L และในระยะเวลาในการทดลองในสารละลายน้ำสัปะรด

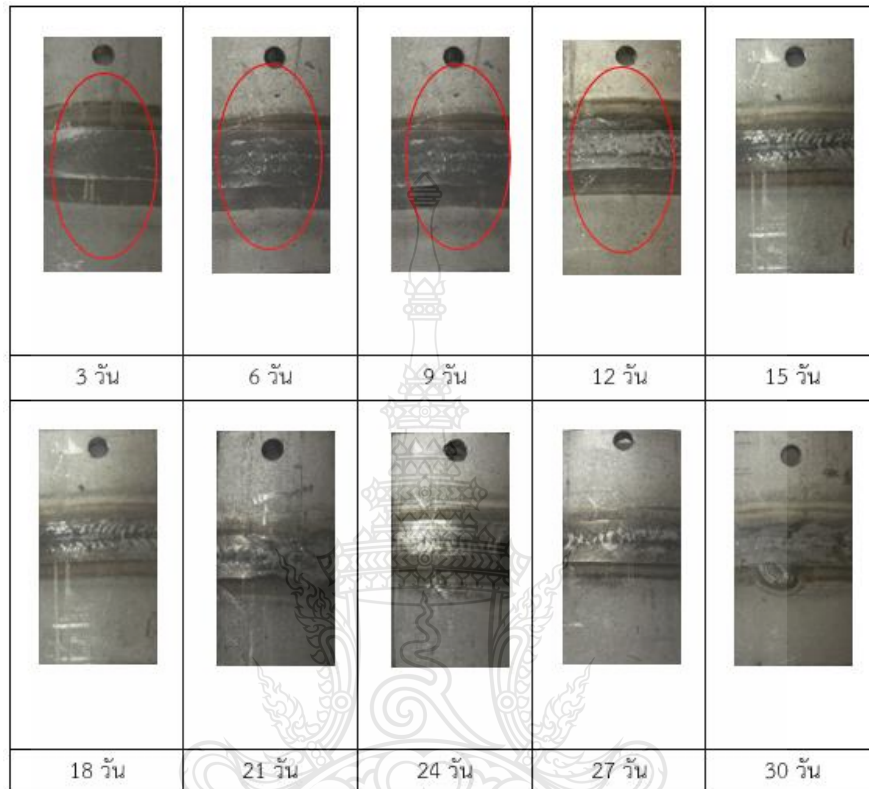
รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของวัสดุตัวอย่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำสัปะรดในช่วงวันที่ 3 มีอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยสูงสุด มีค่าอัตราการกัดกร่อนมีแนวโน้มลดลง เมื่อจำนวนวันจุ่มทดสอบเพิ่มขึ้นสลับกันจนถึงวันที่ 30 สาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการกัดกร่อนมากในช่วงแรก เกิดจากชิ้นงานเกิดปฏิกิริยากับสารละลายน้ำสัปะรดที่ใช้ในการทดสอบจึงทำให้เกิดการกัดกร่อนที่รวดเร็ว และทำให้เกิดออกไซด์การกัดกร่อนมากในช่วงแรกของการทดสอบ

4.1.2.4 ข้อมูลการทดลองที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่า

ในการทดสอบจุ่มชิ้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม 316L ที่จุ่มทดสอบเป็นเวลา 30 วัน พบว่าบริเวณพื้นผิวภายนอกของท่อเหล็กกล้าไร้สนิม 316L มีคราบเกลือ น้ำสัปะรดและน้ำส้ม เกาะอยู่บนพื้นผิวของชิ้นงาน คล้ายกับการตรวจสอบพบบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบปริมาณการเกาะติดของคราบเกลือ สัปะรด และน้ำส้ม ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงสีของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L พบว่ามีค่ามากกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ผลการทดลองที่ได้จึงสรุปได้ว่าการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ในสารละลายทั้ง 3 ชนิด นั้นมีค่ามากกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304

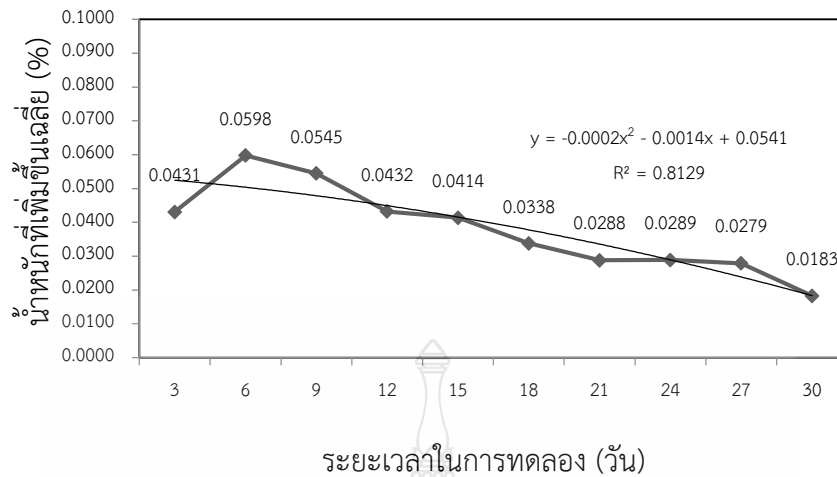
4.1.3 ทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่มของรอยต่อเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L

4.1.3.1 ผลการทดสอบแบบจุ่มของรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือ



รูปที่ 4.25 ชั้นทดสอบรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือ

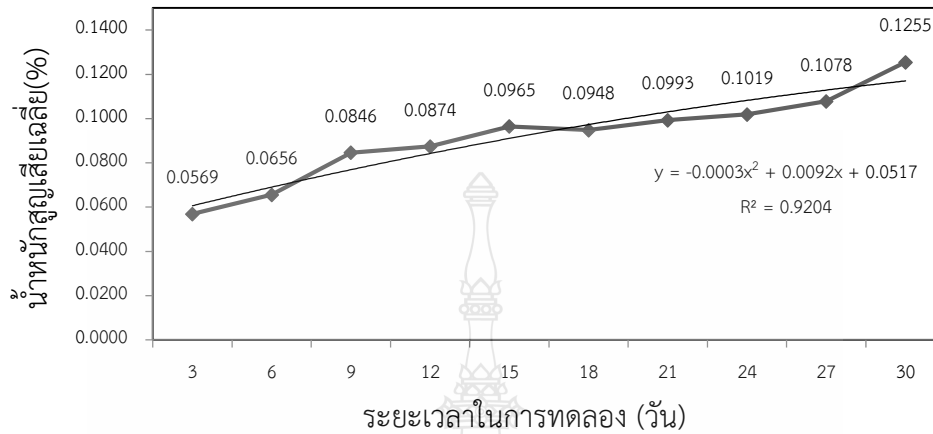
รูปที่ 4.25 แสดงพื้นที่ผิวของรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ที่ผ่านการจุ่มทดสอบ 3-30 วัน ผลการตรวจสอบพื้นที่ผิวพบคราบเกลือเกิดการเกาะติดบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบ คราบเกลือนี้มีปริมาณสูงเมื่อทำการจุ่มชุบที่เวลา 3 วัน และมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อจำนวนชิ้นในการจุ่มทดสอบเพิ่มขึ้น ตำแหน่งหลักที่มีการเกาะยึดของเกลือบนชิ้นงาน คือ ตำแหน่งแนวเชื่อม และพื้นที่ที่กระทบร้อนรอยต่อ โดยพื้นที่ที่กระทบร้อนของรอยต่อด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L นั้นมีความต้านทานการกัดกร่อนต่ำกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 คราบเกลือที่เกาะบนชิ้นงานมีค่าลดลงจนไม่สามารถตรวจพบได้เมื่อทำการจุ่มในช่วงวันที่ 21-30 วัน



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังการทดลองหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองสารละลายน้ำเกลือ

รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังการจุ่มทดสอบของรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ต่อระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ ผลการทดลองพบว่าค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นอันเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างรอยต่อเหล็กกล้าไร้สนิมกับสารละลายมีค่าสูงเมื่อทำการจุ่มทดสอบช่วงวันที่ 3-9 ซึ่งเป็นช่วงที่เหล็กกล้าไร้สนิมมีความต้านทานการกัดกร่อนสูง หลังจากนั้นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักชิ้นทดสอบมีค่าลดลงและแสดงค่าต่ำสุด เมื่อทำการจุ่มทดสอบ 30 วัน ผลการตรวจสอบที่ได้นี้สอดคล้องกับการพบคราบเกลือเกาะบนชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.25 ที่แสดงปริมาณบนคราบเกลือที่มีค่าลดลงเมื่อจำนวนช่วงเวลาการจุ่มทดสอบเพิ่มขึ้น

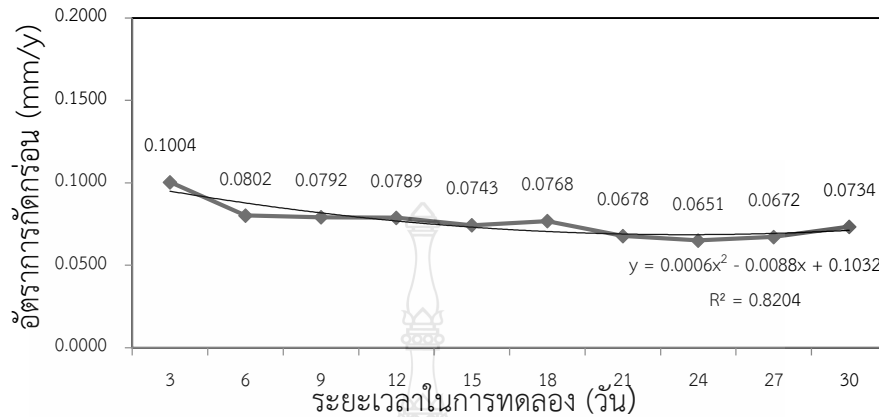
1) การสูญเสียน้ำหนักรอยต่อชนเชื่อมทิกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือ



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทิกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ

รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยของวัสดุตัวอย่างรอยต่อชนเชื่อมทิกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในน้ำเกลือในช่วงวันที่ 3 ถึงวันที่ 9 เกิดการสูญเสียน้ำหนักไปในปริมาณที่ไม่มากนัก และเริ่มมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอ แต่มีแนวโน้มความชันเพิ่มขึ้น ตั้งแต่วันที่ 12 ถึงวันที่ 30

2) อัตราการกัดกร่อนของรอยต่อชนเชื่อมของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือ

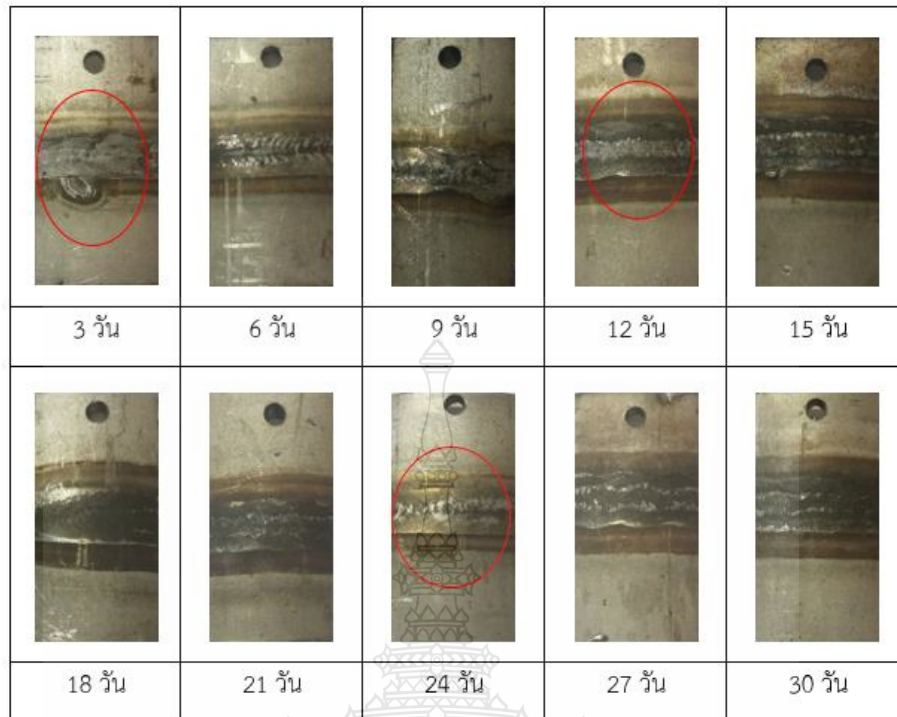


รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทิก ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองใน สารละลายน้ำเกลือ

รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของวัสดุตัวอย่างรอย ต่อชนเชื่อมทิกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองใน สารละลายน้ำเกลือในช่วงวันที่ 3 พบว่าชิ้นงานเกิดการกัดกร่อนในปริมาณที่สูง จากนั้นวันต่อมาการกัด กร่อนลดลงเพิ่มขึ้นสลับกันจนถึงวันที่ 21 และมีค่ากัดกร่อนต่ำสุดในวันที่ 15 การกัดกร่อนมีแนวโน้มเพิ่ม สูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 27 จนถึงวันที่ 30

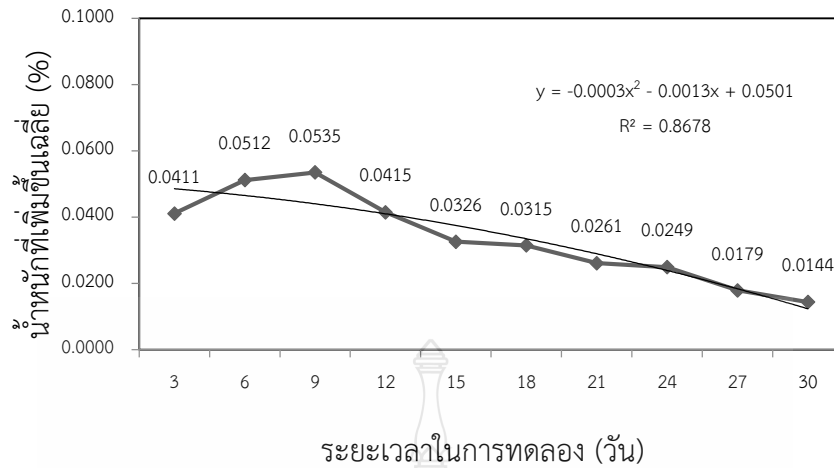
4.1.3.2 ผลการทดสอบแบบจุ่มของรอยต่อชนเชื่อมท่อเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI 304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำส้ม

ผลการทดลองการศึกษาอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อชนเชื่อมทิกระหว่าง เหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำส้ม ดังรูปที่ 4.29 พบว่าที่ผิวของชิ้น ทดสอบ ในช่วงการทดสอบวันที่ 3 ถึงวันที่ 9 มีคราบน้ำส้มเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่มีรอยชน เชื่อม พื้นที่ที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ซึ่งเป็นพื้นที่ระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐานทั้ง สองด้าน มีคราบของน้ำส้มในปริมาณเล็กน้อย และจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 21 ในวันที่ 24 มีคราบน้ำส้มเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มมีคราบน้ำส้มเกาะอยู่ในปริมาณที่ลดลง



รูปที่ 4.29 ชั้นทดสอบรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำส้ม

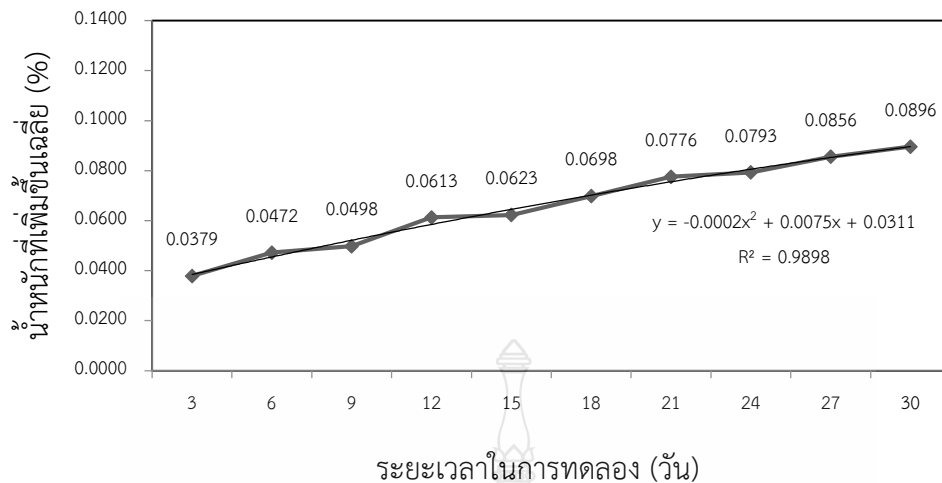
รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังการทดลองของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม ผลของการเกาะตัวของน้ำส้มบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบส่งผลทำให้น้ำหนักของชิ้นทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อทำการจุ่มทดสอบที่ระยะเวลา 3 และ 6 วัน หลังจากนั้นคราบน้ำส้มที่เกาะบนพื้นผิวชิ้นทดสอบมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากคราบน้ำส้มที่เกาะบนพื้นผิวของชิ้นทดสอบในตำแหน่งโลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิมที่แสดงพื้นที่ที่กระทบร้อน และโลหะเชื่อมมีค่าลดลง ค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นต่ำสุดสามารถหาค่าได้เมื่อทำการจุ่มทดสอบที่ระยะเวลาการทดสอบ 30 วัน



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังการทดลองหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองสารละลายน้ำส้ม

1) การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานเชื่อมของท่อของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำส้ม

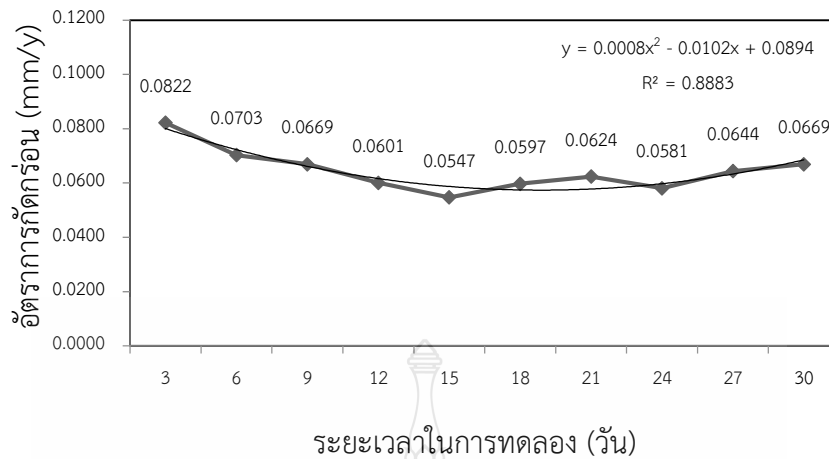
รูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักเฉลี่ยของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในน้ำส้ม คราบน้ำส้มที่เกาะบนพื้นผิวทดสอบถูกนำมาทำการกำจัดออกด้วยวิธีการทางเคมีที่ระบุไว้ เพื่อหาค่า น้ำหนักสูญเสียของชิ้นทดสอบ ผลการตรวจสอบน้ำหนักของชิ้นงานดังรูปที่ 4.31 พบว่าค่าการสูญเสีย น้ำหนักของชิ้นทดสอบที่ผ่านการจุ่มในสารละลายน้ำส้มมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการจุ่มทดสอบ เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าปริมาณการเกาะพื้นผิวของน้ำส้มเพิ่มขึ้นในวันที่ 6 เมื่อเปรียบเทียบกับวันที่ 3 แต่การ กัดกร่อนที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นทดสอบมีค่าลดลง การสูญเสียน้ำหนักของชิ้นทดสอบสูง สุด พบได้เมื่อทำการจุ่มทดสอบที่ระยะเวลาการจุ่มทดสอบ 30 วัน



รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม

2) อัตราการกักต่อนของรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำส้ม

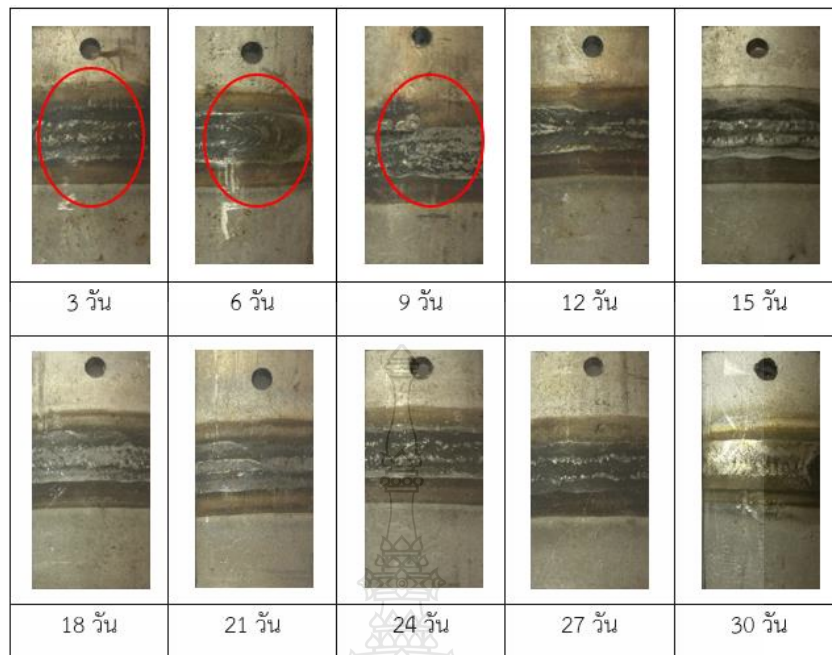
รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกักต่อนเฉลี่ยของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ม ค่าน้ำหนักสูญเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาจุ่มทดสอบชิ้นงานรอยต่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิดที่เพิ่มขึ้นดังรูป 4.31 นี้ส่งผลโดยตรงต่ออัตราการกักต่อนของชิ้นทดสอบดังรูปที่ 4.32 อัตราการกักต่อนของชิ้นทดสอบมีค่าสูงสุดเมื่อทำการจุ่มทดสอบในช่วงระยะเวลาทดสอบ 3 วันแรก และมีแนวโน้มการลดอัตราการกักต่อนลงเมื่อระยะเวลาการกักต่อนเพิ่มขึ้นและแสดงค่าอัตราการกักต่อนสูงสุดที่ระยะเวลาการจุ่มทดสอบ 30 วัน



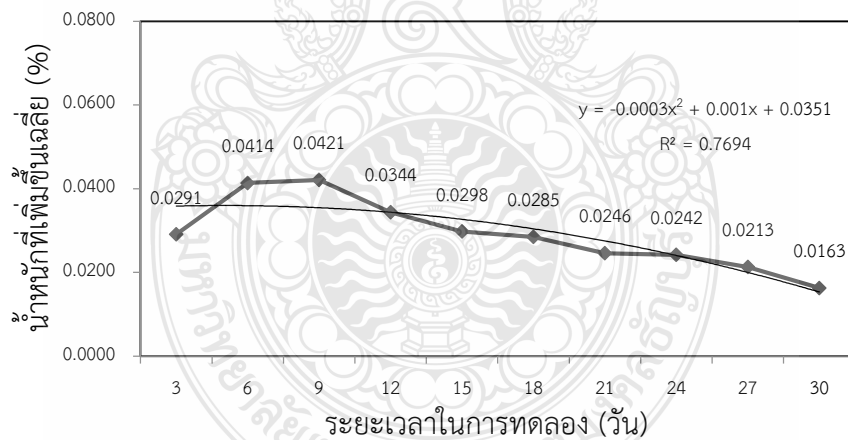
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทิก ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลาย น้ำส้ม

4.1.3.3 ผลการทดสอบแบบจุ่มของรอยต่อชนเชื่อมทิกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำส้ม

ผลการทดลองการศึกษ้อัตราการกัดกร่อนของรอยต่อชนเชื่อมทิกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำส้ม ดังรูปที่ 4.33 แสดงที่ผิวของชิ้นทดสอบตั้งแต่วันแรก มีคราบน้ำส้มเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่มีรอยชนเชื่อม พื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) ซึ่งเป็นพื้นที่ระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐานทั้งสองด้าน มีคราบของน้ำส้มในปริมาณเพิ่มขึ้น และมีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงวันที่ 27 ในวันที่ 30 มีคราบน้ำส้มเกาะแทรกอยู่ที่ผิวของชิ้นงานที่จุ่มมีคราบน้ำส้มเกาะอยู่ในปริมาณที่ลดลง



รูปที่ 4.33 ชั้นทดสอบรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำส้ปะรด

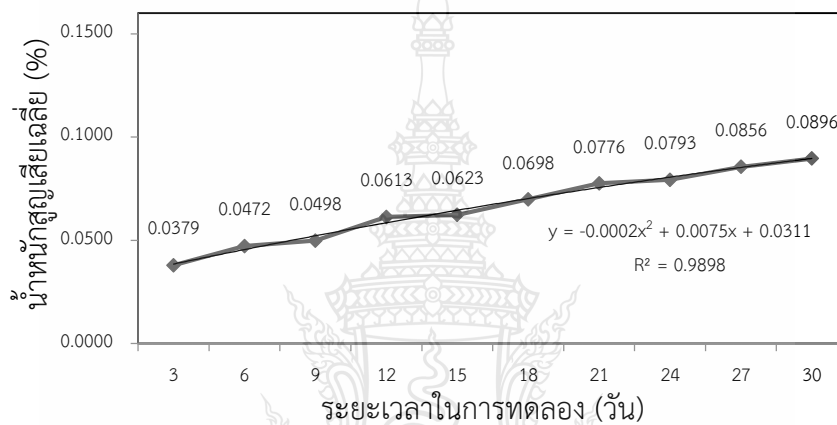


รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังการทดลองหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำส้ปะรด

รูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักหลังการทดลองของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลอง

ลองคราบสัปะรดที่เกาะบนพื้นผิวของรอยต่อที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น เมื่อทำการจุ่มทดสอบที่ระยะเวลา 3-9 วัน ส่งผลทำให้น้ำหนักของชิ้นทดสอบหลังการจุ่มทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ต่างจากการจุ่มทดสอบในน้ำส้มซึ่งมีค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นหลังการทดสอบเฉพาะชิ้นที่ 3-6 วันเท่านั้น หลังจากนั้นค่าน้ำหนักเพิ่มขึ้นของชิ้นทดสอบมีค่าแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของชิ้นทดสอบลดลงเป็นเส้นตรง ค่าน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของชิ้นทดสอบมีค่าต่ำสุดเมื่อทำการจุ่มทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน

1) การสูญเสียน้ำหนักรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในน้ำสัปะรด

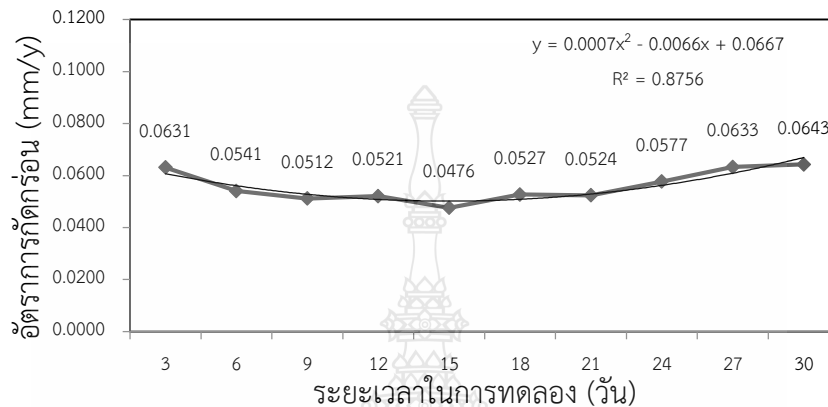


รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำสัปะรด

รูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำสัปะรด ถึงแม้ว่าน้ำหนักของชิ้นทดสอบมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการจุ่มทดสอบในน้ำสัปะรดดังพบได้ในรูปที่ 4.34 แต่เมื่อทำการกำจัดคราบสัปะรดและสิ่งสกปรกต่าง ๆ ออก จากนั้นพื้นผิวชิ้นทดสอบพบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักของชิ้นทดสอบมีค่าแสดงในทิศทางตรงข้ามกับค่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักชิ้นทดสอบ กล่าวคือในช่วงเริ่มต้นของการทดสอบที่น้ำหนักชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้น คือ 3-9 วันถึงแม้ว่าน้ำสัปะรดมีการเกาะยึดที่ปริมาณสูงกว่า การจุ่มที่ระยะเวลามากกว่า เช่น 12 วัน แต่การกัดกร่อนของชิ้นทดสอบจนทำให้น้ำหนักของชิ้นทดสอบเกิดขึ้นน้อยกว่าและส่งผลทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการเสียน้ำหนักน้อยกว่า ค่าการสูญเสียน้ำหนักมีแนวโน้มในการสูญเสียเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการจุ่มทดสอบเพิ่มขึ้นและแสดงการ

สูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น ค่าการสูญเสียน้ำหนักมีค่าสูงสุดเมื่อทำการทดสอบที่ระยะเวลาการจุ่มทดสอบ 30 วัน

2) อัตราการกัดกร่อนของรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L 6L ในสารละลายน้ำสัปะรด



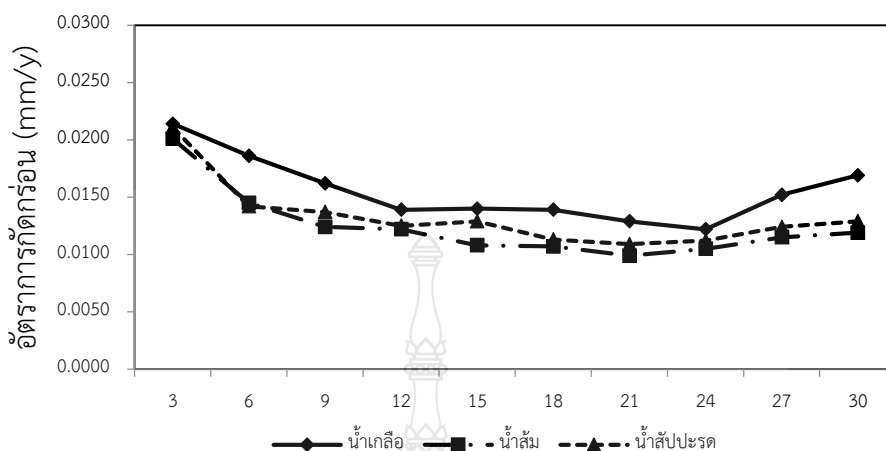
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L น้ำสัปะรด

รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำสัปะรด ในช่วงวันที่ 3 มีค่าอัตราการกัดกร่อนมากที่สุด และเพิ่มขึ้นลดลงสลับกัน จนถึงวันที่ 15 จากนั้นเริ่มมีค่าอัตราการกัดกร่อนสูงขึ้นอีกครั้งในวันที่ 18 จนถึงวันที่ 30 สาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการกัดมากที่สุดในช่วงหลัง เกิดจากชิ้นงานเกิดปฏิกิริยากับสารละลายน้ำสัปะรดที่ใช้ในการทดสอบ

4.1.3.4 ข้อมูลการทดลองที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่า

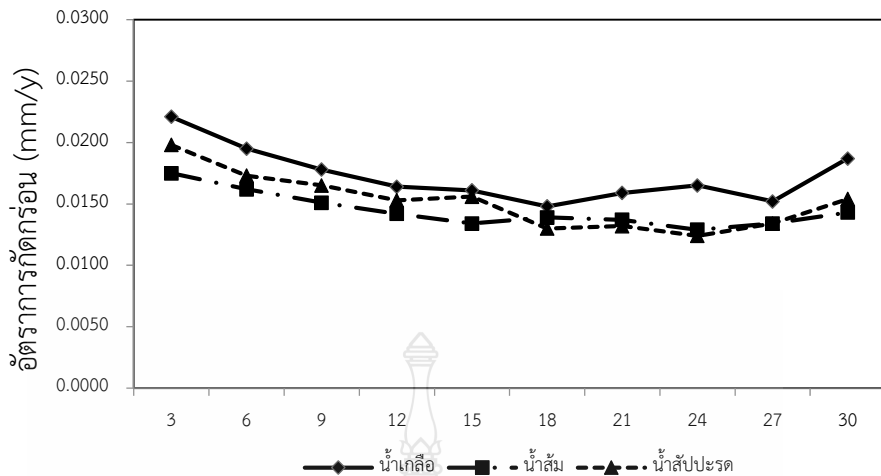
รอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลาย 3 ชนิด คือ น้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสัปะรด ที่บริเวณพื้นที่โลหะฐานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L นั้นแสดงการเกาะติดของคราบเกลือ สัปะรด และส้มมีลักษณะการเกาะติดเล็กน้อย อย่างไรก็ตามพบว่าที่พื้นที่กระทบร้อน ซึ่งเป็นพื้นที่ระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐานทั้งสองด้านมีคราบของเกลือ สัปะรด และส้ม เกาะติดบริเวณดังกล่าวมากกว่า นอกจากนั้นพื้นที่ดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงของสีของเหล็กกล้าเป็นสีเข้มมากยิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่น ๆ ผลการทดลองที่ได้จึงสรุปได้ว่าอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อชนเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำสัปะรด ทำให้เกิดการกัดกร่อนสูงสุด

4.1.4 วิเคราะห์อัตราการกัดกร่อนรวม



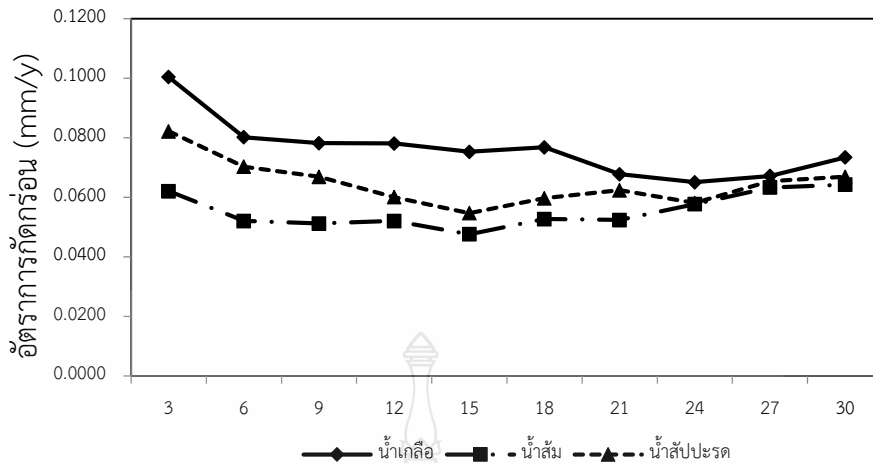
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงาน ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสัปปะรด

ผลการวิเคราะห์อัตราการกัดกร่อน รูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และระยะเวลาในการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสัปปะรด ระยะเวลา 30 วัน เมื่อเริ่มทดสอบอัตราการกัดกร่อนจากการทดสอบในสารละลายที่ต่างกัน ในวันที่ 3 ทุกๆสารละลาย มีค่าอัตราการกัดกร่อนที่สูง จากนั้นลดลงในวันที่ 9 ส่วนเส้นกราฟของสารละลายน้ำสัปปะรด มีลักษณะที่แตกต่างไปจากเส้นกราฟของสารละลายชนิดอื่น เป็นเพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงาน ในช่วงวันที่ 9 ถึงวันที่ 24 อัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันไปอย่างไม่คงที่ ค่าเฉลี่ยอัตราการกัดกร่อนของ สารละลายน้ำสัปปะรดมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.0151 mm/y สารละลายน้ำส้มมีค่าเท่ากับ 0.0125 mm/y และน้ำเกลือมีค่าเท่ากับ 0.0115 mm/y ค่าอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยลดลงค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 30 เนื่องจากคุณสมบัติของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมจะเริ่มสร้างแผ่นฟิล์มบางๆป้องกัน (Protective Film หรือ Passive Film) นอกจากนี้ยังสามารถซ่อมแซมฟิล์มได้ด้วยตัวเองทันที เป็นผลให้อัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยลดลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงาน ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสัปะระรด

ผลการวิเคราะห์อัตราการกัดกร่อน ดังรูปที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และระยะเวลาในการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสัปะระรด 30 วัน เมื่อเริ่มทดสอบอัตราการกัดกร่อนจากการทดสอบในสารละลายที่ต่างกัน ในวันที่ 3 ทุกๆสารละลาย มีค่าอัตราการกัดกร่อนที่สูง จากนั้นลดลงในวันที่ 9 ส่วนเส้นกราฟของสารละลายน้ำสัปะระรด มีลักษณะที่แตกต่างไปจากเส้นกราฟของสารละลายชนิดอื่น เป็นเพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงาน ในช่วงวันที่ 6 ถึงวันที่ 24 อัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันไปอย่างไม่คงที่ ค่าเฉลี่ยอัตราการกัดกร่อน สารละลายน้ำส้มมีค่าเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.01706 mm/y สารละลายน้ำเกลือมีค่าเท่ากับ 0.01477 mm/y และน้ำสัปะระรดมีค่าเท่ากับ 0.01478 mm/y ค่าอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยลดลงค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 30 เนื่องจากคุณสมบัติของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมจะเริ่มสร้างแผ่นฟิล์มบางๆป้องกัน (Protective Film หรือ Passive Film) นอกจากนี้ยังสามารถซ่อมแซมฟิล์มได้ด้วยตัวเองทันที เป็นผลให้อัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยลดลงอย่างต่อเนื่อง

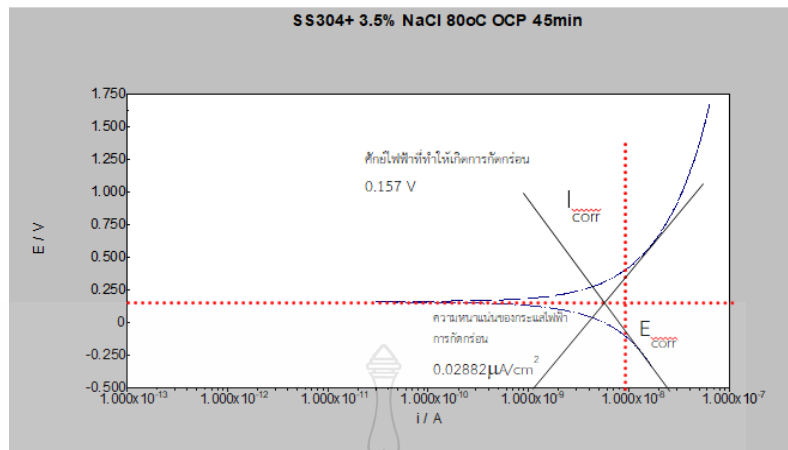


รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนหลังการจุ่มทดสอบของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทิก ระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L และระยะเวลาการทดลองในสารละลาย น้ำเกลือ น้ำส้มและน้ำสั้ประรด

ผลการวิเคราะห์อัตราการกัดกร่อน ดังรูปที่ 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อมทิกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และ AISI316L ต่อระยะเวลาในการทดลองในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม และน้ำสั้ประรด ระยะเวลา 30 วัน เมื่อเริ่มทดสอบอัตราการกัดกร่อนจากการทดสอบในสารละลายที่ต่างกัน ในวันที่ 3 ทุกๆสารละลาย มีค่าอัตราการกัดกร่อนที่สูง จากนั้นลดลงในวันที่ 9 ส่วนเส้นกราฟของสารละลายน้ำสั้ประรด มีลักษณะที่แตกต่างไปจากเส้นกราฟของสารละลายชนิดอื่น เป็นเพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับอัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานในช่วงวันที่ 6 ถึงวันที่ 30 อัตราการกัดกร่อนของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันไปอย่างไม่คงที่ ค่าเฉลี่ยอัตราการกัดกร่อน สารละลายน้ำสั้ประรดมีค่าเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.07192 mm/y สารละลายน้ำส้มมีค่าเท่ากับ 0.06249 mm/y และน้ำเกลือมีค่าเท่ากับ 0.05525 mm/y ค่าอัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยลดลงค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 30 เนื่องจากคุณสมบัติของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมจะเริ่มสร้างแผ่นฟิล์มบางๆป้องกัน (Protective Film หรือ Passive Film) นอกจากนี้ยังสามารถซ่อมแซมฟิล์มได้ด้วยตัวเองทันที เป็นผลให้อัตราการกัดกร่อนเฉลี่ยลดลงอย่างต่อเนื่อง

4.2 การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้า

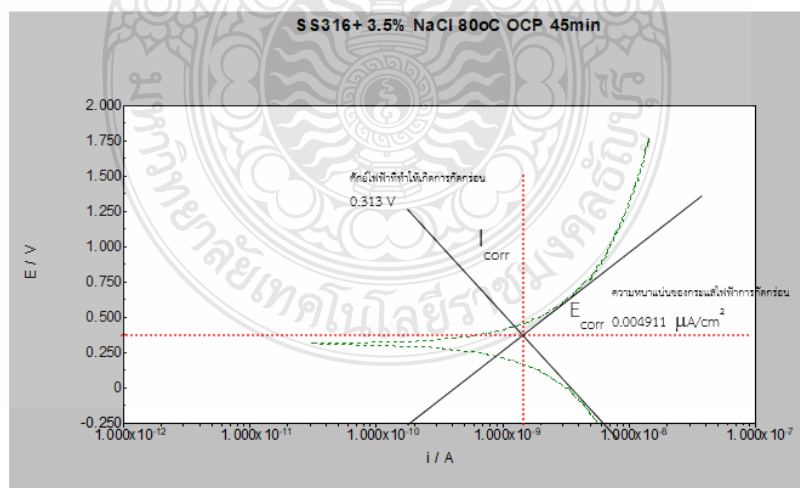
4.2.1 การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304



รูปที่ 4.40 เส้นโค้งโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่ได้จากการทดลองในสารละลาย 3.5% NaCl อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เส้นกราฟดังรูปที่ 4.40 แสดงผลการทดสอบการศึกษาอัตราการกัดกร่อนของเส้นโค้งโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ที่ได้จากการทดลองในสารละลาย 3.5% NaCl ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสพบว่าอัตราการกัดกร่อนที่ 0.000298 มิลลิเมตรต่อปี และมีศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ 0.157 V เกิดค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน ที่ 0.02882 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

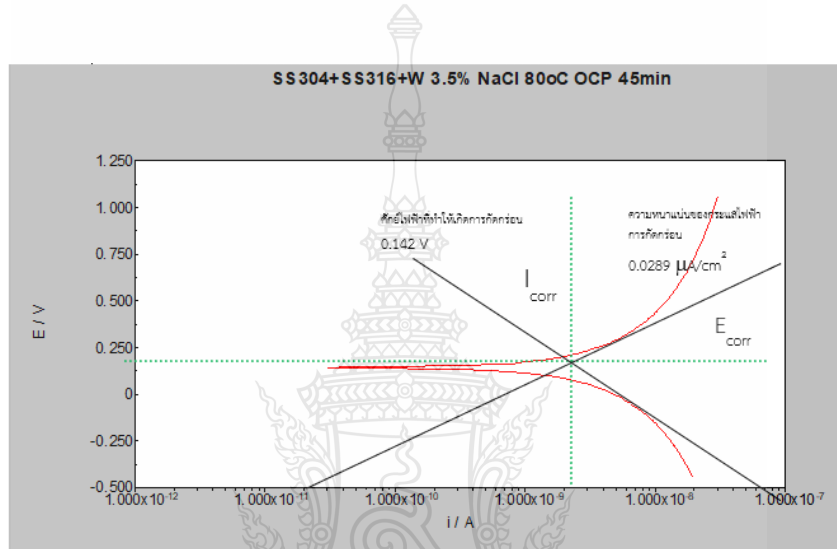
4.2.2 การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้าเหล็กกล้าไร้สนิม AISI306L



รูปที่ 4.41 เส้นโค้งโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ที่ได้จากการทดลองในสารละลาย 3.5% NaCl อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เส้นกราฟดังรูปที่ 4.41 แสดงผลการทดสอบการศึกษาอัตราการกัดกร่อนของเส้นโค้งโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ที่ได้จากการทดลองในสารละลาย 3.5% NaCl ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีอัตราการกัดกร่อนที่ 0.00005134 มิลลิเมตรต่อปี และมีศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ 0.313 V เกิดค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน ที่ $0.004911 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

4.2.3 การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้าเหล็กกล้าไร้สนิม รอยต่อเชื่อมต่อนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI316L

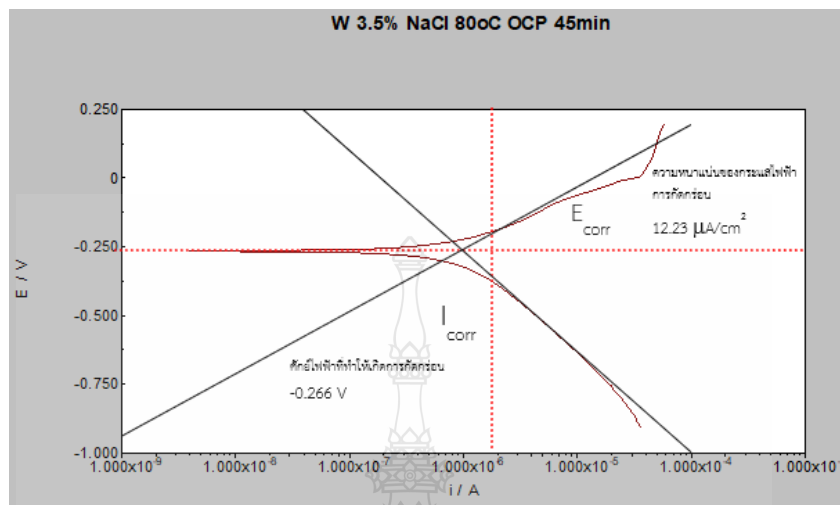


รูปที่ 4.42 เส้นโค้งโพลาริเซชันของชิ้นงานรอยต่อเชื่อมต่อนเชื่อมต่อนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI 304 และ AISI316L ที่ได้จากการทดลองในสารละลาย 3.5% NaCl อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

เส้นกราฟดังรูปที่ 4.42 แสดงผลการทดสอบการศึกษาอัตราการกัดกร่อนของเส้นโค้งโพลาริเซชันของชิ้นงานเชื่อมต่อนระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 กับ AISI316L ที่ได้จากการทดลองในสารละลาย 3.5% NaCl ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พบว่ามีอัตราการกัดกร่อนที่ 0.000299 มิลลิเมตรต่อปี และมีศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ 0.142 V เกิดค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน ที่ $0.0289 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

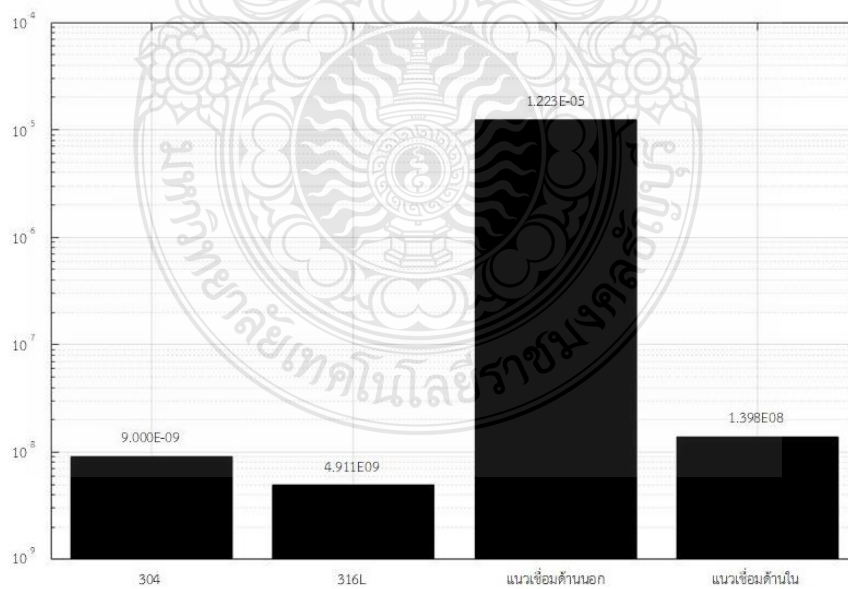
เส้นกราฟดังรูปที่ 4.43 แสดงผลการทดสอบการศึกษาอัตราการกัดกร่อนของเส้นโค้งโพลาริเซชันของรอยเชื่อม เชื่อมอาร์กทั้งสแตน ด้านนอกที่ได้จากการทดลองในสารละลาย 3.5% NaCl ณ อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส มีอัตราการกัดกร่อนที่ 0.0769 มิลลิเมตรต่อปี และมีศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนที่ -0.266 V เกิดค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน ที่ $12.23 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

4.2.4 การทดสอบการกัดกร่อนของโลหะโดยเทคนิคเคมีไฟฟ้าเหล็กกล้าแนวเชื่อม



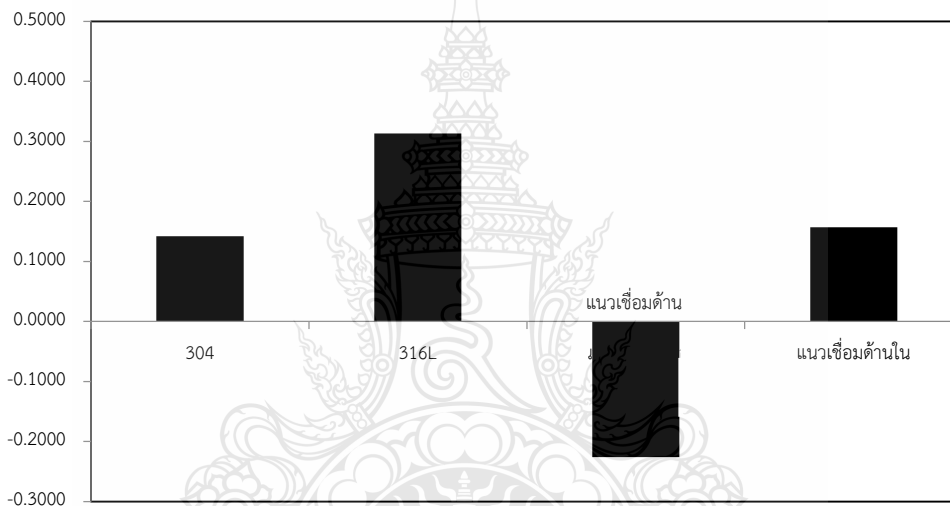
รูปที่ 4.43 เส้นโค้งโพลาริเซชันของรอยเชื่อม (เชื่อมอาร์กทั้งสแตน) ด้านนอกที่ได้จากการทดลองในสารละลาย 3.5% NaCl อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

4.2.5 การวิเคราะห์และผลการดำเนินงาน



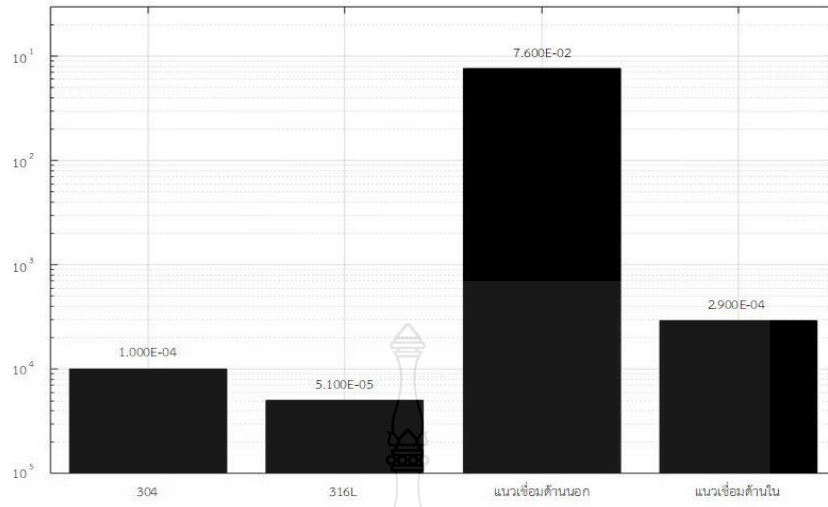
รูปที่ 4.44 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนของวัสดุชิ้นงานทดสอบทั้ง 4 ชิ้นงานทดสอบ

รูปที่ 4.44 แสดงการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนของชิ้นทดสอบ 4 ตำแหน่ง ประกอบด้วยผิวเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L แนวเชื่อมด้านนอกหรือผิวหน้าแนวเชื่อมทิก และแนวเชื่อมด้านในหรือผิวรากของแนวเชื่อม ผลการทดลองที่ได้พบว่าผิวหน้าของแนวเชื่อมมีแนวโน้มในการเกิดการกัดกร่อนสูงสุด รองลงมาคือเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 แนวเชื่อมด้านใน และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L ตามลำดับ นอกจากนี้การเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนพบความต้านทานการกัดกร่อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 4.45 ค่าศักย์ไฟฟ้ามีค่าต่ำสุดที่แนวเชื่อมด้านนอก แนวเชื่อมด้านใน เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงสุด



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงการเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนของวัสดุชิ้นงานทดสอบทั้ง 4 ชิ้นงานทดสอบ

นอกจากนั้นเมื่อนำค่า I_{corr} และ E_{corr} มาทำการหาค่าอัตราการกัดกร่อนแล้วพบว่า รอยต่อเชื่อมทิกเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L มีอัตราการกัดกร่อนที่แตกต่างกัน โดยพบอัตราการกัดกร่อนสูงสุดที่แนวเชื่อมด้านนอกหรือผิวหน้าแนวเชื่อม แนวเชื่อมด้านในหรือผิวรากแนวเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 เหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L มีค่าความต้านทานการกัดกร่อนสูงสุด



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอัตราการกักตัวของวัสดุชิ้นงานทดสอบทั้ง 4 ชิ้นงานทดสอบ



บทที่ 5

สรุปผลและเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การดำเนินงานจากการวิจัยในการทดลองทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่มของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และรอยต่อเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI 304 และ AISI316L ในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม น้ำสัปะรด ถูกนำมาทำการทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่มและการทดสอบการกัดกร่อนด้วยเทคนิคไฟฟ้าเคมีเกิดการกัดกร่อนของรอยต่อ ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้

5.1.1 ผลการจุ่มทดสอบที่ระยะเวลา 30 วัน แสดงอัตราการกัดกร่อนของรอยต่อเชื่อมสูงสุดเมื่อทำการจุ่มทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5% และมีค่าสูงกว่าน้ำสัปะรดและน้ำส้มเท่ากับ 16 และ 27% ตามลำดับ การตรวจสอบพื้นผิวขึ้นทดสอบการจุ่ม พบว่าพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 เกิดการกัดกร่อนมากกว่าโลหะเชื่อม และพื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 316L ตามลำดับ

5.1.2 การทดสอบการกัดกร่อนแบบทางเคมีไฟฟ้าในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 3.5% ผลการทดสอบลักษณะเดียวกันกับการทดสอบแบบจุ่มสามารถพบได้เมื่อทำการวัดกระแสและศักย์การกัดกร่อนในเทคนิคไฟฟ้าเคมี รอยต่อเชื่อมทึกที่ใช้เทคนิคไฟฟ้าเคมีแสดงการกัดกร่อนสูงสุดที่พื้นที่กระทบร้อนด้านเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และแสดงการกัดกร่อนต่ำสุดที่เหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยในการทดลองทดสอบการกัดกร่อนแบบจุ่มของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 และเหล็กกล้าไร้สนิม AISI316L และรอยต่อเชื่อมทึกระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมระหว่าง AISI304 และ AISI 316L ในสารละลายน้ำเกลือ น้ำส้ม น้ำสัปะรด ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 ควรมีการศึกษาการทดสอบการกัดกร่อนในตัวแปรของสารละลายชนิดอื่น ๆ

5.2.2 ควรมีการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และการผลิตจากกรรมวิธีต่าง ๆ ที่จะส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อนที่เกิดขึ้น

บรรณานุกรม

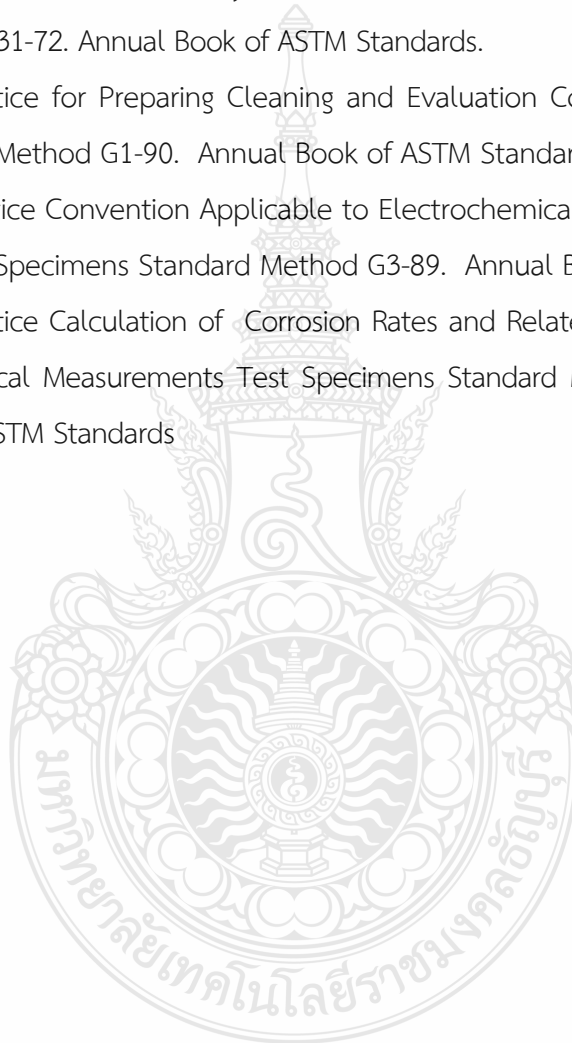
- [1] ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน : โอกาสและผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรมไทย : บทวิเคราะห์โอกาส และผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรมไทย จากการเข้าร่วมประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) [Online]. แหล่งที่มา : http://www.med.cmu.ac.th/library/asean-web/asean-pillars/Thai_Industry_and_AEC.pdf [3 มกราคม 2557]
- [2] กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กรอบยุทธศาสตร์ความมั่นคงด้านอาหาร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์พ.ศ. 2556-2559 [Online]. แหล่งที่มา : <http://www.oae.go.th/download/journal/foodSecurityMOAC56-59.pdf> [25 ธันวาคม 2556]
- [3] ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร “อุตสาหกรรมน้ำผลไม้ สถานการณ์ผลิตและตลาดน้ำผลไม้ไทย” [ออนไลน์] จาก : http://fic.nfi.or.th/foodsectordatabankall2_detailnext.php?Smid=1250 [สืบค้นเมื่อ 26 มกราคม 2560]
- [4] น้ำผลไม้ที่ดีต่อสุขภาพ, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก Available : <https://www.honestdocs.co/healthy-juice-good-for-health>
- [5] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. ม.ป.ป. “การผลิต-กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม,” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <https://www.dip.go.th/Portals/o/cluster/มาตรฐานการผลิตอาหารอุตสาหกรรม.pdf>, [สืบค้นเมื่อ 26 มกราคม 2560]
- [6] เหล็กกล้าไร้สนิม. (27 มกราคม 2560) Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/eord/1236/stainless-steel-เหล็กกล้าไร้สนิม>
- [7] กิตติพงษ์ กิมะพงศ์, ศรีชัย ต่อสกุล, อนินท์ มีมนต์ และ นรพร กลั่นประชา, วัสดุวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร: เซนแกจ เลิร์นนิ่ง (ประเทศไทย) จำกัด, 2553.
- [8] L.Li, C. F. Dong, K. Xiao, J Z. Yao, and X. G.Li, “Effect of pH on pitting corrosion of stainless steel welds in alkalin salt water, ” Construction and Building Materials , vol. 68, pp. 709-715, 10/15/2014
- [9] สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (27 มกราคม 2560). GMO (Good Manufacturing Practice) Available:<http://content.view=reticle&=86:gmp-good-manufacturing-practice&catid>

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [10] L.Li, C. F. Dong, K. Xiao, J Z. Yao, and X. G.Li, “Effect of pH on pitting corrosion of stainless steel welds in alkaline salt water, ” Construction and Building Materials, vol. 68, pp. 709-715
- [11] “Principles of Materials Science and Engineering, 3ED” William F.Smith JIS HAND BOOK Ferrous Materials & Metallurgy I 1997
- [12] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานพนธ์. “Stainless steel / เหล็กกล้าไร้สนิม”[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1236/stainless-steel-เหล็กกล้าไร้สนิม>
- [13] กัญจนา ตระกูลดู. 2534. เทคโนโลยีการกัดกร่อน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : เอ็กเพรส มีเดีย.
- [14] "ไฟฟ้าเคมี" [https://il.mahidol.ac.th/e-media/electrochemistry/web/electrochem01 .htm](https://il.mahidol.ac.th/e-media/electrochemistry/web/electrochem01.htm)
- [15] โซเดียมคลอไรด์ <http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/45.pdf>
- [16] Gary, Kirby N. 1995. Fight Chloride Corrosion in Aqueous System. แปลโดยศิริพร ดาว 1 พิเศษ. กรุงเทพฯ : ดอกหญ้า.
- [17] รุจีภรณ์ นาคขุนทด ศูนย์พัฒนาและวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ <https://www.tistr.or.th/tistrblog/เส้นโค้งโพลาริเซชัน>
- [18] E. Almeida and M. Morcillo “Lap-joint corrosion of automotive coated materials in chloride media: Part 1 – Electrogalvanized steel” Surface and Technology 124 (2000) 169-179.
- [19] 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.
- [20] 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

บรรณานุกรม (ต่อ)

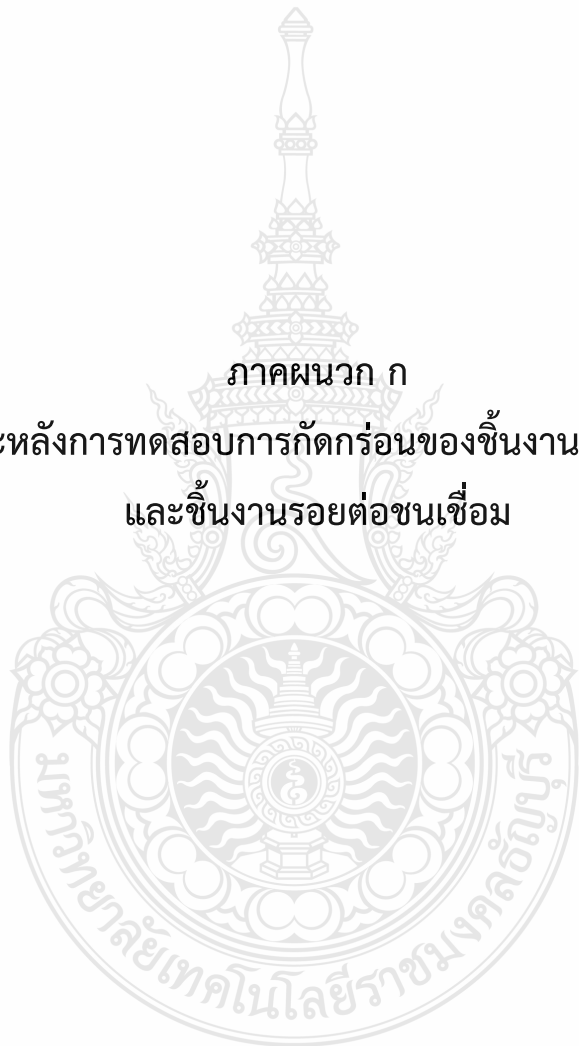
- [21] B. Chico, D. Fuente, E. Almeida, M. Morcillo, J.A. Gonzalez and E. Otero “Lap-joint corrosion of precoated materials for building applications” Surface and Technology 190 (2005) 65-74.
- [22] Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals. Standard Method G31-72. Annual Book of ASTM Standards.
- [23] Standard Practice for Preparing Cleaning and Evaluation Corrosion Test Specimens Standard Method G1-90. Annual Book of ASTM Standards
- [24] Standard Practice Convention Applicable to Electrochemical Measurements in Corrosion Test Specimens Standard Method G3-89. Annual Book of ASTM Standards
- [25] Standard Practice Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements Test Specimens Standard Method G102-89. Annual Book of ASTM Standards





ภาคผนวก ก

ค่า pH ก่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อนของชิ้นงาน AISI304 AISI316L
และชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อม



ตารางที่ ก.1 ค่า pH ก่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อนของชิ้นงาน AISI304

วันที่	น้ำส้ม		น้ำส้มปนกรด	
	ค่า pH ก่อนการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH หลังการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH ก่อนการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH หลังการทดสอบการกัดกร่อน
	3	0.9	0.8	1.8
6	0.8	0.7	1.9	1.8
9	0.9	0.8	1.9	1.8
12	0.9	0.8	1.8	1.9
15	0.9	0.9	1.9	1.8
18	0.8	0.8	1.8	1.7
21	0.8	0.9	1.9	1.9
24	0.9	0.8	1.8	1.8
27	0.9	0.8	1.9	1.7
30	0.8	0.8	1.8	1.9

ตารางที่ ก.2 ค่า pH ก่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อนของชิ้นงาน AISI316L

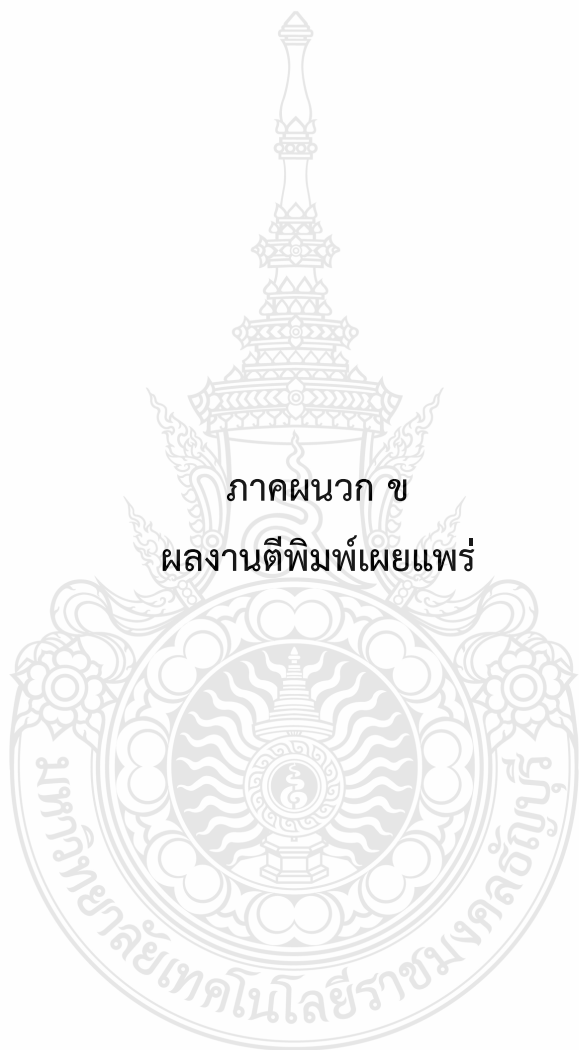
วันที่	น้ำส้ม		น้ำส้มปนกรด	
	ค่า pH ก่อนการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH หลังการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH ก่อนการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH หลังการทดสอบการกัดกร่อน
	3	0.9	0.8	1.8
6	0.9	0.8	1.9	1.8
9	0.8	0.9	1.9	1.8
12	0.8	0.7	1.8	1.7
15	0.9	0.8	1.8	1.7
18	0.9	0.8	1.8	1.9
21	0.8	0.9	1.9	1.8
24	0.9	0.8	1.9	1.8
27	0.8	0.9	1.8	1.7
30	0.8	0.8	1.8	1.7

ตารางที่ ก.3 ค่า pH ก่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อนของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อม

วันที่	น้ำส้ม		น้ำสัปรด	
	ค่า pH ก่อนการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH หลังการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH ก่อนการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH หลังการทดสอบการกัดกร่อน
3	0.9	0.8	1.9	1.9
6	0.9	0.9	1.8	1.8
9	0.8	0.7	1.9	1.8
12	0.8	0.8	1.8	1.7
15	0.8	0.7	1.8	1.7
18	0.9	0.8	1.8	1.8
21	0.9	0.8	1.9	1.9
24	0.8	0.9	1.8	1.8
27	0.9	0.8	1.8	1.7
30	0.9	0.8	1.8	1.9



ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





เกษตรกำแพงแสน ตามรอยพ่อ สานต่อศาสตร์แห่งแผ่นดิน

Proceedings

การประชุมวิชาการระดับชาติ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 16

The 16th KU-KPS National Conference

ระหว่างวันที่ 3 - 4 ธันวาคม 2562

ณ อาคารศูนย์เรียนรวม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ผลงานทางวิชาการ 8 สาขา

1. พืชและเทคโนโลยีชีวภาพ
2. สัตว์และสัตวแพทย์
3. วิศวกรรมศาสตร์
4. ศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
5. มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
6. วิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา
7. วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
และความหลากหลายทางชีวภาพ
8. ส่งเสริมการเกษตร



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน
๑๖ พฤศจิกายน ๒๕๖๒



สาขาวิศวกรรมศาสตร์

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยแบคทีเรียจากระบบบำบัดไร้อากาศ

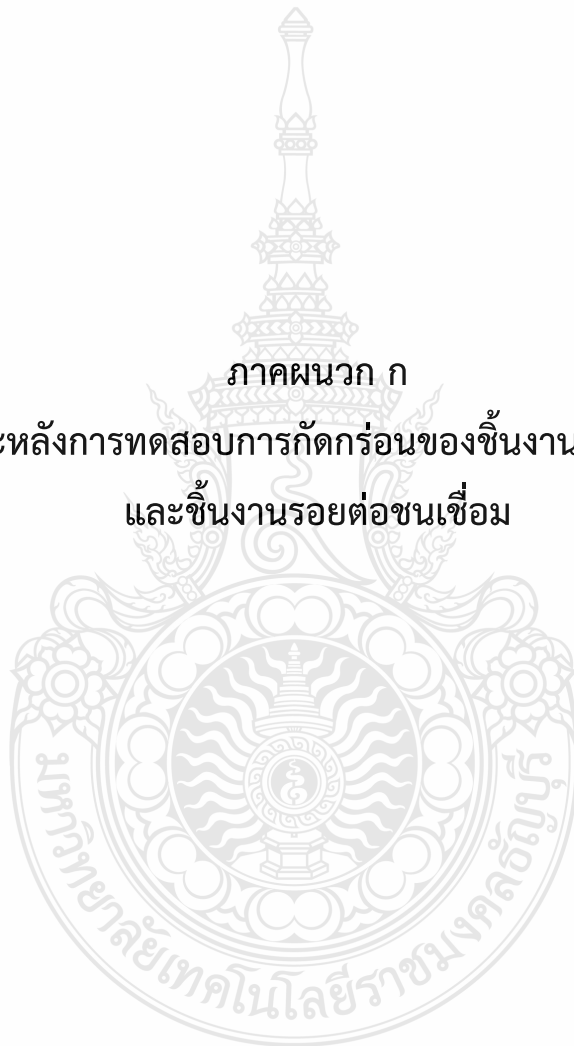
ในหอบำบัดชีวภาพแบบโปรยกรอง.....	25
การสร้างสมการเทียบมาตรฐานวิเคราะห์ค่า CCS อ้อยในไร่ด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณภาพอ้อย.....	26
การทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของอากาศยานไร้คนสำหรับการฉีดพ่นฝอยทางการเกษตร.....	28
การศึกษาการประเมินความเสี่ยงต่อฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้าแบบกังหันลม.....	30
เครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์ผักสลัดแบบอัตโนมัติสำหรับภาคเพาะกล้า.....	32
โดรนสังเกตการณ์ควบคุมผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์.....	33
เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้นแบตเตอรี่ขนาดเล็ก.....	35
การออกแบบเครื่องประเมินสภาพของมิวออนอนุกรมไฟฟ้า.....	36
คุณสมบัติการทอรีแฟคชั่นร่วมระหว่างกากกาแฟและชานอ้อย เพื่อปรับปรุงคุณภาพของชีวมวล.....	38
การศึกษาและลดผลกระทบของการปล่อยประจุไฟฟ้าสถิตในโรงงานผลิตผ้าใยสังเคราะห์.....	39
คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและความดันลดของสารทำความเย็น R290 ภายในท่อแบนที่มีพื้นที่หน้าตัดสลับไปมา.....	40
การออกแบบและการวิเคราะห์ของโครงกรอบโซฟาพับและข้อต่อปรับระดับ.....	41
การลดอุณหภูมิห้องโดยใช้แผ่น Peltier.....	42
การลดอุณหภูมิห้องโดยใช้ Clay pot – Air cooler.....	43
การศึกษาออกแบบการระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์.....	44
การศึกษาและการลดผลกระทบจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตในโรงงานเทปกาวพันสายไฟ แบบพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ด้วยเครื่องปล่อยประจุไอออน.....	45
สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมพอลิแลกติกแอซิด/ พอลิเอสเทอร์อีลาสโตเมอร์.....	47
การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการกักความร้อนของรอยเชื่อมทิกท้อตชนระหว่าง ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด AISI304 และ AISI316L.....	48
การสร้างผิวอลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สคลุม.....	49
อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติของรอยต่อชน เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยใช้แผ่นรองหลัง.....	50
การสร้างแผ่นวัดแรงกดขนาดใหญ่เพื่อประยุกต์ใช้งานงานทางการแพทย์.....	51
CFD Simulation of Downdraft Gasification.....	52



ภาคผนวก ก

ค่า pH ก่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อนของชิ้นงาน AISI304 AISI316L

และชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อม



ตารางที่ ก.1 ค่า pH ก่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อนของชิ้นงาน AISI304

วันที่	น้ำส้ม		น้ำส้ปเปรด	
	ค่า pH ก่อนการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH หลังการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH ก่อนการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH หลังการทดสอบการกัดกร่อน
3	0.9	0.8	1.8	1.7
6	0.8	0.7	1.9	1.8
9	0.9	0.8	1.9	1.8
12	0.9	0.8	1.8	1.9
15	0.9	0.9	1.9	1.8
18	0.8	0.8	1.8	1.7
21	0.8	0.9	1.9	1.9
24	0.9	0.8	1.8	1.8
27	0.9	0.8	1.9	1.7
30	0.8	0.8	1.8	1.9

ตารางที่ ก.2 ค่า pH ก่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อนของชิ้นงาน AISI316L

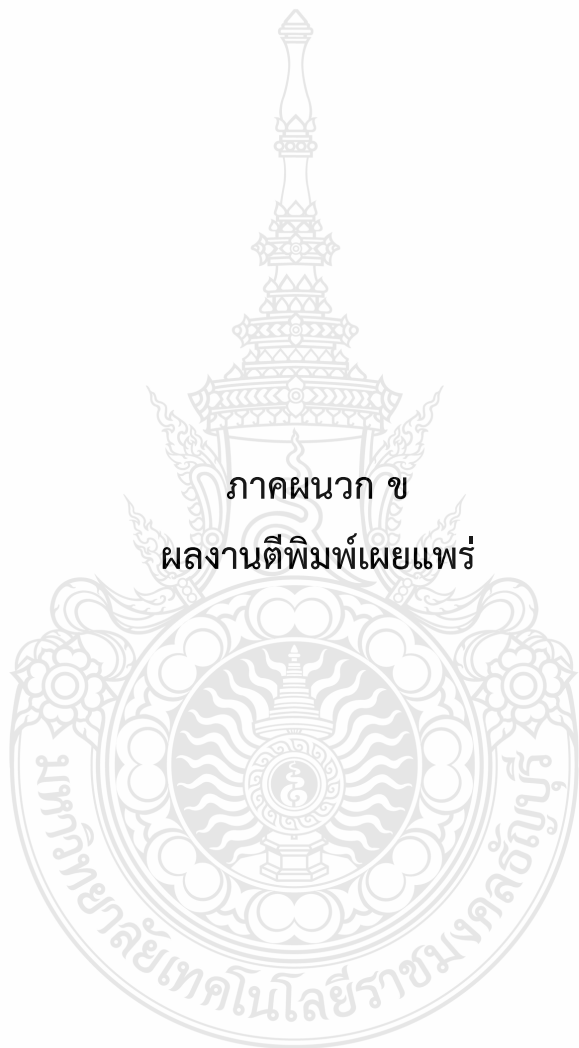
วันที่	น้ำส้ม		น้ำส้ปเปรด	
	ค่า pH ก่อนการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH หลังการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH ก่อนการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH หลังการทดสอบการกัดกร่อน
3	0.9	0.8	1.8	1.7
6	0.9	0.8	1.9	1.8
9	0.8	0.9	1.9	1.8
12	0.8	0.7	1.8	1.7
15	0.9	0.8	1.8	1.7
18	0.9	0.8	1.8	1.9
21	0.8	0.9	1.9	1.8
24	0.9	0.8	1.9	1.8
27	0.8	0.9	1.8	1.7
30	0.8	0.8	1.8	1.7

ตารางที่ ก.3 ค่า pH ก่อนและหลังการทดสอบการกัดกร่อนของชิ้นงานรอยต่อชนเชื่อม

วันที่	น้ำส้ม		น้ำสัปรด	
	ค่า pH ก่อนการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH หลังการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH ก่อนการทดสอบการกัดกร่อน	ค่า pH หลังการทดสอบการกัดกร่อน
3	0.9	0.8	1.9	1.9
6	0.9	0.9	1.8	1.8
9	0.8	0.7	1.9	1.8
12	0.8	0.8	1.8	1.7
15	0.8	0.7	1.8	1.7
18	0.9	0.8	1.8	1.8
21	0.9	0.8	1.9	1.9
24	0.8	0.9	1.8	1.8
27	0.9	0.8	1.8	1.7
30	0.9	0.8	1.8	1.9



ภาคผนวก ข
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





เกษตรกำแพงแสน ตามรอยพ่อ สานต่อศาสตร์แห่งแผ่นดิน

Proceedings

การประชุมวิชาการระดับชาติ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 16

The 16th KU-KPS National Conference

ระหว่างวันที่ 3 - 4 ธันวาคม 2562

ณ อาคารศูนย์เรียนรวม

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม

ผลงานทางวิชาการ 8 สาขา

1. พืชและเทคโนโลยีชีวภาพ
2. สัตว์และสัตวแพทย์
3. วิศวกรรมศาสตร์
4. ศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์
5. มนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์
6. วิทยาศาสตร์สุขภาพและการกีฬา
7. วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
และความหลากหลายทางชีวภาพ
8. ส่งเสริมการเกษตร



มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาเขตกำแพงแสน
๑๖ พฤศจิกายน ๒๕๖๒



สาขาวิศวกรรมศาสตร์

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยแบคทีเรียจากระบบบำบัดไร้อากาศ

ในหอบำบัดชีวภาพแบบโปรยกรอง.....	25
การสร้างสมการเทียบมาตรฐานวิเคราะห์ค่า CCS อ้อยในไร่ด้วยเครื่องวิเคราะห์คุณภาพอ้อย.....	26
การทดสอบสมรรถนะเบื้องต้นของอากาศยานไร้คนสำหรับการฉีดพ่นฝอยทางการเกษตร.....	28
การศึกษาการประเมินความเสี่ยงต่อฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้าแบบกังหันลม.....	30
เครื่องหยอดเมล็ดพันธุ์ผักสลัดแบบอัตโนมัติสำหรับภาคเพาะกล้า.....	32
โดรนสังเกตการณ์ควบคุมผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์.....	33
เครื่องทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้นแบตเตอรี่ขนาดเล็ก.....	35
การออกแบบเครื่องประเมินสภาพของมิวออนอนุกรมไฟฟ้า.....	36
คุณสมบัติการทอรีแฟคชั่นร่วมระหว่างกากกาแฟและชานอ้อย เพื่อปรับปรุงคุณภาพของชีวมวล.....	38
การศึกษาและลดผลกระทบของการปล่อยประจุไฟฟ้าสถิตในโรงงานผลิตผ้าใยสังเคราะห์.....	39
คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและความดันลดของสารทำความเย็น R290 ภายในท่อแบนที่มีพื้นที่หน้าตัดสลับไปมา.....	40
การออกแบบและการวิเคราะห์ของโครงกรอบโซฟาพับและข้อต่อปรับระดับ.....	41
การลดอุณหภูมิห้องโดยใช้แผ่น Peltier.....	42
การลดอุณหภูมิห้องโดยใช้ Clay pot – Air cooler.....	43
การศึกษาออกแบบการระบายอากาศเฉพาะที่บริเวณเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ ในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์.....	44
การศึกษาและการลดผลกระทบจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตในโรงงานเทปกาวพันสายไฟ แบบพอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) ด้วยเครื่องปล่อยประจุไอออน.....	45
สมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของพอลิเมอร์ผสมพอลิแลกติกแอซิด/ พอลิเอสเทอร์อีลาสโตเมอร์.....	47
การศึกษาเปรียบเทียบพฤติกรรมการกักความร้อนของรอยเชื่อมทิกทอต่อชนระหว่าง ท่อเหล็กกล้าไร้สนิมต่างชนิด AISI304 และ AISI316L.....	48
การสร้างผิวอลูมิเนียมบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน S45C ด้วยการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สคลุม.....	49
อิทธิพลของตัวแปรการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สคลุมต่อสมบัติของรอยต่อชน เหล็กกล้าไร้สนิม SUS304L และเหล็กกล้าคาร์บอน SS400 โดยใช้แผ่นรองหลัง.....	50
การสร้างแผ่นวัดแรงกดขนาดใหญ่เพื่อประยุกต์ใช้งานงานทางการแพทย์.....	51
CFD Simulation of Downdraft Gasification.....	52

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล ว่าที่ร้อยตรีหญิงภัทรพร มั่นกิจ
วัน เดือน ปีเกิด 1 มกราคม 2536
ที่อยู่ 111/6 หมู่ 3 ตำบลหนองไทร อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี
การศึกษา ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมพอลิเมอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง
วิทยาลัยเทคนิคพระนครศรีอยุธยา
ประสบการณ์การทำงาน -
อีเมล partthraporn_m@mail.mutt.ac.th,
Mankitpartthraporn@gmail.com
เบอร์โทรศัพท์ 098-3504495

