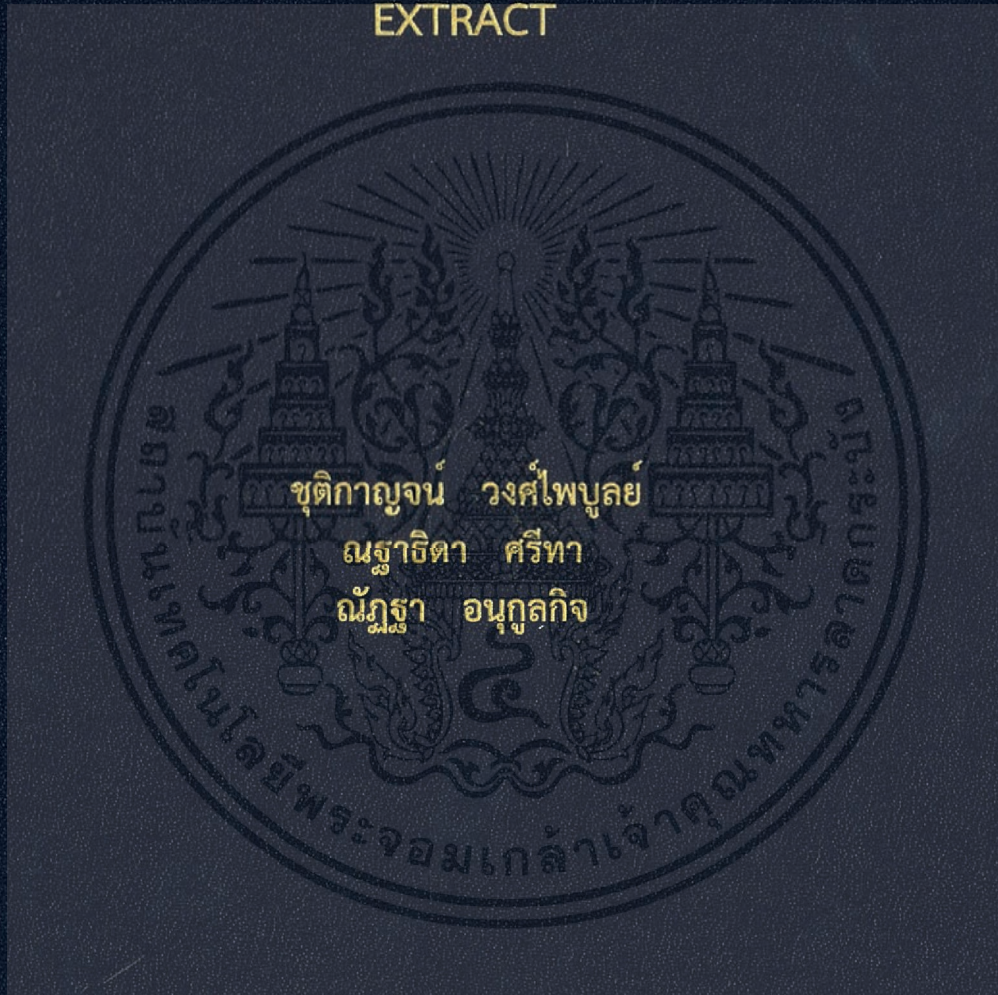


การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 โดยสาร  
สกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก

CORROSION INHIBITION OF 304 STAINLESS STEEL BY  
Terminalia bellirica (Gaertn.) Roxb. DRIED FRUIT  
EXTRACT



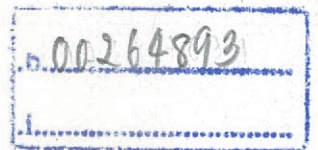
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 โดยสาร  
สกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก

CORROSION INHIBITION OF 304 STAINLESS STEEL BY  
*Terminalia bellirica* (Gaertn.) Roxb. DRIED FRUIT  
EXTRACT



TB00044



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา  
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CORROSION INHIBITION OF 304 STAINLESS STEEL BY  
*Terminalia bellirica* (Gaertn.) Roxb. DRIED FRUIT  
EXTRACT



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อโครงการพิเศษ	การยับยั้งการกักตร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 โดยสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชุติกาญจน์ วงศ์ไพบุลย์	รหัสนักศึกษา 56050478
	นางสาวณฐาธิดา ศรีทา	รหัสนักศึกษา 56050481
	นางสาวณัฐฐา อนุกุลกิจ	รหัสนักศึกษา 56050482
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)	
ภาควิชา	เคมี	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2559	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์	

### บทคัดย่อ

สังคมปัจจุบันได้ให้ความสำคัญต่อสภาพแวดล้อม และการเลือกใช้สารเคมีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งมีนักวิจัยหลายกลุ่มศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนจากสารเคมีธรรมชาติ โดยสารสกัดจากพืชต่างๆ งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้สารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกเพื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ โดยใช้เทคนิคโพลาไรเซชัน (Polarization) ทั้งที่ไม่เติมและเติมสารสกัดที่ความเข้มข้น 10 100 300 และ 400 mg/L ตามลำดับ พร้อมทั้งทำการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของสารสกัดจากสมอพิเภกที่คาดว่าทำหน้าที่ดูดซับลงบนเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ด้วยเครื่อง FTIR-Spectrometer พบว่าสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 และการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดยังช่วยเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม ( $E_{pit}$ ) ค่ากระแสไฟฟ้าพาสซีฟ ( $i_{pass}$ ) และค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน (IE%) จาก FT-IR Spectrum ของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกและชั้นฟิล์มของสารสกัดที่ดูดซับลงบนผิวหน้าของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่แช่ลงในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ที่เติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก 300 mg/L เป็นเวลา 15 นาที พบการเปลี่ยนแปลงของพีคที่หมู่คาร์บอนิลของ Carboxylic acid เด่นชัดที่สุด จึงคาดว่าหมู่คาร์บอนิลของ Carboxylic acid ทำหน้าที่ดูดซับลงบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304

**คำสำคัญ :** สมอพิเภก, เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304, การยับยั้งการกัดกร่อน, เทคนิคโพลาไรเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีควรรนำไปใช้

Title	Corrosion Inhibition of 304 Stainless steel by <i>Terminalia Bellirica</i> (Gaertn.) Roxb. Dried Fruit Extract	
Students	Miss Chutikan Wongpaiboon	Student ID 56050478
	Miss Nathatida Sritha	Student ID 56050481
	Miss Nattha Anukulkich	Student ID 56050482
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2016	
Advisor	Asst. Prof. Dr. Sutha Sutthiruangwong	

### Abstract

Nowadays, people are more concerned about the environment and choose to use more eco-friendly chemicals from natural products. Many researcher studied about corrosion inhibition from natural extracts. This research applied the extract from dried fruit of *Terminalia bellirica* (Gaertn.) Roxb. as a corrosion inhibitor in order to study the corrosion inhibition efficiency in hydrochloric acid at 0.005 M by polarization with inhibitor concentration of 0, 10, 100, 300, and 400 mg/L respectively. The adsorption of extract molecule on stainless steel was studied by FT-IR spectrometer. The results indicated that the *Terminalia bellirica* (Gaertn.) Roxb. extract from dried fruit had a good performance in corrosion inhibition. It was found that the pitting potential, passive current density and inhibition efficiency increased with increasing inhibitor concentration. From FT-IR spectra of *Terminalia bellirica* (Gaertn.) Roxb. dried fruit extract after 15 minutes of immersion in 0.005 M hydrochloric acid with 300 mg/L of extract, it was found that the peak representing carbonyl group of carboxylic acid was obviously shifted showing its adsorption on 304 stainless steel surface.

**Keywords :** *Terminalia bellirica* (Gaertn.) Roxb., 304 Stainless steel, Corrosion inhibition, Polarization

## กิตติกรรมประกาศ

หัวข้อโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะความอนุเคราะห์ของบุคลากรหลายฝ่ายที่คอยให้คำแนะนำคำปรึกษาและเสนอแนะให้กับคณะผู้จัดทำเป็นอย่างดี ซึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดังนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณสุภาวดี หวังเต็มกลางและคณะ สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) (สซ.) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการนำชิ้นงานตัวอย่างไปตรวจสอบด้วยเครื่อง FT-IR microscope ตลอดจนคำแนะนำต่างๆเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณพิมพ์ภรณ์ มั่นพิริยะกุล เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการหน่วยวิจัยเฉพาะทางด้านสารกักต่อน วิจัยลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้ คำปรึกษาตลอดจนคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ รวมทั้งคำแนะนำต่างๆ ตลอดจนการให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และผศ.ดร.ปณณมา ศิริพันธ์โนน กรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษนี้ที่ให้คำแนะนำดีชม ตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สธา สุทธิเรืองวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านทฤษฎีและปฏิบัติการ คอยสนับสนุน และให้คำปรึกษามาโดยตลอด เป็นผลให้สามารถทำโครงการพิเศษเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ซึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขออภัยหากมีข้อผิดพลาดประการใดไว้ ณ ที่นี้

ชุตिकाญจน์ วงศ์ไพบูลย์

ณฐาธิดา ศรีธา

ณัฐภา อนุกุลกิจ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>4</b>
2.1 สมุนไพรไทย .....	4
2.1.1 ความหมายของสมุนไพร .....	4
2.1.2 ความสำคัญของพืชสมุนไพร .....	4
2.1.3 สารประกอบเคมีในสมุนไพร .....	4
2.1.4 ประโยชน์ของสมุนไพร .....	6
2.1.5 สมุนไพรที่ใช้ในงานวิจัย .....	7
2.2 สารสกัดจากธรรมชาติ .....	9
2.2.1 ความหมายของสารสกัดจากธรรมชาติ .....	9
2.2.2 วิธีการสกัด .....	9
2.3 การกัฏกร่อน .....	9
2.3.1 หลักการกัฏกร่อน .....	9
2.3.2 กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีของการกัฏกร่อน .....	10
2.3.3 รูปแบบการกัฏกร่อน .....	11
2.4 การป้องกันการกัฏกร่อน .....	15
2.4.1 การป้องกันการกัฏกร่อนโดยการปรับสภาวะแวดล้อม .....	15

2.4.2 การแยกโลหะจากสภาวะแวดล้อมเพื่อป้องกันการกัดกร่อน (การเคลือบผิว) .....	15
2.4.3 การป้องกันโดยใช้ไฟฟ้า .....	16
2.5 เหล็กกล้าไร้สนิม .....	17
2.5.1 เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 .....	17
2.6 โปเทนซีไอโอสแตท (Potentiostat Analyzer) .....	17
2.6.1 หลักการทำงาน .....	18
2.6.2 ทฤษฎีของการเกิด Passivity .....	19
2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ .....	19
2.7.1 เครื่องฟูริเออร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) .....	19
2.8 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	20
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b> .....	<b>24</b>
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	24
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ .....	24
3.3 ขั้นตอนการทดลอง .....	25
3.3.1 การสกัด .....	25
3.3.2 เตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	25
3.3.3 วิธีการทดสอบการกัดกร่อน .....	25
3.3.4 วิธีการทดสอบด้วยเทคนิค Chronoamperometry .....	26
3.3.5 ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูริเออร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR) .....	27
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b> .....	<b>28</b>
4.1 การป้องกันการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ด้วยสารสกัดจากสมอพิเภก .....	28
4.2 ค่าประสิทธิภาพความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting inhibition efficiency, %PIE) .....	31
4.3 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยฟูริเออร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) .....	33
4.4 Surface adsorption .....	35
4.5 แบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) .....	36

4.6 ค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ก่อนและหลังเติม สารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก.....	38
4.7 ผลจากเทคนิค Chronoamperometry .....	38
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>40</b>
เอกสารอ้างอิง .....	41
ภาคผนวก.....	43
ภาคผนวก ก.....	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ที่เติมสารสกัดจากสมอพิเภกที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	29
4.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting potential, $E_{pit}$ ) ค่าประสิทธิภาพความ ต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม (%PIE) และค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibition efficiency, IE%) ที่ความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกต่าง ๆ..	32
4.3 ความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน (C) กับ อัตราส่วนระหว่าง C กับ ๑ .....	36
4.4 ค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ที่ก่อนและหลังเติมสารสกัดจากผลแห้งของ สมอพิเภกที่ความเข้มข้นต่างๆ .....	38



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ต้น ผล และดอกสมอพิเภก.....	7
2.2 โครงสร้างเคมีของสารสำคัญที่พบในผลสมอพิเภก.....	8
2.3 การเกิด Corrosion cell .....	10
2.4 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก .....	11
2.5 การกัดกร่อนในที่อับ, และภาพจำลองแสดงกลไกการกัดกร่อนในที่อับ .....	12
2.6 การกัดกร่อนแบบหลุม .....	12
2.7 การสูญเสียส่วนผสมบางตัว .....	13
2.8 การกัดกร่อนตามขอบเกรน .....	13
2.9 การกัดกร่อน-สึกกร่อน .....	13
2.10 การกัดกร่อน-ความล้า .....	14
2.11 การกัดกร่อนได้ชั้นเคลือบ .....	14
2.12 เครื่องโพเทนชิโอสแตทพร้อมอุปกรณ์วัดและเซลล์การกัดกร่อน .....	17
2.13 ส่วนต่างๆที่สำคัญของเส้นโค้งโพลาริเซชัน .....	18
2.14 เครื่องฟูริเออร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR).....	19
4.1 กราฟโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ที่ไม่เติมและเติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่ความเข้มข้น 10 100 300 และ 400 mg/L	28
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น (mg/L) ของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกกับค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม.....	30
4.3 กราฟ FT-IR Spectrum ของ (A) สารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก (B) ชั้นฟิล์มของสารสกัดที่ความเข้มข้น 300 mg/L ที่ถูกดูดซับลงบนเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่แช่ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ เป็นเวลา 15 นาที .....	33
4.4 กลไกการเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก (A) ชั้นป้องกันตามธรรมชาติ (B) การทำลายชั้นป้องกัน (C) การป้องกันการกัดกร่อนแบบหลุม .....	35
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน (C) กับอัตราส่วนระหว่าง C กับ $\theta$ .....	37

4.6 การกั้ดกร่อนแบบหลุมที่เกิดบนชิ้นงานเหล็กตัวอย่าง (A) ใน blank ที่ 0.100  $V_{SCE}$  (B)  
ในสภาวะ 300 mg/L ที่ 0.100  $V_{SCE}$  ..... 39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 เป็นเหล็กกล้าที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลาย ทั้งในการทำอุปกรณ์ครัวเรือน อุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องจักรอุปกรณ์ เครื่องมือช่าง อุปกรณ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันต่างๆที่ทำมาจากสแตนเลส แต่เนื่องด้วยอุปกรณ์เหล่านี้เมื่อใช้งานในสภาวะที่จะทำให้เกิดการกัดกร่อนหรือเกิดสนิมขึ้น ซึ่งความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการกัดกร่อนมีทั้งผลกระทบทางตรง และผลกระทบทางอ้อม ผลกระทบทางตรง เช่น ความเสียหายทางด้านเศรษฐกิจ และความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ที่เกี่ยวข้อง ส่วนผลกระทบทางอ้อม เช่น การเสียค่าใช้จ่ายจากปัญหาการกัดกร่อนที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้ก่อนและประเมินคุณค่าได้ยาก หรือจากผลิตภัณฑ์ที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาการกัดกร่อน

โดยธรรมชาติของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 สามารถสร้างชั้นป้องกันตัวเองตามธรรมชาติที่เป็นสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและโครเมียม ( $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ) แต่เนื่องด้วยโลหะที่มีความสามารถในการสร้างชั้นป้องกัน (Passivation) ได้เอง จะมีโอกาสเกิดการกัดกร่อนแบบหลุมสูง ซึ่งการกัดกร่อนแบบนี้จะทำให้เกิดความเสียหายสูงแม้จะสูญเสียน้ำหนักโลหะเพียงเล็กน้อยแต่ก็มักเป็นการสูญเสียแบบฉับพลัน การยับยั้งการกัดกร่อนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การลดปริมาณคลอไรด์ หรือการเติมสารเคมีบางชนิดเข้าไปในระบบเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ทุกวันนี้โลกของเราประสบปัญหามลภาวะทางสิ่งแวดล้อม อันเนื่องมาจากการใช้สารเคมีทั้งในอุตสาหกรรมและในการดำเนินชีวิตทั้งในด้านอุปโภคและบริโภคมากมายโดยไม่คำนึงถึงผลกระทบที่จะตามมา ในขณะที่แว่นแคว้นความคิดทางด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้เข้ามามีอิทธิพลต่อการดำเนินชีวิตมากขึ้น โดยหันมาใช้ผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ ตลอดจนสารสกัดจากพืช ผัก และสมุนไพรแทนการใช้สารเคมีสังเคราะห์ ซึ่งนอกจากการนำสารจากธรรมชาติมาใช้เป็นยารักษาโรค และเป็นส่วนประกอบในอาหารแล้ว ยังสามารถใช้เป็นสารกำจัดศัตรูพืช รวมทั้งยังนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเสื้อผ้า และเครื่องสำอางได้อีกด้วย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำพืชสมุนไพรมาใช้ประโยชน์เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนโดยใช้สารสกัดจากธรรมชาติที่มีสารประกอบประเภทฟลาโวนอยด์เป็นองค์ประกอบป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้สารสกัดจากใบเสจ [1] ป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 2 โมลาร์ และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้สารสกัดจากผลทับทิม [2] และการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าใน

สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ โดยใช้สารสกัดจากต้นกะเมี่ยง [3] พบว่าสารสกัดจากพืชทั้ง 3 ชนิดนั้นมีสารประกอบประเภทฟีนอลิกเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสามารถยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการกักกร่อนน้อยลง

ประเทศไทยถือเป็นประเทศที่มีพันธุ์พืชหลากหลายชนิด รวมไปถึงสมุนไพรที่มีฤทธิ์รักษาและบรรเทาอาการของโรคได้ การศึกษาความสามารถในการยับยั้งการกักกร่อนของสารสกัดจากธรรมชาติ สามารถทำได้โดยการเลือกกลุ่มหรือชนิดของพืชสมุนไพรที่ได้มีการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีอยู่แล้ว โดยที่โครงสร้างทางเคมีของสารดังกล่าวน่าจะช่วยยับยั้งการกักกร่อนได้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการยับยั้งการกักกร่อน เช่น พบว่ามีการประเมินคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและต้านเชื้อแบคทีเรียของพืชสมุนไพรไทยพื้นบ้านของไทย 5 ชนิด ได้แก่ ผักคราดหัวแหวน ผักบั้งทะเล สมอไทย สมอพิเภก และส้มป่อย ได้พบว่าสารสกัดจากสมอพิเภกสามารถต้านอนุมูลอิสระและต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดี โดยสัมพันธ์กับปริมาณฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ที่มีอยู่ในองค์ประกอบในปริมาณสูง [4]

จากงานวิจัยข้างต้นจึงได้นำสมอพิเภกมาใช้ในการวิจัย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งปฏิกิริยาการกักกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาความสามารถในการยับยั้งการกักกร่อนของสารสกัดที่ได้จากผลแห้งของสมอพิเภกที่ดูดซับลงบนเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์
- 2) เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารสกัดที่ได้จากผลแห้งของสมอพิเภกที่ดูดซับลงบนเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ใช้สารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกในการศึกษาการยับยั้งการกักกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 โดยตรวจวัดด้วยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกโพลาไรเซชัน (Potentiodynamic polarization) ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์
- 2) ศึกษาตัวแปรทางด้านผลของความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่ความเข้มข้น 0 10 100 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถนำสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกมาใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแทนสารเคมีสังเคราะห์ได้
- 2) ทำให้มีความรู้ ความเข้าใจในเรื่องการกัดกร่อนและการยับยั้งการกัดกร่อน ตลอดจนการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 สมุนไพรไทย

#### 2.1.1 ความหมายของสมุนไพร

สมุนไพร (Medicinal plants) ตามความหมายในพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถานพ.ศ. 2525 ได้ให้คำจำกัดความว่าสมุนไพร หมายถึง พืชที่ใช้ทำเป็นเครื่องยา ซึ่งหาได้ตามพื้นเมือง มิใช่เครื่องเทศ [5] โดยสมุนไพรมีประโยชน์ต่อชีวิตมนุษย์ทั้งในทางสุขภาพ การรักษาโรคและการประกอบอาหาร

#### 2.1.2 ความสำคัญของพืชสมุนไพร

- ใช้ในการทำยา
- ใช้เป็นวัตถุดิบเบื้องต้นในการสกัดสารเคมีต่างๆ เพื่อใช้ในการผลิตยาแผนโบราณ
- ใช้ในการปรุง แต่ง รส กลิ่น สี ของอาหาร
- ใช้เป็นอาหาร
- ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เครื่องดื่ม เครื่องสำอาง และอาหาร

#### 2.1.3 สารประกอบเคมีในสมุนไพร [5]

1. สารปฐมภูมิ (Primary metabolite) สารกลุ่มนี้เป็นสารที่มีบทบาทในกระบวนการเมตาบอลิซึมหลักๆไปของพืช พบในพืชทุกชนิด มักเป็นสารผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหลักในพืช เช่น กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง การสังเคราะห์ไขมัน การสังเคราะห์โปรตีน การสังเคราะห์สารสี จะได้คาร์โบไฮเดรต ไขมัน โปรตีน และสารสี ตามลำดับ

2. สารทุติยภูมิ (Secondary metabolite) เป็นสารที่เกิดจากกระบวนการชีวสังเคราะห์ (Biosynthesis) ในพืชต่างชนิดกันจะพบสารที่แตกต่างกัน สารประกอบเคมีในกลุ่มนี้ ได้แก่ สารในกลุ่มแอลคาลอยด์ กลุ่มไกลโคไซด์ และน้ำมันหอมระเหย เป็นต้น

2.1 น้ำมันหอมระเหย (Essential oil หรือ Volatile oil) จัดเป็นสารทุติยภูมิพบมากในพืชสมุนไพรที่เป็นเครื่องเทศ คุณสมบัติโดยทั่วไปคือ มีกลิ่นเฉพาะตัว ระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิปกติ แยกออกมาได้โดยการกลั่นด้วยไอน้ำ (Steam distillation) สรรพคุณทางยามักใช้เป็นยาขับลม และฆ่าเชื้อโรค

2.2 แอลคาลอยด์ (Alkaloid) เป็นสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นเบส มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ มีรสขม ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่ถ้าอยู่ในสารประกอบของเกลืออาจจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละลายน้ำได้ มีผลต่อระบบต่างๆของร่างกายหลายระบบ เช่น ควินิน (Quinine) ในเปลือกต้นชิงโคนา มีสรรพคุณในการรักษาโรคมาเลเรีย รีเซอ์พิน (Reserpine) ในรากระย้อม มีสรรพคุณลดความดันโลหิต

2.3 โกลโคไซด์ (Glycoside) เป็นสารประกอบที่พบมากในพืชสมุนไพร นำมาใช้ประโยชน์ได้มากมายในสูตรโครงสร้างจะมีส่วนสำคัญสองส่วน คือส่วนที่เป็นน้ำตาลกับส่วนที่ไม่ใช่ น้ำตาล (Glycone)

- ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid, Flavonoid glycosides) เป็นสารให้สีในส่วนต่างๆของพืชเช่น ดอกไม้สีแดง ม่วง น้ำเงิน จะพบแอนโทไซยานิน (Anthocyanin)

- ซาโปนินไกลโคไซด์ (Saponinglycosides) สารนี้ใช้ลดแรงตึงผิวและทำให้เม็ดเลือดแดงแตกได้ สารนี้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตยาประเภทสเตอรอยด์ (Steroid) เช่น พืชจำพวกถอย (Dioscoreaspp.) ซึ่งมีสารไดออสเจนิน (Diosgenin)

- คาร์ดิแอกไกลโคไซด์ (Cardiacglycosides) สารกลุ่มนี้จะมีการออกฤทธิ์ต่อระบบกล้ามเนื้อหัวใจและระบบการไหลเวียนโลหิต เช่น ยี่โถ (Neriumindicum mill) ให้สาร Oleandroside และ Nerioside

- แอนทราควิโนนไกลโคไซด์ (Anthraquinone glycoside) สารกลุ่มนี้ออกฤทธิ์เป็นยาระบาย (Laxative) ยาฆ่าเชื้อ (Antibiotic) และสีย้อม เช่น มะขามแขก คุณ ขี้เหล็ก ชุมเห็ด และว่านหางจระเข้ เป็นต้น

- ไฮยาโนเจนิคไกลโคไซด์ (Cyanogenetic glycosides) สารกลุ่มนี้จะสลายตัวเมื่อโดนความร้อนซึ่งจะให้สารพิษจำพวกไซยาไนด์ (Cyanide) เช่น มันสำปะหลัง ลูกกระ ตันตำแยแมง ผักเสี้ยนผีใบยางพารา ชะอม และผักสะตอ

- แล็กโทนไกลโคไซด์ (Lactone glycosides) สารเคมีกลุ่มนี้บางชนิดมีกลิ่นหอม ได้แก่ สารคูมาริน (Coumarin) จากเปลือกต้นชะลูด ใช้เป็นสารแต่งกลิ่นหอมในเครื่องสำอาง เป็นส่วนผสมในครีมป้องกันการแพ้แสงแดดหรือผสมในแป้งฝุ่นทาตัว

2.4 แทนนิน (Tannin) พบได้ในพืชทั่วไปมีรสฝาด เป็นกรดอ่อนเมื่อถูกกับเกลือคลอไรด์ของเหล็กจะให้สีเขียว มีฤทธิ์ฝาดสมาน ฆ่าเชื้อแบคทีเรีย บรรเทาอาการท้องร่วง พบในใบฝรั่ง เนื้อผล และกล้วยน้ำว้าดิบ

2.5 กัม (Gum) เป็นสารที่พืชบางชนิดขับออกมา เมื่อพืชได้รับบาดแผลซึ่งจะเป็นสารเหนียวบางชนิดมีสรรพคุณทางยา

2.6 ลาเทกซ์ (Latex) เป็นสารที่มีลักษณะคล้ายน้ำยางสีขาวข้น ประกอบด้วยสารจำพวกแป้ง กัมและเรซิน (Resin) อาจมีสารอื่นอยู่บ้าง สารกลุ่มนี้บางตัวเมื่อรวมกับสารบางอย่างจะเป็นสาเหตุร่วมในการก่อมะเร็ง (Co-carcinogen) ซึ่งเรียกว่า โฟร์บอล (Phoeball)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.1.4 ประโยชน์ของสมุนไพร [6]

1. ด้านการประกอบอาหาร เป็นอาหารโดยตรงและเป็นส่วนประกอบของอาหารโดยใช้ปรุงแต่ง กลิ่นรส สีของอาหารและใช้ในการถนอมอาหารได้ ดังนี้

1.1 ใช้เป็นอาหารโดยตรง ได้แก่ มะเขือ ตำลึง มะละกอ

1.2 เป็นส่วนผสมหรือส่วนประกอบของอาหาร เช่น ลูกจันทน์ดอกจันทน์ ก้านพลูสามารถใช้เป็นส่วนผสมในอาหารประเภทเนื้อสัตว์ชนิดต่างๆ

1.3 ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องเทศชนิดอื่น

1.4 ใช้ในการถนอมอาหาร

1.5 ใช้ปรุงแต่งกลิ่น รส สีของอาหาร เช่น ขมิ้น ใช้ปรุงแต่งสี กลิ่น และรสชาติของอาหารได้ดี

2. ด้านอุตสาหกรรม สมุนไพรนอกจากจะมีคุณค่าทางอาหารแล้วยังมีองค์ประกอบทางเคมีหลายอย่าง เช่น แอลดีไฮด์ ไกลโคไซด์ กรดคาร์บอนิก ซึ่งสามารถนำมาใช้ในด้านอุตสาหกรรมในการเครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องหอม สีย้อมผ้า อุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง

3. ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม

3.1 ใช้เป็นส่วนผสมของยารักษาโรคหลายชนิดที่มีคุณสมบัติเป็นยาเฉพาะที่ เช่น ยาแก้ไอ ยาแก้โรคเลือดออกตามไรฟัน ยาแก้ปวดท้อง

3.2 ใช้พืชที่มีรสหวานหอม มีคุณสมบัติทำให้สดชื่น แก้อ่อนเพลีย บำรุงธาตุ นิยมใช้เป็นส่วนประกอบของยาบำรุงกำลัง แก้กูกเสียดแน่นท้อง

3.3 ใช้เป็นยาบำรุง ยาขับลมในระบบทางเดินอาหารในลำไส้ แก้อท้องร่วง ท้องบิด

3.4 ใช้ในการรักษาโรคท้องอืด ท้องเฟ้อ แน่นจุกเสียด และขับลมในกระเพาะอาหาร

3.5 ใช้ในการแก้อาการท้องเดิน เช่น กลัวย่น้ำว่า มิ่งคุด เปลือกทับทิม ฝรั่ง

3.6 ใช้แก้โรคบิด เช่น ทับทิม เปลือกมิ่งคุด

3.7 ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตยาลดกรด ขับลม แก้อปวดท้อง เป็นยาเจริญอาหาร  
ขับน้ำเหลือง

3.8 ช่วยเพิ่มการทำงานของลำไส้ ช่วยย่อยอาหาร แก้กูกเสียด แน่นท้อง เช่น ขิง

3.9 มีสรรพคุณเป็นยาบำรุงโลหิต บำรุงหัวใจและประสาท เช่น เกสรดอกคำฝอย

3.10 ใช้เป็นยาขับเสมหะ เช่น เมล็ดดอกคำฝอย

3.11 แก้อาการแพ้ อักเสบ แผลงกัต์ตอย เช่น ตำลึง

3.12 ฆ่าเหา เช่น ใบน้อยหน่า

## 2.1.5 สมุนไพรมะไฟที่ใช้ในงานวิจัย

### สมอพิเภก [7]



รูปที่ 2.1 ต้น ผล และดอกของสมอพิเภก

- ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Terminalia bellirica* (Gaertn.) Roxb.  
 ชื่อสามัญ : Belericmyrobalan  
 วงศ์ : Combretaceae  
 ชื่ออื่น : ถัน (เชียงใหม่) สมอแทน (กลาง) แทน แทนขาว แทนตัน (เหนือ) สะคู้ (กระเหรี่ยงแม่ฮ่องสอน)

#### ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

- **ลำต้น** เป็นไม้ต้นขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ผลัดใบ สูง 15-35 เมตร ลำต้นตรง โคนต้นและเปลือกมีสีเทา อมน้ำตาลหรือเป็นสีดำๆ เป็นแห้งๆ ผิวค่อนข้างเรียบหรือแตกเป็นร่องเล็กๆ ไปตามยาวเปลือกด้านในมีสีเหลือง กิ่งอ่อนและยอดอ่อนมีขนประปราย
- **ใบ** เป็นชนิดใบเดี่ยวอยู่เป็นกลุ่มตามปลายกิ่ง ทรงใบมีรูปร่างรูปไข่กลับ กว้าง 9-15 เซนติเมตร ยาว 13-19 เซนติเมตร เส้นแขนงใบโค้งอ่อนมี 6-10 คู่ เส้นใบแบบเส้นร่างแหเห็นชัดทางด้านท้องใบ หลังใบมีสีเขียวเข้มและมีขนสีน้ำตาลกระจายทั่ว ท้องใบมีสีจางหรือสีเทา
- **ดอก** หนึ่งคู่ดอกเล็กมีสีขาวอมเหลือง ออกเป็นช่อเดี่ยวๆ แบบทางกระรอก ช่อยาว 10-15 เซนติเมตร ดอกเพศผู้ส่วนใหญ่จะอยู่ตามปลายๆ ช่อ ส่วนดอกสมบูรณ์เพศจะอยู่ตามโคนช่อ กลีบฐานดอกมี 5 กลีบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกสรเพศผู้มี 10 เกสร รังไข่ค่อนข้างแป้น ภายในมีช่องเดียว และมีไข่อ่อน 2 หน่วย หลอดท่อรังไข่มีหลอดเดียว

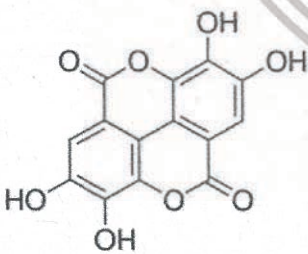
- ผล เป็นลักษณะกลมรีและแข็ง ผิวด้านนอกปกคลุมด้วยขนสีน้ำตาลหนาแน่น ออกรวมกันเป็นพวงโตๆ

#### สรรพคุณ

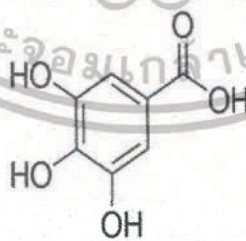
ในตำรายาไทย ผลอ่อนใช้แก้ไข้ ละลายเสมหะ ใช้เป็นยาระบาย ยาถ่าย ส่วนผลแก่ ช่วยให้ชุ่มคอ แก้โรคตา บำรุงธาตุ แก้กิดสีดวง แก้ท้องร่วงท้องเดิน รักษาโรคท้องมานเมลิ็ดโน ใช้แก้บิด แก้บิดมูกเลือด ตำรายาไทย สมอพิเภกจัดอยู่ใน “พิกัดตรีผลา” คือการจำกัดจำนวนผลไม้ 3 อย่าง มี ลูกสมอพิเภก ลูกสมอไทย ลูกมะขามป้อม และจัดอยู่ใน “พิกัดตรีสมอ” คือการจำกัดจำนวนสมอ 3 อย่างมี ลูกสมอพิเภก ลูกสมอไทย ลูกสมอเทศ ในต่างประเทศ เช่น ประเทศพม่า ใช้ผลแห้งรักษาอาการไอ และโรคตา ส่วนอินโดจีนใช้เป็นยาผดผามาน และยาบำรุง ผลสดเป็นยาล้างนอกรอกจากนี้บัญญัติมาจากสมุนไพรมีการใช้ตามองค์ความรู้ดั้งเดิมตามประกาศคณะกรรมการแห่งชาติด้านยา (ฉบับที่ 5) ปรากฏว่ามีการใช้สมอพิเภกในยารักษากลุ่มอาการทางระบบไหลเวียนโลหิตมีส่วนประกอบของสมอพิเภกร่วมกับสมุนไพรรชนิดอื่นๆ ในตำรับ “ยาหอมนวโกฐ” มีสรรพคุณในการแก้ลมวิงเวียน คลื่นเหียน อาเจียน แก้ลมจุกแน่นในอก ในผู้สูงอายุ แก้ลมปลายไข้

สารสำคัญที่พบ : ในผล

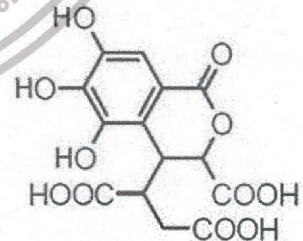
• Tannin :



Ellagic acid



Gallic acid



Chebulagic acid

รูปที่ 2.2 โครงสร้างเคมีของสารสำคัญที่พบในผลสมอพิเภก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 สารสกัดจากธรรมชาติ

### 2.2.1 ความหมายของสารสกัดจากธรรมชาติ

สารสกัดจากธรรมชาติ หมายถึง กระบวนการแยกสารออกฤทธิ์ออกจากสารที่เป็นของแข็งหรือของเหลว โดยใช้ตัวทำละลายซึ่งสามารถละลายสารออกฤทธิ์ที่ต้องการออกมาได้ [8]

### 2.2.2 วิธีการสกัด [9]

1. มาเซอเรชัน (Maceration) เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืช โดยวิธีการหมักสมุนไพรกับน้ำยาสกัดจนกระทั่งเนื้อเยื่อของสมุนไพรอ่อนนุ่มและน้ำยาสกัดสามารถแทรกซึมเข้าไปละลายองค์ประกอบภายในผงสมุนไพรออกมาได้ การหมักสมุนไพรควรทำในภาชนะที่มีฝาปิดสนิทในน้ำยาสกัดที่เหมาะสม จนกระทั่งองค์ประกอบที่ต้องการละลายออกมาหมด ในระหว่างที่หมักผงสมุนไพรอยู่นั้นควรเขย่าหรือคนเป็นครั้งคราวเพื่อเพิ่มอัตราเร็วของการสกัด เมื่อครบกำหนดเวลาจึงกรองแยกกาก (Marc) ออกจากน้ำยาสกัด ซึ่งวิธีนี้เหมาะสมกับพืชสมุนไพรที่มีโครงสร้างหรือเนื้อเยื่อที่ไม่แข็งแรงมากนัก เช่น ใบดอก และยังเป็นวิธีที่ไม่ใช้ความร้อนจึงเหมาะสมกับการสกัดสารที่ไม่ทนต่อความร้อน

2. เพอร์โคเลชัน (Percolation) เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากพืชสมุนไพร โดยการปล่อยให้ น้ำยาสกัดไหลผ่านผงสมุนไพรช้าๆ พร้อมกับละลายองค์ประกอบออกจากผงสมุนไพรออกมา โดยวิธีนี้จัดเป็นวิธีการสกัดที่ดีสำหรับการสกัดสารจากสมุนไพรแบบสมบูรณ์และไม่ต้องใช้ความร้อนแต่วิธีนี้จะเปลืองน้ำยาสกัดและต้องใช้เวลาในการสกัดนาน

3. การสกัดแบบต่อเนื่อง (Continuous extraction) เป็นวิธีการสกัดสารสำคัญจากสมุนไพรที่คล้ายกับการสกัดแบบเพอร์โคเลชันแต่ต้องใช้ความร้อนและซอกซ์เฮตเตอร์ (Soxhlet extractor) ซึ่งเป็นระบบปิด โดยวิธีการสกัดแบบต่อเนื่องนี้เหมาะสำหรับการสกัดองค์ประกอบที่ทนความร้อนและใช้น้ำยาสกัดน้อย

4. การสกัดน้ำมันหอมระเหย (Extraction of volatile oil) โดยจะมีหลายวิธี ซึ่งต้องเลือกให้ถูกต้องตามความเหมาะสมของพืชที่ใช้ ได้แก่ การกลั่น การบีบหรือการอัด วิธีเอ็นฟอยเรนซ์ และการสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย

## 2.3 การกักต้อน

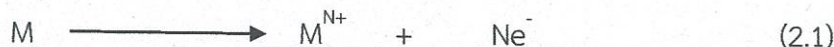
### 2.3.1 หลักการกักต้อน

การกักต้อน คือ ปฏิกริยาระหว่างวัสดุโลหะกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงที่สามารถวัดค่าได้ และส่งผลให้ความสามารถในการทำหน้าที่ของวัสดุดังกล่าวเสียไป ในกรณีส่วนใหญ่ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า แต่บางครั้งสามารถเป็นปฏิกิริยาเคมีทั่วไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 กระบวนการทางไฟฟ้าเคมีของการกัดกร่อน [10]

โลหะ (M) จะเกิดการสูญเสียแรงยึดระหว่างอะตอมของโลหะ แล้วอะตอมนั้นก็กลายเป็นไอออนหลุดเข้าไปในสิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนขึ้น



ปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีการปล่อยอิเล็กตรอนที่แอโนด (anode) เพื่อให้เกิดสมดุลภายในระบบ และปฏิกิริยารีดักชันจะเกิดขึ้นที่แคโทด (cathode) โดยปกติทั่วไปปฏิกิริยาของรีดักชัน แบ่งออกเป็น 4 แบบ ดังนี้

1. เกิดไฮโดรเจน (ภายในน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรด)



2. เกิดรีดักชันของออกซิเจน (ภายในน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรด pH น้อยกว่า 4-5)



3. เกิดรีดักชันของออกซิเจน (ภายในน้ำที่มีฤทธิ์เป็นกลางหรือเป็นด่าง pH มากกว่า 4-5)

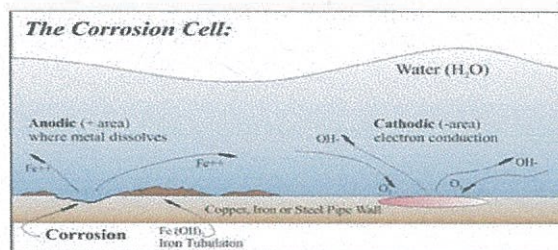
4. เกิดรีดักชันของไอออนของโลหะ



ส่วนมากปฏิกิริยาแอโนดและปฏิกิริยาแคโทดปฏิกิริยาจะเกิดที่ตำแหน่งต่างกัน เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของผิวโลหะหรือของสารละลายที่สัมผัสอยู่บนผิวของโลหะ

ความไม่สม่ำเสมอของเนื้อโลหะนั้นเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น เกิดจากส่วนผสมทางเคมีของโลหะ โครงสร้างของโลหะ ทิศทางการเกิดผลึก แรงเค้นที่ยังเหลืออยู่ อุณหภูมิที่ผิว ผิวฟิล์มที่เกิดการออกซิเดชัน คราบที่ติดอยู่บนผิวโลหะ และลักษณะของผิวโลหะ เป็นต้น ความไม่สม่ำเสมอของสารละลายที่สัมผัสอยู่กับผิวของโลหะนั้นมีด้วยกันหลายสาเหตุ เช่น ความเข้มข้นของไอออนต่างๆ ความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ อุณหภูมิของสารละลาย และความเร็วของการไหลของสารละลายนั้น

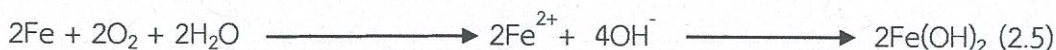
การเกิดเซลล์ไฟฟ้าเล็กๆเป็นจุดๆบนผิวของโลหะนั้น เรียกว่า Corrosion cell หรือเรียกอีกอย่างว่า Local cell ลักษณะการเกิด Corrosion cell บนผิวหน้าของโลหะนั้นแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเกิด corrosion cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนแล้ว สารตั้งต้นในสารละลายจะเกิดการรวมตัวกันเกิดเป็นผลิตภัณฑ์จากการกัดกร่อนขึ้น ในกรณีที่เหล็กเกิดการกัดกร่อนในสารละลายที่มีฤทธิ์เป็นกลาง ปฏิกิริยาของการกัดกร่อนจะเป็นไปตามสมการที่ (2.1) และ (2.4) รวมกัน ทำให้เกิดสารประกอบของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  ขึ้นที่ผิวของเนื้อเหล็กตามสมการ



สารประกอบนี้สามารถเกิดออกซิเดชันได้อย่างรวดเร็วด้วยออกซิเจนที่มีอยู่ในระบบ ทำให้เกิด  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ดังสมการ

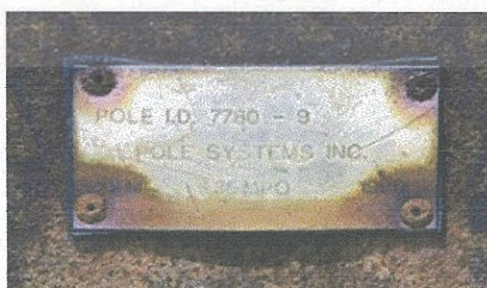


กระบวนการต่อไป คือสารประกอบจะสูญเสียน้ำ กลายเป็นสารประกอบตัวใหม่คือ  $\text{FeOOH}$  หรือ  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (สนิมเหล็กสีแดง) แต่ถ้าปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอปฏิกิริยาจะได้  $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (สนิมเหล็กสีดำ)

### 2.3.3 รูปแบบการกัดกร่อน

1. การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอทั่วผิวน้ำ (General or uniform corrosion) การกัดกร่อนแบบนี้พบเห็นได้ทั่วไป จะเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า มีผลทำให้โลหะมีน้ำหนักหายไป การกัดกร่อนประเภทนี้ในแง่ของเทคนิคไม่ค่อยเป็นปัญหาและไม่ก่อให้เกิดอันตรายรุนแรงเท่าใดนัก

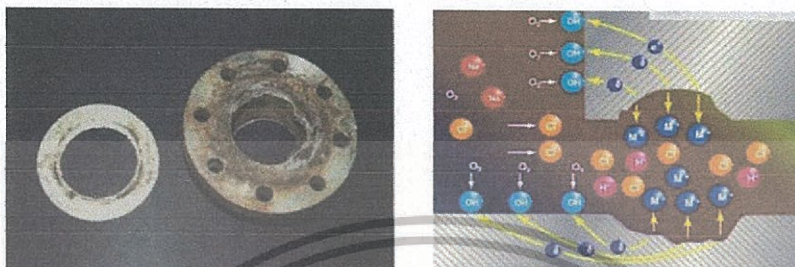
2. การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic corrosion) โลหะแต่ละชนิดจะมีศักย์ไฟฟ้าเคมีเฉพาะตัว ดังนั้นถ้ามีโลหะ 2 ชนิดสัมผัสกันอยู่และมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ส่วนโลหะที่นำไฟฟ้าหรือต่อกันอย่างครบวงจรไฟฟ้าเคมี เมื่อเวลาผ่านไปโลหะที่ศักย์ไฟฟ้าเคมีต่ำกว่าจะเกิดการกัดกร่อน (แอโนด) ขณะที่โลหะที่มีศักย์ไฟฟ้าเคมีสูงกว่าจะไม่เกิดการกัดกร่อน (แคโทด) ปริมาณกระแสและการกัดกร่อนจะขึ้นกับความต่างศักย์ไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างโลหะทั้งสอง



รูปที่ 2.4 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การกัดกร่อนในที่อับ (Crevice corrosion) เกิดได้จากการที่มีสารละลายที่ค้างอยู่ตามพื้นที่ที่เป็นหลุมหรือพื้นที่ที่เป็นซอกโดยสารละลายจะเข้าไปซึ่งอยู่เป็นเวลานานโดยไม่มีการถ่ายเท ทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำหรือสารละลายภายในซอกไม่เท่ากับภายนอก



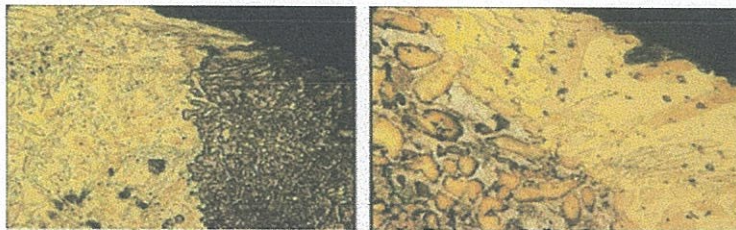
รูปที่ 2.5 การกัดกร่อนในที่อับ และภาพจำลองแสดงกลไกการกัดกร่อนในที่อับ

4. การกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting corrosion) เป็นการเกิดเฉพาะที่มีลักษณะเป็นรูหรือหลุมในเนื้อโลหะ เป็นการกัดกร่อนที่ก่อให้เกิดความเสียหายและรุนแรงที่สุด โดยที่ความเสียหายที่เกิดขึ้นมักจะเกิดอย่างฉับพลันยากที่จะตรวจพบเพราะมีขนาดเล็ก นอกจากนั้นยังยากที่จะตรวจวัดเชิงปริมาณ รวมทั้งยากต่อการตรวจวัดการขยายตัวของสภาพการกัดกร่อน บางครั้งอาจใช้เวลานานจึงปรากฏสภาพของการกัดกร่อน



รูปที่ 2.6 การกัดกร่อนแบบหลุม

5. การสูญเสียส่วนผสมบางตัว (Selective leaching) เกิดจากการที่ธาตุบางตัวละลายออกจากโลหะผสมเป็นผลมาจากการกระทำของสิ่งแวดล้อม ที่โลหะที่ว่องไวที่สุดออกจากโลหะ วัสดุที่เหลือจึงสูญเสียความแข็งแรงทางกายภาพไปมาก โลหะผสมประกอบด้วยโลหะตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ดังนั้นโลหะที่เป็นส่วนผสมที่มีศักย์ไฟฟ้าเคมีต่ำกว่าจะถูกกัดกร่อนออกไป



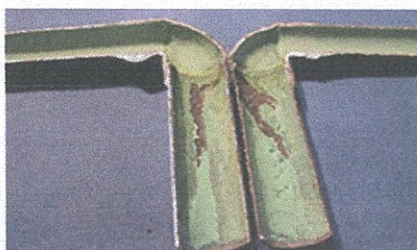
รูปที่ 2.7 การสูญเสียส่วนผสมบางตัว

6. การกัดกร่อนตามขอบเกรน (Intergranular corrosion) ขอบเกรนจะแสดงตัวเป็น ขี้แอนนอต (สูญเสียเนื้อโลหะ) ภายในเกรนจะแสดงตัวเป็นขี้แคว้โต หากบริเวณขอบเกรนมีอนุภาคอื่นๆ มาตกตะกอนอยู่ ขอบเกรนอาจจะถูกกัดกร่อนหรือทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้นอีก



รูปที่ 2.8 การกัดกร่อนตามขอบเกรน

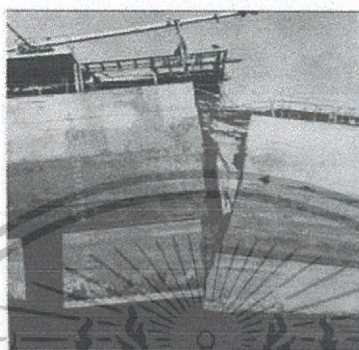
7. การกัดกร่อน-สึกกร่อน (Erosion corrosion) การกัดกร่อนเกิดขึ้นจากมีของไหลไหลผ่าน โลหะด้วยความเร็วสูง เมื่อโลหะเริ่มสึกจะทำให้โลหะเกิดการกัดกร่อนได้ง่ายขึ้น หากโลหะนั้นมีฟิล์ม ปกคลุมอยู่ การไหลของของไหลอาจทำให้ฟิล์มถูกทำลายไปบางส่วน ถ้าฟิล์มนี้สามารถเกิดขึ้นใหม่ได้อย่าง ง่ายและรวดเร็ว การกัดกร่อนก็จะไม่รุนแรงนัก แต่ถ้าฟิล์มใหม่เกิดขึ้นได้ช้าก็จะทำให้การกัดกร่อนเกิดขึ้น รุนแรงและรวดเร็ว



รูปที่ 2.9 การกัดกร่อน-สึกกร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

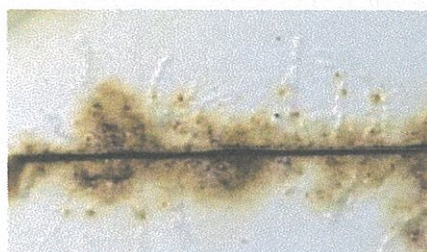
8. การกัดกร่อน-ความล้า (Fatigue corrosion) ความล้าเป็นอาการของโลหะที่ถูกแรงกระทำซ้ำๆ กันจนที่สุดแล้วโลหะนั้นก็แตกหักเสียหายโดยทั่วไปการกัดกร่อนแบบนี้จะเกิดเมื่อขนาดแรงเค้นต่ำกว่าค่า Yield point รวมทั้งอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ดังนั้นจึงถูกกระทำทั้งทางกล และทางเคมี โดยมีผลไปลดความต้านทานของโลหะจนถึงจุดที่เกิดความเสียหาย



รูปที่ 2.10 การกัดกร่อน-ความล้า

9. การกัดกร่อนร่วมกับความเค้น (Stress corrosion) การกัดกร่อนชนิดนี้จะเกิดกับโลหะที่อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีสารกัดกร่อน และมีความเค้นแรงตั้งกระทำกับโลหะ ความเค้นนี้อาจเป็นความเค้นตกค้าง หรือความเค้นภายนอกที่มากระทำ การเสียหายแบบนี้ผิวโลหะอาจไม่ถูกกัดกร่อนหรือไม่เปลี่ยนแปลงเลยแต่ในเนื้อโลหะจะมีรอยร้าวเล็กๆ เป็นกิ่งก้าน โดยที่รอยร้าวนี้อาจเกิดตามขอบเกรนหรือผ่าเกรนก็ได้

10. การกัดกร่อนแบบได้ชั้นเคลือบ (Filiform corrosion) เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นภายใต้ชั้นเคลือบพบได้กับโลหะที่มีการทาเคลือบผิวเพื่อป้องกันการกัดกร่อนทั่วผิวหน้า การกัดกร่อนแบบนี้มีผลให้สภาพผิวของชิ้นงานเสียไปเท่านั้น แต่ไม่ได้ทำความเสียหายแก่โครงสร้างของชิ้นงานภายใต้ ผิวเคลือบจะเกิดการกัดกร่อนลุกลามเป็นบริเวณ แล้วส่งผลต่อเนื่องให้เกิดเป็นบริเวณกว้างขึ้น



รูปที่ 2.11 การกัดกร่อนใต้ชั้นเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การป้องกันการกัดกร่อน [10]

### 2.4.1 การป้องกันการกัดกร่อนโดยการปรับสภาวะแวดล้อม

#### 1. การขจัดตัวประกอบที่เร่งการกัดกร่อน

1.1 การขจัดความชื้นในอากาศจะมีความชื้นจากไอน้ำและความชื้นอิมิตัวถ้าต้องการป้องกันสนิมดังนั้นจึงต้องทำการขจัดความชื้นในอากาศออก

1.2 การขจัดส่วนประกอบที่เป็นอันตรายในอากาศและออกซิเจนในน้ำ การป้องกันไม่ให้เกิดสนิม คือการขจัดออกซิเจนโดยใช้สารขจัดออกซิเจนแต่ในอากาศยังมีโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือเกลือต่างๆ ซึ่งมีผลในการกัดกร่อน ดังนั้นจึงต้องทำการกรองอากาศและขจัดสารตัวประกอบที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนออกไป

1.3 การปรับ pH น้ำที่มีฤทธิ์เป็นกรดเนื่องจากมีกรดคาร์บอนิก หรือกรดอื่นๆละลายอยู่ ต้องทำการสะเทินโดยโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือหินปูนซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่าง

#### 2. การใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน

2.1 สารยับยั้งที่เป็นสารอินทรีย์ในธรรมชาติ ได้แก่ แทนนิน เจลาติน ผงแป้งและกลุ่มน้ำตาล ที่เป็นสารโมเลกุลใหญ่

2.2 สารยับยั้งที่เป็นสารอนินทรีย์ชนิดของสารยับยั้งอาจแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ตามกลไกของปฏิกิริยา ได้แก่

- Anodic inhibitor มีประจุลบ เช่น  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$  และ  $\text{PO}_4^{3-}$  ฟิล์มป้องกันที่เกิดขึ้นบนผิวของโลหะบริเวณที่เป็นแอโนด สารยับยั้งจะไม่เกิดผลกับปฏิกิริยาที่แคโทด แต่จะปกคลุมบริเวณแอโนดเท่านั้น ดังนั้นถ้าใช้ปริมาณน้อยเกินไปก็ปกคลุมไม่ทั่วถึง จึงต้องใช้ให้มีปริมาณเพียงพอที่จะปกคลุมแอโนดทั้งหมด

- Cathodic inhibitor เป็นพวกประจุบวก เช่น Phosphate จะมีประจุบวกเกาะที่แคโทด แต่ไม่มีผลต่อแอโนด การที่สารยับยั้งไปครอบคลุมผิวของแคโทด ทำให้ปฏิกิริยาแคโทดไม่เกิดขึ้น สารแคโทดิกเช่น  $\text{HCO}_3^-$

- Adsorption inhibitors เป็นสารประเภท Surface active agents ไปเคลือบผิวโลหะเกิดเป็นฟิล์มบางๆ ไม่ใช่เกิดจากเนื้อโลหะทำปฏิกิริยากับสารภายนอก โดยส่วนใหญ่สารโมเลกุลใหญ่ก็จะทำให้การเคลือบผิวโลหะดีขึ้น

### 2.4.2 การแยกโลหะจากสภาวะแวดล้อมเพื่อป้องกันการกัดกร่อน (การเคลือบผิว)

#### 1. การเคลือบด้วยโลหะ

1.1 การเคลือบทางเคมี ได้แก่ นิกเกิลและทองแดงที่อยู่ในเกลือ ซึ่งคลอไรด์จะทำปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันแลกเปลี่ยนกับโลหะทำให้เกิดการเคลือบที่ผิวของชิ้นงาน

1.2 การเคลือบทางไฟฟ้า หรือ Electroplating

1.3 การเคลือบโดยการหลอมละลาย (Hot dipping) โดยการหลอมโลหะที่อุณหภูมิสูงใส่ในภาชนะ จากนั้นจุ่มชิ้นงานลงไปให้เกาะติดผิวขึ้นมา

1.4 การเคลือบด้วยการพ่น หรือการทำพลาสมาเทคโนโลยี โดยใช้โลหะที่หลอมละลายด้วยความร้อนจากไฟฟ้าหรือก๊าซพ่นโดยอากาศที่อัดแน่น เพื่อเคลือบติดผิวจะได้ชั้นฟิล์มที่มีรูพรุนมาก

2. การเคลือบด้วยสารอินทรีย์

2.1 การเคลือบด้วยฟอสเฟต

2.2 การเคลือบผิวภายในด้วยอีนาเมลและแก้ว

2.3 การเคลือบด้วยมอร์ตา ซีเมนต์ซึ่งผสมด้วยเรซินชนิดต่างๆ

3. การเคลือบด้วยสารอินทรีย์

3.1 การทาสี (Painting) โดยลักษณะทั่วไปจะมีพิกเมนต์ในน้ำมันหรือพวกรเรซิน เมื่อทาแล้วสารละลายก็จะระเหยไปเหลือชั้นฟิล์มที่เป็นสีอยู่

#### 2.4.3 การป้องกันโดยวิธีทางไฟฟ้า

1. การป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิก การป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิก คือการทำให้โลหะหรือโครงสร้างที่ต้องการป้องกันการกัดกร่อนที่จะเป็นแอโนดซึ่งจะเกิดการกัดกร่อนได้ เปลี่ยนให้เป็นแคโทดแทน โดยมีวิธีการทำได้ 2 วิธี ได้แก่

1.1 Sacrificial anode วิธีนี้ใช้ได้ดินที่ที่ไม่มีแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้า แอโนดที่ใช้จะเป็นโลหะที่มีตระกูลต่ำกว่าหรือโลหะที่อ่อนแอกว่า ที่ใช้กันมากคือ สังกะสี แมกนีเซียม อลูมิเนียม หรือออกไซด์ผสมของโลหะเหล่านี้มาสัมผัสไว้กับโลหะที่ต้องการป้องกัน เมื่อครบวงจรแล้วโลหะที่ต้องการป้องกันก็จะทำหน้าที่เป็นแคโทดแทน และโลหะที่นำมาเกาะไว้ก็จะเป็นแอโนดซึ่งจะเกิดการกัดกร่อนแทน

1.2 Impressed current วิธีนี้จะเป็นการให้กระแสไฟฟ้าจากภายนอก เพื่อให้โลหะที่ต้องการป้องกันเป็นแคโทด โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าจะต้องสูงมากพอที่ชนะความต่างศักย์ของโลหะนั้นๆ ข้อดีของวิธีการนี้ คือสามารถใช้ได้กับชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่และให้กระแสไฟฟ้าได้มากตามต้องการแต่มีค่าบำรุงรักษาสูง

2. การป้องกันการกัดกร่อนแบบแอโนดิก การป้องกันการกัดกร่อนแบบแอโนดิกจะอาศัยหลักการใช้กระแสจากภายนอกมาทำให้โลหะที่ต้องการป้องกันเป็นแอโนดและเกิดฟิล์มป้องกันบนผิวของแอโนด เพื่อที่จะลดอัตราการกัดกร่อนให้น้อยลง โดยที่กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำให้เกิดฟิล์มบนผิวโลหะจะสูงแต่เมื่อเกิดฟิล์มแล้วกระแสไฟฟ้าที่ใช้รักษาฟิล์มจะมีค่าต่ำมาก แต่อย่างไรก็ตามการป้องกันการกัดกร่อนแบบแอโนดิกนี้ไม่สามารถทำกับโลหะทุกชนิดได้ เพราะโลหะบางชนิดเท่านั้นที่จะเกิดฟิล์มบนผิวได้ โดยโลหะดังกล่าวจะต้องมีความสามารถที่จะเกิดฟิล์มบนผิวโลหะเมื่อเพิ่มความต่างศักย์และเพิ่มกระแส

จนถึงกระแสที่จุดวิกฤต ก็จะเป็นฟิล์มป้องกันชั้นที่ผิวโลหะ ทำให้ทนต่อการกัดกร่อนดีขึ้นและค่ากระแสก็จะลดลง

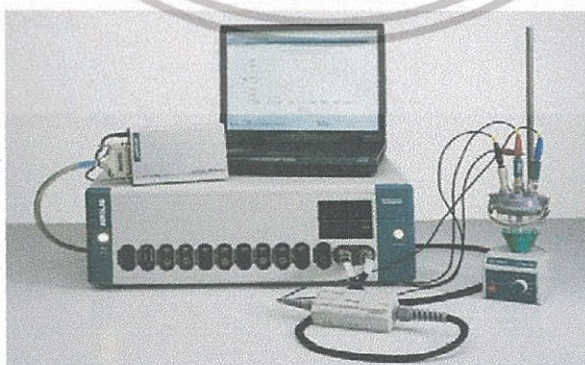
## 2.5 เหล็กกล้าไร้สนิม

เหล็กทั่วไปจะเกิดสนิมได้ง่ายในบรรยากาศที่มีความชื้น โดยการเกิดสนิมจะเกิดต่อไปไม่มีการหยุด คือ สนิมจะเกิดหนาขึ้นเรื่อยๆ ยิ่งถ้าเหล็กอยู่ในน้ำจะยิ่งเป็นสนิมหรือผุกร่อนได้ดีเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) เพราะเหล็กมีความเป็นแอโนดสูง ดังนั้นเมื่อผสมธาตุโครเมียมให้มีปริมาณสูงๆ เหล็กจะมีคุณสมบัติต้านทานต่อการเกิดสนิมได้มากขึ้นจนกระทั่งไม่เกิดสนิมแม้จะอยู่ในน้ำหรือในสารละลายที่เป็นกรดเจือจาง จึงกล่าวได้ว่าเหล็กผสมโครเมียมมีคุณสมบัติเป็นแอโนดลดลงหรือมีความเป็นแคโทดเพิ่มขึ้น เหล็กที่มีคุณสมบัติดังกล่าวเรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) [11]

### 2.5.1 เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 เป็นเหล็กในกลุ่มออสเทนเนตริก (Austenitic) โดยมีการเพิ่มธาตุโครเมียม 18-20% และนิกเกิล 8-10.5% [11] ซึ่งนิกเกิลที่ผสมอยู่จะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายใน ทำให้ช่วยป้องกันการกัดกร่อนจากสิ่งต่างๆ และโครเมียมที่ผสมอยู่จะช่วยป้องกันการเกิดสนิม เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีคุณสมบัติไม่นำไฟฟ้าหรือความร้อนแต่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่าเหล็กปกติและใช้กันอย่างแพร่หลาย เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength) ปานกลาง แต่มีค่าความต้านทานแรงดึง (Tensile strength) และค่าความยืด (Elongation) สูงจึงทำให้ขึ้นรูปได้ดี

## 2.6 โปเทนชิโอสแตต (Potentiostat)



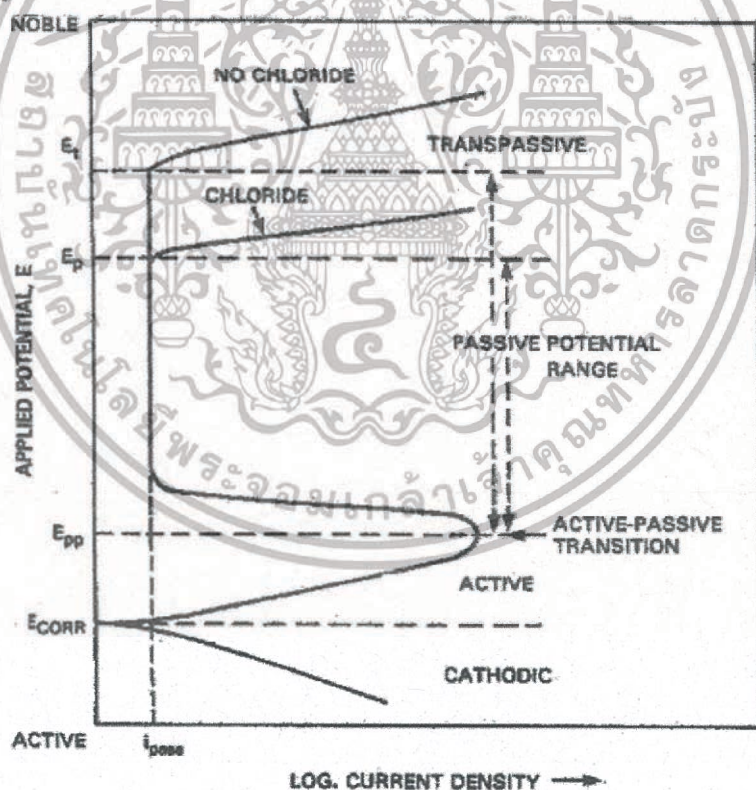
รูปที่ 2.12 เครื่องโพเทนชิโอสแตตพร้อมอุปกรณ์วัดและเซลล์การกัดกร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1 หลักการทำงาน [12]

เครื่องโพเทนชิโอสแตทประยุกต์มาจากสมการของเนินส์ โดยวัดค่าแรงขับเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive force, emf) หรือค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยต่อเข้ากับแหล่งจ่าย ศักย์ไฟฟ้า คือเครื่อง Potentiostat โดยมีขั้วไฟฟ้าที่ใช้งาน (Electrode) ทั้งหมด 3 ส่วน ดังนี้

1. Reference electrode เป็นขั้วอ้างอิงเมื่อวัดเทียบกับ Working electrode ซึ่งจะได้ ศักย์ไฟฟ้าของโลหะนั้น
2. Counter electrode เป็นขั้วที่ทำหน้าที่ถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่มาจากภายนอกสู่สารละลาย อิเล็กโทรไลต์
3. Working electrode เป็นโลหะที่ต้องการทดสอบค่าที่วัดได้จากเครื่องโพเทนชิโอสแตท คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (Current density ในหน่วยแอมป์) และศักย์ไฟฟ้า (ในช่วงที่สนใจ ทดสอบมีหน่วยเป็นโวลต์) เมื่อนำค่าทั้งสองมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์จะได้ Polarization curve



รูปที่ 2.13 ส่วนต่างๆที่สำคัญของเส้นโค้งโพลาริเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเส้นโค้งโพลาริเซชัน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วงที่สำคัญ คือ

1) ช่วงที่โลหะเกิดความว่องไวต่อการกัดกร่อน หรือ Active region ตัวแปรสำคัญที่วัดได้ในช่วงนี้ คือ ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนเป็นช่วงที่ความต่างศักย์และกระแสเพิ่มขึ้น

2) ช่วงที่โลหะไม่ว่องไวต่อการกัดกร่อน หรือ Passive region ตัวแปรสำคัญที่วัดได้ในช่วงนี้ คือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและศักย์ไฟฟ้าการเกิดพาสซีฟฟิล์มเป็นบริเวณที่มีค่ากระแสสูงสุดก่อนเกิด Passivation ค่ากระแสนี้เรียกว่า Critical current density ค่าความต่างศักย์นี้เรียกว่า Passivation potential

3) ช่วงที่โลหะเกิดการละลายสูญเสียเนื้อโลหะอีกครั้ง เนื่องจากการแตกออกของพาสซีฟฟิล์ม หรือ Transpassive region

## 2.6.2 ทฤษฎีของการเกิด Passivity [13]

1. Oxidation film hypothesis สมมติฐานนี้จะเกิดฟิล์มบางมากอยู่ในช่วง 20-80 Å เป็นฟิล์มของ Hydration oxide หรือสารประกอบอื่นๆ

2. Adsorption hypothesis เนื่องจากออกซิเจนหรือออกไซด์เกิด Chemical adsorption กับโลหะทำให้น้ำถูกไล่ออกไปโลหะละลายได้ช้าลง ฟิล์มตามสมมติฐานนี้ค่อนข้างจะแข็งแรงเพราะคาดว่า มี Covalent bond กับ Unpaired electron ของออกซิเจนด้วย

## 2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.7.1 เครื่องฟูริเออร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) [14]



รูปที่ 2.14 เครื่องฟูริเออร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินฟราเรดสเปกโตรสโกปีเป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ พิสูจน์ และศึกษาเกี่ยวกับโมเลกุลของสารซึ่งอยู่ในสถานะของแข็ง ของเหลวหรือแก๊ส ข้อมูลที่ได้จะเกิดจากการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของสารจะแสดงผลที่เกี่ยวกับการสั่น (Vibration) และการหมุน (Rotation) ของโมเลกุล เครื่องฟูรีเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์จะใช้การวัดความเข้มเข้มแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆกันอย่างต่อเนื่องเปรียบเทียบกับเวลา (Time - domain spectrum) จากนั้นจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสเปกตรัมของความเข้มของแสงต่อความยาวคลื่นหรือเลขคลื่นโดยการ Fourier transform

ข้อดี คือ

- ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็วและมีความไวสูง เพราะการวัดด้วยเครื่องธรรมดา ที่วิเคราะห์ทีละความถี่ (Sequentially) แต่ FT-IR วัดที่ความถี่ต่างๆ อย่างต่อเนื่อง (Simultaneously)

- มีอัตราส่วนของสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal-to-noise ratio : s/n) ต่ำอัตรา s/n จะแปรผันกับรากที่สองของปริมาณสัญญาณที่ตรวจวัดได้ทั้งหมด

- ความไวของเครื่องตรวจวัดสามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่ม s/n ร่วมกับการเพิ่มจำนวนรอบของการสแกน มีการใช้ Circular optical aperture แทนที่ Entrance slit ทำให้ขนาดรังสีมีขนาดมากกว่าแบบ Dispersive ถึง 75-100 เท่า

- มีกำลังแสงสูง เหมาะสำหรับตัวอย่างหรือเทคนิคบางเทคนิคที่มีข้อจำกัดของกำลังแสง

- นอกจากนี้ FT-IR ยังให้ประสิทธิภาพในการแยกสูงรวมทั้งมีความถูกต้องไม่ต่ำกว่า  $0.01 \text{ cm}^{-1}$

มีกลไกทำงานที่ง่าย

- มีคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมและทำงานทำให้การวิเคราะห์ง่ายและสะดวกขึ้น

ข้อเสีย คือ เป็นเครื่องที่มีราคาแพงและค่าทำนบารุงสูง

ข้อจำกัด คือ ในการเตรียมตัวอย่างบางเทคนิคที่ต้องใช้สารละลายที่ยินยอมให้รังสีทะลุผ่านและตัวอย่างจะต้อง Active ในช่วงอินฟราเรดเครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ควรจะต้องอยู่ในห้องที่ควบคุมความชื้นตลอดเวลา

## 2.8 รายงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 Nasrin Soltani และคณะได้ทำการวิจัยโดยศึกษาสารสกัดของใบเสจที่มีผลต่อการยับยั้งการกักกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ใน HCl 1.0 โมลาร์ โดยการนำใบเสจมาสกัดด้วยเอทานอล 70% 20 มิลลิลิตร แล้วนำไปรีฟลักซ์ 30 นาที จากการศึกษาพบว่าสารสกัดจากใบเสจสามารถช่วยลดการเกิดการกักกร่อนแบบหลุมได้ โดยที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการใช้งานมากที่สุดคือ 2 กรัมต่อลิตร ซึ่งแบลงค์และที่เติมสารสกัดลงไป 2 กรัมต่อลิตร มีค่า  $E_{\text{corr}}$  เท่ากับ -439 และ -368 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ส่วน  $i_{\text{corr}}$  มีค่าเท่ากับ 342 และ 11.8 ไมโครแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เติมสารสกัดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไป 2.5 กรัมต่อลิตร ค่า  $E_{\text{corr}}$  จะเพิ่มขึ้นเป็น -372 และ  $i_{\text{corr}}$  จะลดลงเหลือ 11.3 ไมโครแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมในการใช้สารสกัดจากใบเสจคือ 2 กรัมต่อลิตร [1]

2.8.2 M. Behpour และคณะได้ทำการวิจัยโดยทำการศึกษาประสิทธิภาพของการยับยั้งการกัดกร่อนด้วยสารสกัดจากธรรมชาติของเปลือกทับทิมและองค์ประกอบหลักในเปลือก ซึ่งได้แก่ Ellagic acid และ Tannic acid ในการยับยั้งการกัดกร่อนในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 โมลาร์ และกรดซัลฟิวริก 1 โมลาร์ ซึ่งทำการสกัดโดยนำเปลือกแห้งของทับทิมมาบดให้เป็นผงละเอียดปริมาณ 1.0 กรัม มาสกัดกับเมทานอล 100 มิลลิลิตร แล้วนำมารีฟลักซ์เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ได้จากการสกัดเปลือกทับทิมแห้ง และองค์ประกอบหลักชนิด Ellagic acid สามารถยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกได้ดีกว่าในกรดซัลฟิวริก ดังเช่นในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 2 โมลาร์ สารสกัดจากเปลือกแห้งของทับทิมที่ความเข้มข้น 1.0 กรัมต่อลิตร จะมี  $E_{\text{corr}}$  เท่ากับ -383 มิลลิโวลต์ และ  $i_{\text{corr}}$  เท่ากับ 17.6 ไมโครแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร ในขณะที่ในสารละลายกรดซัลฟิวริก 1 โมลาร์ สารสกัดจากเปลือกแห้งของทับทิมที่ความเข้มข้นเดียวกัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ -373 มิลลิโวลต์ และ  $i_{\text{corr}}$  จะลดลง คือ มีค่าเท่ากับ 10.9 ไมโครแอมแปร์ต่อตารางเซนติเมตร และจากกราฟโพลาริเซชันพบว่า สารสกัดทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวยังมีสมบัติเป็น Mixed type inhibitor ในสารละลายกรดทั้งสองชนิดอีกด้วย และนอกจากนี้ยังพบว่าสารองค์ประกอบหลักในเปลือกแห้งของทับทิมชนิด Ellagic acid มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีกว่าในชนิด Tannic acid [2]

2.8.3 M. Hazwan Hussin และคณะได้ทำการวิจัยโดยทำการสกัด *U. gambir* ด้วยวิธี Aqueous extract พบว่า *U. gambir* มีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อน เนื่องจากใน *U. Gambir* ประกอบไปด้วย Flavan monomer จำพวก (+)-catechin, (+)-epicatechin และ alkaloids และจากงานวิจัยของ Hayani ในปี 2003 พบว่า Gambir มี Catechin ถึง 80 % และ Active functional group เช่น nitro (-NO<sup>2</sup>), hydroxyl (-OH), heterocyclic compound และ  $\pi$  electron ที่มีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อน [3]

2.8.4 เกสรี กลิ่นสุคนธ์ และคณะได้ทำการวิจัยเรื่องการประเมินคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและต้านเชื้อแบคทีเรียของพืชสมุนไพรพื้นบ้านของไทย จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ผักคราดหัวแหวน (Para cress) ผักบู่ทะเล (Beach morning glory) สมอไทย (Myrabolan wood) สมอพิเภก (Beleric myrobalan) และส้มป่อย (Soap pod) จากการศึกษาปริมาณสารพฤกษศาสตร์เคมี พบว่าสารสกัดจากสมอพิเภกและสมอไทย มีปริมาณสารฟีนอลิกและปริมาณสารฟลาโวนอยด์สูงที่สุด โดยมีปริมาณสารฟีนอลิก เท่ากับ  $216.65 \pm 10.55$ ,  $196.90 \pm 6.49$  มิลลิกรัมสมมูลกรดแกลลิกต่อกรัมสารสกัด ตามลำดับ และมีปริมาณสารฟลาโวนอยด์เท่ากับ  $38.27 \pm 3.21$ ,  $33.90 \pm 2.37$  มิลลิกรัมสมมูลของเคเทเคตินต่อกรัมสารสกัด ตามลำดับ สารสกัดจากสมอพิเภก สมอไทย ผักบู่ทะเลมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(IC 50 เท่ากับ  $0.0029 \pm 0.0007$  และ  $0.0281 \pm 0.0032$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ) และ ABTS (IC 50 เท่ากับ  $0.822 \pm 0.104$ ,  $1.058 \pm 0.057$  และ  $1.656 \pm 0.044$  มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรตามลำดับ) ได้ตีสารสกัดจากสมอพิเภกมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรีย *Bacillus cereus* (MIC คือ 2.56 และ MBC คือ 20.48 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และเชื้อ *Staphylococcus epidermidis* (MIC คือ 0.64 และ MBC คือ 20.48 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) โดยใช้วิธีการสกัดจากการเตรียมสมุนไพรที่บดละเอียดมาสกัดเย็นโดยใช้ตัวทำละลายเอทานอลจำนวน 3 ซ้ำ แล้วนำสารสกัดมาระเหยแห้งด้วยเครื่อง Rotary evaporator จะได้สารสกัดหยาบที่ปราศจากเอทานอล [4]

2.8.5 ศศิธร วุฒิวิณชัย ได้ทำการวิจัยโดยวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารสกัดหยาบที่ได้จากผลสมอพิเภก สมอไทยและเบญจกานี ต่อการพัฒนาอาการโรคแคงเกอร์ของมะกรูดที่เกิดจากเชื้อ *Xanthomonas axonopodis* pv. *citri* โดยทำการปลูกเชื้อบนใบมะกรูด อายุ 15 เดือนในสภาพเรือนทดลอง การทดลองแบ่งเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุด A ปลูกเชื้อทันทีหลังจากฉีดพ่นสารสกัดจากพืชลงบนใบมะกรูด ชุด B ปลูกเชื้อหลังจากฉีดพ่นสารสกัดจากพืชลงบนใบมะกรูดแล้วทิ้งไว้ 3 วัน โดยใช้สารสกัดความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตรที่สกัดด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% แล้วระเหยตัวทำละลายออกจาก Rotary vacuum evaporator พบว่าสารสกัดหยาบจากพืชทั้ง 3 ชนิด สามารถลดความรุนแรงของอาการโรคแคงเกอร์มะกรูดได้ โดยขนาดของแผลเล็กกว่า Control ที่ไม่ได้ฉีดพ่นสารสกัดจากพืช สารสกัดหยาบจากผลสมอไทย ทั้ง 2 ชุดการทดลองสามารถลดขนาดแผลและการพัฒนาอาการของโรคได้ดีที่สุด ส่วนสารสกัดจากผลสมอพิเภกและผลเบญจกานีให้ผลเป็นที่น่าพอใจรองลงมา สารสกัดจากพืชที่ฉีดพ่นลงบนใบมะกรูดใหม่ๆ ก่อนการปลูกเชื้อ (ชุด A) มีประสิทธิภาพในการลดขนาดแผลได้ดีกว่าสารสกัดที่ฉีดพ่นทิ้งไว้ 3 วันก่อนการปลูกเชื้อ (ชุด B) [15]

2.8.6 วัชรรา สุวรรณอาศน์และศศิธร วุฒิวิณชัย ได้ทำการวิจัยโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาถึงประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากพืชสมุนไพรในการยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรีย *Erwinia carotovora* สาเหตุโรคน้ำและของผักทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยนำสมุนไพร 20 ชนิด มาสกัดในเอทานอล 95% นำไปเข้าเครื่องเขย่าจากนั้นกรองเศษพืชออกและนำส่วนน้ำที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกจากด้วยเครื่องระเหยระบบสุญญากาศ (Rotary vacuum evaporator) และเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อด้วยวิธี Paper disc agar diffusion พบว่ามีพืช 8 ชนิด สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อได้ ได้แก่ ผลกานพลู ผลเบญจกานี ผลสมอพิเภก ผลสมอไทย เปลือกทับทิม เปลือกผลมังคุด ใบพลูและใบฝรั่ง สารสกัดที่ให้ผลดีที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ สารสกัดหยาบจากผลสมอพิเภก เปลือกผลทับทิม และผลเบญจกานีให้ค่าเฉลี่ยของบริเวณยับยั้งกว้างที่สุดที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรคือ 0.41, 0.33 และ 0.25 เซนติเมตร ตามลำดับ และเมื่อนำสารสกัดหยาบทั้ง 3 ชนิด มาทดสอบความสามารถในการลดปริมาณเชื้อแบคทีเรีย สาเหตุโรคในดินจำลองการติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อ พบว่าสารสกัดยับยั้งจากผลสมอพิเภก 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เปลือกผลทับทิมสามารถลดปริมาณเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคในดินได้ดีที่สุด โดยประชากรของเชื้อลดลงจาก  $3.20 \times 10^7$  cfu/ml ในวันแรก เหลือ  $2.50 \times 10^5$  cfu/ml ในวันที่ 30 เมื่อเปรียบเทียบกับ Control ในช่วงเวลาเดียวกันยังคงอยู่ที่  $9.87 \times 10^5$  cfu/ml [16]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 กรดไฮโดรคลอริก 37% เกรดวิเคราะห์
- 3.1.2 เอทานอล 100% เกรดวิเคราะห์
- 3.1.3 น้ำกลั่น
- 3.1.4 ผงของผลแห้งสมอพิเภก

#### 3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้

- 3.2.1 เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304
- 3.2.2 ผงของผลแห้งสมอพิเภก
- 3.2.3 เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator) : EYELAB รุ่น N-N
- 3.2.4 ชุดกรองลดความดัน
- 3.2.5 pH meter : SevenEasy S20
- 3.2.6 เครื่องโพเทนชิโอสแตท (Potentiostat) : Autolab PGSTAT12
- 3.2.7 กระจาดยทราย TOA หมายเลข 220 400 600 1200 และ 1500
- 3.2.8 เครื่องแก้ว
- 3.2.9 ครกบดยา
- 3.2.10 อะลูมิเนียมฟอยล์
- 3.2.11 เครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic bath) : Elmasonic E30H
- 3.2.12 ชุดทดสอบการกัดกร่อน
- 3.2.13 เครื่องฟูรีเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) : IR Tracer-100
- 3.2.14 เครื่องฟูรีเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) : Tensor 27 Bruker พ่วงกับ HYPERION 3000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.3.1 การสกัด

1. การสกัดสารจากสมอพิเภก [4]
  - 1.1 ชั่งผงของผลแห้งของสมอพิเภกปริมาณ 100 กรัม
  - 1.2 แช่ผงของผลแห้งสมอพิเภกในเอทานอล 100% เกรดวิเคราะห์ มาปริมาณ 1000 มิลลิลิตร เป็นเวลา 3 วัน
  - 1.3 กรองแบบลดความดัน แยกผงสมอพิเภกออกจากสารสกัด
  - 1.4 ระเหยเอทานอลด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator) ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง
  - 1.5 เก็บสารสกัดที่ได้ไว้ในที่มืด โดยห่อด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์

#### 3.3.2 เตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. การเตรียมสารละลาย Blank (กรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร)
  - 1.1 ชั่งกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% จำนวน 0.4927 กรัม ลงในบีกเกอร์ และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1000 มิลลิลิตร
2. การเตรียมสารละลายที่มีสารสกัด
  - 2.1 เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ โดยชั่งกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% จำนวน 0.4927 กรัม ลงในบีกเกอร์
  - 2.2 เตรียมสารสกัดจากผงของผลแห้งสมอพิเภกที่ความเข้มข้น 10 100 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งสารสกัดมา 10 100 300 และ 400 มิลลิกรัม ตามลำดับ ใส่รวมกับกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ที่ชั่งไว้ พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1000 มิลลิลิตร
3. การเตรียมเหล็กชิ้นงาน
  - 3.1 นำเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มาตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร จากนั้นขัดด้วยกระดาษทรายหมายเลข 220 400 600 1200 และ 1500 ตามลำดับ โดยใช้ น้ำกลั่นในการช่วยขัด จากนั้นล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด
  - 3.2 นำเหล็กชิ้นงานที่ขัดแล้วไปแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% และนำเข้าเครื่องอัลตราโซนิคเป็นเวลา 15 นาที
  - 3.3 เป่าเหล็กชิ้นงานให้แห้งด้วยลมร้อน

#### 3.3.3 วิธีการทดสอบการกัดกร่อน

1. นำชุดทดสอบการกัดกร่อนไปล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วเช็ดให้แห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องโพเทนชิโอสแตท และโปรแกรม Nova รุ่น 1.5 จากนั้นตั้งค่ากระบวนการวิเคราะห์ โดยใช้ค่าศักย์ไฟฟ้าตั้งแต่ -500 ถึง 1500 มิลลิโวลต์ เทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit potential)

3. นำสารสกัดที่เตรียมไว้เทลงไปใน Corrosion cell แล้วเริ่มพ่นแก๊สไนโตรเจนลงไปในสารสกัดเป็นเวลา 30 นาที ด้วยอัตรา 0.2 ลิตรต่อนาที

4. นำชิ้นงาน ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง และขั้วไฟฟ้าตรงข้ามชนิดแพลตตินัมใส่ลงไปใน Corrosion cell แล้วต่อขั้วไฟฟ้า

5. กดจ่ายกระแสไฟฟ้าที่เครื่องโพเทนชิโอสแตท และกดเริ่มการวัดค่าที่หน้าจอบคอมพิวเตอร์

6. นำข้อมูลที่วัดได้ไปวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน ( $i_{corr}$ ) และค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน ( $E_{corr}$ ) โดยการประมาณการนอกช่วงทาเฟิล (Tafel extrapolation) หลังจากการสร้างกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาราไรเซชัน

### 3.3.4 วิธีการทดสอบด้วยเทคนิค Chronoamperometry

1. การเตรียมสารละลาย Blank (กรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร)

1.1 ชั่งกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% จำนวน 0.4927 กรัม ลงในบีกเกอร์ และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 1000 มิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลายที่มีสารสกัด

2.1 เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ โดยชั่งกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37% จำนวน 0.4927 กรัม ลงในบีกเกอร์

2.2 เตรียมสารสกัดจากผงของผลแห้งสมอพิเภกที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตรโดยชั่งสารสกัดมา 300 มิลลิกรัม ใส่รวมกับกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ที่ชั่งไว้ พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1000 มิลลิลิตร

3. การเตรียมเหล็กชิ้นงาน

3.1 นำเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มาตัดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร หนา 0.3 เซนติเมตร จากนั้นขัดด้วยกระดาษทรายหมายเลข 220 400 600 1200 และ 1500 ตามลำดับ โดยใช้น้ำกลั่นในการช่วยขัด จากนั้นล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด

3.2 นำเหล็กชิ้นงานที่ขัดแล้วไปแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% และนำเข้าเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที

3.3 เป่าเหล็กชิ้นงานให้แห้งด้วยลมร้อน

4. วิธีการทดสอบ

4.1 นำชุดทดสอบการกัดกร่อนไปล้างด้วยน้ำกลั่น แล้วเช็ดให้แห้ง

4.2 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องโพรเทนซีไอเอสแดท และโปรแกรม Nova รุ่น 1.5 จากนั้น ตั้งค่ากระบวนการวิเคราะห์ โดยใช้ค่าศักย์ไฟฟ้า 0.1 มิลลิโวลต์ เทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit potential)

4.3 นำสารสกัดที่เตรียมไว้เทลงไปใน Corrosion cell แล้วเริ่มพ่นแก๊สไนโตรเจนลงไปใน สารสกัดเป็นเวลา 30 นาที ด้วยอัตรา 0.2 ลิตรต่อนาที

4.4 นำชิ้นงาน ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ขั้วไฟฟ้าตรงข้ามชนิดแพลตตินัมใส่ลงไปใน Corrosion cell แล้วต่อขั้วไฟฟ้า

4.5 กดจ่ายกระแสไฟที่เครื่องโพรเทนซีไอเอสแดท และกดเริ่มการวัดค่าที่หน้าจอคอมพิวเตอร์

4.6 สังเกตผิวหน้าของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304

### 3.3.5 ตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูรีเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FT-IR)

1. การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกด้วยเครื่องฟูรีเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ : IR Tracer-100

1.1 นำสารที่สกัดได้จากสมอพิเภกมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

1.2 บดสารสกัดที่อบแห้งแล้วด้วยครกบดยาให้เป็นผงละเอียด

1.3 นำผงสารสกัดที่บดได้ไปวัดด้วยเครื่องฟูรีเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

2. การตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันของชั้นฟิล์มสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก ที่เคลือบลงบนเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ด้วยเครื่องฟูรีเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ : Tensor 27 Bruker ต่อกับ HYPERION 3000

2.1 นำเหล็กชิ้นงานไปขัดด้วยกระดาษทรายหมายเลข 220 400 600 1200 และ 1500 ตามลำดับ โดยใช้ น้ำกลั่นในการช่วยขัด จากนั้นล้างชิ้นงานด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด

2.2 นำเหล็กชิ้นงานที่ขัดแล้วไปแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ 95% และนำเข้าเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที

2.3 เป่าเหล็กชิ้นงานให้แห้งด้วยลมร้อน

2.4 นำไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ ที่มีสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก 300 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.5 ทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วนำเข้ากล้อง microscope ปรับภาพพร้อมเลือกตำแหน่งที่ต้องการ โดยใช้ชิ้นงานเหล็กตัวอย่างที่ไม่ได้แช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ ที่มีสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก 300 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น Blank

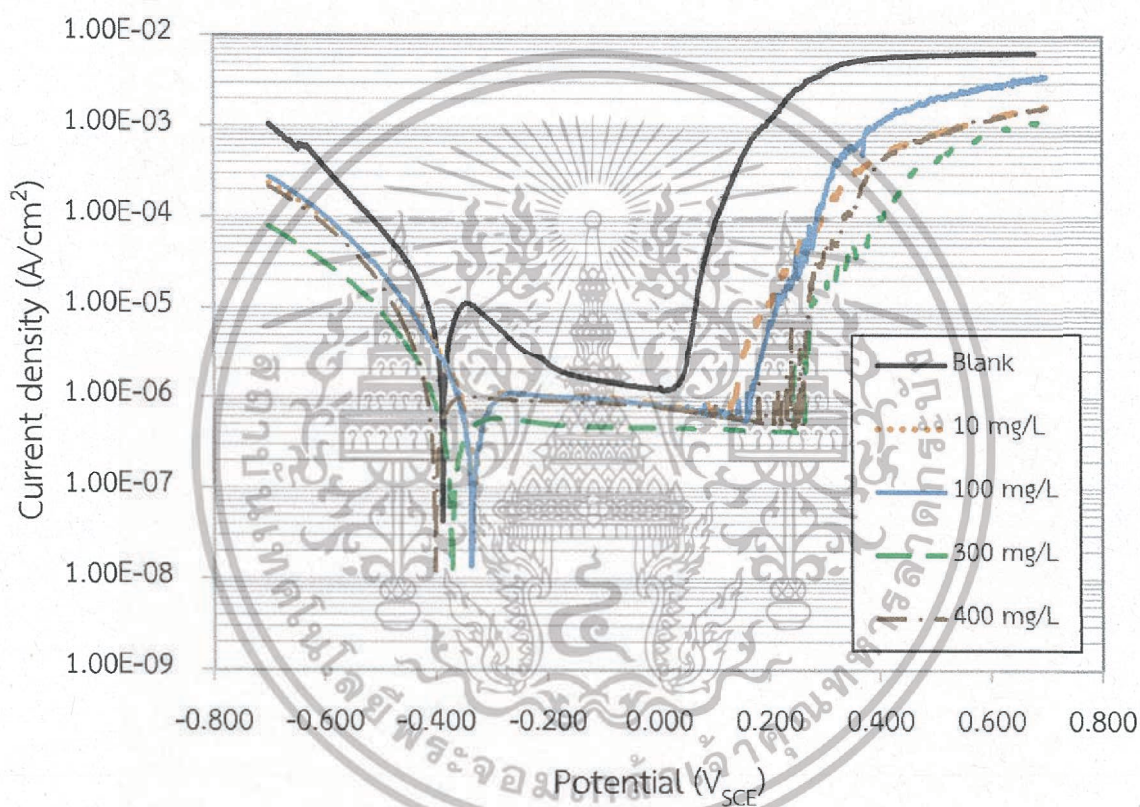
2.6 ทำการตรวจสอบหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูรีเออร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 การป้องกันการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ด้วยสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก



รูปที่ 4.1 กราฟโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ที่ไม่เติมและเติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่ความเข้มข้น 10 100 300 และ 400 mg/L

รูปที่ 4.1 เป็นกราฟโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ที่เติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่ความเข้มข้นต่างๆ จากกราฟโพลาริเซชันสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential,  $E_{\text{corr}}$ ) ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density,  $i_{\text{corr}}$ ) ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting potential,  $E_{\text{pit}}$ ) ค่ากระแสไฟฟ้าพาสซีฟ (Passive current density,  $i_{\text{pass}}$ ) และประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibition efficiency, IE%) โดยคำนวณได้จากสมการที่ 4.1 [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$IE\% = \frac{i_{\text{corr}} - i_{\text{corr}(i)}}{i_{\text{corr}}} \times 100 \quad (4.1)$$

เมื่อ  $i_{\text{corr}}$  คือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนที่ไม่เติมสารยับยั้งการกัดกร่อน

$i_{\text{corr}(i)}$  คือ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนที่เติมสารยับยั้งการกัดกร่อน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ ที่เติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/L)	$E_{\text{corr}}$ ( $V_{\text{SCE}}$ )	$i_{\text{corr}}$ ( $A/cm^2$ )	$E_{\text{pit}}$ ( $V_{\text{SCE}}$ )	$i_{\text{pass}}$ ( $A/cm^2$ )	IE (%)
0	-0.387	7.90E-06	0.027	1.45E-06	-
10	-0.331	7.51E-07	0.126	9.73E-07	90
100	-0.334	7.76E-07	0.156	9.11E-07	90
300	-0.372	4.17E-07	0.263	4.61E-07	95
400	-0.401	4.91E-07	0.251	8.66E-07	94

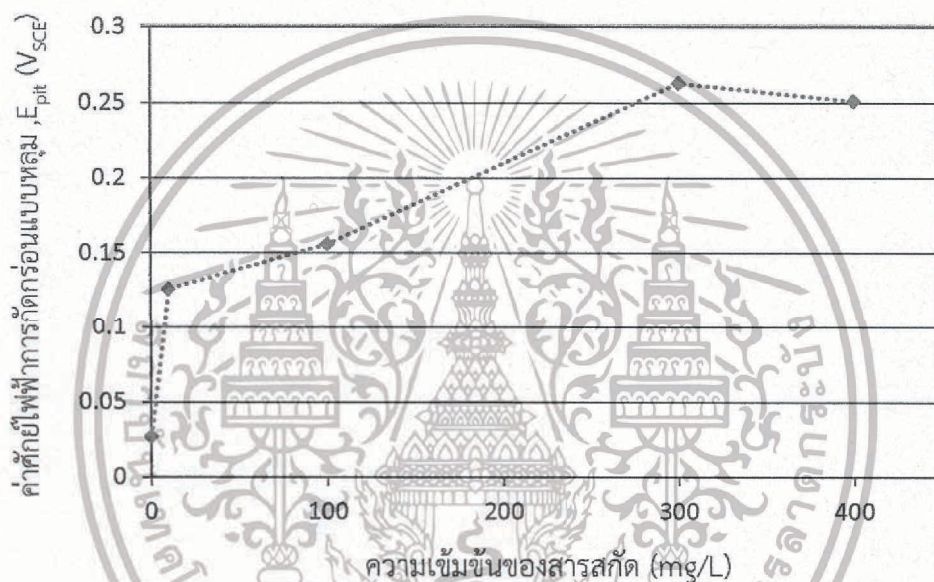
ตารางที่ 4.1 แสดงผลที่ได้จากการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ที่ไม่เติมและเติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 4 ส่วนดังนี้

1. จากการพิจารณาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential,  $E_{\text{corr}}$ ) พบว่าเมื่อเติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่ความเข้มข้น 0 10 100 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าดังกล่าวมีค่าเท่ากับ -0.387 -0.331 -0.334 -0.372 และ -0.401  $V_{\text{SCE}}$  ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงน้อยมากซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสามารถในการออกซิไดซ์ (Oxidizing power) ของสารละลายเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential,  $E_{\text{corr}}$ ) เลื่อนไปทางค่าบวกเมื่อเทียบกับสารละลาย Blank จะหมายถึง ความสามารถในการออกซิไดซ์ (Oxidizing power) ของสารละลายมีค่ามากขึ้น ซึ่งส่งผลให้การสร้างชั้นป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิม (Passive layer) ดีขึ้นด้วย ซึ่งจากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนของสารละลายที่เติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกทั้งฝั่งแคโทดิกและแอโนดิกลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับสารละลาย Blank ดังนั้นสารสกัดที่ได้จากผลแห้งของสมอพิเภกจึงจัดเป็นสารยับยั้งชนิดผสม (Mixed type inhibitor) โดยทั่วไปสารยับยั้งชนิดผสม (Mixed type inhibitor) นี้จะมีสารประกอบอินทรีย์ที่มีอะตอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ให้อิเล็กตรอน ได้แก่ Se, S, N หรือ O ที่ดูดซับลงบนผิวของเหล็ก ซึ่งตรงตามโครงสร้างทางเคมีของสมอพิเภก [17] ดังรูปที่ 2.2

2. จากการพิจารณาการประมาณค่านอกช่วงของทาเฟิล (Tafel extrapolation) พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density,  $i_{\text{corr}}$ ) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform corrosion) ลดลงด้วย ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น (mg/L) ของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกกับค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม

3. จากรูปที่ 4.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting potential,  $E_{\text{pit}}$ ) มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก หมายความว่าสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่ความเข้มข้น 300 และ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร  $E_{\text{pit}}$  มีค่าเท่ากับ 0.263 และ 0.251  $V_{\text{SCE}}$  ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าน่าจะเป็นจุดอิ่มตัวของการยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมของสารสกัด นอกจากนี้จากกราฟโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชันในรูปที่ 4.1 ที่ความเข้มข้น 400 mg/L จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นก่อนถึงค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม ( $E_{\text{pit}}$ ) หมายถึงที่ความเข้มข้นดังกล่าวกำลังเริ่มสูญเสียความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนตั้งแต่ก่อนถึงค่า 0.251  $V_{\text{SCE}}$  แต่ยังคงมีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมได้ ซึ่งเห็นได้จากการที่กระแสเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกัน (รูปแบบของสัญญาณรบกวน) ก่อนถึง

ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม ( $E_{pit}$ ) ที่  $0.251 V_{SCE}$  ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าการยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมที่ความเข้มข้น  $300 \text{ mg/L}$  นั้นดำเนินไปได้ดีกว่า

4. ค่ากระแสไฟฟ้าพาสซีฟ (Passive current density,  $i_{pass}$ ) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าพาสซีฟมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับสารละลายกรดที่ไม่เติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกซึ่งแสดงถึงความสามารถในการสร้างชั้นพาสซีฟที่มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบหลุมที่ดีขึ้น

## 4.2 ค่าประสิทธิภาพความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting inhibition efficiency, %PIE)

ค่าประสิทธิภาพความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting inhibition efficiency, %PIE) จะบอกถึงประสิทธิภาพความต้านทานการกัดกร่อนของสารยับยั้งที่ใช้ในการป้องกันการกัดกร่อน ซึ่งค่า %PIE นี้ขึ้นกับระบบการทดลอง โดยในงานวิจัยนี้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม ( $E_{pit}$ ) ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ไม่เติมสารสกัดมีค่าเท่ากับ  $0.027 V_{SCE}$  ซึ่งค่าดังกล่าวจะเป็นค่าที่ต่ำที่สุดของระบบนี้ แม้ว่าจะเติมสารสกัดลงไปในระบบก็จะไม่ทำให้ค่าลดต่ำไปกว่านี้ แต่เมื่อเติมสารสกัดลงไปค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมก็จะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก แต่จะมีค่าไม่เกินค่าศักย์ไฟฟ้าของการเกิด Oxygen evolution และถึงแม้ศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวจะมีค่าเกินค่าศักย์ไฟฟ้าของการเกิด Oxygen evolution ก็จะไม่เกิดหลุมขึ้นบนผิวหน้าของเหล็กกล้าไร้สนิม 304

จากแผนภูมิพัวเบ (Pourbaix diagram) ของน้ำศักย์ไฟฟ้าของ Oxygen evolution ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ pH 2.30 เท่ากับ  $1.190 V_{SHE}$  ซึ่งค่านี้เมื่อเทียบกับ Saturated calomel electrode (SCE) มีค่าเท่ากับ  $0.949 V_{SCE}$  และเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมที่มากที่สุดที่สามารถเป็นไปได้จากขอบเขตทั้งสองส่วนของระบบ สามารถหาค่าประสิทธิภาพความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting inhibition efficiency, %PIE) ได้ คือ เมื่อไม่เติมสารสกัดค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม  $0.027 V_{SCE}$  ต้องได้ค่าประสิทธิภาพความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมเท่ากับ 0% และถ้าค่าค่าศักย์ไฟฟ้างดกล่าวเปลี่ยนไปจนมีค่าเป็น  $0.949 V_{SCE}$  จะต้องได้ค่าประสิทธิภาพความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมเท่ากับ 100%

จากการประยุกต์ใช้สมการเส้นตรงที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม ( $E_{pit}$ ) กับค่าประสิทธิภาพความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting inhibition efficiency, %PIE) จะสามารถหาค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ดังสมการที่ 4.2

$$\%PIE = 108.46(E_{pit}) - 2.93 \quad (4.2)$$

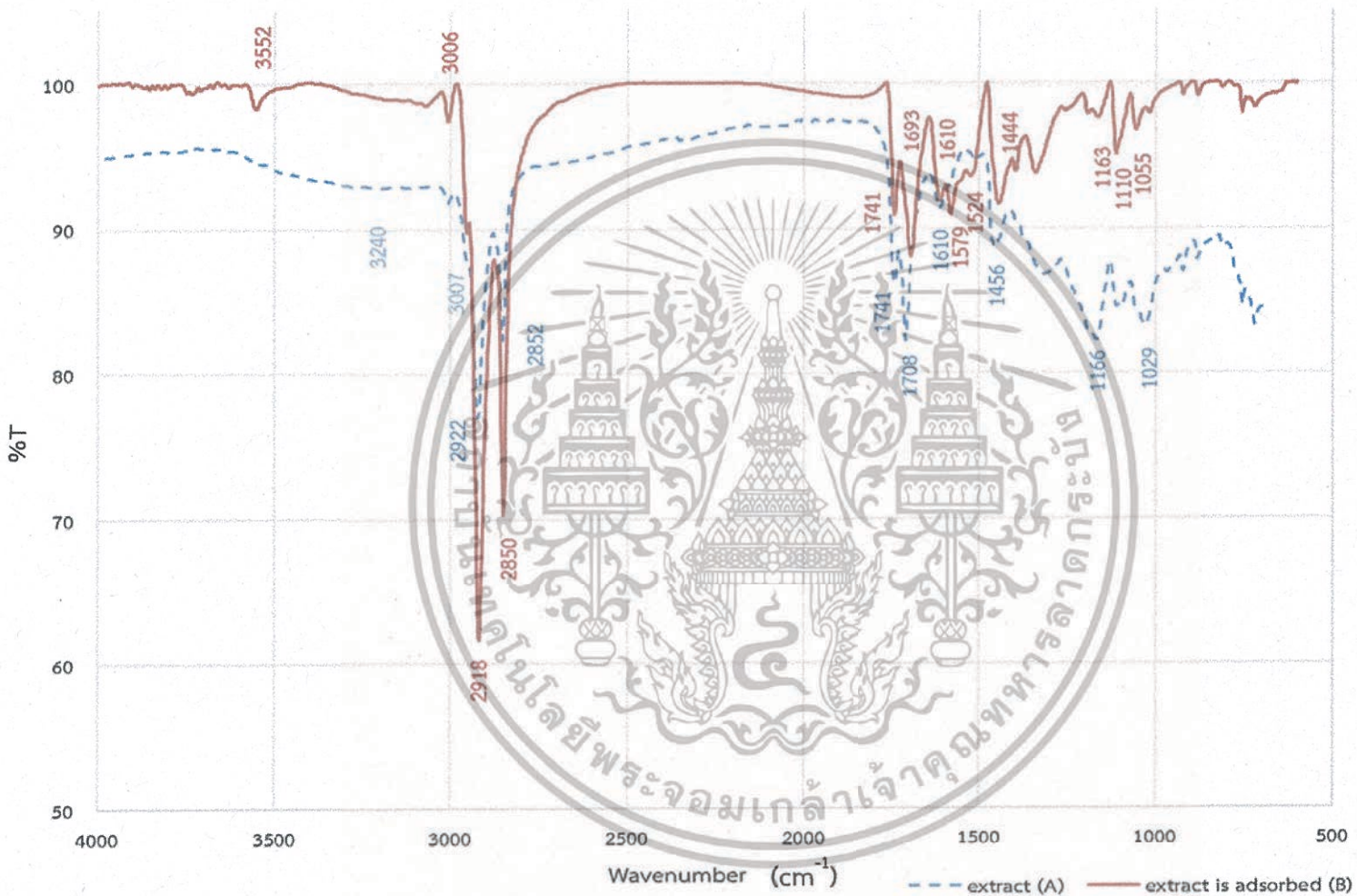
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting potential,  $E_{pit}$ ) ค่าประสิทธิภาพความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม (%PIE) และค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibition efficiency, IE%) ที่ความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกต่างๆ

ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/L)	$E_{pit}$	%PIE	IE%
10	0.126	11	90
100	0.156	14	90
300	0.263	26	95
400	0.251	24	94

จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting inhibition efficiency, %PIE) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 สามารถสรุปได้ว่า ค่าประสิทธิภาพความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม (%PIE) ของเปลือกส้มโอส้มเขียวหวาน 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก และค่าประสิทธิภาพความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม (%PIE) ของมีค่ามากที่สุดเมื่อเติมสารสกัดที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสอดคล้องกับค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting potential,  $E_{pit}$ ) ที่มีค่าสูงที่สุด นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของสารสกัดที่ 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน (IE%) ในกรณีของการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอสูงที่สุดด้วย

4.3 การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยฟูริเออร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรเมทรี (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)



รูปที่ 4.3 กราฟ FT-IR Spectrum ของ (A) สารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก (B) ชั้นฟิล์มของสารสกัดที่ความเข้มข้น 300 mg/L ที่ถูกดูดซับลงบนเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่แช่ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ เป็นเวลา 15 นาที

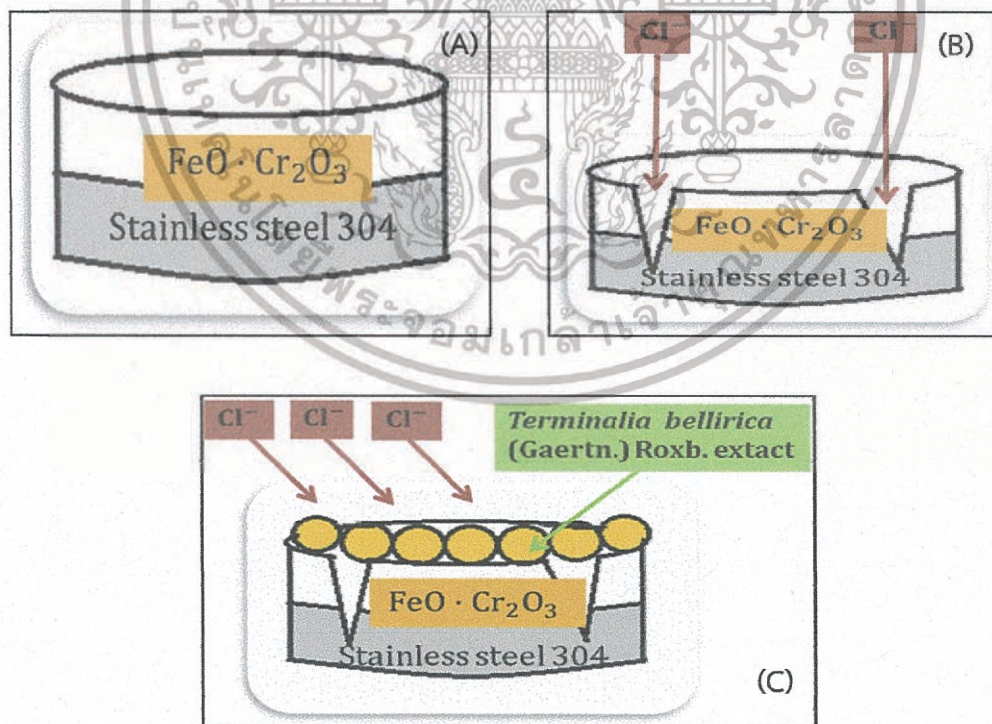
จากรูปที่ 4.3 (A) แสดง FT-IR Spectrum ของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกพบว่ามี O-H stretching ของ carboxylic acid ที่  $3240\text{ cm}^{-1}$ , C-H stretching ของ aromatic ที่  $3007\text{ cm}^{-1}$ , C-H stretching ของ aliphatic ที่  $2922$  และ  $2852\text{ cm}^{-1}$ , C=O stretching ของ ester ที่  $1741\text{ cm}^{-1}$ , C=O stretching ของ carboxylic acid ที่  $1708\text{ cm}^{-1}$ , C=C aromatic stretching ที่  $1610$  และ  $1456\text{ cm}^{-1}$  และ C-O stretching ที่  $1166$  และ  $1029\text{ cm}^{-1}$

จากรูปที่ 4.3 (B) แสดง FT-IR Spectrum ของชั้นฟิล์มของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่ ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัม ที่ดูดซับลงบนเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่แช่ในกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ เป็นเวลา 15 นาที พบว่า C-H stretching ของ aromatic เลื่อนจาก  $3007$  ไป  $3006\text{ cm}^{-1}$ , C-H stretching ของ aliphatic เลื่อนจาก  $2922$  และ  $2852\text{ cm}^{-1}$  ไป  $2918$  และ  $2850\text{ cm}^{-1}$ , C=O stretching ของ carboxylic acid เลื่อนจาก  $1708\text{ cm}^{-1}$  ไป  $1693\text{ cm}^{-1}$ , C=C ของ aromatic stretching เลื่อนจาก  $1610$  และ  $1456\text{ cm}^{-1}$  ไป  $1610$ ,  $1529$ ,  $1524$  และ  $1444\text{ cm}^{-1}$  และ C-O stretching เลื่อนจาก  $1166$  และ  $1029\text{ cm}^{-1}$  ไป  $1193$ ,  $1163$ ,  $1110$  และ  $1055\text{ cm}^{-1}$

จากค่า FT-IR Spectrum ที่ C=O stretching ของ ester ที่ค่า  $1741\text{ cm}^{-1}$  ไม่เกิดการเลื่อนของพีคและจากค่า FT-IR Spectrum ที่ตำแหน่งต่างๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป จะสังเกตเห็นพีคที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเห็นเด่นชัดที่สุดคือ C=O stretching ของ carboxylic acid ที่เลื่อนจาก  $1708\text{ cm}^{-1}$  ไป  $1693\text{ cm}^{-1}$  ทำให้คาดว่าหมู่คาร์บอกซิลของ carboxylic acid บนโครงสร้างเคมีของ Gallic acid ดังรูปที่ 2.2 ทำหน้าที่ดูดซับลงบนผิวเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 แบบการดูดซับทางกายภาพ ด้วยอิเล็กตรอนคู่อิสระบริเวณอะตอมของออกซิเจน ทำให้การสั่นของพันธะของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกเกิดการเปลี่ยนแปลง

#### 4.4 Surface adsorption

เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีคุณสมบัติในการสร้างชั้นป้องกันการกัดกร่อนที่เป็นสารประกอบออกไซด์ของเหล็กและโครเมียม ( $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ) ขึ้นได้เองตามธรรมชาติในสภาพบรรยากาศทั่วไป ซึ่งสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (A) แต่เมื่อสัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ชั้นป้องกันนี้จะเกิดการเสียหายและถูกทำลายโดยคลอไรด์ไอออนที่มีอยู่ในสารละลาย ส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนแบบหลุมบนเนื้อเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (B) แต่เมื่อเติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก โมเลกุลของสารสกัดจะไปดูดซับที่ผิวหน้าของโลหะบนชั้นป้องกันตามธรรมชาติ เนื่องด้วยสารสกัดจากสมอพิเภกประกอบด้วย Gallic acid, Ellagic acid และ Chebulgic acid ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่อิสระอยู่บริเวณอะตอมของออกซิเจนหลายตำแหน่ง อิเล็กตรอนคู่อิสระนี้จะดูดซับลงบนผิวหน้าของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 แบบการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) ทำให้เกิดเป็นชั้นสารอินทรีย์ที่เคลือบอยู่บนผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมอีกชั้นหนึ่ง ทำให้สารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อนเข้าไปทำลายชั้นผิวหน้าของโลหะได้น้อยลง หรือกล่าวได้อีกนัยหนึ่งว่าสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกสามารถเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมให้กับเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (C)



รูปที่ 4.4 กลไกการเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุมของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก

(A) ชั้นป้องกันตามธรรมชาติ (B) การทำลายชั้นป้องกัน (C) การป้องกันการกัดกร่อนแบบหลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 แบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm)

แบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับจะใช้ธิบายปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของสารยับยั้งการกัดกร่อนกับพื้นผิวของโลหะ โดยจะเกิดการดูดซับแบบแทนที่ระหว่างสารยับยั้งการกัดกร่อนในสารละลาย ( $\text{Org}_{(\text{sol})}$ ) กับน้ำที่ดูดซับอยู่บนโลหะ ( $\text{H}_2\text{O}_{(\text{ads})}$ ) [1, 3, 19]



โดยที่  $n$  คือจำนวนโมเลกุลของน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยสารยับยั้งการกัดกร่อน

แบบจำลองของการดูดซับของ Langmuir มีข้อกำหนดว่า พื้นผิวบนตัวดูดซับจะเป็นแบบเดียวกันหมด (Homogeneous adsorption surface) มีกลไกการดูดซับเหมือนกับการดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับจะเป็นแบบชั้นเดียว จากสมการการดูดซับถือว่าการดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับหนึ่ง คิดได้จากสมการ 4.4 [18]

$$\frac{C}{\theta} = \frac{1}{K_{\text{ads}}} + C \quad (4.4)$$

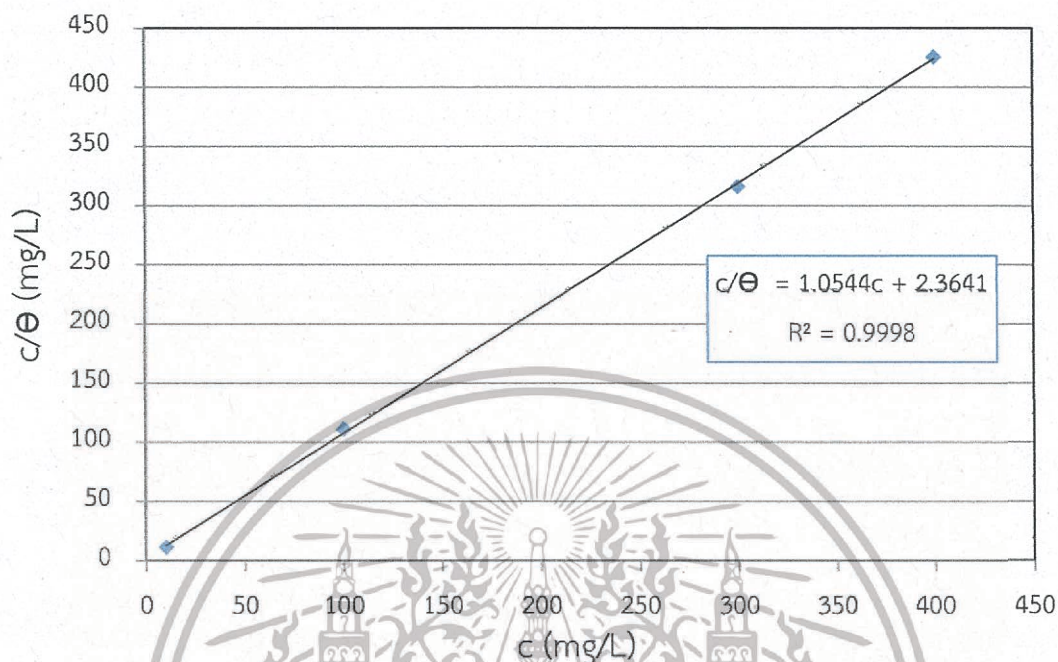
เมื่อ  $C$  คือ ความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน (mg/L)

$K_{\text{ads}}$  คือ ค่าคงที่สมดุลของการดูดซับ (L/mg)

$\theta$  คือ พื้นที่ที่ถูกปกคลุมต่อพื้นที่ผิวทั้งหมด (Surface coverage) คิดได้จากสมการ (4.1)

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน ( $C$ ) กับ อัตราส่วนระหว่าง  $C$  กับ  $\theta$

$C$ (mg/L)	$C/\theta$ (mg/L)
10	11
100	111
300	316
400	426



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน (C) กับอัตราส่วนระหว่าง C กับ  $\theta$

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับแบบ Langmuir มีค่า correlation coefficient ( $R^2$ ) เข้าใกล้ 1 แสดงว่าแบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับแบบ Langmuir นั้นสามารถอธิบายการดูดซับของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนลงบนพื้นผิวของโลหะได้เป็นอย่างดี หรือข้อมูลที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามแบบจำลองไอโซเทอมของการดูดซับแบบ Langmuir ซึ่งมีการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)

พลังงานของการดูดซับ (Free energy of adsorption,  $\Delta G_{ads}$ ) สามารถคำนวณได้จากสมการ 4.5 [18]

$$\Delta G_{ads} = -RT \ln (K_{ads} \times 55.5) \quad (4.5)$$

เมื่อ 55.5 คือ ความเข้มข้นของน้ำในสารละลาย (mL/L)

R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 J/molK)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

และ  $K_{ads}$  คัดได้จากความสัมพันธ์ระหว่างสมการ 4.4 และจากสมการเส้นตรงในรูปที่ 4.5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\frac{1}{2.3641} = 0.4230$  โดยพลังงานของการดูดซับ (Free energy of adsorption,  $\Delta G_{ads}$ ) สามารถอธิบายได้ถึงประเภทของการดูดซับของสารสกัดที่ถูกดูดซับลงผิวเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ถ้า

- ค่า  $\Delta G_{ads}$  มีค่าประมาณ  $-20$  kJ/mol จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)
- ค่า  $\Delta G_{ads}$  มีค่าประมาณ  $-40$  kJ/mol จะเป็นการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

และจากสมการที่ 4.4 สามารถคำนวณค่า  $\Delta G_{ads}$  ได้เท่ากับ  $-07.50$  kJ/mol จึงทำให้การดูดซับของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกจัดเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

#### 4.6 ค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ก่อนและหลังเติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก

จากการตรวจวัดที่ความแม่นยำของเครื่องมือวัดในระดับ  $\pm 0.01$  ค่า pH ถือว่ามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากดังแสดงในตารางที่ 4.4 แสดงถึงสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่เติมลงไปนั้นไม่ได้ทำปฏิกิริยาสะเทินของกรด-เบสกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เนื่องจากสารสกัดที่เติมลงไปไม่มีฤทธิ์ความเป็นเบสที่จะสามารถทำปฏิกิริยากับกรดได้ จึงสนับสนุนให้เห็นว่าการยับยั้งการกัดกร่อนที่เกิดขึ้น เกิดจากการดูดซับของสารสกัดบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมทำให้ผิวหน้าของเหล็กสัมผัสกับสารละลายได้น้อยลง มิใช่เกิดจากการสะเทินของกรดเบส

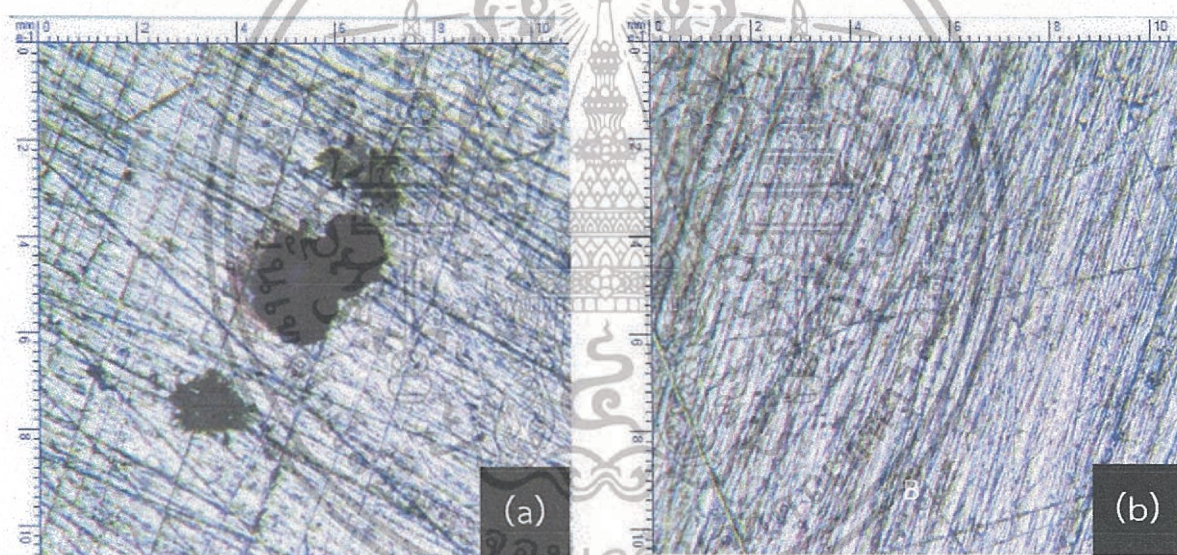
ตารางที่ 4.4 ค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ที่ก่อนและหลังเติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/L)	pH ก่อนเติมสารสกัด	pH หลังเติมสารสกัด
0	2.30	2.30
10	2.30	2.30
100	2.30	2.29
300	2.29	2.28
400	2.29	2.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.7 ผลจากเทคนิค Chronoamperometry

เพื่อเป็นการยืนยันความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกในเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 สองชิ้นถูกนำมาแช่ในสารละลายที่เติมและไม่เติมสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกและปรับค่าศักย์ไฟฟ้าไปที่  $0.100 V_{SCE}$  เท่ากัน ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าง่านี้มีค่ามากกว่า  $E_{pit}$  ของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายที่ไม่เติมสารสกัด แต่มีค่าน้อยกว่า  $E_{pit}$  ของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่เติมสารสกัดที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จากผลการทดลองตามรูปที่ 4.5 พบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่มีการเติมสารสกัดไม่เกิดการกัดกร่อนแบบหลุมแต่อย่างใด ต่างจากเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่ไม่มีการเติมสารสกัด โดยพบว่าผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีหลุมปรากฏอยู่เป็นจำนวนมาก สรุปได้ว่าสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกสามารถใช้ยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ได้



รูปที่ 4.6 การกัดกร่อนแบบหลุมที่เกิดขึ้นงานเหล็กตัวอย่าง (a) ใน blank ที่  $0.100 V_{SCE}$  (b) ใน สภาวะ  $300 \text{ mg/L}$  ที่  $0.100 V_{SCE}$

## บทที่ 5

### สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 0.005 โมลาร์ด้วยสารสกัดจากผลแห้งของจากสมอพิเภก สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกมีความสามารถในการลดอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์
2. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก พบว่าความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.005 โมลาร์ มีค่ามากขึ้น (ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมมีค่าเพิ่มขึ้น)
3. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภกจะทำให้ความสามารถในการสร้างชั้นป้องกันที่มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนแบบหลุมของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่ดีขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาความต้านทานของชั้นป้องกันที่เกิดจากสารสกัดจากผลแห้งของสมอพิเภก ซึ่งส่งผลต่อพฤติกรรมของการกัดกร่อน เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้งานในอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งอาจทำได้โดยการนำเทคนิคอิเล็กโทรเคมีคอลลิมพิแดนซ์สเปกโทรสโกปี (Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS)
2. แยกสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ออกจากสารสกัดหยาบจากผลแห้งของสมอพิเภก เพื่อศึกษาผลของสารฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์ในด้านความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อน

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Soltani, N. Tavakkoli, N. Khayat Kashani, M. and Jalali, M.R. 2012. "Green approach to corrosion inhibition of 304 stainless steel in hydrochloric acid solution by the extract of *Salvia officinalis* leaves." *Corrosion Science*. 62 : 122-135.
- [2] Behpour, M. Ghoreishi, S.M. Khayat Kashani, M. and Soltani, N. 2012. "Green approach to corrosion inhibition of mild steel in two acidic solutions by the extract of *Punica granatum* peel and main constituents." *Materials Chemistry and Physics*. 131(3) : 621-633.
- [3] Hussin, M.H. and Kassim, M.J. 2011. "The corrosion inhibition and adsorption behavior of *Uncaria gambir* extract on mild steel in 1 M HCL." *Materials Chemistry and Physics*. 125(3): 461-468.
- [4] เกสรี่ กลิ่นสุคนธ์, อุดมลักษณ์ สุขอืดตะ, ประภัสสร รักษาวรร และ ลลิตา คชารัตน์. ม.ป.ป. "การประเมินคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระและต้านเชื้อแบคทีเรียของพืชสมุนไพรไทยบางชนิด."
- [5] วันทนีย์ สว่างอารมณ์. 2542. เอกสารคำสอนรายวิชาพืชเครื่องเทศและสมุนไพร. กรุงเทพฯ: ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.
- [6] รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ. 2535. พืชเครื่องเทศและสมุนไพร. พิมพ์ครั้งที่ 59. กรุงเทพฯ: ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยศึกษานานาชาติ กรมฝึกหัดครู.
- [7] วรพัทธ์ เกียรติรัมย์. 2553. สมุนไพรพื้นบ้านล้านนา, เล่มที่ 1. เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยมหา มกุฏราชวิทยาลัย วิทยาเขตล้านนา.
- [8] พิมพ์ สีสลาพรสิริ. 2544. เครื่องสำอางธรรมชาติ : ผลิตภัณฑ์สำหรับผิวหน้า = *Natural cosmetics : products for skin*. พิมพ์ครั้งที่ 2. เชียงใหม่: ภาควิชาเทคโนโลยีเภสัชกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [9] รัตนา อินทรานุปกรณ์. 2550. การตรวจสอบและการสกัดแยกสารสำคัญจากสมุนไพร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [10] กัญญา ตระกูลสุ. 2530. เทคโนโลยีการกัดกร่อน = *Corrosion technology*. กรุงเทพฯ: คราฟแมนเพรส.
- [11] มนัส สกริจินดา. 2538. เหล็กกล้า = *Steel*. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

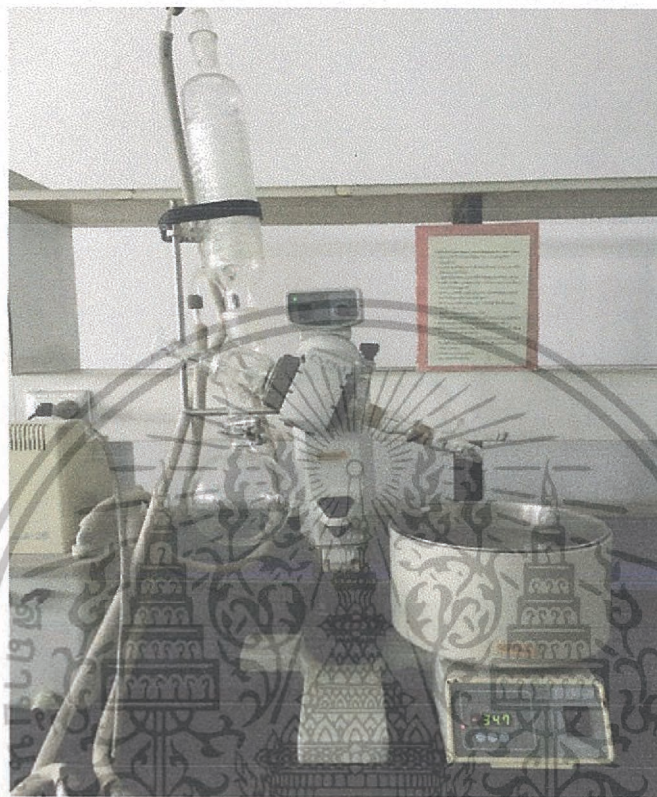
- [12] พรวสา วงศ์ปัญญา. 2555. เอกสารประกอบการสอน การทดลองที่ 6 การทดสอบการกัดกร่อนด้วยเครื่องโพเทนชิโอสแตท (Corrosion testing by Potentiostat Analyzer). นครศรีธรรมราช : สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ.
- [13] ประสาท อ่อนสนิท. 2549. “การทำมาความสะอาดผิวเหล็กกล้าไร้สนิมอสเตเนติก AISI 304 ที่ผ่านการรีดร้อนด้วยกรรมวิธีทางเคมี.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตภาควิชาวิศวกรรมการผลิตบัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [14] แม้น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2535. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ = Principles and techniques of instrumental analysis spectroscopy. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์.
- [15] ศศิธร วุฒิวิณิชย์. 2549. “ผลของสารสกัดหยาบจากสมอพิเภก สมอไทยและเบญจกานีต่อการพัฒนาอาการ โรคแคงเกอร์ของมะกรูด ที่เกิดจากเชื้อ *Xanthomonas axonopodis* pv. citri.”
- [16] วิชรา สุวรรณอาศน์และศศิธร วุฒิวิณิชย์. 2553. “ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากพืชสมุนไพรในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสาเหตุโรคน้ำเสาะของผักในเรือนทดลอง.”
- [17] Agarwal, P. Landolt, D. — 1998. “Effect of anions on the efficiency of aromatic carboxylic acid corrosion inhibitors in near neutral media: Experimental investigation and theoretical modeling.” *Corrosion Science*. (40) : 673-691
- [18] Hussin, M.H. Kassim, M.J. Razali, N.N. Dahon, N.H. and Nasshorudin, D. 2016. “The effect of *Tinospora crispa* extracts as a natural mild steel corrosion inhibitor in 1 M HCl solution.” *Arabian Journal of Chemistry*. 9 : S616-S624.
- [19] Alaneme, K.K. Olusegun, S.J. and Adelowo, O.T. 2016. “Corrosion inhibition and adsorption mechanism studies of *Hunteria umbellata* seed husk extracts on mild steel immersed in acidic solutions.” *Alexandria Engineering Journal*. 55(1) : 673-681.



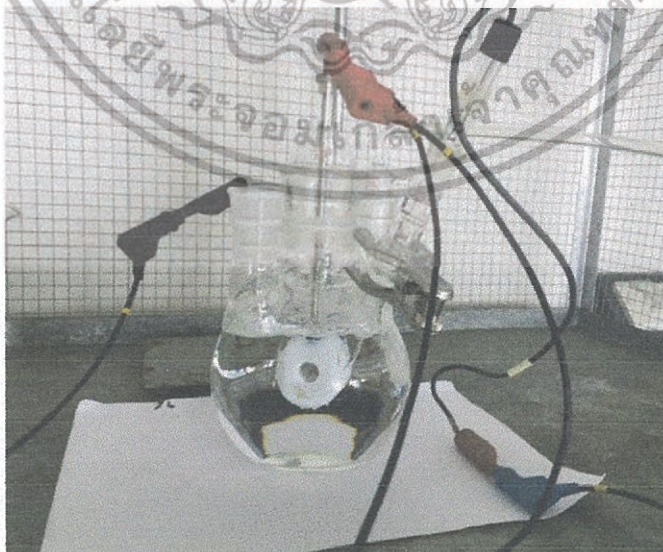
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

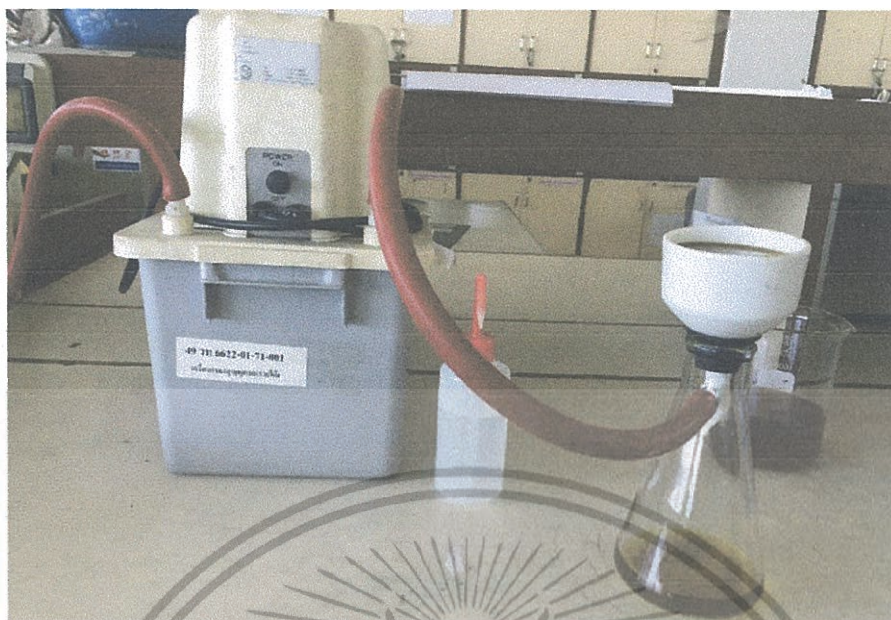


รูปที่ 1 เครื่องระเหยแบบหมุน



รูปที่ 2 corrosion cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 การกรองแบบลดความดันของสมอพิเภก



รูปที่ 4 การสกัดสมอพิเภก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้