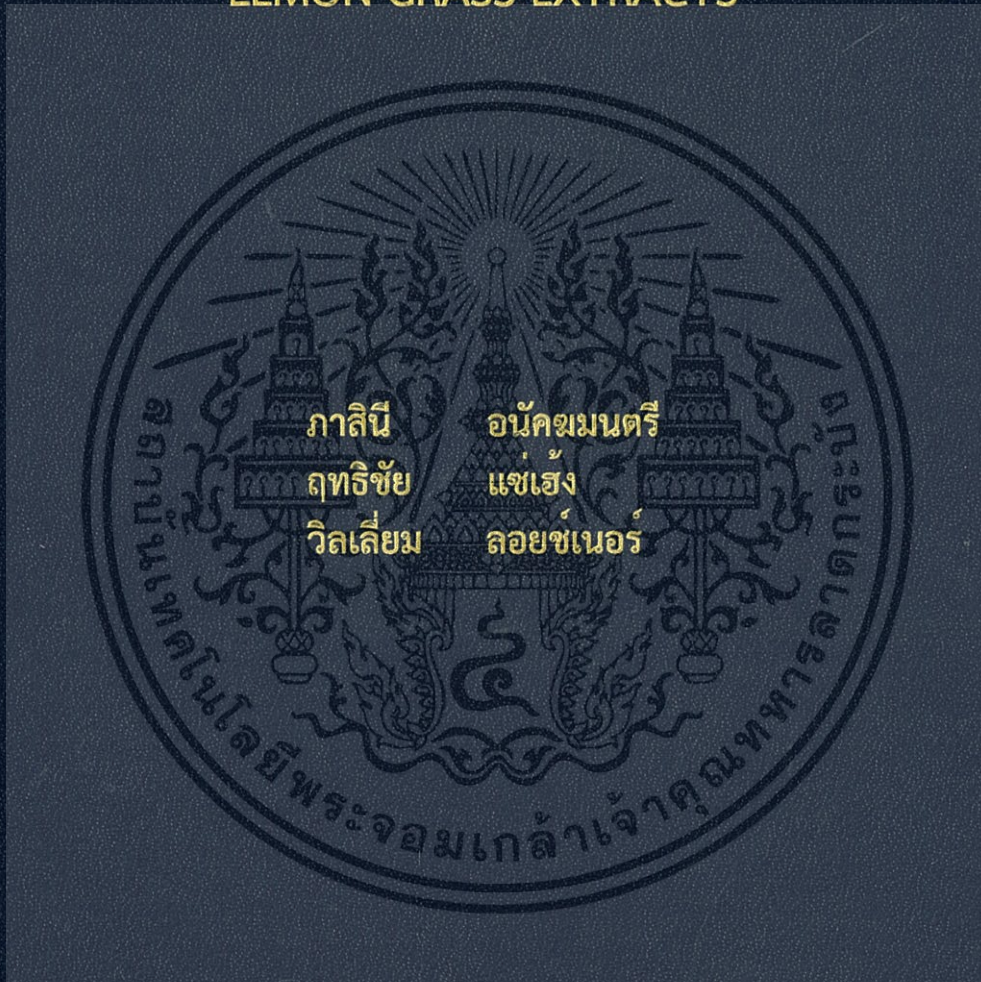


การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304  
ในกรดไฮโดรคลอริกด้วยสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้

CORROSION INHIBITION OF 304 STAINLESS STEEL  
IN HYDROCHLORIC ACID BY TURMERIC AND  
LEMON GRASS EXTRACTS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304  
ในกรดไฮโดรคลอริกด้วยสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้

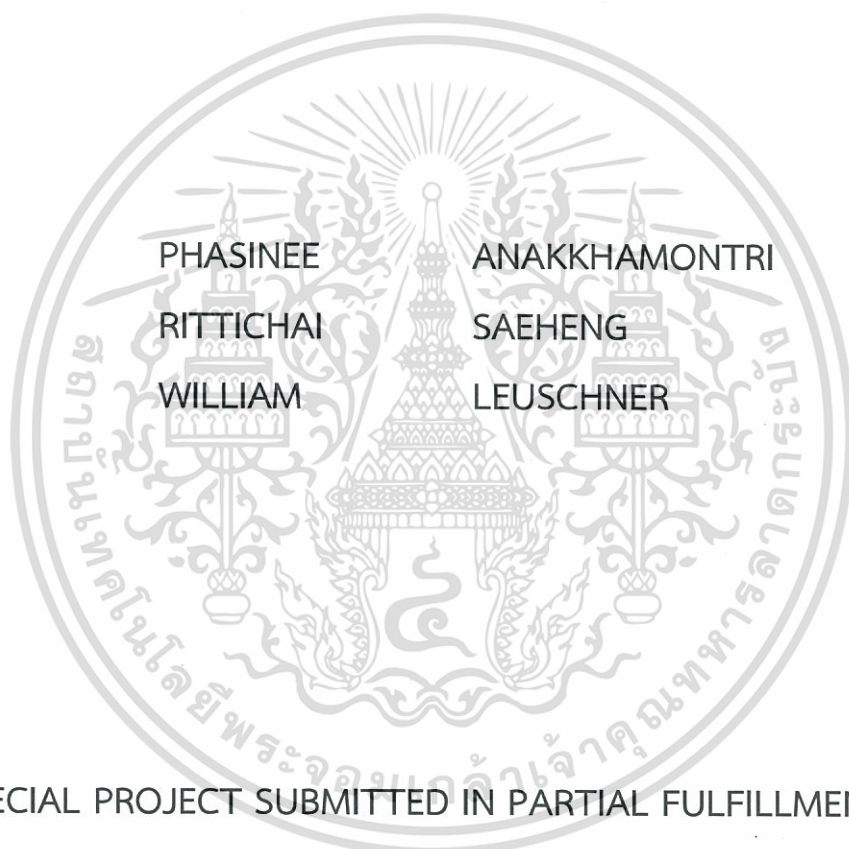
CORROSION INHIBITION OF 304 STAINLESS STEEL  
IN HYDROCHLORIC ACID BY TURMERIC AND  
LEMON GRASS EXTRACTS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CORROSION INHIBITION OF 304 STAINLESS STEEL  
IN HYDROCHLORIC ACID BY TURMERIC AND  
LEMON GRASS EXTRACTS



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 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริกด้วยสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้  
Corrosion Inhibition of 304 Stainless Steel in Hydrochloric acid by Turmeric and Lemon Grass Extracts

ชื่อนักศึกษา

นางสาวภาสินี อนันคมมนตรี รหัสนักศึกษา 57050486  
นายฤทธิชัย แซ่เฮ้ง รหัสนักศึกษา 57050497  
นายวิลเลียม ลอยซ์เนอร์ รหัสนักศึกษา 57050508

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2560

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา สุทธิเรืองวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ภัทราวุธ มนต์วิเศษ ประธานกรรมการ	
ดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการ	
ผศ.ดร. สุธา สุทธิเรืองวงศ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริกด้วยสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้
ชื่อนักศึกษา	นางสาวภาสินี อนันคมมนตรี รหัสนักศึกษา 57050486 นายฤทธิชัย แซ่เฮ้ง รหัสนักศึกษา 57050497 นายวิลเลียม ลอยซ์เนอร์ รหัสนักศึกษา 57050508
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชา สุทธิเรืองวงศ์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ด้วยสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ การสกัดขมิ้นชันและตะไคร้ใช้วิธีการหมัก (Meceration) โดยใช้เอทานอลบริสุทธิ์เป็นตัวทำละลายในการสกัดขมิ้นชัน และใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดตะไคร้ นำสารสกัดที่ได้มาทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนด้วยเทคนิคโพเทนซิโอดนามิกโพลาริเซชัน (Potentiodynamic polarization) โดยการเปรียบเทียบการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่ไม่ได้เติมสารสกัดและเติมสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้ที่ความเข้มข้น 10 100 200 และ 500 mg/l พบว่าเมื่อเติมสารสกัดจากขมิ้นชันทำให้เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีความต้านทานการกัดกร่อนมากขึ้น ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของสารสกัดจากขมิ้นชันคือ 48.7 44.9 81.1 และ 56.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อเติมสารสกัดจากตะไคร้ พบว่ามีประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน คือ 59.6 50.2 48.6 และ 66.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดทั้งจากขมิ้นชันและตะไคร้ส่งผลให้สามารถยับยั้งการกัดกร่อนแบบหลุมบนเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์และทำให้ช่วงสร้างชั้นป้องกัน (Passive layer) ยาวขึ้น

**คำสำคัญ :** ขมิ้นชัน, ตะไคร้, การยับยั้งการกัดกร่อน

<b>Title</b>	Corrosion Inhibition of 304 Stainless Steel in Hydrochloric acid by Turmeric and Lemon Grass Extracts
<b>Students</b>	Miss Phasinee Anakkhamontri Student ID 57050486 Mr. Rittichai Saeheng Student ID 57050497 Mr. William Leuschner Student ID 57050508
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
<b>Department</b>	Chemistry
<b>Faculty</b>	Science
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
<b>Academic Year</b>	2016
<b>Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Sutha Sutthiruangwong

### Abstract

This work investigated corrosion inhibition of 304 stainless steel by using turmeric and lemon grass extract in 0.1 molar hydrochloric acid solution. Turmeric and lemon grass was extracted by using maceration technique with absolute ethanol as a solvent to extract turmeric and with water as a solvent to extract lemon grass. The extracts were tested for corrosion inhibition by using potentiodynamic polarization. Corrosion inhibition efficiency was studied on 304 stainless steel with concentration of extracted equates to 10 100 200 and 500 mg/L. The research shows turmeric extracts inhibition efficiency at 48.7 44.9 81.1 and 56.7% respectively and lemon grass extracts inhibition efficiency at 59.6 50.2 48.6 and 66.2% respectively. The pitting-resistance was found to be increased with increasing extract concentration.

**Keywords :** turmeric, lemon grass, corrosion inhibition

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร. สุธา สุทธิเรืองวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ในการทำโครงการพิเศษนี้ตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด จนโครงการพิเศษเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ภัทธารุธ มนต์วิเศษ และ ดร. อำนวย เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการในการสอบโครงการพิเศษ ที่ให้คำแนะนำและชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. การุณย์ สาดอ่อน และ ดร. ณวลลลิตี โชติแสง ซึ่งให้ความอนุเคราะห์เครื่องกลั่นระเหยแบบสูญญากาศ (Rotary Evaporator) ในการปฏิบัติงาน

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่และเพื่อน ๆ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้คำปรึกษา ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมีในการทำการศึกษาดูแล

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดาและสมาชิกทุกคนในครอบครัวของผู้จัดทำทุกคนที่สนับสนุนและคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

ภาสินี                      อนุชมนตรี  
 ฤทธิชัย                แซ่เฮ้ง  
 วิลเลียม                 ลอยซ์เนอร์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาของโครงการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 วิธีการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>3</b>
2.1 หลักการพื้นฐานของการกักกรอง.....	3
2.1.1 การกักกรอง.....	3
2.1.2 กลไกการกักกรอง.....	3
2.2 การป้องกันการกักกรอง.....	6
2.2.1 การกำจัดตัวประกอบที่แรงให้เกิดการกักกรอง.....	6
2.2.2 การใช้สารยับยั้งการกักกรอง.....	6
2.3 การโพลาริเซชัน.....	7
2.3.1 เทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกส์.....	8
2.3.2 เครื่องโพเทนซิโอสแตท.....	9
2.3.3 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงคาโลเมล.....	9
2.3.4 ขั้วไฟฟ้าช่วย.....	10
2.4 เหล็กกล้าไร้สนิม.....	10
2.4.1 ประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิม.....	10
2.4.2 เหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการทดลอง.....	12
2.5 พืชที่ใช้ในงานวิจัย.....	12
2.5.1 ขมิ้นชัน.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 ตะไคร้.....	14
2.6 การสกัด .....	15
2.6.1 การเลือกใช้ตัวทำละลาย .....	15
2.6.2 วิธีการสกัด.....	15
2.7 เครื่องกลั่นระเหยแบบสุญญากาศ.....	16
2.7.1 หลักการ.....	16
2.7.2 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่อง.....	17
2.8 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) .....	17
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....</b>	<b>20</b>
3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย .....	20
3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	20
3.2.1 สำหรับการสกัดไขมันชั้น.....	20
3.2.2 สำหรับการสกัดตะไคร้.....	20
3.2.3 สำหรับการทำเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชัน .....	20
3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง .....	21
3.3.1 การเตรียมและการสกัดพืช .....	21
3.3.2 การทดสอบการกักกรอง.....	22
3.3.3 การทดสอบด้วยเทคนิค Chronoamperometry.....	23
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>24</b>
4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารสกัดจากไขมันชั้นด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) .....	24
4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารสกัดจากตะไคร้ด้วยเครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) .....	26
4.3 การยับยั้งการกักกรองของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ด้วยสารสกัดจากไขมันชั้น ...	28
4.4 การยับยั้งการกักกรองของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ด้วยสารสกัดจากตะไคร้.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 การศึกษาด้วยเทคนิค Chronoamperometry.....	34
4.6 ค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อเติมสารสกัด จากขมิ้นชันและตะไคร้.....	35
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>36</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	36
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	36
เอกสารอ้างอิง.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดสอบการยับยั้งการกักร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อเติมสารสกัดจากขมิ้นชันที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	29
4.2 ผลการทดสอบการยับยั้งการกักร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อเติมสารสกัดจากตะไคร้ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	32
4.3 ค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อเติมสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าเคมีของโลหะแต่ละชนิด.....	4
2.2 กัลวานิกเซลล์.....	5
2.3 ตัวอย่างกราฟโพลาริเซชัน.....	8
2.4 Polarization curve ที่ได้จากการทดลองด้วยเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกส์.....	8
2.5 เครื่องโพเทนชิโอสแตท พร้อมอุปกรณ์วัด และเซลล์การกักร่อน.....	9
2.6 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงคาโลเมล.....	10
2.7 ขมิ้นชัน.....	12
2.8 โครงสร้างของ Curcumin.....	13
2.9 โครงสร้างของ Desmethoxycurcumin.....	13
2.10 โครงสร้างของ Bis-desmethoxycurcumin.....	13
2.11 ตะไคร้.....	14
2.12 โครงสร้างของ Caffeic acid.....	15
2.13 โครงสร้างของ Luteolin-7- <i>o</i> -glycoside.....	15
2.14 เครื่องกลั่นระเหยแบบสุญญากาศ.....	16
2.15 เครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	17
2.16 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ.....	18
4.1 FT-IR สเปกตรัมของสารสกัดจากขมิ้นชัน.....	24
4.2 FT-IR สเปกตรัมของ Curcumin.....	25
4.3 FT-IR สเปกตรัมของสารสกัดจากตะไคร้.....	26
4.4 FT-IR สเปกตรัมของ <i>Cymbopogon citrates</i> (Lemon grass).....	27
4.5 กราฟโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อไม่เติมและเติมสารสกัดจากขมิ้นชัน.....	28
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดจากขมิ้นชันกับค่าศักย์ไฟฟ้า การกักร่อนแบบหลุม.....	30
4.7 กราฟโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อไม่เติมและเติมสารสกัดจากตะไคร้.....	31
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดจากตะไคร้กับค่าศักย์ไฟฟ้า การกักร่อนแบบหลุม.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

- 4.9 พื้นผิวชิ้นงาน เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงกำลังขยาย 20 เท่า (a) และ (b) ใน  
 สารละลายที่ไม่ได้เติมสารสกัด (c) ในสารละลายที่เติมสารสกัดจากตะไคร้..... 34



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการวิจัย

การกัดกร่อน เป็นปัญหาหนึ่งที่สามารถพบเห็นได้ในชีวิตประจำวันและเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท เนื่องจากอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต เช่น ท่อส่ง ข้อต่อ วาล์ว และอุปกรณ์ต่างๆในระบบการควบคุมมีวัสดุหลักเป็นเหล็ก เมื่ออุปกรณ์ดังกล่าวเกิดปัญหาการกัดกร่อนทำให้เกิดความสูญเสียทั้งทางตรงและทางอ้อม ความสูญเสียทางตรง เช่น ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่ารักษาพยาบาล ความสูญเสียทางอ้อม เช่น การปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ การหยุดโรงงาน จากตัวอย่างความสูญเสียที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะมีการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ เพื่อยืดอายุการใช้งานของโลหะ อีกทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากปัญหาการกัดกร่อน

การป้องกันการกัดกร่อนของโลหะมีหลายวิธี เช่น การเคลือบผิวด้วยโลหะ การป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทดิก การป้องกันการกัดกร่อนแบบแอโนดิก การเติมสารยับยั้งการกัดกร่อน เป็นต้น ในการเติมสารยับยั้งการกัดกร่อน มีการนำสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์มาใช้ โดยสารทั้งสองมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนสูง แต่สารเหล่านี้เป็นอันตรายต่อคนและสิ่งแวดล้อม จึงมีแนวคิดในการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนจากธรรมชาติ โดยใช้สารสกัดจากพืชที่สามารถหาได้ง่าย ราคาไม่แพง วิธีการสกัดไม่ยุ่งยากซับซ้อน ในปัจจุบันมีหลายหน่วยงานที่ให้ความสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม จึงได้มีผู้ที่ศึกษาการใช้สารหน่วงการกัดกร่อนจากธรรมชาติ เช่น การศึกษาผลของสารหน่วงการกัดกร่อนจากธรรมชาติของเปลือกกล้วยน้ำว้า ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้สารสกัดจากฟ้าทะลายโจรและชา จากงานวิจัยดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า การใช้สารสกัดจากพืชมีราคาไม่แพง และสามารถสกัดได้ด้วยเทคโนโลยีที่มีราคาไม่แพง [1]

จากที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีการจัดทำโครงการพิเศษขึ้น โดยใช้สารสกัดจากพืช 2 ชนิด คือ ขมิ้นชันและตะไคร้มาใช้ในการยับยั้งการกัดกร่อนของโลหะ จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ของขมิ้นชันพบว่า มี Curcumin Desmethoxycurcumin และ Bis-desmethoxycurcumin ตะไคร้พบว่า มี Caffeic acid และ luteolin-7-*o*-glycoside [2] คณะผู้จัดทำคาดว่าโครงสร้างดังกล่าวจะสามารถยับยั้งการกัดกร่อนของโลหะได้ โดยใช้ส่วนที่มีอิเล็กตรอนคูโดดเดี่ยว (Lone pair electron) ไปดูดซับที่ผิวของโลหะ จึงได้มีการเลือกใช้พืชทั้ง 2 ชนิดนี้มาทดลองเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์

### 1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาสมบัติของสารสกัดที่ได้จากขมิ้นชันและตะไคร้ ในการออกฤทธิ์ยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) เพื่อศึกษาทฤษฎีของการป้องกันการกัดกร่อนโดยการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาและทดลองใช้สารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้ เพื่อใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยวิธีการเปรียบเทียบการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่ไม่ได้เติมสารสกัดกับการเติมสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้ ที่ความเข้มข้น 10 100 200 และ 500 mg/l

### 1.4 วิธีการศึกษา

- 1) ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการกัดกร่อน การป้องกันการกัดกร่อน และงานวิจัยเกี่ยวกับการสกัดพืช
- 2) ศึกษาเทคนิคโพเทนชิโอสแตติกโพลาริเซชัน
- 3) จัดหาอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
- 4) สกัดสารจากขมิ้นชันและตะไคร้เพื่อใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน
- 5) ทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล
  - ไม่เติมสารยับยั้งการกัดกร่อน
  - เติมสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ความเข้มข้นต่างๆ
- 6) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- 7) เขียนรายงานผลการทดลองและจัดทำเป็นรูปเล่ม

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการกัดกร่อนและการป้องกันการกัดกร่อน โดยใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนจากธรรมชาติ
- 2) มีความเข้าใจในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 หลักการพื้นฐานของการกัดกร่อน

#### 2.1.1 การกัดกร่อน [3,4]

การกัดกร่อน หมายถึง การที่วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของตัววัสดุ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงที่วัดค่าได้ ทำให้วัสดุผุพังและไม่สามารถทำหน้าที่ของตัววัสดุเองได้ เป็นผลให้สภาพการใช้งานของโลหะนั้นเสียหายก่อนเวลาอันสมควร เนื่องจากวัสดุได้เกิดปฏิกิริยาทำให้เปลี่ยนสภาพเป็นสารประกอบประเภทออกไซด์ หรือประเภทไฮดรอกไซด์ นับเป็นการสูญเสียมหาศาลในทางอุตสาหกรรม ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีการต่างๆ ที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน และเพื่อหาวิธีป้องกันหรือลดอัตราการกัดกร่อนให้น้อยลง

#### 2.1.2 กลไกการกัดกร่อน [4]

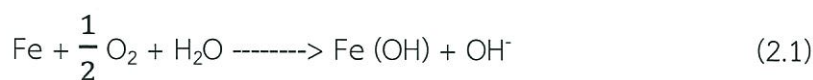
กลไกการกัดกร่อน สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

##### 2.1.2.1 การกัดกร่อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง [4]

การกัดกร่อนอาจเกิดจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง ทำให้โลหะเกิดการกัดกร่อนโดยอาศัยแก๊สเป็นสื่อขึ้นบนผิวโลหะ ซึ่งมักเกิดจากสภาพอากาศเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีง่าย ๆ กับโลหะ การกัดกร่อนจะเกิดมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูง การรวมตัวระหว่างออกซิเจนกับโลหะยิ่งสะดวกรวดเร็ว เช่น เหล็กที่เผา ร้อนแดงจะเกิดสนิมเหล็กได้ง่ายกว่าเหล็กที่อยู่ในอากาศปกติ ซึ่งการกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นได้ดังนี้

1. เกิดจากการรวมตัวระหว่างโลหะ (Metal) กับออกซิเจน ( $O_2$ ) แบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

1.1 โดยมีน้ำและความชื้นเป็นตัวร่วมทำปฏิกิริยา (Reaction) เช่น การเกิดสนิมเหล็กในอากาศปกติที่มีความชื้น

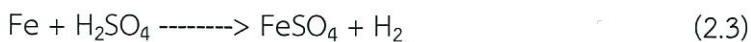


1.2 โดยไม่มีความชื้นร่วมทำปฏิกิริยา เช่น การรวมตัวของออกซิเจนกับเหล็ก เมื่ออุณหภูมิสูงๆและอากาศแห้งมากๆ ทำให้เกิดเป็นสนิมเหล็กชั้น (เหล็กออกไซด์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เกิดจากการแตกตัวของไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ในกรด เช่น การกัดกร่อนของเหล็กที่จุ่มอยู่ในกรดกำมะถัน



3. เกิดจากการส่งถ่ายอิออน (Ion) จากโลหะชนิดหนึ่งไปแทนที่อิออนของโลหะอีกชนิดหนึ่ง ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาในสารละลาย (Electrolyte) เช่น การกัดกร่อนของเหล็กที่จุ่มในสารละลาย Copper Sulphate (CuSO<sub>4</sub>)



### 2.1.2.2 การกัดกร่อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี [4]

โลหะแต่ละชนิดจะมีค่าศักย์เฉพาะตัว ดังนั้นถ้าหากมีโลหะ 2 ชนิด สัมผัสกันอยู่และมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และส่วนโลหะเชื่อมต่อนำไฟฟ้า หรือต่อกันอย่างครบวงจรไฟฟ้าเคมี เมื่อเวลาผ่านไปโลหะที่ศักย์ต่ำกว่าจะเกิดการกัดกร่อน (Anode) ขณะที่โลหะที่มีศักย์สูงกว่าจะไม่กัดกร่อน (Cathode) ความต่างศักย์ของโลหะทั้งสองยิ่งมากเท่าไรความรุนแรงก็มากขึ้นเท่านั้น

ในการกัดกร่อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี จะมีปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งประกอบไปด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชัน ดังตัวอย่างแสดงปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างสังกะสีกับกรดไฮโดรคลอริก



Reduction Half-Reaction	E° (V)
F <sub>2</sub> (g) + 2 e <sup>-</sup> → 2 F <sup>-</sup> (aq)	2.87
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (aq) + 2 H <sup>+</sup> (aq) + 2 e <sup>-</sup> → 2 H <sub>2</sub> O(l)	1.78
MnO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (aq) + 8 H <sup>+</sup> (aq) + 5 e <sup>-</sup> → Mn <sup>2+</sup> (aq) + 4 H <sub>2</sub> O(l)	1.51
Cl <sub>2</sub> (g) + 2 e <sup>-</sup> → 2 Cl <sup>-</sup> (aq)	1.36
Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> <sup>2-</sup> (aq) + 14 H <sup>+</sup> (aq) + 6 e <sup>-</sup> → 2 Cr <sup>3+</sup> (aq) + 7 H <sub>2</sub> O(l)	1.33
O <sub>2</sub> (g) + 4 H <sup>+</sup> (aq) + 4 e <sup>-</sup> → 2 H <sub>2</sub> O(l)	1.23
Br <sub>2</sub> (l) + 2 e <sup>-</sup> → 2 Br <sup>-</sup> (aq)	1.09
Ag <sup>+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Ag(s)	0.80
Fe <sup>3+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Fe <sup>2+</sup> (aq)	0.77
O <sub>2</sub> (g) + 2 H <sup>+</sup> (aq) + 2 e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (aq)	0.70
I <sub>2</sub> (s) + 2 e <sup>-</sup> → 2 I <sup>-</sup> (aq)	0.54
O <sub>2</sub> (g) + 2 H <sub>2</sub> O(l) + 4 e <sup>-</sup> → 4 OH <sup>-</sup> (aq)	0.40
Cu <sup>2+</sup> (aq) + 2 e <sup>-</sup> → Cu(s)	0.34
Sn <sup>4+</sup> (aq) + 2 e <sup>-</sup> → Sn <sup>2+</sup> (aq)	0.15
2 H <sup>+</sup> (aq) + 2 e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> (g)	0
Pb <sup>2+</sup> (aq) + 2 e <sup>-</sup> → Pb(s)	-0.13
Ni <sup>2+</sup> (aq) + 2 e <sup>-</sup> → Ni(s)	-0.26
Cd <sup>2+</sup> (aq) + 2 e <sup>-</sup> → Cd(s)	-0.40
Fe <sup>2+</sup> (aq) + 2 e <sup>-</sup> → Fe(s)	-0.45
Zn <sup>2+</sup> (aq) + 2 e <sup>-</sup> → Zn(s)	-0.76
2 H <sub>2</sub> O(l) + 2 e <sup>-</sup> → H <sub>2</sub> (g) + 2 OH <sup>-</sup> (aq)	-0.83
Al <sup>3+</sup> (aq) + 3 e <sup>-</sup> → Al(s)	-1.66
Mg <sup>2+</sup> (aq) + 2 e <sup>-</sup> → Mg(s)	-2.37
Na <sup>+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Na(s)	-2.71
Li <sup>+</sup> (aq) + e <sup>-</sup> → Li(s)	-3.04

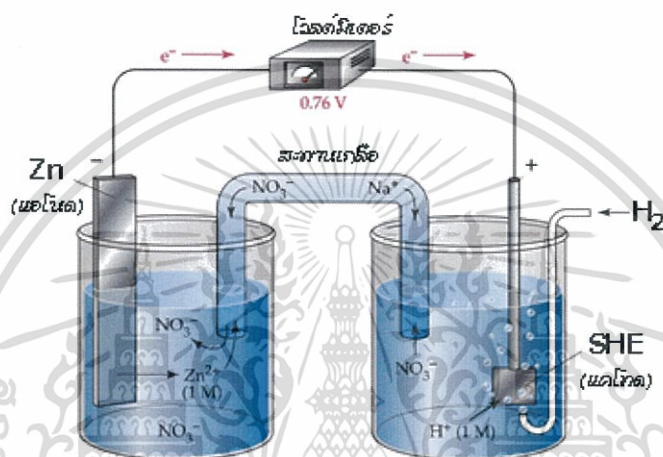
### รูปที่ 2.1 ค่าศักย์ไฟฟ้าเคมีของโลหะแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทของการกัดกร่อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี

### 1. TWO-METAL CELL (Galvanic cell)

ขั้ว Anode และขั้ว Cathode จะเป็นโลหะต่างชนิดกัน โดยโลหะที่มีค่า Electrode Potential (E.P.) ต่ำกว่าจะประพฤติตัวเป็นขั้ว Anode ส่วนโลหะที่มีค่า E.P. สูงกว่าก็จะประพฤติตัวเป็นขั้ว Cathode ซึ่งเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีขั้ว Anode ก็เกิดการผุกร่อนไปโดยที่ปริมาณการผุกร่อนจะเป็นอัตราส่วนกับปริมาณของกระแสไฟฟ้าและน้ำหนักอะตอมของโลหะนั้น (กฎของ FARADAY)



รูปที่ 2.2 กัลวานิกเซลล์

### 2. OXYGEN-CONCENTRATION CELL

จะเกิดขึ้นเมื่อเกิดความแตกต่างของออกซิเจนเข้มข้นบนผิวของโลหะที่ขึ้น จนกระทั่งเกิดการออกซิไดซ์ (Oxidize) ขึ้น การผุกร่อนประเภทนี้มักจะเกิดขึ้นกับโลหะที่เกิดการออกซิไดซ์ได้ง่าย เช่น เหล็ก (Fe) ที่ไม่ได้มีการเคลือบสารป้องกันไว้

### 3. SINGLE-METAL CELL

เป็นการผุกร่อนจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ในระบบมีโลหะเพียงชนิดเดียวเท่านั้น และถึงแม้ว่าในระบบจะมีโลหะเพียงชนิดเดียวอยู่ก็ตามก็สามารถเกิดสภาวะของขั้ว Anode และขั้ว Cathode ขึ้นได้ เพราะโลหะที่เราใช้กันทั่วไปในภาคอุตสาหกรรมมักจะไม่ใช่วัสดุบริสุทธิ์ ตัวอย่างเช่น เหล็ก มักจะมีส่วนผสมของ Ion Carbide ( $Fe_3C$ ) หรือส่วนผสมอื่นๆ ประกอบด้วยอยู่เสมอ หรือแม้แต่วัสดุบริสุทธิ์เองก็ตาม เราพบว่าบริเวณขอบเกรนหรือขอบผลึกจะมีการจัดเรียงตัวของอะตอมที่ไม่สมบูรณ์ (Dislocation) หรือแม้กระทั่งความเครียดที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Heterogeneous) ซึ่งในเนื้อโลหะเหล่านี้จะทำให้เกิดขั้วของปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีขึ้นได้ และพบว่าบริเวณขอบเกรนจะประพุดิตัวเป็นขั้ว Anode ส่วนภายในเนื้อเกรนจะประพุดิตัวเป็นขั้ว Cathode

#### 4. CONCENTRATION CELL

เป็นการสุกร่อนจากปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่ในสารละลาย Electrolyte มีความเข้มข้นแตกต่างกัน ถึงแม้ว่าโลหะที่แช่ในสารละลายจะเป็นโลหะบริสุทธิ์ที่มีเนื้อเดียวกันก็ตาม ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่มีความเข้มข้นของสารละลาย Electrolyte ที่แตกต่างกันนี้ เราสามารถจำลองขึ้นมาได้โดยการนำเอาเหล็กบริสุทธิ์ชนิดเดียวกัน 2 แท่ง แท่งแรกจุ่มลงในสารละลายของ Iron II ที่เจือจาง (0.001 M) และอีกแท่งจุ่มลงในสารละลายของ Iron II ที่เข้มข้น (0.01 M) โดยใช้เยื่อ Porous Membrane กั้นไว้ตรงกลางเพื่อไม่ให้อนุภาค Iron II แพร่เข้ามาปะปนกัน โดยโลหะที่แช่อยู่ในสารละลายเจือจางจะเป็นขั้ว Anode และจะเกิดการสุกร่อน

### 2.2 การป้องกันการกัดกร่อน [4,5]

เพื่อป้องกันผิวโลหะไม่ให้เกิดปฏิกิริยาใดๆ อันจะทำให้เกิดการกัดกร่อน สามารถป้องกันได้ 2 วิธีหลักคือ

#### 2.2.1 การกำจัดตัวประกอบที่จะเร่งให้เกิดการกัดกร่อน

##### 1. การกำจัดความชื้น

ในอากาศจะมีความชื้นจากไอน้ำ ถ้าเราต้องการป้องกันการเกิดสนิมจำเป็นต้องกำจัดความชื้น โดยการเพิ่มความร้อนหรือใช้สารเคมีดูดความชื้น

##### 2. การกำจัดส่วนประกอบที่เป็นอันตรายในอากาศและออกซิเจนในน้ำ

ออกซิเจนเป็นตัวเร่งที่ทำให้เกิดสนิมเร็วขึ้น สารที่ใช้กำจัดออกซิเจน ได้แก่ Hydro sulphite paracium alkali, สารประกอบไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น

##### 3. การปรับ pH

ในน้ำที่มีลักษณะความเป็นกรดควรทำการสะเทินให้เป็นกลาง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อน

#### 2.2.2 การใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน

ชนิดของสารยับยั้งการกัดกร่อน

##### 2.2.2.1 สารยับยั้งการกัดกร่อนจำพวกสารอินทรีย์ในธรรมชาติ

สารในธรรมชาติจำพวก แแทนนิน เจลาติน ผงแป้ง และกลุ่มน้ำตาลเป็นพวกโมเลกุลใหญ่ ในปัจจุบัน มีสารประกอบต่างๆดังนี้

สารประกอบไนโตรเจน : Amino, Cyclohexylamine

สารประกอบออกซิเจน : Alcohol, Aldehyde, Fatty acid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบกำมะถัน : RSH, Thio amide, Trioazol

### 2.2.2.2 สารยับยั้งการกัดกร่อนที่เป็นสารอนินทรีย์

ชนิดของสารยับยั้งการกัดกร่อนอาจแบ่งเป็นชนิดต่างๆตามกลไกของปฏิกิริยา ได้แก่

#### 1. Anodic Inhibitor ( $\text{NO}_2^-$ , $\text{CrO}_4^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ )

ฟิล์มป้องกันที่เกิดขึ้นบนผิวของโลหะบริเวณที่แอโนด สารยับยั้งการกัดกร่อนจะไม่เกิดผลกับปฏิกิริยาที่แคโทด แต่จะปกคลุมบริเวณแอโนดเท่านั้น ปริมาณที่ใช้มีความสำคัญมาก หากมีปริมาณน้อยจะปกคลุมไม่ทั่วถึง

#### 2. Cathodic Inhibitor

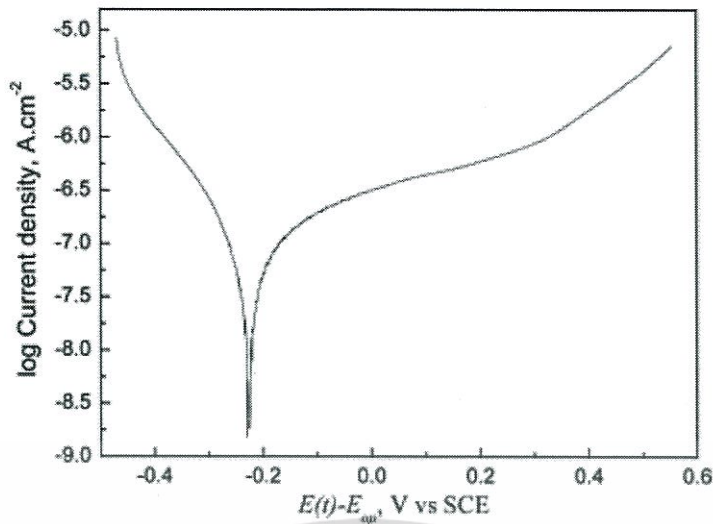
เป็นพวกประจุบวก เช่น ฟอสเฟต จะมีประจุเป็นบวกที่แคโทด แต่ไม่มีผลต่อแอโนด การที่สารไปคลุมพื้นผิวของแคโทด ทำให้ปฏิกิริยาแคโทดไม่เกิดขึ้น ปริมาณไม่ค่อยมีความสำคัญเพราะผิวของแคโทดมีเล็กน้อย

#### 3. Adsorption Inhibitor

เป็นสารประเภท Surface Active Agents ไปเคลือบผิวโลหะเกิดเป็นฟิล์มบางๆไม่ได้เกิดจากเนื้อโลหะทำปฏิกิริยากับสารภายนอก ส่วนใหญ่สารโมเลกุลใหญ่จะทำให้ทำการเคลือบผิวโลหะดีขึ้น

## 2.3 การโพล่าไรเซชัน [6]

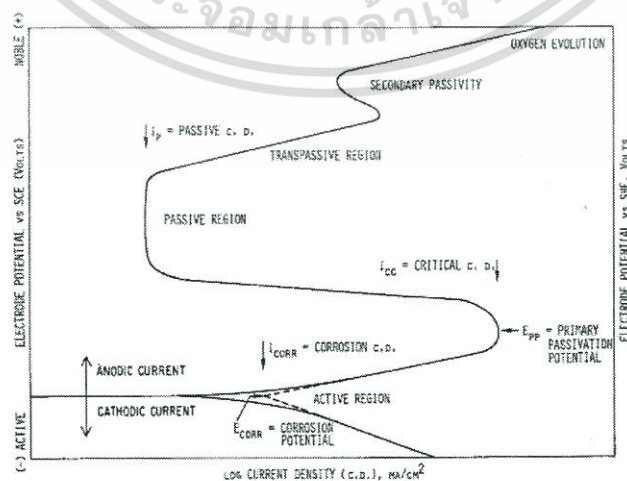
โดยปกติแล้วการกัดกร่อนเป็นปฏิกิริยาทางกายภาพของโลหะกับสภาพแวดล้อมรอบๆโลหะ ซึ่งเกิดจากการถ่ายเทประจุไฟฟ้าหรือแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนในสารละลายของน้ำ เรียกว่า ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrochemical reaction) การเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าของการกัดกร่อนเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชัน เมื่อน้ำหรือสารละลายที่สัมผัสกับโลหะ หลักการของการทดสอบการกัดกร่อนโลหะโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า โดยการทำให้โพล่าไรเซชัน คือ การป้อนศักย์ไฟฟ้าเร่งการกัดกร่อนโดยใช้เครื่อง Potentiostat / Galvanostat ในสถานะที่มีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ทำหน้าที่เป็นทางเดินของไอออนและเป็นการเชื่อมต่อเซลล์เคมีไฟฟ้า (Electrochemical cell)



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างกราฟโพลาริเซชัน

### 2.3.1 เทคนิคโพเทนชิโอดนามิกส์ [6]

เมื่อควบคุมการป้อนศักย์ไฟฟ้าแก่เซลล์ให้เป็นบวกเพิ่มขึ้น จะเกิดสภาวะคาโทดิกโพลาริเซชัน (Cathodic polarization) เป็นการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของขั้วทำงาน โดยโลหะตัวอย่างจะเกิดการกัดกร่อน และมีปรากฏการณ์ต่างๆเกิดขึ้น เช่น การเกิด Passive film ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วน จึงเริ่มป้อนศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าศักย์ไฟฟ้ากัดกร่อนของโลหะในสารละลายนั้น ส่วนของเส้นโค้งก่อนศักย์การกัดกร่อนจึงเป็นส่วนของคาโทดิกโพลาริเซชัน และเปลี่ยนเป็นแอโนดิก โพลาริเซชันใน ส่วนหลังศักย์การกัดกร่อน จุดตัดของเส้นโค้งคาโทดิกที่ผ่านเข้าสู่เส้นโค้งแอโนดิกกับแกนศักย์ไฟฟ้า คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าของการกัดกร่อน ( $E_{corr}$ ) ศักย์ไฟฟ้าที่จุดนี้ คือ ค่ากระแสการกัดกร่อน ( $i_{corr}$ ) ซึ่งใช้คำนวณหาอัตราการกัดกร่อนตามกฎของฟาราเดย์ได้ ซึ่งเป็นอัตราการกัดกร่อนทั่วผิวหน้าได้

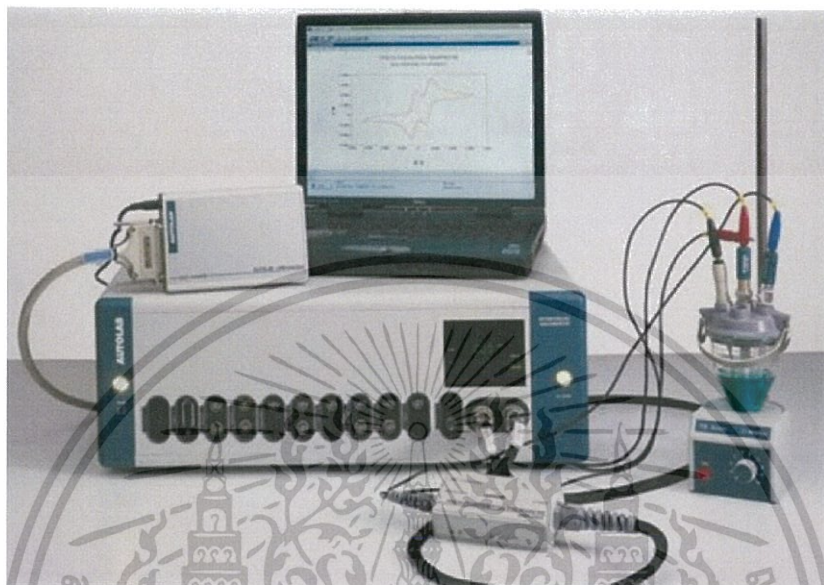


รูปที่ 2.4 Polarization curve ที่ได้จากการทดลองด้วยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2 เครื่องโพเทนชิโอสแตต (Potentiostat) [7]

หลักการการทำงานของเครื่องนี้กล่าวได้โดยย่อ คือ โพเทนชิโอสแตตจะป้อนความต่างศักย์ไฟฟ้าไปที่ขั้วไฟฟ้าโดยควบคุมให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างขั้วไฟฟ้าทำงาน (Working electrode) และขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode) เปลี่ยนแปลงในลักษณะเส้นตรงจากความต่างศักย์หนึ่ง



รูปที่ 2.5 เครื่องโพเทนชิโอสแตต พร้อมอุปกรณ์วัด และเซลล์การกััดกร่อน

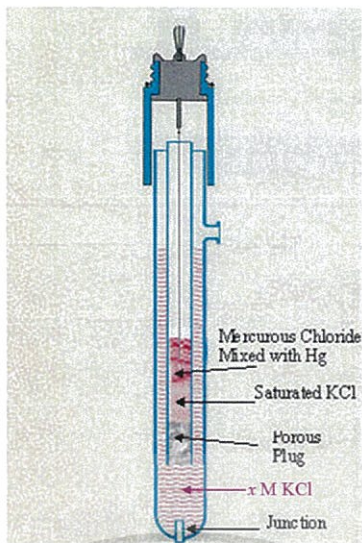
### 2.3.3 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงคาโลเมล (Calomel Reference Electrodes) [7]

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference electrode) ศักย์ไฟฟ้าของครึ่งเซลล์ชนิดนี้จะเป็นค่าที่ทราบแน่นอนและมีค่าที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของสารใดๆ ในสารละลายที่ทำการวิเคราะห์ (Analyte solution)

ครึ่งปฏิกิริยาของครึ่งเซลล์คาโลเมลเขียนได้ดังนี้ :



ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงคาโลเมล สามารถแบ่งย่อยได้หลายชนิดตามความเข้มข้นของ KCl ที่บรรจุอยู่ในหลอดแก้วชั้นนอก โดยชนิดที่นิยมใช้กันมากที่สุด คือ ชนิดที่บรรจุสารละลายอิ่มตัว KCl (ประมาณ 4.6 M) เนื่องจากสารละลายที่มีความเข้มข้นนี้สามารถเตรียมขึ้นได้ง่าย



รูปที่ 2.6 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงคาโลเมล

#### 2.3.4 ขั้วไฟฟ้าช่วย (Counter Electrode) [7]

เป็นขั้วไฟฟ้าที่ทำให้ระบบครบวงจรโดยการนำไฟฟ้าให้กับระบบ โดยที่ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับ การเกิดปฏิกิริยาใดๆ วัสดุที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้าช่วยต้องทำจากวัสดุที่ไม่ไวต่อปฏิกิริยา วัสดุที่นิยมใช้ คือ แพลทินัม ขั้วไฟฟ้านี้จะจุ่มอยู่ในสารละลายในเซลล์เคมีไฟฟ้า

### 2.4 เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) [8]

เหล็กกล้าไร้สนิม คือ เหล็กกล้าที่ผสมโครเมียมอย่างน้อย 10.5% เพื่อให้มีความทนทานต่อการกัดกร่อน โดยเหล็กกล้าไร้สนิมจะสร้างชั้นฟิล์มของโครเมียมออกไซด์ที่บางและแน่นที่ผิวของเหล็กกล้า ซึ่งชั้นฟิล์มนี้จะป้องกันเหล็กกล้าจากบรรยากาศภายนอก

#### 2.4.1 ประเภทของเหล็กกล้าไร้สนิม [8]

เหล็กกล้าไร้สนิมสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างจุลภาคได้เป็น 5 กลุ่มใหญ่ๆดังนี้

##### 2.4.1.1 เหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก (Ferritic Stainless Steel)

มีการเพิ่มธาตุโครเมียมประมาณ 12% หรือ 17% และมีนิกเกิลปริมาณน้อยมากที่ติดมากับวัสดุ เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีโครงสร้างทางจุลภาคเป็นเฟอร์ไรต์

ลักษณะเด่นของเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติก

- มีคุณสมบัติที่แม่เหล็กสามารถดูดติดได้
- เชื่อมได้ไม่ดี
- ทนต่อการกัดกร่อนปานกลาง

##### 2.4.1.2 เหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก (Austenitic Stainless Steel)

มีการเพิ่มธาตุโครเมียมประมาณ 17% และนิกเกิลประมาณ 19% โดยนิกเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการกัดกร่อน เหล็กกลุ่มออสเทนนิติกจะทนทานต่อการกัดกร่อนมากกว่าเหล็กกลุ่มเฟอร์ริติก

ลักษณะเด่นของเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก

- แม่เหล็กสามารถดูดไม่ติด
- เชื่อมได้ดีเยี่ยม
- สามารถตัดและขึ้นรูปได้
- ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเยี่ยม

#### 2.4.1.3 เหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์ (Duplex Stainless Steel)

มีโครงสร้างทางจุลภาคผสมระหว่างออสเทนไนต์และเฟอร์ไรต์ มีปริมาณโครเมียมประมาณ 21-28% และนิกเกิลประมาณ 3-7.5% มีความแข็งกว่าทั้งเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกและเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก

ลักษณะเด่นของเหล็กกล้าไร้สนิมดูเพล็กซ์

- เชื่อมได้ดี
- สามารถขึ้นรูปได้ดี
- สามารถต่อกรดคลอไรด์ (Chloride) เป็นพิเศษ
- ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีเยี่ยม

#### 2.4.1.4 เหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก (Martensitic Stainless Steel)

มีส่วนผสมของโครเมียมประมาณ 11.5-18% เหล็กกล้าไร้สนิมกลุ่มนี้มีคาร์บอนพอเหมาะ และสามารถชุบแข็งได้

ลักษณะเด่นของเหล็กกล้าไร้สนิมมาร์เทนซิติก

- แม่เหล็กดูดติดได้
- เชื่อมได้ไม่ดี
- ทนต่อการกัดกร่อนปานกลาง

#### 2.4.1.5 เหล็กกล้าไร้สนิมอบชุบแข็งด้วยการตกผลึก (PH ; Precipitation-Hardenable Stainless Steel)

มีปริมาณโครเมียมผสมประมาณ 15-18% และนิกเกิลประมาณ 3-8% เหล็กกล้ากลุ่มนี้สามารถทำการชุบแข็งได้

ลักษณะเด่นของเหล็กกล้าไร้สนิมอบชุบแข็งด้วยการตกผลึก

- แม่เหล็กดูดติดได้
- เชื่อมได้ดี
- มีความแข็งสูงมาก
- ทนต่อการกัดกร่อนปานกลาง

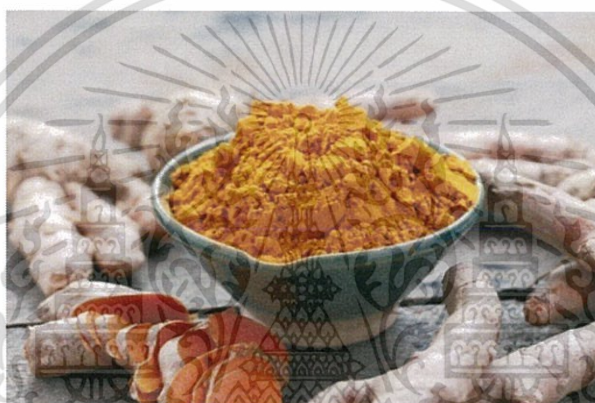
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.2 เหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการทดลอง [8]

เหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 เป็นเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก มีส่วนผสมของโครเมียม 18-20% และนิกเกิลอย่างน้อย 8-10.5% โครเมียมเป็นส่วนผสมที่ช่วยในการป้องกันการเกิดสนิม และนิกเกิลช่วยในการป้องกันการกัดกร่อน เกรด 304 เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถป้องกันการเกิดสนิมและทนต่อการกัดกร่อนจากสิ่งต่างๆได้ดี ราคาสมเหตุสมผล ใช้งานได้ทั่วไป จึงเป็นเกรดที่นิยมใช้กันมาก

## 2.5 พืชที่ใช้ในงานวิจัย

### 2.5.1 ขมิ้นชัน [9]



รูปที่ 2.7 ขมิ้นชัน

ชื่อวิทยาศาสตร์ *Curcuma longa L.*

ชื่อสามัญ Turmeric

วงศ์ ZINGIBERACEAE

ขมิ้นชันเป็นพืชล้มลุกข้ามปี มีถิ่นกำเนิดในประเทศแถบเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลำต้นที่อยู่เหนือดินเป็นลำต้นเทียม และมีลำต้นใต้ดิน เรียกว่า เหง้า มีลักษณะเป็นกาบใบเรียงอัดซ้อนกันอยู่สูงประมาณ 1-1.5 เมตร เปลือกสีเหลืองอ่อน เนื้อในสีเหลืองเข้ม ใบเป็นใบเลี้ยงเดี่ยว แผ่นใบมีลักษณะยาวรี โคนใบสอบหรือมน ปลายใบแหลม ดอกมีลักษณะเป็นช่อเป็นทรงกระบอก มีสีเหลืองอ่อน

#### 2.5.1.1 สรรพคุณ [10]

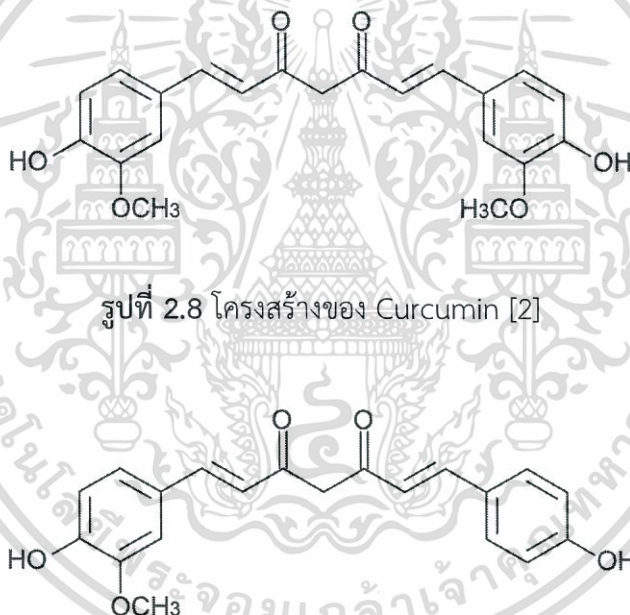
1. ช่วยป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง โดยจะยับยั้งการเติบโตและการกระจายตัวของเซลล์มะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งลำไส้ มะเร็งเต้านม มะเร็งปอด และมะเร็งเม็ดเลือดขาว นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในการต่อต้านโรคที่มีสาเหตุมาจากความเสื่อมของร่างกาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

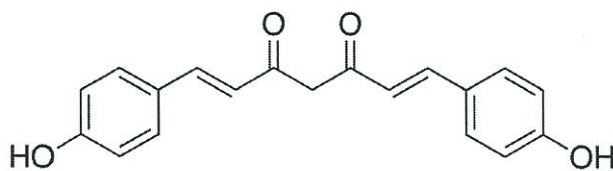
2. ช่วยสมานแผลในกระเพาะอาหารและยังป้องกันการเกิดแผลในกระเพาะอาหารได้เป็นอย่างดี
3. มีฤทธิ์ช่วยในการขับและกระตุ้นการสร้างน้ำดี โดยน้ำดีนั้นมีบทบาทสำคัญในการช่วยย่อยอาหารและดูดซึมอาหารในร่างกายให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น จึงลดอาการท้องอืด ท้องเฟ้อ จุกเสียด แน่นท้อง
4. ช่วยแก้อาการผื่นคัน รวมถึงช่วยรักษากลาก เกื้อยได้
5. ช่วยดูแลกระเพาะปัสสาวะให้แข็งแรง ลดปัญหาการลั้นปัสสาวะไม่อยู่โดยเฉพาะในผู้สูงอายุ

#### 2.5.1.2 สารสกัดจากขมิ้นชัน

Shabnam [2] ศึกษาสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของขมิ้นชัน พบว่าในขมิ้นชันมีสารสกัดสำคัญ คือ Curcumin Desmethoxycurcumin และ Bis-desmethoxycurcumin



รูปที่ 2.9 โครงสร้างของ Desmethoxycurcumin [2]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5.2 ตะไคร้ [11]



รูปที่ 2.11 ตะไคร้

ชื่อวิทยาศาสตร์	<i>Cymbopogon citratus</i> (De ex Nees) Stapf.
ชื่อสามัญ	Lemon Grass, Lapine
วงศ์	GRAMINEAE

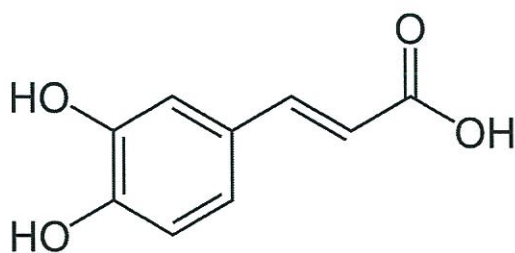
ตะไคร้เป็นไม้ล้มลุกที่ปลูกได้ในทุกภาคของประเทศไทย ออกเป็นกอใหญ่หรือเป็นไม้พุ่มที่ค่อนข้างสูงประมาณ 1 เมตร ลักษณะของลำต้นเป็นรูปทรงกระบอก แข็ง เกลี้ยง มีลำต้นอยู่ใต้ดิน ลักษณะเป็นเหง้า ใบเป็นใบเดี่ยว ตัวใบมีสีเขียวทั้งยาวและแคบ ปลายใบเรียวแหลม มีเส้นใบขนานกัน และเส้นกลางใบแข็ง ใบมีลักษณะเป็นกาบใบโอบหุ้มซ้อนกันแน่น ดอกตะไคร้ออกเป็นช่อยาวแบบกระจาย โดยช่อดอกย่อยๆ มีก้านเป็นคู่ๆ และมีใบประดับรองรับในแต่ละคู่

### 2.5.2.1 สรรพคุณ [12]

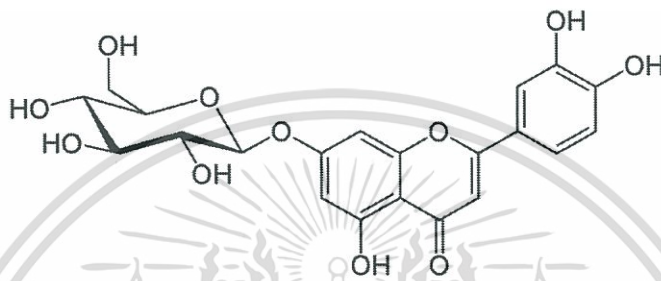
1. ช่วยลดการบีบตัวของลำไส้ โดยสารเคมีในน้ำมันหอมระเหยของตะไคร้ออกฤทธิ์ลดการบีบตัวของลำไส้จึงลดอาการแน่นจุกเสียด
2. สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียสาเหตุอาการแน่นจุกเสียดและท้องเสีย
3. มีฤทธิ์แก้ปวด พบว่าน้ำมันหอมระเหยสามารถบรรเทาอาการปวดได้
4. มีฤทธิ์ขับน้ำดี ตะไคร้มีสารช่วยในการขับน้ำดีมาช่วยย่อย
5. มีฤทธิ์ขับลม ฉีดยาขงตะไคร้ทางช่องท้องจะให้ผลดีในการขับลม

### 2.5.2.2 สารสกัดจากตะไคร้

Shabnam [2] ศึกษาสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของตะไคร้ พบว่าในตะไคร้มีสารสกัดสำคัญ คือ Caffeic acid และ Luteolin-7-o-glycoside



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของ Caffeic acid [2]



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของ Luteolin-7-o-glycoside [2]

## 2.6 การสกัด [13]

การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) เป็นวิธีหนึ่งที่มีประโยชน์มากในการแยกสารที่ต้องการออกจากส่วนต่างๆของพืชหรือจากของผสม โดยอาศัยสมบัติการละลายของสารในตัวทำละลาย

### 2.6.1 การเลือกใช้ตัวทำละลาย [13]

การเลือกใช้ตัวทำละลาย มีหลักทั่วไปดังนี้

1. สามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี
2. ไม่ระเหยง่ายหรือยากเกินไป
3. ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด
4. ไม่เป็นพิษ มีจุดเดือดต่ำ และแยกตัวออกจากสารที่ต้องการสกัดได้ง่าย
5. มีราคาไม่แพงมาก

### 2.6.2 วิธีการสกัด [13]

การสกัด แบ่งได้ดังนี้

**2.6.2.1 การฝน (Sanding)** คือ การนำเอาสมุนไพรมาฝนด้วยหินบดยา แล้วชะด้วยน้ำธรรมดา จากนั้นนำไปกรองเพื่อเอาน้ำไปรับประทาน

**2.6.2.2 การชง (Infusion)** คือ การสกัดโดยการแช่สมุนไพรด้วยน้ำร้อนหรือน้ำเย็นในช่วงเวลาสั้น สารสกัดที่ได้จะเป็นสารที่ละลายได้ดีที่อุณหภูมิไม่สูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.3 การต้ม (Decoction) คือ การสกัดสารที่ละลายได้ดีในน้ำและสามารถทนความร้อนได้ดี

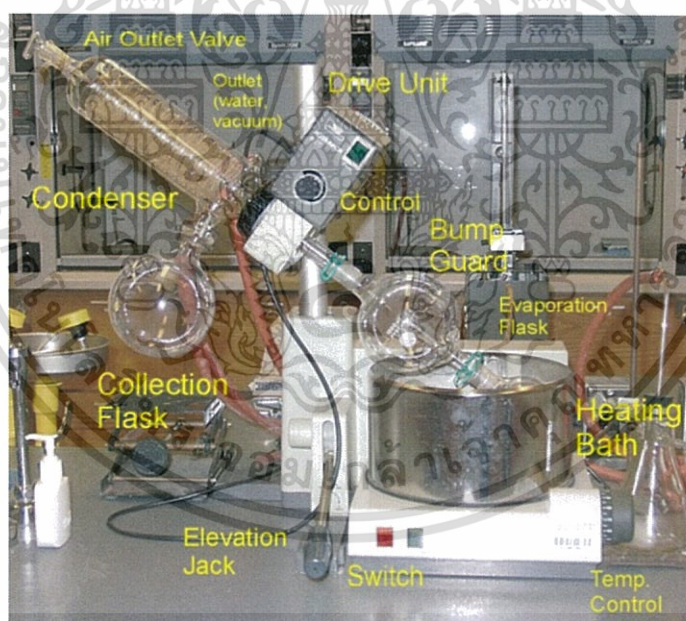
2.6.2.4 การตุ๋น (Digestion) คือ การสกัดโดยใช้ความร้อนอ่อนๆ ที่อุณหภูมิประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส และใช้เวลานานมากกว่าการต้ม

2.6.2.5 การหมัก (Maceration) คือ การสกัดโดยการนำสมุนไพรหมักกับตัวทำละลายในภาชนะที่ปิด ทิ้งไว้ 3-7 วัน เขย่าหรือคนบ่อยๆ แล้วนำไปกรองเอาสารสกัดไปใช้

2.6.2.6 การสกัดด้วย Soxhlet Extraction คือ การสกัดแบบต่อเนื่องโดยใช้ตัวทำละลายที่มีจุดเดือดต่ำและใช้ความร้อนทำให้ตัวทำละลายในขวดก้นกลมระเหยขึ้นไป แล้วกลั่นตัวลงมาจนถึงจุดหนึ่งก็จะไหลกลับลงไปในช่วงก้นกลมใหม่เหมือนกาลักน้ำ แล้วกลั่นตัวขึ้นไปใหม่จนสกัดได้สมบูรณ์

2.6.2.7 Liquid-liquid extraction คือ การสกัดสารละลายที่เป็นของเหลวด้วยตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่งซึ่งไม่ผสมกับตัวทำละลายชนิดแรก

## 2.7 เครื่องกลั่นระเหยแบบสุญญากาศ (Rotary Evaporator) [14]



รูปที่ 2.14 เครื่องกลั่นระเหยแบบสุญญากาศ

### 2.7.1 หลักการ

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการระเหยสารตัวทำละลายออกจากสารละลายตัวอย่าง ทำให้สารละลายตัวอย่างนั้นเข้มข้นขึ้น โดยตัวทำละลายจะถูกทำให้กลายเป็นไอด้วยการให้ความร้อนจากอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ และระบบสุญญากาศ ทำให้การกลายเป็นไอง่ายขึ้น จากนั้นไอของสารละลายจะผ่านเอกสารถึงเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องควบแน่น (Condenser) ทำให้ไอสารควบแน่นกลายเป็นของเหลวไหลลงสู่ขวดรองรับ (Receiving flask)

## 2.7.2 ส่วนประกอบสำคัญของเครื่อง

2.7.2.1 ส่วนให้ความร้อนและกลั่นแยกสาร เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการระเหยสารตัวอย่าง โดยกลั่นเพื่อแยกตัวทำละลายที่ผสมอยู่

2.7.2.2 ส่วนทำสุญญากาศภายในระบบ เป็นส่วนทำสุญญากาศภายในระบบ ส่วนใหญ่เป็นแบบปั๊มสุญญากาศ

2.7.2.3 ส่วนควบคุมอุณหภูมิภายในระบบ เป็นอ่างน้ำหมุนเวียน สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

## 2.8 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR) [15]



รูปที่ 2.15 เครื่องฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบอินทรีย์ โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืน สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งของแข็ง ของเหลวและแก๊ส เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่น (Stretching) หรือการหมุน (Bending) ของพันธะโมเลกุล จะทำให้โมเลกุลดังกล่าวดูดกลืนแสงอินฟราเรดที่ความถี่เดียวกันกับความถี่ในการสั่นของโมเลกุลนั้น หลังจากประมวลผลโดยการแปลงฟูเรียร์ (Fourier transformation) จะถูกเปลี่ยนให้เป็นเส้นสเปกตรัมความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มและความถี่ ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Infrared Absorption Frequencies

Functional Class	Stretching Vibrations			Bending Vibrations		
	Range (cm <sup>-1</sup> )	Intensity	Assignment	Range (cm <sup>-1</sup> )	Intensity	Assignment
<b>Alkanes</b>	2850-3000	str	CH <sub>3</sub> , CH <sub>2</sub> & CH 2 or 3 bands	1350-1470 1370-1390 720-725	med med wk	CH <sub>2</sub> & CH <sub>3</sub> deformation CH <sub>3</sub> deformation CH <sub>2</sub> rocking
<b>Alkenes</b>	3020-3100 1630-1680 1600-2000	med var str	=C-H & =CH <sub>2</sub> (usually sharp) C=C (symmetry reduces intensity) C=C asymmetric stretch	880-995 780-850 675-730	str med med	=C-H & =CH <sub>2</sub> (out-of-plane bending) cis-RCH=CHR
<b>Alkynes</b>	3300 2100-2260	str var	C-H (usually sharp) C≡C (symmetry reduces intensity)	600-700	str	C-H deformation
<b>Arenes</b>	3030 1600 & 1500	var med-wk	C-H (may be several bands) C=C (in ring) (2 bands) (3 if conjugated)	690-900	str-med	C-H bending & ring puckering
<b>Alcohols &amp; Phenols</b>	3580-3650 3200-3550 970-1250	var str str	O-H (free), usually sharp O-H (H-bonded), usually broad C-O	1330-1430 850-770	med var-wk	O-H bending (in-plane) O-H bend (out-of-plane)
<b>Amines</b>	3400-3500 (dil. soln.) 3300-3400 (dil. soln.) 1000-1250	wk wk med	N-H (1°-amines), 2 bands N-H (2°-amines) C-N	1550-1650 660-900	med-str var	NH <sub>2</sub> scissoring (1°-amines) NH <sub>2</sub> & N-H wagging (shifts on H-bonding)
<b>Aldehydes &amp; Ketones</b>	2690-2840 (2 bands) 1720-1740 1710-1720 1690 1675 1745 1780	med str str str str str str	C-H (aldehyde C-H) C=O (saturated aldehyde) C=O (saturated ketone) aryl ketone α, β-unsaturation cyclopentanone cyclobutanone	1360-1360 1400-1450 1100	str str str med	α-CH <sub>3</sub> bending α-CH <sub>2</sub> bending C-C-C bending
<b>Carboxylic Acids &amp; Derivatives</b>	2500-3300 (acids) overlap C-H 1705-1720 (acids) 1210-1320 (acids) 1785-1815 (acyl halides) 1750 & 1820 (anhydrides) 1040-1100 1735-1760 (esters) 1000-1300 1630-1695 (amides)	str str med-str str str str str str str	O-H (very broad) C=O (H-bonded) O-C (sometimes 2-peaks) C=O C=O (2-bands) O-C C=O O-C (2-bands) C=O (amide I band)	1395-1440 1590-1650 1500-1660	med med med	C-O-H bending N-H (1°-amide) II band N-H (2°-amide) II band
<b>Nitriles</b>	2240-2280	med	C≡N (sharp)			
<b>Isocyanates, Isothiocyanates, Diimides, Azides &amp; Ketenes</b>	2100-2270	med	-N=C=O, -N=C=S -N=C=N-, -N <sub>3</sub> , C=C=O			

รูปที่ 2.16 ความถี่ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ [16]

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มณฑนา ศึกษาผลของสารหน่วงการกัดกร่อนจากธรรมชาติของเหล็กล้ำคาร์บอนต่ำในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้สารสกัดจากฟ้าทะลายโจรและชา ทำการสกัดโดยการนำฟ้าทะลายโจรและชาต้มในน้ำกลั่น เพื่อศึกษาพฤติกรรมการยับยั้งการกัดกร่อนด้วยวิธีการหาค่าหนักที่หายไปและวิธีโพเทนซิโอดนามิกส์ พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดทั้งสองชนิดจะทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารสกัดทั้งสองชนิดเท่ากับ 1 g/L จะได้ประสิทธิภาพในการป้องกันสูงสุด 96% ซึ่งตรงกับอัตราการกัดกร่อนที่ 0.4 mm/year สูงสุด 96% ซึ่งตรงกับอัตราการกัดกร่อนที่ 0.4 mm/year [1]

หนึ่งหทัยและคณะ ศึกษาความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กล้ำ AISI 1045 ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยใช้สารสกัดจากใบพญายอ ทำการสกัดด้วยวิธีการแช่ให้เปียกชุ่ม (Maceration) โดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์เป็นตัวทำละลาย จากผลการทดสอบการกัดกร่อนของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กกล้าด้วยเทคนิคโพเทนซิโอดนามิกโพลาริเซชัน พบว่าสารสกัดจากใบพญายอมีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนและมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนสูงถึง 96% เมื่อสารสกัดมีความเข้มข้น 3000 ppm [17]

R.S. Nathiya และ V. Raj ศึกษาการใช้สารสกัดจากใบเฟิร์นเพื่อยับยั้งการกัดกร่อนของอะลูมิเนียมในกรดซัลฟิวริก 1 โมลาร์ โดยใช้เมทานอลและน้ำเป็นตัวทำละลาย จากผลการศึกษา น้ำหนักโมเลกุลที่หายไป และใช้กราฟทาเฟลแสดงความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจะทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นและพบว่าสารสกัดจากใบเฟิร์นที่สกัดด้วยเมทานอลจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนดีที่สุด [18]

Shabnam ศึกษาสารประกอบฟีนอลิกและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสมุนไพร ได้แก่ ขมิ้นชัน ใบแกง ดาหลาและตะไคร้ โดยใช้อะซิโตนเข้มข้น 80% เอทานอลเข้มข้น 80% เมทานอลเข้มข้น 80% และน้ำเป็นตัวทำละลาย ใช้เทคนิค HPLC ในการทำปริมาณวิเคราะห์ พบว่าในขมิ้นชันมีสารสกัดสำคัญ คือ Curcumin Desmethoxycurcumin และ Bis-desmethoxycurcumin มากที่สุดเมื่อใช้อะซิโตนเข้มข้น 80% ในการสกัด รองมาคือ ใช้เอทานอลเข้มข้น 80% เมทานอลเข้มข้น 80% และน้ำ ตามลำดับ ในการสกัดโดยใช้อะซิโตนเข้มข้น 80% ได้ปริมาณของสารสกัดมากที่สุด แต่เนื่องจากอะซิโตนเป็นตัวทำละลายที่อันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม จึงเลือกใช้เอทานอลเข้มข้น 80% ในการสกัดขมิ้นชัน และพบว่าในตะไคร้มีสารสำคัญ คือ Caffeic acid Luteolin-7-o-glycoside และ *p*-coumaric acid มากที่สุดเมื่อใช้อะซิโตนเข้มข้น 80% รองมาคือ เมทานอลเข้มข้น 80% และเอทานอลเข้มข้น 80% ตามลำดับ เมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลายพบว่ามี Caffeic acid และ Luteolin-7-o-glycoside เป็นสารสำคัญในตะไคร้ ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระตรวจสอบด้วยวิธี DPPH และ FRAP พบว่า ขมิ้นชันที่ใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด [2]

วัชรระ ศึกษาประสิทธิภาพและการออกฤทธิ์ในการเป็นสารกำจัดแมลงของสารสกัดจากขมิ้นชัน ต่อหนอนกระทู้ผักด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์ น้ำ และการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยสารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยแอลกอฮอล์จะได้สารสกัดสีเหลือง สารสกัดที่ได้จากการสกัดด้วยน้ำจะได้สารสกัดขมิ้นชันสีน้ำตาลเข้ม และสารสกัดที่ได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำเป็นน้ำมันหอมระเหย [19]

ทางคณะผู้จัดทำเห็นว่า ขมิ้นชันและตะไคร้เป็นพืชที่มีอยู่ในประเทศไทย ซึ่งหาซื้อได้ง่ายและมีราคาไม่แพง โครงสร้างทางเคมีของสารสกัดจากพืชที่กล่าวมาข้างต้นมีโครงสร้างสารประกอบที่คาดว่าน่าจะสามารถช่วยยับยั้งการกัดกร่อนได้ จึงได้มีการทำการสกัดขมิ้นชันและตะไคร้เพื่อศึกษาสมบัติการเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยใช้เทคนิคโพเทนซิโอดนามิกโพลาริเซชัน ในการสกัดขมิ้นชันจะใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย เนื่องจาก Shabnam พบว่าตัวทำละลายนี้สามารถสกัดสารที่อยู่ในขมิ้นชันออกจากขมิ้นชันได้มากและไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม ในการสกัดตะไคร้จะใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัด [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- 3.1.1 เอทานอล 95%
- 3.1.2 เอทานอลบริสุทธิ์ (Absolute Ethanol)
- 3.1.3 กรดไฮโดรคลอริกเกรดวิเคราะห์ความเข้มข้น 35.4% (w/w)
- 3.1.4 กรดไนตริกเกรดวิเคราะห์ความเข้มข้น 65% (w/w)
- 3.1.5 น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)

#### 3.2 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.2.1 สำหรับการสกัดไขมันชั้น

1. เครื่องปั่น
2. ชุดเครื่องแก้ว
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
4. แท่งแก้ว และช้อนตักสาร
5. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
6. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5
7. เครื่องกลั่นระเหยแบบสุญญากาศ (Rotary evaporator)
8. อะลูมิเนียมฟอยล์
9. ชามระเหย

##### 3.2.2 สำหรับการสกัดตะไคร้

1. เครื่องปั่น
2. ชุดเครื่องแก้ว
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
4. แท่งแก้ว และช้อนตักสาร
5. ชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
6. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
7. เครื่องกลั่นระเหยแบบสุญญากาศ (Rotary evaporator)
8. เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
9. อะลูมิเนียมฟอยล์

##### 10. ชามระเหย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 สำหรับการทำให้เทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกโพลาริเซชัน

1. เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304
2. กระจกทรายเบอร์ 280 600 1200 2000
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง
4. เครื่องล้างอัลตราโซนิก (Ultrasonic cleaner)
5. เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
6. ชุดเครื่องแก้ว
7. พาราฟิล์ม
8. เครื่องโพเทนชิโอสแตท (Potentiostat)
9. ชุดทดสอบการกัดกร่อน
10. โลหะแพลทินัม
11. ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงชนิดคาโลเมลล์อิ่มตัว (Saturated calomel reference electrode)
12. เครื่องเป่าลมร้อน
13. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)

## 3.3 วิธีการดำเนินการทดลอง

### 3.3.1 การเตรียมและการสกัดพืช

#### 3.3.1.1 ขมิ้นชัน

##### 1. การเตรียม

นำขมิ้นชันมาล้างให้สะอาด ผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น

##### 2. การสกัด

ชั่งขมิ้นชันที่บดไว้จำนวน 1 กิโลกรัม แช่ขมิ้นชันในเอทานอลบริสุทธิ์ปริมาตร 2 ลิตร จากนั้นปิดปากบีกเกอร์ด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 วัน จากนั้นนำมากรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน โดยใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 5 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไประเหยเอทานอลออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบสูญญากาศ นำสารสกัดที่ได้ใส่ลงในชามระเหย

#### 3.3.1.2 ตะไคร้

##### 1. การเตรียม

นำตะไคร้มาตัดเอาเฉพาะส่วนใบ ล้างให้สะอาด ผึ่งลมให้แห้งแล้วนำไปอบ จากนั้นนำมาปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่น

##### 2. การสกัด

ทำการสกัดตะไคร้ที่เตรียมไว้ โดยเตรียมสารละลายให้มีอัตราส่วนของตะไคร้ต่อน้ำเป็น 1:10 (w/v) ลงในบีกเกอร์ แล้วนำไปสกัดโดยใช้เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน โดยใช้กระดาษกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Whatman เบอร์ 1 แล้วนำสารละลายที่ได้ไปประเหยน้ำออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบสุญญากาศ นำสารสกัดที่ได้ใส่ลงในชามระเหย

### 3.3.2 การทดสอบการกัดกร่อน

#### 3.3.2.1 การเตรียมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์

ตวงกรดไฮโดรคลอริกเกรดวิเคราะห์ความเข้มข้น 35.4% (w/w) ปริมาตร 8.72 มิลลิลิตร ค่อยๆเทลงในน้ำปราศจากไอออน จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร

#### 3.3.2.2 การเตรียมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ กับสารสกัดขมิ้นชันและตะไคร้ที่ความเข้มข้น 10 100 200 และ 500 mg/l

ชั่งสารสกัด 10 100 200 และ 500 มิลลิกรัม มาละลายน้ำโดยใช้เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กจนสารละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกัน นำกรดไฮโดรคลอริกเกรดวิเคราะห์ความเข้มข้น 35.4% (w/w) ปริมาตร 8.72 มิลลิลิตร เทลงในสารละลายของสารสกัด แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร

#### 3.3.2.3 การเตรียมกรดไนตริกเข้มข้น 6 นอร์มอล สำหรับการทำให้ Passivation

ตวงกรดไนตริกเกรดวิเคราะห์ความเข้มข้น 65% (w/w) ปริมาตร 58.2 มิลลิลิตร เทลงในน้ำปราศจากไอออน จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

#### 3.3.2.4 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 280 600 1200 และ 2000 โดยใช้น้ำช่วยในการขัดจนชิ้นงานขึ้นเงา จากนั้นทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วนำไปแช่ในเอทานอลบริสุทธิ์ ในเครื่องล้างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที เป่าชิ้นงานให้แห้ง แล้วทำให้ Passivation โดยการนำชิ้นงานไปแกว่งในกรดไนตริกเข้มข้น 6 นอร์มอล เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปแกว่งในน้ำปราศจากไอออน เป็นเวลา 60 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ก่อนนำไปทดสอบการกัดกร่อน

#### 3.3.2.5 การทดสอบการกัดกร่อนโดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอสแตติกโพลาริเซชัน

1. ล้างชุดทดสอบการกัดกร่อนด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วผึ่งให้แห้ง
2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องโพเทนชิโอสแตท แล้วเปิดโปรแกรมควบคุมใช้อัตราการสแกนศักย์ไฟฟ้า 600 มิลลิโวลต์ต่อชั่วโมง กำหนดค่าศักย์ไฟฟ้าในช่วง -500 ถึง 1500 มิลลิโวลต์ เทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit potential, OCP)

3. จัดอุปกรณ์ชุดทดสอบการกัดกร่อน แล้วนำสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ กับสารสกัด 10 100 200 และ 500 mg/l ที่เตรียมไว้มาพ่นด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 30 นาที

4. ใส่ชิ้นงานตัวอย่าง ขั้วแพลทินัม และขั้วอ้างอิงในชุดทดสอบการกัดกร่อน แล้วต่อขั้วไฟฟ้าจากเครื่องโพเทนชิโอสแตทเข้ากับชุดทดสอบการกัดกร่อน

5. กดเริ่มการทำงานของโปรแกรมทันที เมื่อทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากการกัดกร่อนเสร็จจึงทำการบันทึกข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 การทดสอบด้วยเทคนิค Chronoamperometry

#### 3.3.3.1 การเตรียมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์

ตวงกรดไฮโดรคลอริกเกรดวิเคราะห์ความเข้มข้น 35.4% (w/w) ปริมาตร 8.72 มิลลิลิตร ค่อยๆเทลงในน้ำปราศจากไอออน จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร

#### 3.3.3.2 การเตรียมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ กับสารสกัดตะไคร้ที่ความเข้มข้น 500 mg/l

ชั่งสารสกัดตะไคร้ 500 มิลลิกรัม มาละลายน้ำโดยใช้เครื่องกวนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็กจนเป็นเนื้อเดียวกัน นำกรดไฮโดรคลอริกเกรดวิเคราะห์ความเข้มข้น 35.4% (w/w) ปริมาตร 8.72 มิลลิลิตร เทลงในสารละลายของสารสกัด แล้วปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร

#### 3.3.3.3 การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

ขัดชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 280 600 1200 และ 2000 โดยใช้ผ้าช่วยในการขัดจนชิ้นงานขึ้นเงา จากนั้นทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วนำไปแช่ในเอทานอลบริสุทธิ์ในเครื่องล้างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 5 นาที เป่าชิ้นงานให้แห้ง แล้วทำ Passivation โดยการนำชิ้นงานไปแกว่งในกรดไนตริกเข้มข้น 6 นอร์มอล เป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปแกว่งในน้ำปราศจากไอออน เป็นเวลา 60 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 20 นาที ก่อนนำไปทดสอบด้วยเทคนิค Chronoamperometry

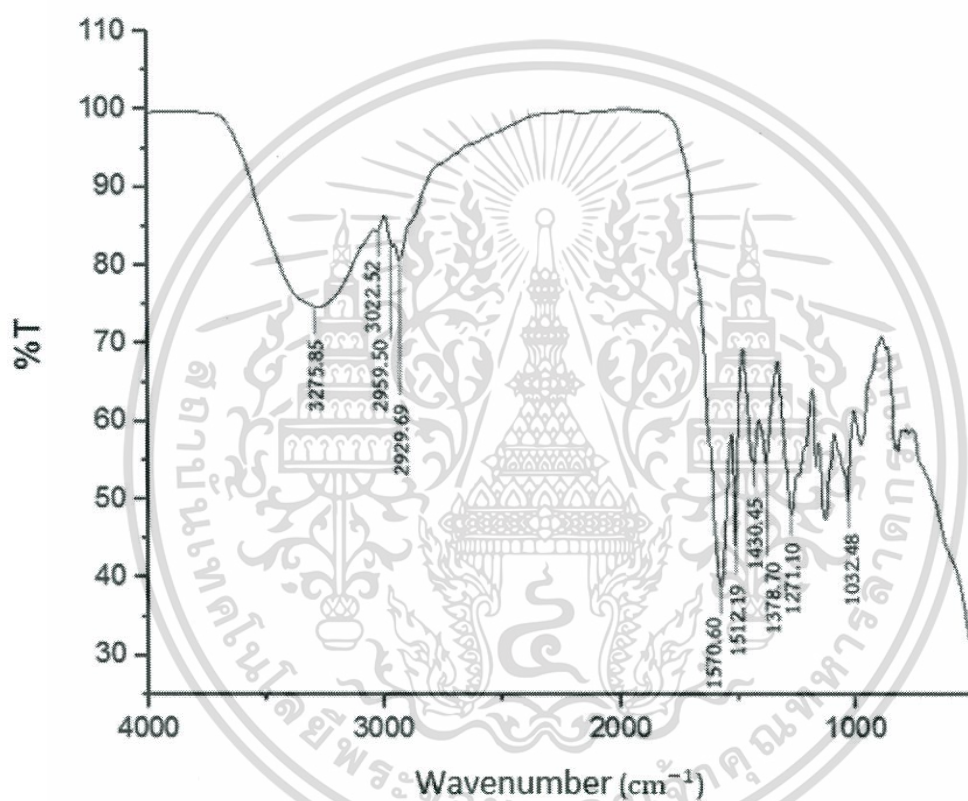
#### 3.3.3.4 วิธีการทดสอบ

1. ล้างชุดทดสอบการกักกร่อนด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วผึ่งให้แห้ง
2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องโพเทนชิโอสแตท แล้วเปิดโปรแกรมควบคุมโดยกำหนดค่าศักย์ไฟฟ้า 30 มิลลิโวลต์
3. จัดอุปกรณ์ชุดทดสอบการกักกร่อน แล้วนำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์กับสารสกัดตะไคร้ 500 mg/l ที่เตรียมไว้มาพ่นด้วยก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 30 นาที
4. ใส่ชิ้นงานตัวอย่าง ขั้วแพลทินัม และขั้วอ้างอิงในชุดทดสอบการกักกร่อน แล้วต่อขั้วไฟฟ้าจากเครื่องโพเทนชิโอสแตทเข้ากับชุดทดสอบการกักกร่อน
5. กดเริ่มการทำงานของโปรแกรม
6. สังเกตผิวหน้าของชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304

## บทที่ 4

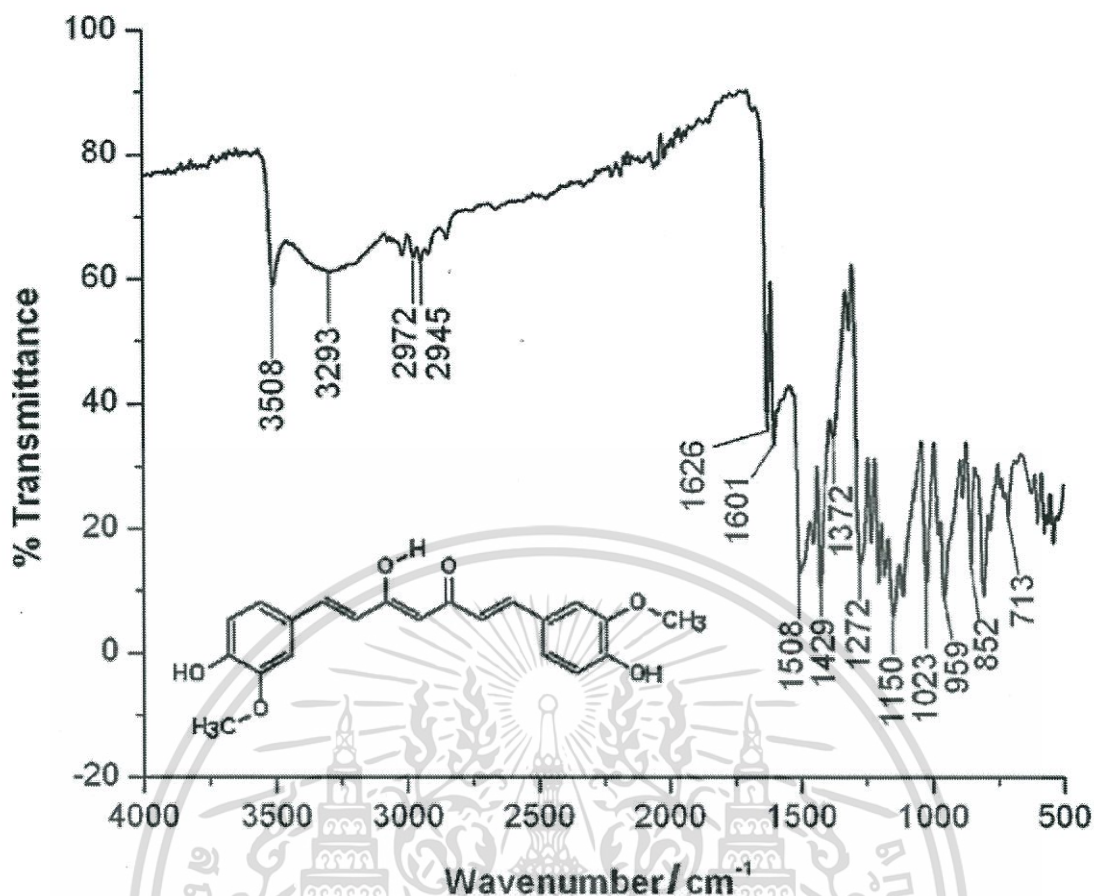
## ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารสกัดจากขมิ้นชันด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)



รูปที่ 4.1 FT-IR สเปกตรัมของสารสกัดจากขมิ้นชัน

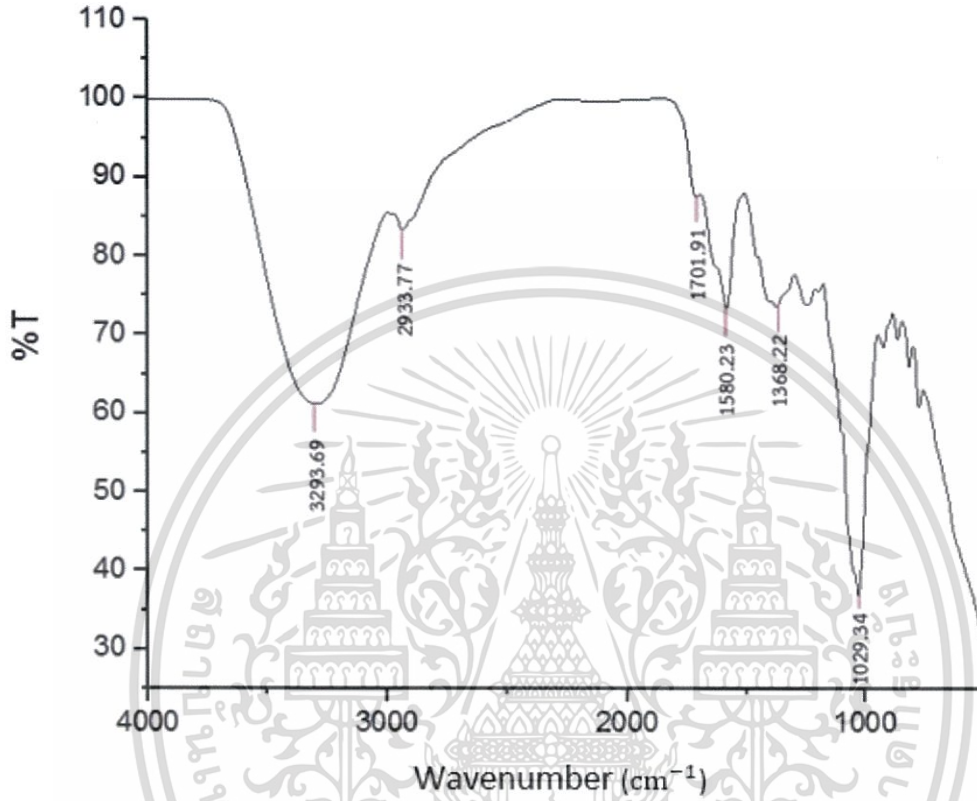
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 FT-IR สเปกตรัมของ Curcumin [20]

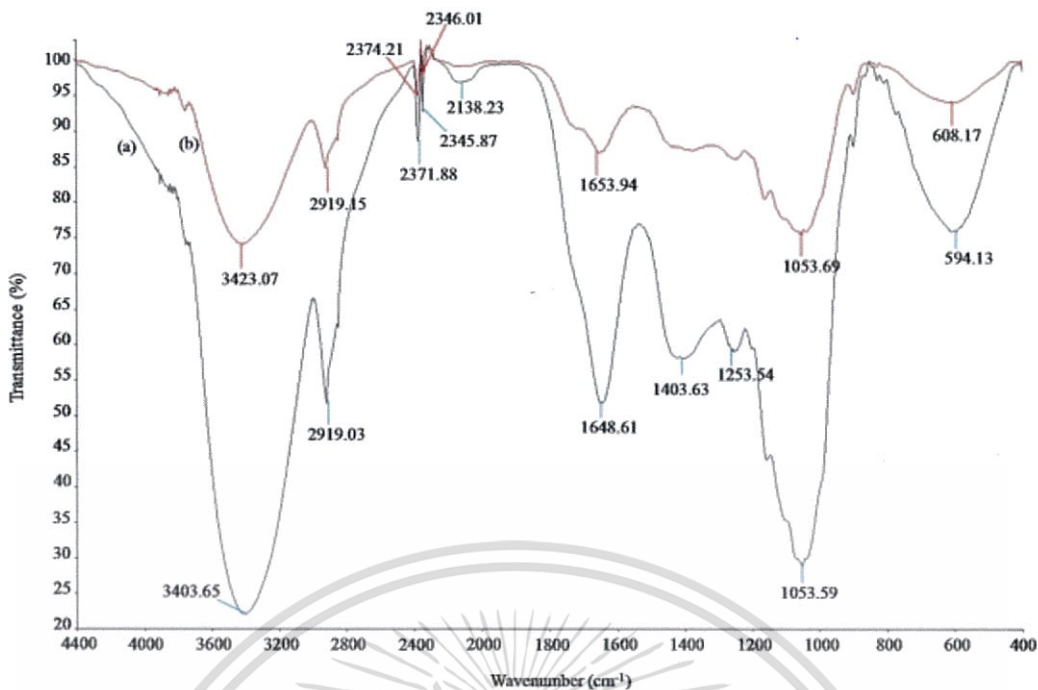
จากรูปที่ 4.1 พบว่าสารสกัดจากขมิ้นชันที่สกัดได้มี O-H stretching ของ alcohol ที่  $3275\text{ cm}^{-1}$ , C-H stretching ของ aromatic ที่  $3022\text{ cm}^{-1}$ , C-H stretching ของ aliphatic ที่  $2959$  และ  $2929\text{ cm}^{-1}$ , C=C stretching ของ aromatic และ C=O stretching ของ carbonyl เป็นพีครวมของสองหมู่ฟังก์ชัน ที่  $1570$  และ  $1512\text{ cm}^{-1}$ ,  $\text{CH}_2$  bending ที่  $1430\text{ cm}^{-1}$ ,  $\text{CH}_3$  bending ที่  $1378\text{ cm}^{-1}$ , C-O stretching ที่  $1271\text{ cm}^{-1}$  และ C-O-C ที่  $1032\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งอ้างอิงมาจากการวิจัยของ Mohan [20] ในรูปที่ 4.2

## 4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารสกัดจากตะไคร้ด้วยเครื่องฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared Spectrophotometer, FT-IR)



รูปที่ 4.3 FT-IR สเปกตรัมของสารสกัดจากตะไคร้

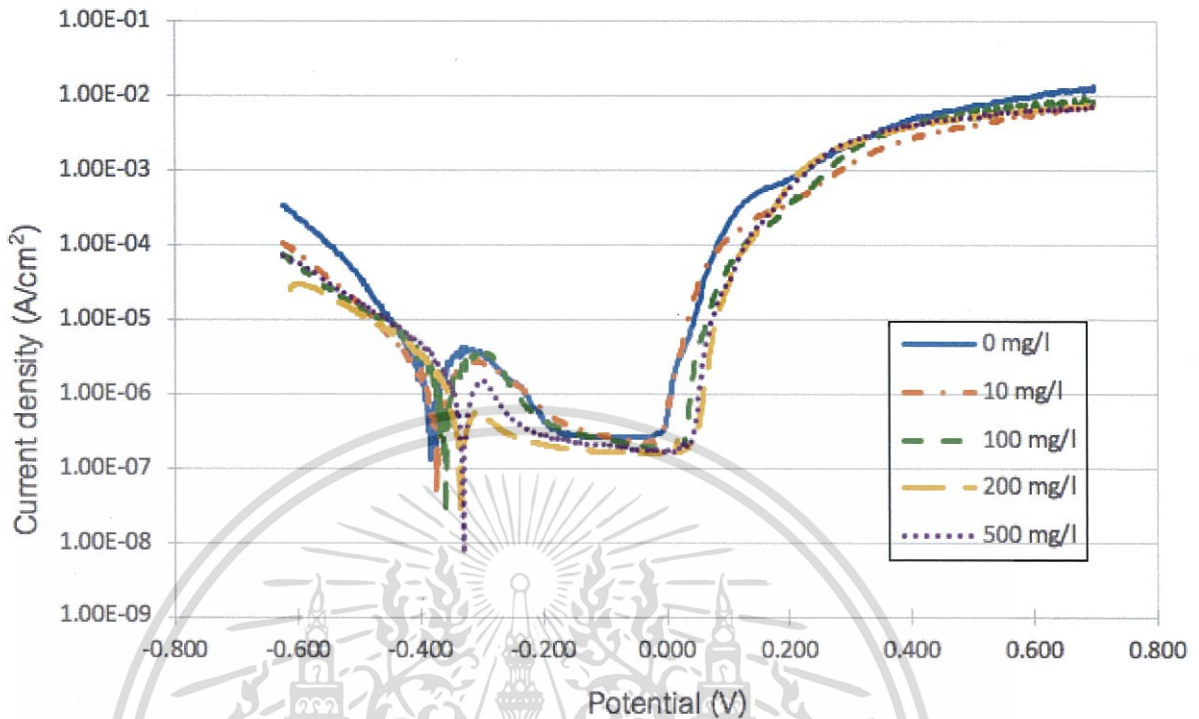
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 FT-IR สเปกตรัมของ *Cymbopogon citrates* (Lemon grass) (a) ก่อนการดูดซับ  $\text{Ni}^{2+}$  โดยวิธีทางชีวภาพ (b) หลังการดูดซับ  $\text{Ni}^{2+}$  โดยวิธีทางชีวภาพ [21]

จากรูปที่ 4.3 พบว่าสารสกัดจากตะไคร้ที่สกัดได้มี O-H stretching ของ alcohol ที่  $3293 \text{ cm}^{-1}$ , C-H stretching ของ aliphatic ที่  $2933 \text{ cm}^{-1}$ , C=O stretching ของ carbonyl ที่  $1701 \text{ cm}^{-1}$ , C=C stretching ของ aromatic ที่  $1580 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\text{CH}_3$  bending ของ alkane ที่  $1368 \text{ cm}^{-1}$  และ C-O stretching ที่  $1029 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งอ้างอิงมาจากการวิจัยของ L.Y. Lee [21] ในรูปที่ 4.4 (a)

### 4.3 การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ด้วยสารสกัดจากขมิ้นชัน



รูปที่ 4.5 กราฟโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อไม่เติมและเติมสารสกัดจากขมิ้นชัน

จากรูปที่ 4.5 เป็นกราฟโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อเติมสารสกัดจากขมิ้นชันเข้มข้น 0 10 100 200 และ 500 mg/l โดยกราฟโพลาริเซชันสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential,  $E_{corr}$ ) ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density,  $i_{corr}$ ) ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting potential,  $E_{pit}$ ) และค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibition efficiency, IE%) โดยคำนวณจากสมการที่ 4.1 [18]

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

เมื่อ  $i'_{corr}$  คือ ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์

$i_{corr}$  คือ ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ ที่มีสารยับยั้งการกัดกร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อเติมสารสกัดจากขมิ้นชันที่ความเข้มข้นต่างๆ

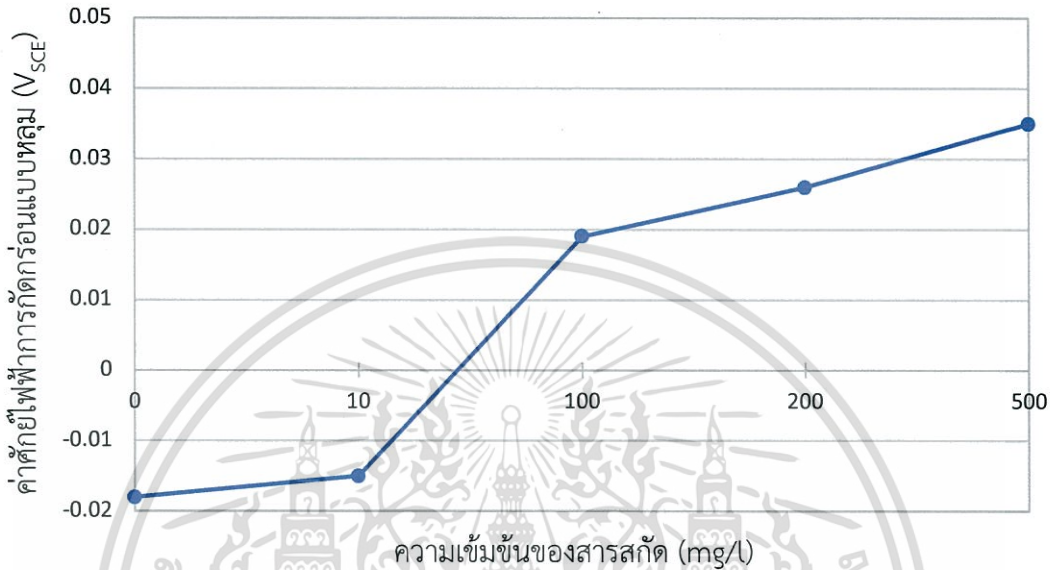
ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/l)	$E_{corr}$ ( $V_{SCE}$ )	$i_{corr}$ ( $A/cm^2$ )	$E_{pit}$ ( $V_{SCE}$ )	ประสิทธิภาพ (IE%)
0	-0.378	1.48E-06	-0.018	-
10	-0.364	7.60E-07	-0.015	48.7
100	-0.375	8.17E-07	0.019	44.9
200	-0.333	2.81E-07	0.026	81.1
500	-0.333	6.42E-07	0.035	56.7

จากตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อไม่เติมและเติมสารสกัดจากขมิ้นชันที่ความเข้มข้นต่างๆ สามารถอธิบายได้เป็น 4 ส่วน คือ

1. จากการวิเคราะห์ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential,  $E_{corr}$ ) พบว่าเมื่อเติมสารสกัดจากขมิ้นชันที่ความเข้มข้น 0 10 100 200 และ 500 mg/l ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าเท่ากับ -0.378 -0.364 -0.375 -0.333 และ -0.333  $V_{SCE}$  ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารสกัด แสดงให้เห็นว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเลื่อนไปในทิศทางที่เป็นบวกมากขึ้น แสดงว่าความสามารถในการออกซิไดซ์ (Oxidizing power) ของสารละลายโดยรวมมีค่ามากขึ้น เป็นผลมาจากสารสกัดจากขมิ้นชันในรูปที่ 2.8 2.9 และ 2.10 สามารถให้อิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ทำให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระที่มีความคงตัวมากขึ้น จึงช่วยยับยั้งหรือชะลอปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ [22] และมีอิเล็กตรอนคู่อิสระอยู่บริเวณอะตอมของออกซิเจนซึ่งสามารถให้อิเล็กตรอนคู่อิสระแก่เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ได้ จึงสามารถดูดซับบนพื้นผิวของโลหะ เนื่องจากอิเล็กตรอนคู่อิสระนี้สามารถให้อิเล็กตรอนแก่โลหะทรานซิชัน (Transition metal) ได้ โลหะทรานซิชันมีออร์บิทัล d (d-orbital) ที่ว่างซึ่งสารสกัดที่มีอิเล็กตรอนคู่อิสระจะให้อิเล็กตรอนลงในออร์บิทัล d ของโลหะทรานซิชัน จากนั้นจึงจับตัวอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโลหะทรานซิชันเป็นอะตอมกลางและมีสารสกัดเป็นลิแกนด์ ซึ่งสามารถดูดซับอยู่บนผิวของโลหะได้ [23] ทำให้บดบังการถ่ายโอนของอิเล็กตรอนระหว่างโลหะกับสารละลายเป็นไปได้อย่างน้อยเมื่อมีสารสกัดอยู่ในสารละลาย [24] ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น

2. จากการประมาณค่านอกช่วงของทาเฟิล (Tafel extrapolation) พบว่าเมื่อเติมสารสกัดจากขมิ้นชันที่ความเข้มข้น 0 10 100 200 และ 500 mg/l ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density,  $i_{corr}$ ) มีค่าเท่ากับ 1.48E-06 7.60E-07 8.17E-07 2.81E-07 และ 6.42E-07  $A/cm^2$  ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมสารสกัด บ่งบอกถึงอัตราการกัดกร่อนมี

ค่าลดน้อยลง เนื่องจากสารสกัดไขมันชั้นที่เข้าไปดูดซับบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 เกิดเป็นชั้นของสารอินทรีย์บนชั้นป้องกันของโลหะ ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ยากจึงส่งผลให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนบริเวณผิวของโลหะลดลง ซึ่งทำให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าลดลง

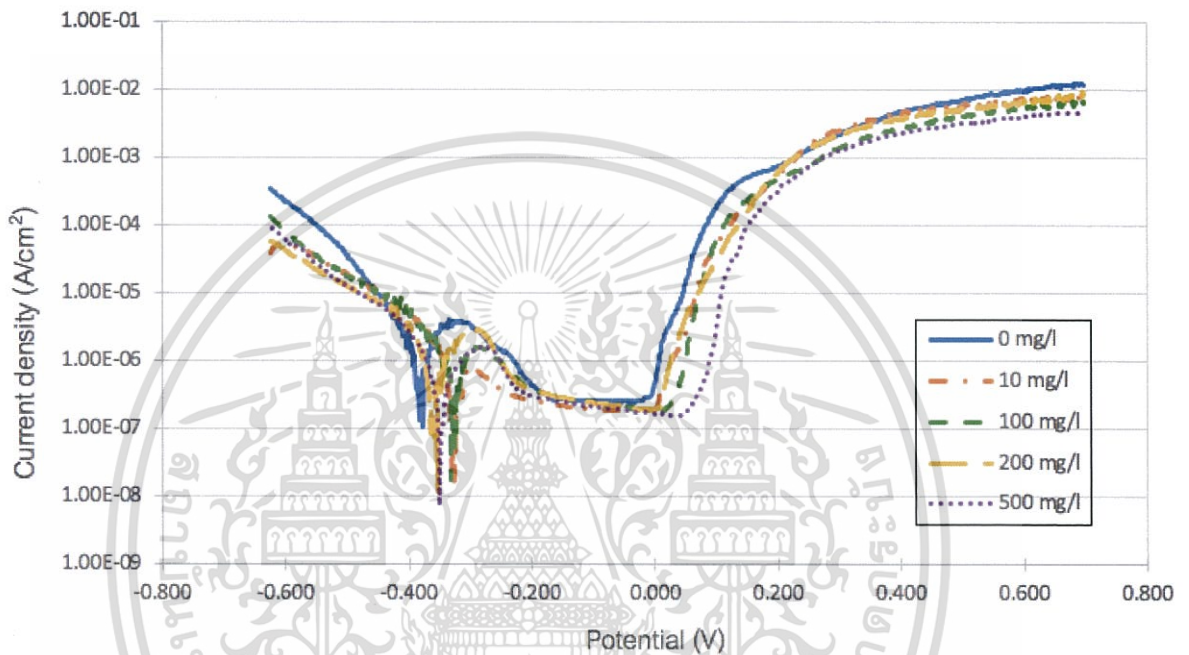


รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดจากไขมันชั้นกับค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม

3. จากรูปที่ 4.6 ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting potential,  $E_{pit}$ ) พบว่าเมื่อเติมสารสกัดจากไขมันชั้นที่ความเข้มข้น 0 10 100 200 และ 500 mg/L ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมมีค่าเท่ากับ -0.018 -0.015 0.019 0.026 และ 0.035 V<sub>SCE</sub> ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด แสดงให้เห็นถึงช่วงการสร้างชั้นป้องกันการกัดกร่อน (Passive layer) ที่ดีขึ้นด้วย เนื่องจากสารสกัดจากไขมันชั้นมีอิเล็กตรอนคู่อิสระอยู่บริเวณอะตอมของออกซิเจนซึ่งสามารถให้อิเล็กตรอนคู่อิสระแก่เหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ได้ จึงเป็นชั้นป้องกันไม่ให้สารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสัมผัสกับพื้นผิวของโลหะ ทำให้เกิดการกัดกร่อนแบบหลุมได้ยากขึ้น แต่ถ้าเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 อยู่ในสารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อนมาก เช่น ในกรดไฮโดรคลอริก ทำให้เกิดการกัดกร่อนได้มาก จะทำให้อัตราการสร้างชั้นป้องกันน้อยกว่าอัตราการกัดกร่อน แต่เมื่อเติมสารสกัดจากไขมันชั้น สารสกัดที่เข้าไปดูดซับบนพื้นผิวจะช่วยชะลอให้มีเวลาสร้างชั้นป้องกันได้มากขึ้น ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมเมื่อมีการเติมสารสกัดจากไขมันชั้นจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมที่ไม่มีการเติมสารสกัด

4. จากการวิเคราะห์กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารสกัดจากขมิ้นชัน พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนฝั่งแอโนดิกลดลงอย่างเด่นชัด ส่วนทางฝั่งแคโทดิกลดลงเล็กน้อย ดังนั้นสารสกัดจากขมิ้นชัน จึงจัดเป็นสารยับยั้งชนิดแอโนดิก (Anodic inhibitor)

#### 4.4 การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ด้วยสารสกัดจากตะไคร้



รูปที่ 4.7 กราฟโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อไม่เติมและเติมสารสกัดจากตะไคร้

จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อเติมสารสกัดจากตะไคร้เข้มข้น 0 10 100 200 และ 500 mg/l โดยกราฟโพลาไรเซชันสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential,  $E_{corr}$ ) ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density,  $i_{corr}$ ) ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting potential,  $E_{pit}$ ) และค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibition efficiency, IE%) โดยคำนวณจากสมการที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อเติมสารสกัดจากตะไคร้ที่ความเข้มข้นต่างๆ

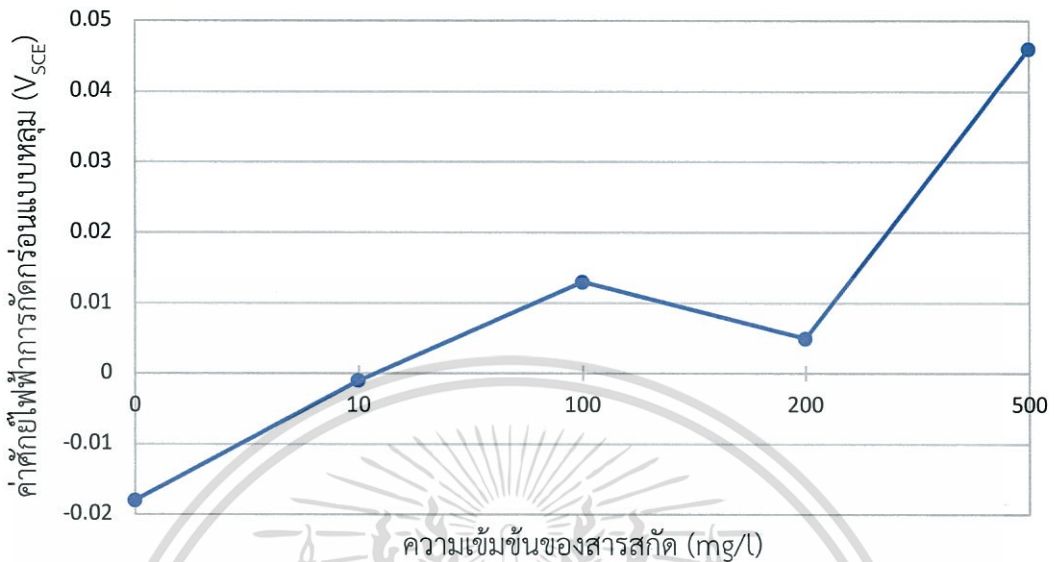
ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/l)	$E_{corr}$ (V <sub>SCE</sub> )	$i_{corr}$ (A/cm <sup>2</sup> )	$E_{pit}$ (V <sub>SCE</sub> )	ประสิทธิภาพ (IE%)
0	-0.378	1.48E-06	-0.018	-
10	-0.325	5.66E-07	-0.001	59.6
100	-0.333	7.37E-07	0.013	50.2
200	-0.317	7.62E-07	0.005	48.6
500	-0.348	5.00E-07	0.046	62.2

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อไม่เติมและเติมสารสกัดจากตะไคร้ที่ความเข้มข้นต่างๆ สามารถอธิบายได้เป็น 4 ส่วน คือ

1. จากการวิเคราะห์ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential,  $E_{corr}$ ) พบว่าเมื่อเติมสารสกัดจากตะไคร้ที่ความเข้มข้น 0 10 100 200 และ 500 mg/L ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าเท่ากับ -0.378 -0.325 -0.333 -0.317 และ -0.348 V<sub>SCE</sub> ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสารสกัด แสดงให้เห็นว่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเป็นบวกมากขึ้นเมื่อเติมสารสกัด แสดงว่าความสามารถในการออกซิไดซ์ (Oxidizing power) ของสารละลายโดยรวมมีค่าสูงขึ้น เป็นผลมาจากสารสกัดจากตะไคร้ในรูปที่ 2.12 และ 2.13 มีอิเล็กตรอนคู่อิสระอยู่ในบริเวณอะตอมของออกซิเจนดูดซับอยู่บนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จึงสามารถดูดซับบนพื้นผิวของโลหะ เนื่องจากอิเล็กตรอนคู่อิสระนี้สามารถให้อิเล็กตรอนแก่โลหะทรานซิชัน (Transition metal) ได้ โลหะทรานซิชัน (Transition metal) มีออร์บิทัล d (d-orbital) ที่ว่างซึ่งสารสกัดที่มีอิเล็กตรอนคู่อิสระจะให้อิเล็กตรอนลงในออร์บิทัล d ของโลหะทรานซิชัน จากนั้นจึงจับตัวอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโลหะทรานซิชันเป็นอะตอมกลางและมีสารสกัดเป็นลิแกนด์ ซึ่งสามารถดูดซับอยู่บนผิวของโลหะได้ [25] ทำให้บดบังการถ่ายโอนของอิเล็กตรอนระหว่างโลหะกับสารละลายเป็นไปได้อย่างเมื่อมีสารสกัดอยู่ในสารละลาย ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนจึงมีค่าเพิ่มมากขึ้น

2. จากการประมาณค่านอกช่วงของทาเฟิล (Tafel extrapolation) พบว่าเมื่อเติมสารสกัดจากตะไคร้ที่ความเข้มข้น 0 10 100 200 และ 500 mg/L ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion current density,  $i_{corr}$ ) มีค่าเท่ากับ 1.48E-06 5.66E-07 7.37E-07 7.62E-07 และ 5.00E-07 A/cm<sup>2</sup> ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเติมสารสกัด บ่งบอกถึงอัตราการกัดกร่อนมีค่าน้อยลงด้วย เนื่องจากสารสกัดที่เข้าไปดูดซับบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 เกิดเป็นชั้นของสารอินทรีย์บนชั้นป้องกันของโลหะ ทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้ยากจึงส่งผลให้ความหนาแน่น

ของอิเล็กตรอนบริเวณผิวของโลหะลดลง ซึ่งทำให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าลดลง



รูปที่ 4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารสกัดจากตะไคร้กับค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม

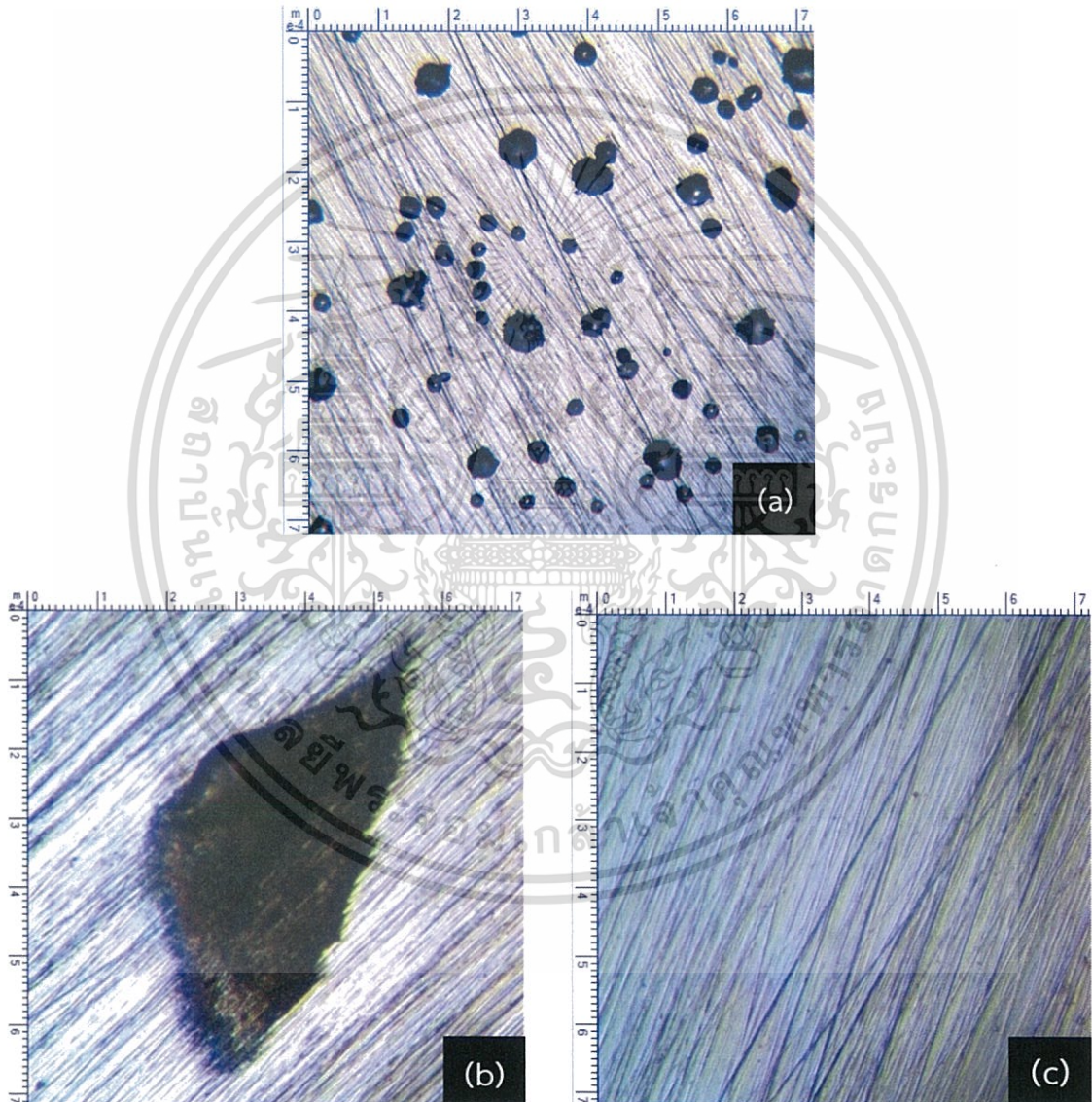
3. จากรูปที่ 4.8 ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting potential,  $E_{pit}$ ) พบว่าเมื่อเติมสารสกัดจากตะไคร้ที่ความเข้มข้น 0 10 100 200 และ 500 mg/l วัดค่าได้ -0.018 -0.001 0.013 0.005 และ 0.046  $V_{SCE}$  ตามลำดับ พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด แสดงให้เห็นถึงช่วงสร้างชั้นป้องกันการกัดกร่อนที่ยาวขึ้น เนื่องจากอิเล็กตรอนคู่อิสระที่อยู่บริเวณอะตอมของออกซิเจนดูดซับอยู่บนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จึงเป็นชั้นป้องกันไม่ให้สารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อนสัมผัสกับพื้นผิวของโลหะได้ แต่ถ้าเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 อยู่ในสารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อนมาก เช่น ในกรดไฮโดรคลอริก ทำให้เกิดการกัดกร่อนได้มาก จะทำให้อัตราการสร้างชั้นป้องกันน้อยกว่าอัตราการกัดกร่อน แต่เมื่อเติมสารสกัดจากตะไคร้ สารสกัดที่เข้าไปดูดซับบนพื้นผิวจะช่วยชะลอให้มีเวลาสร้างชั้นป้องกันได้มากขึ้น ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมเมื่อมีการเติมสารสกัดจากตะไคร้จึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุมที่ไม่มีการเติมสารสกัด

4. จากการวิเคราะห์กราฟโพลาริเซชันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ ที่ความเข้มข้นต่างๆของสารสกัดจากตะไคร้ พบว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนฝั่งแคโทดลดลงเล็กน้อย ดังนั้นสารสกัดจากตะไคร้จึงจัดเป็นสารยับยั้งชนิดแอนอดิก (Anodic inhibitor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 การศึกษาด้วยเทคนิค Chronoamperometry

นำชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มาทดสอบด้วยเทคนิค Chronoamperometry โดยการแช่ในสารละลายที่ไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัดจากตะไคร้ ปรับค่าศักย์ไฟฟ้าไปที่ 0.030 V ซึ่งเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่มีค่ามากกว่า  $E_{pit}$  ของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ แต่มีค่าน้อยกว่า  $E_{pit}$  ของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่เติมสารสกัดจากตะไคร้ที่ความเข้มข้น 500 mg/l ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 พื้นผิวชิ้นงาน เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง กำลังขยาย 20 เท่า (a) และ (b) ในสารละลายที่ไม่ได้เติมสารสกัด (c) ในสารละลายที่เติมสารสกัดจากตะไคร้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 (a) และ (b) พบว่าเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่ไม่มีการเติมสารสกัด มีหลุมที่เกิดจากการกัดกร่อนเกิดขึ้น เนื่องจากที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 0.030 V เป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่มากกว่า  $E_{pit}$  ของเหล็กกล้า ไร้สนิมชนิด 304 ที่ไม่มีการเติมสารสกัดจากตะไคร้ ซึ่งต่างจากเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ที่เติมสารสกัดจากตะไคร้ แสดงในรูปที่ 4.9 (c) มีพื้นผิวที่เรียบและไม่มีหลุมเกิดขึ้น แสดงว่าไม่มีการกัดกร่อนแบบหลุมเกิดขึ้นแต่อย่างใด เนื่องจากที่ค่าศักย์ไฟฟ้า 0.030 V เป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงของชั้นป้องกัน ซึ่งสารสกัดจากตะไคร้ได้มีการเข้าไปดูดซับบนพื้นผิวของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 จึงทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting potential,  $E_{pit}$ ) มีค่าเพิ่มขึ้น

#### 4.6 ค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อเติมสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้

ในการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนจะต้องมีการวัดค่า pH เพื่อยืนยันว่าการยับยั้งการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการเติมสารสกัดจริง โดยแสดงค่า pH ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ เมื่อเติมสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/l)	ค่า pH เมื่อเติมสารสกัดจากขมิ้นชัน	ค่า pH เมื่อเติมสารสกัดจากตะไคร้
0	1.03	1.03
10	1.02	1.01
100	1.00	0.98
200	0.99	0.98
500	0.98	0.97

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่า pH ของกรดไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ลดลง เมื่อเติมสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้ แสดงว่าสารสกัดที่เติมลงไปไม่ได้ทำปฏิกิริยาสะเทินของกรด-เบสกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เป็นการสนับสนุนให้เห็นว่าการยับยั้งการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นเกิดจากการดูดซับของสารสกัดบนพื้นผิวของโลหะ จึงทำให้ผิวของโลหะสัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริกได้น้อยลง

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการยับยั้งการกักกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ด้วยสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. เมื่อเติมสารสกัดทั้งจากขมิ้นชันและตะไคร้ ทำให้ความต้านทานการกักกร่อนมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น
2. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดทั้งจากขมิ้นชันและตะไคร้ จะทำให้ช่วงสร้างชั้นป้องกันของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 มีค่ามากขึ้น ซึ่งหมายความว่าเกิดการกักกร่อนแบบหลุมได้ยากขึ้น

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาการยับยั้งการกักกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ด้วยสารสกัดจากขมิ้นชันและตะไคร้ในกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นอื่นๆ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและพฤติกรรมการกักกร่อน
2. เพิ่มความบริสุทธิ์ของสารสกัดที่ต้องการศึกษา เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการยับยั้งการกักกร่อนด้วยสารฟีนอลิกและสารฟลาโวนอยด์แต่ละตัว

## เอกสารอ้างอิง

- [1] มัณฑนา จริยาบุรณ์. 2556. “การศึกษาสารหน่วงการกักร่อนจากสารธรรมชาติ.”  
โครงการวิจัย ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [2] S. Sepahpour, J. Selamat, M. Manap, A. Khatib and A. Razis. 2018. “Comparative analysis of chemical composition, antioxidant activity and quantitative characterization of some phenolic compounds in selected herbs and spices in different solvent extraction system.” *Molecule*. 23(2) : 402.
- [3] สุธา สุทธิเรืองวงศ์. 2554. เอกสารประกอบการสอน หัวข้อเรื่องที่น่าสนใจในอุตสาหกรรม (การกักร่อน). กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [4] Auto2drive. 2560. การกักร่อนและการป้องกัน. [Online]. Available :  
<http://www.auto2drive.com/การกักร่อนและการป้องกัน/>.
- [5] กัญจนา ตระกูลคู่. 2530. เทคโนโลยีการกักร่อน. กรุงเทพฯ : คราฟแมนเพรส.
- [6] ประสาท อ่อนสนิท. 2549. “การทำมาความสะอาดผิวเหล็กกล้าไร้สนิมอสเตนติก AISI 304 ที่ผ่านการรีดร้อนด้วยกรรมวิธีทางเคมี.” โครงการพิเศษ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [7] ธนศาสตร์ สุขศรีเมือง. 2560. การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีไฟฟ้าโดยวิธีไซคลิกโวลเทมเมตรี. [Online]. Available : [https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/218\\_76-79.pdf](https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/218_76-79.pdf).
- [8] P&P Steel. 2560. รู้จักกับ Carbon steel, Alloy steel และ Stainless steel. [Online]. Available : <http://pandpsteel.co.th/รู้จักกับ-carbon-steel-alloy-steel-และ-stainless-steel/>.
- [9] จุไรรัตน์ แสงสวัสดิ์ และประพิศพรธม อนุพันธ์. 2551. คู่มือนักวิชาการส่งเสริมการเกษตร ชมันชั้น. กรุงเทพฯ : สำนักส่งเสริมและจัดการสินค้าเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร.
- [10] สุขภาพดี. 2560. “ชมันชั้น” สรรพคุณ-ประโยชน์ของชมันชั้น แก้ได้ชะงัด แก้ปัญหาสุขภาพ. [Online]. Available : <http://sukkaphap-d.com/24-สรรพคุณประโยชน์ของชมัน/>.
- [11] ThaiHerbal. 2560. ตะไคร้. [Online]. Available : <http://thaiherbal.org/603>.
- [12] พัชรภรณ์ นันทิยา. 2547. “การพัฒนาเครื่องสับตะไคร้.” โครงการวิศวกรรมเกษตร. ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [13] สมศักดิ์ นวลแก้ว. 2560. การสกัดแยกสารเบื้องต้น. [Online]. Available : [http://www.kpi.msu.ac.th/upload/ag\\_tor\\_ref\\_byval/ag\\_16\\_in\\_1.2.1.2\\_17\(2556\).pdf](http://www.kpi.msu.ac.th/upload/ag_tor_ref_byval/ag_16_in_1.2.1.2_17(2556).pdf)
- [14] VCharkarn. 2560. เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน. [Online]. Available : <http://share.psu.ac.th/blog/sci-discus/18437>
- [15] Environmental Engineering Chula Engineering. 2561. **Fourier Transform Infrared Spectrometer**. [Online]. Available : <http://www.env.eng.chula.ac.th/?q=content/fourier-transform-infrared-spectrometer>
- [16] William Reusch. 2561. **Infrared Spectroscopy**. [Online]. Available : <https://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/spectrpy/infrared/infrared.htm>
- [17] หนึ่งทัย คงอินทร์, อทิตยา จันเสนา และอัจฉราภรณ์ ใจปราณี. 2553. “ความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในกรดซัลฟิวริกโดยสารสกัดจากใบพลูญายอ.” *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 15(1) : 79-87.
- [18] R.S. Nathiya and V. Raj. 2017. “Evaluation of *Dryopteris cochleate* leaf extracts as green inhibitor for corrosion of aluminium in 1 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.” *Egyptian Journal of Petroleum*. 2017(26) : 313-323.
- [19] วัชร ทองสุขนอก. 2554. “ประสิทธิภาพและการออกฤทธิ์ในการเป็นสารกำจัดแมลงของสารสกัดจากขมิ้นชัน (*Curcuma longa* Linn.) ต่อหนอนกระทู้ผัก (*Spodoptera litura* Fabricius).” *ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (กีฏวิทยา) สาขากีฏวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*.
- [20] P.R. K. Mohan, G. Sreelakshmi, C.V. Muraleedharan and R. Joseph. 2012. “Water soluble complexes of curcumin with cyclodextrins : Characterization by FT-Raman spectroscopy.” *Vibrational Spectroscopy*. 62 : 77-84.
- [21] L.Y. Lee, X.J. Lee, P.C. Chia, K.W. Tan and S. Gan. 2014. “Uitillisation of *Cymbopogan citratus* (lemon grass) as biosorbent for the sequestration of nickel ions from aqueous solution : Equilibrium, kinetic, thermodynamics and mechanism studies.” *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 45(4) : 1764-1772.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [22] ปิยนุช เจริญผล และกาญจนา วงศ์กระจ่าง. 2558. “การศึกษาระบบตัวทำละลายที่เหมาะสมของการสกัดและปริมาณฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบดาวเรือง.” *วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์*. 2558(7) : 29-40.
- [23] A.Y. El-Etre, M. Abdallah and Z.E. El-Tantawy. 2005. “Corrosion inhibition of some metals using lawsonia extract.” *Corrosion Science*. 47(2) : 385-395.
- [24] การประปานครหลวง. 2561. การนำไฟฟ้า (Conductivity) คืออะไรมีความสำคัญอย่างไร. [Online]. Available : [https://www.mwa.co.th/ewt\\_news.php?nid=13321](https://www.mwa.co.th/ewt_news.php?nid=13321).
- [25] F.S de Souza and A. Spinelli. 2009. “Caffeic acid as a green corrosion inhibitor for mild steel.” *Corrosion Science*. 2017(26) : 313-323.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 16 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า	นางสาวภาสินี	อนัคมมนตรี	รหัสประจำตัว	57050486
	นายฤทธิชัย	แซ่เฮ้ง	รหัสประจำตัว	57050497
	นายวิลเลียม	ลอยซ์เนอร์	รหัสประจำตัว	57050508

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ภาควิชาเคมี ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าไร้สนิมชนิด 304 ในกรดไฮโดรคลอริกด้วยสารสกัดจากขมิ้นชัน และตะไคร้

ชื่อภาษาอังกฤษ Corrosion Inhibition of 304 Stainless Steel in Hydrochloric acid by Turmeric and Lemon Grass Extracts

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 0.00 %

ลงชื่อ...ภาสินี อนัคมมนตรี... ลงชื่อ...ฤทธิชัย แซ่เฮ้ง... ลงชื่อ...วิลเลียม ลอยซ์เนอร์...

(นางสาวภาสินี อนัคมมนตรี)

(นายฤทธิชัย แซ่เฮ้ง)

(นายวิลเลียม ลอยซ์เนอร์)

นักศึกษา

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร. สุธา สุทธิเรืองวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....[Signature].....

( ผศ.ดร. สุธา สุทธิเรืองวงศ์ )

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้