

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยวและแบบคู่ต่อ

การกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304

**INFLUENCE OF SINGLE AND GEMINI SURFACTANTS ON
CORROSION OF 304 STAINLESS STEEL**



T117152



นายศักดิ์ดา โปธิพาน

นางสาวสาวิณี วุฒิสกุลวงศ์

นางสาวอรทัย สลีอ่อน

สาขา.....
เลขทะเบียน..... **117152**
วัน,เดือน,ปี..... **19 ก.ค. 2554**

b..... **12342609**
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยืมได้พ้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเอกสารฉบับนี้ส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

**INFLUENCE OF SINGLE AND GEMINI SURFACTANTS ON
CORROSION OF 304 STAINLESS STEEL**



MR. SAKDA POPHAN

MISS SAWINEE WUTTISAKULWONG

MISS ORATHAI SALEE-ON

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE**

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ
ACADEMIC YEAR 2010

หัวข้อโครงการพิเศษ อิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยวและแบบคู่ต่อการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304

INFLUENCE OF SINGLE AND GEMINI SURFACTANTS ON CORROSION OF 304 STAINLESS STEEL

ชื่อนักศึกษา นายศักดิ์ดา โปธิ์พาน
นางสาวสาวิณี วุฒิสกุลวงศ์
นางสาวอรทัย สลีอ่อน

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2553

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน	
ผศ.ดร. สุภารัตน์ รัชชสิทธิ์	
ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่มีเหตุแห่งลิขสิทธิ์และต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	อิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยวและแบบคู่ต่อการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304
ชื่อนักศึกษา	นายศักดิ์ดา โพธิ์พาน นางสาวสาวินี วุฒิสกุลวงศ์ นางสาวอรทัย สลืออ่อน
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สุชา สุทธิเรืองวงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวและแบบคู่ (Anionic gemini surfactants) ซึ่งความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใช้มีค่าเท่ากับ 0.25 0.5 1 และ 2 เท่าของค่าความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC) การทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนกระทำโดยเทคนิคโพเทนชิโอดีนามิกโพลาริเซชัน (Potentiodynamic polarization) มีขั้วคาโทดอิ่มตัว (Saturated calomel electrode, SCE) เป็นขั้วอ้างอิงและโลหะแพลทินัมเป็นขั้วตรงข้าม จากผลการทดลองพบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวสามารถเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบหลุมได้ โดยพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว ความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบหลุมจะเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่สามารถเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบหลุมได้ แต่พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเกิน 0.25 เท่าของค่าความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลล์ ความสามารถในการเพิ่มความต้านทานดังกล่าวมีแนวโน้มลดลง

คำสำคัญ: การยับยั้งการกัดกร่อน, เหล็กกล้าไร้สนิม, สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว, สาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title INFLUENCE OF SINGLE AND GEMINI SURFACTANT ON
CORROSION OF 304 STAINLESS STEEL

Students Mr. Sakda Pophan
Miss Sawinee Wuttisakulwong
Miss Orathai Salee-on

Degree Bachelor of Science

Major Industrial Chemistry

Academic Year 2010

Advisor Dr. Sutha Sutthiruangwong

ABSTRACT

This work studied the corrosion inhibition of 304 stainless steel in 0.1 M NaCl solution by using anionic single surfactant and anionic gemini surfactant. The surfactant concentrations were 0.25, 0.5, 1, and 2 times of the critical micelle concentration (CMC). The corrosion study was performed by potentiodynamic polarization technique. A saturated calomel electrode (SCE) was applied as a reference electrode and platinum was used as a counter electrode. An increased concentration of anionic surfactant yielded to an increase in pitting resistance. The gemini surfactant also increased pitting resistance. However when the concentration of the gemini surfactant was higher than 0.25 times of CMC, the pitting resistance showed a decline.

Keyword: Corrosion inhibition, Stainless steel, Anionic single surfactant, Anionic gemini surfactant, Potentiodynamic polarization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะความอนุเคราะห์ของหลายฝ่าย ซึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดังนี้

บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

บริษัท ดาวเคมีคอล ประเทศไทย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีที่ใช้ในการทดสอบ และคำแนะนำต่างๆ

คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และเพื่อนๆ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ แลเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

นางสาวพิมพ์ภรณ์ มั่นพิริยะกุล ผู้ช่วยนักวิจัยของ ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ ที่ให้คำแนะนำทั้งในด้านทฤษฎีและปฏิบัติ

ผศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์ โนน และ ผศ.ดร. สุภารัตน์ รักชลธิ ที่ให้คำแนะนำและเป็นกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ให้ความช่วยเหลือทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนการให้คำปรึกษามาโดยตลอด ซึ่งคณะผู้จัดทำขออ้อมรับและขออภัยหากมีข้อผิดพลาดทุกประการไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ

นายศักดิ์ดา โปธิ์พาน

นางสาวสาวิณี วุฒิสกุลวงศ์

นางสาวอรทัย สลีอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	IX

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4 วิธีการศึกษา	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการพื้นฐานการกัดกร่อน (Basic principles of corrosion)	4
2.1.1 การกัดกร่อน (Corrosion)	4
2.1.2 กลไกของการกัดกร่อน (Mechanism of corrosion)	4
2.1.3 การเปลี่ยนแปลงพื้นที่ผิว (Polarization)	7
2.1.4 ประเภทของการกัดกร่อน (Type of corrosion)	7
2.1.5 อิทธิพลของสิ่งแวดล้อม (Influence of environmental)	13
2.2 การป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion prevention)	15
2.2.1 การเลือกวัสดุ (Material selection)	16
2.2.2 การเคลือบผิว (Coating)	17
2.2.3 การออกแบบ (Design)	18
2.2.4 การเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม (Alteration of environment)	19
2.2.5 การป้องกันแบบแคโทดิก (Cathodic protection)	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม กระทรวงพาณิชย์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา IV จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.6 การป้องกันแบบแอโนดิก (Anodic protection)	20
2.3 สารยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibitor)	20
2.3.1 การจำแนกชนิดของสารยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibitors classification)	22
2.3.2 ตัวปรับสภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental conditionals)	22
2.3.3 สารยับยั้งที่ผิว (Interphase inhibitors)	22
2.3.4 การประยุกต์ใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนในสภาวะแวดล้อมต่างๆ (Application of corrosion inhibitors in environments)	26
2.4 สารลดแรงตึงผิว (Surfactants)	27
2.4.1 องค์ประกอบของสารลดแรงตึงผิว (Composition of surfactants)	27
2.4.2 ชนิดของสารลดแรงตึงผิว (Type of surfactants)	28
2.4.3 สารลดแรงตึงผิวแบบคู่ (Gemini surfactant)	30
2.4.4 การเกิดไมเซลล์ (Micelle formation)	32
2.4.5 ความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC)	32
2.4.6 การประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิว (Application of surfactants)	33
2.5 โพลาริเซชันของการกัดกร่อน (Corrosion of polarization)	34
2.6 เทคนิคโพเทนชิโอดินามิกโพลาริเซชัน (Potentiodynamic Polarization)	34
2.7 การทดสอบโดยวิธีโพเทนชิโอสแตท (Potentiostatic)	35
2.6.1 โพเทนชิโอสแตท (Potentiostatic)	36
2.6.2 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode)	36
2.6.3 ขั้วไฟฟ้าตรงข้าม (Counter electrode)	37
2.7 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel)	37
2.7.1 ลักษณะทั่วไป (General properties)	37
2.7.2 ประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิม (Type of stainless steel)	38
2.7.3 ผลของธาตุผสม (Effect of alloy elements)	41
2.7.4 ลักษณะของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการทดลอง (Properties of the stainless steel substrate)	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	46
3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	46
3.3 วิธีการทดลอง	47
3.3.1 วิธีเตรียมชิ้นงานก่อนทำการทดลอง	47
3.3.2 วิเคราะห์พื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ก่อนและหลังขัดด้วย กระดาษทราย โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope)	47
3.3.3 อธิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS)	47
3.3.3.1 การเตรียมสารละลาย	47
3.3.3.2 การเตรียมการวัดทางเคมีไฟฟ้า	47
3.3.3.3 วิธีการทดลอง	48
3.3.4 อธิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ Benzene-1, 1-oxybis-, tetrapropylene derivatives, sulfonated, sodium salts	48
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ผลจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304	50
4.2.1 ก่อนขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย	50
4.2.2 หลังขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย	50
4.2 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว	51
4.3 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่	54
4.4 เปรียบเทียบแนวโน้มของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวและแบบคู่	55
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาVI ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **vii** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน	8
ตารางที่ 2.2 โลหะที่มีความต้านทานการกัดกร่อนในสภาวะต่างๆ ได้ดี	16
ตารางที่ 2.3 สารยับยั้งการกัดกร่อนที่ใช้ในอุตสาหกรรม	21
ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวแบบคู่	31
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการกัดกร่อนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว	51
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการกัดกร่อนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา VIII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบโครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแบบคู่ (A) กับสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยว (B)	2
รูปที่ 2.1 การเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของเหล็กในสารละลายกรดที่ปราศจากออกซิเจน	5
รูปที่ 2.2 รูปแบบการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ	7
รูปที่ 2.3 รูปแบบการกัดกร่อนแบบกัลวานิก	8
รูปที่ 2.4 รูปแบบการกัดกร่อนแบบหลุม	9
รูปที่ 2.5 รูปแบบการกัดกร่อนบริเวณซอก	10
รูปที่ 2.6 รูปแบบการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน	10
รูปที่ 2.7 รูปแบบการแตกร้าวจากความเค้นและการกัดกร่อน	11
รูปที่ 2.8 ปัจจัยที่มีอิทธิพลกับการแตกร้าวจากความเค้นและการกัดกร่อน	11
รูปที่ 2.9 รูปแบบการแตกร้าวจากการกัดกร่อนร่วมกับความล้า	12
รูปที่ 2.10 รูปแบบความเสียหายจากไฮโดรเจน	12
รูปที่ 2.11 อิทธิพลของ pH และอัตราการกัดกร่อน	13
รูปที่ 2.12 อิทธิพลของ Oxidizing agent และอัตราการกัดกร่อน	13
รูปที่ 2.13 อิทธิพลของอัตราการไหลและอัตราการกัดกร่อน	14
รูปที่ 2.14 อิทธิพลของอุณหภูมิและอัตราการกัดกร่อน	14
รูปที่ 2.15 อิทธิพลของความเข้มข้นและอัตราการกัดกร่อน	15
รูปที่ 2.16 แผนผังแสดงวิธีทั่วไปที่ใช้ในการควบคุมการกัดกร่อน	15
รูปที่ 2.17 การป้องกันโดยใช้กระแสไฟฟ้าจากภายนอก	20
รูปที่ 2.18 การป้องกันแบบแคโทดของเหล็กกล้า	20
รูปที่ 2.19 แผนผังการจำแนกชนิดของสารยับยั้งการกัดกร่อน	22
รูปที่ 2.20 การดูดซับประจุลบโดยประจุบวกบนผิวโลหะ	25
รูปที่ 2.21 ประจุบวกของการยับยั้งการกัดกร่อนที่ไม่ทำปฏิกิริยากับประจุบวกบนผิวโลหะ	25
รูปที่ 2.22 การเชื่อมโยงบริเวณส่วนที่ขอบน้ำ (A) และการเชื่อมโยงบริเวณส่วนที่ไม่ขอบน้ำ (B และ C)	30
รูปที่ 2.23 การจัดเรียงตัวโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ	32
รูปที่ 2.24 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของสารละลายเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ มีผู้นิพนธ์โดย ดร. ชัยวัฒน์ ชัยวัฒน์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา หรือต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.25 การประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวในอุตสาหกรรมต่างๆ	33
รูปที่ 2.26 ลักษณะของแคโทดิกและแอนโอดิกโพลาริเซชัน	34
รูปที่ 2.27 Polarization Curve จากการทดลองวิธี Potentiodynamic polarization	35
รูปที่ 2.28 การติดตั้งชุดการทดลองแบบ Potentiostat	35
รูปที่ 2.29 แผนผังอย่างง่ายของโพเทนชิโอสแตท	36
รูปที่ 2.30 แผนภาพสมมูลเหล็กกับคาร์บอน	37
รูปที่ 2.31 โครงสร้างของ Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS)	45
รูปที่ 2.32 โครงสร้างของ Benzene-1, 1-oxybis-, tetrapropylene derivatives, sulfonated, sodium salts	45
รูปที่ 3.1 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope)	49
รูปที่ 3.2 เครื่องโพเทนชิโอสแตท (Potentiostat)	49
รูปที่ 3.3 ชุดทดสอบการกัดกร่อน	49
รูปที่ 4.1 พื้นผิวชิ้นงานก่อนขัดด้วยกระดาษทรายแบบสว่าง (A) และแบบมืด (B) กำลังขยาย 100 เท่า	50
รูปที่ 4.2 พื้นผิวชิ้นงานหลังขัดด้วยกระดาษทรายแบบสว่าง (A) และแบบมืด (B) กำลังขยาย 100 เท่า	50
รูปที่ 4.3 กราฟโพเทนชิโอดินามิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ไม่เติมและเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวที่ความเข้มข้น 0.25 0.5 1 และ 2 เท่าของ CMC	51
รูปที่ 4.4 กลไกการเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว	53
รูปที่ 4.5 กราฟโพเทนชิโอดินามิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ไม่เติมและเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ที่ความเข้มข้น 0.25 0.5 1 และ 2 เท่าของ CMC	54
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกักกร่อน กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ	56
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกักกร่อนแบบหุลุม กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ	57



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา **xi** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการงาน [1-3]

การกักต้อนเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวอุปกรณ์ เช่น ท่อ วาล์ว และระบบควบคุมของโรงงานอุตสาหกรรม เมื่ออุปกรณ์เหล่านั้นสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อน จึงทำให้เกิดความสูญเสียขึ้น ในกระบวนการผลิตต้องคำนึงถึงเรื่องการกักต้อนควบคู่กับการผลิตเสมอ โดยยินยอมให้เกิดการกักต้อนน้อยที่สุด ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นกับการกักต้อนนี้จะส่งผลกระทบต่อทั้งทางด้าน เศรษฐศาสตร์ ด้านความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน เพราะต้องมีค่าใช้จ่ายทั้งโดยตรงและโดยอ้อม ค่าใช้จ่ายโดยตรง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่ได้จากการวางแผนหรือคาดการณ์ไว้ล่วงหน้าและได้เตรียมการไว้เพื่อป้องกันการกักต้อนแล้ว ส่วนค่าใช้จ่ายโดยอ้อม ได้แก่ ความสูญเสียที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้ก่อนและยากที่จะประเมินมูลค่าได้ เช่น การสูญเสียรายได้จากการผลิตที่ต้องลดปริมาณการผลิตจนถึงขั้นหยุดการผลิตเมื่อเกิดปัญหาการกักต้อนขึ้น หรือจากการที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลงเพราะมีการปนเปื้อนจากการกักต้อน หรือต้องใช้จ่ายเพื่อซ่อมแซมอุปกรณ์ หรือซื้ออุปกรณ์ใหม่เพื่อทดแทนอุปกรณ์ที่เสียหาย รวมถึงค่าใช้จ่ายของวัสดุที่ใช้มากขึ้นไปเนื่องจากการออกแบบผิด และสุดท้ายเป็นค่าของชีวิตและทรัพย์สินที่เสียหายจากการกักต้อนที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดอุบัติเหตุ

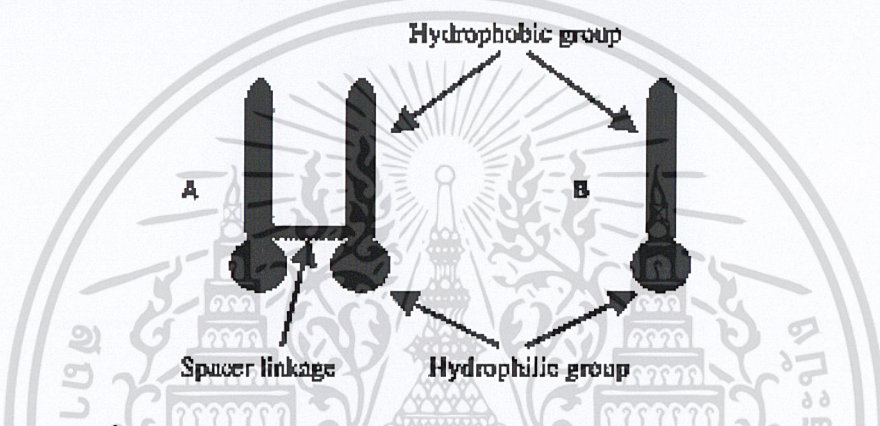
การป้องกันการกักต้อนสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การออกแบบกระบวนการและการเลือกวัสดุให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งาน การเคลือบผิวหน้าของอุปกรณ์ นอกจากนี้การปรับปรุงสิ่งแวดล้อมโดยใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง การเติมสารยับยั้งการกัดกร่อนลงสิ่งแวดล้อมหนึ่งในปริมาณเพียงเล็กน้อยจะช่วยป้องกันการกักต้อนหรือทำให้การกักต้อนเกิดขึ้นน้อยที่สุด ซึ่งสารยับยั้งที่มีประสิทธิภาพจะต้องเข้ากันได้ดีกับสภาวะแวดล้อม มีราคาถูก และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรือมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

ในปัจจุบันมีการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนเพื่อป้องกันการกักต้อนอย่างแพร่หลาย ซึ่งสารลดแรงตึงผิวจัดเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนประเภทหนึ่งที่สำคัญต่อการป้องกันการกักต้อน จึงได้มีผู้ที่ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโดยใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นยับยั้งการกัดกร่อน โดยมีตัวอย่างงานวิจัยได้แก่ Z. Wei และคณะ [1] ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า

ไร้สนิม 304 ด้วยสารลดแรงตึงผิว N-lauroylsarcosine sodium salt (NLS) ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ S.S. Abd และคณะ [2] ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของอลูมิเนียมและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะผสมของทองแดงกับอะลูมิเนียมด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ คือ Sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยทั่วไปสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยว ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) แสดงดังรูปที่ 1.1 (A) แต่สารลดแรงตึงผิวแบบคู่ (Gemini surfactant) ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำ ส่วนที่ไม่ชอบน้ำและส่วนเชื่อมโยงที่เรียกว่า Spacer ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งส่วนที่ชอบน้ำและส่วนที่ไม่ชอบน้ำ แสดงดังรูปที่ 1.1 (B) สมบัติของสารลดแรงตึงผิวแบบคู่จะขึ้นกับองค์ประกอบทั้ง 3 ส่วน จะพบว่าสารลดแรงตึงผิวแบบคู่สามารถลดแรงตึงผิวและทำให้ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่เกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC) ลดลงอย่างมาก เมื่อเทียบกับสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยวที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงกัน



รูปที่ 1.1 การเปรียบเทียบ โครงสร้างของสารลดแรงตึงผิวแบบคู่ (A) กับสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยว (B) [3]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 โดยใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนประเภทสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว คือ Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS) และสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ (Gemini surfactant) คือ Benzene-1, 1-oxybis-, tetrapropylene derivatives, sulfonated, sodium salts ซึ่งสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดจะมีหมู่ Sulfonate อยู่ในโมเลกุล โดยการยับยั้งการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นเมื่อสารลดแรงตึงผิวถูกดูดซับบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ซึ่งจะเปรียบเหมือนมีฟิล์มบางๆ เคลือบบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ทำให้สามารถป้องกันไม่ให้เหล็กกล้าไร้สนิม 304 ถูกกัดกร่อนได้ จึงได้มีการเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวและสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่นี้มาทดลองใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวและแบบคู่ (Anionic เอกส gemini surfactant) ต่อการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์การค่าไม่เข้มข้น 0.1 โมลาร์ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาและทดลองใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว คือ Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS) และสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ (Anionic gemini surfactant) คือ Benzene-1, 1-oxybis-, tetrapropylene derivatives, sulfonated, sodium salts เพื่อใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยวิธีเปรียบเทียบกับสารกัดกร่อนที่ไม่เติมและเติมสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 0.25 0.5 1 และ 2 เท่าของความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซล

1.4 วิธีการศึกษา

1. ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการกัดกร่อนและการป้องกันการกัดกร่อน
2. ศึกษาเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชัน (Potentiodynamic polarization)
3. จัดหาอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทดลอง
4. ทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล
 - ไม่เติมสารลดแรงตึงผิว
 - เติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวที่ความเข้มข้นต่างๆ
 - เติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ที่ความเข้มข้นต่างๆ
5. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุป
6. เขียนรายงานการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการกัดกร่อนและการยับยั้งการกัดกร่อน
2. มีความเข้าใจในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า
3. สามารถเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบเพื่อยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการพื้นฐานของการกัดกร่อน (Basic principles of corrosion) [4-11]

2.1.1 การกัดกร่อน (Corrosion) [4-6]

การกัดกร่อน หมายถึง การเสื่อมสภาพของวัสดุเนื่องจากเกิดปฏิกิริยากับสิ่งแวดล้อม โดยปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า อัตราการกัดกร่อนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น ชนิดของตัวทำปฏิกิริยาและผลจากปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลต่อการกัดกร่อนอีก เช่น ความเค้นเชิงกลและการกร่อน

โลหะส่วนใหญ่ในธรรมชาติจะอยู่รวมกับสารอื่นในรูปของสารประกอบโลหะ หรือที่เรียกว่า สินแร่ การถลุงโลหะจากสินแร่จะต้องใช้พลังงานสูงและโลหะนั้นจะคายพลังงานออกสู่สิ่งแวดล้อมเกิดเป็นสารประกอบออกไซด์ ดังนั้นการกัดกร่อนจึงเป็นปรากฏการณ์ที่เปลี่ยนจากสารที่มีธาตุเดียวของโลหะไปเป็นสารประกอบของโลหะ เช่น เหล็กจะอยู่ในรูปของเหล็กออกไซด์

2.1.2 กลไกของการกัดกร่อน (Mechanism of corrosion) [6-7]

การกัดกร่อนมีกลไกที่สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรงและการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี

1. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง (Direct chemical corrosion) [6]

การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรงเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นกับโลหะ โดยโลหะที่ใช้ในงานวิศวกรรมจะอยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชันจะรวมตัวกับออกซิเจนในสิ่งแวดล้อมได้ค่อนข้างน้อย การเกิดออกซิเดชันของโลหะดังกล่าวจะช้ามากที่อุณหภูมิห้องและจะเกิดขึ้นเร็วมากที่อุณหภูมิสูงขึ้น ดังการเกิดสะเก็ดที่ผิวของเหล็กกล้าเมื่ออบถึงอุณหภูมิร้อนแดง เมื่ออบเหล็กให้ร้อนในบรรยากาศที่มีออกซิเจนจะเกิดขึ้นสะเก็ดออกไซด์สีดำของ FeO เคลือบที่ผิวด้านนอก ดังปฏิกิริยา



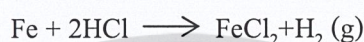
การที่โลหะสามารถรวมตัวกับออกซิเจนได้ง่ายไม่ได้มีผลต่ออัตราที่โลหะถูกออกซิไดซ์เสมอไป เช่น อะลูมิเนียมที่สามารถรวมตัวกับออกซิเจนได้ง่ายแต่ยังสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อน เนื่องจากสารประกอบออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นมากและสามารถเกาะติดที่พื้นผิวของอะลูมิเนียมได้ดีจึงป้องกันไม่ให้ออกซิเจนเข้าไปทำปฏิกิริยากับอะลูมิเนียมได้อีกต่อไป

นอกจากนี้การเกิดออกซิเดชันนั้นไม่ได้เกิดจากผลของออกซิเจนเพียงอย่างเดียว อาจรวมถึงเกิดจากสารปนเปื้อน เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์

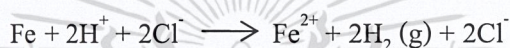
ออกไซด์ของไนโตรเจนและไอน้ำจะทำให้โลหะเกิดการเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้นที่อุณหภูมิสูง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrochemical corrosion) [6-7]

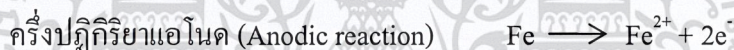
การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าเป็นการกัดกร่อนของโลหะเนื่องจากโลหะสองชนิดที่อยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีความแตกต่างของค่าศักย์ไฟฟ้า โดยการกัดกร่อนของโลหะเกือบทั้งหมดมีขั้นตอนการเกิดเป็นการถ่ายเทประจุไฟฟ้า (Electrochemical reaction) ธรรมชาติของการกัดกร่อนแบบเคมีไฟฟ้าอธิบายได้ด้วยตัวอย่างของเหล็กในสารละลายกรด เมื่อจุ่มเหล็กในสารละลายกรดเจือจางหรือกรดไฮโดรคลอริกจะทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ผิวพร้อมกับโลหะเหล็กจะละลายเป็นไอออนของเหล็กเกิดเป็นสารประกอบของเหล็กคลอไรด์ที่สามารถละลายได้ ดังสมการ



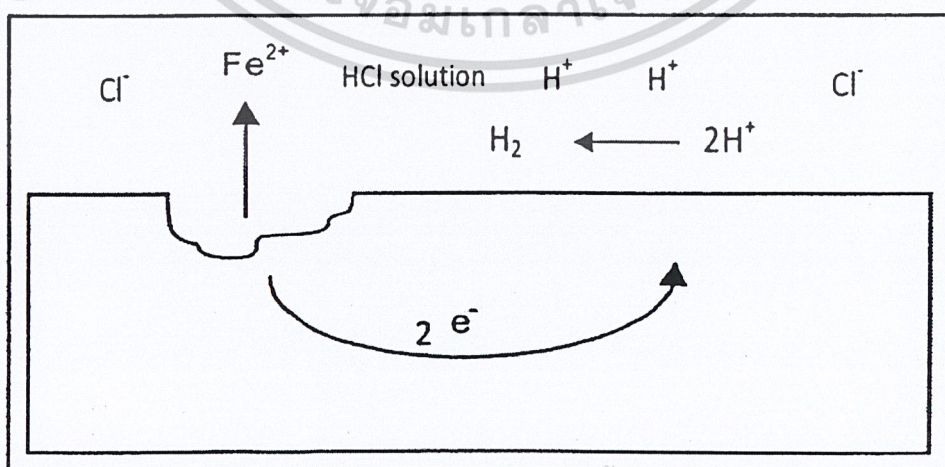
จากสมการจะเห็นได้ว่า ไอออนของคลอไรด์ไม่ได้เป็นส่วนหลักของปฏิกิริยาเลย จึงสามารถเขียนปฏิกิริยาของไอออนอย่างง่ายได้ดังนี้



ดังนั้น เมื่อเหล็กเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนกับกรดใดๆ จะเกิดปฏิกิริยาอย่างขึ้น 2 ปฏิกิริยาดังนี้



ปฏิกิริยาแอโนด คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ของเหล็กที่เกิดปฏิกิริยาให้อิเล็กตรอนแล้วมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 2+ ส่วนปฏิกิริยาแคโทด คือ ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction) ของไฮโดรเจนที่เกิดปฏิกิริยารับอิเล็กตรอนแล้วมีเลขออกซิเดชันลดลงจาก 1+ เป็น 0 โดยปฏิกิริยาทั้งสองจะเกิดควบคู่กัน คือ มีการให้และรับอิเล็กตรอนในเวลาเดียวกันด้วยอัตราที่เท่ากันที่ผิวโลหะ แสดงดังรูปที่ 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีรูปที่ 2.1 การเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของเหล็กในสารละลายกรดที่ปราศจากออกซิเจน [7] นำมาใช้

เมื่อเหล็กละลายเป็นไอออนของเหล็กแล้วจะให้อิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ไปตามเนื้อโลหะบริเวณใกล้ๆ และพร้อมที่จะเกิดปฏิกิริยากับไอออนไฮโดรเจนของกรด เกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจนที่บริเวณพื้นผิวโลหะนั้น ซึ่งน้ำในสารละลายมักจะมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ โดยน้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวพาไอออน เช่น พาไอออนของเหล็ก (Fe^{2+}) และไอออนของไฮโดรเจน (H^+) ให้เคลื่อนที่ในสารละลายเพื่อทำปฏิกิริยา

บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาให้และรับอิเล็กตรอนจะแยกออกจากกัน แต่โดยรวมแล้วจะมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเป็นผลให้เกิดการกัดกร่อน ซึ่งได้มีการทดลองป้องกันอิเล็กตรอนจากภายนอกให้แก่สังกะสีที่อยู่ในสารละลายกรดเกลือพบว่าเมื่ออัตราการกัดกร่อนลดลง นั่นคือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะถูกยับยั้งในขณะที่ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซไฮโดรเจนกลับเพิ่มขึ้น ดังนั้นการกัดกร่อนของโลหะในน้ำจึงเป็นปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อย 2 ปฏิกิริยา คือ ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของสิ่งแวดล้อมโลหะ

อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะจะลดลงได้ถ้ามีการป้อนศักย์ไฟฟ้าลบหรือป้องกันอิเล็กตรอนแก่โลหะ หลักการนี้ได้ใช้เป็นเทคนิคป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิก (Cathodic Protection) ของท่อยาวหรือโครงสร้างของแท่นขุดเจาะน้ำมันในทะเลและถังบรรจุขนาดใหญ่ที่ทำด้วยเหล็กกล้า ชนิดของครึ่งปฏิกิริยารีดักชันขึ้นกับชนิดของสิ่งแวดล้อมโลหะ ซึ่งโดยทั่วไปคือน้ำ ทั้งที่เป็นสารละลายของน้ำ ไอออน หรือความชื้นที่อยู่ในสถานะก๊าซ แม้แต่ในสภาพแห้งที่ไม่มีน้ำ เช่น ที่อุณหภูมิสูงการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นก็ประกอบด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุหรืออิเล็กตรอนในอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นของแข็งและยังถูกพิจารณาว่าเป็นปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อนเช่นเดียวกัน

ปฏิกิริยาแอโนดของโลหะที่ถูกกัดกร่อน มีดังนี้



ตัวอย่างเช่น



จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเท่ากับจำนวนเลขออกซิเดชันของไอออนโลหะ โดยที่ปฏิกิริยาแคโทดิกหรือรีดักชันของสิ่งแวดล้อมโลหะเป็นได้หลายแบบ ได้แก่

- รีดักชันของไอออนไฮโดรเจนของสารละลายกรด คือ $H^+ + 2e^{-} \longrightarrow H_2$
- รีดักชันของไอออนออกซิไดซ์ใดๆในสารละลาย เช่น $Fe^{3+} + e^{-} \longrightarrow Fe^{2+}$
- รีดักชันของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่เป็นกลาง $O_2 + 2H_2O + 4e^{-} \longrightarrow 4OH^{-}$
- รีดักชันของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่เป็นกรด $O_2 + 4H^+ + 4e^{-} \longrightarrow 2H_2O$
- รีดักชันของน้ำเมื่อสารอื่นที่จะเกิดรีดักชัน $2H_2O + 2e^{-} \longrightarrow H_2 + 2OH^{-}$

2.1.3 การเปลี่ยนแปลงที่ผิวของโลหะ (Polarization) [7]

ปกติปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ผิวโลหะจะดำเนินไปด้วยอัตราเร็วค่าหนึ่งตามปริมาณอิเล็กตรอนที่แลกเปลี่ยนกัน เมื่อการให้และรับอิเล็กตรอนที่ผิวโลหะดำเนินไปชั่วเวลาหนึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะเปลี่ยนไป เรียกว่า โพลาริเซชัน (Polarization) ถ้าอิเล็กตรอนที่ผิวโลหะมีมากจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าของโลหะเปลี่ยนไปทางที่เป็นลบมากขึ้น ซึ่งทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลง การเปลี่ยนแปลงที่ผิวของโลหะแบบนี้ เรียกว่า แคโทดิกโพลาริเซชัน (Cathodic polarization) ในทางตรงกันข้ามถ้าอิเล็กตรอนที่ผิวโลหะไม่เพียงพอจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าของโลหะเปลี่ยนไปทางที่เป็นบวกมากขึ้น ซึ่งทำให้อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น เรียกว่า แอโนดิกโพลาริเซชัน (Anodic polarization) ดังนั้นยังมีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่ผิวรอยต่อระหว่างโลหะกับสารละลายไปทางที่เป็นบวกมากขึ้นจะทำให้โลหะถูกกัดกร่อนมากขึ้น เนื่องจากสารละลายมีฤทธิ์กัดกร่อนที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดแอโนดิกโพลาริเซชัน

2.1.4 ประเภทของการกัดกร่อน (Type of corrosion) [8-11]

1. การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform corrosion) [8-11]

การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอสามารถพบได้ทั่วไป โดยโลหะจะเกิดจากปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าทำให้เกิดการกัดกร่อนสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าของโลหะนั้น โลหะจึงบางลงเรื่อยๆ หรือมีน้ำหนักร่อนหายไป การกัดกร่อนประเภทนี้ไม่ค่อยเป็นปัญหาและไม่ก่อให้เกิดอันตรายรุนแรง เนื่องจากสามารถหาอัตราการกัดกร่อนทำให้ทำนายอายุการใช้งานของโลหะที่เกิดการกัดกร่อนประเภทนี้ได้ ซึ่งจะแตกต่างกับการกัดกร่อนประเภทอื่นๆ

อัตราการกัดกร่อน คือ น้ำหนักที่หายไปต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา โดยมีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อตารางเดซิเมตรต่อวัน ($\text{mg}/\text{dm}^2 \cdot \text{day}$) ส่วนอัตราการซึมลึก (Rate of penetration) คือ ความลึกของการกัดกร่อนต่อเวลา โดยมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรต่อปี (mm/y)



รูปที่ 2.2 รูปแบบการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ [12]

การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอสามารถป้องกันหรือลดปริมาณการกัดกร่อนได้โดย

1) ใช้โลหะที่มีความเฉื่อยหรือมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2) ใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนเพื่อลดความรุนแรงของสิ่งแวดล้อมหันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ 3) ใช้การป้องกันแบบแคโทดิก (Cathodic protection) เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic corrosion) [8-10]

โลหะแต่ละชนิดจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าเฉพาะตัว ดังนั้นเมื่อมีโลหะ 2 ชนิดสัมผัสกันในสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะทำให้เกิดการครบวงจรเคมีไฟฟ้าและเกิดการไหลของอิเล็กตรอนระหว่างโลหะทั้งสอง โดยโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าจะมีอัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น (แอโนด) ในขณะที่โลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าสูงกว่าจะมีอัตราการกัดกร่อนลดลง (แคโทด) ความแตกต่างของค่าศักย์ไฟฟ้าของโลหะทั้งสองยิ่งต่างกันมากเท่าไรความรุนแรงในการกัดกร่อนก็จะมากขึ้นเท่านั้น

ค่าความต่างศักย์นี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลา เนื่องจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนที่สะสมอยู่ที่ขั้วแคโทดหรือแอโนดจะทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลง



รูปที่ 2.3 รูปแบบการกัดกร่อนแบบกัลวานิก [13]

การกัดกร่อนแบบกัลวานิกสามารถป้องกันหรือลดปริมาณการกัดกร่อนได้โดย

- 1) เลือกใช้โลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกัน
- 2) หลีกเลี่ยงอัตราส่วนของพื้นที่แคโทดต่อพื้นที่แอโนดที่สูง
- 3) ใช้ฉนวนกันบริเวณที่ใช้โลหะต่างชนิดกันมาสัมผัสกัน
- 4) ติดตั้งโลหะที่สามที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าน้อยกว่าโลหะทั้งสองเพื่อให้เกิดการกัดกร่อนแทน

(Sacrificial anode)

ตารางที่ 2.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน [14]

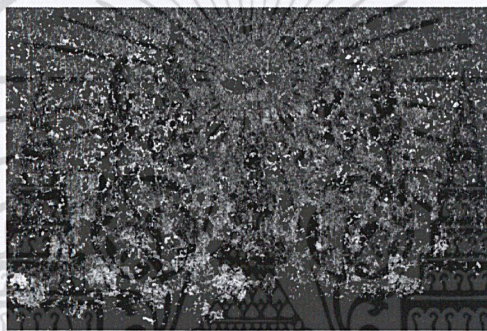
	Reduction Half-Reaction	E° (V)	
Stronger oxidizing agent	$F_2(g) + 2e^- \rightarrow 2F^-(aq)$	2.87	Weaker reducing agent
	$H_2O_2(aq) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	1.78	
	$MnO_4^-(aq) + 8H^+(aq) + 5e^- \rightarrow Mn^{2+}(aq) + 4H_2O(l)$	1.51	
	$Cl_2(g) + 2e^- \rightarrow 2Cl^-(aq)$	1.36	
	$Cr_2O_7^{2-}(aq) + 14H^+(aq) + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+}(aq) + 7H_2O(l)$	1.33	
	$O_2(g) + 4H^+(aq) + 4e^- \rightarrow 2H_2O(l)$	1.23	
	$Br_2(l) + 2e^- \rightarrow 2Br^-(aq)$	1.09	
	$Ag^+(aq) + e^- \rightarrow Ag(s)$	0.80	
	$Fe^{3+}(aq) + e^- \rightarrow Fe^{2+}(aq)$	0.77	
	$O_2(g) + 2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2O_2(aq)$	0.70	
	$I_2(s) + 2e^- \rightarrow 2I^-(aq)$	0.54	
	$O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^- \rightarrow 4OH^-(aq)$	0.40	
	$Cu^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cu(s)$	0.34	
	$Sn^{4+}(aq) + 2e^- \rightarrow Sn^{2+}(aq)$	0.15	
	$2H^+(aq) + 2e^- \rightarrow H_2(g)$	0	
Weaker oxidizing agent	$Pb^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Pb(s)$	-0.13	Stronger reducing agent
	$Ni^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ni(s)$	-0.26	
	$Cd^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Cd(s)$	-0.40	
	$Fe^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Fe(s)$	-0.45	
	$Zn^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Zn(s)$	-0.76	
	$2H_2O(l) + 2e^- \rightarrow H_2(g) + 2OH^-(aq)$	-0.83	
	$Al^{3+}(aq) + 3e^- \rightarrow Al(s)$	-1.66	
	$Mg^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Mg(s)$	-2.37	
	$Na^+(aq) + e^- \rightarrow Na(s)$	-2.71	
	$Li^+(aq) + e^- \rightarrow Li(s)$	-3.04	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ห้ามมิให้ทำซ้ำหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหาใดๆ ของเอกสารนี้ หากมีการนำไปใช้

3. การกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting corrosion) [8-10]

การกัดกร่อนแบบหลุมเป็นการกัดกร่อนที่ทำให้เกิดรูหรือหลุมในเนื้อโลหะ ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับโลหะที่มีการสร้างฟิล์มป้องกันที่สามารถป้องกันการกัดกร่อนสม่ำเสมอทั่วผิวหน้าได้ แต่เมื่อฟิล์มป้องกันถูกทำลายจะทำให้เกิดการกัดกร่อนเฉพาะที่และเกิดการกัดกร่อนลึกลงไปเรื่อยๆ การกัดกร่อนประเภทนี้ทำนายได้ยาก เนื่องจากผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนได้ปกคลุมเอาไว้ โดยทั่วไปการกัดกร่อนแบบหลุมจะเกิดทิศทางเดียวกับแรงโน้มถ่วงของโลก การเกิดการกัดกร่อนในทิศทางอื่นก็สามารถเกิดได้แต่น้อย

การกัดกร่อนแบบหลุมเป็นการกัดกร่อนที่ก่อให้เกิดความเสียหายและรุนแรงที่สุด เนื่องจากการกัดกร่อนแบบหลุมจะสูญเสียน้ำหนักของโลหะน้อย ซึ่งยากที่ตรวจวัดเชิงปริมาณและตรวจวัดการขยายตัวของสภาพการกัดกร่อนของการกัดกร่อนแบบหลุมได้



รูปที่ 2.4 รูปแบบการกัดกร่อนแบบหลุม [15]

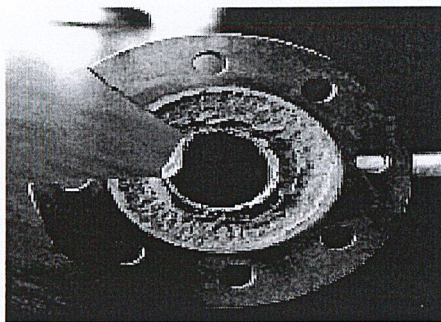
การกัดกร่อนแบบหลุมสามารถป้องกันหรือลดปริมาณการกัดกร่อนได้โดย

- 1) ลดความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนในสารละลาย
- 2) เต็มโลหะด้วย Cr Mo หรือ N
- 3) ใช้การป้องกันแบบแคโทดิก (Cathodic protection)

4. การกัดกร่อนบริเวณซอก (Crevice corrosion) [8-10]

การกัดกร่อนบริเวณซอกเป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในพื้นที่อับบนผิวโลหะที่สัมผัสโดยตรงกับสารละลายที่มีฤทธิ์การกัดกร่อน การกัดกร่อนประเภทนี้เกี่ยวข้องกับปริมาณของสารละลายที่เข้าไปขังอยู่ตามพื้นที่ที่เป็นซอกบริเวณแคบๆเป็นเวลานาน โดยไม่มีการถ่ายเททำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนในสารละลายภายในซอกไม่เท่ากับภายนอกจะเกิดการครบเซลล์การกัดกร่อนชนิดเซลล์ความเข้มข้น โดยบริเวณในซอกจะเกิดการกัดกร่อน (แอโนด)

การสัมผัสระหว่างผิวโลหะกับผิวที่ไม่ใช่โลหะก็สามารถเกิดการกัดกร่อนบริเวณซอกได้ เช่น ปะเก็นรอยต่อระหว่างยางกับเหล็กกล้าไร้สนิมที่จุ่มอยู่ในน้ำทะเล เนื่องจากสารละลายที่ขังอยู่ไม่มีการถ่ายเท ออกซิเจนที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาด้านแคโทดิกจึงลดลงเรื่อยๆ จนหมด แต่ปฏิกิริยาด้านแอโนดิกยังดำเนินอยู่ทำให้คลอไรด์ไอออนเคลื่อนที่เข้ามาในรอยต่อเพื่อดุลประจุและทำการค้าปฏิกิริยากับน้ำได้โลหะไฮดรอกไซด์กับกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งจะทำให้รอยแตกขยายตัวไปเรื่อยๆไปใช้



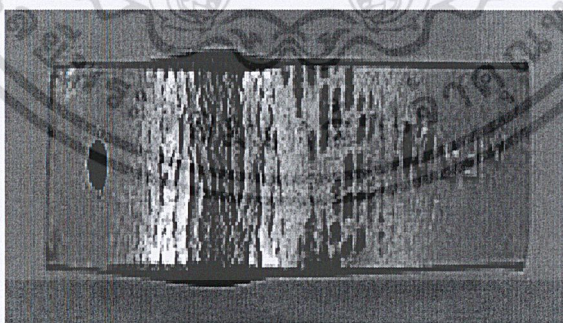
รูปที่ 2.5 รูปแบบการกัดกร่อนบริเวณซอก [16]

การกัดกร่อนบริเวณซอกสามารถป้องกันหรือลดปริมาณการกัดกร่อนได้โดย

- 1) ลดความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนในสารละลาย
- 2) ใช้การเชื่อมแทนการใช้หมุดย้ำหรือสลักเกลียว
- 3) ออกแบบถึงให้สามารถระบายสารละลายได้ดีและพยายามหลีกเลี่ยงรูปร่างที่เป็นมุม
- 4) กำจัดของแข็งที่ปะปนเข้ามากับสารละลายก่อนเข้ากระบวนการ
- 5) ใช้ปะเก็นที่เป็นของแข็งและไม่มีการดูดซึมสารละลาย

5. การกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน (Intergranular corrosion) [8-10]

การกัดกร่อนบริเวณขอบเกรนเกิดจากสิ่งแปลกปลอมที่ขอบเกรนหรือมีปริมาณของโลหะผสมมากหรือน้อยไม่สม่ำเสมอที่ขอบเกรนและบริเวณอื่นๆ เช่น เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกิดการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรนได้ เนื่องจากนำเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกไปใช้งานในช่วงอุณหภูมิ 500-800 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานทำให้โครเมียมรวมตัวกับคาร์บอนเกิดเป็นโครเมียมคาร์ไบด์ที่ขอบเกรน แต่เดิมโครเมียมที่อยู่ในเนื้อเหล็กจะช่วยป้องกันการกัดกร่อนให้เหล็ก ดังนั้นบริเวณขอบเกรนที่มีโครเมียมต่ำกว่าร้อยละ 12 จะไม่ใช่เหล็กกล้าไร้สนิมจึงถูกกัดกร่อนได้ง่ายกว่าบริเวณอื่น



รูปที่ 2.6 รูปแบบการกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน [17]

การกัดกร่อนบริเวณขอบเกรนสามารถป้องกันหรือลดปริมาณการกัดกร่อนได้โดย

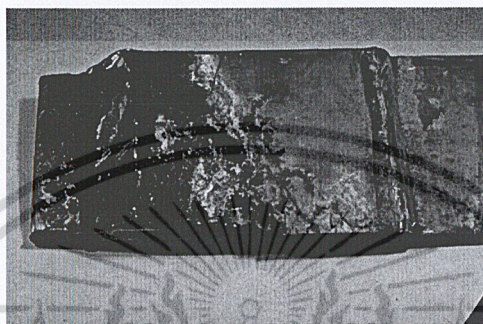
1) การทำ Heat treatment ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งปกติจะเรียกว่า Quench annealing หรือ solution quenching เพื่อให้โครเมียมคาร์ไบด์หลอมแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว

2) การเติมธาตุบางตัว เช่น Ti Nb ที่สามารถรวมตัวเป็นคาร์ไบด์ได้ดี (Stabilizer)

3) การลดปริมาณคาร์บอนให้ต่ำกว่า 0.03 เปอร์เซ็นต์

6. การแตกร้าวจากความเค้นและการกัดกร่อน (Stress corrosion cracking, SCC) [8-10]

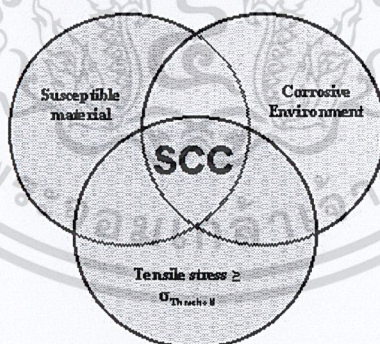
การแตกร้าวจากความเค้นและการกัดกร่อนจะเกิดกับโลหะที่อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์การกัดกร่อนร่วมกับความเค้นแรงดึง ซึ่งอาจเป็นความเค้นตกค้างเนื้อโลหะหรือความเค้นภายนอกที่มากระทำกับโลหะทำให้ในเนื้อโลหะเกิดรอยร้าวลักษณะเป็นกิ่งก้าน โดยรอยร้าวนี้อาจเกิดบริเวณขอบเกรน (Intergranular cracking) หรือผ่ากลางเกรนก็ได้ (Transgranular cracking) เช่น ทองเหลืองจะไม่ทนต่อแอมโมเนีย ส่วนเหล็กกล้าไร้สนิมจะไม่ทนต่อคลอไรด์ไอออน เป็นต้น



รูปที่ 2.7 รูปแบบการแตกร้าวจากความเค้นและการกัดกร่อน [18]

ปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อน

- 1) วัสดุ เช่น ชนิดของโลหะ โครงสร้างของโลหะ องค์ประกอบของโลหะ
 - 1) ความเค้นแรงดึง อาจเป็นความเค้นตกค้างในเนื้อโลหะ ความเค้นภายนอกที่มากระทำ ความเค้นเนื่องจากความร้อนหรืออาจเกิดจากการเชื่อมก็ได้
 - 2) สิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ องค์ประกอบของสารละลาย



รูปที่ 2.8 ปัจจัยที่มีอิทธิพลกับการแตกร้าวจากความเค้นและการกัดกร่อน [19]

การแตกร้าวจากความเค้นและการกัดกร่อนสามารถป้องกันหรือลดปริมาณการกัดกร่อนได้

โดย

- 1) ลดความเค้นตกค้างภายในเนื้อโลหะหรือลดความเค้นภายนอกที่มากระทำ
- 2) ลดความรุนแรงของสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม มีอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ขอสงวนสิทธิ์ในสิ่งที่ปรากฏในเอกสารนี้ เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

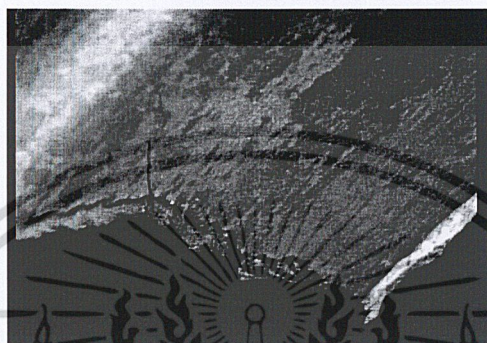
- 3) ใช้โลหะที่มีความเฉื่อยหรือมีค่าศักย์ไฟฟ้าที่สูงขึ้น

- 4) ใช้การป้องกันแบบแคโทดิก (Cathodic protection)

7. การแตกร้าวจากการกัดกร่อนร่วมกับความล้า (Corrosion fatigue cracking, CFC)

[8-10]

การแตกร้าวจากการกัดกร่อนร่วมกับความล้าเกิดขึ้นเมื่อโลหะได้รับแรงกระทำซ้ำๆ อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งอาจเป็นแรงดึงหรือแรงกดและขนาดแรงเค้นต่ำกว่าค่า Yield point ในสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์การกัดกร่อน ดังนั้น โลหะจึงถูกกระทำทั้งทางกลและทางเคมีจนในที่สุดโลหะนั้นเกิดการแตกหักเสียหาย (Fracture)



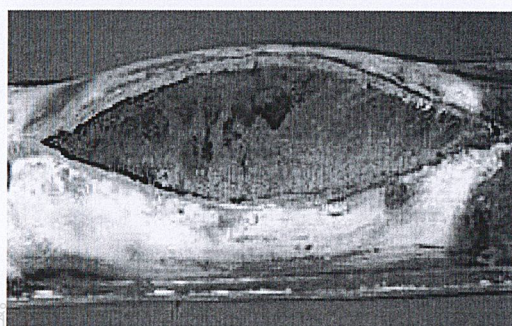
รูปที่ 2.9 รูปแบบการแตกร้าวจากการกัดกร่อนร่วมกับความล้า [20]

การแตกร้าวจากการกัดกร่อนร่วมกับความล้าสามารถป้องกันหรือลดปริมาณการกัดกร่อนได้โดย

- 1) ใช้การเคลือบผิว เช่น โครเมียม นิกเกิล เพื่อกำจัดสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์การกัดกร่อน
- 2) ใช้การป้องกันแบบแคโทดิก (Cathodic protection)

8. ความเสียหายจากไฮโดรเจน (Hydrogen damage) [9-11]

ความเสียหายจากไฮโดรเจนเกิดจากไฮโดรเจนอะตอมที่แพร่เข้าไปในช่องว่างหรือส่วนที่เป็นจุดอ่อนของโลหะ โดยไฮโดรเจนอะตอมจะรวมตัวเป็นโมเลกุลและเกิดแรงดันขึ้นจนทำให้โลหะนั้นบวมหรือสูญเสียความยืดหยุ่นจนเกิดรอยแตกร้าวได้ ซึ่งไฮโดรเจนอะตอมได้จากปฏิกิริยาการกัดกร่อน การชุบ การล้างด้วยกรดหรือการได้รับกระแสไฟฟ้าจากภายนอก ถ้าในสารละลายนั้นมีสารประกอบของกำมะถันหรือสารประกอบของสารหนูและฟอสฟอรัสละลายผสมอยู่จะทำให้ไฮโดรเจนอะตอมสามารถแพร่เข้าไปในเนื้อโลหะได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 2.10 รูปแบบความเสียหายจากไฮโดรเจน [21]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ความเสียหายจากไฮโดรเจนสามารถป้องกันหรือลดปริมาณการกัดกร่อนได้โดย

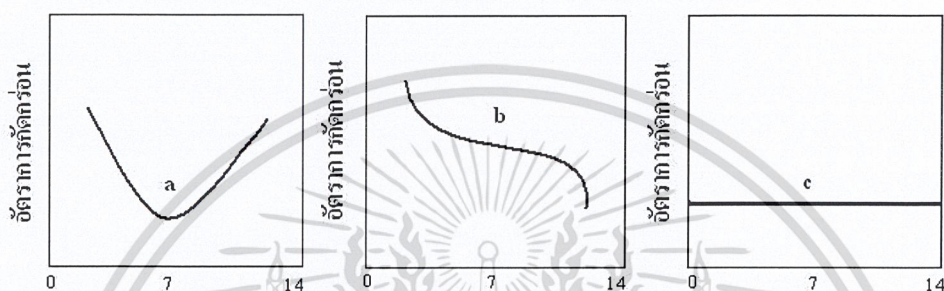
1) ลดปริมาณไฮโดรเจนโดยการอบที่อุณหภูมิต่ำในช่วง 90-150 องศาเซลเซียส เพื่อไล่ไฮโดรเจนที่แทรกอยู่ที่ผิวโลหะออกไป

2) การเชื่อมควรทำในบรรยากาศที่แห้งเพราะความชื้นเป็นแหล่งไฮโดรเจนที่ดีที่สุด

2.1.5 อิทธิพลของสิ่งแวดล้อม (Influence of environmental) [9]

1. อิทธิพลของ pH

อิทธิพลของ pH ต่ออัตราการกัดกร่อนสามารถแสดงได้ 3 ลักษณะ คือ



รูปที่ 2.11 อิทธิพลของ pH และอัตราการกัดกร่อน [9]

จากรูปที่ 2.11 พบว่า

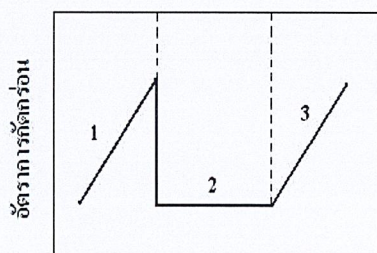
a) เป็นลักษณะของโลหะ Zn Al Pb Sn ซึ่งออกไซด์ของโลหะเหล่านี้สามารถละลายได้ดีทั้งในกรดและด่าง ในกรดจะเกิดเป็นไอออน ส่วนในด่างจะเกิดเป็นสารประกอบไอออน เช่น ZnO_2^{2-}

b) เป็นลักษณะของโลหะ Fe Ni Co Cu Cr Mn ซึ่งออกไซด์ของโลหะเหล่านี้สามารถละลายได้ในกรดไม่ละลายในด่าง ยกเว้น Fe ถ้าด่างมีความเข้มข้นและอุณหภูมิสูงสารประกอบของไอออนก็จะสามารถละลายได้ เช่น Na_2FeO_2

c) เป็นลักษณะของโลหะมีเฉื่อย ซึ่งโลหะที่มีความเสถียรทั้งในกรดและด่างจะไม่ขึ้นกับ pH เลย

2. อิทธิพลของออกซิเจนและสารที่ทำให้รวมตัวกับออกซิเจน (Oxidizing agent)

ออกซิเจนและสารที่ทำให้รวมตัวกับออกซิเจนที่แรงให้เกิดการกัดกร่อนเร็วขึ้น ถ้าเป็นโลหะที่เป็น Active-passive metal



ความเข้มข้นของ oxidising agent

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 2.12 อิทธิพลของ Oxidizing agent และอัตราการกัดกร่อน [9] ครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.12 พบว่า

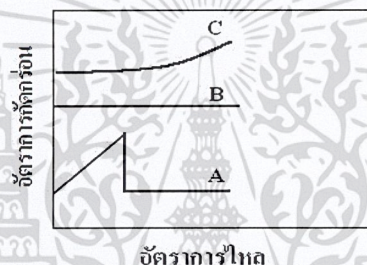
ในช่วงที่ 1 เมื่อความเข้มข้นของสารที่ทำให้รวมตัวกับออกซิเจนสูงขึ้น อัตราการกัดกร่อนจะสูงขึ้น เมื่อโลหะเกิดฟิล์มป้องกันขึ้นแล้ว

ในช่วงที่ 2 การเพิ่มสารที่ทำให้รวมตัวกับออกซิเจนจะไม่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อน

ในช่วงที่ 3 เมื่อความเข้มข้นของสารที่ทำให้รวมตัวกับออกซิเจนสูงมาก ฟิล์มป้องกันอาจจะถูกทำลายทำให้อัตราการกัดกร่อนกลับมาสูงอีกครั้งหนึ่ง

3. อิทธิพลของอัตราเร็วหรือความเร็ว

อัตราการไหลจะเป็นตัวช่วยให้เกิดการแพร่ระหว่างสารละลายและผิวหน้าของโลหะดีขึ้น โดยเฉพาะในระบบที่มีการกัดกร่อนนั้นถูกควบคุมโดยการแพร่ เมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นการแพร่จะดีขึ้นและทำให้อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น แต่จะไม่มีผลกับระบบที่มีการกัดกร่อนแบบ Activation polarization (Activation control) อิทธิพลของอัตราการไหลแสดง ได้ดังนี้



รูปที่ 2.13 อิทธิพลของอัตราการไหลและอัตราการกัดกร่อน [9]

จากรูปที่ 2.13 พบว่า

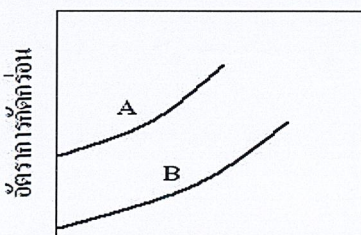
กราฟ A เมื่ออัตราการไหลสูงขึ้น อัตราการกัดกร่อนจะสูงขึ้น เมื่อโลหะเกิดฟิล์มป้องกันที่ไม่ละลายในสารละลายนั้นขึ้นมาจะทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลง เช่น ทองแดงในน้ำที่มีออกซิเจน

กราฟ B เป็นระบบที่มีการกัดกร่อนแบบ Activation control การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลจะไม่มีผลกับอัตราการกัดกร่อน เช่น เหล็กในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง

กราฟ C เมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นมาก ฟิล์มป้องกันจะถูกทำลายทำให้อัตราการกัดกร่อนจะสูงขึ้น เช่น เหล็กในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

4. อิทธิพลของอุณหภูมิ

ปกติอัตราการกัดกร่อนสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น อิทธิพลของอุณหภูมิแสดง ได้ดังนี้



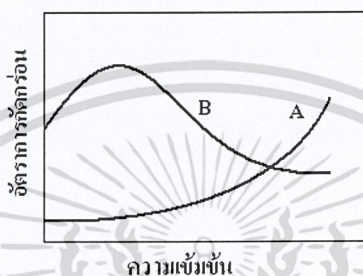
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 2.14 อิทธิพลของอุณหภูมิและอัตราการกัดกร่อน [9]** การทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.14 พบว่า

กราฟ A อัตราการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นทันทีที่อุณหภูมิสูงขึ้น เช่น นิกเกิลในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

กราฟ B อุณหภูมิจะไม่มีอิทธิพลต่อการกัดกร่อนมากนัก แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมากๆ อัตราการกัดกร่อนจะสูงขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเพิ่มขึ้นหรือการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของฟิล์มป้องกันที่ผิวโลหะ เช่น นิกเกิลในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

5. อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลาย



รูปที่ 2.15 อิทธิพลของความเข้มข้นและอัตราการกัดกร่อน [9]

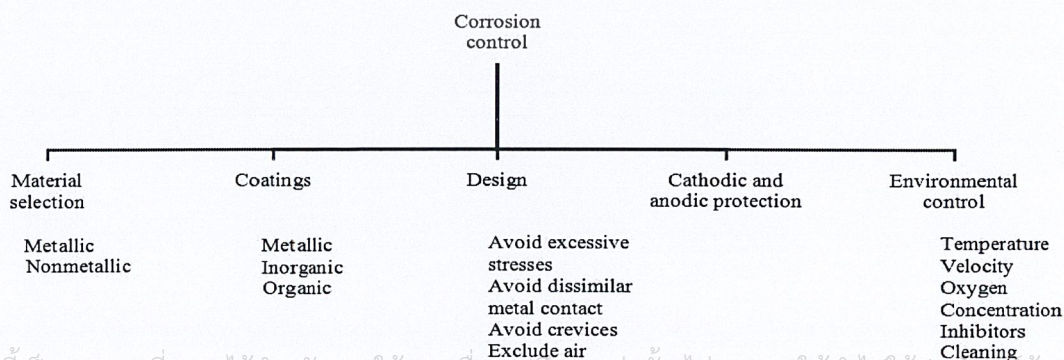
จากรูป 2.15 พบว่า

กราฟ A ช่วงแรกความเข้มข้นไม่มีผลต่ออัตราการกัดกร่อน แต่เมื่อความเข้มข้นมากขึ้นถึงระดับหนึ่ง ฟิล์มป้องกันจะถูกทำลายทำให้อัตราการกัดกร่อนสูงขึ้น

กราฟ B ที่ความเข้มข้นหนึ่งจะมีอัตราการกัดกร่อนสูงสุด แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น การแตกตัวของสารละลายและการสลายของฟิล์มป้องกันจะลดลงทำให้อัตราการกัดกร่อนลดลง เช่น เหล็กในสารละลายกรดซัลฟูริก

2.2 การป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion prevention) [22]

การกัดกร่อนสามารถควบคุมหรือป้องกันได้โดยวิธีการต่างๆ มากมาย โดยปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่ใช้ในการกำหนดวิธีการที่จะนำมาใช้ในการควบคุมหรือป้องกัน ซึ่งวิธีการควบคุมหรือป้องกันการกัดกร่อนที่ใช้โดยทั่วไปในปัจจุบัน แสดงดังรูปที่ 2.16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 2.16 แผนผังแสดงวิธีทั่วไปที่ใช้ในการควบคุมการกัดกร่อน [22] รั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การเลือกใช้วัสดุ (Material selection)

วิธีที่ง่ายต่อการควบคุมการกัดกร่อนของวัสดุที่เป็นโลหะ คือ การเลือกใช้วัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี การเลือกใช้วัสดุนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลและคู่มือเกี่ยวกับการกัดกร่อนเพื่อให้มั่นใจว่าเลือกวัสดุที่เหมาะสมหรือปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ เพื่อช่วยให้เกิดความมั่นใจยิ่งขึ้นว่าวัสดุที่เลือกนั้นเหมาะสมที่สุด

ตัวอย่างของการเลือกวัสดุบางชนิด คือ การใช้เหล็กกล้าไร้สนิม บ่อยครั้งที่มักถูกเลือกใช้อย่างผิดๆ เนื่องจากผู้ผลิตไม่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติการกัดกร่อนของโลหะนั้น เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นเหล็กกล้าชนิดหนึ่งที่มีปริมาณ โครเมียมเกินกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ และมักถูกใช้ในสภาวะที่อาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนรวมทั้งที่มีสารออกซิไดซ์ที่มีความรุนแรงปานกลาง เช่น กรดไนตริก แต่อย่างไรก็ตามเหล็กกล้าไร้สนิมมักจะทนต่อการกัดกร่อนได้น้อยในสารละลายที่มีคลอไรด์ไอออน ซึ่งจะเกิดการรอยแตกร้าวเนื่องจากความเค้นและการกัดเซาะได้ง่ายกว่าเหล็กกล้าทั่วไป ดังนั้นจึงควรพิจารณาอย่างรอบคอบเมื่อมีการเลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิม

สำหรับวัสดุประเภทพอลิเมอร์ เช่น พลาสติกและยางจะทนต่อกรดอินทรีย์ได้น้อยกว่าวัสดุประเภทโลหะและโลหะผสม ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในการเลือกใช้วัสดุเหล่านี้ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีวัสดุประเภทพลาสติกที่มีความแข็งแรงสูงชนิดใหม่ๆ เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากทำให้วัสดุที่ไม่ใช่โลหะเหล่านี้มีบทบาทสำคัญมากขึ้นในอุตสาหกรรมต่างๆ

ส่วนวัสดุประเภทเซรามิกเป็นวัสดุที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนและทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี แต่มีข้อจำกัดคือ มีความเปราะและมีความทนทานต่อแรงดึงได้น้อย วัสดุประเภทนี้มักจะถูกใช้ในการบุตามแนวปะเก็นวงแหวน

ตารางที่ 2.2 โลหะที่มีความต้านทานการกัดกร่อนในสภาวะต่างๆ ได้ดี [22]

1. Stainless steels-nitric acid
2. Nickel and Nickel alloys-caustic
3. Monel-hydrofluoric acid
4. Hastelloys (Chlorimets)-hot hydrofluoric acid
5. Lead-dilute sulfuric acid
6. Aluminum-nonstaining atmospheric exposure
7. Tin-distilled water
8. Titanium-hot strong oxidizing solutions
9. Tantalum-ultimate resistance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีมติให้แนบลงเนื้อหา และต้องยังต้องสงวนลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการนำวัสดุที่เคลือบด้วยสารอินทรีย์ไปใช้ คือ ไม่ควรนำไปใช้ในบริเวณที่ถูกกระแทกอย่างรุนแรงเพราะอาจทำให้ฟิล์มแตกหรือฉีกขาดได้

2.2.3 การออกแบบ (Design)

การออกแบบอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ให้เหมาะสม เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในการป้องกันการกัดกร่อน โดยจะต้องพิจารณาวัสดุที่ใช้ให้มีสมบัติต่างๆ เช่น กลศาสตร์ ไฟฟ้าและความร้อน เป็นต้น ตามที่ต้องการ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยทางด้านเศรษฐกิจด้วย บางครั้งการออกแบบเพื่อป้องกันการกัดกร่อนจำเป็นต้องอาศัยคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ด้านนี้ แนวทางและกฎเกณฑ์บางประการที่สำคัญที่ใช้ในการออกแบบ มีดังนี้

1. การพิจารณาความทนทานของวัสดุ โดยเฉพาะการออกแบบท่อและถังควรเลือกใช้วัสดุที่มีความหนาที่สามารถยอมให้เกิดการกัดกร่อนได้ระดับหนึ่ง นอกจากนี้ควรมีความแข็งแรงเชิงกลมากพอสมควร

2. ควรใช้ภาชนะบรรจุที่ถูกเชื่อมต่อกับตัวถังมากกว่าการใช้หมุดเพื่อหลีกเลี่ยงการกัดกร่อนบริเวณซอก (Crevice corrosion) ถ้าจำเป็นต้องใช้หมุดควรเลือกใช้หมุดที่ทำหน้าที่เป็นแคโทดเมื่อเทียบกับวัสดุ

3. ควรเลือกใช้โลหะเพียงชนิดเดียวเพื่อหลีกเลี่ยงการกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic corrosion) ถ้าจำเป็นต้องใช้โลหะต่างชนิดควรใช้ประเก็นวงแหวนและวงแหวนเสริมเกลียวที่ไม่ใช่โลหะเพื่อป้องกันไม่ให้โลหะสัมผัสกัน

4. ควรเลือกใช้วัสดุที่มีความเค้นมากภายใต้สิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อน โดยเฉพาะเหล็กกล้าไร้สนิม ทองเหลืองและวัสดุอื่นๆ ที่มักจะเกิดการแตกร้าวจากความเค้นและการกัดกร่อน (Stress corrosion cracking, SCC)

5. ควรหลีกเลี่ยงการใช้ท่อที่มีการหักมุม โดยมีของเหลวไหลอยู่ใน บริเวณที่มีการหักมุมจะมีการเปลี่ยนทิศทางของของเหลวอย่างทันทีทำให้เกิดการกัดกร่อนบริเวณซอก (Crevice corrosion) ได้ง่าย

6. ควรออกแบบถังและภาชนะบรรจุต่างๆ ให้มีการถ่ายเทของเหลวออกและสามารถทำความสะอาดได้ง่ายเพื่อป้องกันไม่ให้มีของเหลวตกค้างภายในภาชนะที่สามารถทำให้เกิดการกัดกร่อนได้

7. ควรออกแบบระบบให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง การเคลื่อนย้าย หรือการถอดเปลี่ยนอุปกรณ์ เช่น ปุ่มที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเคมีจะออกแบบระบบให้ง่ายต่อการเคลื่อนย้ายเพื่อให้ง่ายต่อการซ่อมบำรุง

8. ควรออกแบบระบบการทำความร้อนไม่ให้บริเวณใดบริเวณหนึ่งของอุปกรณ์ที่มีความร้อนสูง เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ควรออกแบบให้อุปกรณ์มีความร้อนที่สม่ำเสมอ

2.2.4 การเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม (Alteration of environment)

สภาวะแวดล้อมเป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการกำหนดความรุนแรงของการกัดกร่อน เราอาจลดการกัดกร่อนได้โดยการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมดังนี้คือ การลดอุณหภูมิ การลดความเร็วของของเหลว กำจัดออกซิเจนออกจากของเหลว การลดความเข้มข้นของไอออนและการเติมสารยับยั้งลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์

1. การลดอุณหภูมิของระบบจะช่วยลดการกัดกร่อน เนื่องจากอัตราเร็วของการกัดกร่อนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่มีข้อยกเว้นในบางกรณีที่ทำให้ผลตรงข้าม เช่น น้ำทะเลที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้เกิดการกัดกร่อนน้อยกว่าเนื่องจากออกซิเจนจะละลายได้น้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2. การลดความเร็วของของไหลที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนจะสามารถลดการกัดกร่อนได้ แต่ถ้าเป็นโลหะที่เกิดชั้นฟิล์มป้องกัน (Passive) ได้เราควรหลีกเลี่ยงการตกค้างของสารละลาย

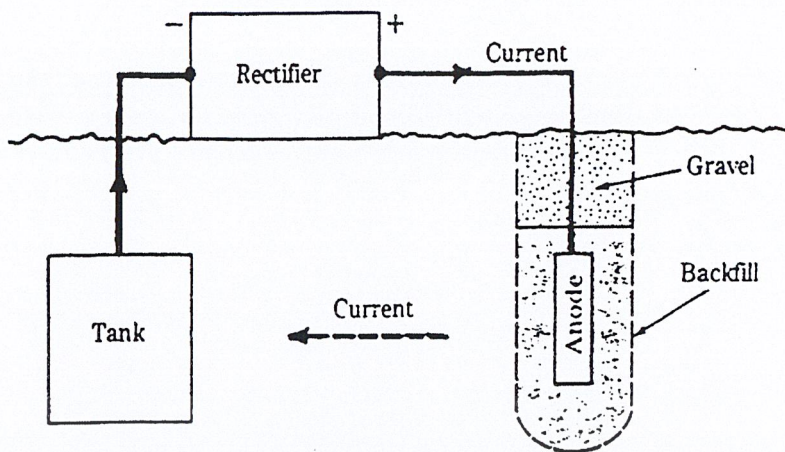
3. การกำจัดออกซิเจนออกจากสารละลายจะช่วยลดการกัดกร่อนได้ เช่น ถ้ากำจัดอากาศออกจากน้ำที่ป้อนเข้าสู่หม้อต้มจะทำให้สามารถลดการกัดกร่อนได้ แต่ในบางระบบก็ต้องการออกซิเจนเพื่อผลิตชั้นออกไซด์ของโลหะขึ้น ดังนั้นจึงไม่ควรกำจัดอากาศออกจากสารละลายสำหรับกรณีนั้น

4. การลดความเข้มข้นของไอออนที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนในสารละลายจะช่วยลดอัตราเร็วในการกัดกร่อนของโลหะได้ เช่น การลดความเข้มข้นของคลอไรด์ในสารละลายจะช่วยลดการกัดกร่อนของโลหะได้

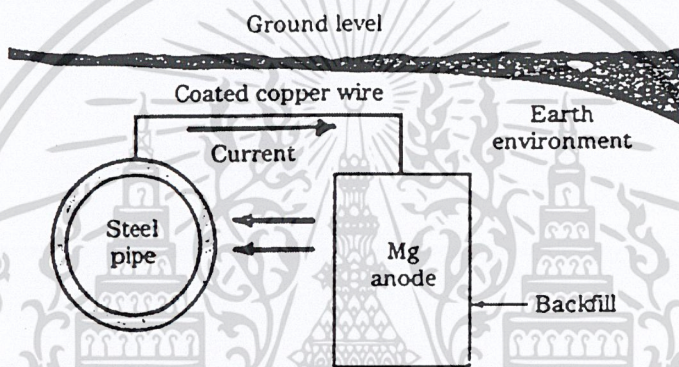
5. การเติมสารยับยั้งการกัดกร่อนในระบบจะช่วยลดการกัดกร่อนได้ สารยับยั้งจะทำหน้าที่เป็นตัวขัดขวางการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น สารยับยั้งแบบดูดซึม (Absorption-type inhibitors) จะถูกดูดซึมบนพื้นผิวและเกิดชั้นฟิล์มสำหรับป้องกันการกัดกร่อน นอกจากนี้ยังมีการยับยั้งแบบ Scavenger-type inhibitors ซึ่งจะทำหน้าที่กำจัดสารที่อาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนในสารละลาย เช่น การกำจัดออกซิเจนออกจากสารละลาย

2.2.5 การป้องกันแบบแคโทดิก (Cathodic protection)

การป้องกันการกัดกร่อนสามารถใช้วิธีที่เรียกว่า การป้องกันแบบแคโทด โดยที่อิเล็กตรอนจะถูกป้อนให้กับโลหะที่ต้องการป้องกันทำให้อัตราการละลายของโลหะลดลงและอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าอิเล็กตรอนถูกป้อนให้กับโลหะอย่างต่อเนื่อง การกัดกร่อนของโลหะจะลดลง อิเล็กตรอนที่ใช้ป้อนให้กับกระบวนการนี้มาจาก 2 วิธีการ คือ 1.) การป้อนไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก (External DC supply) แสดงดังรูปที่ 2.17 โดยอิเล็กตรอนจะถูกป้อนให้กับถังและเกิดไฮโดรเจนที่ถังนี้ 2.) การต่อเข้ากับโลหะที่ทำหน้าที่เป็นแอโนดมากกว่าโลหะที่ทำการป้องกัน การป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิกของเหล็กกล้าโดยการต่อเข้ากับโลหะแมกนีเซียมที่เป็นหน้าที่เป็นแอโนด เนื่องจากโลหะแมกนีเซียมจะมีค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐานน้อยกว่าโลหะที่ทำการป้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.17 การป้องกันโดยใช้กระแสไฟฟ้าจากภายนอก [22]



รูปที่ 2.18 การป้องกันแบบแคโทดของเหล็กกล้า [22]

2.2.6 การป้องกันแบบแอโนดิก (Anodic protection)

วิธีการป้องกันแบบแอโนดิกนี้เป็นวิธีที่ค่อนข้างใหม่และเป็นวิธีที่ทำให้เกิดชั้นออกไซด์ของโลหะนั้นบนผิวโลหะผสมชนิดเดียวกันเพื่อป้องกันการกัดกร่อน โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า โปเทนชิโอสแตต (Potentiostat) เช่น การทำให้ผิวของดีบุกเกิดชั้นออกไซด์ของดีบุกโดยใช้เครื่องโปเทนชิโอสแตตทำให้อัตราเร็วในการกัดกร่อนเกิดช้าลง ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถใช้ได้ทั้งกรณีที่มีสภาวะแวดล้อมก่อให้เกิดการกัดกร่อนน้อยจนถึงขั้นรุนแรงได้ และใช้กระแสไฟฟ้าในการป้องกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนข้อเสียของวิธีนี้คือ เครื่องมือที่ใช้มีความสลับซับซ้อนและมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งค่อนข้างสูง

2.3 สารยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibitor) [7, 23-31]

การป้องกันการกัดกร่อนสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น การออกแบบกระบวนการและการเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งาน การเคลือบป้องกันผิวหน้าของอุปกรณ์ นอกจากนี้การปรับปรุงสิ่งแวดล้อมโดยใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกของกระบวนการอีกด้วย โดยใน

เอกสารฉบับนี้ขอสงวนสิทธิ์ในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขอสงวนสิทธิ์ในลิขสิทธิ์และการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนนี้จะกล่าวถึง ชนิด สมบัติและการประยุกต์ใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนชนิดต่างๆ ในกระบวนการอุตสาหกรรม

สารยับยั้งการกัดกร่อนเป็นสารเคมีชนิดหนึ่ง เมื่อเติมลงสิ่งแวดล้อมหนึ่งๆ ในปริมาณเพียงเล็กน้อยจะช่วยป้องกันการกัดกร่อนหรือทำให้การกัดกร่อนเกิดขึ้นน้อยที่สุด สารยับยั้งการกัดกร่อนจะถูกใช้เพื่อช่วยป้องกันโลหะจากการถูกกัดกร่อน รวมทั้งใช้เพื่อป้องกันการถูกกัดกร่อนเพียงชั่วคราวระหว่างการขนย้าย สารยับยั้งที่มีประสิทธิภาพจะต้องเข้ากันได้ดีกับสภาวะแวดล้อม มีราคาถูก และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรือมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปจะมีสมบัติร่วมกันดังนี้

1. ใช้ได้ดีกับโลหะหลายชนิด
2. ความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารยับยั้งโดยจะเป็นสัดส่วนโดยตรงด้วย
3. ค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลาย ชนิดของโลหะ สภาพของผิวโลหะ อุณหภูมิของของเหลวและความเข้มข้นของเกลือ ถ้ามีอัตราการกัดกร่อนสูงก็จำเป็นต้องใช้สารยับยั้งที่มีความเข้มข้นมาก นอกจากนี้การเพิ่มความเร็วในการไหลหรือการกวนสารละลายจะช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาของสารยับยั้งให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
4. การใช้สารยับยั้งตั้งแต่ 2 ชนิดร่วมกันจะให้ประโยชน์มากกว่าการใช้สารยับยั้งเพียงตัวเดียว

ตารางที่ 2.3 สารยับยั้งการกัดกร่อนที่ใช้ในอุตสาหกรรม [24]

Environment	Sample Inhibitors
Waters	
Potable water	CaCO ₃ deposition, silicates, polyphosphates, zinc salts
Recirculating cooling water	Chromate, nitrate at 300–500 ppm calcium polyphosphates at 15–37 ppm silicates at 20–40 ppm
Automotive coolants	Nitrite, benzoate, borax, phosphate sodium mercaptobenzothiazole, benzotriazole
Steam condensates	Neutralizers: ammonia, morpholine, cyclohexamine, benzylamine long chain aliphatic amines such as octodecylamine at 1–3 ppm
Brines and seawater	Refrigeration brines: chromates, 2000–3300 ppm diluted seawater: sodium nitrite, 3–10% hot desalting brines: mixed chromate and phosphate, 50–100 ppm
Acid Pickling Solutions	
Sulfuric acid	Phenylthiourea, di-ortho-tolyl-thiourea, mercaptans, sulfides, -0.003–0.01%
Hydrochloric acid	Pyridine, quinoline, various amines, decylamine, phenylthiourea, dibenzylsulfoxides
Oil Production and Refining	
Primary and secondary recovery	Fatty imidazolines, various amines including primary amine, diamines, amido-amines, oxyethylated primary amines, alkyl pyridines, quaternized amines
Refining	Imidazoline and derivatives

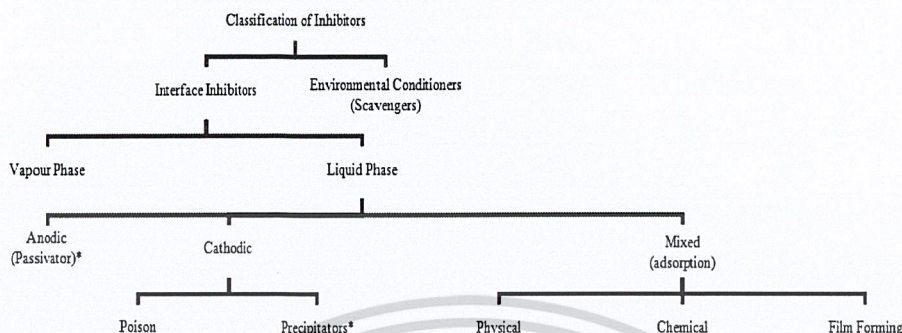
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับภาควิชาวิศวกรรมโลหการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นทำผิดให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Compiled from Mercer¹⁴.

2.3.1 การจำแนกชนิดของสารยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibitors classification) [23]

การเลือกใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะและสภาวะแวดล้อมที่ใช้ โดยสามารถจำแนกประเภทของสารยับยั้งการกัดกร่อนได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แผนผังการจำแนกชนิดของสารยับยั้งการกัดกร่อน [23]

2.3.2 ตัวปรับสภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental conditionals) [23]

การกัดกร่อนสามารถควบคุมได้โดยการกำจัดสารที่กัดกร่อนในสภาวะแวดล้อม ซึ่งจะช่วยลดการกัดกร่อนของโลหะนั้นได้ สารยับยั้งชนิดนี้เรียกว่า ตัวปรับสภาพสิ่งแวดล้อม ในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกลางและเบส อัตราการกัดกร่อนสามารถควบคุมได้โดยการลดปริมาณออกซิเจนซึ่งถูกใช้โดยผู้ย่อยสลาย

2.3.3 สารยับยั้งที่ผิว (Interphase inhibitors) [7, 23]

สารยับยั้งที่ผิวสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้โดยการสร้างชั้นออกไซด์ที่บริเวณรอยต่อของผิวโลหะกับสิ่งแวดล้อม สารยับยั้งที่ผิวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1. สารยับยั้งที่ผิวในสภาวะของเหลว (Liquid phase inhibitors) [7, 23]

สามารถแบ่งได้เป็นสารยับยั้งแบบแคโทดิก สารยับยั้งแบบแอโนดิกหรือแบบผสม ขึ้นอยู่กับว่าจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาแอโนดิก ปฏิกิริยาแคโทดิกหรือทั้งสองปฏิกิริยาพร้อมกัน

1) สารยับยั้งแอโนดิก (Anodic inhibitors) [7]

สารยับยั้งแอโนดิก ได้แก่ สารเคมีที่เป็นแอนไอออน เช่น โครเมต (Chomate) ไนไตรต์ (Nitrite) โมลิบเดต (Molybdate) ออโรฟอสเฟต (Orthophosphate) ซิลิเกต (Silicate) และเบนโซเอต (Benzoate) สารเหล่านี้จะเคลื่อนที่จากน้ำหรือสารละลายเข้าสู่ผิวหน้าของโลหะที่เป็นแอโนดในเซลล์เคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อนด้วยแรงดึงดูทางเคมีไฟฟ้าทำให้ผิวโลหะเกิดการกัดกร่อนได้ยากขึ้น ส่วนมากออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจะร่วมเกิดปฏิกิริยาที่ผิวด้วย สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแอโนดิกนี้มักเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นสารยับยั้งประเภทออกซิไดซ์ ได้แก่ ออโรฟอสเฟต ซิลิเกต ไนไตรต์ เบนโซเอต สารยับยั้งกลุ่มนี้มีใช้กันมากและมีข้อควรคำนึงถึงคือ เมื่อใช้ไปเรื่อยๆ ความเข้มข้นของสารนี้ในน้ำจะลดลงจนเมื่อเจือจางถึงจุดหนึ่งจะไม่สามารถเข้าปกคลุมผิวหน้าโลหะได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงมีผิวหน้าบางส่วนที่น้อยมากที่ไม่ได้ถูกปกป้องจึงเป็นแอโนด ขณะที่ผิวหน้าโลหะ

ส่วนมากถูกปกป้องจึงเป็นแคโทด ด้วยอัตราส่วนแคโทดต่อแอโนดที่สูงมากเป็นเหตุให้เกิดการกัดกร่อนโดยเฉพาะแบบหลุม (Pitting) ได้ง่ายและรวดเร็วจนเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงและเกิดการกัดกร่อนมากกว่าที่ไม่ใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน ดังนั้นการใช้สารยับยั้ง แอโนดิกจึงต้องควบคุมความเข้มข้นให้มากพอที่จะสามารถเข้าปกคลุมผิวหน้าโลหะได้ทั้งหมด

- ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate)

เช่น ไดโซเดียมฟอสเฟต (Disodium phosphate หรือ $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เมื่อเติมลงในน้ำจะทำให้มีค่า pH สูงขึ้นและทำให้เกิดฟิล์มบางที่ผิวโลหะที่ป้องกันการกัดกร่อนได้โดยน้ำนั้นต้องมีแคลเซียมหรือความกระด้างที่สูง เนื่องจากฟิล์มบางปกป้องที่เกิดขึ้นมีองค์ประกอบหลักคือแคลเซียมคาร์บอเนต โลหะออกไซด์และมีฟอสเฟตร่วมด้วยเล็กน้อย ดังนั้นน้ำอ่อนที่มีแคลเซียมน้อยจึงพบว่าสารยับยั้งมีประสิทธิภาพต่ำจึงควรเติมปูนขาวหรือหินปูนลงไปให้น้ำเล็กน้อยจะได้ฤทธิ์ยับยั้งการกัดกร่อนตามต้องการ

- ซิลิเกต (Silicate)

เช่น โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate หรือ $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$) เมื่อเติมลงในน้ำจะทำให้น้ำเป็นเบสมากขึ้นและให้ผลการยับยั้งการกัดกร่อน โดยสารนี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำได้สารแขวนลอยที่เป็นแอนไอออนของ $(\text{mSiO}_2 \cdot \text{nSiO}_3)^{2n-}$ ซึ่งจะเคลื่อนที่จากน้ำไปที่ผิวของโลหะด้วยแรงดึงดูดทางเคมีไฟฟ้าแล้วเกิดเป็นฟิล์มบางที่ผิวโลหะที่ปกป้องโลหะจากการกัดกร่อนได้ ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ต้องมีแคลเซียมในน้ำมากพอ ซิลิเกตสามารถใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของอลูมิเนียมในน้ำที่มีฤทธิ์กัดกร่อนได้ดีมาก

- ไนไตรท์ (Nitrite)

สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแอโนดิกชนิดออร์โธฟอสเฟตและซิลิเกตให้ฤทธิ์ยับยั้งการกัดกร่อนในน้ำโดยเกิดปฏิกิริยาร่วมกับแคลเซียมในน้ำ ดังนั้นน้ำที่จะใช้สารทั้งสองนี้ได้ดีต้องเป็นน้ำที่มีความกระด้างที่เกิดจากแคลเซียมสูงพอ ถ้าไม่พอต้องเติมปูนขาวช่วย แต่สำหรับสารยับยั้งอนินทรีย์ในกลุ่มของไนไตรท์และโครเมตที่เป็นสารยับยั้งแบบออกซิไดซ์จะทำหน้าที่ยับยั้งการกัดกร่อนได้ด้วยตนเอง แม้ในน้ำอ่อนก็ใช้ได้ โดยไนไตรท์จะออกซิไดซ์ไอออนโลหะในสารประกอบที่เป็นผลิตภัณฑ์กัดกร่อน (หรือสนิม) ที่เกิดขึ้นให้มีเลขออกซิเดชันสูงขึ้นซึ่งมีผลลดค่าการละลายและเกิดเป็นฟิล์มบางที่ปกป้องผิวโลหะได้ ศักย์ไฟฟ้าของโลหะที่มีฟิล์มบางนั้นจะเลื่อนไปทางที่เป็นบวกสูงขึ้น ปกติจะใช้ไนไตรท์ผสมกับการยับยั้งอื่นๆ เช่น เบนโซเอตและฟอสเฟต มีการใช้ไนไตรท์เดี่ยวเฉพาะในน้ำมันที่ใช้หล่อลื่นและลดความร้อนเวลาตัด กลึง ไส เหล็ก น้ำมันที่ผสมไนไตรท์จะมีสีขุ่นขาวคล้ายน้ำมัน บางครั้งใช้ลูปผิวโลหะที่ขึ้นรูปเสร็จใหม่ๆ เพื่อป้องกันการกัดกร่อน สารยับยั้งการกัดกร่อนที่ผสมไนไตรท์ใช้มากในน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของโลหะภายในระบบ เช่น ในถังบรรจุน้ำมัน ในท่อส่งน้ำมันที่อยู่ระหว่างขนส่งน้ำมันดังกล่าวมักมีน้ำและกรดปนอยู่และมีฤทธิ์กัดกร่อน

- โครเมต (Chomate)

สารโครเมตบางชนิด เช่น Na_2CrO_4 และ K_2CrO_4 เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบออกซิไดซ์ที่จะออกซิไดซ์สารประกอบที่เป็นผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นให้มีการละลายลดลงแล้วเกิดเป็นฟิล์มบางที่ผิวโลหะและโครเมตยังเข้าร่วมเป็นองค์ประกอบของฟิล์มบางนั้นด้วยรูปของ Cr_2O_3 โครเมตเป็นสารยับยั้งที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้在水里และให้ปกป้องที่ดีกับโลหะหลายชนิด เช่น เหล็กกล้า ทองแดง สังกะสี และโลหะบางทั้งหลาย

- เบนโซเอต (Benzoate)

แอนไอออนของกรดอินทรีย์หลายชนิดใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนได้ดี เบนโซเอตเป็นแอนไอออนของกรดเบนโซอิก ตัวอย่างเช่น โซเดียมเบนโซเอตที่เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ดี เบนโซเอตไม่ใช่สารออกซิไดซ์จึงต้องใช้ในปริมาณมากหรือในความเข้มข้นสูงจึงจะให้ผลยับยั้งการกัดกร่อนได้ บางงานอาจมีอันตรายจากการใช้งานในความเข้มข้นสูงเกิดขึ้นได้มีการนำไปผสมกับโซเดียมไนไตรต์แล้วใช้หุบกระดาษให้ชุ่มแล้วนำไปห่อเครื่องยนต์หรืออุปกรณ์ที่เป็นโลหะที่บรรจุอยู่ในกล่องที่ปิดมิดชิดในระหว่างขนส่งเพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากความชื้นในบรรยากาศ

2) สารยับยั้งแคโทดิก (Cathodic inhibitors) [7]

สารยับยั้งแคโทดิก ได้แก่ สารเคมีที่เป็นแคโทดไอออนในน้ำหรือสารละลายที่แวดล้อมโลหะที่จะเคลื่อนเข้าสู่ผิวหน้าของโลหะที่เป็นแคโทดในเซลล์เคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อนด้วยแรงดึงดูทางเคมีไฟฟ้า แล้วเกิดเป็นตะกอนเข้าเคลือบที่ผิวหน้าของโลหะแล้วมีผลยับยั้งการกัดกร่อนได้ ตัวอย่างเช่น ไอออน As^{3+} ไอออน Sb^{3+} ที่ใช้ยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กที่อยู่ในน้ำที่เป็นกรด โดยจะพบว่าชั้นฟิล์มบางปกป้องผิวเหล็กที่เป็นชั้นฟิล์มบางของ As และ Sb เคลือบทั่วผิวโลหะและมีก๊าซไฮโดรเจนเกิดรวมด้วย ตัวอย่างของสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแคโทดิกในธรรมชาติ ได้แก่ ความกระด้างในน้ำที่เกิดจากแคลเซียมในรูปของสารประกอบแคลเซียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เมื่อเติมสังกะสีซัลเฟตลงไป พบว่าน้ำจะเกิดสภาพเบสและเกิดสารประกอบ CaCO_3 และ Zn(OH)_2 เป็นชั้นเคลือบที่ผิวหน้าโลหะและละลายในน้ำได้น้อยและสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ ดังนั้นน้ำกระด้างจึงมีฤทธิ์กัดกร่อนน้อยกว่าน้ำอ่อน การเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนให้แก่ น้ำอ่อนทำได้โดยการเติมปูนขาวลงไปเล็กน้อย หรือให้น้ำอ่อนไหลผ่านถังกรองที่มีปูนขาวหรือดินเบา Calcined dolomite บรรจุอยู่ น้ำที่ผ่านที่กรองดังกล่าวจะมีแคลเซียมเพิ่มขึ้นและมากพอที่จะเกิดเป็นตะกอนคาร์บอเนตเคลือบที่ผิวโลหะได้ ความกระด้างจึงจัดเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแคโทดิกที่ไม่เป็นอันตรายแต่อย่างใด และถ้าได้เติมฟอสเฟตหรือซิลิเกต เพิ่มขึ้นจะเป็นผลดีมากยิ่งขึ้น

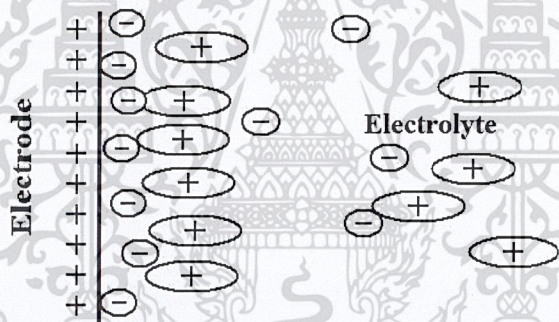
- สารโพลีฟอสเฟต (Polyphosphate)

สารโพลีฟอสเฟต ที่นิยมเติมในน้ำที่ใช้ในชุดผลิตไอน้ำ ซึ่งเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแคโทดิก มีชื่อเรียกทางการค้าว่า Calgon หรือ Micromet โพลีฟอสเฟตจะเกิดจากแคโทดไอออนขนาดใหญ่กับแคลเซียมในน้ำ คือ $(\text{Na}_5\text{CaP}_6\text{O}_{18})\text{n}^+$ ที่เป็นชั้นตะกอนเข้าเคลือบผิวหน้าโลหะและป้องกัน

การกัดกร่อนได้ ปกติอัตราส่วนของ Ca : Na ควรมีราว 1:5 ดังนั้น จึงมักใช้สารผสมของโซเดียม และแคลเซียมโพลีฟอสเฟต ทั้งนี้เพราะสามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับแคลเซียมในน้ำได้ง่าย ดังนั้น สารโพลีฟอสเฟตนอกจากจะช่วยยับยั้งการกัดกร่อนแล้ว ยังช่วยป้องกันการเกิดชั้นเคลือบคาร์บอนที่หนาเกินไปทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดได้ไม่ดี

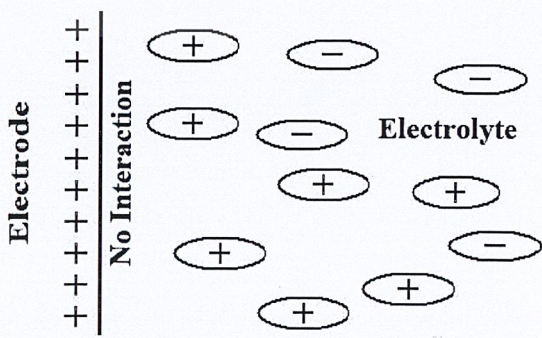
3) สารยับยั้งผสม (Mixed inhibitors) [23]

ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของสารยับยั้งปฏิกิริยาชนิดนี้ เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารยับยั้งแคโทดหรือสารยับยั้งแอโนดจึงถูกเรียกว่าสารยับยั้งผสม ประสิทธิภาพของสารยับยั้งอินทรีย์กับขนาดของการดูดซับและการเคลือบผิวโลหะ การดูดซับขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสารยับยั้งและชนิดของอิเล็กโทรไลต์ สารยับยั้งผสมมีกลไกในการป้องกันโลหะได้ 3 วิธีคือ การดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมี และการทำให้เกิดฟิล์มป้องกัน การดูดซับทางกายภาพเป็นผลมาจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างสารยับยั้งกับพื้นผิวของโลหะ เมื่อผิวของโลหะถูกทำให้มีประจุบวก โลหะนั้นจะเกิดการดูดซับประจุลบ (สารยับยั้งการกัดกร่อน) ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การดูดซับประจุลบโดยประจุบวกบนผิวโลหะ [23]

โมเลกุลที่มีประจุบวกจะดึงดูดกับโมเลกุลที่มีประจุลบ ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดประจุบวกของโลหะได้ ไอออนลบ เช่น เฮไลต์ไอออนในสารละลายจะถูกดูดซับติดอยู่กับประจุบวกที่ผิว แสดงดังรูปที่ 2.21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ระบุว่า รูปที่ 2.21 ประจุบวกของการยับยั้งการกัดกร่อนที่ไม่ทำปฏิกิริยากับประจุบวกบนผิวโลหะ [23] ไปใช้

การกัดกร่อนของเหล็กในกรดซัลฟิวริก ประกอบด้วยซัลเฟตไอออน ซึ่งสามารถยับยั้งได้โดยใช้แอมโมเนียมไอออน ถ้าปฏิกิริยานี้เป็นการดูดซับทางกายภาพแล้วสารยับยั้งการกัดกร่อนจะถูกดูดซับอย่างรวดเร็ว แต่สามารถกำจัดออกไปจากพื้นผิวได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิ สารยับยั้งการกัดกร่อนที่มีประสิทธิภาพที่สุด คือ สารยับยั้งการกัดกร่อนที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวโลหะ ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งประจุหรือเคลื่อนย้ายประจุระหว่างโมเลกุลของสารยับยั้งและผิวของโลหะ การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นได้ช้ากว่าการดูดซับทางกายภาพ ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นการดูดซับและการป้องกันก็จะเพิ่มขึ้นด้วย การดูดซับทางกายภาพนั้นเกิดขึ้นได้อย่างจำกัดและไม่สามารถผันกลับได้อย่างสมบูรณ์ โมเลกุลที่ถูกยับยั้งของตัวดูดซับจะเกิดปฏิกิริยาที่ผิวโดยการสร้างฟิล์มขึ้นมา การป้องกันการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในขณะที่ฟิล์มถูกสร้างขึ้นและมีความหนาเพิ่มขึ้นจนถึงหลายร้อยอังสตรอม (\AA) การป้องกันแบบนี้จะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อฟิล์มป้องกันนี้ไม่ละลายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์และสามารถป้องกันการสัมผัสของสารละลายกับผิวโลหะ ซึ่งฟิล์มป้องกันนี้ไม่ละลายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์และสามารถป้องกันการสัมผัสของสารละลายกับผิวโลหะ ซึ่งฟิล์มป้องกันอาจจะนำไฟฟ้าหรือไม่นำไฟฟ้าก็ได้

2. สารยับยั้งที่ผิวในสถานะก๊าซ (Vapor phase inhibitors) [23]

การป้องกันชั่วคราวซึ่งต่อต้านการกัดกร่อนทางอากาศโดยเฉพาะในระบบปิด สามารถทำได้โดยใช้สารยับยั้งที่เป็นก๊าซ สารที่มีความดันไอสูง ซึ่งเป็นสมบัติของการยับยั้งที่ดี สารยับยั้งถูกใช้โดยห่อกระดาษแล้วปล่อยให้ระเหยออกไปช้าๆ ในระบบปิด การระเหยของสารยับยั้งจะช่วยต่อต้านการกัดกร่อนจากอากาศและไอน้ำ โดยทั่วไปแล้วสารยับยั้งชนิดนี้จะมีผลดีกับโลหะที่เกิดสนิมได้ง่าย

2.3.4 การประยุกต์ใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนในสถานะแวดล้อมต่างๆ (Application of corrosion inhibitors in environments) [23]

1. อุตสาหกรรมปิโตรเลียม

การกัดกร่อนในอุตสาหกรรมปิโตรเลียมไฮโดรคาร์บอนอาจจะแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การกัดกร่อนชนิดเปียกและการกัดกร่อนชนิดแห้ง ที่อุณหภูมิต่างๆ เช่น ต่ำกว่าจุดเดือดของน้ำ โลหะจะถูกกัดกร่อนเนื่องจากมีสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายอยู่ด้วย เรียกว่า การกัดกร่อนชนิดเปียก ส่วนที่อุณหภูมิสูงๆ เช่น สูงกว่าจุดเดือดของน้ำจะเกิดการกัดกร่อนโดยไม่มีน้ำอยู่ ซึ่งเรียกว่าการกัดกร่อนชนิดแห้ง

การกัดกร่อนชนิดเปียกจะได้รับผลกระทบจากความดัน อุณหภูมิ องค์ประกอบของสารละลายของก๊าซและเฟสน้ำมันที่เปลี่ยนไป ในโรงกลั่นหรือโรงงานปิโตรเคมี ปริมาณของน้ำปกติจะมีน้อยอยู่แล้วและจะมีการกัดกร่อนบริเวณที่มีน้ำมาสัมผัสกับผิวโลหะ โดยในน้ำอาจมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ คลอไรด์ไอออนละลายอยู่ก็ได้ การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นได้แม้กระทั่งเมื่อมีน้ำเป็นองค์ประกอบในสารละลายเพียง 0.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้สารยับยั้งการกัด

กร่อนแบบที่สร้างฟิล์มป้องกันได้หลายชนิด เพื่อควบคุมการกัดกร่อนชนิดเปียก สารยับยั้งการกัดกร่อนเกือบจะทั้งหมดเป็นสายโซ่ยาวของสารอินทรีย์ที่มีหมู่ในโตรเจนรวมทั้งเอมีนและเอไมด์เป็นองค์ประกอบ

2. การกัดกร่อนภายในท่อ

การกัดกร่อนภายในท่อของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ระบบการไหลของของไหลหลายๆเฟสในท่อจะส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อน ที่อัตราการไหลสูงๆ จะทำให้เกิดการกวาดตะกอนออกจากท่อได้ ในขณะที่อัตราการไหลต่ำๆ ตะกอนจะตกอยู่ที่ก้นหม้อทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบหลุม ดังนั้นอัตราการกัดกร่อนสัมพันธ์กับปริมาณและธรรมชาติของตะกอนที่อยู่ในท่อ การควบคุมการกัดกร่อนภายในท่อสามารถทำได้โดยการล้างท่อหรือการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบต่อเนื่อง

3. น้ำ

ในน้ำดื่มมักจะมีออกซิเจนละลายอยู่อย่างอิ่มตัวซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนหากไม่มีฟิล์มป้องกันไว้ภาชนะที่บรรจุ สารยับยั้งแคโทดิก เช่น แคตเซียมคาร์บอเนต ซิลิเกต โพลีฟอสเฟต และเกลือของสังกะสี นิยมใช้ในการควบคุมการกัดกร่อนของน้ำดื่ม การใช้น้ำในระบบการทำมาเย็นจะเกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิก กรณีนี้สามารถควบคุมได้โดยใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนชนิดแอโนดิก เช่น ไนเตรต โครเมต หรือสามารถควบคุมโดยการใช้สารยับยั้งแคโทดิกที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น เบนโซโทรอะโซล

4. กรด

กรดมักถูกใช้เป็นน้ำยาทำความสะอาดอุปกรณ์ในกระบวนการกลั่นและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สารยับยั้งผสมจึงถูกใช้ในการควบคุมการกัดกร่อนจากกรดสำหรับตีบุกในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

5. สถานะอื่นๆ

สารยับยั้งการกัดกร่อนสามารถใช้ในเครื่องยนต์เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากน้ำหล่อเย็นหรือแม้กระทั่งเป็นสารป้องกันการแข็งตัวสามารถใช้ในงานสีเพื่อช่วยรักษาคุณภาพของสี รวมทั้งจะช่วยป้องกันไม่ให้สีกัดกร่อนโลหะที่ถูกเคลือบอยู่

2.4 สารลดแรงตึงผิว (Surfactants) [25-31]

2.4.1 องค์ประกอบของสารลดแรงตึงผิว (Composition of surfactants) [25-27]

สารลดแรงตึงผิวประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ซึ่งองค์ประกอบทั้งส่วนของสารลดแรงตึงผิวจะทำให้สารลดแรงตึงผิวมีสมบัติในการรวมสารที่แยกชั้นกันอยู่ได้ เช่น น้ำมัน/น้ำ

1. ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic)

เอกสารนี้เป็น ส่วนที่ชอบน้ำเป็นส่วนที่มาจากกรดแก่และเบสแก่ ซึ่งจะรวม ไปถึงเกลือของกรดและเกลือของเบส โดยส่วนที่ชอบน้ำนี้จะเป็นส่วนที่แสดงความมีขั้วของสารลดแรงตึงผิวทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Sulfonate	RSO_3^-M^+
- Sulfate	$\text{ROSO}_3^-\text{M}^+$
- Carboxylate	RCOO^-M^+
- Phosphate	RPO_4^-M^+
- Ammonium	$\text{R}_x\text{H}_y\text{N}^+\text{X}^-$ (x = 1-3, y = 1-3)
- Quaternary ammonium	$\text{R}_4\text{N}^+\text{X}^-$
- Betaines	$\text{RN}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{COO}^-$
- Sulfobetaines	$\text{RN}^+(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3^-$
- Polyoxyethylene (POE)	$\text{ROCH}_2\text{CH}_2(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OH}$
- Polyoxyethylene sulfate	$\text{ROCH}_2\text{CH}_2(\text{OCH}_2\text{CH}_2)_n\text{OSO}_3^-\text{M}^+$
- Sucrose esters	$\text{ROC}_6\text{H}_7\text{O}(\text{OH})_3\text{OC}_6\text{H}_7(\text{OH})_4$

* M คือ หมู่โลหะ, R คือ หมู่อัลคิล

2. ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic)

ส่วนที่ไม่ชอบน้ำมักเป็นส่วนของสายคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบประมาณ 12-18 อะตอม หรือบางครั้งอาจมีพวกวงอะโรมาติกรวมอยู่ในโครงสร้างด้วย

- Long, Straight-Chain alkyl groups ($\text{C}_8\text{-C}_{22}$)
- Branched-chain alkyl groups ($\text{C}_8\text{-C}_{22}$)
- Alkylbenzenes ($\text{C}_8\text{-C}_{15}\text{C}_6\text{H}_4$)
- Alkyl naphthalenes (หมู่ Alkyl มักเป็น C_3 ขึ้นไป)
- Fluoroalkyl groups
- Polydimethylsiloxanes ($-\text{OSi}[\text{CH}_3]_2\text{O}-$)

2.4.2 ชนิดของสารลดแรงตึงผิว (Type of surfactants) [25-28]

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ (Anionic surfactant)

ได้แก่เกลือของโซเดียม (Sodium) โพแทสเซียม (Potassium) แอมโมเนียม (Ammonium) และกรดไขมัน (Fatty acid) ซึ่งสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้เป็นสารลดแรงตึงผิวกลุ่มใหญ่ที่สุดและนิยมใช้มากที่สุด โดยมีส่วนที่ชอบน้ำเป็นประจุลบ เช่น

1) Sulfates

- Alkyl sulfates ROSO_3^-
- Alkyl ether sulfates $\text{R}(\text{OC}_2\text{H}_4)_n\text{OSO}_3^-$
- Sulfated alkanolamides $\text{RCONHC}_2\text{H}_4\text{OSO}_3^-$

- Monoglyceride sulfates $\text{RCOOCH}_2\text{CHOHCH}_2\text{OSO}_3^-$

- Sulfated alkylphenol ethoxylates $\text{RC}_6\text{H}_4(\text{OC}_2\text{H}_4)_n\text{OSO}_3^-$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ผู้รู้เห็นหรือยินยอมให้เผยแพร่โดยไม่ผ่านการคัดค้าน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่มิได้ระบุไว้เป็นอย่างอื่น และต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Sulfonated hydrocarbons

- Alkyl benzene sulfonates $\text{RC}_6\text{H}_4\text{SO}_3^-$
- Alkane sulfonates RSO_3^-
- Alpha-olefin sulfonates $\text{RCH}=\text{CHR}'\text{SO}_3^-$

3) Sulfonated esters

- Acyl isothionates $\text{RCOOC}_2\text{H}_4\text{SO}_3^-$
- Fatty ester α - sulfonates $\begin{array}{c} \text{RCHCOOR}' \\ | \\ \text{SO}_3^- \end{array}$
- Monoalkylsulfosuccinates $\begin{array}{c} \text{ROOCCHSO}_3^- \\ | \\ \text{CH}_2\text{COO}^- \end{array}$
(R มักเป็น $\text{C}_{12}\text{H}_{25}$ หรือมากกว่านั้น)

4) Sulfonated amides

- Acyl methyltaurates $\text{RCON}(\text{CH}_3)\text{C}_2\text{H}_4\text{SO}_3^-$
- Alkyl sulfosuccinamates $\begin{array}{c} \text{RNHCOCHSO}_3^- \\ | \\ \text{CH}_2\text{COO}^- \end{array}$

5) Carboxylate

- Soaps RCOO^-
- Alkyl ethoxy carboxylates $\text{R}(\text{OC}_2\text{H}_4)_n\text{OCH}_2\text{COO}^-$
- Acyl sarcosinates $\text{RCON}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{COO}^-$

2. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic surfactant)

ได้แก่เกลือของ Quaternary ammonium ซึ่งสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้จะมีราคาแพงกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบและมีส่วนที่ชอบน้ำเป็นประจุบวก เช่น

1) Non-nitrogenous

- Fatty alcohols ROH
- Fatty alcohol ethoxalates $\text{R}(\text{OC}_2\text{H}_4)_n\text{OH}$
- Alkylphenol ethoxalates $\text{RC}_6\text{H}_4(\text{OC}_2\text{H}_4)_n\text{OH}$
- Polyethylene glycol esters $\text{RCO}(\text{OC}_2\text{H}_4)_n\text{OH}$

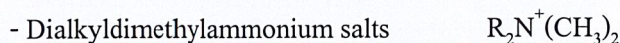
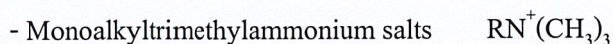
2) Alkanolamides

- Monoalkanolamides $\text{RCONHC}_n\text{H}_{2n}\text{OH}$
- Dialkanolamides $\text{RCON}(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{OH})_x$
- Ethoxalated monoalkanolamides $\text{RCONHC}_n\text{H}_{2n}(\text{OC}_2\text{H}_4)_x\text{OH}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ - Ethoxalated dialkanolamides $\text{RCON}-\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{OC}_2\text{H}_4)_x\text{OH}$ ศึกษาเพื่อใช้ในการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ๆ โดยขอสงวนสิทธิ์ในชื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึง $\text{C}_n\text{H}_{2n}(\text{OC}_2\text{H}_4)_y\text{OH}$ ผู้คิดค้นซึ่งมีการนำไปใช้

3. สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (Nonionic surfactant)

ได้แก่ สารที่โมเลกุลประกอบด้วย Ethoxylated fatty acid, Poly(vinyl alcohol), Alkylphenol, Amine และ Hydroxyethyl cellulose ซึ่งสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้จะมีส่วนที่ชอบน้ำ เป็นไม่มีประจุ เช่น



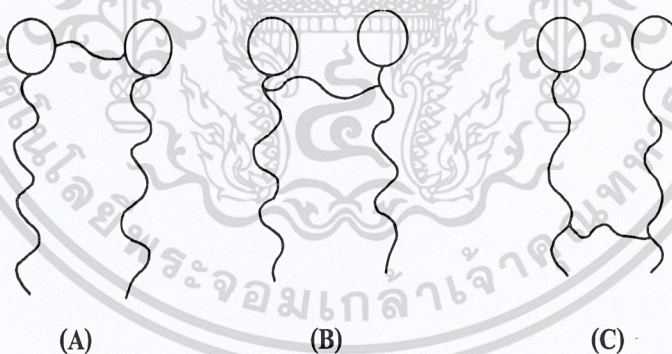
4. สารลดแรงตึงผิวชนิดมีประจุลบและประจุบวก (Amphoteric surfactant)

ได้แก่ สารที่โมเลกุลประกอบด้วย Aromatic aminosulphonic acid ของ Asymmetric structure และ Dodecyl- β -alanine ซึ่งสารลดแรงตึงผิวชนิดนี้จะมีส่วนที่ชอบน้ำเป็นประจุลบและประจุบวก โดยจะเป็นประจุลบหรือประจุบวกขึ้นกับ pH ของสารละลาย เช่น Betaine and sulfobetaines



2.4.3 สารลดแรงตึงผิวแบบคู่ (Gemini surfactant) [29-30]

สารลดแรงตึงผิวแบบคู่เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยวสองโมเลกุลที่เหมือนกัน โดยมีส่วนเชื่อมโยงที่เรียกว่า Spacer ที่สามารถเชื่อมโยงสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยวทั้งสองโมเลกุลเข้าด้วยกัน ซึ่งจะสามารถเชื่อมโยงบริเวณส่วนที่ชอบน้ำแสดงดังรูป 2.22 (A) หรือเชื่อมโยงบริเวณส่วนที่ไม่ชอบน้ำแสดงดังรูปที่ 2.22 (B และ C)



รูปที่ 2.22 การเชื่อมโยงบริเวณส่วนที่ชอบน้ำ (A) และการเชื่อมโยงบริเวณส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (B และ C) [29]

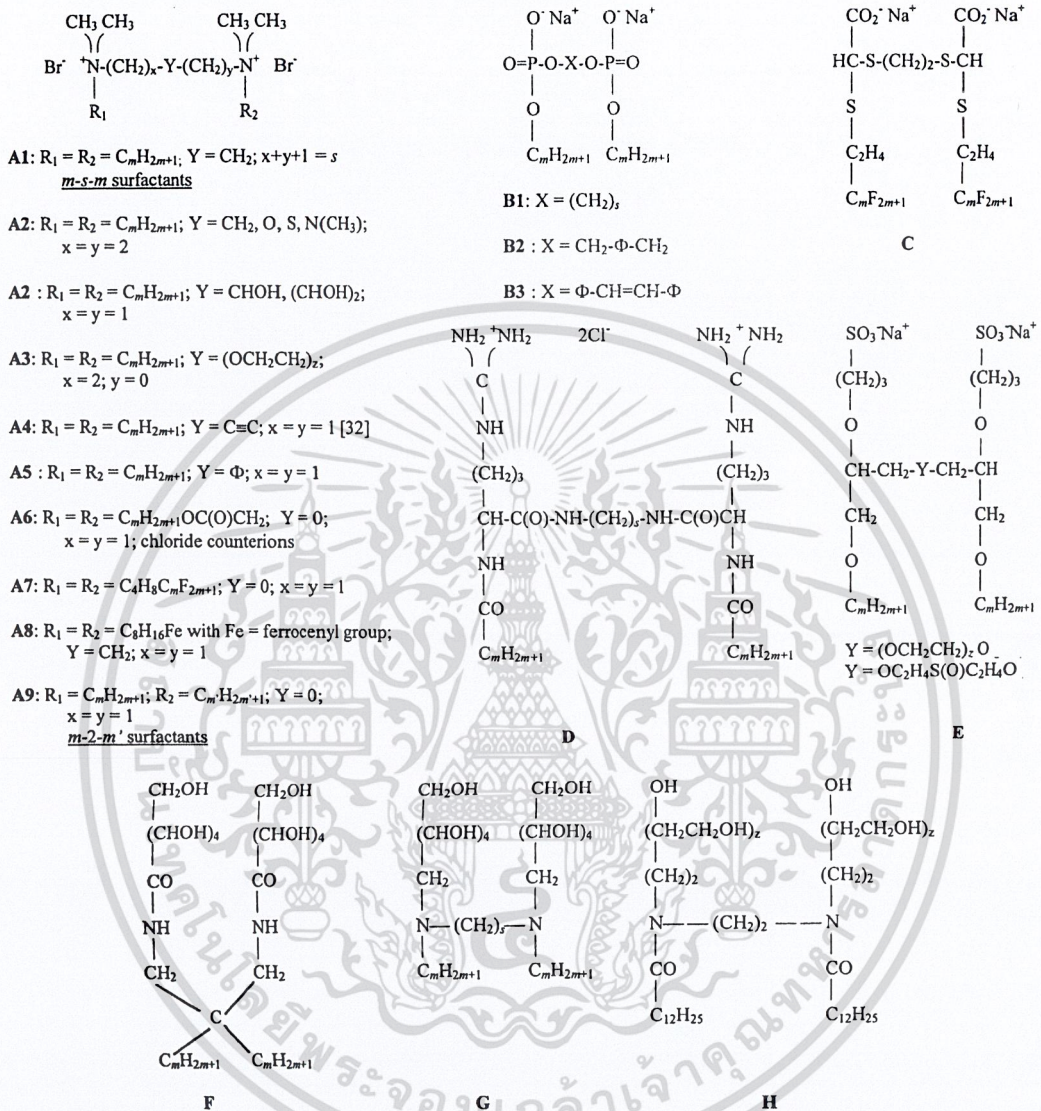
โดยทั่วไปสมบัติของสารลดแรงตึงผิวแบบคู่จะดีกว่าสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยว ตัวอย่างเช่น ความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC) และแรงตึงผิว (Surface tension) ของสารลดแรงตึงผิวแบบคู่จะต่ำกว่าสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยว ซึ่งจะทำให้สมบัติการละลาย (Solubilizing properties) สมบัติการเปียก (Wetting properties) สมบัติการเกิด

เอกสโฟม (Foaming properties) และสมบัติการกระจายตัว (Dispersing properties) ของสารลดแรงตึงผิวแบบคู่ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยว

ปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารลดแรงตึงผิวแบบคู่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมามากมายและมีโครงสร้างที่หลากหลายแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างสารลดแรงตึงผิวแบบคู่ [29]



จากตารางที่ 2.4 พบว่า

- A และ D เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกแบบคู่
- B-C และ E เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่
- F-H เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุแบบคู่ โดยมีส่วนที่ชอบน้ำ คือ น้ำตาลหรือ

หมู่ Etoxylate

- A1-A3, B1, C, E, G และ I มีส่วนเชื่อมโยงที่ยืดหยุ่น (Flexible spacer)
- A4-A5 และ B2-B3 มีส่วนเชื่อมโยงที่แข็งแรง (Rigid spacer)

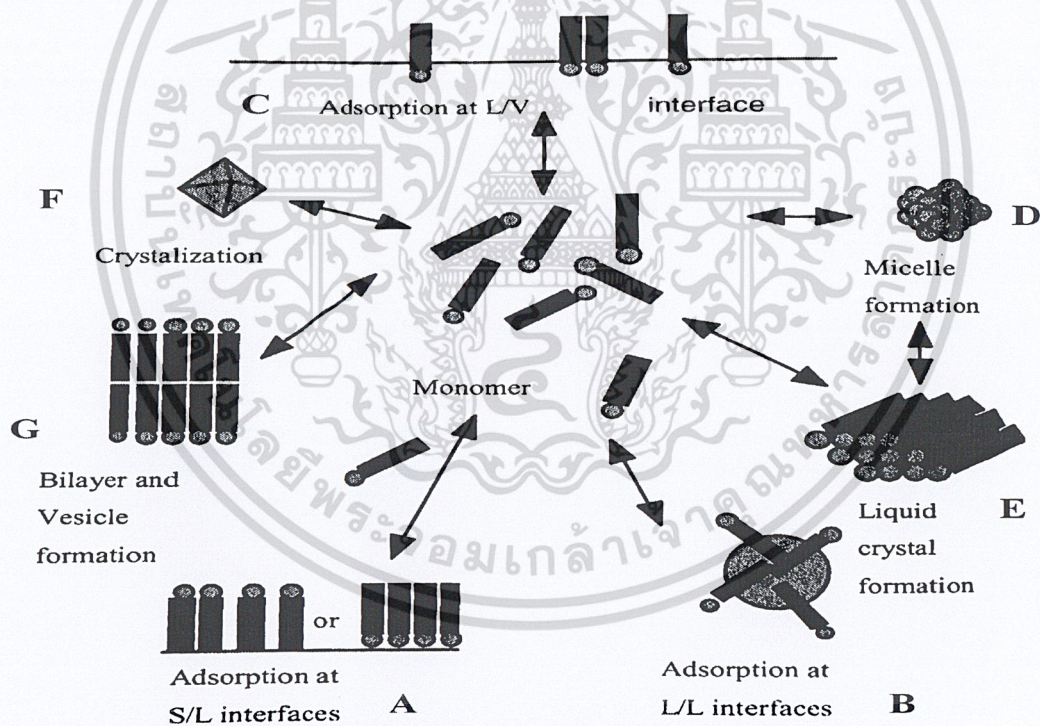
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ A1, A4-A5, B1-B3 และ C มีส่วนเชื่อมโยงที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic spacer) โยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าการผลิต A3, E และ I มีส่วนเชื่อมโยงที่ชอบน้ำ (Hydrophilic spacer) ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การเกิดไมเซล (Micelle formation) [26, 31]

เมื่อสารลดแรงตึงผิวอยู่ในสารละลายที่มีขี้ว เช่น น้ำ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะไปเกาะที่พื้นผิวระหว่างของแข็ง/ของเหลว ของเหลว/ของเหลว ของเหลว/อากาศ โดยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนที่ชอบน้ำซึ่งเป็นส่วนที่มีขี้วเข้าหาสารละลายที่มีขี้ว แสดงดังรูปที่ 2.23 (A-C) จากนั้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเพิ่มมากขึ้นจนมีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซล (Critical micelle concentration, CMC) โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะเกาะที่พื้นผิวจนเต็มทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวไม่สามารถเกาะได้อีกและเกิดการสร้างไมเซล (Micelle) ที่มีลักษณะคล้ายทรงกลม แสดงดังรูป 2.23 (D) โดยด้านนอกของไมเซลจะเป็นส่วนที่ชอบน้ำซึ่งสัมผัสกับสารละลายที่มีขี้ว ส่วนด้านในทรงกลมจะเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำซึ่งบริเวณนี้จะไม่มีการละลายที่มีขี้วอยู่เลย

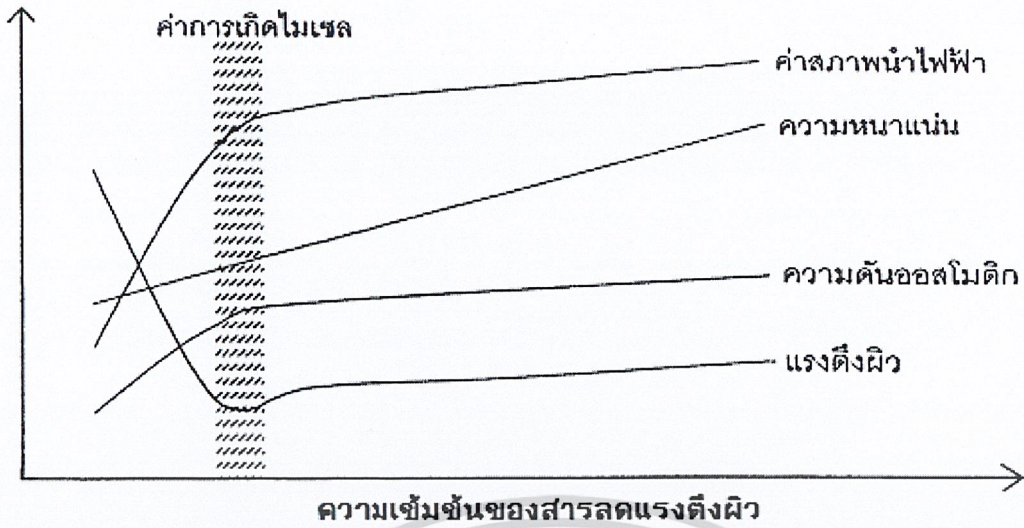
แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมากกว่าความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลมากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในลักษณะต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.23 (E-G)



รูปที่ 2.23 การจัดเรียงตัวโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นต่างๆ [26]

2.4.5 ความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซล (Critical micelle concentration, CMC) [31]

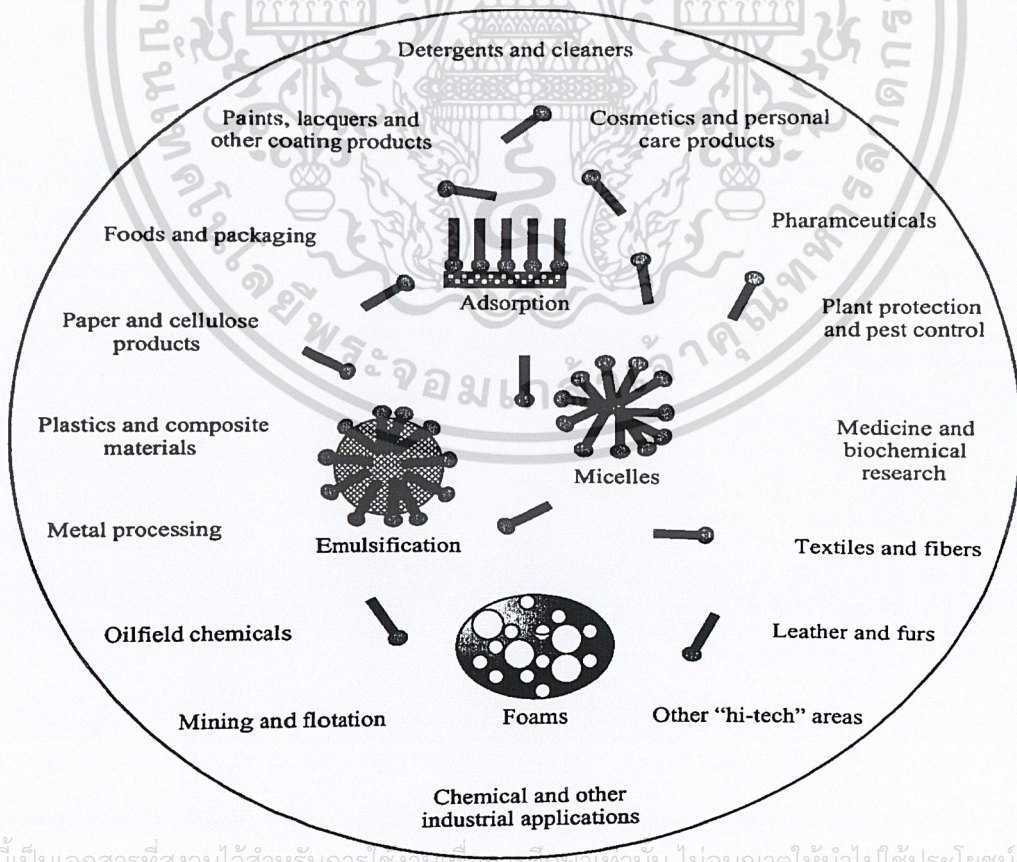
เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวมากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้สารละลายมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพ เช่น ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ความหนาแน่น ความดันออสโมติก และแรงตึงผิว เป็นต้น ซึ่งบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนที่สุด ก็คือ ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลนั่นเอง แสดงดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 การเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพของสารละลายเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว [31]

2.4.6 การประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิว (Application of surfactants) [26]

การประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวทางด้านวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะพบในกระบวนการผลิตขั้นต้น เช่น การทำให้วัตถุมีความบริสุทธิ์ในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม หรืออาจจะใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สี (Paints) เครื่องสำอาง (Cosmetics) เภสัชกรรม (Pharmaceuticals) และอาหาร (Food) แสดงดังรูปที่ 2.25



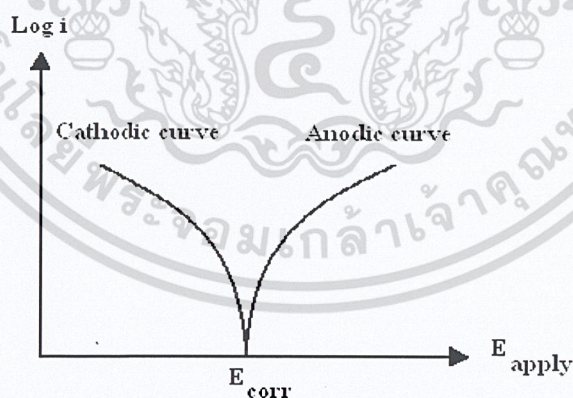
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2.25 การประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวในอุตสาหกรรมต่างๆ [26]

2.5 โพล่าไรเซชันของการกัดกร่อน (Corrosion of polarization) [7]

การกัดกร่อนเมื่อเริ่มเกิดจะดำเนินไปชั่วระยะเวลาหนึ่งด้วยอัตราเร็วคงที่ค่าหนึ่งอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเรื่อยๆ จะมารอที่ผิวโลหะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะเป็นค่าลบมากขึ้น นั่นคือ รอยต่อระหว่างโลหะกับสารละลายจะมีอิเล็กตรอนมาอยู่มากเกินพอเพื่อรอให้เกิดปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนหรือรีดักชันที่ขั้วแคโทด ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนเกิดไม่รวดเร็วเพียงพอ อิเล็กตรอนที่มากเกินไปบริเวณรอยต่อของผิวโลหะกับสารละลายนี้มีผลให้การกัดกร่อนลดลงได้ เรียกว่า แคโทดิกโพล่าไรเซชัน (Cathodic polarization) ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวรอยต่อเป็นลบมากขึ้นอีกกรณีคือ โลหะเกิดการกัดกร่อนให้อิเล็กตรอนไปที่รอบๆ ผิวโลหะกับสารละลายน้อยหรือไม่เพียงพอ จะมีผลทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวรอยต่อเป็นบวกมากขึ้นเรียกว่า แอโนดิกโพล่าไรเซชัน (Anodic polarization) จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงอัตราการกัดกร่อน เนื่องจากการให้และรับอิเล็กตรอนไม่สัมพันธ์กันนั่นเอง ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะที่สัมผัสกับสารละลายที่มีค่าเป็นบวกมากกว่าจะมีแนวโน้มที่เกิดจากการกัดกร่อนได้ง่ายและเร็วกว่า ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากโลหะและสารละลาย

ดังนั้นแคโทดิกโพล่าไรเซชัน คือ การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของปฏิกิริยาการกัดกร่อนที่ถูกควบคุมโดยอัตราเร็วของปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทด

ส่วนแอโนดิกโพล่าไรเซชัน คือ การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของปฏิกิริยาการกัดกร่อนที่ถูกควบคุมโดยอัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ขั้วแอโนด ลักษณะของแคโทดิกและแอโนดิกโพล่าไรเซชันจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.26

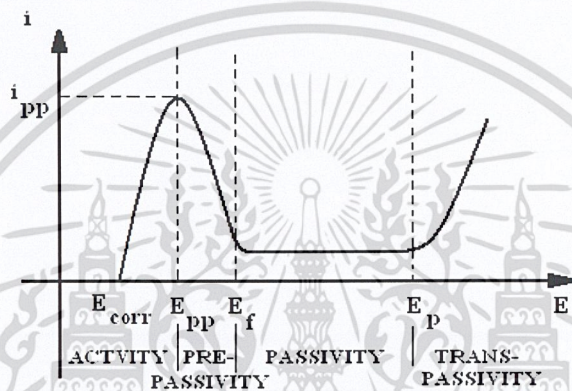


รูปที่ 2.26 ลักษณะของแคโทดิกและแอโนดิกโพล่าไรเซชัน [7]

2.6 เทคนิคโพเทนชิโอดนามิกโพล่าไรเซชัน (Potentiodynamic Polarization) [7]

เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์พฤติกรรมกัดกร่อนของชิ้นงานโลหะตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมที่กำหนดเฉพาะ/โลหะผสมที่มีสมบัติ Active-passive หรือที่มี Passive film โดยการใช้ชิ้นงานโลหะเป็นขั้วทำงาน (WE) และอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีสถานะของความเข้มข้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ตามกำหนด ใช้ขั้วมาตรฐาน (RE) ต่อให้ครบวงจรป้อนศักย์ไฟฟ้าไป

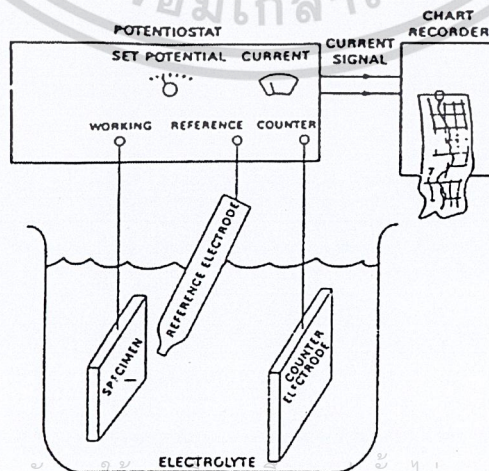
เร่งการกัดกร่อนผ่านขั้ว CE โดยป้อนศักย์ไฟฟ้าเริ่มจาก -100 mV จากค่า E_{corr} ไปทางบวกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ติดตามวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างๆ กระแสจะลดลงเมื่อเกิด Passive film และจะเพิ่มขึ้นทันทีเมื่อฟิล์มแตก เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าและค่า $\text{Log } I$ ($i=I/A$ หรือความหนาแน่นของกระแส) หรือ Polarization curve ดังรูปที่ 2.27 จะเห็นพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะนั้น ทั้งการเกิดขึ้นของฟิล์ม การคงอยู่ของฟิล์ม ความแข็งแรงของฟิล์ม สมบัติปกป้องของฟิล์มและการแตกของฟิล์ม ข้อมูลที่สามารถตีความเป็นความต้านทานการกัดกร่อนได้ เช่น ค่า E_{pit} คือ ความต้านทานการเกิดการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting corrosion) หรือ I_{passive} คือ สมบัติปกป้องหรือความแข็งแรงของฟิล์ม



รูปที่ 2.27 Polarization Curve จากการทดลองวิธี Potentiodynamic Polarization [7]

2.7 การทดสอบโดยวิธีโพเทนชิโอสแตต (Potentiostatic) [7, 23]

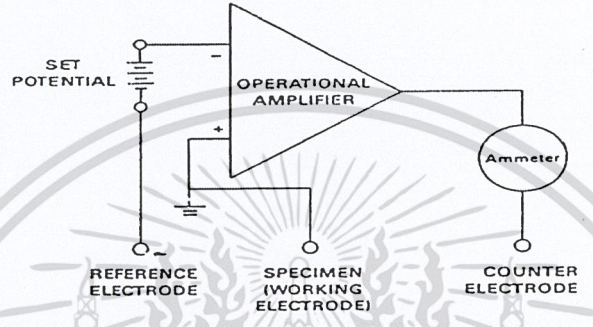
รูปแบบของการติดตั้งการทดสอบแบบวิธีโพเทนชิโอสแตต (Potentiostatic) ซึ่งประกอบด้วย ขั้วโลหะทดสอบ ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วไฟฟ้าร่วม จุ่มลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์แล้วเชื่อมต่อเข้ากับเครื่อง Potentiostat กระแสที่ออกมาจะถูกบันทึกในรูปแบบของกราฟจากเครื่องบันทึก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีก **รูปที่ 2.28** การติดตั้งชุดการทดลองแบบ Potentiostat [7] สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 โปเทนชิโอสแตต (Potentiostat)

ฟังก์ชันของเครื่องโปเทนชิโอสแตต จะเป็นการวัดค่าความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วโลหะทดสอบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าหลายๆ ค่าเข้าไประหว่างขั้วโลหะทดสอบและขั้วไฟฟ้าร่วม แล้วนำมาเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าที่ถูกปรับไว้ก่อนแล้ว สัญญาณผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะทำให้การจ่ายกระแสเข้าไปในขั้วโลหะทดสอบเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วโลหะทดสอบเปลี่ยนไปในทิศทางที่ต้องการ แผนผังของวงจรอย่างง่ายแสดงดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 แผนผังอย่างง่ายของโปเทนชิโอสแตต [7]

การออกแบบโปเทนชิโอสแตตที่ดีจะต้องมีความต้านทานระหว่างขั้วโลหะทดสอบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงประมาณ 10^{12} - 10^{15} โอห์ม และจำเป็นต้องให้กระแสไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเป็นศูนย์เพื่อป้องกันปัญหาความผิดพลาดของโพลาริเซชันที่ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง

2.7.2 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode)

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงทำจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถรักษาสภาพของศักย์ไฟฟ้าให้คงที่ ซึ่งใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับวัดค่าศักย์ไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงส่วนใหญ่จะหุ้มด้วยแก้ว เพื่อให้สามารถควบคุมสารละลายรอบๆ ข้างได้ ตัวอย่างชนิดของขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่ใช้ทดสอบกับสารละลายที่อุณหภูมิห้อง ได้แก่ ขั้วคาโลเมล (Hg/HgCl/KCl) ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Silver/Silver chloride electrode) และขั้วคอปเปอร์/คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper/Copper sulfate electrode) หากต้องการให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ผ่านเข้าไปภายในแก้วที่หุ้มไว้เพื่อความเหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงาน จึงต้องรู้อยู่เพื่อให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์เกิดการผสมกันภายในขั้วไฟฟ้าอ้างอิงได้

ในบางครั้งสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ทดสอบไม่บริสุทธิ์จะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงคลาดเคลื่อนจึงต้องมีการป้องกันปัญหานี้ โดยการเลือกใช้ขั้วที่ทำจากวัสดุที่สามารถยอมให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ผ่านไปได้บางส่วน เช่น Vycor ถึงแม้จะกำจัดสิ่งเจือปนออกไปได้บ้างแต่ยังต้องมีการดูแลรักษาวัสดุซึ่งยอมให้สารละลายผ่านไปได้ด้วย ถ้าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้มีสมบัติที่ดีและมีข้อผิดพลาดในศักย์ไฟฟ้าที่น้อยจึงมีความสำคัญมากนัก ดังนั้นวัสดุบางชนิดสามารถนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงโดยไม่ต้องมีแก้วครอบไว้ ตัวอย่างของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบนี้ทะเลประกอบด้วยสังกะสีและขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์

ตำแหน่งของเซลล์อ้างอิงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นสิ่งสำคัญซึ่งจะส่งผลต่อค่าความต้านทาน เมื่อพิจารณาในสารละลายกระแสระหว่างขั้วโลหะทดสอบและขั้วกระแสไฟฟ้าร่วมเป็นสาเหตุให้ค่าศักย์ไฟฟ้าลดลงไปถึงค่าต้านทานของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ตำแหน่งของเซลล์อ้างอิงที่วางห่างจากขั้วโลหะทดสอบจะทำให้สามารถอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าแตกต่างไปจากค่าศักย์ไฟฟ้าจริง

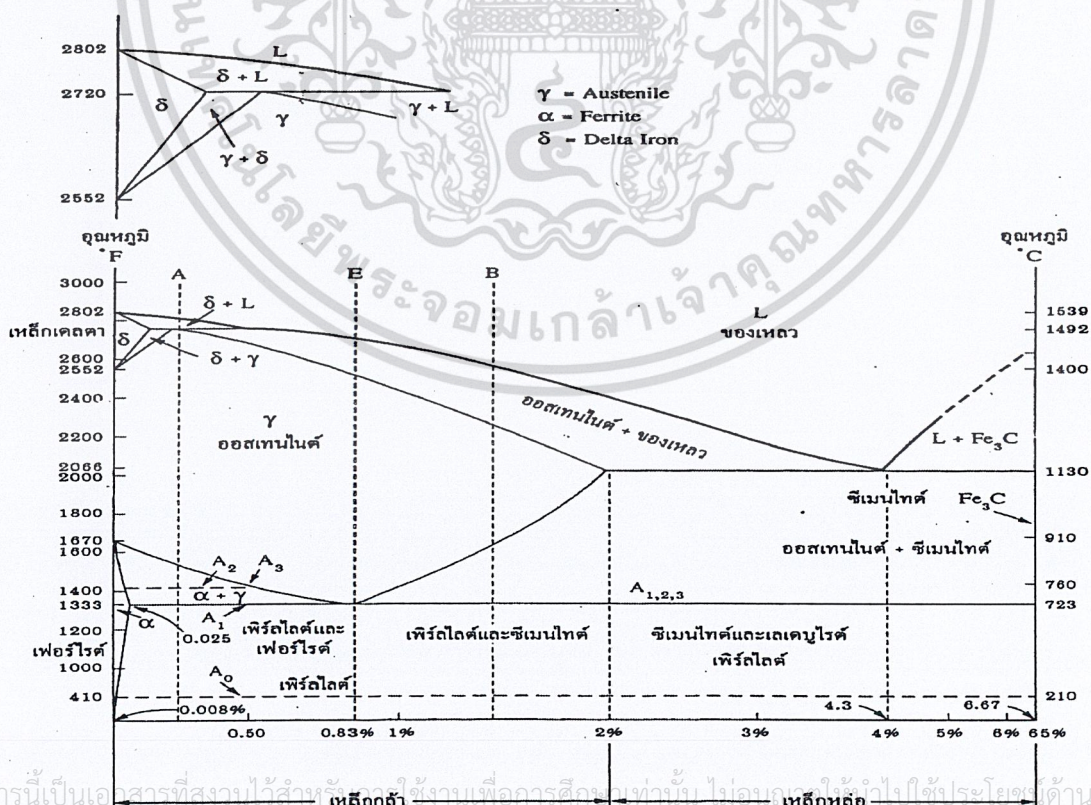
2.7.3 ขั้วไฟฟ้าตรงข้าม (Counter electrode)

โครงสร้างของขั้วไฟฟ้าร่วมจะทำมาจากวัสดุที่ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา เช่น แพลตินัมหรือแกรไฟต์ แพลตินัมมีราคาแพงจึงนำไปใช้เคลือบผิว เนื่องจากแกรไฟต์มีรูพรุนจึงสามารถนำไปใช้กับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้หลายชนิด โดยจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าร่วม ในกรณีที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีสิ่งเจือปนมาก การเลือกใช้วัสดุของขั้วไฟฟ้าร่วมจะต้องเหมือนกับขั้วโลหะทดสอบหรืออาจจะวางขั้วไฟฟ้าร่วมในกล่องแยกที่เชื่อมต่อเข้ากับชุดทดลอง

2.8 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) [32-34]

2.8.1 สมบัติทั่วไป (General properties) [32-34]

เหล็กทั่วไปจะเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายและการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ระหว่างเหล็กกับออกซิเจนในอากาศจะเกิดชั้นฟิล์มออกไซด์ (Oxide film) เคลือบบนผิวโลหะ ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้จะทำให้เหล็กผุกร่อนหรือที่เรียกกันว่า สนิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ไม่อนุญาตให้ส่งออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.30 แผนภาพสมดุลเหล็กกับคาร์บอน [34] เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้าไร้สนิมจะผสมโครเมียมในปริมาณสูงและจะต้องไม่ต่ำกว่า 10.5% ซึ่งจะทำให้สมบัติของชั้นฟิล์มออกไซด์เปลี่ยนแปลงไปเป็นชั้นผิวเคลือบที่สามารถป้องกันการกัดกร่อน (Passive layer) โดยชั้นผิวเคลือบนี้มีความบางมากไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและจะเกาะติดแน่นและที่บจนเปรียบเหมือนเกราะป้องกันไม่ให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านหรือผ่านได้น้อยลง จึงส่งผลให้ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical reaction) จะเกิดยากขึ้น ดังนั้นเหล็กจึงมีสมบัติการต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ดีขึ้นหรือไม่เกิดการกัดกร่อนเลยแม้จะอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นกรดเจือจาง นอกจากนี้ยังมีการผสมนิกเกิล ไทเทเนียม โนโอเบียม และธาตุอื่นเพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมกับการใช้งาน

2.8.2 ประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิม (Type of stainless steel) [32-33]

เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถจำแนกเป็นประเภทได้มากกว่า 150 ประเภท ซึ่งจะถูกผลิตออกมาเป็นแผ่น แท่ง ท่อ และเส้น เพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นเครื่องมือ เครื่องใช้ อุปกรณ์ต่างๆ ตั้งแต่เครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน ไปจนถึงอุปกรณ์ทางการแพทย์และวิทยาศาสตร์ งานก่อสร้าง งานวิศวกรรมยานยนต์ ซึ่งเหล็กกล้าไร้สนิมเหล่านี้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Recyclable) ได้ 100% และมีการนำกลับมาใช้ใหม่มากถึง 60%

การแยกประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยอาศัยลักษณะความแตกต่างของโครงสร้างสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1. เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic stainless steels)

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกเป็นเหล็กที่มีโครงสร้างเป็นเฟอร์ไรต์และเป็นเหล็กที่มีโครเมียมผสมอยู่ระหว่าง 15-16%

1) เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดคาร์บอนต่ำ

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดคาร์บอนต่ำจะผสมโครเมียม 15-18% และมีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.12% โครงสร้างจะเป็นเฟอร์ไรต์และไม่สามารถทำการอบชุบ (Heat treatment) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงได้ การที่กำหนดปริมาณคาร์บอนไว้ไม่เกิน 0.12% เพราะไม่ต้องการให้เกิดการรวมตัวของคาร์บอนกับโครเมียมหรือที่เรียกว่า โครเมียมคาร์ไบด์ ซึ่งจะไปทำให้สมบัติการต้านทานการกัดกร่อนลดลง ดังนั้นเพื่อที่จะให้ได้เฟอร์ไรต์อย่างสมบูรณ์จึงต้องเผาเหล็กที่อุณหภูมิประมาณ 1000 องศาเซลเซียส เพื่อให้โครเมียมคาร์ไบด์ที่มีอยู่สลายตัวจนหมด จากนั้นทำการลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (Quench) ในน้ำ

สมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดคาร์บอนต่ำจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีในบรรยากาศทั่วไป ยกเว้นในน้ำทะเลและในบรรยากาศอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น กรด

- สามารถทนกรดไนตริกได้ทุกความเข้มข้นจนถึงอุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส

- สามารถทนกรดฟอสฟอริกได้เฉพาะกรดเจือจางและที่อุณหภูมิต่ำ

- สามารถทนกรดซัลฟิวริกได้ทุกความเข้มข้นจนถึงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

การใช้งานโดยทั่วไปจะใช้ทำอ่างล้าง (Sink) ในห้องครัว มีด ซ้อนส้อม และชิ้นงานประเภท ตกแต่ง เพราะเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดคาร์บอนต่ำจัดเป็นเหล็กราคาถูกเมื่อเทียบกับเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดอื่นๆ

2) เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดทนต่อความร้อน

เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดทนต่อความร้อนจะผสม โครเมียมสูงกว่าเหล็กกล้าไร้สนิม เฟอร์ริติกชนิดคาร์บอนต่ำ คือ มีปริมาณโครเมียมประมาณ 25-30% และมีปริมาณคาร์บอน 0.3% โครงสร้างจะมีเฟอร์ไรต์เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (Continuous phase) และมีโครเมียมคาร์ไบด์ตกผลึกอยู่ ทั่วๆไป

สมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิดทนต่อความร้อนจะสามารถทนความร้อนได้ดีที่ อุณหภูมิสูงเกิน 1000 องศาเซลเซียส หรืออาจจะถึง 1300 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับปริมาณของ โครเมียม แต่เนื่องจากมีปริมาณโครเมียมที่สูงในขณะที่ใช้งานที่อุณหภูมิ 550-750 องศาเซลเซียส จะ ทำให้เหล็กชนิดนี้มีสมบัติเปราะและความเหนียวลดลง ดังนั้นในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงจึง จำเป็นต้องไม่ได้รับแรงมากๆ ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้มีการใช้งานไม่กว้างขวางเท่าที่ควร

การใช้งานโดยทั่วไปจะใช้ทำส่วนประกอบของเตา เช่น ส่วนต่างๆ ที่ใช้ยึดเตา ตะกรับเตา ทำท่อสำหรับก๊าซร้อน โดยเฉพาะสามารถทนต่อก๊าซ SO_2 และ SO_3

2. เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก (Martensitic stainless steels)

เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกเป็นเหล็กที่มีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ ซึ่งจะทำให้มีสมบัติ ทั้งความแข็งแรงและการต้านทานต่อการกัดกร่อนที่ดีขึ้น

1) เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนต่ำ

เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนต่ำจะผสมโครเมียม 12-14% และมีปริมาณ คาร์บอนไม่เกิน 0.15% เมื่อนำเหล็กมาเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส แล้วนำมาชุบน้ำมัน จะได้ เหล็กที่มีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ของโครเมียม

การใช้งานจะใช้กับชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่ทนแรงสูงและสามารถต้านทานการกัด กร่อนได้ เช่น เพลลาและพวกใบมีดสำหรับบดเนื้อ

2) เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนปานกลาง

เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติกชนิดคาร์บอนปานกลางจะผสมโครเมียม 13-15% และมี ปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.2-0.4% เนื่องจากเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อทำการชุบแข็ง (Hardenability) จะได้เหล็กที่มีโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ที่แข็ง โดยการชุบแข็งจะต้องเผาที่ อุณหภูมิ 1000-1100 องศาเซลเซียส เพื่อให้โครเมียมคาร์ไบด์ที่มีอยู่ละลายตัวจนหมดและได้ ออสเทนไซต์ที่สม่ำเสมอ จากนั้นจึงนำมาชุบน้ำก็จะได้โครงสร้างที่เป็นมาร์เทนไซต์ที่สม่ำเสมอ ทั่วๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานจะใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้ในการผ่าตัดที่โรงพยาบาลและมิดทั่วๆ ไปที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในบางกรณีอาจใช้ทำพวกชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลที่ต้องการสมบัติทั้งความแข็งแรงและความเหนียว

3) เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติคชนิดคาร์บอนสูง

เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติคชนิดคาร์บอนสูงจะผสมโครเมียม 14-16% และมีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.6-1% เนื่องจากมีปริมาณโครเมียมและคาร์บอนสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อนำมาทำการชุบแข็งจึงไม่มีโอกาสที่จะได้มาร์เทนไซต์ที่สม่ำเสมอเพราะจะมีโครเมียมคาร์ไบด์ที่ไม่ละลาย (Nondissolved carbide) ตัวเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาจึงไม่สามารถทำให้โครเมียมคาร์ไบด์หมดไปได้ การชุบแข็งจะต้องเผาที่อุณหภูมิ 1000-1100 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงนำมาชุบน้ำก็จะได้โครงสร้างที่เป็นมาร์เทนไซต์ที่แข็งต่ำกว่าเหล็กคาร์บอนธรรมดาเพราะคาร์บอนจำนวนหนึ่งจะไปรวมกับโครเมียมได้โครเมียมคาร์ไบด์ทำให้ปริมาณคาร์บอนในออสเทนไนต์ลดลง

สมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติคชนิดคาร์บอนสูงจะมีสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ลดลงเพราะปริมาณโครเมียมในเหล็กลดลงเนื่องจากไปรวมกับคาร์บอนได้โครเมียมคาร์ไบด์ แต่สามารถปรับปรุงสมบัติการต้านทานต่อการกัดกร่อนได้โดยการผสมไทเทเนียมหรือไนโอเบียมลงไปเล็กน้อยเพื่อไม่ให้โครเมียมรวมตัวกับคาร์บอน

การใช้งานจะเหมาะสำหรับอุปกรณ์ตัดเช่นเดียวกับเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติคชนิดคาร์บอนปานกลาง ซึ่งเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติคชนิดคาร์บอนสูงจะมีความแข็งแรงสูงกว่าและทนทานต่อการใช้งานมากกว่า แต่จะมีข้อเสีย คือ เปราะแตกหักได้ง่ายกว่าและการชุบแข็งจะต้องทำการอบคืนตัว (Tempering) เสมอ

4) เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติคชนิดคาร์บอนต่ำและโครเมียมสูง

เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติคชนิดคาร์บอนต่ำและโครเมียมสูงจะผสมโครเมียม 15-20% และมีปริมาณคาร์บอนไม่เกิน 0.15% เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดพิเศษที่ปรับปรุงมาจากเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติคชนิดคาร์บอนต่ำ เพื่อเพิ่มสมบัติทางด้านการต้านทานต่อการกัดกร่อนให้ดีขึ้นโดยการผสมนิกเกิล 2-4% ซึ่งทำให้สามารถเผาที่อุณหภูมิ 950-1000 องศาเซลเซียส จะได้ออสเทนไนต์ 100% เพราะนิกเกิลจะช่วยทำให้ออสเทนไนต์มีเสถียรภาพมากขึ้น

สมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติคชนิดคาร์บอนต่ำและโครเมียมสูงจะสามารถทนความร้อนสูงกว่า 500 องศาเซลเซียส ได้โดยการผสมทั้งสแตนเลสและโมลิบดีนัมลงไปเล็กน้อย

การใช้งานจะเหมาะสำหรับทำชิ้นส่วนจักรกลที่ต้องการความแข็งแรงสูงและต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี โดยเฉพาะในน้ำและในน้ำทะเลจะสามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก

3. เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic stainless steels)

เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกจะผสมโครเมียม 14-30% นิกเกิล 8-35% และมีปริมาณคาร์บอนต่ำจนถึง 0.03% นอกจากนี้ยังมีการผสมธาตุอื่นๆ ลงไปอีก เช่น ไทเทเนียม ไนโอเบียม

ไทเทเนียม เพื่อปรับปรุงสมบัติด้านอื่นๆ ให้ดีขึ้น การอบชุบด้วยความร้อนโดยการเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นโดยการชุบน้ำจะได้โครงสร้างเป็นออสเทนไนต์ แต่ในการชุบแข็งอาจจะได้โครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ได้โดยการชุบแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส

สมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกจะมีความแข็งแรง ความเหนียวสูง สามารถต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดี และที่อุณหภูมิห้องอัตราการแพร่ซึม (Diffusion) มีน้อยมากทำให้ออสเทนไนต์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

การปรับปรุงสมบัติของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกสามารถทำได้ เช่น การเพิ่มความแข็งแรงโดยอาศัยความเครียด (Strain hardening) ภายหลังจากการอบชุบทำให้ได้โครงสร้างที่เป็นออสเทนไนต์ 100% จากนั้นจึงทำการขึ้นรูปเย็น (Cold work) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากออสเทนไนต์ 100% เป็นออสเทนไนต์ที่มีมาร์เทนไซต์ผสมอยู่ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มความแข็งแรงด้วยการตกผลึก (Precipitation hardening) แต่จะได้รับความเค้นแรงดึงไม่สูงเพราะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในเหล็ก

การแบ่งประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกทำได้ยาก เนื่องจากเป็นเหล็กที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมมากและผลิตออกสู่ตลาดมากมายหลายชนิด อีกทั้งยังมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน โดยอาจจะแบ่งประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกตามการใช้งานได้ดังนี้

1) เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกประเภทที่ต้องการสมบัติการต้านทานต่อการกัดกร่อนสูงๆ

โดยเฉพาะสำหรับใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมเคมีส่วนใหญ่จะผสมโครเมียมและนิกเกิลปริมาณสูง นอกจากนี้จะผสมธาตุอื่นๆ ที่ช่วยเพิ่มสมบัติการต้านทานต่อการกัดกร่อน เช่น โมลิบดีนัม ทองแดง

2) เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกประเภทที่ต้องการสมบัติทางด้านความเหนียว

โดยเฉพาะในงานแปรรูปชนิดดึงขึ้นรูป (Deep drawing) เช่น อ่างล้าง ภาชนะ และอื่นๆ ส่วนใหญ่จะผสมนิกเกิลสูง

2.8.3 ผลของธาตุผสม (Effect of alloy elements) [35]

1. คาร์บอน (Carbon)

คาร์บอน (C) เป็นธาตุที่มีอยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมโดยทั่วไปจะไม่เกิน 0.15% (ยกเว้นเหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มมาร์เทนซิติก) เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีคาร์บอนต่ำจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนตามขอบ (Intergranular corrosion) เพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็นและการเชื่อม โดยเหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมคาร์บอนอยู่ 2 ช่วง คือ 0.02% (น้อยกว่า 0.03%) และ 0.07%

(0.04-0.15%) นอกจากนี้การผสมไทเทเนียมหรือไนโอเบียมลงไปนเหล็กกล้าไร้สนิมจะช่วยให้จับตัวกับคาร์บอนได้ดีและยังส่งผลดีต่อสมบัติทั้งสามข้อที่กล่าวมา เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีอักษร “L”

ปรากฏในเกรดของเหล็กกล้าไร้สนิมจะควบคุมคาร์บอนไม่ให้มีปริมาณไม่เกิน 0.03% ทำให้สามารถนำไปเชื่อมได้ดี มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนตามขอบเกรน และความสามารถในการขึ้นรูปเย็นสูงกว่าเกรดที่มีคาร์บอนสูงกว่า

2. โครเมียม (Chromium)

โครเมียม (Cr) เป็นธาตุที่ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนในสภาพบรรยากาศทั่วไป โดยผสมอยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมอย่างน้อย 10.5% แต่มักผสมโครเมียมมากกว่า 10.5% เล็กน้อย เพื่อให้มั่นใจว่าเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมมีการกระจายของโครเมียมอย่างสม่ำเสมอ เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมโครเมียมอยู่ 2 ช่วง คือ 12% (10.5-14.0%) และ 17% (16.0-24.0%) ถ้าผสมโครเมียมเกินกว่า 30% จะทำให้เหล็กเปราะ

3. นิกเกิล (Nickel)

นิกเกิล (Ni) เป็นธาตุที่ช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนบริเวณซอกในสารละลายกรด เพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็นและการเชื่อม เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมนิกเกิลอยู่ 2 ช่วง คือ 0% (ปริมาณเล็กน้อยที่ติดมากับเหล็ก) และ 9% (6.0-15.0%)

4. โมลิบดีนัม (Molybdenum)

โมลิบดีนัม (Mo) เป็นธาตุที่ช่วยเสริมผลของโครเมียมในการต้านทานต่อการกัดกร่อน โดยเฉพาะการกัดกร่อนบริเวณซอกและช่วยเพิ่มความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนในสภาพที่มีคลอไรด์ เหล็กกล้าไร้สนิมส่วนใหญ่ผสมโมลิบดีนัมอยู่ 2 ช่วง คือ 0% (ปริมาณเล็กน้อยที่ติดมากับเหล็ก) และ 2% (1.0-3.0%)

5. ไทเทเนียม (Titanium) หรือไนโอเบียม (Niobium)

ไทเทเนียม (Ti) หรือไนโอเบียม (Nb) เป็นธาตุที่ช่วยปรับปรุงสมบัติความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบขอบเกรน (Intergranular corrosion) โดยธาตุทั้งสองตัวจะช่วยป้องกันการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปเย็นและการเชื่อมอีกด้วย

2.8.4 ลักษณะของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการทดลอง (Properties of the stainless steel substrate) [35-36]

เหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกที่มีปริมาณโครเมียม 18% และ นิกเกิล 8% ซึ่งเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมที่นิยมใช้งานมากที่สุดเพราะมีความสามารถทนทานต่อการกัดกร่อนได้ดี ด้านสมบัติเชิงกลของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จะมีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) ปานกลาง แต่จะมีค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และค่าความยืด (Elongation) สูงจึงทำให้สามารถขึ้นรูปได้ดีมาก

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารร่าง Z. Wei และคณะ [1] ศึกษาการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากแก่วัตถุและก่อให้เกิดอุบัติเหตุ จึงมีความพยายามที่จะใช้สารลดแรงตึงผิวที่เป็น

สารอินทรีย์มาใช้ยับยั้งการกัดกร่อนแต่กระบวนการการยับยั้งการกัดกร่อนก็ยังไม่เป็นที่แน่ชัดว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร จากปัญหาข้างต้นจึงได้ทดลองการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้สารลดแรงตึงผิว N-lauroylsarcosine sodium salt (NLS) เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน การทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนจะทดสอบทางเคมีไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันจะพบว่าที่พื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1 โมลาร์ จะเกิดการกัดกร่อนแบบหลุมขึ้นแต่เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิว NLS ลงไปมากกว่า 30 มิลลิโมลาร์ สารลดแรงตึงผิวนี้นี้จะถูกดูดซับที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 และเกิดการเคลือบผิวชั้นที่สองขึ้น (Bilayer adsorption) ทำให้พื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 เป็นประจุลบ ซึ่งจะเกิดการผลักกันระหว่างประจุลบที่พื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 กับประจุลบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ทำให้เกิดการยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมได้อย่างสมบูรณ์

S.S. Abd และคณะ [2] ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมและโลหะผสมของทองแดงกับอะลูมิเนียมในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว คือ Sodium dodecyl benzene sulfonate (SDBS) เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนที่มีความเข้มข้นรอบๆ ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลและอุณหภูมิในช่วง 10-60 องศาเซลเซียส การทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนจะทดสอบทางเคมีไฟฟ้าโดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชัน จะพบว่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารยับยั้งเพิ่มขึ้น ระยะเวลาที่อยู่ในสารยับยั้งเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิต่ำลง การยับยั้งการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดการดูดซับสารยับยั้งการกัดกร่อนไปที่ผิวของโลหะ ซึ่งจะเปรียบเสมือนมีฟิล์มบางๆ เคลือบบนผิวโลหะทำให้สามารถป้องกันไม่ให้โลหะถูกกัดกร่อนได้

Y. Tsutsumi และคณะ [37] ศึกษาการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่มีหยดของสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์บนพื้นผิวเพื่ออธิบายกลไกการกัดกร่อนในน้ำทะเล โดยใช้เหล็กกล้าไร้สนิมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาแตกต่างกันแต่มีความชื้นสัมพัทธ์คงที่ พบว่าการกัดกร่อนแบบหลุมจะลดลงเมื่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาลดลงเนื่องจากทำให้พื้นที่แคโทดลดลง การกัดกร่อนแบบหลุมจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของคลอไรด์มากกว่า 6 โมลาร์และมีความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 65% โดยทั่วไปการกัดกร่อนแบบหลุมจะมีรูขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 ไมโครเมตร ในบางครั้งอาจจะพบการละลายของแมกนีเซียสซัลไฟด์ละลายออกมาด้วย

S.E. Lorr และ R.C. Alkire [38] ศึกษาการกัดกร่อนบริเวณซอกของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้อุปกรณ์ทดสอบที่มีชื่อเรียกว่า Crevice cell ด้วยเทคนิค Inductively coupled plasma spectroscopy พบว่ามีการละลายของธาตุเหล็ก (Fe) โครเมียม (Cr) และนิกเกิล (Ni) ลงไปในสารละลาย ซึ่งในช่วง 8 ชั่วโมงแรกเป็นช่วงที่ชั้นป้องกัน

การกัดกร่อน (Passive layer) ของโครเมียมยังไม่ถูกทำลายทำให้ความเข้มข้นของโครเมียมในสารละลายน้อยกว่าเหล็กและนิกเกิลอีกทั้ง pH ของสารละลายจะไม่ลดต่ำลง แต่หลังจากนั้นอีก 8 ชั่วโมง ชั้นป้องกันการกัดกร่อนจะถูกทำลายทำให้ความเข้มข้นของโครเมียมจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะทำให้ pH ของสารละลายลดต่ำลง

S.E. Werner และคณะ [39] ศึกษาผลของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria) ที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ซึ่งแบคทีเรียชนิดนี้จะสร้างไบโอฟิล์ม (Biofilm) ที่พื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมและผลิตไฮโดรเจนซัลไฟด์ (Hydrogen sulphide) โดยใช้เทคนิคโพเทนซิโอดินามิกโพลาริเซชันจะพบว่าไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบหลุมแต่ไบโอฟิล์มจะช่วยลดค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมลง โดยทั่วไปการเกิดการกัดกร่อนแบบหลุมลดลงจะทำให้การกัดกร่อนบริเวณซอกแบบรุนแรงแต่ไบโอฟิล์มจะช่วยยับยั้งไม่ให้เกิดการกัดกร่อนแบบซอกด้วย

T. Zhang และ D.Y. Li [40] ศึกษาผลของสารประกอบเกลือที่หายาก YCl_3 และ $LaCl_3$ ที่สามารถยับยั้งการกัดกร่อนและการสึกหรอของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 1045 กับ 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พบว่าการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมลดลงเมื่อเติม YCl_3 และ $LaCl_3$ ลงไป 1000 ppm ตามลำดับ เนื่องจาก YCl_3 และ $LaCl_3$ จะไปช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันการกัดกร่อน โดยการสร้างชั้นป้องกันการกัดกร่อนที่เป็นสารประกอบออกไซด์ คือ Y_2O_3 และ La_2O_3 ตามลำดับ บนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม นอกจากนี้ YCl_3 และ $LaCl_3$ ยังช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลทางด้านพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมอีกด้วย

M.B. Moshe และ S. Magdassi [41] ศึกษาสมบัติของสารลดแรงตึงผิวแบบคู่ (Gemini surfactant) ที่มีชื่อว่า Didodecylidiphenylether disulfonate เปรียบเทียบกับสารลดแรงตึงผิวชนิดเดี่ยวและอนุพันธ์ของสารลดแรงตึงผิวแบบคู่ โดยการทดสอบแรงตึงผิวพบว่าสารลดแรงตึงผิวแบบคู่จะมีประสิทธิภาพลดแรงตึงผิวได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยว นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับอนุพันธ์ของสารลดแรงตึงผิวแบบคู่ที่มีโครงสร้างคล้ายคลึงแต่จะแตกต่างกันที่จำนวนคาร์บอนอะตอมในโครงสร้าง พบว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดคู่ที่มีพื้นที่ผิวต่อ โมเลกุล (Area per molecule) มากจะเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมในโครงสร้างมาก ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลมีค่าลดลงด้วย

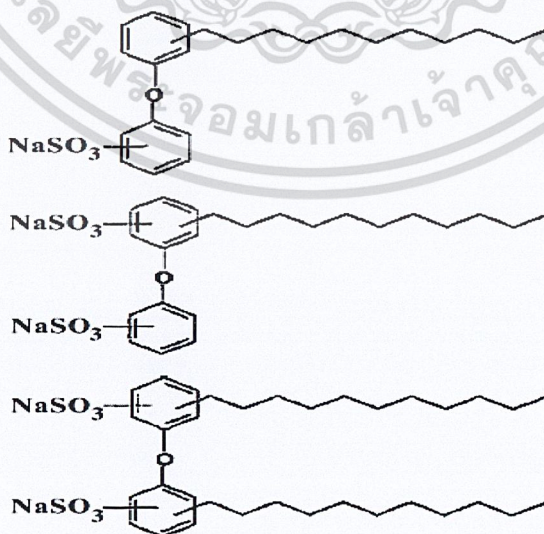
M.F. Torres และคณะ [42] ศึกษาสมบัติของสารละลายผสมระหว่างพอลิ (เอทิลีนออกไซด์) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว คือ Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS) ในน้ำ โดยเปรียบเทียบกับสารละลายผสมระหว่างพอลิ (เอทิลีนออกไซด์) กับสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว คือ Sodium dodecyl sulfate (SDS) พบว่าเมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นมากกว่าค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่เริ่มรวมตัว (CAC) จะทำให้กลุ่มไมเซลแนบชิดกับสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้พอลิ (เอทิลีนออกไซด์) เกิดการขยายตัวเป็นผลให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นและความ

แข็งแรงระหว่างสายโซ่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองหาค่าความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบทั้งสองตัวในสารละลายต่างๆ เช่น พอลิ (เอทิลีนออกไซด์) โซเดียมคลอไรด์ เป็นต้น โดยใช้เทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรสโกปี (Fluorescence spectroscopy) พบว่าค่าความเข้มข้นของเริ่มต้นการเกิดไมเซลของ SDBS ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ มีค่าเท่ากับ 0.0072 โมลาร์

จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องข้างต้นนี้จึงเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบ ซึ่งสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบเป็นสารลดแรงตึงผิวกลุ่มใหญ่ที่สุดและนิยมใช้มากที่สุด นอกจากนี้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบจะมีส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ที่เป็นประจุบ การที่จะทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบเป็นกลางจึงต้องเป็นธาตุที่เป็นประจุบเท่านั้น เช่น โซเดียม (Sodium) โพแทสเซียม (Potassium) เป็นต้น ซึ่งธาตุเหล่านี้จะไม่มีผลต่อการทดสอบการกัดกร่อนโดยสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบที่ใช้ในการทดลองจะมี 2 ชนิด ได้แก่ สารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยว คือ Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS) และสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบแบบคู่ (Anionic gemini surfactant) คือ Benzene-1, 1-oxybis-, tetrapropylene derivatives, sulfonated, sodium salts ซึ่งสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดนี้จะมีหมู่ Sulfonate อยู่ในโมเลกุล แสดงดังรูป 2.31 และ 2.32 จึงได้มีการเลือกใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบแบบเดี่ยวและแบบคู่นี้มาทดลองเพื่อศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ด้วยเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกโพลาไรเซชัน



รูปที่ 2.31 โครงสร้างของ Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS) [41]



รูปที่ 2.32 โครงสร้างของ Benzene-1, 1-oxybis-, tetrapropylene derivatives, sulfonated,

sodium salts [41]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ทั้งการสงวนลิขสิทธิ์และสงวนผู้แต่งหรือเจ้าของข้อมูลด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและใช้ข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์
2. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว คือ Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS)
3. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ คือ Benzene-1, 1-oxybis-, tetrapropylene

derivatives, sulfonated, sodium salts

4. เอทานอล 99.5 %
5. น้ำกลั่น
6. สารละลายอิมิตัวของโพแทสเซียมคลอไรด์
7. กรดไฮโดรคลอริก
8. ก๊าซไนโตรเจน 99.999 %

3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX51+Pixelink PL-B873C
2. เครื่องโพเทนชิโอสแตท (Potentiostat)
3. เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304
4. โลหะแพลตินัม
5. ชุดทดสอบการกัดกร่อน
6. ขั้วอ้างอิงชนิดคาโลเมลอิมิตัว
7. บริษัทเครื่องแก้ว
8. กระดาษทราย เบอร์ 600 และ 1200
9. พาราฟิล์ม
10. อ่างล้างความถี่สูง
11. เครื่องเป่าลมร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 วิธีเตรียมชิ้นงานก่อนทำการทดลอง

1. ตัดชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.6 เซนติเมตร และหนา 0.3 เซนติเมตร ชัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 และ เบอร์ 1200 ตามลำดับ โดยใช้ น้ำกลั่นช่วยในการขัด แล้วทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง

2. แร่ชิ้นงานตัวอย่างในเอทานอล 99.5 % ในอ่างล้างความถี่สูง เป็นเวลา 15 นาที

3. เป่าชิ้นงานให้แห้งด้วยลมร้อน

3.3.2 วิเคราะห์พื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ก่อนและหลังขัดด้วยกระดาษทราย โดยใช้

กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope)

1. เตรียมชิ้นงานตัวอย่างเหมือนข้อ 3.3.1

2. นำชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ก่อนขัดด้วยกระดาษทรายส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงกำลังขยาย 100 เท่า

3. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนชิ้นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จากก่อนขัดด้วยกระดาษทรายเป็นหลังขัดด้วยกระดาษทราย

3.3.3 อิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS)

3.3.3.1 การเตรียมสารละลาย

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์

- ชั่งโซเดียมคลอไรด์ 5.844 กรัม ในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำกลั่น ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

- นำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ได้ไปพ่นก๊าซในโตรเจนเป็นเวลา 30 นาที

2. เตรียมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวเข้มข้น 0.25 0.5 1 และ 2 เท่าของความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลล์ (Critical micelle concentration, CMC) โดย ความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลล์ของ Sodium dodecylbenzenesulfonate (SDBS) มีค่า 0.0072 โมลาร์ ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ [42]

3. เตรียมสารละลายอิมิตัวของโพแทสเซียมคลอไรด์

- ต้มน้ำกลั่นแล้วเติมโพแทสเซียมคลอไรด์ จนโพแทสเซียมคลอไรด์ไม่สามารถละลายได้แล้ว

3.3.3.2 การเตรียมการวัดทางเคมีไฟฟ้า

1. เตรียมตัวอย่างชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเหมือนข้อ 3.3.1 ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เตรียมขั้วแพลตินัม

- ล้างขั้วแพลตินัมด้วยน้ำยาทำความสะอาด
- แช่ในกรดไฮโดรคลอริกเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นขัดด้วยน้ำยาทำความสะอาด
- ล้างด้วยเอทานอล 99.5 % อีกครั้งแล้วเป่าให้แห้ง

3.3.3.3 วิธีการทดลอง

1. ล้างชุดทดสอบด้วยน้ำกลั่น ผึ่งให้แห้ง ใส่ชิ้นงานตัวอย่างในชุดทดสอบการกัดกร่อน แล้วกลั้วด้วยสารละลายที่ต้องการทดสอบ

2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องโพเทนชิโอสแตท เลือกโปรแกรมควบคุม เลือกสภาวะการทดสอบใช้อัตราเร็ว 600 มิลลิโวลต์ต่อชั่วโมง วัดค่าศักย์ไฟฟ้าในช่วงตั้งแต่ -500 ถึง +1000 มิลลิโวลต์ เทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit potential, OCP)

3. จัดอุปกรณ์ชุดทดสอบการกัดกร่อนให้เรียบร้อย แล้วเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซล (Critical micelle concentration, CMC) จากนั้นเปิดปั๊มลมเพื่อเติมก๊าซไนโตรเจนลงในสารละลาย

4. ต่อขั้วไฟฟ้าจากเครื่องโพเทนชิโอสแตทกับชุดทดสอบการกัดกร่อน

5. ใส่ขั้วอ้างอิง

6. เริ่มปรับค่าศักย์ไฟฟ้าและวัดค่ากระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน

7. เมื่อวัดเสร็จ จึงบันทึกข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์

8. ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว จากความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลเป็นความเข้มข้น 0.25 0.5 และ 2 เท่าของความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซล

3.3.4 อิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ Benzene-1, 1-oxybis-, tetrapropylene derivatives, sulfonated, sodium salts

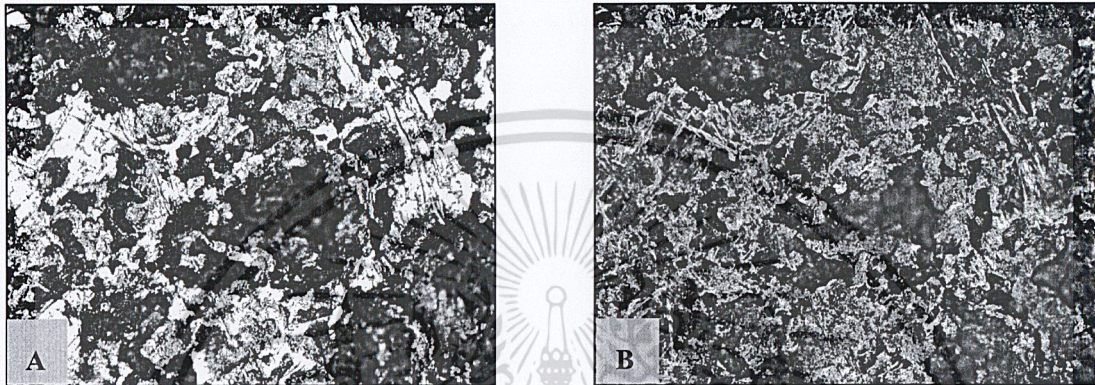
1. ทำการทดลองเหมือนข้อ 3.3.1 แต่เปลี่ยนจากลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบเป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ โดยความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลของสารลดแรงตึงผิวประจุลบแบบคู่ มีค่า 0.007 กรัม ใน 100 กรัม ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

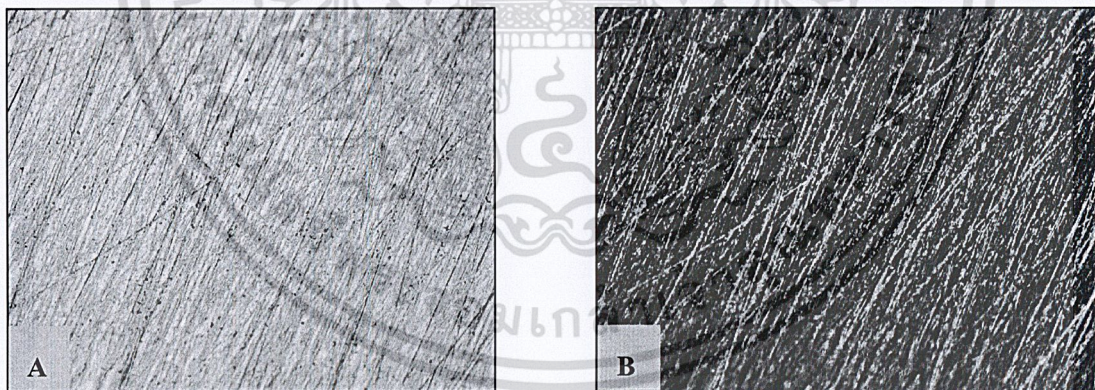
4.1 ผลจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304

4.1.1 ก่อนขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย



รูปที่ 4.1 พื้นผิวชิ้นงานก่อนขัดกระดาษทรายแบบสว่าง (A) และแบบมืด (B) กำลังขยาย 100 เท่า

4.1.2 หลังขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทราย

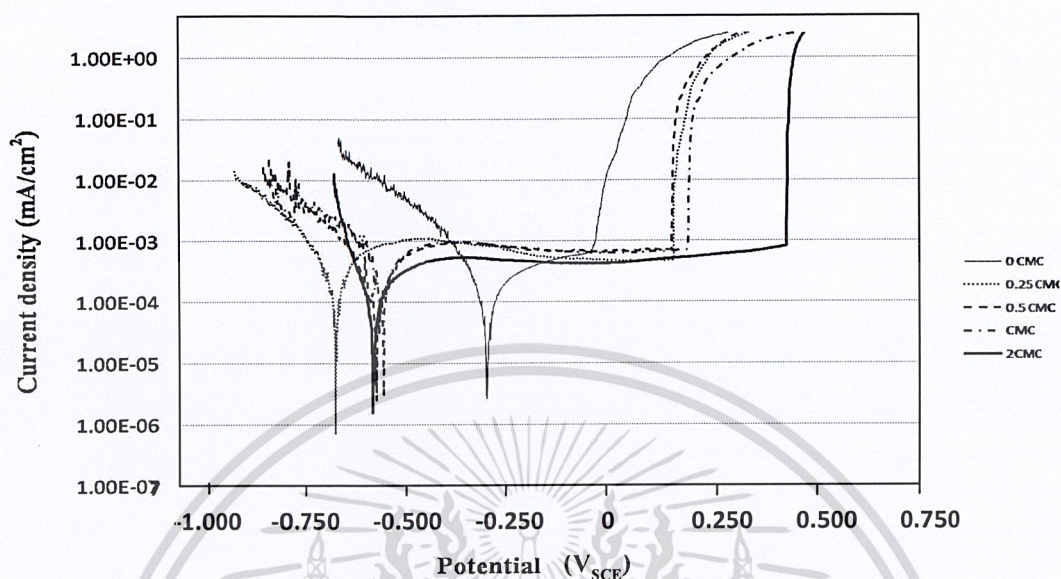


รูปที่ 4.2 พื้นผิวชิ้นงานหลังขัดกระดาษทรายแบบสว่าง (A) และแบบมืด (B) กำลังขยาย 100 เท่า

รูปที่ 4.1 พบว่าความสว่างบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ไม่เท่ากันมีความขรุขระสูง เนื่องจากพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่จัดหามามีลักษณะถูกยัดด้วยทรายมาก่อน ดังนั้นก่อนที่จะนำชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มาใช้จึงต้องขัดด้วยกระดาษทรายเพื่อปรับสภาพพื้นผิวให้เรียบขึ้นและกำจัดชั้นออกไซด์ของเหล็กและโครเมียมที่มีอยู่เดิม แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นว่าความสว่างบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีความสม่ำเสมอมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานและการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว



รูปที่ 4.3 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ไม่เติมและเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว ที่ความเข้มข้น 0.25 0.5 1 และ 2 เท่าของ CMC

รูปที่ 4.3 เป็นกราฟที่มาจากการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวเพื่อเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พบว่า จากกราฟสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (i_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (E_{pit}) ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการกัดกร่อนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว

ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว (เท่าของ CMC)	E_{corr} (V _{SCE})	i_{corr} (mA/cm ²)	E_{pit} (V _{SCE})
0	-0.271	3.03E-04	-0.049
0.25	-0.633	3.28E-04	0.156
0.5	-0.512	2.76E-04	0.154
1	-0.528	5.40E-04	0.190
2	-0.537	1.53E-04	0.408

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.1 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนเป็นค่าที่บ่งบอกว่าวัสดุถูกกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอมากน้อยเพียงใด ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ทั้ง 5 ตัวอย่างถูกกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน ส่วนการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนหลังจากที่มีการเติมสารลดแรงตึงผิวนั้น บ่งชี้ว่าสารละลายที่มีสารลดแรงตึงผิวมีความสามารถในการออกซิไดซ์ลดลง

ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมจะมีค่ามากขึ้น เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวจะไปเกาะที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ซึ่งจะเปรียบเสมือนมีฟิล์มบางๆ เคลือบบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิม 304 [2] ทำให้คลอไรด์ไอออนเข้ามาทำปฏิกิริยากับผิวของเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ได้น้อยลง ส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมมีค่ามากขึ้นและทำให้ช่วงการป้องกันการกัดกร่อนแบบหลุมกว้างขึ้น จากผลการทดลองพบว่า สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวที่ความเข้มข้นเท่ากับ 2 เท่าของความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลสามารถช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ได้มากที่สุด

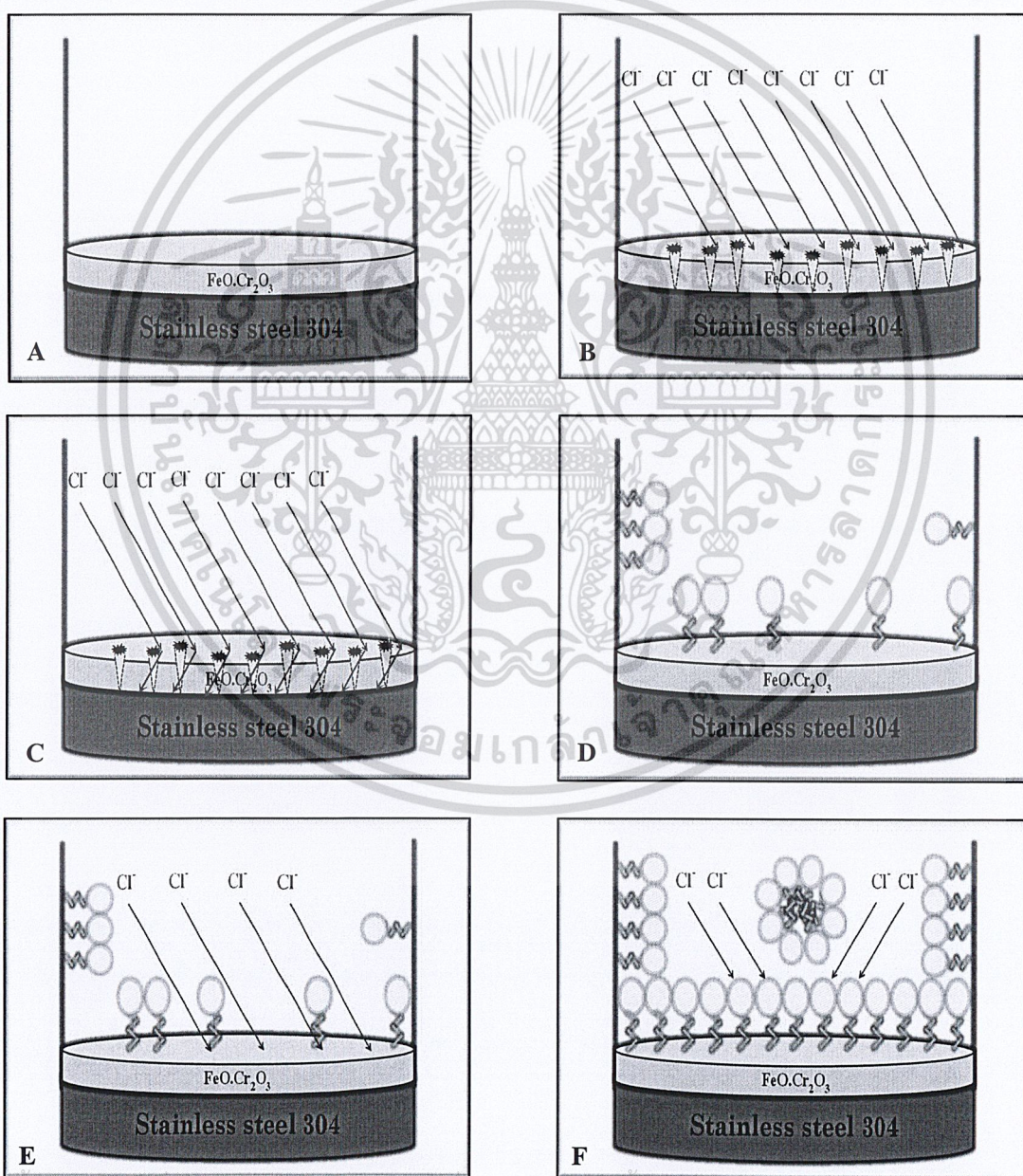
โดยทั่วไปการกัดกร่อนแบบหลุมเกิดเมื่อ โลหะอยู่ในสารละลายที่มีคลอไรด์ไอออนและที่ผิวโลหะเกิดความต่างศักย์แสดงตัวเป็นบริเวณแอโนดและแคโทดเล็กๆ ขึ้น โดยบริเวณแอโนดจะถูกกัดกร่อนไปจนเกิดเป็นหลุมทำให้คลอไรด์ไอออนสามารถแพร่เข้าไปในหลุมนั้นได้ ซึ่งจะเร่งให้โลหะเกิดการกัดกร่อนแบบหลุมได้มากขึ้น โดยโลหะภายในหลุมจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันให้โลหะไอออนออกมาอย่างรวดเร็ว ในขณะที่น้ำจะเกิดปฏิกิริยารีดักชันบนผิวโลหะ [10]

ปฏิกิริยาที่อธิบายกลไกของการเกิดการกัดกร่อนแบบหลุม อาจแสดงได้ดังนี้



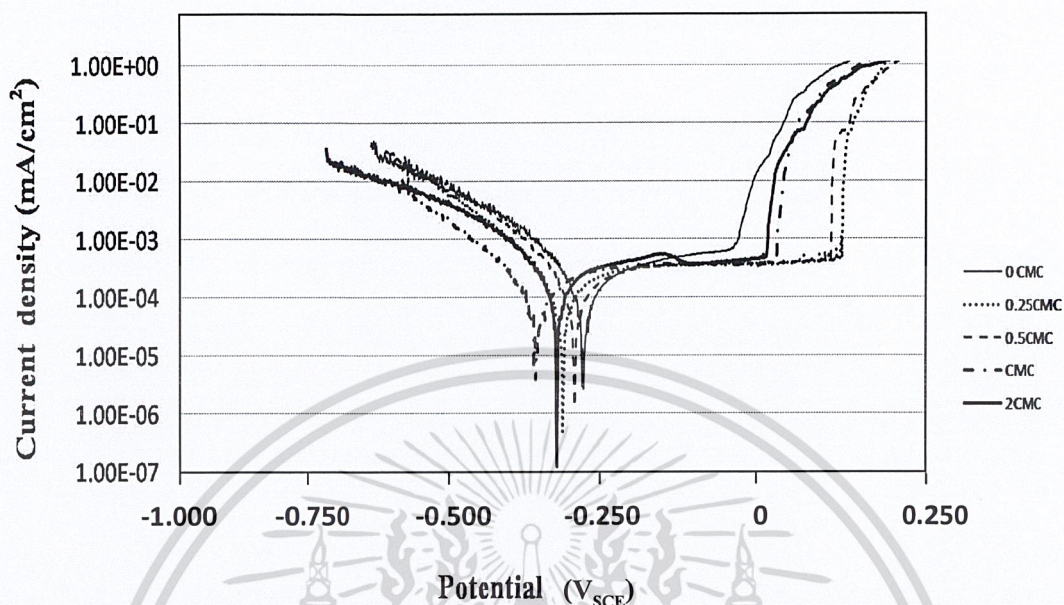
สามารถเสนอกลไกการกัดกร่อนได้ดังนี้ เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จะถูกกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ จากนั้นเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จะสร้างขึ้นป้องกันการกัดกร่อนที่เป็นสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและโครเมียม ($\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$) ขึ้น ซึ่งสามารถต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมได้แสดงดังรูปที่ 4.4 (A) แต่เมื่อความสามารถในการออกซิไดส์ของสารละลายเพิ่มมากขึ้นชั้นป้องกันนี้จะถูกทำลายโดยความช่วยเหลือของคลอไรด์ไอออน ทำให้เนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 เกิดการกัดกร่อนแบบหลุมได้ แสดงดังรูปที่ 4.4 (B และ C) แต่เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวลงไปที่ความเข้มข้นน้อยกว่าความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซล โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะไปเกาะที่พื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมและผนังภาชนะ โดยหันส่วนที่ชอบน้ำซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้ว คือ หมู่ Sulfonate เข้าหาสารละลาย และหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 แสดงดังรูปที่ 4.4 (D) ซึ่งจะทำให้คลอไรด์ไอออนที่อยู่ในสารละลายสามารถเข้าไปทำลายชั้น

ออกไซด์ของเหล็กและโครเมียม ($\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$) ได้น้อยลง แสดงดังรูปที่ 4.4 (E) จากนั้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวเพิ่มมากขึ้นจนมีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซล โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะเกาะที่พื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จนเต็มทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวไม่สามารถเกาะได้อีกและเกิดการสร้างไมเซล (Micelle) ที่มีลักษณะคล้ายทรงกลม [26,31] ประกอบกับที่ผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีชั้นป้องกันที่เป็นสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและโครเมียม ($\text{FeO}\cdot\text{Cr}_2\text{O}_3$) อยู่แล้ว จึงทำให้คลอไรด์ไอออนเข้ามาทำปฏิกิริยากับผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ได้น้อยลงอย่างมาก แสดงดังรูปที่ 4.4 (F) ส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมมีค่ามากขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวสามารถเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
รูปที่ 4.4 กลไกการเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว

4.3 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่



รูปที่ 4.5 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ไม่เติมและเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ที่มีความเข้มข้น 0.25 0.5 1 และ 2 เท่าของ CMC

รูปที่ 4.5 เป็นกราฟที่มาจากการใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่เพื่อเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหุลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พบว่า จากกราฟสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (i_{corr}) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหุลุม (E_{pit}) ได้แสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการกัดกร่อนของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่

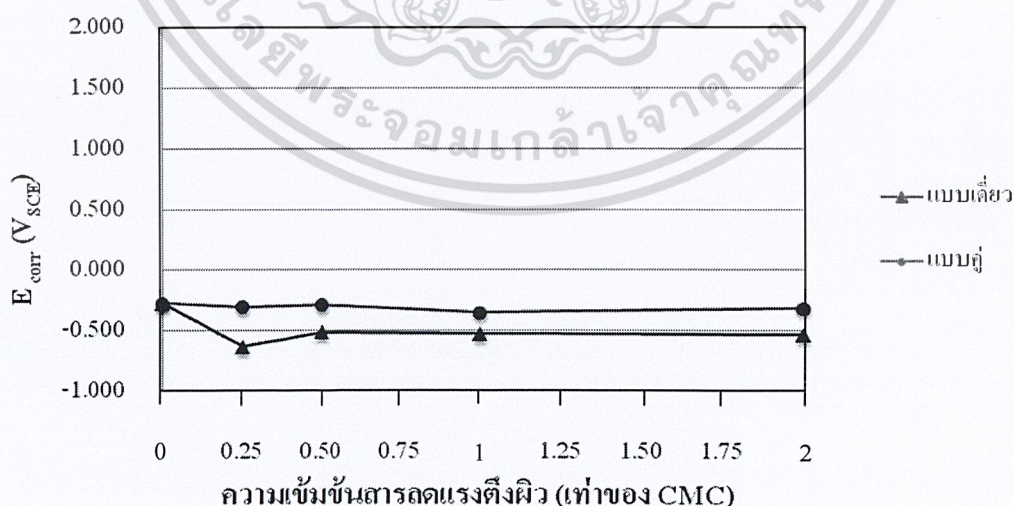
ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ (เท่าของ CMC)	E_{corr} (V _{SCE})	i_{corr} (mA/cm ²)	E_{pit} (V _{SCE})
0	-0.271	3.03E-04	-0.049
0.25	-0.303	2.28E-04	0.141
0.5	-0.283	1.95E-04	0.118
1	-0.349	1.40E-04	0.029
2	-0.313	2.90E-04	0.012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ 2 ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษา ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.3 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีแนวโน้มลดลงแต่มีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งถือว่าไม่มีนัยสำคัญ อีกทั้งค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนที่ได้ทั้งหมดมีค่าอยู่ที่ระดับ 10^{-4} mA/cm² สามารถกล่าวได้ว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ไม่มีผลต่อการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304

ส่วนค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมมีค่ามากขึ้นเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 0.25 เท่าของความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซล แต่เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวมากกว่า 0.25 เท่าของความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซล พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมกลับลดลงเนื่องจากสารลดแรงตึงผิวแบบคู่ช่วยลดความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารละลายได้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยว (ดูได้จากกราฟที่ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่ได้จากกราฟวัดในสารละลายที่มีสารลดแรงตึงผิวแบบเดี่ยว ลดลงได้มากกว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนที่วัดได้จากสารละลายที่มีสารลดแรงตึงผิวแบบคู่) ซึ่งความสามารถในการออกซิไดซ์นี้คือความสามารถของสารละลายในการรับอิเล็กตรอน [11] ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมมีค่าลดลงซึ่งทำให้ช่วงการสร้างชั้นป้องกัน (Passive region) แคบลง จากผลการทดลองจึงสามารถกล่าวได้ว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 0.25 เท่าของความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลสามารถเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ได้มากที่สุด

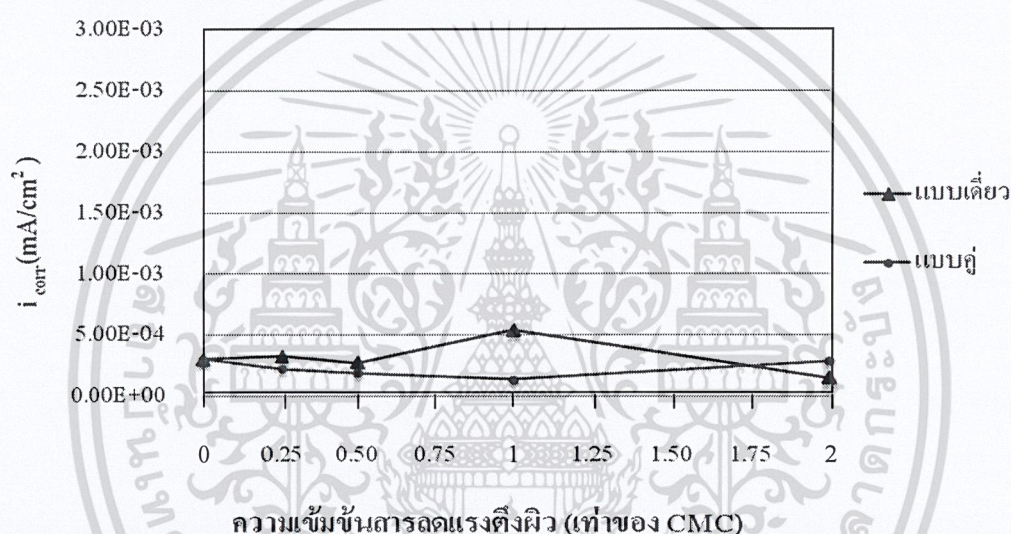
4.4 เปรียบเทียบแนวโน้มของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวและแบบคู่



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ

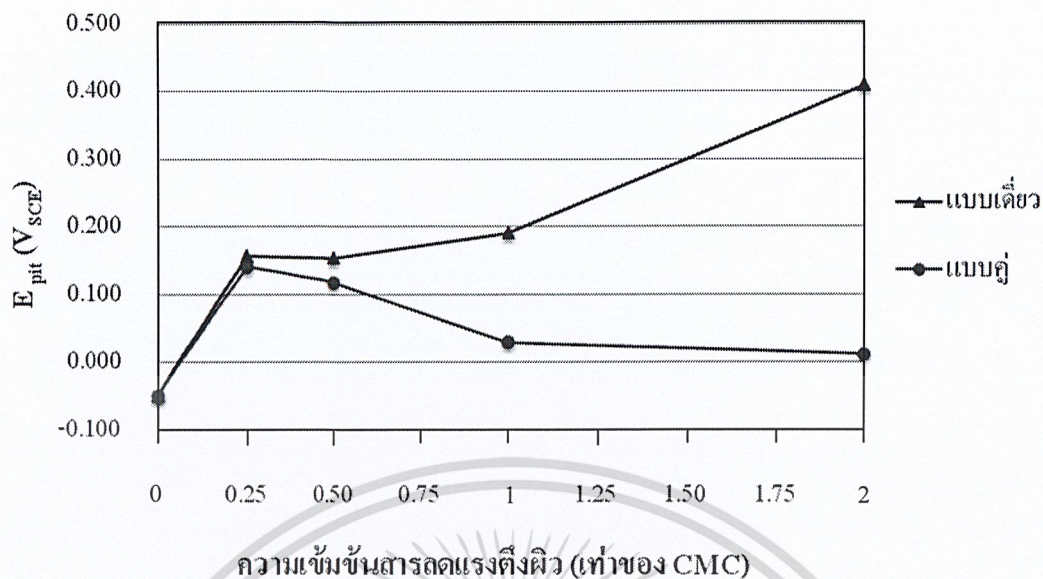
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาโดยผู้จัดทำเอกสาร หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวและแบบคู่ พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่อยู่ในสารละลายที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่มีค่ามากกว่าที่อยู่ในสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว เนื่องจากสารลดแรงตึงผิวแบบคู่ช่วยลดความสามารถในการออกซิไดซ์ของสารละลายได้น้อยกว่าที่สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวช่วยลด ส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่อยู่ในสารละลายที่มีสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่เลื่อนไปทางลบได้น้อยกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยว



รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบ

รูปที่ 4.7 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวและแบบคู่ พบว่าที่ค่าความเข้มข้นต่างๆ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าแตกต่างกันน้อยมากและทั้งหมดอยู่ที่ระดับ 10^{-4} mA/cm² แสดงว่าการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่อยู่ในสารละลายที่มีสารลดแรงตึงผิวทั้งสองชนิดนี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมกับความเข้มข้นของสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบ

รูปที่ 4.8 เป็นการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมกับความเข้มข้นของสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวและแบบคู่ พบว่าที่ความเข้มข้นที่เป็นจำนวนเท่าเดียวกันของความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซล ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมมีค่าแตกต่างกัน โดยค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมของสารลดแรงดึงผิวประจุลบแบบเดี่ยวมีค่ามากกว่าสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่ แสดงว่าสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวมีความสามารถในการเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ได้ดีกว่าสารลดแรงดึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาอิทธิพลของสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวและแบบคู่ต่อการกักกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวสามารถเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ได้ โดยพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวเป็น 2 เท่าของความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซล ความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนจะดีที่สุด

2. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่สามารถเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ได้ แต่พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นเกิน 0.25 เท่าของความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซล ความสามารถในการต้านทานดังกล่าวมีแนวโน้มลดลง

3. สารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบเดี่ยวมีความสามารถในการเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ได้ดีกว่าสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุลบแบบคู่

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรทำการทดลองหาค่าความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลและเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการสืบค้น เพื่อให้แน่ใจว่าความเข้มข้นเริ่มต้นการเกิดไมเซลที่นำมาอ้างอิงนั้นมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Z. Wei, P. Doby and P. Somasundaran. Pitting inhibition of stainless steel by surfactants: an electrochemical and surface chemical approach. Journal of Colloid and Interface Science 259 (2003) 97–102
- [2] S.S. Abd El Rehim, M.A. Amin, S.O. Moussa and A.S. Ellithy. The corrosion inhibition of aluminum and its copper alloys in 1.0 M H₂SO₄ solution using linear-sodium dodecyl benzene sulfonate as inhibitor. Journal of Materials Chemistry and Physics 112 (2008) 898–906
- [3] P. Somasundaran and A. Hubbard. Encyclopedia of Surface and Colloid Science. 2nd ed. United States: Taylor & Francis, 2006
- [4] M.G. Fontana and N.D. Green. Corrosion Engineering. 3rd ed. Singapore: McGraw Hill, 1986
- [5] สุมลทา วาจาบัณฑิตย์. โลหะ. แผนกตำราคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ นครสวรรค์, 2549
- [6] พรศักดิ์ อรรถวานิช. โลหการวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: แผนกตำราคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546
- [7] ศิริลักษณ์ นิวิฐจรยงค์. การกัดกร่อนและการเลือกใช้วัสดุ. กรุงเทพฯ: ศูนย์ตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าพระนครเหนือ, 2545
- [8] อนุวัฒน์ จุติลาถาวร. เอกสารประกอบการเรียนวิชาวัสดุวิศวกรรม. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- [9] กัญญา ตระกูล. เทคโนโลยีการกัดกร่อน. กรุงเทพฯ: บริษัทกราฟแมนเพรส จำกัด, 2530
- [10] กัญญา ตระกูล. เทคโนโลยีการกัดกร่อน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็กซ์เพรส มีเดีย, 2534
- [11] สุธา สุทธิเรืองวงศ์. เอกสารประกอบการสอนวิชาหัวข้อที่น่าสนใจในอุตสาหกรรมเคมี (การกัดกร่อน). ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552
- [12] NACE International. “**General or Uniform Corrosion**.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://events.nace.org/library/corrosion/Forms/uniform.asp> 2553.
- [13] CorrView International. “**Galvanic Corrosion**.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.corrview.com/corr_06.htm 2553.
- [14] อุบลวรรณ ไข่ทอง. “**ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน**.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.ebook.mtk.ubon2.net/main/forum_posts.asp?TID=1591&PN=1 2553

- [15] J.E.I. Metallurgical, Inc. “**Pitting Corrosion.**”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.metallurgist.com/html/corrosion.htm> 2553.
- [16] Corrosion Technology Laboratory. “**Crevice Corrosion.**”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://corrosion.ksc.nasa.gov/crevcor.htm> 2553.
- [17] สุธา สุทธิเรืองวงศ์. “**การกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน.**”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.kmitl.ac.th/~kssutha/> 2553.
- [18] INSA Lyon. “**Stress Corrosion Cracking.**”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.cdcorrosion.com/mode_corrosion/stress_corrosion_cracking.htm 2553.
- [19] N. Jayaraman, P.S. Prevey. “An overview of the use of engineered compressive residual stresses to mitigate SCC and corrosion fatigue”. Tri-Service Corrosion Conference (LT paper 264) Orlando (2005) 1-11.
- [20] Corrosion Testing Laboratories, Inc. “**Fatigue Corrosion Cracking.**”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.corrosionlab.com/Failure-Analysis-Studies/29176.fatigue.stainless-steel-bellow.htm> 2550.
- [21] The McRraw-Hill companies. “**Hydrogen damage.**”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก https://online.platts.com/PPS/P=m&s=1029337384756.1478827&e=1095283125113.2309170660154904077/?artnum=2x004UU09G1x31cA15503D_1 2550.
- [22] W.F. Smith. Principles of Materials Science and Engineering. 3rd ed. United States: McGraw Hill, 1986
- [23] R.W. Revie. Uhlig’s Corrosion Handbook. 2nd ed. USA: John Wiley & Sons, Inc, 2000
- [24] A.J. Denny. Principle and Prevention of corrosion. 2nd ed. USA: Prentice Hall, 1995
- [25] D. Myers. Surfactant Science and Technology. Argentina: VCH Publishers, Inc, 2005
- [26] D. Myers. Surfactant Science and Technology. 3rd ed. Canada: John Wiley & Sons, Inc, 2006
- [27] D.C Cullum. Introduction to Surfactant Analysis. England: Blackie Academic and Professional, 1994
- [28] ประมวล ตั่งบริบูรณ์รัตน์. พอลิเมอร์อัลลอยด์. กรุงเทพฯ: บริษัท รวยเจริญ การพิมพ์ จำกัด, 2545
- [29] J.S. Martin and T.H. Arthur. Structure Performance Relationships in Surfactants. 2nd ed. USA: Marcel Dekker, Inc, 2003
- [30] H. Krister. Novel surfactants Preparation Applications and Biodegradability. 2nd ed. USA: Marcel Dekker, Inc, 2003

- [31] สุชา สุทธิเรืองวงศ์. ปฏิบัติการเคมีอุตสาหกรรม 2. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2552
- [32] มนัส สติรจินดา. เหล็กกล้า. กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2529
- [33] บริษัท ไทนน็อค สแตนเลส จำกัด (มหาชน). Endless Stainless. กรุงเทพฯ: คอร์ปอเรชั่น โพรตี, 2551
- [34] ขวลิต เชียงกุล. โลหะวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ส.ท.ท.), 2547
- [35] บริษัท ซี-ฟอร์ม จำกัด. “บทความน่ารู้”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.c-formth.com/index.asp?catid=1&contentID=10000004&getarticle=12&title=%A4%C7%D2%C1%CB%C1%D2%C2%A2%CD%A7%E0%CB%C5%E7%A1%A1%C5%E9%D2%E4%C3%E9%CA%B9%D4%C1> 2554.
- [36] บริษัท เกรทเซ็นทรัล จำกัด. “Technical Data's”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www.greatcentral.co.th/stainless_info_tech03.aspx 2550.
- [37] Y. Tsutsumi, A. Nishikata and T. Tsuru. Pitting corrosion mechanism of Type 304 stainless steel under a droplet of chloride solutions. *Journal of Corrosion Science* 49 (2007) 1394–1407
- [38] S.E. Lorr and R.C. Alkire. The variation of solution of composition during the initiation of crevice corrosion on stainless steel. *Journal of Corrosion Science* 28 (1988) 479-484
- [39] S.E. Werner, C.A. Johnson, N.J. Laycock, P.T. Wilson and B.J. Webster. Pitting of type 304 stainless steel in the presence of a biofilm containing sulphate reducing bacteria. *Journal of Corrosion Science* 40 (1998) 465-480
- [40] T. Zhang and D.Y. Li. The effect of YCl_3 and $LaCl_3$ additives on wear of 1045 and 304 steels in a dilute chloride solution. *Journal of Materials Science and Engineering A345* (2003) 179-189
- [41] M.B. Moshe, S. Magdassi. Surface activity and micellar properties of anionic gemini surfactants and their analogues. *Journal of Colloid and Interface science* 250 (2004) 403–408
- [42] M.F. Torres, A.J. Muller, M.A. Szidarovszky and A.E. Saez. Shear and extensional rheology of solutions of mixtures of poly(ethylene oxide) and anionic surfactants in ionic environments. *Journal of Colloid and Interface Science* 326 (2008) 254–260

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

Chemical composition of stainless steels

Wrought Stainless Steels									
Alloy	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Others
201	0.15	6.50	0.060	0.030	1.00	17.00	4.50	-	0.25N
202	0.15	9.00	0.060	0.030	1.00	18.00	5.00	-	0.25N
301	0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00	7.00	-	-
302	0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00	9.00	-	-
303	0.15	2.00	0.20	0.15	1.00	18.00	9.00	0.60	-
303Se	0.15	2.00	0.20	0.06	1.00	18.00	9.00	0.60	0.15Se
304	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	19.00	9.25	-	-
304L	0.03	2.00	0.045	0.030	1.00	19.00	10.0	-	-
309S	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	23.00	13.5	-	-
310S	0.08	2.00	0.045	0.030	1.50	25.00	20.5	-	-
316	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00	12.0	2.5	-
316L	0.03	2.00	0.045	0.030	1.00	17.00	12.0	2.5	-
317	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	19.00	13.0	3.5	-
317L	0.03	2.00	0.045	0.030	1.00	19.00	13.0	3.5	-
321	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00	10.5	-	Ti 5 X C
329	0.10	2.00	0.045	0.030	1.00	27.50	4.5	1.50	-
330	0.08	2.00	0.040	0.030	1.00	18.50	35.5	-	-
347	0.08	2.00	0.045	0.030	1.00	18.00	11.0	-	Cb+Ta 10 X C
409	0.08	1.00	0.045	0.045	1.00	11.50	35.5	-	Ti 6 x C
410	0.15	1.00	0.040	0.030	1.00	12.50	-	-	-
416	0.15	1.25	0.040	-	1.00	13.00	-	0.60	S =0.15 min.
416Se	0.15	1.25	0.060	0.060	1.00	13.00	-	-	0.15 Se
420	0.15 min.	1.00	0.040	0.030	1.00	13.00	-	-	-
430	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	17.00	-	-	-
440C	1.00	1.00	0.040	0.030	1.00	17.00	-	-	-
442	0.20	1.00	0.040	0.030	1.00	20.50	-	-	-
904L	0.02	2.00	0.045	0.035	1.00	21.00	25.5	4.5	Cu 1.5
17-4 PH	0.07	1.00	0.045	0.035	1.00	16.5	5.5	-	Cu 3-5, 0.4 Al
17-7 PH	0.09	1.00	0.045	0.035	1.00	17.0	7.0	-	0.75-1.5 Al
2205	0.03	2.00	0.030	0.020	1.00	22.0	5.5	3.0	0.15 N

Cast Stainless Steels									
Alloy	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	Mo	Others
CA-6NM	0.06	1.00	0.045	0.035	1.00	12.50	4.00	0.70	-
CA-15	0.15	1.00	-	-	1.50	12.50	1.00	-	-
CA-40	0.40	1.00	-	-	1.50	12.50	1.00	-	-
CF-3	0.03	1.50	0.040	0.040	2.00	19.00	10.00	-	-
CF-3M	0.03	1.50	0.040	0.040	1.50	19.00	10.00	2.5	-
CF-8	0.08	1.50	0.040	0.040	2.00	19.00	9.00	-	-
CF-8M	0.08	1.50	0.040	0.040	2.00	19.50	10.00	2.5	-
CH-20	0.20	1.50	0.040	0.040	1.50	20.00	10.00	-	-
CK-20	0.20	2.00	0.040	0.040	2.00	25.00	20.00	-	-
HF	0.30	2.00	0.040	0.040	2.00	19.00	9.00	-	-
HH	0.35	2.00	0.040	0.040	2.00	25.00	12.00	-	0.2 N
HK	0.30	2.00	0.040	0.040	2.00	25.00	20.00	-	-



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้