

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า CK 45 ด้วยสารสกัดจาก

ใบรางจืด สาบเสือ และพญาอโนกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์

CORROSION INHIBITION OF CK 45 STEEL BY *Thunbergia*

laurifolia Linn, *Eupatoriun odoratum* L. AND *Clinacanthus*

nutans(Burm.f.) Lindau LEAVES EXTRACT IN 0.05 MOLAR

SULFURIC ACID



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน...108595
วัน,เดือน,ปี...-5 ก.ค. 2553

b. 1222A455
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ปีการศึกษา 2551 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CORROSION INHIBITION OF CK 45 STEEL BY *Thunbergia*
laurifolia Linn, *Eupatoriun odoratum* L. AND *Clinacanthus*
nutans(Burm.f.) Lindau LEAVES EXTRACT IN 0.05 MOLAR
SULFURIC ACID**



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

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ACADEMIC YEAR 2008

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า CK 45 ด้วยสารสกัดจาก
ใบรางจืด สาบเสือ และพญาอินทรีในกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์
CORROSION INHIBITION OF CK 45 STEEL BY *Thunbergia*
laurifolia Linn, *Eupatoriun odoratum* L. AND *Clinacanthus*
nutans(Burm.f.) Lindau LEAVES EXTRACT IN 0.05 MOLAR
SULFURIC ACID

ชื่อนักศึกษา

นางสาวหนึ่งหทัย คงอินทร์
นางสาวทิตยา จันเสนา
นางสาวอัจฉราภรณ์ ใจปราณี

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต




สาขาวิชา

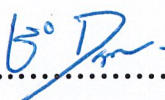
เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับ
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2551

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย	
ผศ.ดร.สุภาวรัตน์ รักชลธี	
ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์	



(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

ปฏิบัติหน้าที่ประธานสาขาวิชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง าสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาการยับยั้งการกักกร่อนของเหล็กกล้า CK 45 ด้วยสารสกัดจากใบรางจืด สาบเสือ และพญาขอในกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวหนึ่งหทัย	คงอินทร์
	นางสาวทิตยา	จันเสนา
	นางสาวอัจฉราภรณ์	ใจปราณี
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า CK45 ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ โดยใช้สารสกัดจากใบพืช 3 ชนิดคือ รางจืด สาบเสือ และ พญาขอ ทำการสกัดโดยใช้ใบสดด้วยวิธีการสกัดแบบหยาบ (Maceration) ใช้เอทานอล เกรดวิเคราะห์เป็นตัวทำละลายแล้วระเหยเอทานอลออกโดยใช้เครื่อง โรตารีอีแวปอเรเตอร์ (Rotary evaporator) จะได้สารสกัดเข้มข้น จากนั้นนำสารสกัดที่ได้ไปทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนด้วยเทคนิคโพลาไรเซชัน (Polarization) โดยไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัดที่มีความเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของสารสกัดจากใบพืชทั้ง 3 ชนิดพบว่าสารสกัดจากใบรางจืดมีประสิทธิภาพยับยั้งการกัดกร่อนได้ดีที่สุดถึง 90.70 % ที่ความเข้มข้น 2000 ppm สารสกัดจากใบสาบเสือมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนได้ดีที่สุดถึง 93.45 % ที่ความเข้มข้น 1000 ppm ส่วนสารสกัดจากใบพญาขอ สามารถยับยั้งการกัดกร่อนได้ที่ทุกความเข้มข้นและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดซึ่งดีที่สุดถึง 96.48 % ที่ความเข้มข้น 3000 ppm โดยโมเลกุลของสารสกัดจะไปอุดซับบนผิวของเหล็กกล้า CK45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title CORROSION INHIBITION OF CK 45 STEEL BY *Thunbergia laurifolia* Linn, *Eupatorium odoratum* L. AND *Clinacanthus nutans*(Burm.f.) Lindau LEAVES EXTRACT IN 0.05 MOLAR SULFURIC ACID

Students Miss Nunghatai Khong-In
Miss Atittaya Chansena
Miss Atcharaporn Jaipranee

Degree Bachelor of Science

Major Industrial Chemistry

Academic Year 2008

Advisor Dr. Sutha Sutthiruangwong

ABSTRACT

The research focused on inhibition efficiency of CK45 steel in 0.05 molar sulfuric acid by *Thunbergia laurifolia* Linn (Rangchuet), *Eupatorium odoratum* L.(Sabsua) and *Clinacanthus nutans*(Burm.f.) Lindau (Phayaa Yo) leaves extract. Extraction by maceration technique and remove ethanol by rotary evaporator then tested by polarization technique. Increases leaves extract 1000, 2000, 3000 ppm respectively. It was found that 2000 ppm of Rangchuet showed highest inhibition efficiency at 90.70%. 1000 ppm of Sabsua had highest inhibition efficiency of 93.45%. 3000 ppm of Payayor showed highest inhibition efficiency of 96.48 %. Inhibition efficiency increased as the concentration of extract was increased. The inhibitive action of the extract was discussed in the view point of adsorption of leaves extract molecules on the metal surface.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะความอนุเคราะห์ของหลายฝ่ายซึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดังนี้

บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนเป็นกำลังใจที่สม่ำเสมอตลอด

ดร.พัชนี เจริญยิ่ง ซึ่งให้คำแนะนำในเรื่องการสกัดสารจากใบพืชและตอบคำถามข้อสงสัยในระหว่างการปฏิบัติงาน

ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

โรงพยาบาลเจ้าพระยาอภัยภูเบศรและร้านสมุนไพรบ้านดงบัง จังหวัดปราจีนบุรี ที่ให้คำแนะนำเรื่องสมุนไพรและสมุนไพรที่ใช้ในการทดสอบ

คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ และเพื่อนๆ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาในการแก้ปัญหาต่างๆ ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการปฏิบัติงาน และเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

รศ.ดร.ตะวัน สุขน้อย และ ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ ที่ให้คำแนะนำและเป็นกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนการให้คำปรึกษาโดยตลอด ซึ่งคณะผู้จัดทำขอ น้อมรับและขออภัยหากมีข้อผิดพลาดทุกประการไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้จัดทำ

นางสาว นิ่งหทัย คงอินทร์

นางสาว อติทยา จันเสนา

นางสาว อัจฉราภรณ์ ใจปราณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	จ
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 วิธีการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 หลักการพื้นฐานของการกีดกร่อน	4
2.1.1 การกีดกร่อน	4
2.1.2 กลไกของการกีดกร่อน	4
2.1.3 การเปลี่ยนแปลงที่ผิวของโลหะ	7
2.2 การป้องกันการกีดกร่อน	8
2.2.1 การเลือกใช้วัสดุ	8
2.2.2 การเคลือบผิว	9
2.2.3 การเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม	10
2.2.4 การป้องกันแบบแคโทด	11
2.2.5 การป้องกันแบบแอโนด	12
2.3 สารยับยั้งการกีดกร่อน	12
2.3.1 การจำแนกชนิดของสารยับยั้งการกีดกร่อน	14
2.3.2 ตัวปรับสภาพสิ่งแวดล้อม	14
2.3.3 สารยับยั้งที่ผิว	14
2.4 การประยุกต์ใช้สารยับยั้งการกีดกร่อนในสภาวะแวดล้อมต่างๆ	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.1 อุตสาหกรรมปิโตรเลียม	19
2.4.2 การกักกรองภายในท่อเหล็กกล้า	19
2.4.3 น้ำ	19
2.4.4 กรด	20
2.4.5 สภาวะอื่นๆ	20
2.5 ปัจจัยอื่นในการประยุกต์ใช้สารยับยั้ง	20
2.5.1 เทคนิคการประยุกต์ใช้สารยับยั้งการกักกรอง	20
2.5.2 ผลของอุณหภูมิกับสารยับยั้งการกักกรอง	20
2.5.3 ผลข้างเคียง	20
2.5.4 การป้องกันขั้นที่สอง	21
2.5.5 สารยับยั้งการกักกรองที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม	21
2.6 โพลาริเซชันของการกักกรอง	22
2.7 เทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชัน	23
2.8 การทดสอบโดยวิธีโพเทนชิโอสเตด	23
2.8.1 โพเทนชิโอสเตด	24
2.8.2 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง	25
2.8.3 ขั้วไฟฟ้าตรงข้าม	26
2.9 สูตรการคำนวณ	26
2.9.1 ค่าคงที่ความชัน	26
2.9.2 ค่าความต้านทานการเกิดโพลาริเซชัน	27
2.9.3 ค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกักกรอง	27
2.10 เหล็กกล้า CK45	27
2.10.1 คุณสมบัติทั่วไป	27
2.10.2 คุณสมบัติเด่น	28
2.10.3 การใช้งาน	28
2.10.4 คุณสมบัติทางกายภาพ	28
2.11 สมุนไพร	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
2.11.1 วิธีการสกัด 30
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11.2 การเลือกวิธีการสกัด	31
2.11.3 นำยาสกัดหรือตัวละลาย	32
2.11.4 สมุนไพรที่ใช้ในงานวิจัย	32
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	41
3.2 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	41
3.3 วิธีการทดลอง	41
3.3.1 การสกัดสารจากใบพืช	41
3.3.2 การหาน้ำหนักที่แท้จริงของสารสกัด	42
3.3.3 การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	42
3.3.4 วิธีการทดลอง	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 น้ำหนักที่แท้จริงของสารสกัด	45
4.2 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของสารสกัดจากใบรางจืด	45
4.3 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของสารสกัดจากใบสาบเสือ	49
4.4 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของสารสกัดจากใบพญาขอ	52
4.5 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของเอทานอล ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์	55
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของเหล็กในสารละลายกรดที่ปราศจากออกซิเจน	5
รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงวิธีทั่วไปที่ใช้ในการควบคุมการกัดกร่อน	8
รูปที่ 2.3 การป้องกันโดยใช้กระแสไฟฟ้าจากภายนอก	11
รูปที่ 2.4 การป้องกันแบบแคโทดของเหล็กกล้า	12
รูปที่ 2.5 แผนผังการจำแนกชนิดของสารยับยั้งการกัดกร่อน	14
รูปที่ 2.6 การดูดซับประจุลบโดยประจุบวกบนผิวโลหะ	17
รูปที่ 2.7 ประจุบวกของสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ไม่ทำปฏิกิริยากับประจุบวกบนผิวโลหะ	18
รูปที่ 2.8 ลักษณะของแคโทดิกและแอโนดิกโพลาริเซชัน	22
รูปที่ 2.9 Polarization Curve จากการทดลองวิธี Potentiodynamic Polarization	23
รูปที่ 2.10 การติดตั้งชุดทดลองแบบโพเทนชิโอสแตต	24
รูปที่ 2.11 แผนผังอย่างง่ายของโพเทนชิโอสแตต	24
รูปที่ 2.12 การใช้งานของสะพานเกลือ	26
รูปที่ 2.13 ต้นและใบรางจืด	32
รูปที่ 2.14 ต้นและใบสาบเสือ	34
รูปที่ 2.15 ต้นพญาขอ	35
รูปที่ 3.1 ชุดทดสอบการกัดกร่อน	44
รูปที่ 3.2 เซลล์เคมีไฟฟ้า	44
รูปที่ 4.1 กราฟโพลาริเซชันของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีและมีสารสกัดจากใบรางจืดความเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm	45
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารสกัดใบรางจืด	46
รูปที่ 4.3 สารที่พบในสารสกัดจากใบรางจืด	48
รูปที่ 4.4 กราฟโพลาริเซชันของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีและมีสารสกัดจากใบสาบเสือความเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm	49
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารสกัดใบสาบเสือ	50
รูปที่ 4.6 สารที่พบในสารสกัดจากใบสาบเสือ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 กราฟโพลาริเซชันของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีและมีส่วนสกัดจาก ไบพญาอ ความเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm	52
รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการยับยั้ง การกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารสกัดไบพญาอ	53
รูปที่ 4.9 สารที่พบในสารสกัดจากไบพญาอ	55
รูปที่ 4.10 กราฟโพลาริเซชันของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มี และมีเอทานอล 3000 ppm	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน	7
ตารางที่ 2.2 โลหะที่มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนในสภาวะต่าง ๆ ได้ดี	9
ตารางที่ 2.3 สารยับยั้งการกัดกร่อนที่ใช้ในอุตสาหกรรม	13
ตารางที่ 2.4 ความเป็นพิษของสารยับยั้งการกัดกร่อน	21
ตารางที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้า CK45	27
ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้า CK 45	28
ตารางที่ 4.1 น้ำหนักที่แท้จริงของสารสกัด	45
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการกัดกร่อนจากสารสกัดใบรางจืด	46
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการกัดกร่อนจากสารสกัดใบสาบเสือ	49
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการกัดกร่อนจากสารสกัดใบพญาขอ	52
ตารางที่ 4.5 ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนและกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนของเหล็กกล้า CK 45 ในกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

การกักกรองเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อตัวอุปกรณ์ เช่น ท่อ วาล์ว และระบบควบคุมของโรงงานอุตสาหกรรม เมื่ออุปกรณ์เหล่านั้นสัมผัสกับสารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อน จึงทำให้เกิดความสูญเสียขึ้น ในกระบวนการผลิตต้องคำนึงถึงเรื่องการกักกรองควบคู่กับการผลิตด้วยเสมอ โดยยินยอมให้เกิดการกัดกร่อนน้อยที่สุด ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นกับการกักกรองนี้จะส่งผลกระทบต่อทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์ และความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สิน เพราะต้องมีการใช้จ่ายทั้งโดยตรงและโดยอ้อม ค่าใช้จ่ายโดยตรง ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่ได้วางแผนหรือคาดการณ์ไว้แล้ว และได้เตรียมการไว้เพื่อป้องกันการกัดกร่อน ส่วนค่าใช้จ่ายโดยอ้อม ได้แก่ ความสูญเสียที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้ก่อนและยากที่จะประเมินมูลค่า เช่น การสูญเสียรายได้จากการผลิตที่ต้องลดปริมาณการผลิตหรือหยุดการผลิตเมื่อเกิดปัญหาการกัดกร่อน หรือจากการที่คุณภาพผลิตภัณฑ์ลดลงเพราะมีการปนเปื้อนจากการกัดกร่อน หรือต้องใช้จ่ายเพื่อซ่อมแซมอุปกรณ์ หรือซื้อใหม่เพื่อทดแทนของที่เสียหาย รวมถึงค่าใช้จ่ายของวัสดุที่ต้องใช้มากขึ้นจากการออกแบบเพื่อ และสุดท้ายเป็นค่าชีวิตและทรัพย์สินที่เสียหายจากการเกิดการกัดกร่อนที่เป็นอุบัติเหตุ

จากปัญหาการกัดกร่อน ได้มีการใช้สารประกอบบางอย่างเพื่อป้องกันการเกิดการกัดกร่อนของโลหะ สารประกอบอินทรีย์(Organic) อนินทรีย์ (Inorganic) ได้ถูกนำมาใช้เป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อน แม้ว่าผลของการทดสอบของสารประกอบเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งสูง แต่ในการใช้สารประกอบเหล่านี้ไม่เป็นที่น่าพึงปรารถนา เนื่องจากมีสารที่เป็นอันตรายต่อทั้งคนและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งต้องใช้งบประมาณในการจัดซื้อที่สูง

ในปัจจุบันนี้หลายหน่วยงานได้ให้ความสำคัญต่อสภาพแวดล้อมและเคมีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Green chemistry) จึงได้มีผู้ที่ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติโดยสกัดจากพืชต่างชนิดกัน โดยมีตัวอย่างงานวิจัยได้แก่ เชิดชัย ละอองทิพรส และณรงค์ ผังวิวัฒน์ [14] ศึกษาการหน่วงการกัดกร่อนโดยผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ โดยทำการศึกษาการกัดกร่อนของ เหล็ก อะลูมิเนียม และ ทองแดงที่เคลือบผิวโดยใช้สารสกัดจากธรรมชาติ ได้แก่ ใบกระโดน ใบขิงโค ใบฝรั่ง ใบชมพู และใบมะลิ Pandian Bothi Raja, Mathur Gopalakrishnan Sethuraman[15] ศึกษาการสกัดพริกไทยดำเพื่อยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าอะลูมิเนียม ในกรดซัลฟิวริก 1 โมลาร์ และ L.

ออก Valek, S. Martinez[17] ศึกษาสารยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงโดยสารสกัดจากใบสะเดาอินเดีย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลาร์ สารสกัดจากพืชนอกจากจะมีความปลอดภัยในการรักษาแล้ว พืชที่ใช้ยังราคาถูกลงและสามารถสกัดเองได้ด้วยเทคโนโลยีที่มีราคาไม่แพง

จากปัญหาดังกล่าวนี้ จึงได้มีการจัดทำโครงการพิเศษนี้ขึ้น โดยมีทางเลือกใช้ใบพืชสมุนไพร 3 ชนิด คือ รวงจืด สาบเสือ และพญาขอ ซึ่งจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพบว่าใบ รวงจืดมี Apigenin Caffeic acid และ Delphinidin [10] ใบสาบเสือนมี Isosakuranetin และ Acacetin [13] และใบพญาขอมี คือ Vitexin, Isovitexin, Isomollupentin-7-O- β - glucopyranoside and Isoorientin [17] คณะผู้จัดทำคาดว่าโครงสร้างของสารดังกล่าวจะสามารถไปยับยั้งการกักกร่อนของ โลหะได้ โดยมี อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (lone pair) ไปเกาะที่ผิวของโลหะได้ จึงได้มีการเลือกใช้ใบ พืชทั้งสามชนิดนี้ มาทดลองใช้เป็นสารยับยั้งการกักกร่อนของเหล็กกล้า CK 45 ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติของสารสกัดที่ได้จากใบรวงจืด สาบเสือ และพญาขอ ที่สามารถออกฤทธิ์ยับยั้งการกักกร่อนของเหล็กกล้า CK45 ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์

1.2.2 เพื่อศึกษาทฤษฎีทางเคมีไฟฟ้าของการกักกร่อนและการยับยั้งการกักกร่อน

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาและทดลองใช้สารสกัดจากใบรวงจืด สาบเสือ และพญาขอเพื่อใช้เป็นสารยับยั้งการกักกร่อนของเหล็กกล้า CK45 ในสารละลายกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 0.05 โมลาร์ โดยวิธีเปรียบเทียบกับสารกักกร่อนที่ไม่ได้เติมสารสกัดและเติมสารสกัดจากใบรวงจืด สาบเสือ และพญาขอที่ความเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm

1.4 วิธีการศึกษา

1. ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการกักกร่อน การป้องกันการกักกร่อนและสมุนไพรไทยที่มีการใช้งานอยู่แล้ว
2. ศึกษาเทคนิคโพเทนชิโอสแตติกโพลาไรเซชัน (Potentiodynamic polarization)
3. จัดหาอุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทดลอง
4. สกัดสารจากใบรวงจืด สาบเสือ และพญาขอ เพื่อใช้เป็นสารยับยั้งการกักกร่อน
5. ทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล
 - ไม่เติมสารยับยั้งการกักกร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

6. วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุป

7. เขียนรายงานการทดลอง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการกัดกร่อนและการยับยั้งการกัดกร่อน
2. มีความเข้าใจในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า
3. สามารถเลือกใช้สารสกัดจากสมุนไพรที่ใช้ในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า
4. CK45 ในสารละลายกรดได้อย่างเหมาะสม
5. สามารถนำสารสกัดจากใบรางจืด สาบเสือ และพญาขอ มาใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน แทนสารเคมีสังเคราะห์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการพื้นฐานของการกัดกร่อน

2.1.1 การกัดกร่อน (Corrosion) [1] [2]

การกัดกร่อน หมายถึง การเสื่อมสภาพของวัสดุเป็นผลจากการกัดทำลายทางเคมี หรืออาจมีไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เนื่องจากการกัดกร่อนเกิดจาก ปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า อัตราการกัดกร่อนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น ชนิดของตัวทำปฏิกิริยาและผลจากปฏิกิริยา นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่นๆที่มีผลต่อการกัดกร่อนอีก เช่น ความเค้นเชิงกลและการกร่อน [1]

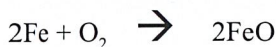
โลหะส่วนใหญ่ในธรรมชาติอยู่ในรูปของสารประกอบโลหะหรือที่เรียกว่าสินแร่ การถลุงโลหะจากสินแร่ต้องใช้พลังงานไปจำนวนหนึ่งและพลังงานจำนวนนั้นจะคายออกจากโลหะสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อโลหะเกิดการกัดกร่อน ดังนั้น การกัดกร่อนจึงเป็นปรากฏการณ์ที่โลหะเปลี่ยนจากสารที่มีธาตุเดี่ยวของโลหะไปเป็นสารประกอบของโลหะ เช่น เหล็กในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของเหล็กออกไซด์

2.1.2 กลไกของการกัดกร่อน (Mechanism of corrosion) [1]

การกัดกร่อนมีกลไกที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรงและการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า

1. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง (Direct chemical corrosion) [1]

การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดกับโลหะ โลหะที่ใช้ในงานวิศวกรรมที่อยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชันจะรวมตัวกับออกซิเจนในสิ่งแวดล้อมได้ค่อนข้างน้อย การเกิดออกซิเดชันของโลหะดังกล่าวจะช้ามากที่อุณหภูมิห้องและจะเกิดขึ้นเร็วมากที่อุณหภูมิสูงขึ้น ดังการเกิดสะเก็ดที่ผิวของเหล็กกล้าเมื่ออบถึงอุณหภูมิร้อนแดง เมื่ออบเหล็กให้ร้อนในบรรยากาศที่มีออกซิเจนจะเกิดขึ้นสะเก็ดออกไซด์สีดำของ FeO เคลือบที่ผิวนอก ดังปฏิกิริยา



ซึ่งตามความเป็นจริงอะตอมของเหล็กจะถูกออกซิไดซ์ ขณะที่อะตอมของออกซิเจนจะถูกรีดิวซ์ กระบวนการจะเกี่ยวพันกับการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากอะตอมของเหล็กไปยังอะตอมของออกซิเจน



เอกสารออกซิเดชัน สาร หมายถึง สำ กระบวนการที่อะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน และรีดักชันใด ๆ ทั้งสิ้น หมายถึง าม กระบวนการที่อะตอมรับอิเล็กตรอนเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

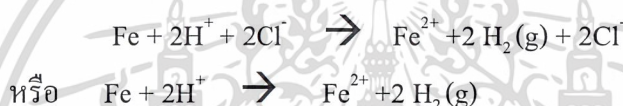
การเกิดออกซิเดชันนั้น ไม่ได้เกิดจากผลของออกซิเจนเพียงอย่างเดียว อาจรวมถึงเกิดจากสารปนเปื้อน เช่น คาร์บอนไดออกไซด์, คาร์บอนมอนอกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ออกไซด์ของไนโตรเจนและไอน้ำจะทำให้โลหะเกิดการเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้นที่อุณหภูมิสูง

2. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrochemical corrosion) [2]

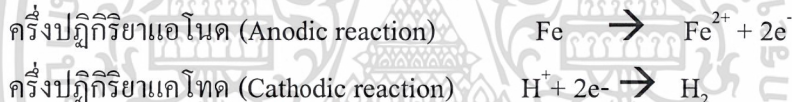
การกัดกร่อนของโลหะเกือบทั้งหมดมีขั้นตอนการเกิดเป็นการถ่ายเทประจุไฟฟ้า (Electrochemical reaction) ธรรมชาติของการกัดกร่อนแบบเคมีไฟฟ้าอธิบายได้ด้วยตัวอย่างของเหล็กในสารละลายกรดเมื่อจุ่มเหล็กในสารละลายกรดเจือจางหรือกรดไฮโดรคลอริก จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ผิวพร้อมกับโลหะเหล็กจะละลายเป็น ไอออนของเหล็กเกิดเป็นสารประกอบของเหล็กครอไรด์ที่ละลายได้ ดังสมการ [1]



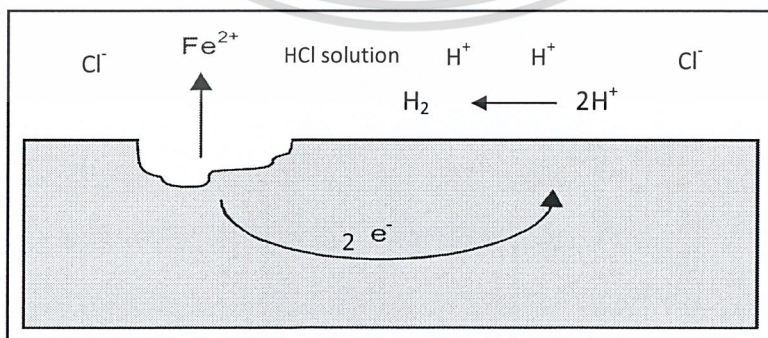
จะเห็นว่าไอออนคลอไรด์ไม่ได้เป็นส่วนหลักของปฏิกิริยาเลย ปฏิกิริยาของไอออนอย่างง่ายเป็นดังนี้



นั่นคือ เหล็กเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนกับกรดใดๆ เกิดปฏิกิริยาอย่างขึ้น 2 ปฏิกิริยาดังนี้



ปฏิกิริยาแอโนด คือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ของเหล็กที่เกิดปฏิกิริยาให้อิเล็กตรอน แล้วมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 2+ ส่วนปฏิกิริยาแคโทด เป็นปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction) ของไฮโดรเจนที่เกิดปฏิกิริยารับอิเล็กตรอนแล้วมีเลขออกซิเดชันลดลงจาก 1+ เป็น 0 ปฏิกิริยาทั้งสองเกิดควบคู่กัน คือ มีการให้และรับอิเล็กตรอนในเวลาเดียวกันด้วยอัตราที่เท่ากันที่ผิวโลหะดังรูป



รูปที่ 2.1 การเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของเหล็กในสารละลายกรดที่ปราศจากออกซิเจน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กละลายแล้วให้อิเล็กตรอน อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ไปตามเนื้อโลหะไปยังบริเวณใกล้ๆที่พร้อมจะเกิดปฏิกิริยากับไอออนไฮโดรเจนของกรด เกิดเป็นก๊าซไฮโดรเจนที่บริเวณผิวโลหะนั้น น้ำในสารละลายมีส่วนร่วมในปฏิกิริยาด้วย โดยน้ำทำหน้าที่เป็นตัวพาไอออน เช่น พาไอออนเหล็ก (Fe^{2+}) และ ไอออนไฮโดรเจน (H^+) ให้เคลื่อนที่ในสารละลายเพื่อทำปฏิกิริยา บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาให้และรับอิเล็กตรอนแยกออกจากกัน แต่รวมแล้วมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเกิดขึ้นเป็นผลให้เกิดการกัดกร่อน

บริเวณที่เกิดปฏิกิริยาให้และรับอิเล็กตรอนจึงแยกจากกัน แต่รวมแล้วมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเกิดขึ้นและเป็นผลให้เกิดการกัดกร่อน ได้มีการทดลองป้อนอิเล็กตรอนจากภายนอกให้แก่สังกะสีที่อยู่ในสารละลายกรดเกลือ พบว่ามีอัตราการกัดกร่อนลดลง นั่นคือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะถูกยับยั้งขณะที่ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซไฮโดรเจนกลับเพิ่มขึ้น ดังนั้นการกัดกร่อนของโลหะในน้ำจึงเป็นปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อย 2 ปฏิกิริยา คือ ครึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันและโลหะและครึ่งปฏิกิริยารีดักชันของสิ่งแวดล้อมโลหะ

อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะจะลดลงได้ถ้ามีการป้อนศักย์ไฟฟ้าลบหรือป้อนอิเล็กตรอนแก่โลหะ หลักการนี้ได้ใช้เป็นเทคนิคป้องกันการกัดกร่อนแบบคาโทด (Cathodic Protection) ของท่อยาวหรือโครงสร้างแทนจุดเจาะน้ำมันในทะเลและถังบรรจุน้ำมันขนาดใหญ่ที่ทำด้วยเหล็กกล้า ชนิดของครึ่งปฏิกิริยารีดักชันขึ้นกับชนิดของสิ่งแวดล้อมโลหะซึ่งโดยทั่วไปคือน้ำทั้งที่เป็นสารละลายของน้ำ ไอน้ำ หรือความชื้นซึ่งเป็นสภาวะก๊าซ แม้แต่ในสภาพแห้งที่ไม่มีน้ำ เช่น ที่อุณหภูมิการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นก็ประกอบด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุหรืออิเล็กตรอนในอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นของแข็งและยังคงถูกพิจารณาว่าเป็นปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อนเช่นเดียวกัน

ปฏิกิริยาแอโนดของโลหะที่ถูกกัดกร่อน มีดังนี้



ตัวอย่างเช่น



จำนวนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเท่ากับจำนวนเลขออกซิเดชันของไอออนโลหะ

ปฏิกิริยาแคโทดิกหรือรีดักชันของสิ่งแวดล้อมโลหะเป็นได้หลายแบบ ได้แก่

- รีดักชันของไอออนไฮโดรเจนของสารละลายกรด คือ $\text{H}^+ + 2\text{e}^- \longrightarrow \text{H}_2$
- รีดักชันของไอออนออกซิไดซ์ใด ๆ ในสารละลาย เช่น $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$
- รีดักชันของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่เป็นกลาง $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \longrightarrow 4\text{OH}^-$
- รีดักชันของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่เป็นกรด $\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น หากท่านใดต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการคัดค้านจากเจ้าของเอกสาร กรุณาแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น หากท่านใดต้องการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการคัดค้านจากเจ้าของเอกสาร กรุณาแจ้งให้ทราบล่วงหน้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน [5]

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

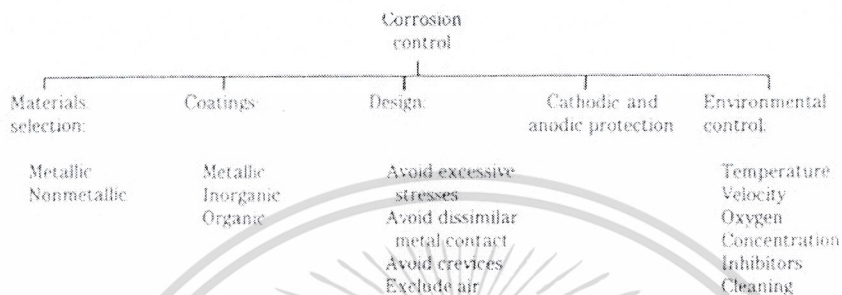
2.1.3 การเปลี่ยนแปลงที่ผิวของโลหะ (Polarization) [2]

ปกติปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ผิวโลหะจะดำเนินไปด้วยอัตราเร็วค่าหนึ่งตามปริมาณอิเล็กตรอนที่แลกเปลี่ยนกัน เมื่อการให้และรับอิเล็กตรอนที่ผิวโลหะดำเนินไปชั่วเวลาหนึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะจะเปลี่ยนไปในทางที่เป็นลบมากขึ้น ทั้งนี้เพราะมีอิเล็กตรอนมาคั่งออ ร่เกิดปฏิกิริยาที่ผิวตรงรอยต่อของโลหะและสารละลาย แสดงว่าในเวลานั้นปฏิกิริยาไม่ได้ดำเนินไปอย่างรวดเร็วเท่าจำนวนอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในระบบ อิเล็กตรอนที่มีมากที่ผิวทำให้ศักย์ไฟฟ้าของโลหะเปลี่ยนไปในทางที่เป็นลบมากขึ้นเรียกว่าเกิดโพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งมีผลลดอัตราการกัดกร่อน การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะแบบนี้จัดเป็นแคโทดิกโพลาไรเซชัน ในทางตรงข้ามถ้าอิเล็กตรอนที่ผิวโลหะมีไม่เพียงพอทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะมีค่าเป็นบวกมากขึ้น และมีผลเร่งอัตราการกัดกร่อน เหตุการณ์นี้เรียกว่าแอนอดิกโพลาไรเซชัน (Anodic polarization) ยิ่งมีการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่ผิวรอยต่อของโลหะกับสารละลายเกิดขึ้นในทิศทางแอนอดิกมากเท่าใด แนวโน้มที่โลหะจะเกิดการสลายตัวหรือถูกกัดกร่อนก็มีมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นการเกิดแอนอดิกโพลาไรเซชันจึงเป็นแรงผลักดันให้เกิดการกัดกร่อน หรืออาจกล่าวได้ว่าถ้าวัดค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะได้ค่าบวกมากขึ้น หมายความว่าฤทธิ์กัดกร่อนของสารละลายจะเพิ่มสูงขึ้นเพราะเกิดแอนอดิก

เอกสโพล่าไรเซชัน การที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion prevention) [3]

การกัดกร่อนสามารถควบคุมหรือป้องกันได้โดยวิธีการต่าง ๆ มากมายและสภาวะเศรษฐกิจ มักจะเป็นปัจจัยที่จะกำหนดวิธีการที่จะนำมาใช้ในการควบคุมหรือป้องกัน วิธีการควบคุมหรือป้องกันการกัดกร่อนที่ใช้โดยทั่วไปในปัจจุบัน แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงวิธีทั่วไปที่ใช้ในการควบคุมการกัดกร่อน [3]

2.2.1 การเลือกวัสดุ (Material selection) [3]

วิธีที่ง่ายต่อการควบคุมการกัดกร่อนสำหรับวัสดุที่เป็นโลหะ คือการเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี การเลือกวัสดุนั้นจำเป็นต้องมีข้อมูลและคู่มือที่เกี่ยวกับการกัดกร่อนเพื่อให้มั่นใจว่าได้เลือกวัสดุที่เหมาะสม หรือปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ เพื่อช่วยให้เกิดความมั่นใจยิ่งขึ้นว่าวัสดุที่เลือกนั้นเหมาะสมที่สุด

ตัวอย่างของการเลือกวัสดุบางชนิด คือ การใช้เหล็กกล้าไร้สนิม บ่อยครั้งที่มักจะถูกเลือกใช้อย่างผิดๆ เนื่องจากผู้ผลิตไม่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติการกัดกร่อนของโลหะนั้น เหล็กกล้าไร้สนิมเป็นเหล็กกล้าชนิดหนึ่งที่มีปริมาณโครเมียมเกินกว่า 12 เปอร์เซ็นต์ และมักจะถูกใช้ในสภาวะที่อาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนรวมทั้งมีสารออกซิไดซ์ที่มีความรุนแรงปานกลาง เช่น กรดไนตริก แต่อย่างไรก็ตาม เหล็กกล้าไร้สนิมมักจะทนต่อการกัดกร่อนได้น้อยในสารละลายที่มีคลอไรด์ไอออน และจะเกิดรอยแตกเร็วเนื่องจากความเค้น และการกัดเซาะได้ง่ายกว่าเหล็กกล้าทั่วไป ดังนั้น จึงควรพิจารณาอย่างรอบคอบเมื่อมีการเลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิม

สำหรับวัสดุประเภทพอลิเมอร์ เช่น พลาสติกและยาง จะทนต่อการออกซิเดชันได้น้อยกว่าวัสดุประเภทโลหะและโลหะผสม ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดในการเลือกวัสดุเหล่านี้ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีวัสดุประเภทพลาสติกที่มีความแข็งแรงสูงชนิดใหม่ๆ เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากทำให้วัสดุที่ไม่ใช่โลหะเหล่านี้มีบทบาทสำคัญมากขึ้นในอุตสาหกรรมต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนวัสดุประเภทเซรามิกเป็นวัสดุที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนและทนต่ออุณหภูมิสูงได้ดี แต่ก็มีข้อจำกัดคือ มีความเปราะและมีความทนทานต่อแรงดึงได้น้อย วัสดุประเภทนี้มักจะถูกใช้ในการบุตามแนวปะเก็นวงแหวน

ตารางที่ 2.2 โลหะที่มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนในสถานะต่าง ๆ ได้ดี [3]

1. Stainless steels–nitric acid
2. Nickel and nickel alloys–caustic
3. Monel–hydrofluoric acid
4. Hastelloys (Chlorimets)–hot hydrochloric 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
10. Steel–concentrated sulfuric acid

2.2.2 การเคลือบผิว (Coating) [3]

1. การเคลือบด้วยโลหะ (Metallic coating) [3]

เป็นการเคลือบด้วยโลหะชนิดที่แตกต่างจากโลหะที่ต้องการป้องกัน สามารถทำได้โดยการเคลือบโลหะอีกชนิดหนึ่งอย่างบางๆ บนผิวของโลหะที่ต้องการป้องกัน ซึ่งจะช่วยแยกโลหะที่ต้องการป้องกันออกจากสภาวะแวดล้อมที่อาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนได้ บางครั้งโลหะที่ใช้เคลือบนั้นจะทำหน้าที่เป็นแอโนด ซึ่งจะถูกรกัดกร่อนแทนโลหะที่ทำการป้องกันไว้ เช่น การเคลือบเหล็กกล้าด้วยสังกะสีในการผลิตเหล็กกล้าอาบสังกะสี (Galvanized steel) ซึ่งสังกะสีจะทำหน้าที่เป็นแอโนดและจะถูกรกัดกร่อนแทนเหล็กกล้านั่นเอง

โลหะหลายชนิดจะสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้โดยการชุบด้วยไฟฟ้า เพื่อผลิตชั้นฟิล์มบาง ๆ ของโลหะอีกชนิดหนึ่งที่จะใช้เป็นตัวปกป้อง เช่น การชุบชั้นฟิล์มบาง ๆ ของ ดีบุกบนแผ่นเหล็กกล้าเพื่อผลิตแผ่นดีบุกที่ใช้ทำกระป๋องดีบุก นอกจากนี้การชุบยังสามารถชุบเป็นหลายๆ ชั้นได้ เช่น แผ่นโครม (chrome) ที่ใช้ในรถยนต์ แผ่นโครม นี้จะประกอบด้วย 3 ชั้นด้วยกันคือ ชั้นแรกเป็นทองแดงซึ่งอยู่ในสุด ทำหน้าที่เป็นตัวยึดเกาะในการชุบเหล็ก ชั้นที่สองเป็นนิกเกิลใช้สำหรับต้านทานการกัดกร่อน และชั้นนอกสุดเป็นชั้นบางๆ ของโครเมียมเพื่อทำให้แผ่นโครมดูสวยงาม ในบางครั้งผิวของโลหะที่ต้องการป้องกันสามารถทำได้โดยการรีดทับด้วยชั้นบางๆ ของโลหะอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งโลหะด้านนอกจะช่วยต้านทานการกัดกร่อนให้โลหะด้านใน เช่น เหล็กกล้าจะถูกห่อหุ้มด้วยชั้นบางๆ ของเหล็กกล้าไร้สนิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การเคลือบผิวด้วยสารอนินทรีย์ (Inorganic coating) [3]

ในงานบางประเภท เหล็กกล้าจะถูกเคลือบด้วยเซรามิก เพื่อให้มีความคงทนและผิวเรียบ โดยทั่วไปเหล็กกล้าจะถูกเคลือบด้วยเครื่องเคลือบ (porcelain) ซึ่งจะประกอบด้วยชั้นบาง ๆ ของแก้วที่หลอมละลายเข้าไปในผิวเหล็กกล้าเพื่อทำหน้าที่ยึดเกาะนอกจากนี้ภาชนะบรรจุที่ทำจากเหล็กกล้าบุด้วยแก้ว จะถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเคมีเนื่องจากง่ายต่อการทำความสะอาดและทนทานต่อการกัดกร่อน

3. การเคลือบผิวด้วยสารอินทรีย์ (Organic coating) [3]

สี (paints) น้ำมันเงา (vanishes) น้ำมันครั่ง (lacquers) และวัสดุพอลิเมอร์อื่นๆ อีกหลายชนิด มักถูกนำมาใช้ในการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ วัสดุเหล่านี้จะทำให้เกิดชั้นฟิล์มบางๆ ที่เหนียวและทนทานเพื่อป้องกันโลหะจากสภาวะแวดล้อมที่อาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนได้ จากการศึกษาพบว่าการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะโดยวิธีการเคลือบด้วยสารอินทรีย์นี้ จะให้ผลดีกว่าวิธีอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม การเคลือบด้วยสารอินทรีย์ที่เหมาะสม ควรมีการเตรียมพื้นผิวที่ต้องการเคลือบให้ดีด้วยมีหลายกรณีที่ทำสำเร็จเท่าที่ควรเนื่องจากการเลือกใช้วิธีการเคลือบไม่เหมาะสมหรือเตรียมพื้นผิวที่ต้องการเคลือบไม่ดีพอ สิ่งที่ต้องระมัดระวังในการนำวัสดุที่เคลือบด้วยสารอินทรีย์ไปใช้ก็คือ ไม่ควรนำไปใช้ในบริเวณที่ถูกกระแทกอย่างรุนแรง เพราะอาจทำให้ฟิล์มแตกหรือฉีกขาดได้

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อม (Acteration Environment) [3]

สภาวะแวดล้อม เป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการกำหนดความรุนแรงของการกัดกร่อน เราอาจลดการกัดกร่อนได้โดยการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมดังนี้คือการลดอุณหภูมิ การลดความเร็วของของเหลว การกำจัดออกซิเจนออกจากของเหลว การลดความเข้มข้นของไอออนและการเติมสารยับยั้งลงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์

- การลดอุณหภูมิของระบบ จะช่วยลดการกัดกร่อน เนื่องจากอัตราเร็วของการกัดกร่อนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง แต่มีข้อยกเว้นในบางกรณีที่ให้ผลตรงกันข้าม เช่น น้ำทะเลที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้เกิดการกัดกร่อนน้อยกว่า เนื่องจากออกซิเจนจะละลายได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

- การลดความเร็วของของไหลที่จะก่อให้เกิดการกัดกร่อน จะสามารถลดการกัดกร่อนได้ แต่ถ้าเป็นโลหะที่เกิดชั้นฟิล์มป้องกัน (passive) ได้เราควรหลีกเลี่ยงการตกค้างของสารละลาย

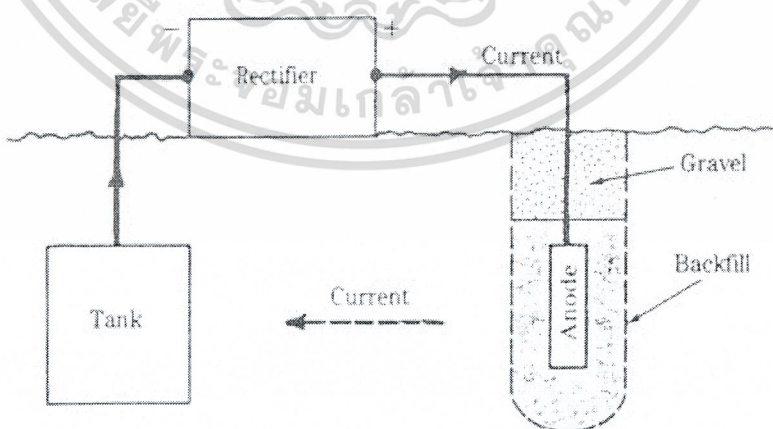
- การกำจัดออกซิเจนออกจากสารละลาย จะช่วยลดการกัดกร่อนได้ เช่น ถ้าเรากำจัดอากาศออกจากรูที่ป้อนเข้าสู่หม้อต้ม จะทำให้สามารถลดการกัดกร่อนได้ แต่ในบางระบบเราก็ต้องการออกซิเจนเพื่อผลิตชั้นออกไซด์ของโลหะขึ้น ดังนั้น จึงไม่ควรกำจัดอากาศออกจากรูสำหรับในกรณีนั้น

- การลดความเข้มข้นของไอออนที่จะก่อให้เกิดการกัดกร่อนในสารละลาย จะช่วยลดอัตราเร็วในการกัดกร่อนของโลหะได้ เช่น การลดความเข้มข้นของไอออนของคลอไรด์ในสารละลาย จะช่วยลดการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมได้

- การเติมสารยับยั้งการกัดกร่อนในระบบ จะช่วยลดการกัดกร่อนได้ สารยับยั้งจะทำหน้าที่เป็นตัวขัดขวางการทำงานของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น สารยับยั้งแบบดูดซึม (Absorption-type inhibitors) จะถูกดูดซึมบนพื้นผิวและเกิดชั้นฟิล์มสำหรับป้องกันการกัดกร่อน นอกจากนี้ ยังมีสารยับยั้งแบบ Scavenger-type inhibitors ซึ่งจะทำหน้าที่กำจัดสารที่อาจก่อให้เกิดการกัดกร่อนในสารละลาย เช่น การกำจัดออกซิเจนออกจากสารละลาย

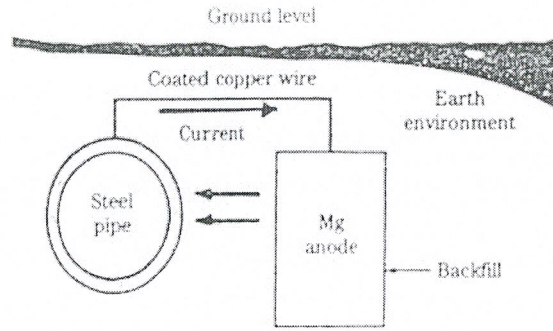
2.2.4 การป้องกันแบบแคโทด (Cathodic protection) [3]

การป้องกันการกัดกร่อนสามารถใช้วิธีที่เรียกว่า การป้องกันแบบแคโทด โดยที่อิเล็กตรอนจะถูกป้อนให้กับโลหะที่ต้องการป้องกัน เช่น ถ้าอิเล็กตรอนถูกป้อนให้กับเหล็กกล้า การละลายของโลหะจะลดน้อยลงและอัตราการเกิดก๊าซไฮโดรเจนจะเพิ่มขึ้น ดังนั้น ถ้าอิเล็กตรอนถูกป้อนให้กับเหล็กกล้าอย่างต่อเนื่อง การกัดกร่อนของเหล็กกล้าจะลดลง อิเล็กตรอนที่ใช้ป้อนให้กับกระบวนการนี้มาจาก 2 วิธีการ คือ 1.) การป้อนไฟฟ้ากระแสตรงจากภายนอก (external DC supply) แสดงดังรูปที่ 2.5 โดยอิเล็กตรอนจะถูกป้อนให้กับถังและเกิดไฮโดรเจนที่ถังนี้ 2.) การต่อเข้ากับโลหะที่ทำหน้าที่เป็นแอโนดมากกว่าโลหะที่ทำการป้องกัน การป้องกันแบบแคโทดของเหล็กกล้าโดยการต่อเข้ากับโลหะแมกนีเซียมที่ทำหน้าที่เป็นแอโนด ดังแสดงได้จากรูปที่ 2.6 แมกนีเซียมที่กัดกร่อนแทนโลหะที่ต้องการป้องกันนี้มักจะถูกนำมาใช้ย่อยในการป้องกันแบบแคโทดเนื่องจากแมกนีเซียมมีค่าศักย์ไฟฟ้าติดลบมากกว่าและมีความหนาแน่นของกระแสมากกว่า



รูปที่ 2.3 การป้องกันโดยใช้กระแสไฟฟ้าจากภายนอก [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การป้องกันแบบแคโทดของเหล็กกล้า [3]

2.2.5 การป้องกันแบบแอโนด (Anodic Protection) [3]

วิธีการป้องกันแบบแอโนดนี้เป็นวิธีที่ค่อนข้างใหม่และเป็นวิธีที่ทำให้เกิดชั้นออกไซด์ของโลหะนั้นบนผิวของโลหะผสมชนิดเดียวกัน เพื่อป้องกันการกัดกร่อนโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า โปเทนชิโอสแตต (potentiostat) เช่น การทำให้ผิวของดีบุกเกิดชั้นออกไซด์ของดีบุกโดยใช้เครื่อง โปเทนชิโอสแตต ทำให้อัตราเร็วในการกัดกร่อนเกิดช้าลง ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถใช้ได้ทั้งกรณี ที่สภาวะแวดล้อมก่อให้เกิดการกัดกร่อนน้อยจนถึงขั้นรุนแรงได้ และใช้กระแสไฟฟ้าในการ ป้องกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนข้อเสียของวิธีนี้คือ เครื่องมือที่ใช้มีความสลับซับซ้อนและมี ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งค่อนข้างสูง

2.3 สารยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibitor) [3]

การป้องกันการกัดกร่อนสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่นการออกแบบกระบวนการและการ เลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและการใช้งาน การเคลือบป้องกันผิวหน้าของอุปกรณ์ นอกจากนี้ การปรับปรุงสิ่งแวดล้อมโดยใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน เป็นอีกทางเลือกหนึ่งซึ่งสามารถ นำไปประยุกต์ใช้ได้กับการใช้งานทั้งภายในและภายนอกกระบวนการอีกด้วย โดยในส่วนนี้จะ กล่าวถึง ชนิด คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนชนิดต่างๆ ในกระบวนการ อุตสาหกรรม

สารยับยั้งการกัดกร่อน เป็นสารเคมีชนิดหนึ่ง ซึ่งเมื่อเติมลงในสภาวะแวดล้อมหนึ่งๆ ใน ปริมาณเพียงเล็กน้อยจะช่วยป้องกันการกัดกร่อนหรือทำให้การกัดกร่อนเกิดขึ้นน้อยที่สุด สารยับยั้ง การกัดกร่อนจะถูกใช้เพื่อช่วยป้องกันโลหะจากการถูกกัดกร่อน รวมทั้งใช้เพื่อป้องกันการถูกกัด กร่อนเพียงชั่วคราวระหว่างการขนย้าย สารยับยั้งที่มีประสิทธิภาพจะต้องเข้ากันได้ดีกับสภาวะ แวดล้อม มีราคาถูก และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมหรือมีความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ซึ่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยทั่วไปจะมีสมบัติร่วมกันดังนี้

ไม่ว่องไวต่ออากาศ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้ได้กับโลหะหลายชนิด
- ความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อน จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารยับยั้ง โดยจะเป็นสัดส่วนโดยตรงด้วย
- ค่าความเข้มข้นของสารยับยั้งจะขึ้นอยู่กับชนิดของสารละลาย ชนิดของโลหะ สภาพของผิวโลหะ อุณหภูมิของของเหลว และความเข้มข้นของเกลือถ้ามีอัตราการกัดกร่อนสูงก็จำเป็นต้องใช้สารยับยั้งที่มีความเข้มข้นมาก นอกจากนี้การเพิ่มความเร็วในการไหลหรือการกวนสารละลายจะช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาของสารยับยั้งให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
- การใช้สารยับยั้งตั้งแต่ 2 ชนิดร่วมกัน จะให้ประโยชน์มากกว่าการใช้สารยับยั้งเพียงตัวเดียว

ตารางที่ 2.3 สารยับยั้งการกัดกร่อนที่ใช้ในอุตสาหกรรม [4]

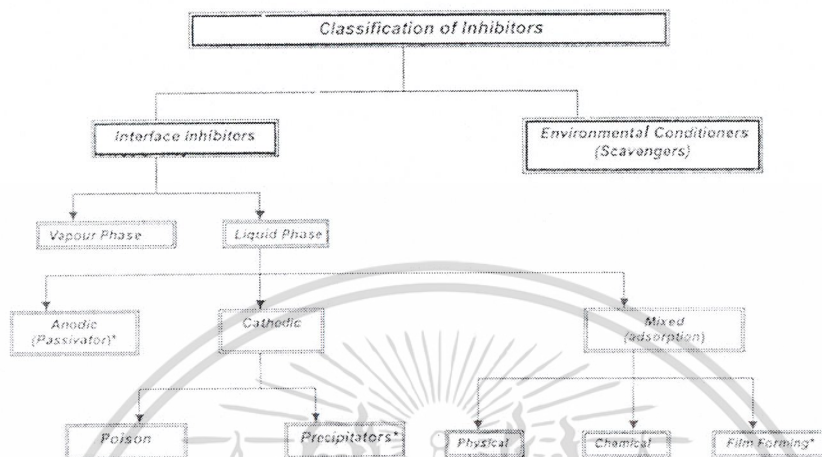
Environment	Sample Inhibitors
Waters	
Potable water	CaCO ₃ deposition, silicates, polyphosphates, zinc salts
Recirculating cooling water	Chromate, nitrate at 300–500 ppm calcium polyphosphates at 15–37 ppm silicates at 20–40 ppm
Automotive coolants	Nitrite, benzoate, borax, phosphate sodium mercaptobenzothiazole, benzotriazole
Steam condensates	Neutralizers: ammonia, morpholine, cyclohexamine, benzylamine long chain aliphatic amines such as dodecylamine 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	Phenythiourea, di-ortho-tolyl-thiourea, mercaptans, sulfides, -0.003–0.01%
Hydrochloric acid	Pyridine, quinoline, various amines, decylamine, phenythiourea, 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

Compiled from Mercer¹⁴

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การจำแนกชนิดของสารยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibitors classification) [3]

การเลือกใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนจะขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ และสภาวะแวดล้อมที่ใช้ โดยสามารถจำแนกประเภทของสารยับยั้งการกัดกร่อนได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนผังการจำแนกชนิดของสารยับยั้งการกัดกร่อน [3]

2.3.2 ตัวปรับสภาพสิ่งแวดล้อม (Environmental conditioners) [3]

การกัดกร่อนสามารถควบคุมได้ โดยการกำจัดสารที่กัดกร่อนในสภาวะแวดล้อม ซึ่งจะช่วยลดการกัดกร่อนของโลหะนั้นได้ สารยับยั้งชนิดนี้เรียกว่า ตัวปรับสภาพสิ่งแวดล้อม ในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกลางและเบส อัตราการกัดกร่อนสามารถควบคุมได้โดยการลดปริมาณออกซิเจนซึ่งถูกใช้โดยผู้ย่อยสลาย

2.3.3 สารยับยั้งที่ผิว (Interphase inhibitors) [3]

สารยับยั้งที่ผิวสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้โดยการสร้างชั้นออกไซด์ที่บริเวณรอยต่อของผิวโลหะกับสิ่งแวดล้อม สารยับยั้งที่ผิวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1. สารยับยั้งที่ผิวในสภาวะของเหลว (Liquid phase inhibitors) [3]

สามารถแบ่งได้เป็น สารยับยั้งแบบแคโทด สารยับยั้งแบบแอโนด หรือแบบผสม ขึ้นอยู่กับว่าจะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาแอโนดิก ปฏิกิริยาแคโทดิก หรือทั้งสองปฏิกิริยาพร้อมกัน

- สารยับยั้งแอโนดิก (Anodic inhibitors) [2]

ได้แก่ สารเคมีที่เป็นแอนไอออน เช่น โครเมต (Chromate) ไนไตรต์ (Nitrite) โมลิบเดต (Molybdate) ทังสแตน (Tungstate) ออโรฟอสเฟต (Orthophosphate) ซิลิเกต (Silicate) และเบนโซเอต (Benzoate) สารเหล่านี้จะเคลื่อนที่จากน้ำหรือสารละลายเข้าสู่ผิวหน้าของโลหะที่เป็นแอโนดในเซลล์เคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อน ด้วยแรงดึงดูดทางเคมีไฟฟ้าแล้วไปทำให้ผิวโลหะเกิด

การกัดกร่อนได้ยากขึ้น ส่วนมากออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจะเข้าร่วมเกิดปฏิกิริยาที่ผิวด้วย สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแอนโอดนี้มักเป็นสารอนินทรีย์ที่เป็นสารยับยั้งประเภทออกซิไดซ์ ได้แก่ ออโรฟอสเฟต ซิลิเกต ไนไตรต์ และเบนโซเอต สารยับยั้งกลุ่มนี้มีใช้กันมาก และมีข้อควรคำนึงคือ เมื่อใช้ไปเรื่อย ๆ ความเข้มข้นของสารนี้ในน้ำจะลดลงจนเมื่อเจือจางถึงจุดหนึ่งจะไม่สามารถเข้าปกคลุมผิวหน้าโลหะได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงมีผิวหน้าบางส่วนที่น้อยมากที่ไม่ถูกปกป้องจึงเป็นแอโนด ขณะที่ผิวหน้าโลหะส่วนมากถูกปกป้องจึงเป็นแคโทด ด้วยอัตราส่วนแคโทดต่อแอโนดที่สูงมาก เป็นเหตุให้เกิดการกัดกร่อนโดยเฉพาะแบบหลุม (Pitting) ได้ง่ายและรวดเร็วจนเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงที่คาดไม่ถึงและเกิดการกัดกร่อนมากกว่าที่ไม่ใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน ดังนั้นเมื่อใช้สารยับยั้งกลุ่มนี้จึงต้องหมั่นดูแลความเข้มข้น

- ออโรฟอสเฟต (Orthophosphate)

เช่น ไดโซเดียมฟอสเฟต (disodium phosphate หรือ $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) เมื่อเติมลงในน้ำจะทำให้มีค่า pH สูงขึ้นและทำให้เกิดฟิล์มบางที่ผิวโลหะที่ป้องกันการกัดกร่อนได้โดยน้ำนั้นต้องมีแคลเซียมหรือความกระด้างที่เนื่องจากแคลเซียมสูงมากพอฟิล์มบางปกป้องที่เกิดขึ้นมีองค์ประกอบหลักคือ แคลเซียมคาร์บอเนตและเหล็กออกไซด์ และมีฟอสเฟตร่วมด้วยเล็กน้อย ดังนั้น น้ำอ่อนที่มีแคลเซียมน้อยจึงพบว่าสารยับยั้งมีประสิทธิภาพต่ำ ควรเติมปูนขาวหรือหินปูนลงไป น้ำเล็กน้อยจะได้ฤทธิ์ยับยั้งการกัดกร่อนตามต้องการได้

- ซิลิเกต (Silicate)

เช่น โซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate หรือ $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$) เมื่อเติมลงในน้ำจะทำให้น้ำเป็นเบสมากขึ้นและให้ผลการยับยั้งการกัดกร่อนโดยสารนี้จะทำปฏิกิริยากับน้ำได้สารแขวนลอยที่เป็นแอนไอออนของ $(\text{mSiO}_2 \cdot \text{nSiO}_3)^{2n-}$ ซึ่งจะเคลื่อนที่จากน้ำไปที่ผิวโลหะด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าเคมีแล้วเกิดเป็นฟิล์มบางที่ผิวโลหะที่ปกป้องโลหะจากการกัดกร่อนได้ ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้ต้องมีแคลเซียมในน้ำมากพอ ซิลิเกตใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของอลูมิเนียมในน้ำที่มีฤทธิ์กัดกร่อนได้ดีมาก

- ไนไตรต์ (Nitrite)

สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแอนโอดชนิดออโรฟอสเฟต และซิลิเกตให้ฤทธิ์ยับยั้งการกัดกร่อนในน้ำโดยเกิดปฏิกิริยาร่วมกับแคลเซียมในน้ำ ดังนั้น น้ำที่จะใช้สารทั้งสองนี้ได้ดีต้องเป็นน้ำที่มีความกระด้างที่เกิดจากแคลเซียมสูงพอ ถ้าไม่พอต้องเติมปูนขาวช่วย แต่สำหรับสารยับยั้งอนินทรีย์ในกลุ่มของไนไตรต์ และโครเมตที่เป็นสารยับยั้งแบบออกซิไดซ์จะทำหน้าที่ยับยั้งการกัดกร่อนได้ด้วยตนเอง แม้ในน้ำอ่อนก็ใช้ได้ โดยไนไตรต์จะออกซิไดซ์ไอออนโลหะในสารประกอบที่เป็นผลิตภัณฑ์การกัดกร่อน (หรือสนิม) ที่เกิดขึ้นให้มีเลขออกซิเดชันสูงขึ้นซึ่งมีผลลดค่าการละลายและเกิดเป็นฟิล์มบางที่ปกป้องผิวโลหะได้ ศักย์ไฟฟ้าของโลหะที่มีฟิล์มบางนั้นจะเลื่อนไปทางที่เป็นบวกสูงขึ้น ปกติจะใช้ไนไตรต์ผสมกับสารยับยั้งอื่น ๆ เช่น เบนโซเอต และฟอสเฟต มี

การใช้ไนไตรต์เดี่ยวเฉพาะในน้ำมันที่ใช้หล่อลื่นและลดความร้อนเวลาตัด กลึง ไส เหล็ก น้ำมันที่ผสมไนไตรต์จะมีสีขาวขุ่นคล้ายน้ำมัน บางครั้งใช้ลูปพิวโลหะที่ขึ้นรูปเสร็จใหม่ ๆ เพื่อป้องกันการกัดกร่อน สารยับยั้งการกัดกร่อนที่ผสมไนไตรต์ใช้มากในน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของโลหะภายในระบบ เช่น ในถังบรรจุน้ำมัน ในท่อส่งน้ำมัน ในถังน้ำมันที่อยู่ระหว่างขนส่ง น้ำมันดังกล่าวมักมีน้ำและกรอปนอยู่และมีฤทธิ์กัดกร่อน

- โครเมต (Chromate)

สารโครเมตบางชนิดเช่น Na_2CrO_4 และ K_2CrO_4 เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบออกซิไดซ์ที่จะออกซิไดซ์สารประกอบที่เป็นผลิตภัณฑ์การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นให้มีการละลายลดลงแล้วเกิดเป็นฟิล์มบางที่ผิวโลหะและโครเมตยังเข้าร่วมเป็นองค์ประกอบของฟิล์มบางนั้นด้วยรูปของ Cr_2O_3 โครเมตเป็นสารยับยั้งที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้ในน้ำและให้การปกป้องที่ดีกับโลหะหลายชนิด เช่น เหล็กกล้า ทองแดง สังกะสี และโลหะบางทั้งหลาย

- เบนโซเอต (Benzoate)

แอนไอออนของกรดอินทรีย์หลายชนิดใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนได้ดี เบนโซเอตเป็นแอนไอออนของกรดเบนโซอิก ตัวอย่างเช่น โซเดียมเบนโซเอตที่เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ดี เบนโซเอตไม่ใช่สารออกซิไดซ์จึงต้องใช้ในปริมาณมากหรือในความเข้มข้นสูงจึงจะให้ผลยับยั้งการกัดกร่อนได้ บางงานอาจมีอันตรายจากการใช้งานในความเข้มข้นสูงเกิดขึ้นได้ มีการนำไปผสมกับโซเดียมไนไตรต์แล้วใช้ชุบกระดากให้ชุ่มแล้วนำไปห่อเครื่องยนต์หรืออุปกรณ์ที่เป็นโลหะที่บรรจุอยู่ในกล่องที่ปิดมิดชิดในระหว่างขนส่งเพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากความชื้นในบรรยากาศ

● สารยับยั้งแคโทดิก (Cathodic inhibitors) [2]

ได้แก่สารเคมีที่เป็นแคโทดไอออนในน้ำหรือในสารละลายที่แวดล้อมโลหะที่จะเคลื่อนที่เข้าสู่ผิวหน้าของโลหะที่เป็นแคโทดในเซลล์เคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อนด้วยแรงดึงดูทางเคมีไฟฟ้าแล้วเกิดเป็นตะกอนเข้าเคลือบที่ผิวหน้าของโลหะแล้วมีผลยับยั้งการกัดกร่อนได้ ตัวอย่างเช่น ไอออน As^{3+} ไอออน Sb^{3+} ที่ใช้ยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กที่อยู่ในน้ำที่เป็นกรด โดยจะพบว่ามีชั้นฟิล์มบางปกป้องผิวเหล็กที่เป็นชั้นฟิล์มบางของ As และ Sb เคลือบทั่วผิวโลหะและมีก๊าซไฮโดรเจนเกิดร่วมด้วย ตัวอย่างของสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแคโทดิกในธรรมชาติ ได้แก่ ความกระด้างในน้ำที่เกิดจากแคลเซียมในรูปของสารประกอบแคลเซียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต เมื่อเติมสังกะสีซัลเฟตลงไปพบว่า น้ำจะเกิดสภาพเบสและเกิดสารประกอบ CaCO_3 และ Zn(OH)_2 เป็นชั้นบางเคลือบที่ผิวหน้าโลหะและละลายในน้ำได้น้อยและสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ ดังนั้น น้ำกระด้างจึงมีฤทธิ์กัดกร่อนน้อยกว่าน้ำอ่อน การเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนให้แก่ น้ำอ่อนทำได้โดยการเติมปูนขาวลงไปเล็กน้อย หรือให้น้ำอ่อนไหลผ่านถังกรองที่มีปูนขาวหรือดินเผา Calcined dolomite บรรจุอยู่ น้ำที่ผ่านถังกรองดังกล่าวจะมีแคลเซียมเพิ่มขึ้นและมากพอที่จะเกิดเป็นตะกอนคาร์บอเนตเคลือบ

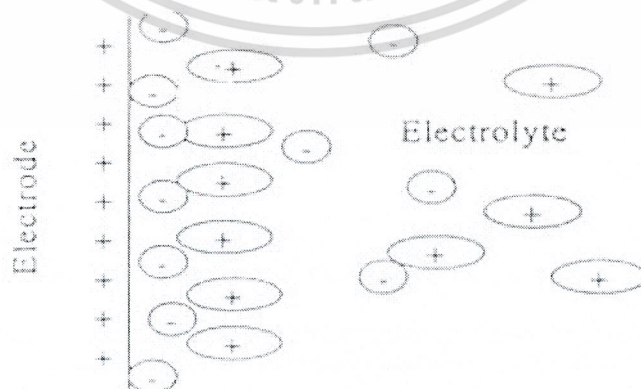
ที่ผิวโลหะได้ ความกระด้างจึงจัดเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแคโทดิกที่ไม่เป็นอันตรายแต่อย่างใด และถ้าได้เติมฟอสเฟตหรือซิลิเกตเพิ่มขึ้นจะเป็นผลดีมากยิ่งขึ้น

- สารโพลีฟอสเฟต

สารโพลีฟอสเฟต ที่นิยมเติมในน้ำที่ใช้ในชุดผลิตไอน้ำก็เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแคโทดิก มีชื่อเรียกทางการค้าว่า Calgon หรือ Micromet โพลีฟอสเฟตจะเกิดเป็นสารแคทอออนขนาดใหญ่กับแคลเซียมในน้ำ คือ $(Na_5CaP_6O_{18})^{n-}$ ที่เป็นชั้นตะกอนเข้าเคลือบผิวหน้าโลหะและป้องกันการกัดกร่อนได้ ปกติอัตราส่วนของ Ca : Na ควรมีค่าราว 1:5 ดังนั้น จึงมักใช้สารผสมของ โซเดียมและแคลเซียมโพลีฟอสเฟต ทั้งนี้เพราะสามารถเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับแคลเซียมในน้ำได้ง่าย ดังนั้น สารโพลีฟอสเฟตนอกจากจะช่วยยับยั้งการกัดกร่อนแล้ว ยังช่วยป้องกันการเกิดชั้นเคลือบคาร์บอนเนตที่หนาเกินไปทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดได้ไม่ดี

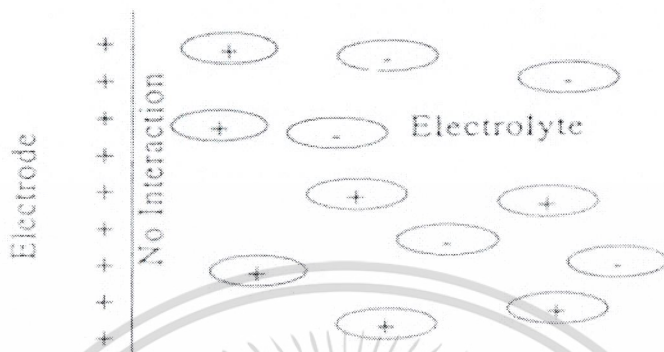
● สารยับยั้งผสม (Mixed inhibitors) [3]

ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของสารยับยั้งปฏิกิริยาชนิดนี้ เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นสารยับยั้งแคโทดหรือสารยับยั้งแอโนดจึงถูกเรียกว่าสารยับยั้งผสม ประสิทธิภาพของสารยับยั้งอินทรีย์สัมพันธ์กับขนาดของการดูดซับและการเคลื่อนผิวของโลหะ การดูดซับขึ้นอยู่กับโครงสร้างของสารยับยั้งและชนิดของอิเล็กโทรไลต์ สารยับยั้งผสมมีกลไกในการป้องกันโลหะได้ 3 วิธีคือ การดูดซับทางกายภาพ การดูดซับทางเคมี และการทำให้เกิดฟิล์มป้องกัน การดูดซับทางกายภาพเป็นผลมาจากแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างสารยับยั้งกับพื้นผิวของโลหะ เมื่อผิวของโลหะถูกทำให้มีประจุบวก โลหะนั้นจะเกิดการดูดซับประจุลบ (สารยับยั้งการกัดกร่อน) ดังรูปที่ 2.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.6 การดูดซับประจุลบโดยประจุบวกบนผิวโลหะ [3]

โมเลกุลที่มีประจุบวกจะดึงดูดกับโมเลกุลที่มีประจุลบ ซึ่งสามารถป้องกันการเกิดประจุบวกของโลหะได้ ไอออนลบ เช่น เฮไลด์ไอออนในสารละลาย จะถูกดูดซับติดอยู่กับประจุบวกที่ผิว แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ประจุบวกของสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ไม่ทำปฏิกิริยากับประจุบวกบนผิวโลหะ [3]

การกัดกร่อนของเหล็กในกรดซัลฟิวริก ประกอบด้วยซัลเฟตไอออน ซึ่งสามารถยับยั้งได้โดยใช้แอมโมเนียมไอออน ถ้าปฏิกิริยานี้เป็นการดูดซับทางกายภาพแล้ว สารยับยั้งการกัดกร่อนจะถูกดูดซับอย่างรวดเร็ว แต่สามารถกำจัดออกไปจากพื้นผิวได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิ สารยับยั้งการกัดกร่อนที่มีประสิทธิภาพที่สุด คือ สารยับยั้งการกัดกร่อนที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวโลหะ ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งประจุหรือเคลื่อนย้ายประจุระหว่าง โมเลกุลของสารยับยั้งและผิวของโลหะ การดูดซับทางเคมีเกิดขึ้นได้ช้ากว่าการดูดซับทางกายภาพ ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น การดูดซับและการป้องกันก็จะเพิ่มขึ้นด้วย การดูดซับทางกายภาพนั้นเกิดขึ้นได้อย่างจำกัดและไม่สามารถผันกลับได้อย่างสมบูรณ์ โมเลกุลที่ถูกยับยั้งของตัวดูดซับจะเกิดปฏิกิริยาที่ผิวโดยการสร้างฟิล์มขึ้นมา การป้องกันการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดในขณะที่ฟิล์มถูกสร้างขึ้นและมีความหนาเพิ่มขึ้นจนถึงหลายร้อยอังสตรอม (\AA) การป้องกันแบบนี้จะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อฟิล์มป้องกันนี้ไม่ละลายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์และสามารถป้องกันการสัมผัสของสารละลายกับผิวโลหะ ซึ่งฟิล์มป้องกันนี้ไม่ละลายในสารละลายอิเล็กโทรไลต์และสามารถป้องกันการสัมผัสของสารละลายกับผิวโลหะ ซึ่งฟิล์มป้องกันอาจจะนำไฟฟ้าหรือไม่นำไฟฟ้าก็ได้

- สารยับยั้งในสถานะก๊าซ (Vapor phase inhibitors) [3]

การป้องกันชั่วคราวซึ่งต่อต้านการกัดกร่อนทางอากาศโดยเฉพาะในระบบปิด สามารถทำได้โดยใช้สารยับยั้งที่เป็นก๊าซ สารที่มีความดันไอสูง เป็นคุณสมบัติของการยับยั้งที่ดี สารยับยั้งถูกใช้โดยที่อกระด้ายแล้วปล่อยให้ระเหยไปช้าๆ ในระบบปิดถึงถึงการระเหยของสารยับยั้งนี้จะช่วย

ต่อต้านการกัดกร่อนจากอากาศและไอน้ำ โดยทั่วไปแล้วสารยับยั้งชนิดนี้จะมีผลดีกับโลหะที่เกิดสนิมได้ง่าย

2.4 การประยุกต์ใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนในสภาวะแวดล้อมต่างๆ [3]

2.4.1 อุตสาหกรรมปิโตรเลียม [3]

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

การกัดกร่อนชนิดเปียกจะได้รับผลกระทบจาก ความดัน อุณหภูมิ และองค์ประกอบของสารละลายของแก๊สและเฟสของน้ำมันที่เปลี่ยนไป ในโรงกลั่นและโรงงานปิโตรเคมี ปริมาณของน้ำโดยปกติจะมีน้อยอยู่แล้ว และจะมีการกัดกร่อนในบริเวณที่มีน้ำมาสัมผัสกับผิวโลหะโดยในน้ำอาจจะมีไฮโดรเจนซัลไฟด์ คาร์บอนไดออกไซด์ คลอไรด์ไอออนละลายอยู่ก็ได้ การกัดกร่อนจะเกิดขึ้นได้แม้กระทั่งเมื่อมีน้ำเป็นองค์ประกอบในสารละลายเพียง 0.1 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบที่สร้างฟิล์มป้องกันได้หลายชนิด เพื่อควบคุมการกัดกร่อนชนิดเปียก สารยับยั้งการกัดกร่อนเกือบจะทั้งหมด เป็นสายโซ่ยาวของสารอินทรีย์ที่มีหมู่ของไนโตรเจนรวมทั้งเอมีนและเอไมด์ เป็นองค์ประกอบ

2.4.2 การกัดกร่อนภายในท่อเหล็กกล้า [3]

การกัดกร่อนภายในท่อเหล็กกล้าของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ระบบการไหลของของไหลหลายๆเฟสในท่อ ส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อน ที่อัตราการไหลสูงๆ จะทำให้ท่อเกิดการกัดกร่อนและการกัดเซาะเนื่องจากของไหลในขณะที่อัตราการไหลต่ำๆ จะเกิดการกัดกร่อนแบบหลุม อัตราการกัดกร่อนสัมพันธ์กับปริมาณและธรรมชาติของตะกอนที่อยู่ในท่อ ที่อัตราการไหลสูงๆ จะทำให้เกิดการกวาดตะกอนออกจากท่อได้ แต่ที่ความเร็วการไหลต่ำๆ ตะกอนจะตกอยู่ที่ก้นหม้อ ทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบเป็นหลุม การควบคุมการกัดกร่อนภายในท่อ สามารถทำได้โดยการล้างท่อหรือใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบต่อเนื่อง

2.4.3 น้ำ [3]

ในน้ำดื่มมักจะมียูเรียมละลายอยู่อย่างอิมพัคซึ่งจะก่อให้เกิดการกัดกร่อน หากไม่มีฟิล์มป้องกันไว้ในภาชนะที่บรรจุสารยับยั้งแคโทดิก เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ซิลิเกต โพลีฟอสเฟตและเกลือของสังกะสี นิยมใช้ในการควบคุมการกัดกร่อนของน้ำดื่ม การใช้น้ำในระบบการทำความเย็นไปใช้

จะเกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิก กรณีนี้สามารถควบคุมได้โดยการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนชนิดแอโนดิก เช่น ไนเตรท และโครเมต หรือสามารถควบคุมโดยการใช้สารยับยั้งแคโทดิกที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น เบนโซโทรอะโซล

2.4.4 กรด [3]

กรดมักถูกใช้เป็นน้ำยาทำความสะอาดอุปกรณ์ในกระบวนการกลั่นและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน สารยับยั้งผสมจึงถูกใช้ในการควบคุมการกัดกร่อนจากกรดสำหรับตึกในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

2.4.5 สถานะอื่นๆ [3]

สารยับยั้งการกัดกร่อน สามารถใช้ในเครื่องยนต์เพื่อป้องกันการกัดกร่อนจากน้ำหล่อเย็น หรือแม้กระทั่งเป็นสารป้องกันการแข็งตัว สามารถใช้ในงานสีเพื่อช่วยรักษาคุณภาพของสี รวมทั้งจะช่วยป้องกันไม่ให้สีกัดกร่อนโลหะที่ถูกเคลือบอยู่

2.5 ปัจจัยอื่นในการประยุกต์ใช้สารยับยั้ง [3]

2.5.1 เทคนิคการประยุกต์ใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน [3]

ควรจะใช้วิธีที่เหมาะสมกับสารยับยั้งชนิดหนึ่งๆ สาเหตุที่เกิดขึ้นบ่อยๆ ในการใช้สารยับยั้งอย่างไม่มีประสิทธิภาพ คือใส่สารยับยั้งหลังจากที่สารกัดกร่อนสัมผัสกับผิวโลหะแล้ว ดังนั้นถึงแม้ว่าจะใช้สารยับยั้งที่ดีที่สุดก็อาจไม่ได้ผล ถ้าใช้ไม่ถูกวิธี เมื่อสารยับยั้งแบบระเหยเป็นไอก็ควรจะต้องป้องกันไม่ให้สารยับยั้งระเหยออกไปนอกระบบ เป็นต้น

2.5.2 ผลของอุณหภูมิกับสารยับยั้งการกัดกร่อน [3]

สารอินทรีย์สามารถสลายตัวได้ หากอุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นฟิล์มที่เกิดจากการดูดซับทางกายภาพจะมีประสิทธิภาพลดลงถ้าอุณหภูมิของระบบสูงขึ้น ดังนั้นในการใช้งานจึงต้องหาปริมาณที่เหมาะสมของสารยับยั้งการกัดกร่อน เพื่อให้ได้ความหนาของฟิล์มป้องกันที่เหมาะสม และเพื่อที่จะสามารถรักษาฟิล์มไว้ได้ ในทางตรงข้ามถ้าเป็นการดูดซับทางเคมี เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความแข็งแรงของพันธะจะสูงขึ้นด้วย ดังนั้นประสิทธิภาพของสารยับยั้งก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย จนถึงอุณหภูมิค่าหนึ่งพันธะก็จะถูกทำลายเช่นกัน

2.5.3 ผลข้างเคียง [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับภายในงานเพื่อการสื่อสารเท่านั้น ไม่สมควรให้อ่านไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เอกสารนี้ถูกทิ้งสิ้น ถือทั้งห้าปีให้ด้วยแล้วเพื่อที่จะตั้งข้างถึงถึงถ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้อัตราการซึมผ่านของไฮโดรเจนเข้าไปในโลหะพร้อมๆ กัน เช่น อัตราการกัดกร่อนของเหล็ก

ในกรดซัลฟิวริกจะลดลงในขณะที่อัตราการดูดซึมของไอโอรเจนเข้าไปในเหล็กสูงขึ้นโดยการเติมไฮโอยูเรียเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน ถึงแม้ว่าไฮโอยูเรียจะยับยั้งการกัดกร่อนได้ แต่ไฮโอยูเรียจะเกิดปฏิกิริยากับไฮโดรเจนกลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนจำนวนมาก ซึมผ่านเข้าไปในผิวของโลหะและทำลายโลหะด้วยการกัดกร่อนของก๊าซไฮโดรเจน เป็นต้น

2.5.4 การป้องกันขั้นที่สอง [3]

โดยธรรมชาติสารยับยั้งการกัดกร่อนที่อยู่ในกรดจะเกิดกระบวนการสองอย่าง คือจะเกิดปฏิกิริยาเคมีและตามด้วยปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้า การป้องกันการกัดกร่อนที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาจะถูกเรียกว่า การป้องกันขั้นที่สอง โดยจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ดังนั้นการป้องกันขั้นที่สองจะมีความสามารถในการป้องกันการกัดกร่อนได้ดีกว่าหรือด้อยกว่าการป้องกันขั้นแรกก็ได้

2.5.5 สารยับยั้งการกัดกร่อนที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม (Green inhibitors) [3]

การเลือกใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนควรคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคตด้วย เป็นผลให้ผู้คิดค้นสารยับยั้งการกัดกร่อนปฏิกิริยาการกัดกร่อนที่สถานะต่างๆ ที่มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้นและได้มีการพัฒนาเรื่อยมา โดยเน้นในเรื่องของการย่อยสลายด้วยจุลชีพ ค่า BOD และสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ใช้จะต้องไม่มีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตค่า BOD คือปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) ส่วนความเป็นพิษของสารยับยั้งการกัดกร่อนจะแสดงในรูปของค่า LC₅₀ หรือ EC₅₀ ค่า LC₅₀ หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่สามารถทำให้สิ่งมีชีวิตตายไปเป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของสิ่งมีชีวิตที่นำมาทดสอบ มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของสารละลาย ค่า EC₅₀ คือปริมาณความเข้มข้นที่น้อยที่สุดที่เริ่มมีผลกระทบกับสิ่งมีชีวิตจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

ตารางที่ 2.4 ความเป็นพิษของสารยับยั้งการกัดกร่อน [3]

Compound	LC ₅₀ (mg/kg)
Propargyl alcohol	55
Hexynol	34
Cinnamaldehyde	2200
Formaldehyde	800
Dodecylpyridinium bromide	320
Naphthylmethylquinolinium chloride	644
Nonylphenol-ethylene oxide surfactants	1310

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

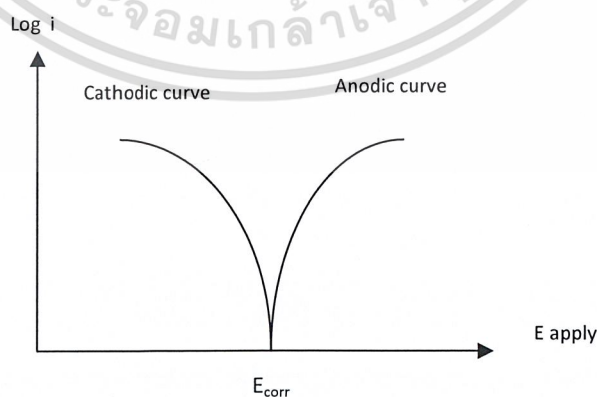
ความต้องการสารยับยั้งการกัดกร่อนที่มีความเป็นพิษน้อยและถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วย จุลินทรีย์จะเพิ่มมากขึ้นในอนาคต ดังนั้นการเลือกใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนจะต้องพิจารณาถึง คุณสมบัติของสารยับยั้งที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

2.6 โพล่าไรเซชันของการกัดกร่อน (Corrosion of Polarization) [2]

การกัดกร่อนเมื่อเริ่มเกิดจะดำเนินไปชั่วระยะเวลาหนึ่งด้วยอัตราเร็วคงที่ค่าหนึ่งอิเล็กตรอน ที่เกิดขึ้นเรื่อย ๆ จะมารอที่ผิวโลหะทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวของโลหะเป็นค่าลบมากขึ้น นั่นคือรอยต่อ ระหว่างโลหะกับสารละลายจะมีอิเล็กตรอนมาอยู่มากเกินพอเพื่อรอให้เกิดปฏิกิริยาการรับ อิเล็กตรอนหรือรีดักชันที่ขั้วแคโทด ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาการรับอิเล็กตรอนเกิดไม่รวดเร็วเพียงพอ อิเล็กตรอนที่มากเกินที่บริเวณรอยต่อของผิวโลหะกับสารละลายนี้มีผลให้การกัดกร่อนลดลงได้ เรียกว่าแคโทดิกโพล่าไรเซชัน (Cathodic Polarization) ทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวรอยต่อเป็นลบมากขึ้นอีกกรณีคือโลหะเกิดการกัดกร่อนให้อิเล็กตรอนไปที่รอยต่อผิวโลหะกับสารละลายน้อยหรือไม่ เพียงพอ จะมีผลทำให้ศักย์ไฟฟ้าที่ผิวรอยต่อเป็นบวกมากขึ้นจะเรียกว่า แอโนดิกโพล่าไรเซชัน (Anodic Polarization) จึงเป็นการเปลี่ยนแปลงอัตราการกัดกร่อนเนื่องจากการให้และรับอิเล็กตรอน ไม่สัมพันธ์กันนั่นเอง ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ผิวโลหะที่สัมผัสกับสารละลายที่มีค่าเป็นบวกมากกว่าจะมี แนวโน้มที่จะเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายและเร็วกว่าซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากโลหะและสารละลาย

ดังนั้น แคโทดิกโพล่าไรเซชัน คือ การเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วปฏิกิริยาการกัดกร่อนที่ถูก ควบคุมโดยอัตราเร็วของปฏิกิริยารีดักชันที่ขั้วแคโทด

ส่วนแอโนดิกโพล่าไรเซชัน คือการเปลี่ยนแปลงอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ถูกควบคุมโดย อัตราเร็วของปฏิกิริยาออกซิเดชันที่แอโนด ลักษณะของแคโทดิกและแอโนดิกโพล่าไรเซชันจะมี ลักษณะดังรูปที่ 2.8

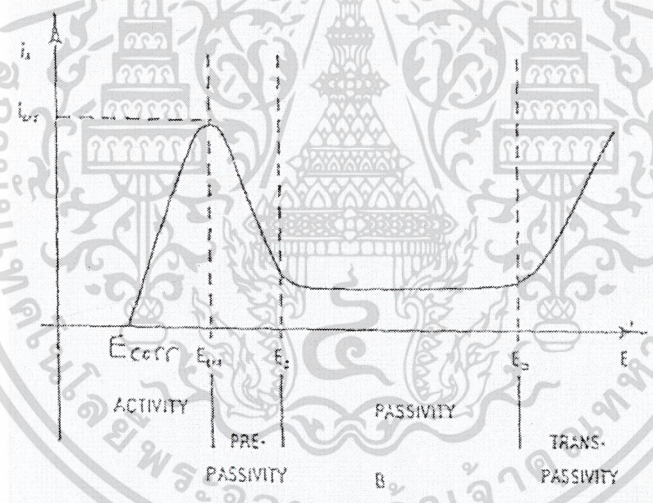


รูปที่ 2.8 ลักษณะของแคโทดิกและแอโนดิกโพล่าไรเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 เทคนิคโพเทนชิโอดนามิก โพล่าไรเซชัน (Potentiodynamic Polarization) [2]

เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์พฤติกรรมการกัดกร่อนของชิ้นงานโลหะตัวอย่างในสิ่งแวดล้อมที่กำหนดโดยเฉพาะ/โลหะผสมที่มีสมบัติ active-passive หรือที่มี passive film โดยการใช้ชิ้นงานโลหะตัวอย่างเป็นขั้วทำงาน (WE) และอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีสถานะของ ความเข้มข้น อุณหภูมิ ปริมาณออกซิเจนในสารละลาย ตามกำหนด ใช้ขั้วอ้างอิงมาตรฐาน (RE) ต่อให้ครบวงจร ป้อนศักย์ไฟฟ้าเร่งการกัดกร่อนผ่านขั้ว CE โดยป้อนศักย์ไฟฟ้าเริ่มจาก -100 mV จากค่า E_{corr} ไปทางบวกเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ติดตามวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปที่ค่าศักย์ไฟฟ้าต่างๆ กระแสจะลดลงเมื่อเกิด passive film และจะเพิ่มขึ้นทันทีเมื่อฟิล์มแตก เส้นโค้งของความสัมพันธ์ระหว่างค่า ศักย์ไฟฟ้าและค่า $\log i$ ($i = I/A$ หรือความหนาแน่นของกระแส) หรือ Polarization Curve ดังรูปที่ 2.9 จะเห็นพฤติกรรมการกัดกร่อนของโลหะนั้น ทั้งการเกิดขึ้นของฟิล์ม การคงอยู่ของฟิล์ม ความแข็งแรงของฟิล์ม สมบัติปกป้องของฟิล์มและการแตกของฟิล์ม ข้อมูลที่ได้สามารถตีความเป็น ความต้านทานการกัดกร่อนได้ เช่น ค่า E_{pit} คือความต้านทานการเกิดการกัดกร่อนแบบ Pitting หรือ I_{passive} คือสมบัติปกป้องหรือความแข็งแรงของฟิล์ม

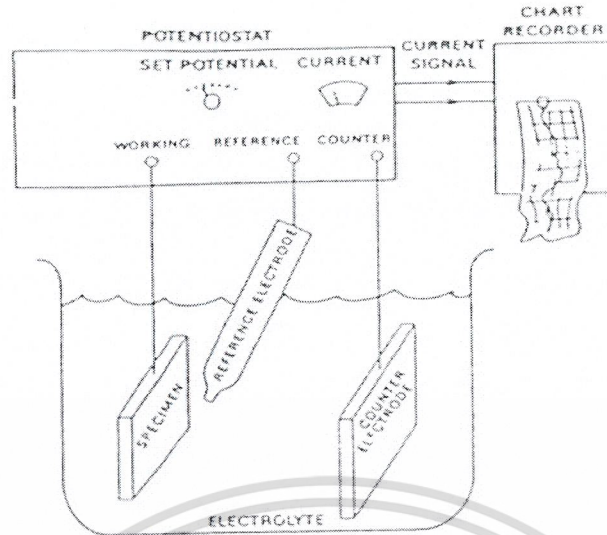


รูปที่ 2.9 Polarization Curve จากการทดลองวิธี Potentiodynamic Polarization [2]

2.8 การทดสอบโดยวิธีโพเทนซิโอสแตต (Potentiodynamic) [3]

รูปแบบของการติดตั้งการทดสอบแบบวิธีโพเทนซิโอสแตต (potentiostatic) แสดงดังรูปที่ 2.10 ซึ่งประกอบด้วย ชิ้นโลหะทดสอบ ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วไฟฟาร่วม จุ่มลงไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แล้วเชื่อมต่อเข้ากับเครื่อง Potentiostat กระแสที่ออกมาจะถูกบันทึกในรูปแบบของกราฟจากเครื่องบันทึก

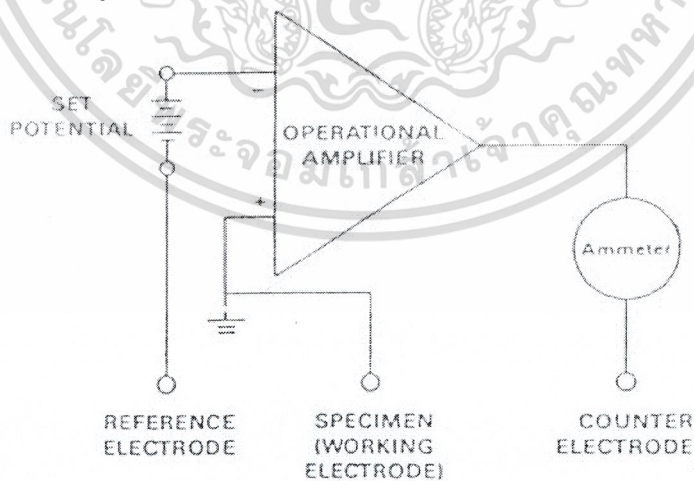
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การติดตั้งชุดทดลองแบบ Potentiostat [4]

2.8.1 โปเทนชิโอสแตต (Potentiostat) [3]

ฟังก์ชันของเครื่องโปเทนชิโอสแตต จะเป็นการวัดค่าความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วโลหะทดสอบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิง โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าหลายค่าเข้าไประหว่างขั้วโลหะทดสอบและขั้วไฟฟาร่วม แล้วนำมาเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าที่ถูกปรับไว้ก่อนแล้ว สัญญาณผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะทำให้การจ่ายกระแสเข้าไปในขั้วโลหะทดสอบเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าของขั้วโลหะทดสอบเปลี่ยนไปในทิศทางที่ต้องการ แผนผังของวงจรอย่างง่ายแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11 แผนผังอย่างง่ายของโปเทนชิโอสแตต [3]

การออกแบบโปเทนชิโอสแตต ที่ดีจะต้องมีความต้านทานระหว่างขั้วโลหะทดสอบกับขั้วไฟฟ้าอ้างอิงประมาณ 10^{12} ถึง 10^{15} โอห์ม และจำเป็นต้องให้กระแสจากขั้วไฟฟ้าอ้างอิงเป็นศูนย์ การดำเนินการเพื่อป้องกันปัญหาความผิดพลาดของโพลาริเซชันที่ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

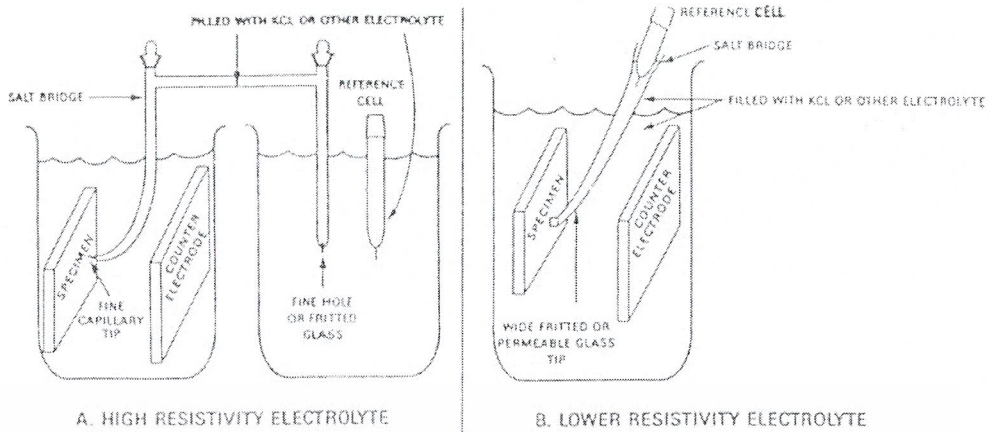
2.8.2 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode) [3]

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงทำจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่สามารถรักษาสภาพของศักย์ไฟฟ้าให้คงที่ ซึ่งใช้เป็นจุดอ้างอิงสำหรับวัดค่าศักย์ไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงส่วนใหญ่จะหุ้มด้วยแก้ว เพื่อให้สามารถควบคุมสารละลายรอบๆขั้วได้ ตัวอย่างชนิดของขั้วไฟฟ้าอ้างอิงที่ใช้กับการทดสอบสารละลายที่อุณหภูมิห้อง ได้แก่ ขั้วไฟฟ้าคาโลเมล ($\text{Hg}/\text{HgCl}/\text{KCl}$) ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (silver/silver chloride electrode) และขั้วไฟฟ้าคอปเปอร์/คอปเปอร์ซัลเฟต (copper/copper sulfate electrode) หากต้องการให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ผ่านเข้าไปภายในแก้วที่หุ้มไว้เพื่อความเหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงาน จึงต้องมีรูไว้เพื่อให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์เกิดการผสมกันภายในขั้วไฟฟ้าอ้างอิงได้

ในบางครั้งสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ทดสอบไม่บริสุทธิ์ จะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิงคลาดเคลื่อนจึงต้องมีการป้องกันปัญหานี้ โดยการเลือกใช้ขั้วที่ทำจากวัสดุที่สามารถยอมให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ผ่านไปได้บางส่วน เช่น Vycor ถึงแม้ว่าจะกำจัดสิ่งเจือปนออกไปได้บ้างแต่ยังต้องมีการดูแลรักษาวัสดุซึ่งยอมให้สารละลายผ่านไปได้ด้วย ถ้าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ทดสอบมีคุณสมบัติดีและมีข้อผิดพลาดในศักย์ไฟฟ้าน้อยจึงมีความสำคัญมากนัก ดังนั้นวัสดุบางชนิดสามารถนำมาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงโดยไม่ต้องมีแก้วครอบไว้ ตัวอย่างของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบน้ำทะเลประกอบด้วยสังกะสี และขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์

ตำแหน่งของเซลล์อ้างอิงในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งจะส่งผลต่อค่าความต้านทาน เมื่อพิจารณาในสารละลาย กระแสระหว่างขั้วโลหะทดสอบ และขั้วไฟฟ้าร่วมเป็นสาเหตุให้ค่าศักย์ไฟฟ้าลดลงไปถึงค่าความต้านทานของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ตำแหน่งของเซลล์อ้างอิงที่วางห่างจากขั้วโลหะทดสอบ จะทำให้สามารถอ่านค่าศักย์ไฟฟ้าแตกต่างไปจากค่าศักย์ไฟฟ้าจริง

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงสามารถวางในตำแหน่งที่ใกล้กับขั้วโลหะทดสอบมากที่สุด หรืออาจจะวางไว้ที่บีกเกอร์หนึ่งซึ่งมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยมีสะพานเกลือเป็นสะพานเชื่อมระหว่างสองบีกเกอร์ แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การใช้งานของสะพานเกลือ [3]

2.8.3 ขั้วไฟฟ้าตรงข้าม (Counter electrode) [3]

โครงสร้างของขั้วไฟฟ้าร่วมจะทำมาจากวัสดุที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยา เช่น แพลตินัม หรือ แกรไฟต์ แพลตินัมมีราคาแพงจึงนำไปใช้เล็บบิว เนื่องจากแกรไฟต์มีรูพรุนจึงสามารถนำไปใช้กับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ได้หลายชนิด โดยจะเกิดปฏิกิริยาขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าร่วม ในกรณีที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีสิ่งเจือปนมาก การเลือกใช้วัสดุของขั้วไฟฟ้าร่วม จะต้องเหมือนกับชิ้นโลหะทดสอบ หรืออาจจะวางขั้วไฟฟ้าร่วมในกล่องแยกที่เชื่อมต่อเข้ากับชุดทดลอง

2.9 สูตรการคำนวณ [2]

2.9.1 ค่าคงที่ความชัน [2]

- ค่าคงที่ความชันด้านแอนอด (β_a)

$$\beta_a = \frac{\Delta E}{\Delta I} \quad (\text{V/decade})$$

- ค่าคงที่ความชันด้านแคโทด (β_c)

$$\beta_c = \frac{\Delta E}{\Delta I} \quad (\text{V/decade})$$

ΔE คือ ส่วนต่างของศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน

ΔI คือ ส่วนต่างของกระแสที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 ค่าความต้านทานการเกิดโพลาไรเซชัน (Polarization Resistance, R_p) [2]

$$R_p = \frac{(\beta_a \times \beta_c)}{2.3 \times i_{corr} \times (\beta_a + \beta_c)} \quad (V/A/cm^2)$$

β_a คือ ความชันของทาทาเฟลในส่วนของแอโนด

β_c คือ ความชันของทาทาเฟลในส่วนของแคโทด

i_{corr} คือ ค่ากระแสการกัดกร่อน

2.3 คือค่า logarithm ของสิบ

2.9.3 ค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน (IE%) [2]

$$IE\% = \frac{I - I_i}{I} \times 100$$

I คือ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนของกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์

I_i คือ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนที่มีสารยับยั้งการกัดกร่อน

2.10 เหล็กกล้า CK45 [6]

2.10.1 คุณลักษณะทั่วไป (General characteristics) [6]

ตารางที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเหล็กกล้า CK45 [6]

ส่วนผสมทางเคมี (%wt)	C	Si	Mn	P	S
มาตรฐาน	0.42-0.50	≤ 0.40	0.50-0.80	≤ 0.035	≤ 0.035
AISI	1045				
JIS	S45C, S48C				
DIN	1.1191(CK45/C45E)				

เหล็กกล้า CK45 จัดเป็นกลุ่มเหล็กคาร์บอนปานกลางที่สามารถนำไปใช้งานพื้นฐานได้
อย่างกว้าง ขวางหลายชนิด ทั้งงานโครงสร้าง งานการเกษตร งานเครื่องจักรกล งานแม่พิมพ์ และ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ส่วนประกอบแม่พิมพ์ รวมทั้งชิ้นส่วนในรถยนต์ เป็นต้น ทั้งนี้เนื่องจากเป็นเหล็กที่มีคุณสมบัติที่ดี
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหลายด้านทั้งความแข็งแรง ความเหนียวแกร่ง และยังสามารถทำการอบชุบเพื่อเพิ่มความแข็งแรงและความแข็งแรงได้ สามารถชุบแข็งให้มีความแข็งอย่างน้อย 55 HRC ก่อนอบคืนตัว มีความสามารถในการชุบคืนรูปดีมาก นิยมใช้เป็นวัสดุสำหรับงานขึ้นรูปเป็น อุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ มีความสามารถในการตัดกลึงพอใช้

2.10.2 คุณลักษณะเด่น (Significant characteristics) [6]

- มีราคาถูกกว่าเหล็กอะไหล่ และเหล็กแม่พิมพ์ทั่วไป
- สามารถชุบขึ้นรูปได้ง่ายมาก
- มีความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กโครงสร้างทั่วไป
- มีความเหนียวดี
- สามารถทำการชุบแข็ง ได้
- มีความสามารถในการตัดกลึงพอใช้

2.10.3 การใช้งาน (Applications) [6]

เหล็กกล้า CK45 สามารถนำไปใช้งานได้หลายชนิดทั้งงานแม่พิมพ์พลาสติก และชิ้นส่วนประกอบของแม่พิมพ์ เช่น กรอบแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนอุปกรณ์การเกษตรเกือบทุกชนิด เช่น จอบ เสียม คราด ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น ลูกกลิ้ง ลูกรีด ชิ้นส่วนเครื่องยนต์ เช่น เฟลาข้อเหวี่ยง ข้อต่อ เป็นต้น และงานอื่น ๆ ที่ต้องการความประหยัดทางด้านต้นทุนการผลิต

2.10.4 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties) [6]

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติทางกายภาพของเหล็กกล้า CK 45 [6]

คุณสมบัติ	อุณหภูมิทดสอบ						
	การนำความร้อน (Thermal Conductivity,(W/m.K))	20 °C	350 °C	700 °C			
	42.5	38.5	34.2				
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Coefficient of thermal)	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	600 °C	700 °C
	11.5	11.7	12.5	13.3	13.9	14.3	14.4
โมดูลัสของการยืดหยุ่นที่ 20 °C (Modulus of elasticity, (10 ³ N/mm ²))	210						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจุความร้อนจำเพาะที่ 20 °C (Specific heat at 20 °C(J/g. °C))	0.486
ความหนาแน่น (Density,(g/cm ³))	7.80
สภาพทางแม่เหล็ก (Magnetizability)	ซึมซับ

2.11 สมุนไพร [7]

สมุนไพรตามความหมายของพระราชบัญญัติยา หมายถึงยาที่ได้จากพืช สัตว์และแร่ธาตุ ซึ่งยังมีได้ผสมหรือแปรสภาพ เช่น ในส่วนของราก ลำต้น ใบ ดอกและผล

นักวิทยาศาสตร์ปัจจุบันเชื่อว่าการที่มนุษย์รู้ว่าต้นไม้ใดใช้รักษาโรคได้ มีสรรพคุณอย่างไร นั้นได้จากการเรียนรู้ด้วยประสบการณ์และการทดลองอันยาวนานสืบต่อกันมาแต่โบราณ บางครั้งอาจอาศัยจากรูปลักษณะเหมือนอวัยวะใดก็ใช้รักษาอวัยวะนั้น หรือโดยอาศัยสีหรือรสชาติ เช่น สีแดง รักษาโรคเกี่ยวกับเลือด หรือรสขมรักษาโรคเกี่ยวกับน้ำดี เป็นต้น

จากการพัฒนาทางด้านวิทยาศาสตร์ การสกัดและแยกสารเคมีบริสุทธิ์ที่ได้จากพืช ทำให้นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าสารเคมีเหล่านี้เองที่เป็นตัวกำหนดสรรพคุณของพืชสมุนไพรนั้นๆ

จากการศึกษาถึงสารเคมีที่แยกได้จากพืช ทำให้สามารถนำมาใช้เป็นยารักษาโรคได้ ซึ่งอาจจำแนกออกเป็น 9 กลุ่มใหญ่ๆคือ

1. คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate)

คือสารที่ประกอบด้วย C H และ O ในปัจจุบันกลุ่มของคาร์โบไฮเดรตที่ใช้ในทางยามักอยู่ในรูปของ glucose, starch, agar, peclin เป็นต้น

2. แอลคาลอยด์ (Alkaloid)

เป็นสารอินทรีย์ซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ คุณสมบัติส่วนใหญ่เป็นรสขมไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดต่างๆมีฤทธิ์เป็นด่างและมีกอกฤทธิ์ต่อระบบต่างๆของร่างกายพบมากในส่วนต่างๆของพืช เช่น ในเมล็ดของหมาก ในผลของพริกไทย เป็นต้น

3. ไกลโคไซด์ (Glycoside)

เป็นสารอินทรีย์ที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็น Aglycone (genin) กับส่วนที่เป็นน้ำตาลฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาของสารประกอบกลุ่มนี้จะกว้างขวางมากแตกต่างกันออกไป

4. น้ำมันระเหย (Volatile oil or essential oil)

เป็นน้ำมันที่ได้จากพืชโดยการกลั่นด้วยไอน้ำหรือการบีบ มีกลิ่นรสเฉพาะตัว ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิธรรมดา เบากว่าน้ำ ประโยชน์ทางด้านยานอกจากใช้เป็นตัวแต่งกลิ่น จะใช้ในทางขับลม ฆ่าเชื้อและทาถูนิ้ว

5. ไขมัน (lipid)

คือสารที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ ประโยชน์ใช้เตรียมขี้ผึ้ง หรือใช้เป็นยาระบาย รักษาโรคผิวหนัง

6. เรซิน (resin)

คือสารอินทรีย์หรือสารผสมประเภทโพลีเมอร์ มีรูปร่างไม่แน่นอน ไม่ละลายน้ำ ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์

7. วิตามิน (vitamin)

หมายถึงสารประกอบอินทรีย์ที่มีอยู่เล็กน้อยในอาหาร

8. ยาปฏิชีวนะ (antibiotic)

เป็นผลิตภัณฑ์ทางเคมีที่ได้จากสิ่งมีชีวิต

9. สเตอรอยด์ (steroid)

คือสารอินทรีย์ซึ่งถูกสร้างขึ้นโดยพืชและสัตว์

2.11.1 วิธีการสกัด [8]

1. มาเซอร์ชัน (maceration)

เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืช โดยวิธีการหมักสมุนไพรกับน้ำยาสกัดจนกระทั่งเนื้อเยื่อของสมุนไพรอ่อนนุ่มและน้ำยาสกัดสามารถแทรกซึมเข้าไปละลายองค์ประกอบภายในออกมาได้ การหมักสมุนไพรควรทำในภาชนะที่มีฝาปิดสนิทในน้ำยาสกัดที่เหมาะสม จะทำเป็นเวลานาน 7 วัน หรือตามกำหนดในเภสัชตำรับหรือจนกระทั่งองค์ประกอบที่ต้องการละลายออกมาหมด ในขณะที่หมักสมุนไพรอยู่นั้นควรเขย่าหรือคนเป็นครั้งคราวเพื่อเพิ่มอัตราเร็วของการสกัด เมื่อครบกำหนดเวลาจึงกรอง แยกกาก (marc) ออกจากน้ำยาสกัด วิธีการสกัดนี้เหมาะสมกับพืชสมุนไพรที่มีโครงสร้างหรือเนื้อเยื่อไม่แข็งแรงมากนัก เช่น ใบ ดอก ซึ่งทำให้อ่อนนุ่มได้ง่าย จัดเป็นวิธีที่ใช้น้ำยาสกัดน้อย จึงประหยัด และเนื่องจากเป็นวิธีที่ไม่ใช้ความร้อนจึงเหมาะสมกับการสกัดสารที่ไม่ทนต่อความร้อน

2. เพอร์คอลลชัน (percolation)

เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพรโดยการปล่อยให้ผ่านผงสมุนไพรอย่างช้าๆ พร้อมกับละลายเอาองค์ประกอบออกจากผงสมุนไพรออกมา โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า เพอร์โคเลเตอร์ (percolator)

วิธีการทำเพอร์โคเลชัน คือ นำผงสมุนไพรมาหมักกับตัวทำละลายก่อน 1 ชั่วโมง เพื่อให้ฟองตัวเต็มที่แล้วค่อยๆ บรรจุผงยาที่ละชั้นลงในเพอร์โคเลเตอร์ ซึ่งมีลักษณะเป็นคอลัมน์สมุนไพรส่วนปลายด้านล่างปิดปิดได้ เพื่อที่สามารถควบคุมอัตราการไหลของสารสกัดหรือเพอร์โคเลตจากเพอร์โคเลเตอร์ได้ เติมตัวทำละลายหรือน้ำยาสกัด (menstruum) ลงไปให้ระดับน้ำยาสกัดสูงเหนือ

สมุนไพรร (solvent head) ประมาณ 0.5 เซนติเมตร ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จึงปล่อยให้ น้ำยาสกัดไหลผ่าน ผลสมุนไพรรในอัตราเร็วที่เหมาะสม พร้อมกับเติมน้ำยาสกัดใหม่ลงไปเรื่อย ๆ อย่าให้แห้งเก็บเพอร์ โคลเตจนาการสกัดสมบูรณ์โดยการตรวจสอบจากเพอร์เลตส่วนสุดท้าย นำเพอร์โคลเตจที่เก็บได้ ทั้งหมดรวมกันนำไปกรอง

3. การสกัดแบบต่อเนื่อง (Continuous extraction)

เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรรทำนองเดียวกับเพอร์โคลเตจัน แต่ต้องใช้ความร้อน เข้าช่วยและใช้ชอกซ์เลตเอกซ์แทรกเตอร์ซึ่งเป็นระบบปิด โดยใช้ตัวทำละลายซึ่งมีจุดเดือดต่ำ เมื่อ ได้รับความร้อนจากฮีทติงแมนเทิล (heating mantle) หรือหม้ออังไอน้ำ น้ำยาสกัดในภาชนะระเหย ขึ้นไปแล้วกลั่นตัวลงมาในทิมเบอร์ (thimble) ซึ่งบรรจุสมุนไพรรไว้ น้ำยาสกัดจะผ่านผงสมุนไพรรซ้ำ แล้วซ้ำอีกไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งองค์ประกอบในสมุนไพรรถูกสกัดออกมา เมื่อน้ำยาสกัดในเอกซ์ แทรกติงแชมเบอร์ (extracting chamber) สูงถึงระดับจะเกิดกาลักน้ำ สารสกัดจะไหลกลับลงไป ในภาชนะวนเวียนเช่นนี้จนกระทั่งสกัดสมบูรณ์

2.11.2 การเลือกวิธีการสกัด [8]

การสกัดสารสำคัญในพืชสมุนไพรรมีหลายวิธี โดยทั่วไปวิธีการสกัดที่เหมาะสมขึ้นกับ ปัจจัยหลาย ๆ อย่าง ได้แก่

1. ธรรมชาติของพืชสมุนไพรร โดยพิจารณาจาก

- ลักษณะโครงสร้างของเนื้อเยื่อ สมุนไพรรที่มีลักษณะอ่อนนุ่ม เช่น ดอก ใบ อาจสกัดด้วย วิธีมาเซอเรชัน หากสมุนไพรรที่มีเนื้อเยื่อที่แข็งและเหนียว เช่น เปลือก ราก เนื้อไม้ ควร สกัดด้วยวิธีเพอร์โคลเตจันหรือสกัดแบบต่อเนื่อง
- ความสามารถในการละลายของสารสำคัญในน้ำยาสกัด ถ้าละลายได้ง่าย นิยมใช้วิธีตัว คูดซับ แต่ถ้าละลายได้น้อยก็จำเป็นต้องใช้วิธีเพอร์โคลเตจันหรือสกัดแบบต่อเนื่อง
- ความคงตัวของสารสำคัญในสมุนไพรรต่อความร้อน ถ้าเป็นสารที่ไม่ทนต่อความร้อน ควรใช้วิธีมาเซอเรชันหรือเพอร์โคลเตจัน

2. คุณค่าของสารสกัดและค่าใช้จ่ายในการสกัด

หากต้องการสารสกัดที่ไม่ใช่สารสำคัญและมีคุณค่าทางการรักษาน้อย เช่น สารที่ใช้แต่งสี กลิ่น รส ของยาเตรียมต่างๆ ก็อาจใช้วิธีง่ายๆ ไม่ยุ่งยาก นอกจากนี้ควรคำนึงถึงค่าใช้จ่ายทั้งหมด เปรียบเทียบกับราคาของสารสกัดที่เตรียมได้ว่าคุ้มกับการลงทุนหรือไม่

3. ความต้องการที่จะได้สารสกัดที่สมบูรณ์(exhausted extraction) หรือเกือบสมบูรณ์

หากต้องการสารสกัดเจือจาง การใช้วิธีมาเซอเรชันก็เพียงพอแล้ว แต่ถ้าต้องการสารสกัด เข้มข้นก็ควรใช้วิธีเพอร์โคลเตจันหรือสกัดแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.3 น้ำยาสกัดหรือตัวละลาย [8]

ตัวทำละลายที่ใช้ในการเตรียมสารสกัดได้แก่ น้ำ แอลกอฮอล์ หรือสารละลายผสมของทั้ง 2 ชนิดนี้

1. น้ำ

จัดเป็นตัวทำละลายที่ดี หาง่ายและราคาถูก แต่การใช้น้ำอย่างเดียวเป็นตัวทำละลายในการสกัดพืชสมุนไพรมีข้อเสียหลายประการคือ สามารถละลายองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกมาได้มาก เช่นเดียวกับสารสำคัญที่ต้องการ อาจมีสารเจือที่ละลายออกมากับน้ำ เช่น น้ำตาล แป้ง ซึ่งล้วนเป็นอาหารของเชื้อจุลินทรีย์ จึงทำให้เกิดการบูดเสียของสารสกัดเนื่องจากจุลินทรีย์ได้ ถ้าไม่ใส่สารกันบูด(Preservative) นอกจากนี้ น้ำยังระเหยได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งอาจเกิดความเสียหายกับสารสำคัญได้

2. แอลกอฮอล์

จัดเป็นตัวทำละลายที่ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ ซึ่งแอลกอฮอล์มีข้อดีกว่าคือ

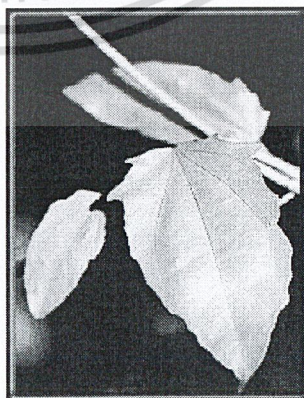
- มีความจำเพาะ(Selectivity) ในการละลายมากกว่าน้ำ
- มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
- หากต้องการได้สารสกัดเข้มข้นจะระเหยได้ง่าย

3. น้ำยาผสมแอลกอฮอล์ (Hydroalcoholic mixture)

เป็นน้ำยาสกัดที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถละลายสารสำคัญในพืชสมุนไพรได้ใกล้เคียงกับแอลกอฮอล์ แต่ราคาถูกกว่า และยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ และยังช่วยป้องกันการแยกตัวของสารต่างๆ ในสารสกัดเมื่อตั้งทิ้งไว้ ซึ่งมักเกิดในกรณีใช้น้ำอย่างเดียวในการสกัด

2.11.4 สมุนไพรที่ใช้ในงานวิจัย

1. รางจืด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.13 ต้นและใบรางจืด [11]
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อท้องถิ่น: กำลั้งข้างเผือก ขอบชะนางน เกรื่อเทาเขียว ยาเขียว รางจืด(ภาคกลาง)รางเย็น(ยะลา) ชั่งกะ บั้งกะละ พอหน่อเตอ(กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน) คูหว่า(ปัตตานี) ทิดพุด(นครศรีธรรมราช) น้านอง(สระบุรี) ย้าแย้ แอบแอร์(เพชรบูรณ์)

ชื่อสามัญ: รางจืด

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Thunbergia laurifolia* Linn.

รางจืดเป็นพืชสมุนไพรที่ใช้กันมากในวงการแพทย์แผนโบราณและพบได้ทั่วไปในทุกภูมิภาคของประเทศไทย มีอยู่ 3 ชนิดคือ

-**รางจืดดอกม่วง** [9] (*Thunbergia laurifolia* Linn.) เป็นพืชในตระกูล Thunbergiaceae ลักษณะลำต้นเป็น ไม้เถาขนาดกลาง เถาอ่อนสีเขียว เถาแก่สีน้ำตาล เป็น ไม้เถาใบเดี่ยวรูปไข่กว้าง 4-7 เซนติเมตร ยาว 8-14 เซนติเมตร ปลายเรียวแหลมขอบส่วนแก้มใบหยักเล็กน้อย ผิวเรียบมัน สีเขียวเข้ม ดอกรูปปากแตร ช่อดอกอยู่ที่ปลายกิ่ง กลีบดอกสีม่วงแกมน้ำเงิน ใบประดับสีเขียวประสีน้ำตาลแดง ผลกลม มีจอยคล้ายหัวนก เกิดตามที่รกร้างว่างเปล่าทั่วไป ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด

-**รางจืดดอกขาว** [9] (*Thunbergia fragrans* Koxb) เป็นพืชในตระกูล Thunbergiaceae เป็น ไม้เถาขนาดเล็กลำต้นเป็นเหลี่ยม มีขนหนาแน่นพาดต้นไม้อื่น ใบเดี่ยวรูปหอกปลายแหลมยาว 1-3 นิ้ว ดอกออกเป็นช่อ หรือเดี่ยว ตามง่ามใบ ขนาดประมาณ 4 เซนติเมตร กลีบขาว 5 กลีบ ผลกลม มีจอยเหมือนผลรางจืดดอกม่วง พบตามป่าดงดิบ ป่าโปร่ง ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด

-**รางจืดดอกแดง** [9] (*Thunbergia caccinea* Wall.) เป็นพืชในตระกูล Thunbergiaceae เป็น ไม้เถาขนาดกลาง กิ่งก้านอ่อนสีเขียว ใบเดี่ยว รูปไข่กว้าง ขอบจักกรเว้าตื้นๆ ไม่เป็นระเบียบห่างๆ เส้นใบตามยาว 5 เส้น ลึกชัด คล้ายใบอบเชย แต่เนื้อบางกว่าไม่เรียบ ดอกเป็นช่อยาวห้อยลงยาว 40-50 เซนติเมตร ดอกย่อยมีใบประดับสีแดงม่วง 2 อัน กลีบดอกเป็นหลอดสั้นๆสีแดง ปลายบานออกเป็น 5 กลีบติดกันสีส้มแดง ผลกลมมีจอยเหมือนรางจืดดอกม่วงเกิดตามดงดิบที่ค่อนข้างสูง พบตามภาคเหนือในบางแห่ง ขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด

รางจืดที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นรางจืดดอกสีม่วงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Thunbergia laurifolia* Lindl. ซึ่งเป็นรางจืดชนิดที่นิยมนำมาเป็นยาสมุนไพรมากที่สุด แพทย์แผนโบราณเชื่อว่าใบและเถา รางจืดชนิดนี้เป็นยาถอนพิษ พิษเบื่อเมา พิษไข้ และรับประทานเป็นยาแก้ร้อนใน และเชื่อว่ารางจืดสามารถรักษาอาการอักเสบและปวดบวมได้ ในตำรายาสมุนไพรกล่าวไว้ว่าส่วนของใบรางจืดสามารถถอนพิษไข้ และเป็นยาพอกบาดแผล พอกแผลน้ำร้อนลวก ในมาเลเซียใช้น้ำคั้นจากใบกินแก้ประจำเดือนผิดปกติ และรางจืดสามารถใช้แก้พิษยาฆ่าแมลงได้

การศึกษาองค์ประกอบทางเคมี

Ratchadaporn Oonsivilai et al [10] ศึกษาสารประกอบในสารสกัดใบรางจืด โดยมีรายงานว่ามี iridoid glucosides 2 ชนิดคือ 8-epi-grandiforic และ 3-O- β -glucopyranosyl-stibericoside ที่แยกมาจากส่วนของใบในการสกัดรางจืด (*Thunbergia laurifolia* Linn.) และมี glucosides อื่นๆ อีก

7 ชนิด มีรายงานส่วนประกอบที่พบคือ Delphinidin , 3:5-di-o- β -D-glucopyranoside , apigenin และ apigenin-7-o- β -D-glucopyranoside และยังประกอบด้วย apigenin , casmosiin , delphinidin-3-5-di-O- β -D-glucoside และ chorogenic acid

2. สาบเสือ



รูปที่ 2.14 ต้นและใบสาบเสือ [12]

ชื่อท้องถิ่น : หญ้าเสือหมอบ(สุพรรณ - ราชบุรี - กาญจน) ไร่เคย(ระนอง) ผักคราด บ้านร้าง (ราชบุรี) ยี่สุ่นเดือน(สุราษฎร์) ฝรั่งเศส ฝรั่งเศส(สุพรรณ) หญ้าดอกขาว(สุโขทัย - ระนอง) หญ้าเมืองวาย(พายัพ) พาทั้ง(เจียว เชียงใหม่) หญ้าดงร้าง หญ้าพระศิริไอสวรรค(สระบุรี) มุ้งกระต่าย(อุดร) หญ้าลี้มเมือง (หนองคาย) หญ้าเถาฮ้าง(ขอนแก่น) สะพัง(เลย) หมาหลง (ศรีราชา - ชลบุรี) นองเส้งเปรง(กะเหรี่ยง เชียงใหม่) ไข่ปู่กวย(กะเหรี่ยง แม่ฮ่องสอน) หญ้าเมืองฮ้าง หญ้าเหมือน(อิสาน) หญ้าฝรั่งเศส เบญจมาศ(ตราด) เซโพกวย(กะเหรี่ยง เชียงใหม่) มนทน(เพชรบูรณ์) ปวยกีเช่า เชียงเจกลั้ง(จีน)

ชื่อวิทยาศาสตร์: *Eupatorium odoratum* L. วงศ์ Compositae

ชื่อพ้อง: *Chromolaena odorata* (L.) King et Robins. , *Eupatorium conyzoides*

สาบเสือ เป็นพืชปีเดียวตาย ต้นสูง 1-3 เมตร ก้านมีริ้วรอย ปกคลุมด้วยขน ก้านและใบอาม ขยี้จะมีกลิ่นแรง ใบออกตรงข้ามกัน ลักษณะค่อนข้างรูปสามเหลี่ยม ตัวใบยาว 3-10 เซนติเมตร ปลายใบแหลม ฐานใบกว้างใหญ่ หรือ กลมๆ ขอบใบมีรอยหยักคล้ายฟันขนาดใหญ่ มีขนปกคลุม ทั้ง 2 ด้าน ด้านท้องใบมีขนหนาแน่นกว่าหลังใบ ดอกออกเป็นช่อลักษณะเป็นกระจุกคล้ายร่ม ดอกสีขาวออกม่วง มีดอกย่อยวงนอกเป็นเส้นสีขาวออกมา 1 วง ส่วนกลางของช่อดอกเป็นดอกย่อยที่มี ทั้งเกสรตัวผู้และเกสรตัวเมียในดอกเดียวกัน กลีบดอกมีลักษณะเป็นหลอด ส่วนปลายแยกออกเป็น 5 กลีบ ผลมีขนาดเล็ก มีห้าเหลี่ยม ส่วนปลายมีขนช่วยพองให้ลอยไปตกได้ไกลๆ ออกดอกในฤดูหนาว มักพบตามที่รกร้างทั่วไป ชอบขึ้นตามที่ที่มีแสงแดดมากตามทุ่งกว้าง ริมถนน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรรพคุณ

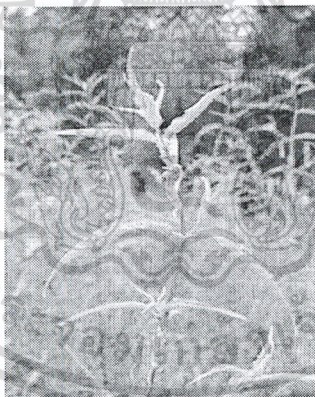
ก้านและใบ รสสุขุม ชุนเล็กน้อย ใช้ฆ่าแมลง ห้ามเลือดแก้แผลที่แมลงบางชนิดกัดแล้วเลือดไหลไม่หยุด ใช้ใบสดตำพอกปากแผล หรือ อาจใช้ใบสดตำกับปูนกินหมากพอกแผลห้ามเลือดได้หรือใช้ใบสดขยี้ปิดปากแผลเลือดออกเล็กน้อยได้ดี

องค์ประกอบทางเคมีที่พบ

สมเกียรติ ชาติานิติ และ ธนิต ผัวนิ่ม[13] การศึกษาสารประกอบฟลาโวนอยด์ของสาบเสือพบว่า มี isosakuranetin และ acacetin

นิสิต พิศุทธานันท์ [14] พบว่าสามารถแยกสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ชนิดใหม่ได้ 1 ชนิด คือ 5,7-dihydroxy-6,4'-dimethoxyflavanone และสารอื่นในกลุ่มเดียวกันอีก 14 ชนิด โดยในจำนวนนี้พบว่าสารที่แยกได้จำนวน 6 ชนิด เป็นสารที่พบเป็นครั้งแรกในพืชชนิดนี้ ซึ่งได้แก่ 5-hydroxy-7,4'-dimethoxyflavone, 5-hydroxy-6,7,4'-trimethoxyflavanone, 5-hydroxy-7,3',4'-trimethoxyflavanone, 3,5,4'-trihydroxy-7-methoxyflavanone, 5,7,3'-trihydroxy-5'-methoxyflavanone และ 3,5,7-trihydroxy-4'-methoxyflavanone

3. พญาขอ



รูปที่ 2.15 ต้นพญาขอ [15]

ชื่อสามัญไทย : พญาขอ

ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Clinacanthus nutans* (Burm.f.) Lindau

ชื่อท้องถิ่น : ผักมันไก่ ผักลิ้นเจียด (เชียงใหม่) พญาปล้องคำ (ลำปาง) เสลดพังพอนตัวเมีย พญาปล้องทอง พญาปล้องคำ (กลาง) ลิ้นมังกร โปะโซ่จาง (กะเหรี่ยง-แม่ฮ่องสอน)

พญาขอเป็นไม้พุ่มเลื้อยสูง 1-3 เมตร ลำต้นและกิ่งก้านสีเขียว ใบเป็นใบเดี่ยวออกตรงข้ามกัน รูปรีแคบ ขอบขนาน ใบกว้าง 0.5-1.5 เซนติเมตร ยาว 2.5-13 เซนติเมตร ปลายและโคนใบแหลม ริมใบเรียบ ดอกเป็นช่อ ออกเป็นกระจุกที่ปลายกิ่งมี 5 ดอกย่อยขึ้นไป กลีบดอกสีแดงส้ม ฝักเดี่ยวๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โคนกลีบสี่เหลี่ยมติดกันเป็นหลอด ปลายแยกเป็น 2 ส่วน ผลเป็นผลแห้งแตกได้ เป็นพืชที่ขึ้นได้งาม ในดินที่สมบูรณ์ แสงแดดปานกลาง พบได้ทั่วไปตามป่าประเทศไทยหรือปลูกตามบ้าน

สรรพคุณ

ใบ: รักษาอาการอักเสบเฉพาะที่ ถอนพิษแมลงสัตว์กัดต่อย รักษาโรคริม งามัวัด

ต้น: แก้บิด

องค์ประกอบทางเคมีที่พบ

Dampawan [16] พบ stigmaserol lupeol และ β -sitosterol ในสารสกัดจากใบพญาขอ Teshima et al. [17] พบองค์ประกอบใน C-glucosyl flavones จากสารสกัดใบพญาขอ 6 ตัวคือ vitexin, isovitexin, shaftoside, isomollupentin-7-O- β - glucopyranoside, orientin and isoorientin

เกษทัย ปัญญาคม [18] พบสารที่มีสูตรโครงสร้างคล้ายคลึงกับ คลอโรฟิลล์เอ และ คลอโรฟิลล์บี 5 ชนิดคือ 13²-hydroxy-(13²-s)-chlorophyll b, 13²-hydroxy-(13²-R)-chlorophyll b, 13²-hydroxy-(13²-R)-phaeophytin b, 13²-hydroxy-(13²-s)- phaeophytin a และ 13²-hydroxy-(13²-R)- phaeophytin a รวมทั้งพบสารในกลุ่มกลูโคไซด์ คือ Stigmasteryl-3-O- β -D- glucopyranoside

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A.Y.El-Etre [19] ศึกษาการใช้สารสกัดจากใบมะกอก มาเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อน ได้ ทดลองการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสารละลายไฮโดรคลอริก โดโรครอริก เข้มข้น 2 โมลาร์ ซึ่งได้ทำการทดลองโดยใช้เทคนิคทาเฟลโพลาไรเซชัน (Tafel polarization) ได้มี การสกัดสารจากใบมะกอกโดยนำใบมะกอกแห้งทำให้ละเอียด ต้มในน้ำเดือด 3 ชั่วโมง กรองแล้ว ระบายใน Steam bath และ ทิ้งกากของแข็งที่ได้ไว้ทิ้งคืนเพื่อทำให้แห้งอย่างสมบูรณ์ เตรียม สารละลายโดยน้ำหนักจากของแข็งที่รวบรวมได้ และเตรียมความเข้มข้นที่ต้องการโดยการทำให้ เจือจาง (Dilution) จากผลการทดสอบการกัดกร่อนโดยวิธี โพเทนชิโอสแตติกโพลาไรเซชัน พบว่า ประสิทธิภาพของการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนจะดีขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ สารสกัดจากใบมะกอก

เชิดชัย ละอองทิพรส และ ณรงค์ ผังวิวัฒน์ [20] ศึกษาการหน่วงการกัดกร่อนโดย ผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ โดยทำการศึกษาการกัดกร่อนของ เหล็ก อะลูมิเนียม และ ทองแดงที่เคลือบผิว โดยใช้สารสกัดจากธรรมชาติ ได้แก่ ใบกระโดน ใบขิงโค ใบฝรั่ง ใบชมพู และใบมะลิ ด้วย คลอโรฟอร์ม และเฮกเซน ทำการทดสอบในสถานะของสารละลาย 3 ชนิดคือ กรดไฮโดรคลอริก

เข้มข้น 5% โซเดียมคลอไรด์ เข้มข้น 3.5% และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.5% วิธีการทดลอง นำเหล็ก อะลูมิเนียม และทองแดง ที่ขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายหยาบและละเอียด ตามลำดับ นำโลหะแต่

ละลายในสารสกัด (ความเข้มข้น 5% โดยปริมาตรต่อปริมาตร) นาน 15 วินาที และปล่อยให้แห้งในอากาศนาน 10 วินาที จุ่มชิ้นโลหะลงในสารสกัดอีกครั้งแล้วยกขึ้นจากสารสกัดทันที เพื่อเพิ่มความหนาของสารสกัดที่เคลือบ จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วนำโลหะที่เคลือบนำมาทดสอบการกัดกร่อนโดยแช่ในสารละลาย 3 สภาวะ นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาคำนวณ โดยใช้เทคนิคการหาน้ำหนักที่หายไป (weight loss method) และวิธีโพเทนชิโอไดนามิกส์ (potentiodynamic method) จากผลการทดสอบการหน่วงการกัดกร่อนของเหล็ก อะลูมิเนียม และทองแดงพบว่าสารสกัดจากใบฝรั่งด้วยเฮกเซน จะให้ผลการหน่วงการกัดกร่อนดีที่สุดในทุกสภาวะที่ทดสอบ

Pandian Bothi Raja and Mathur Gopalakrishnan Sethuraman [21] ศึกษาการกัดกร่อนของเหล็กกล้าอะลูมิเนียม ในกรดซัลฟิวริก 1 โมลาร์ จากผลจากการศึกษา น้ำหนักโมเลกุลที่หายไปปรากฏว่า ฟริกไทยเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีที่สุดที่อุณหภูมิสูง กระบวนการยับยั้งเกิดโดยการดูดซับ ซึ่งแสดงได้ตามทฤษฎีการดูดซับของเทมกิน (Temkin absorption) และแสดงความสามารถในการยับยั้งของสารสกัดฟริกไทยได้จากกราฟทาเฟล ทำการสกัดให้ได้หลายความเข้มข้นโดยปรับปริมาณของผงฟริกไทยมาละลาย จากการทดลองที่หลายอุณหภูมิ พบว่าการยับยั้งการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารยับยั้ง เนื่องจากจำนวนโมเลกุลของตัวยับยั้งจะสามารถไปจับที่ผิวหน้าของเหล็กกล้าอะลูมิเนียมจึงทำให้กรดไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ จึงไม่เกิดการกัดกร่อน

Sheyreese M. Vincent et Cyril B. Okhio [22] ได้ศึกษาสารยับยั้งการกัดกร่อนจากการสกัดชาเขียว ซึ่งพบว่ามีส่วนประกอบที่สามารถละลายน้ำได้และเป็นสารอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจน กรดไขมันและออกซิเจน ซึ่งเป็นสารแอนติออกซิเดนต์ จากคุณสมบัติจึงนำมาใช้ป้องกันการกัดกร่อนได้ โดยการใช้เป็นสารป้องกันการรวมตัวของออกซิเจนกับอิเล็กตรอนของโลหะไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น โดยทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของดีบุกในสารละลายโซเดียมโครไรต์ที่ไม่มีการเติมสารยับยั้งและเติมสารยับยั้ง จากผลการทดลองพบว่าสารสกัดใบชาเขียวสามารถทำให้การแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนลดลงได้ จึงสามารถยับยั้งการกัดกร่อนได้

L. Valek and S. Martinez [23] ศึกษาสารยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงโดยสารสกัดจากใบสะเดาอินเดีย ในกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลาร์ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนกับสารยับยั้งกร่อนที่ดีคือ 2-acetamino-5-mercapto-1,3,4-thiadiazole และ 1,2,3-benzotriazole สะเดาอินเดียมีประสิทธิภาพดีกว่า 1,2,3-benzotriazole ในกรดซัลฟิวริก จากการทดสอบสารสกัดจากสะเดาอินเดีย มีสมบัติเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.5 โมลาร์ ขณะที่ 2-acetamino-5-mercapto-1,3,4-thiadiazole ก็มีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีเช่นกัน ในทางตรงข้าม 1,2,3-benzotriazole จะแสดงสมบัติการยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีในด้านแอโนดของกราฟโพราไรเซชัน จาก Anodic Polarization เส้นกราฟที่ไม่ได้เติมตัวยับยั้งจะมีค่าสูงกว่าเส้นอื่นๆ เพราะเกิดชั้นของ Cu_2O ขึ้นเมื่อเติมตัวยับยั้งชนิดต่างๆ ลงไป เส้นกราฟจะมี

แนวโน้มมาทางด้านที่ความเข้มของกระแสไฟฟ้าลดลงเพราะเกิดชั้นป้องกันชั้นที่โลหะทองแดง ซึ่ง 1,2,3-benzotriazole จะแสดงการป้องกันได้ชัดเจนที่สุด จาก Frankin Isotherm จะอธิบายการดูดซับของตัวยับยั้งกับพื้นผิวของโลหะทองแดง พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มของตัวยับยั้งจะเกิดชั้นป้องกันมากขึ้นจนกระทั่งค่าความเข้มข้นหนึ่งจะมีพื้นที่ของชั้นป้องกันคงที่ ซึ่งสรุปได้ว่าสารสกัดจากสะเดาอินเดีย มีสมบัติของการยับยั้งการกัดกร่อนของCu ในสารละลายที่เป็นกรดได้

สุภาณี พิมพ์สมาน และคณะ [24] ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบจากพญาขอ โดยตรวจวัดความสามารถของสารสกัดในการเก็บจับอนุมูลอิสระ (scavenging activity) และความสามารถในการรีดิวส์ หรือความสามารถในการปล่อยอิเล็กตรอนให้แก่ Fe^{3+} (Ferric reducing activity) พบว่าสารสกัดหยาบพญาขอมี scavenging activity และ Ferric reducing activity อย่างเด่นชัดถึงแม้ว่าจะต้องใช้สารสกัดในความเข้มข้นสูง โดยมีวิธีสกัดสารจากใบพญาขอโดยนำใบพญาขอที่อบแห้งแล้ว มาบดละเอียดคานาผงตัวอย่างที่ได้มา 2.5 กิโลกรัม หมักด้วยเอทานอล 50% จำนวน 12 ลิตร เป็นเวลา 7 วัน 2 ครั้ง นำสารสกัดที่ได้มาระเหยจนไม่มีตัวทำละลายระเหยออกมานำสารสกัดเก็บใน deep freezer บางส่วนไปอบแห้งด้วย vacuum oven

Phan Toan Thang et al [25] ได้ศึกษาผลของ Anti-oxidant ของสารสกัดใบสาบเสือต่อเซลล์เนื้อเยื่อผิวหนังชั้นในและหนังกำพร้า ซึ่งสารสกัดจากใบสาบเสือนี้ สามารถสร้างเซลล์เนื้อเยื่อในการรักษาบาดแผลได้ดีขึ้น มีการสกัดสารจากใบสาบเสือโดยใช้ใบสด(10 กิโลกรัม)ทำให้แห้งโดยการตากแดดเป็นเวลา 5 วัน จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสอีก 3 วัน ใช้ใบแห้งละเอียด 1 กิโลกรัมแบ่งเป็น 3 ส่วน จากนั้นสกัดด้วยเอทานอล 4000 มิลลิลิตร ใน Soxhlet apparatus เป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่อง Rotary vacuum evaporator

สุรีย์ สุกตัญญู [26] ได้ทำการแยกสาร apigenin ออกจากใบรางจืดดอกม่วงโดยศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการละลายของสารละลาย 3 ชนิด ที่ใช้การสกัดสารประกอบจากใบรางจืด ได้แก่ น้ำกลั่น เอทิลแอลกอฮอล์ 95% และเมทิลแอลกอฮอล์ โดยใช้ใบรางจืด 1 ส่วนต่อสารละลาย 10 ส่วน (1กรัม: 10 มล.) สกัดโดยใช้ความร้อนสกัดภายในเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้ Refluc และแท่งแม่เหล็กกวนช่วยในการสกัด จากนั้นกรองครั้งแรกด้วยถุงผ้าฝ้ายและครั้งที่สองด้วยกระดาษกรองได้สารละลายสีเขียวเข้ม ซึ่งทำให้แห้งต่อไปโดยใช้เครื่องโรตารีอีแวปอเรเตอร์สำหรับสารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ และเมทิลแอลกอฮอล์ และใช้ Spray dryer สำหรับสารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำ จะได้สารสกัดแห้ง(crude extract) แล้วนำสารสกัดที่ได้ไปทดสอบหาปริมาณ apigenin โดยใช้ HPLC ได้ปริมาณ apigenin จากสารสกัดใบรางจืดด้วยน้ำกลั่น เมทิลแอลกอฮอล์ และ เอทิลแอลกอฮอล์ คิดเป็น 0.03 0.04 และ 0.013 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็น ราชภัฏรำไพพรรณี อุ่นศิริไธสง [27] ศึกษาคุณสมบัติเชิงหน้าที่และโภชนเภสัชของสารสกัดรางจืดการค้า โดยนำใบรางจืดไปสกัดด้วยน้ำ เอทานอล และอะซิโตน จากการศึกษาส่วนประกอบและ

ตรวจสอบคุณสมบัติเชิงหน้าที่และ โภชนเภสัชของสารสกัดรางจืด พบว่ารางจืดมีองค์ประกอบหลักคือฟีนอลิก คาโรทีนอยด์และคลอโรฟิลล์ โดยพบปริมาณสารฟีนอลิกสูงสุด (24.3 ไมโครกรัมของกรดกาแลค) ในสารสกัดน้ำ รองลงมาเป็นสารสกัดเอทานอล (5.65 ไมโครกรัมของกรดกาแลคและน้อยที่สุดในสารสกัด อะซีโตน (1.42 ไมโครกรัมของกรดกาแลค) จากการตรวจหาส่วนประกอบหลักโดยวิธี HPLC พบว่ากรดคาเฟอิก และ อะพิจินิน (apiginin) เป็นส่วนประกอบหลักในสารสกัดน้ำ และสารประกอบคลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบหลักในสารสกัดเอทานอลและสารสกัดอะซีโตน สารสกัดน้ำและแสดงฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการตรวจสอบด้วยวิธี DPPH assay ที่ค่า EC_{50} สูงสุดที่ 0.13 มิลลิกรัมกรดกาแลคต่อมิลลิลิตร ขณะที่สารสกัดเอทานอลและอะซีโตนแสดงค่า EC_{50} ที่ 0.26 และ 0.61 มิลลิกรัมกรดกาแลคต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้การแสดงผลฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยการตรวจสอบด้วยวิธี FRAP assay สูงสุดที่ 0.93 มิลลิโมลต่อกรัมในสารสกัดน้ำ รองลงมาเป็นสารสกัดเอทานอลและอะซีโตนที่ค่า 0.18 และ 0.04 มิลลิโมลต่อกรัม ตามลำดับ

A.Y. El-Etre et al [28] ศึกษาการนำพืชมาทดลองใช้เป็นตัวยับยั้ง เพื่อลดการใช้สารเคมีที่ราคาแพงและเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม พืชที่ใช้ทดลองคือ ต้นเทียนกิ่ง พบมากในแอฟริกาและเอเชียตอนใต้ ใช้ทำเป็นยาและสีย้อม ซึ่งในใบเทียนกิ่งมีสาร Lawson (2-hydroxy-1,4-naphthoquinone) และ tannin จึงนำมาสกัดเพื่อทดสอบความสามารถยับยั้งการกัดกร่อนของ C-steel nickel และ zinc ในตัวกลางต่างๆ คือสารละลายกรด เบส และกลาง นำโลหะทั้ง 3 ชนิด มาทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนด้วยเทคนิคโพลาไรเซชัน ซึ่งไม่ใส่และใส่สารสกัดใบเทียนกิ่งที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยวัดค่าศักย์ไฟฟ้า (E_{corr}) และกระแสไฟฟ้า (I_{corr}) ของการกัดกร่อนระหว่างตัวกลางทั้ง 3 ชนิด ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบเทียนกิ่ง ประสิทธิภาพการยับยั้งจะเพิ่มขึ้นด้วย เปรียบเทียบผลการทดลองของโลหะแต่ละชนิดในตัวกลางต่างๆ พบว่า C-steel และ nickel จะมีประสิทธิภาพยับยั้งการกัดกร่อนดีที่สุดที่สุดในสารละลายกรด รองลงมาคือเบสและกลาง ตามลำดับ ส่วน Zinc มีประสิทธิภาพยับยั้งดีที่สุดที่สุดในสารละลายกลาง รองลงมาคือ เบสและกรด ตามลำดับ ซึ่งสารสกัดใบเทียนกิ่งนี้มีพฤติกรรมเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนแบบผสม (Mixed inhibitor) อธิบายการยับยั้งโดยการดูดซับของโมเลกุลสารสกัดใบเทียนกิ่งบนผิวหน้าของโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรปกคลุมผิวหน้าของโลหะ ตามหลัก Langmuir Isotherm เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดใบเทียนกิ่งเพิ่มขึ้นการดูดซับจะมากขึ้นด้วย จากการทดลองสรุปได้ว่า สารสกัดใบเทียนกิ่งเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีสำหรับ C-steel nickel และ zinc ในตัวกลางสารละลายกรด กลาง และเบส

ศิริพร โอโกโนกิ และคณะ [9] ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีจากสารสกัดใบรางจืด ด้วยวิธี Maceration โดยใช้ใบรางจืดสด สกัดด้วย เอทานอล 95% โดยแช่ไว้ในถังที่อุณหภูมิห้องใช้สารสกัดทุก 2-3 วันและเติม เอทานอล 95% ใหม่ สกัดต่อเนื่องจนกระทั่งน้ำยาสกัดใสไม่มีสีเขียว สารสกัดแอลกอฮอล์ที่ได้ นำมาระเหยงแอลกอฮอล์ออกโดยเครื่อง rotary evaporator ได้สารสกัดเข้มข้นเก็บ

ไว้ เมื่อทดสอบทางเคมีพบว่าสารสกัดที่ได้จากเอทานอล มีสารประกอบในกลุ่ม alkaoids, terpenes, cumarin และ anthraquinone

จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องข้างต้นนี้ทางคณะผู้จัดทำจึงเลือกใช้ใบพืช 3 ชนิด คือ รากจัดสาวเสื่อ และ พญาขอ มาทำการสกัด เพื่อศึกษาการยับยั้งการกักร่อนของเหล็กกล้า CK 45 ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ด้วยเทคนิคโพเทนชิโอดีนามิก โพลาริเซชัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้น 0.05 โมลาร์
2. เอทานอล เกรดวิเคราะห์
3. เอทานอล 95%
4. น้ำกลั่น
5. โซเดียมซัลเฟต
6. สารละลายอิมิตัวของโพแทสเซียมคลอไรด์
7. พงอาการ์ (Agar)
8. กรดไฮโดรคลอริก 1:1

3.2 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องโรตารีอีแวปอเรเตอร์ (Rotary evaporator)
2. แท่นให้ความร้อน
3. เครื่องโพเทนชิโอสแตต (Potentiostat)
4. เหล็กกล้าหมายเลข CK45
5. โลหะแพลตินัม
6. ชุดทดสอบการกัดกร่อน
7. ขั้วอ้างอิงชนิดคาโลเมลอิมิตัว
8. บริษัทเครื่องแก้ว
9. กระดาษทราย เบอร์ 400 และ 1000
10. เครื่องตัดโลหะ
11. ตะไบ
12. พาราฟิล์ม

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การสกัดสารจากใบพืช

1. นำใบพืชที่ได้มาจากร้านสมุนไพรบ้านดงบัง จ.ปราจีนบุรี ล้างใบพืชด้วยน้ำสะอาด
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
แล้วผึ่งให้แห้ง ชั่งน้ำหนักพืชที่ต้องการสกัด 200 กรัม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ฉีกใบพืชเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วใส่ในบีกเกอร์ 3000 มิลลิลิตร เติมน้ำเอทานอล เกรดวิเคราะห์ 300 มิลลิลิตร ปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียมบางทิ้งไว้ 3 วัน
3. เมื่อครบ 3 วันจึงเปลี่ยนเอทานอล โดยกรองกากใบพืชออกและเก็บสารที่ได้ไว้ในขวดสีชา จากนั้นเติมน้ำเอทานอลใหม่อีก 300 มิลลิลิตร ปิดด้วยแผ่นอะลูมิเนียมบางแล้วทิ้งไว้ อีก 3 วัน จึงกรองเอาสารที่ได้ไปรวมกับสารในขวดสีชา
4. นำสารที่สกัดได้ ไประเหยเอทานอลและน้ำออก ด้วยเครื่องโรตารีอีแวปอเรเตอร์จนแห้งจะได้สารสกัดที่เข้มข้น
5. เก็บรักษาสารที่สกัดได้ในขวดรูปชมพู่ นำไปพ่นแก๊สไนโตรเจนและปิดฝาให้สนิทด้วยพาราฟิล์ม แล้วห่อด้วยแผ่นอะลูมิเนียมบางเพื่อป้องกันแสง

3.3.2 การหาน้ำหนักที่แท้จริงของสารสกัด

1. ปิเปตสารสกัดที่ได้จากข้อ 3.3.1 ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ ทิ้งไว้ให้แห้ง
2. ชั่งน้ำหนักของของแข็งที่เหลือ

3.3.3 การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เตรียมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์
 - ปิเปตกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 96 % ปริมาตร 5.5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร 2000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น
2. เตรียมกรดไฮโดรคลอริก 1:1
 - เตรียมกรดไฮโดรคลอริก 100 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้ว
3. เตรียมสารละลายอิมตัวของโพแทสเซียมคลอไรด์
 - ต้มน้ำกลั่นแล้วเติมโพแทสเซียมคลอไรด์ จนมากเกินพอ
4. เตรียมสะพานเกลือ
 - ชั่งผลอาการ์ 0.5 กรัม และ โซเดียมซัลเฟต 0.1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ต้มจนเดือด
 - เมื่อสารเริ่มเย็นแล้ว ฉีดใส่เซลล์เคมีไฟฟ้าเพื่อทำสะพานเกลือ ปล่อยให้สารแข็งตัว
5. เตรียมสารสกัด
 - เตรียมสารสกัด ความเข้มข้น 1000 ppm โดยปิเปตสารสกัดที่เก็บไว้ 0.5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์
 - ทำเช่นเดียวกันเพื่อเตรียมสารสกัดความเข้มข้น 2000 3000 ppm โดยปิเปตสารสกัด มา 1 และ 1.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาภรณราชวิทยาลัย เพื่อบริหารงานภายในโรงเรียนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกนอกระบบโรงเรียนได้ การนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

- ตัดชิ้นงานโลหะให้ได้ขนาดตามต้องการ ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 400 แล้วขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 1000 โดยใช้น้ำช่วยในการขัด แล้วทำความสะอาดด้วยน้ำ
- วัดขนาดชิ้นงานแล้วจับบันทึก จากนั้นล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาด
- แช่ชิ้นงานตัวอย่างในเอทานอล 95% ในเครื่องอัลตราโซนิค เป็นเวลา 10 นาที
- เป่าชิ้นงานให้แห้งด้วยลมร้อน

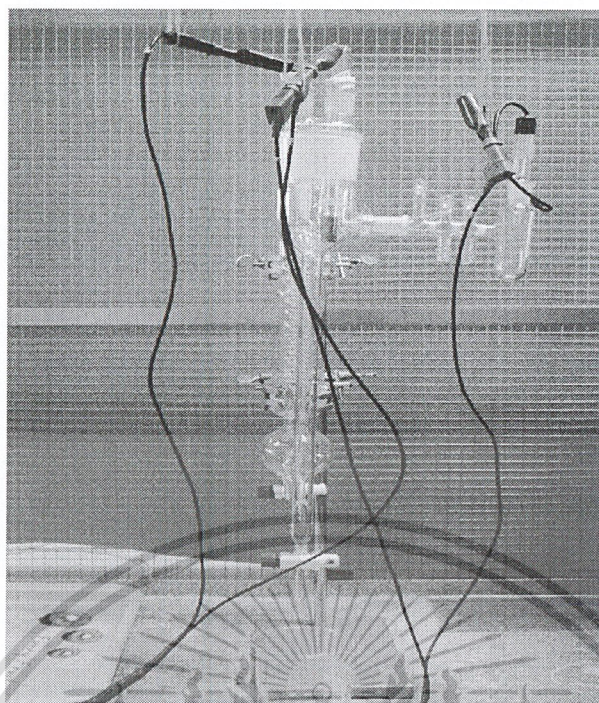
7. เตรียมขั้วแพลตตินัม

- ล้างขั้วแพลตตินัมด้วยน้ำยาทำความสะอาด
- แช่ในกรดไฮโดรคลอริก 1:1 เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นขัดและล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาด
- ล้างด้วยเอทานอล 95% อีกครั้ง แล้วเป่าให้แห้ง

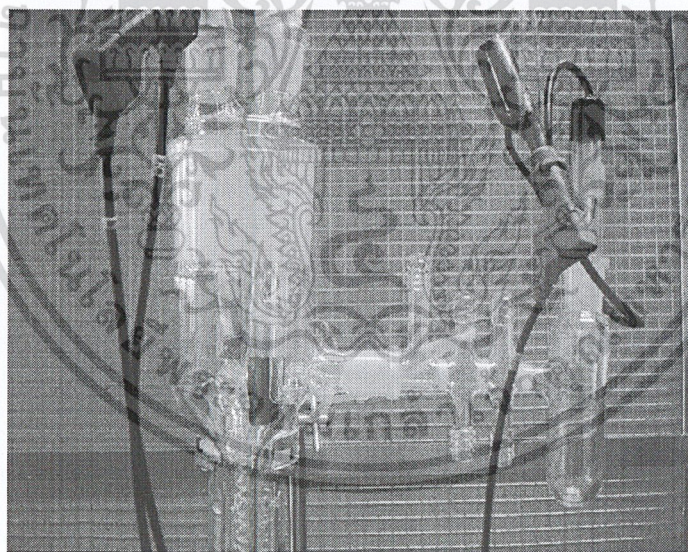
3.3.4 วิธีการทดลอง

1. ล้างชุดทดสอบด้วยน้ำกลั่น ผึ่งให้แห้ง แล้วกลั้วด้วยกรดที่เติมสารสกัดที่ต้องการทดสอบ
2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องโพเทนชิโอสแตต เลือกโปรแกรม ควบคุมกรอกข้อมูลพื้นที่ผิวของชิ้นงานตัวอย่าง เลือกสภาวะการทดสอบใช้อัตราเร็วในการวัด 1000 มิลลิโวลต์ต่อชั่วโมง วัดค่าศักย์ไฟฟ้าในช่วงตั้งแต่ -700 ถึง 800 มิลลิโวลต์
3. จัดอุปกรณ์ชุดทดสอบการกัดกร่อนให้เรียบร้อยดังรูปที่ 3.1 แล้วเติมสารสกัดที่เตรียมไว้ เปิดปั๊มลมเพื่อเติมอากาศลงในสารละลายและให้เกิดการกวนสารละลาย
4. ต่อขั้วไฟฟ้าจากเครื่องโพเทนชิโอสแตตกับชุดทดสอบการกัดกร่อน
5. ใส่ชิ้นงานตัวอย่างและขั้วแพลตตินัมในชุดทดสอบการกัดกร่อน
6. ใส่ขั้วอ้างอิงผ่านสะพานเกลือ
7. เริ่มวัดค่าศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน
8. เมื่อวัดเสร็จแล้ว จึงบันทึกข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ชุดทดสอบการกักกร่อน



รูปที่ 3.2 เซลล์เคมีไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

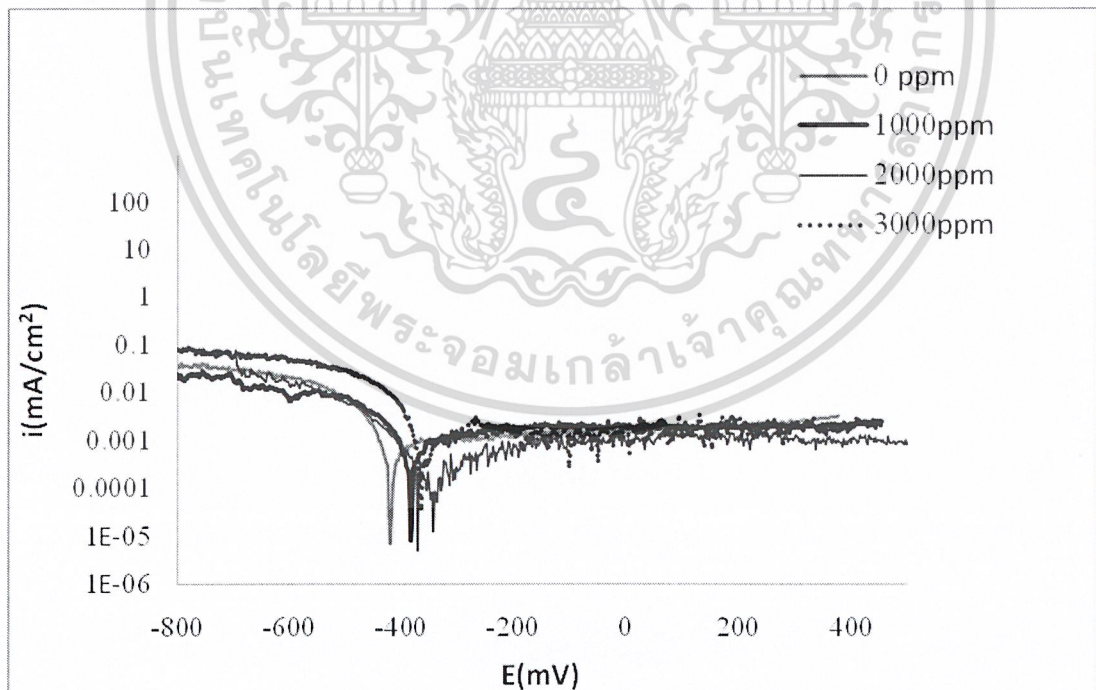
4.1 น้ำหนักที่แท้จริงของสารสกัด

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักที่แท้จริงของสารสกัด

ปริมาตรสารสกัด 1.5 ml	น้ำหนักของสารที่เหลือ (g)	ความเข้มข้น (%W/V)
รางจืด	0.09	6.00
สาบเสือ	0.11	7.33
พญาขอ	0.09	6.00

จากตารางที่ 4.1 เมื่อใช้ปริมาณสารสกัดจากใบรางจืด สาบเสือ และพญาขอ ในปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ทำการทดสอบหาน้ำหนักที่แท้จริงโดยควบคุมสภาวะในการระเหยให้เหมือนกันพบว่าสารสกัดทั้ง 3 ชนิด มีน้ำหนักของสารที่เหลือใกล้เคียงกันในช่วง 0.09 ถึง 0.11 กรัม และมีความเข้มข้นของสารสกัดใกล้เคียงกันที่ประมาณ 6.00 - 7.33 %W/V

4.2 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของสารสกัดจากใบรางจืด



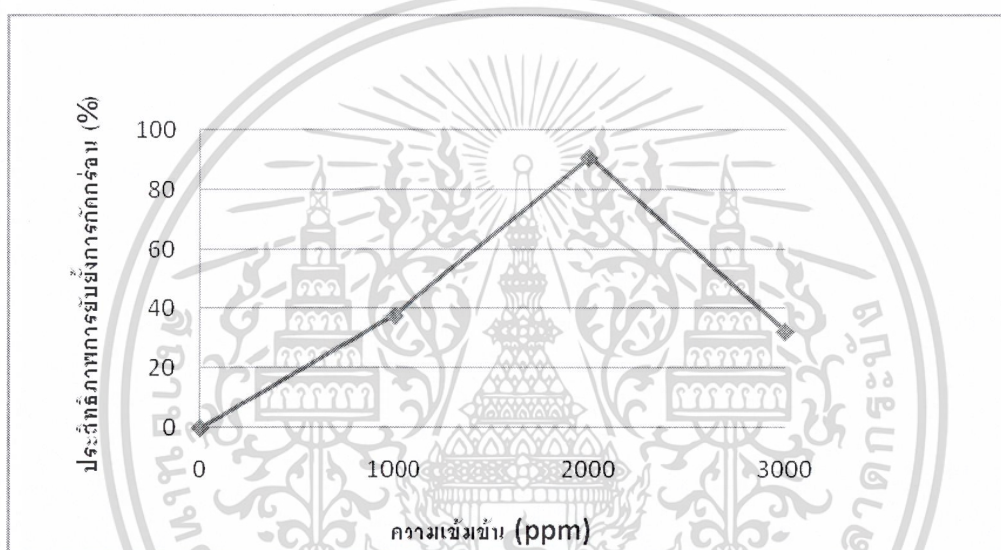
รูปที่ 4.1 กราฟโพลาริเซชันของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีและมีสารสกัดจากใบรางจืด

ความเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการกัดกร่อนจากสารสกัดใบรางจืด

ความเข้มข้น ของสารสกัด (ppm)	E_{corr} (mV)	i_{corr} (mA/cm ²)	β_a (mV/decade)	$-\beta_c$ (mV/decade)	R_p (V/A/cm ²)	ประสิทธิภาพ ในการยับยั้ง (%)
0	-421	1.00×10^{-3}	4.98×10^4	1.24×10^4	4.34×10^6	0
1000	-398	6.23×10^{-4}	33.26×10^3	8.44×10^3	4.7×10^6	37.7
2000	-354	0.93×10^{-4}	34.82×10^3	7.59×10^3	2.69×10^7	90.7
3000	-345	6.76×10^{-4}	16.54×10^3	6.14×10^3	0.28×10^7	32.4

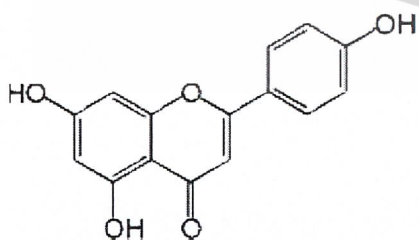


รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารสกัดใบรางจืด

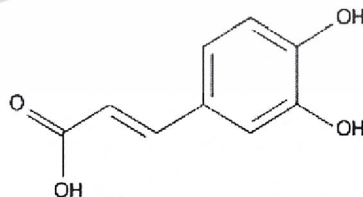
กราฟรูปที่ 4.1 แสดงพฤติกรรมกรรมการกัดกร่อนของโลหะ CK 45 โดยทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของสารสกัดใบรางจืดเมื่อไม่เติมและเติมสารสกัดที่ความเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อน (E_{corr}) ของกราฟแต่ละความเข้มข้นมีค่า -421 -398 -354 และ -345 mV ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนเลื่อนไปทางด้านบวกมากขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบรางจืด พิจารณาข้อมูลในตารางที่ 4.2 ซึ่งได้จากกราฟโพลาริเซชันของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีและมีสารสกัดจากใบรางจืด พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบรางจืดจาก 0 ppm เป็น 1000 และ 2000 ppm ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน (i_{corr}) มีแนวโน้มลดลงจาก 1×10^{-3} เป็น 6.23×10^{-4} และ 0.93×10^{-4} mA/cm² ตามลำดับ แต่การทดสอบที่เติมสารสกัดใบรางจืด 3000 ppm ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนปรับเปลี่ยนเป็น 6.76×10^{-4} mA/cm² ซึ่งความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนนี้จะแปรผกผันกับประสิทธิภาพการยับยั้งไม่มากนักใดๆ ฟังสน อีกทั้งห้ามมิให้เด็ดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกัดกร่อน โดยการทดสอบที่เติมสารสกัดใบรางจืดเข้มข้น 2000 ppm มีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนต่ำที่สุด จะมีประสิทธิภาพยับยั้งการกัดกร่อนสูงที่สุดคือ 90.7 % ส่วนการทดสอบที่เติมสารสกัดใบรางจืดเข้มข้น 1000 และ 3000 ppm มีค่าใกล้เคียงกันคือ 37.7 และ 32.4 % นอกจากนี้ค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ (R_p) จะมีค่ามากขึ้นตามค่าประสิทธิภาพที่ยับยั้งการกัดกร่อนด้วยโดยการทดสอบที่ใช้สารสกัดใบรางจืดเข้มข้น 2000 ppm จะมีค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ 2.67×10^7 V/A/cm² ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สารสกัดใบรางจืดที่ความเข้มข้นอื่น สารสกัดใบรางจืดเข้มข้น 3000 ppm มีค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ต่ำที่สุดเท่ากับ 0.28×10^7 V/A/cm² ส่วนการทดสอบที่ไม่เติมและเติมสารสกัดใบรางจืดเข้มข้น 1000 ppm มีค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์เท่ากับ 0.43×10^7 และ 0.47×10^7 V/A/cm² ตามลำดับ

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 4.2 ค่ากระแสไฟฟ้ากัดกร่อนซึ่งเป็นตัวบอกระดับการกัดกร่อนของโลหะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบรางจืด แต่หากเพิ่มความเข้มข้นมากเกินไปค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นอีกดังข้อมูลที่แสดงในตาราง 4.2 ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนจะลดลงต่ำสุดที่ความเข้มข้นของสารสกัดใบรางจืด 2000 ppm แต่เมื่อเพิ่มเป็น 3000 ppm ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนเพิ่มสูงขึ้นอีก นั่นแสดงว่าสารสกัดจากใบรางจืดจะทำให้เหล็กกล้า CK 45 มีอัตราการกัดกร่อนน้อยที่สุดเมื่อเติมสารสกัดใบรางจืด 2000 ppm ลงในสารละลายที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อพิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนที่ได้จากกราฟโพลาไรเซชันพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบรางจืดค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากทำให้สารละลายมีความสามารถออกซิไดซ์อิเล็กตรอนจากเหล็กกล้า CK45 ได้มากขึ้น เพราะในสารสกัดใบรางจืด มีสารพวก Apigenin Caffeic acid และ Delphinidin [10] ดังแสดงในรูป 4.3

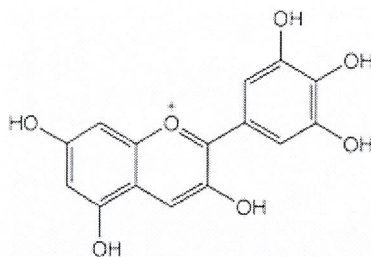


Apigenin [29]



Caffeic acid [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Delphinidin [31]

รูปที่ 4.3 สารที่พบในสารสกัดจากใบรางจืด

ซึ่งสารเหล่านี้นอกจากจะช่วยยับยั้งการกัดกร่อนด้วยการดูดซับที่ผิวของโลหะแล้วยังเป็นตัวออกซิไดซ์ได้อีกด้วยถ้าเดิมในปริมาณมาก ซึ่งทำให้เกิดการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดใบรางจืดมีค่าเป็น 3000 ppm

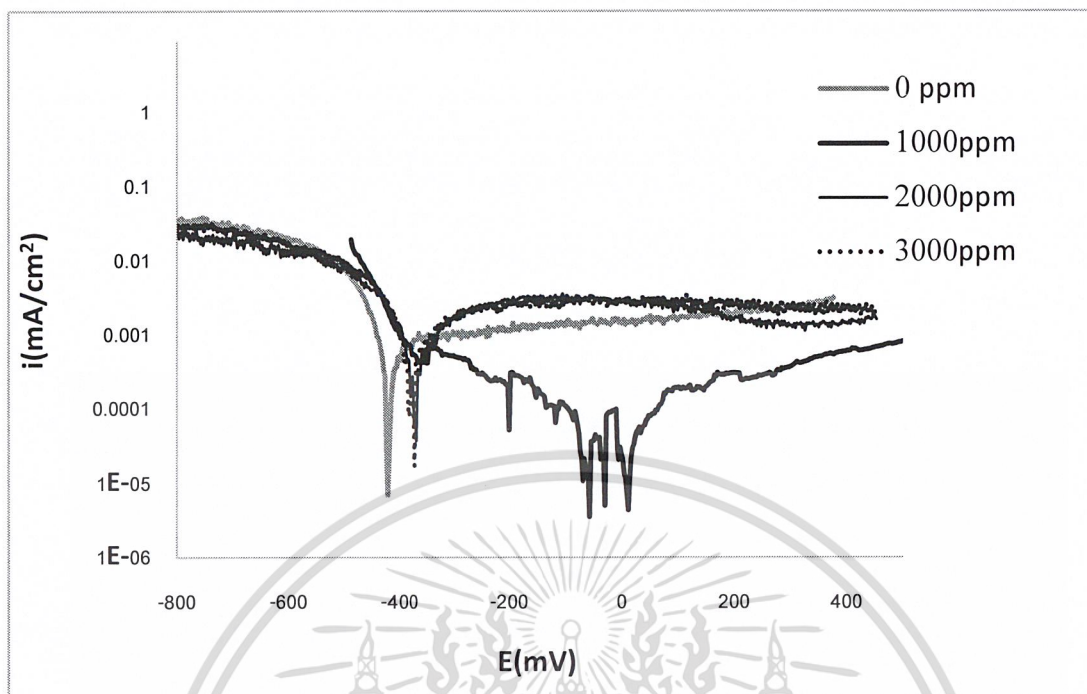
ค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์จะแปรผกผันกับค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนคือค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์สูงเมื่อความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าต่ำ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเหล็กกล้า CK45 มีค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์สูงที่สุดเมื่อทำการทดสอบโดยเติมสารสกัดใบรางจืดเข้มข้น 2000 ppm นั้นแสดงว่าเหล็กกล้า CK45 เกิดการกัดกร่อนได้ยาก ส่วนที่ความเข้มข้นสารสกัดใบรางจืด 3000 ppm มีค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ต่ำ นั้นหมายความว่าโลหะ CK45 จะเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายกว่าเมื่อถูกโพลาไรซ์ในขนาดที่เท่ากัน

ค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดใบรางจืดเพิ่มจาก 0 เป็น 1000 และ 2000 ppm ตามลำดับ แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นเป็น 3000 ppm ค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนจะต่ำลงดังแสดงได้จากรูปที่ 4.2 จากกราฟสารสกัดใบรางจืดมีประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนได้แต่ถ้าใช้ความเข้มข้น 2000 ppm จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดซึ่งยับยั้งการกัดกร่อนได้ถึง 90.7 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ สารสกัดใบรางจืดสามารถยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า CK45 ได้ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยสารที่พบในสารสกัดจากรายงานทางวิชาการอื่น[22]แสดงให้เห็นว่ามีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว ในโครงสร้าง(lone pair) จะรวมดูดซับที่ผิวโลหะเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเกิดเป็นชั้นของสารอินทรีย์ เคลือบอยู่บนผิวหน้าของโลหะและป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิวชิ้นงาน แต่ถ้าสารสกัดมีความเข้มข้นมากเกินไปจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการออกซิไดซ์ให้กับสารละลายส่งผลให้การกัดกร่อนมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการทดสอบที่ใช้ความเข้มข้นสารสกัดใบรางจืด 3000 ppm มีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นและประสิทธิภาพการกัดกร่อนลดลง ด้วยเหตุนี้จึงควรใช้สารสกัดใบรางจืดในความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 2000 ppm

งเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของสารสกัดจากใบสาบเสือ

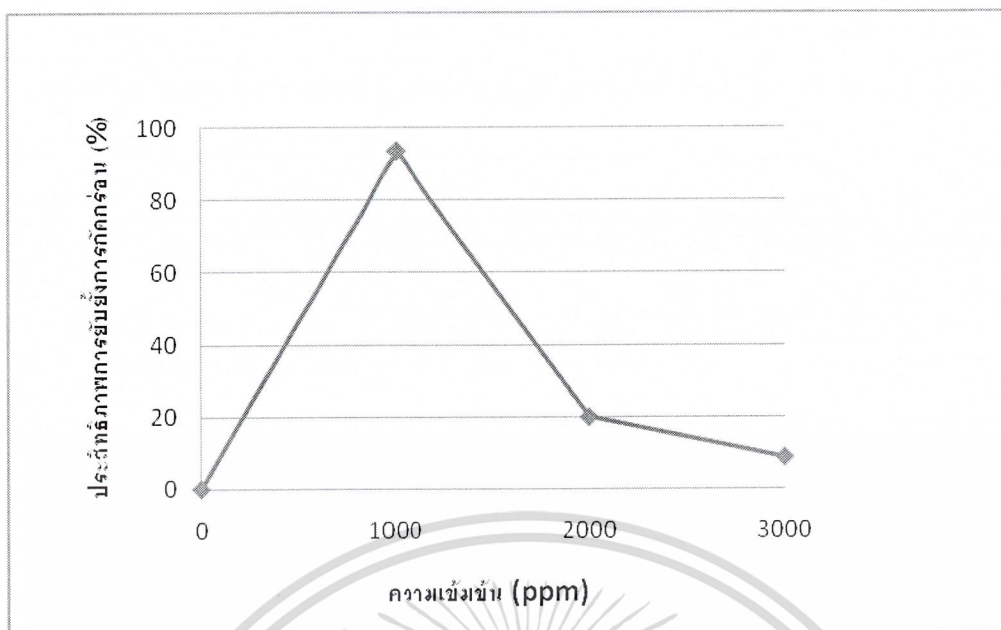


รูปที่ 4.4 กราฟโพลาไรเซชันของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีและมีส่วนสกัดจากใบสาบเสือ ความเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการกัดกร่อนจากสารสกัดใบสาบเสือ

ความเข้มข้น ของสารสกัด (ppm)	E_{corr} (mV)	i_{corr} (mA/cm ²)	β_a (mV/decade)	$-\beta_c$ (mV/decade)	R_p (V/A/cm ²)	ประสิทธิภาพ ในการยับยั้ง (%)
0	-421	1.00×10^{-3}	4.98×10^4	1.24×10^4	4.34×10^6	0
1000	-29	6.55×10^{-5}	3.58×10^5	1.57×10^5	7.25×10^8	93.45
2000	-374	8.01×10^{-4}	3.09×10^3	1.65×10^3	5.85×10^5	19.90
3000	-373	9.13×10^{-4}	3.61×10^3	1.55×10^3	5.15×10^5	8.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารสกัดใบสาบเสือ

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อน ของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีสารสกัดจากใบสาบเสือนี้อาจมีค่า -421 mV เมื่อเติมสารสกัดจากใบสาบเสือที่ความเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนมีค่าเป็น -29 - 374 และ -373 mV ตามลำดับ

ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ ที่เพิ่มสารสกัดใบสาบเสือจาก 1000 เป็น 2000 และ 3000 ppm มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จาก 6.55×10^{-5} เป็น 8.01×10^{-4} และ 9.13×10^{-4} mA/cm² แต่เมื่อเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้ากัดกร่อนของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีสารสกัดจากใบสาบเสือนั้นเมื่อเติมสารสกัดเข้มข้นเท่ากับ 1000 ppm พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนลดลงประมาณ 100 เท่าเมื่อเติมสารสกัด

เมื่อคำนวณค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ พบว่าค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ของ กรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีเติมสารสกัดจากใบสาบเสือนี้อาจมีค่า 4.34×10^6 V/A/cm² และค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่มีสารสกัดใบสาบเสือความเข้มข้น 1000 ppm มีค่ามากที่สุดคือ 7.25×10^8 V/A/cm² จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานของการถูกโพลาไรซ์ของสารสกัดใบสาบเสือ 1000 ppm มีค่ามากกว่าประมาณ 100 เท่า และเมื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน ของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่เติมสารสกัดจากใบสาบเสือ 1000 ppm พบว่ามีค่าเท่ากับ 93.45 % ส่วนกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ ที่เติมสารสกัดจากใบสาบเสือ 2000 และ 3000 ppm มีประสิทธิภาพดังกล่าวเท่ากับ 19.90 % และ 8.70 % ตามลำดับ

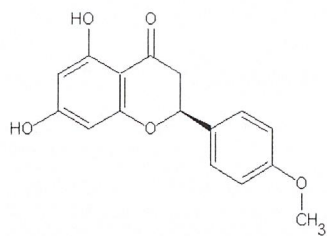
จากรูปที่ 4.4 แสดงกราฟโพลาไรเซชันของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีและมีการสกัดจากใบสาบเสือความเข้มข้น 1000 2000 3000 ppm จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด

ใบสาบเสือ ค่าศักย์ไฟฟ้ากักร่อนมีค่าเพิ่มขึ้น ถ้าสารสกัดสามารถยับยั้งการกักร่อนได้ดีนั้นค่าศักย์ไฟฟ้ากักร่อนควรจะลดลง แต่พบว่ากรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่มีสารสกัดใบสาบเสือเข้มข้น 1000 ppm ให้ค่าศักย์ไฟฟ้ากักร่อนเพิ่มขึ้นจากค่าศักย์ไฟฟ้ากักร่อนของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีสารสกัดจากใบสาบเสือมากถึง 390 mV เนื่องจากมีความสามารถในการออกซิไดซ์ (Oxidizing power) มากขึ้น ลักษณะกราฟจึงเลื่อนไปทางด้านขวาหรือค่าศักย์ไฟฟ้ากักร่อนเพิ่มขึ้นนั่นเอง

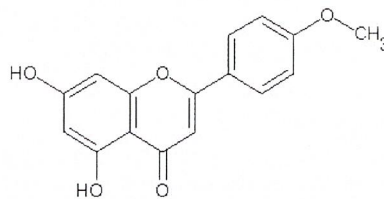
เมื่อเราคูค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักร่อน กรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่มีสารสกัดจากใบสาบเสือความเข้มข้น 1000 ppm มีค่าน้อยที่สุดดังนั้นจึงสามารถยับยั้งการกักร่อนได้ดีกว่า 2000 และ 3000 ppm ความสามารถในการป้องกันการกักร่อนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารยับยั้ง แต่จากการทดลองที่ไม่เป็นไปตามทฤษฎีอาจจะมีสาเหตุเนื่องมาจากกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่มีสารสกัดจากใบสาบเสือเข้มข้น 1000 ppm เป็นจุด optimum จึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกักร่อนดีที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดซับของสารบางตัวที่มีในสารสกัดสันนิษฐานได้ว่าเป็น Tannin Coumarin และ Flavonoid [11] บนผิวโลหะแต่เมื่อเราเพิ่มความเข้มข้นสารสกัดจากใบสาบเสือเป็น 2000 และ 3000 ppm ความสามารถในการยับยั้งการกักร่อนจะลดลงอย่างมากซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นผลมาจากออกซิเจนในสารสกัดมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามสัดส่วนของสารสกัด หรือจากความเป็นกรดที่มากขึ้นของสารจำพวก Tannin ซึ่งส่งผลให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันเพิ่มมากขึ้น และ ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นในที่สุด เมื่อคำนวณความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ พบว่าค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่มีสารสกัดใบสาบเสือเข้มข้น 1000 ppm มีค่ามากกว่าสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีสารสกัดใบสาบเสือ ถึง 100 เท่า แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการยับยั้งการกักร่อนของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่มีสารสกัดจากใบสาบเสือเข้มข้น 1000 และเมื่อคำนวณค่า ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกักร่อน พบว่ามีค่าสูงที่สุดคือ 93.45 % ซึ่งเป็นการสนับสนุนได้ว่าสารสกัดจากใบสาบเสือเข้มข้น 1000 ppm สามารถยับยั้งการกักร่อนได้ดีที่สุด ดังแสดงได้จากรูปที่ 4.5

สามารถกล่าวได้ว่าสารสกัดจากใบสาบเสือมีความสามารถในการยับยั้งการกักร่อนของเหล็กกล้า CK 45 ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ ได้ดีที่ 1000 ppm และความสามารถในการยับยั้งการกักร่อนจะลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด โดยงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าองค์ประกอบทางเคมีในใบสาบเสือส่วนใหญ่เป็น Isosakuranetin และ Acacetin [13] สันนิษฐานว่าสารเหล่านี้จะเกิดการดูดซับบนพื้นผิวเหล็กกล้า CK 45 ทำให้เกิดการยับยั้งการกักร่อนได้ โดยใช้อิเล็กตรอนคู่อิสรระที่จะยอมออกซิเจนเกาะเข้ากับผิวหน้าของเหล็กกล้า CK45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



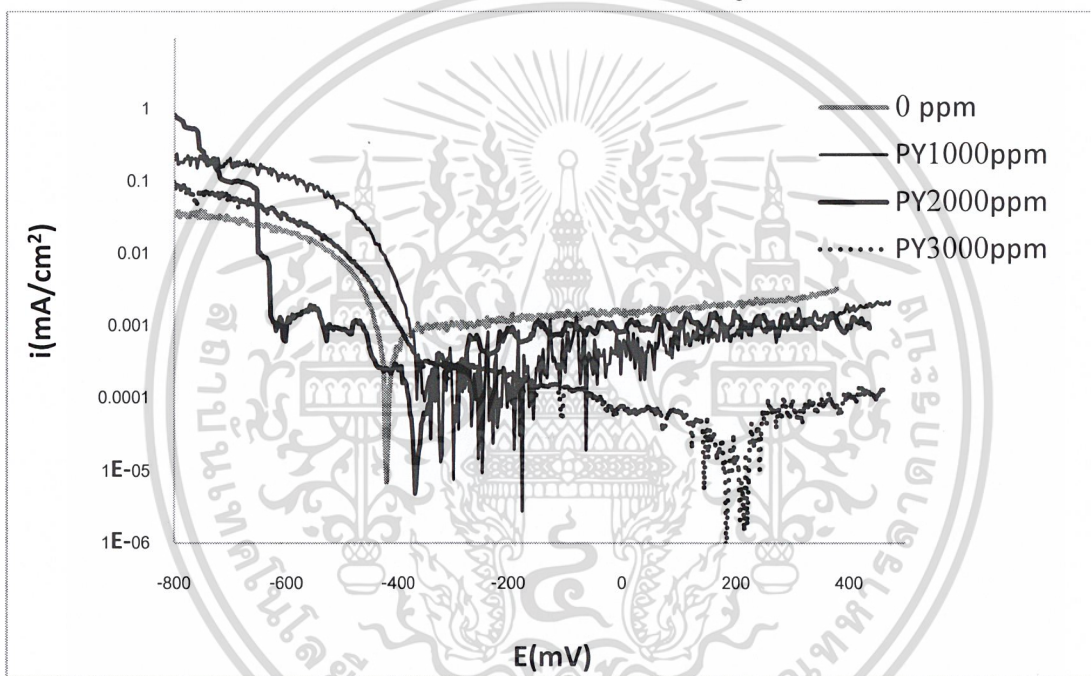
Isosakuranetin [32]



Acacetin [33]

รูปที่ 4.6 สารที่พบในสารสกัดจากใบสาบเสือ

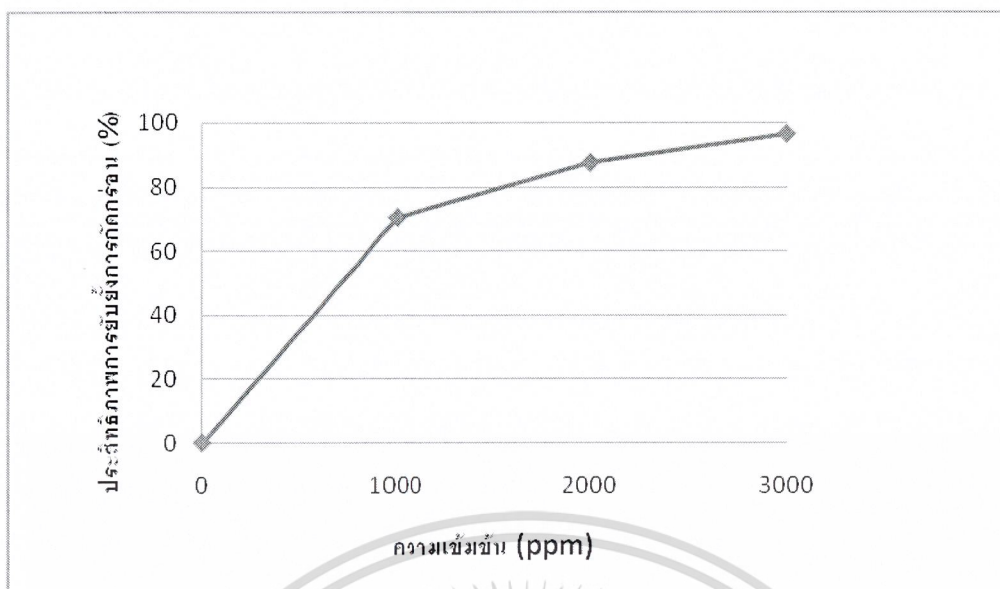
4.4 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของสารสกัดจากใบพญาขอ



รูปที่ 4.7 กราฟโพลาริเซชันของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีและมีส่วนสกัดจากใบพญาขอ ความเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการกัดกร่อนจากสารสกัดใบพญาขอ

ความเข้มข้นของสารสกัด (ppm)	E_{corr} (mV)	i_{corr} (mA/cm ²)	β_a (mV/decade)	$-\beta_c$ (mV/decade)	R_p (V/A/cm ²)	ประสิทธิภาพในการยับยั้ง (%)
0	-421	1.00×10^{-3}	4.98×10^4	1.24×10^4	4.34×10^6	0
1000	-271	2.96×10^{-4}	1.52×10^4	1.36×10^4	1.06×10^7	70.40
2000	-370	1.25×10^{-4}	1.28×10^4	2.34×10^5	4.21×10^7	87.50
3000	-185	3.52×10^{-5}	1.13×10^4	4.78×10^6	1.39×10^8	96.48



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารสกัดใบพญาขอ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลอง ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อน จากการทดลองที่ไม่เติมสารสกัดจากใบพญาขอ มีค่าเท่ากับ -421 mV และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบพญาขอเป็น 1000 ppm ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนจะเลื่อนไปทางบวกเท่ากับ -271 mV แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบพญาขอเป็น 2000 ppm ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนจะเลื่อนไปทางลบอีกครั้งเท่ากับ -370 mV และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบพญาขอจนถึง 3000 ppm ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนจะเลื่อนไปทางบวกมากขึ้นถึง 185 mV ส่วนค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อน มีแนวโน้มลดลงจาก 1.00×10^{-3} เป็น 2.96×10^{-4} 1.25×10^{-4} และ 3.52×10^{-5} mA/cm² เมื่อเพิ่มความเข้มข้นจาก 0 เป็น 1000 2000 และ 3000 ppm ตามลำดับ

ค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4.34×10^6 เป็น 1.06×10^7 4.21×10^7 และ 1.39×10^8 V/A/cm² เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากใบพญาขอจาก 0 เป็น 1000 2000 และ 3000 ppm ตามลำดับ และค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 70.40 87.50 และ 96.48 % เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเป็น 1000 2000 และ 3000 ppm ตามลำดับ

จากกราฟโพลาไรเซชันของเหล็กกล้า CK45 ในสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ที่ไม่เติมและเติมสารสกัดจากใบพญาขอที่ความเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4.7 และผลการทดลองตามตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากใบพญาขอค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนจะมีแนวโน้มลดลง จากผลนี้แสดงให้เห็น

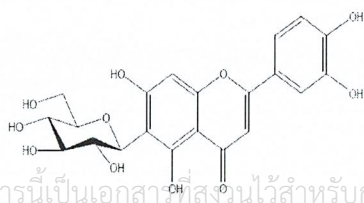
เห็นว่าสารสกัดจากใบพญาขอมีความสามารถในการไปช่วยยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าด้านการค้า CK45 ได้ดีเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น โดยการไปขัดขวางปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กกล้าได้

ค่าศักย์ไฟฟ้ากักร่อน เมื่อเติมสารสกัดเข้มข้น 1000 ppm ค่าศักย์ไฟฟ้ากักร่อนจะเลื่อนไปทางบวกมากขึ้นจาก -421 ในกรณีที่ไม่มีเติมสารสกัดเป็น -271 mV เนื่องจากสารละลายมีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ค่าศักย์ไฟฟ้ากักร่อนจะเลื่อนไปทางบวกมากขึ้นแต่ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักร่อนที่ 1000 ppm มีค่าลดลงจาก 1.00×10^{-3} เป็น 2.96×10^{-4} mA/cm² ซึ่งสามารถยืนยันได้ว่าสารสกัดจากใบพญาขอ มีความสามารถในการยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนได้ และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบพญาขอเป็น 2000 ppm พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักร่อนลดลงอีกเป็น 1.25×10^{-4} mA/cm² แสดงให้เห็นได้ว่าที่ความเข้มข้น 2000 ppm สารสกัดสามารถยับยั้งการกัดกร่อนได้ดีขึ้นอีก และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจนถึง 3000 ppm พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักร่อนลดลงอีกเป็น 3.52×10^{-5} mA/cm²

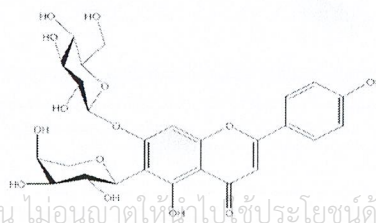
เมื่อมีการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจาก 1000 เป็น 2000 3000 ppm ค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์จะมีค่าเพิ่มสูงมากขึ้น แสดงให้เห็นได้ว่าเหล็กกล้า CK45 นั้นมีความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นมากขึ้นด้วย

ค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน ในกราฟรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากใบพญาขอจาก 1000 เป็น 2000 และ 3000 ppm ค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนจะเพิ่มสูงขึ้นเป็น 70.40 87.50 และ 96.48 % ตามลำดับ

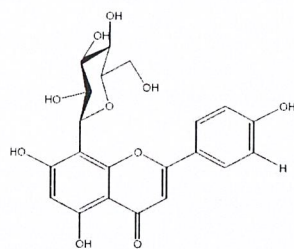
สารสกัดจากใบพญาขอมีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า CK45 ในกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ได้ดีเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด ถึงแม้ว่าสารสกัดจะมีความสามารถในการเกิดออกซิเดชันมากขึ้นจนทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้ากักร่อนเลื่อนไปทางบวกมากขึ้นก็ไม่มีผลที่จะทำให้เกิดการกัดกร่อนของโลหะมากขึ้น ในทางกลับกันสามารถทำให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากักร่อนลดลงเนื่องจาก โมเลกุลของสารสกัดใบพญาขอซึ่งอาจเป็น Isoorientin , Isomollupentin-7-*O*- β -glucopyranoside , Vitexin , Isovitexin มีโครงสร้างดังรูป 4.9 ที่มีผู้เคยศึกษาองค์ประกอบของสารสกัดใบพญาขอมาแล้ว[18] และสารตัวนี้น่าจะมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถไปอุดซับที่ผิวของเหล็กกล้า CK 45 เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จึงทำให้เนื้อโลหะเกิดการกัดกร่อนน้อยลง และจากการศึกษาพบว่าสารสกัดจากใบพญาขอมีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 3000 ppm ถึง 96.48 เปอร์เซ็นต์



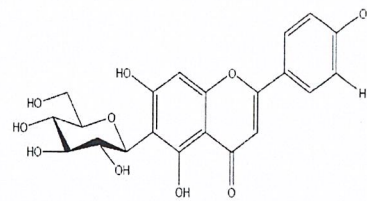
Isorientin [18]



Isomollupentin-7-*O*- β -glucopyranoside [18]



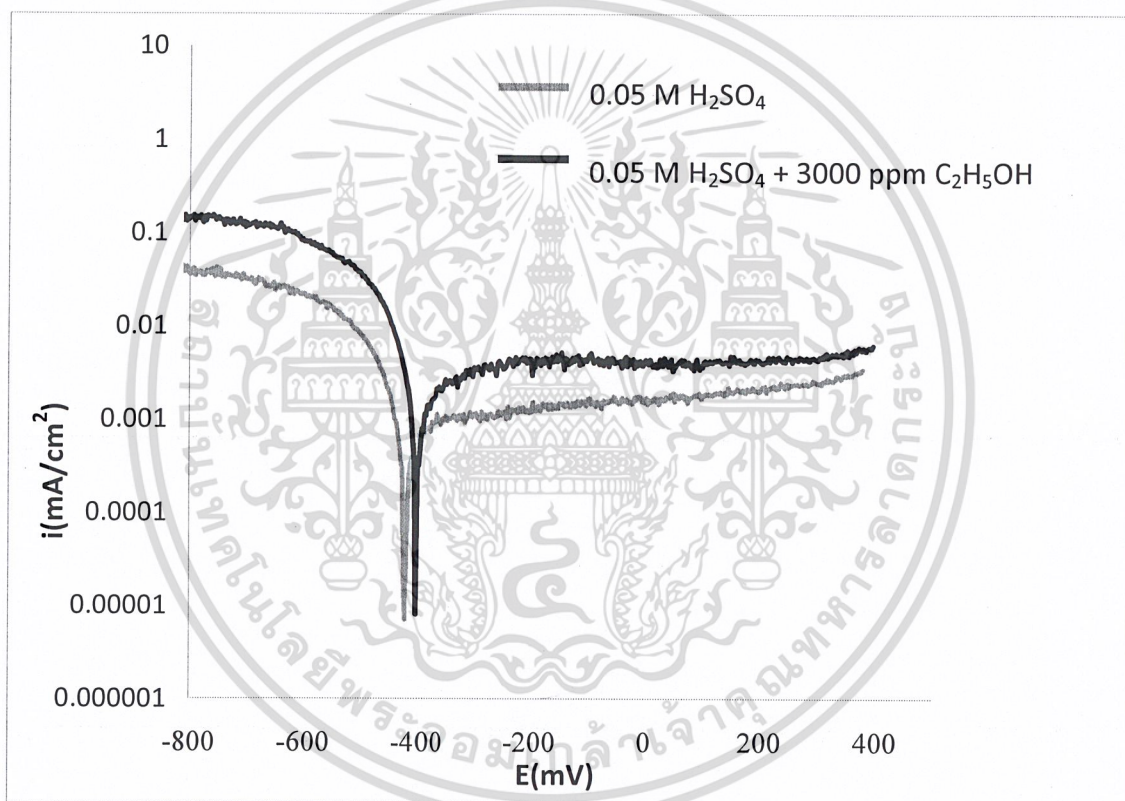
Vitexin [18]



Isovitexin [18]

รูปที่ 4.9 สารที่พบในสารสกัดจากใบพญาขอ

4.5 ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของเอทานอลในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์



รูปที่ 4.10 กราฟโพลาริเซชันของกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ที่ไม่มีและมีเอทานอล 3000 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนและกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนของเหล็กกล้า CK 45 ในกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์

ความเข้มข้นของเอทานอล (ppm)	E_{corr} (mV)	i_{corr} (mA/cm ²)
0	-421.45	1.00×10^{-3}
3000	-402.83	3.30×10^{-3}

จากรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.5 ค่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนเมื่อเติมเอทานอลมีค่าเลื่อนไปทางบวกเล็กน้อยและค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากัดกร่อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยนั้น แสดงให้เห็นได้ว่าเอทานอลที่ตกค้างอยู่ในสารสกัดเนื่องจากการใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายนั้น มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการกัดกร่อนของเหล็กกล้า CK45 ในกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า CK45 ด้วยสารสกัดจากใบรางจืด สาบเสือ และพญาขอ ในกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สารสกัดจากใบรางจืดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า CK45 ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 2000 ppm เท่ากับ 90.70 % แต่เมื่อใช้ความเข้มข้นน้อยกว่าหรือมากกว่านี้ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนจะลดลง

2. สารสกัดจากใบสาบเสือมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า CK45 ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 1000 ppm เท่ากับ 93.45 % แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเป็น 2000 และ 3000 ppm ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนจะลดลง

3. สารสกัดจากใบพญาขอมีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า CK45 ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.05 โมลาร์ได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบพญาขอขึ้น และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้น 3000 ppm ถึง 96.48 %

4. เอทานอลที่ใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดที่อาจมีตกค้างอยู่ในสารสกัดไม่มีผลในการช่วยยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า CK45 ในสารละลายกรดซัลฟิวริกได้ แต่อาจจะมีผลในการช่วยเร่งให้เกิดการกัดกร่อนได้เล็กน้อย

5. สารสกัดจากใบพืชแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน ในปริมาณความเข้มข้นที่ต่างกัน ดังนั้นควรพิจารณาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรแยกสารประกอบที่คาดว่าจะยับยั้งการกัดกร่อนในใบรางจืด สาบเสือ และพญาขอ เพื่อศึกษาสมบัติการยับยั้งการกัดกร่อนของสารนั้น โดยตรง

เอกสารอ้างอิง

- [1] พรศักดิ์ อรรถวานิช. โลหการวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546
- [2] ศิริลักษณ์ นิวิฐจรรงค์. การกัดกร่อนและการเลือกใช้วัสดุ. กรุงเทพฯ : ศูนย์ตำราเรียน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545
- [3] ภาณุวัฒน์ วาริวณิช, สมชาย บ้านใหม่, และสมบุญ นาราวรนนท์. การศึกษาผลของการยับยั้งการกัดกร่อนของดีบุกโดยใช้ไพริดีน. ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544
- [4] จุรีพร พิทักษ์ตระกูลศิริ, สุภาภรณ์ ทุมสอน, หทัยพร แทนวันดี. การศึกษาสมบัติการป้องกันการกัดกร่อนโลหะของสารประกอบแอนโทไซยานินในกระหล่ำปลีสีม่วง. ปรินูญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539
- [5] ขวัญฤทัย สายปิ่น และตุลาการณัฏ พุทธิมา. “ศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.geocities.com/tulakarnputtima/chemity12.htm> 2552.
- [6] A ThyssenKrupp Services Company “Carbon steel CK45.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thyssenkruppmaterials.co.th/dmdocuments/ck45.pdf?PHPSESSID=04c4da720b0756c5b0f4136a19203670> 2551.
- [7] สมทบ สันติเบญจกุล. การศึกษาหาส่วนประกอบทางเคมีในสมุนไพรธรรมชาติ. ปรินูญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540
- [8] รัตนา อินทรานุกปรณ์. การตรวจสอบและการสกัดแยกสารสำคัญจากสมุนไพร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์, 2547
- [9] ศิริพร โอโกโนกิ และคณะ. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ปีที่ 1 โครงการวิจัยพัฒนาพืชสมุนไพร. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2544
- [10] Ratchadaporn Oonsivilai , Crystal Chengb et al. Phytochemical profiling and phase II enzyme-inducing properties of *Thunbergia laurifolia* Lindl. (RC) extracts. Journal of Ethnopharmacology 114 (2007) 300–306
- [11] สุวรรณมา เวชอภิกุล. “รางจืด.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.pharmacy.cmu.ac.th/pharmsci/pharcog/page/thai/therbal003.html> 2552.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[12]สุปราณี จันทร์สอน. “สาบเสือ.” [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

http://learners.in.th/blog/babybee_su/207553_2552.

[13] สมเกียรติ ชาติานิติ และ ธนิต พัวนิ่ม. ศึกษาองค์ประกอบที่สำคัญจากพืชสมุนไพร ในเขตลุ่มน้ำท่าจีน: เน้นสมบัติทางเคมีและชีววิทยา. รายงานการวิจัยฉบับย่อ มหาวิทยาลัยศิลปากร ฉบับที่ 3, 2531

[14] นิสิต พิศุทธนันท์. การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและฤทธิ์ทางชีวภาพของสาบเสือ. วิทยานิพนธ์ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2542

[15]ศุภยสมุนไพรรักษ์นิธ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. “พญาขอ.”

[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:

http://herbal.pharmacy.psu.ac.th/index.php?option=com_content&task=view&id=85&Itemid=0
2551.

[16] Dampawan,P. Studies of the chemical constituents of the *Clinacanthus nutans* (Acanthaceae) and *Zingiber Cassumunar* Roxb.M.SC. Thesis Mahidol Univesity, 1976

[17]Teshima. C-glycosyl flavones from *Clinacanthus nutans*.Natural Medicines 51:557, 1997

[18] เกษทัย ปัญญาคม. การพิสูจน์โครงสร้างของสารที่ออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากใบพญาขอ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2549

[19] El-Etre A.Y. Inhibition of acid corrosion of carbon steel using aqueous extract of olive leaves. Journal of Colloid and Interface Science 314 (2007) 578–583

[20] เชิดชัย ละอองทิพรส และ ณรงค์ พังวิวัฒน์. การหน่วงการกัดกร่อนโดยผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 13 ฉบับที่ 4 ต.ค.- ธ.ค. 2546

[21] Pandian Bothi Raja., and Mathur Gopalakrishnan Sethuraman . Inhibitive effect of black pepper extract on the sulphuric acid corrosion of mild steel. Materials Letters 62 (2008) 2977–2979

[22] Sheyreese M. Vincent et Cyril B. Okhio . Inhibiting Corrosion with Green Tea . The journal of corrosion science and engineering Volume 7 Preprint 36 (31 January 2005).

[23] Valek L., and Martinez S. Copper corrosion inhibition by Azadirachta indica leaves extract in 0.5 M sulphuric acid. Materials Letters 61 (2007) 148–151

[24] สุภาณี พิมพ์สมาน และคณะ. รายงานการวิจัย การศึกษาศักยภาพของพญาขอเพื่อประโยชน์ทางการเกษตรและคลินิก. มหาวิทยาลัยขอนแก่น , 2546

[25] Phan Toan Thang. Anti-oxidant effect of the extracts from the leaves of *Chromolaena odorata* on human dermal fibroblasts and epidermal keratinocytes against hydrogen peroxide and hypoxanthine-xanthine oxidase induced damage.Burna 27 (2001)319-327

- [26] สุรีย์ ศุภลักษณ์นารี. การแยกสกัดสารที่เป็นองค์ประกอบหลักจากสมุนไพรรางจืดชนิดต่าง ๆ โดยวิธีทางเคมี และ HPLC .Extraction and Purification of Major components From , 2542
- [27] รัชฎาพร อุ่นศิริไฉย. คุณสมบัติเชิงหน้าที่และโภชนเภสัชของสารสกัดรางจืด. สาขาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2549
- [28] El-Etre A.Y. ; Abdallah M. and Z.E. El-Tantawy. Corrosion inhibition of some metals using lawsonia extract. Corrosion science 47(2005) 385-395
- [29] R&D Chemical.s “Apigenin.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
http://www.rdchemicals.com/chemicals.php?mode=detail&mol_id=7515 2552.
- [30] R&D Chemicals. “Caffeic acid.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
http://www.rdchemicals.com/chemicals.php?mode=detail&mol_id=7570 2552.
- [31] R&D Chemicals. “Delphinidin.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
<http://www.rdchemicals.com/chemicals.php?mode=searchname&searchtext=delphinidin> 2552.
- [32] R&D Chemicals. “Isosakuranetin.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
http://www.rdchemicals.com/chemicals.php?mode=detail&mol_id=7570 2552.
- [33] R&D Chemicals. “Acacetin.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
http://www.rdchemicals.com/chemicals.php?mode=detail&mol_id=7570 2552.

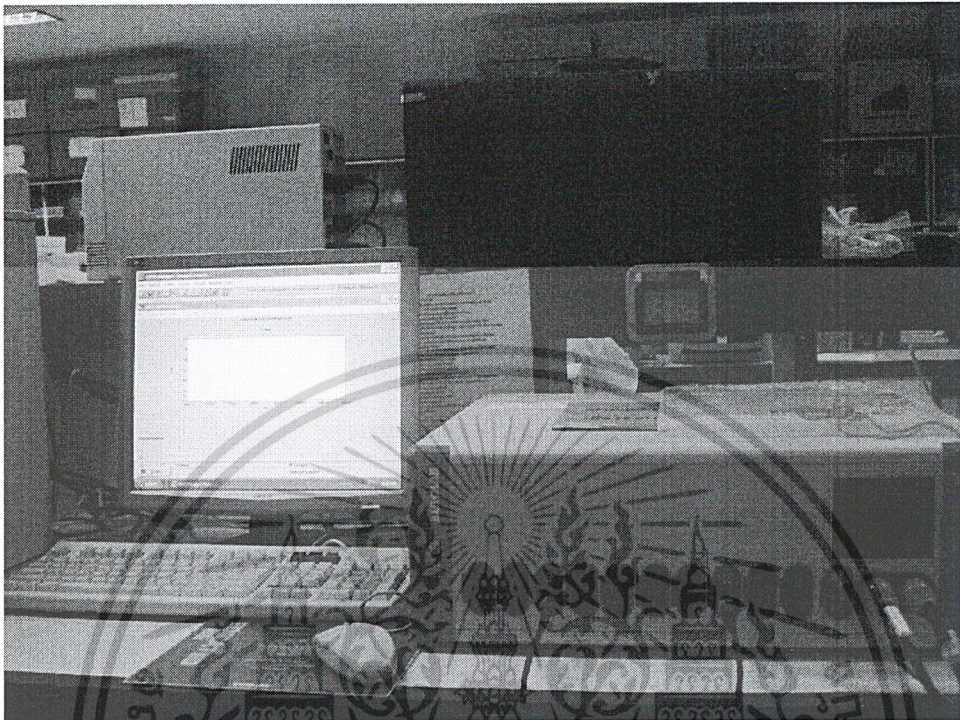
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



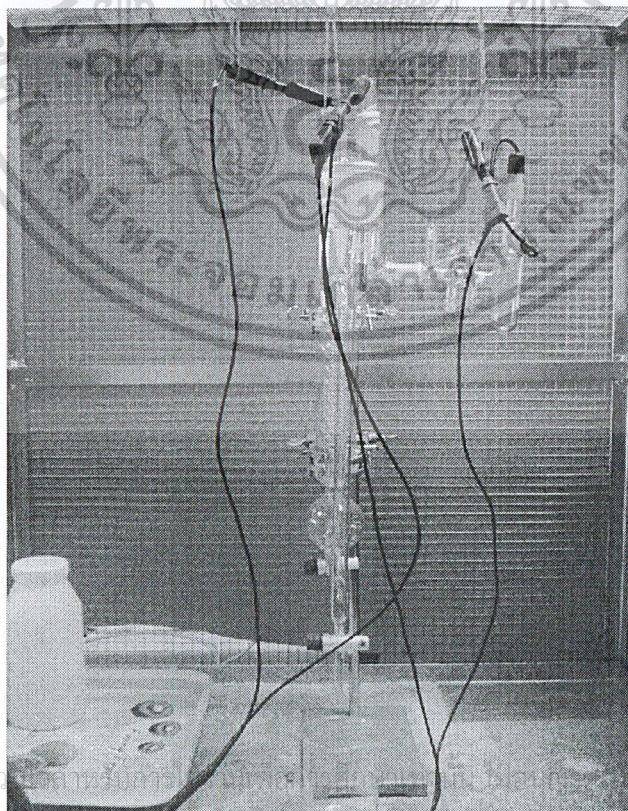
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปประกอบการทดลอง



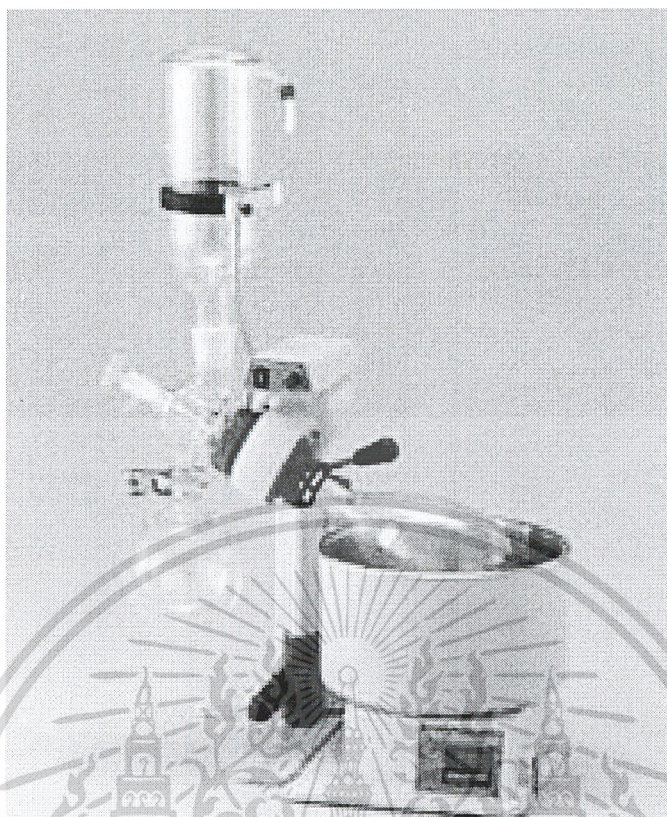
รูปที่ 1 เครื่องโพเทนชิโอสแตต(Potentiostat)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การนำเอกสารไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ต่อสาธารณะโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2 ชุดทดสอบการกัดกร่อน



รูปที่ 3 เครื่องโรตารีอีแวปอเรเตอร์ (Rotary Evaporator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้