

การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้มซ้ำ
ในโรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินที่สกัดจากฟ้าทะลายโจร



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้มซ้ำ
ในโรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินที่สกัดจากฟ้าทะลายโจร



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Corrosion inhibition of carbon steel used as a reboiler material
for biodiesel plant with sodium phosphate and tannin extracted
from *Andrographis paniculata*



A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Bachelor of Engineering in Chemical Engineering
Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้ม้ำใน
โรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินที่สกัดจากฟ้า-
ทะลายโจร
โดย นายเกรียงไกร ทาประทุม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วัลย์รัตน์ จันทระอัมพร
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

วัลย์รัตน์ จันทระอัมพร : ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.วัลย์รัตน์ จันทระอัมพร)

กรรมการ
(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

กรรมการ
(ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง	การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้ม้ำในโรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินที่สกัดจากฟ้าทะลายโจร
โดย	นายเกรียงไกร ทาประทุม
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วัลย์รัตน์ จันทระอำพร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินที่สกัดจากฟ้าทะลายโจรต่อประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่ใช้เป็นวัสดุของหม้อต้ม้ำสำหรับกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล สภาวะที่ทำการทดลองคือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมฟอสเฟตในกลีเซอริน 4.92 6.56 และ 9.84 กรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของสารละลายแทนนินในกลีเซอริน 0.016 0.080 และ 0.16 กรัมต่อลิตร โดยทำการแช่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ก่อนนำไปวิเคราะห์สภาพของพื้นผิวชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด นอกจากนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนด้วยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกโพลาริเซชันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วอ้างอิงและแท่งแพลทินัมเป็นขั้วช่วย จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกโพลาริเซชันพบว่าทั้งโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินสามารถยับยั้งการกัดกร่อนของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนได้ โดยมีประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนที่ใกล้เคียงกันในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา

Report Title	Corrosion inhibition of carbon steel used as a reboiler material for biodiesel plant with sodium phosphate and tannin extracted from <i>Andrographis paniculata</i>
By	Mr. Kriangkrai Tapratoom
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2016
Advisor	Asst. Prof. Dr. Walairat Chandra-ambhorn

ABSTRACT

This research studies the effect of the concentrations of sodium phosphate and tannin extracted from *Andrographis- paniculata* on the corrosion inhibition efficiency of carbon steel grade ASTM A516 grade 70 used as a material of the reboiler for the glycerin separation process in biodiesel production plant. The experimental conditions were 4.92 5.65 and 9.84 g/L of sodium phosphate solution in glycerin and 0.016, 0.080 and 0.16 g/L of tannin. The specimens were immersed in the glycerin solutions at 120 °C for 6 weeks before being analyzed the surface morphology by a scanning electron microscope (SEM). Furthermore, the corrosion behavior of carbon steel was investigated by potentiodynamic polarization technique by using silver-silver chloride as a reference electrode and platinum bar as an auxiliary electrode. From the analytical results of the potentiodynamic polarization technique, it can be found that both sodium phosphate and tannin can inhibit the corrosion of the carbon steel specimens with comparable corrosion inhibition efficiencies within the observed concentration ranges.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. วลัยรัตน์ จันทรัมย์พร อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ที่ช่วยชี้แนะให้ความรู้และคำแนะนำพร้อมทั้งให้ช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานวิจัยนี้ ทำให้การจัดทำปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา และ ผศ.ดร.สันติ วัฒนานุสรณ์ ที่ได้กรุณาตรวจเล่มปริญญาโทเล่มนี้ พร้อมทั้งให้คำแนะนำด้วยดี

อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่าน รวมถึงคุณพิสันต์ ผลโพธิ์ ที่ได้ให้ความรู้ในแต่ละวิชาอบรมสั่งสอนและให้คำแนะนำตลอดเวลาที่ศึกษาในภาควิชาวิศวกรรมเคมี

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

ครอบครัวของผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุนในการทำงานวิจัย ให้คำปรึกษาและร่วมให้กำลังใจมาโดยตลอด

และสุดท้าย ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้กำลังใจ และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์มาโดยตลอดสำหรับงานวิจัยนี้

นายเกรียงไกร ทาประทุม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTARCT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 การกัดกร่อนของโลหะ.....	3
2.2 กลไกการกัดกร่อน.....	3
2.3 ประเภทของการกัดกร่อน.....	4
2.4 กราฟโพลาริเซชันของระบบสองคู่ปฏิกิริยาชีวไฟฟ้า.....	5
2.5 สารยับยั้งการกัดกร่อน.....	6
2.6 ฟ้าทะเลลายโจร.....	7
2.7 เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70.....	8
2.8 กระบวนการกลั่นแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล.....	9
2.9 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบการกัดกร่อน.....	10
2.10 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	11

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	14
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	14
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	15
3.3 วิธีการทดลอง.....	16
3.4 การวิเคราะห์แทนนิน.....	20
3.5 การทดลองหาการกักกร่อนเพื่อนำไปวิเคราะห์ผิวสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM).....	21
3.6 แผนการดำเนินงาน.....	22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	23
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	30
เอกสารอ้างอิง.....	32
ภาคผนวก ก. ความเข้มข้นที่แท้จริงของโซเดียมฟอสเฟตและแทนนิน	35
ภาคผนวก ข. ประสิทธิภาพการยับยั้งการกักกร่อน.....	36

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70.....	8
ตารางที่ 3.1 การทดลองเติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างกัน.....	18
ตารางที่ 3.2 การทดลองเติมสารละลายแทนนินที่สกัดจากฟ้าทะลายโจรที่ความเข้มข้นต่างกัน.....	18
ตารางที่ 3.3 แผนการดำเนินงาน.....	22
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516-70 ที่ไม่มี และมีการเติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆในสารละลายกลีเซอริน.....	24
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ไม่มีและมีการเติม สารละลายแทนนินที่ความเข้มข้นต่างๆในสารละลายกลีเซอริน.....	26
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ไม่มีและมีการเติม สารละลายโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินที่ความเข้มข้นต่างๆในสารละลายกลีเซอริน.....	27
ตาราง ก-1 ปริมาณโซเดียมฟอสเฟตที่อยู่ในกลีเซอริน.....	35
ตาราง ก-2 ปริมาณแทนนินที่อยู่ในกลีเซอริน.....	35

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 เส้นโพลาริเซชันของระบบสองคู่ปฏิกิริยาชั่วไฟฟ้า.....	5
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของไฮโดรไลซ์แทนนิน.....	7
รูปที่ 2.3 ต้นฟ้าทะลายโจร.....	7
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตกลีเซอรินโรงงาน.....	10
รูปที่ 3.1 แผนการทดลองตอนที่ 1.....	16
รูปที่ 3.2 แผนการทดลองตอนที่ 2.....	17
รูปที่ 4.1 กราฟโพเทนชิโอดนามิกส์ โพลาริเซชันของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ไม่มีและมีการเติม สารละลายโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆในสารละลายกลีเซอริน.....	23
รูปที่ 4.2 กราฟโพเทนชิโอดนามิกส์ โพลาริเซชันของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ไม่มีและมีการเติม สารละลายแทนนินที่ความเข้มข้นต่างๆในสารละลายกลีเซอริน.....	25
รูปที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน หลังจากจุ่มในกลีเซอรินที่ไม่มีและมีโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆที่ อุณหภูมิ 120 °C เป็น ระยะเวลา 6 สัปดาห์ ก. ไม่เติม ข. 4.92 g/L ค. 6.56 g/L ง. 9.69 g/L.....	28
รูปที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอน หลังจากจุ่มในกลีเซอรินที่ไม่มีและมีแทนนินที่ความเข้มข้นต่างๆที่ อุณหภูมิ 120 °C เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ก. ไม่เติม ข. 0.016 g/L ค. 0.08 g/L ง. 0.160 g/L.....	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานสะอาด ปลอดภัย กล่าวคือ ปลอดภัยจากการเผาไหม้จะมีมลพิษน้อยกว่า น้ำมันดีเซล รวมถึงเขม่า คาร์บอนดำและกลิ่นน้อยกว่ามาก สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ และยังเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญโดยเฉพาะเชื้อเพลิงดีเซลจากอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ซึ่งมีราคาสูง และใช้แล้วหมดไป [1, 2] ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ประเทศไทยเกิดโรงงานผลิตไบโอดีเซลเพิ่มขึ้น โดยกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้น จะได้กลีเซอริน (Glycerin) เป็นผลพลอยได้ (By-Product) ซึ่งสามารถสร้างมูลค่าและนำไปใช้ในอุตสาหกรรมประเภทต่างๆต่อไปได้ โดยนำกลีเซอรินผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จากการผ่านกระบวนการกลั่น กลีเซอรินที่ได้จากกระบวนการผลิต ไบโอดีเซล จะถูกนำมากำจัดน้ำส่วนเกินออกจนหมด ภายใต้อุณหภูมิที่มีการควบคุม จากนั้นกลีเซอรินที่ปราศจากน้ำแล้วจะถูกนำเข้าสู่หอกลั่นกลีเซอริน ซึ่งจะทำให้การกลั่นจนได้กลีเซอริน บริสุทธิ์ตามที่ต้องการ จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการกำจัดสีด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) [2]

การกัดกร่อนเป็นปัญหาหลักของการนำเหล็กกล้าคาร์บอนมาใช้เป็นเป็นวัสดุของอุปกรณ์ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นลง ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นตลอดจนเพิ่มอัตราเสี่ยงต่อชีวิตของพนักงานในโรงงาน หากเกิดการรั่วไหลของสารเคมีจากอุปกรณ์ที่เสียหายจากการกัดกร่อนดังกล่าว ทั้งนี้การสำรวจข้อมูลเชิงเศรษฐศาสตร์ของประเทศสหรัฐอเมริกาพบว่าในปี ค.ศ. 2002 มีความสูญเสียที่เกิดจากการกัดกร่อนคิดเป็นมูลค่ารวมประมาณ 276 พันล้านเหรียญสหรัฐหรือ 11 ล้านล้านบาท และพบว่าในปี ค.ศ.2011 มูลค่าความเสียหายทางตรงเนื่องจากกัดกร่อนคิดเป็น 2.5 เปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศไทย [3] ดังนั้นการป้องกันหรือยับยั้งการกัดกร่อนของวัสดุ จึงอาจช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของวัสดุและลดค่าใช้จ่ายอันเกิดจากปัญหาการกัดกร่อนลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

การป้องกันการกัดกร่อนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การออกแบบอุปกรณ์ไม่ให้เอื้อต่อการกัดกร่อน การเคลือบผิว การป้องกันทางไฟฟ้าเคมีและการใส่สารยับยั้งการกัดกร่อน [4] โดยการใส่สารยับยั้งการกัดกร่อนนั้น มีข้อดีคือ เป็นวิธีที่ง่าย ประหยัดค่าใช้จ่าย ไม่ระบอบกวนกระบวนการผลิต ซึ่งสารยับยั้งการกัดกร่อนที่เป็นที่รู้จัก ได้แก่ สารยับยั้งการกัดกร่อนประเภทอนินทรีย์ (Inorganic Corrosion Inhibitors) เช่น โครเมต (Chromate) ไนไตรท์ (Nitrite) โซเดียมฟอสเฟต (Sodium Phosphate; Na_3PO_4) และสารยับยั้งการกัดกร่อนประเภทอินทรีย์ (Organic Corrosion Inhibitors) เช่น เอมีน (Amine) ไพรีดีน (Pyridines) [5-6]

นอกจากนี้ ในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับการสกัดสารยับยั้งการกัดกร่อนจากพืชและสมุนไพร ทั้งนี้เพื่อลดการนำเข้าสารยับยั้งการกัดกร่อนจากต่างประเทศรวมทั้งการ

คำนึงถึงความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยจะพบว่าสารที่สกัดได้จะเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนประเภทอินทรีย์ ตัวอย่างสารที่สกัดได้ เช่น สารลอรีซอน (Lawson) สารประเภทแทนนิน (Tannin) อีกทั้งในประเทศไทยยังพบพืชที่มีสารแทนนินอยู่หลายชนิด เช่น ฟ้าทะลายโจร ใบชา มันสำปะหลัง จึงทำให้สารประเภทแทนนินได้รับความสนใจอย่างมากเช่นกัน [6]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการใช้สารแทนนินที่สกัดจากพืช คือ ฟ้าทะลายโจร มาใช้ยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่ใช้ทำเป็นหม้อต้มฆ่าในกระบวนการกลีเซอรินจากโรงงานผลิตไบโอดีเซล เปรียบเทียบกับโซเดียมฟอสเฟตซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ที่ใช้ในการยับยั้งการกัดกร่อนอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการใช้โซเดียมฟอสเฟตในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุทำหม้อฆ่าในกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล

1.2.2 เพื่อศึกษาการใช้แทนนินซึ่งสกัดจากฟ้าทะลายโจรที่ส่งผลต่อการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุทำหม้อฆ่าในกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล

1.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของโซเดียมฟอสเฟตกับแทนนินที่สกัดได้จากฟ้าทะลายโจร

1.3 ขอบเขตโครงการ

1.3.1 ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของโซเดียมฟอสเฟต เมื่อมีการเติมโซเดียมฟอสเฟตปริมาณ 4.92 5.65 และ 9.84 กรัมต่อลิตร ลงในกลีเซอรินก่อนและเมื่อแช่เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 120 °C

1.3.2 ศึกษาประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของแทนนินที่สกัดได้จากฟ้าทะลายโจรโดยศึกษาที่ความเข้มข้น 0.016 0.080 และ 0.160 กรัมต่อลิตรกลีเซอรินลงในกลีเซอริน เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 120 °C

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงประสิทธิภาพของโซเดียมฟอสเฟตและสารสกัดฟ้าทะลายโจรในการทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน

1.4.2 เป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมในการลดการนำเข้าสารยับยั้งการกัดกร่อนจากต่างประเทศและเพิ่มคุณค่าให้กับพืชหรือสมุนไพรที่อยู่ในประเทศไทยในอีกทางหนึ่ง

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การกัดกร่อนของโลหะ

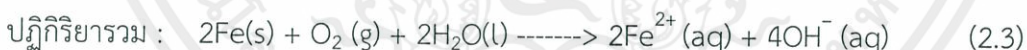
การกัดกร่อน หมายถึง ปฏิกิริยาระหว่างวัสดุโลหะและสิ่งแวดล้อม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลมาจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า แต่ทั้งนี้อาจจะเป็นปฏิกิริยาเคมีหรือปฏิกิริยาทางกายภาพของโลหะได้เช่นกัน โดยผลของการกัดกร่อนนำไปสู่การเสื่อมสภาพของวัสดุนั้น และส่งผลให้ความสามารถของวัสดุดังกล่าวเสียหายไป [4, 6]

2.2 กลไกการกัดกร่อน [6-8]

2.2.1 การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง (Direct Chemical Corrosion) การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรงที่เกิดกับผิวโลหะและแก๊ส เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น

2.2.2 การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า (Electrochemical Corrosion) การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า เป็นการกัดกร่อนที่เกิดกับโลหะโดยจะเกิดเมื่อโลหะต่างกันสองชนิดที่ศักย์ขั้วไฟฟ้า (Electro Potential) สัมผัสกันและเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าขึ้น ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าประกอบด้วย ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ด้านแอโนดและปฏิกิริยารีดักชันที่ด้านแคโทด

ตัวอย่างปฏิกิริยาการเกิดสนิมเหล็กในน้ำที่สัมผัสกับอากาศ



$2\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$ และ $\text{OH}^{-}(\text{aq})$ จะรวมกันได้ Fe(OH)_2 ซึ่งไม่ละลายน้ำดังสมการ



Fe(OH)_2 ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับน้ำและออกซิเจนในอากาศต่อไปได้ Fe(OH)_3



ไฮดรอกไซด์ [Fe(OH)₃] ที่เกิดขึ้นโดยทั่วไปจะเขียนในรูปไฮดรอกไซด์ที่มีน้ำผลึก อยู่ในโมเลกุล และน้ำผลึกอาจมีปริมาณแตกต่างกัน จึงเขียนสูตรทั่วไปเป็น $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

2.3 ประเภทของการกัดกร่อน [4, 6, 8]

ประเภทของการกัดกร่อน แบ่งออกเป็น 8 รูปแบบ ได้แก่

2.3.1 การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform Corrosion)

เกิดขึ้นทั่วทั้งผิวหน้าของวัสดุที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมแบบสม่ำเสมอ คือมีการเกิดทั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันแบบสม่ำเสมอทั่วพื้นผิว มักเกิดผลิตภัณฑ์ที่รวมตัวกับออกซิเจนขึ้นปกคลุมเป็นโลหะออกไซด์ สามารถประยุกต์ใช้กฎของฟาราเดย์ในการคำนวณหาอัตราการกัดกร่อนในมิติต่างๆได้ เช่น มวลต่อพื้นที่ต่อเวลา ความลึกของการกัดกร่อนต่อเวลา ตัวอย่าง เช่น การเกิดสนิมเหล็กและเหล็กกล้า หรือการหมองของเครื่องเงิน

2.3.2 การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic Corrosion)

การกัดกร่อนแบบนี้เกิดจากการสัมผัสหรือเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าของโลหะตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ที่มีศักย์ไฟฟ้ารีดักชันต่างกันและอยู่ในสารละลายที่นำไฟฟ้าได้ โลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันต่ำกว่ามีแนวโน้มที่จะสูญเสียอิเล็กตรอนได้ง่ายกว่า และเกิดการกัดกร่อนกับโลหะนั้นอย่างรุนแรงที่บริเวณรอยต่อของการสัมผัส นอกจากนี้ในบางกรณี แม้ว่าจะมีโลหะเพียงชนิดเดียวแต่ถ้าปลายทั้งสองด้านของโลหะนั้นอยู่ในสภาวะที่มีความสามารถในการออกซิไดซ์ต่างกัน ก็สามารถเอื้อให้เกิดการกัดกร่อนแบบกัลวานิกได้

2.3.3 การกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting Corrosion)

การกัดกร่อนแบบนี้มักจะเกิดกับโลหะที่มีความสามารถในการสร้างชั้นป้องกันได้ (Passivation) หลุมที่เกิดขึ้นมีได้หลายลักษณะ เช่น หลุมแบบปากกว้าง หลุมแบบรูเข็ม หลุมแบบปากแคบแต่ด้านในกลวง โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดภายในหลุมและปฏิกิริยารีดักชันจะเกินบริเวณผิว รูหรือหลุมเหล่านี้มักตรวจพบได้ยากเพราะมีขนาดเล็กกระจายห่างกัน ในเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีการประมาณค่าความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting Resistance Equivalent Number; PREN) เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุได้ด้วยและจะพบว่ามีการเติมโมลิบดีนัมประมาณ 2% เพื่อเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนแบบรูเข็ม

2.3.4 การกัดกร่อนบริเวณซอก (Crevice Corrosion)

จะเกิดขึ้นในบริเวณที่การถ่ายเทของเหลวทำได้ไม่ดีนัก ด้านในและด้านนอกของซอกจะส่งผลให้การแพร่ของสารเคมีบางชนิด เช่น ออกซิเจน ทำได้ยาก ซึ่งจะทำให้ด้านในและด้านนอกมีความสามารถในการออกซิไดซ์ที่ต่างกัน และนำไปสู่การกัดกร่อนเฉพาะบริเวณด้านในซอกและบริเวณใกล้ซอกจะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน นอกจากนี้ค่า pH ด้านในซอกอาจจะลดลงได้ถึง 1 หรือ 0 ในขณะที่ค่า pH ด้านนอกคงที่ที่ 7

2.3.5 การกัดกร่อนจากการสึกกร่อน (Erosion Corrosion)

การกัดกร่อนของโลหะที่ผิวหน้าจะมีอัตราสูงขึ้นเมื่อมีของไหลไหลผ่านด้วยความเร็วสูงและเกิดกระแสน้ำไหลแบบปั่นป่วน เป็นผลรวมทั้งทางกายภาพและการกัดกร่อนเคมีและการขัดสีทางกล นอกจากนี้ถ้ามีอนุภาคของแข็งปะปนกับของไหล ก็จะทำให้อัตราการกัดกร่อนมีค่าสูงมากขึ้นอีก

2.3.6 การกัดกร่อนแบบสกัดเฉพาะที่ (Selective Leaching)

เกิดขึ้นเมื่อโลหะผสมธาตุหนึ่งเสถียรกว่าอีกธาตุหนึ่งและเมื่อสัมผัสกับบรรยากาศ ธาตุที่ว่องไวหรือเสถียรน้อยกว่าจะละลายออกไปหรือเกิดขึ้นเมื่อธาตุหรือองค์ประกอบหนึ่งถูกกัดกร่อนออกมา เช่น ปฏิกิริยาการสูญเสียสังกะสีในทองเหลือง (Dezincification) จะเหลือเพียงเนื้อทองแดงที่พรุน และทองเหลืองยังเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีแดงหรือสีของทองแดงรวมถึงสมบัติทางกลแย่งลงมาก เป็นต้น

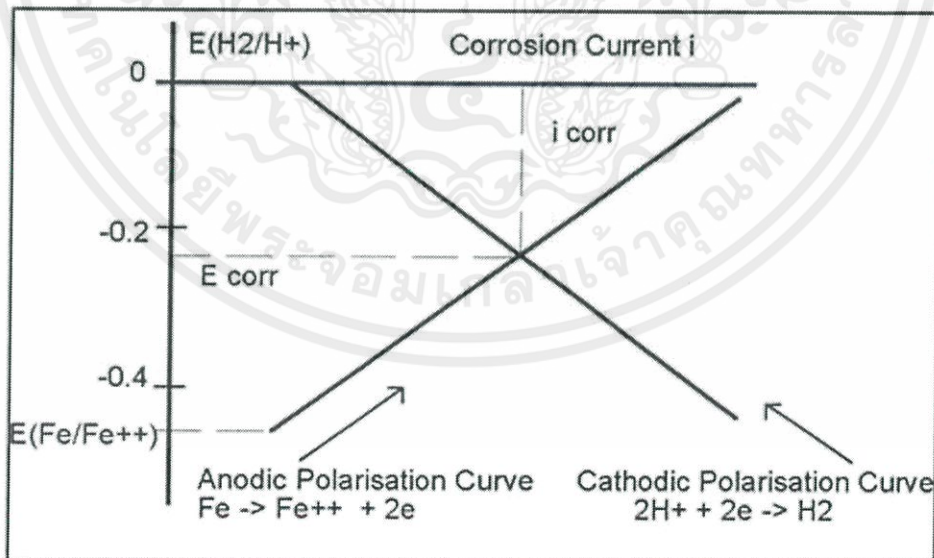
2.3.7 การกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน (Intergranular Corrosion)

เมื่อคาร์บอนที่เจืออยู่ในเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถแพร่เข้าจับกับโครเมียม เกิดเป็นสารประกอบ เช่น โครเมียมคาร์ไบด์ ($Cr_{23}C_6$) และตกตะกอนอยู่ที่ขอบเกรน บริเวณที่อยู่ถัดไปจากขอบเกรนจะมีปริมาณโครเมียมลดลงอย่างมาก ส่งผลให้ความต้านทานต่อการกัดกร่อนลดลงไปด้วย และเมื่อเหล็กกล้าไร้สนิมสัมผัสกับสารกัดกร่อน บริเวณข้างขอบเกรนจึงถูกกัดกร่อนเป็นอันดับแรกอย่างจำเพาะเจาะจง

2.3.8 การแตกร้าวจากการกัดกร่อนและความเค้น (Stress Corrosion Cracking)

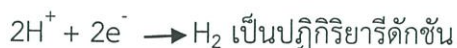
การกัดกร่อนแบบนี้ต้องอาศัยองค์ประกอบ 3 ส่วนที่พอดีกัน คือ แรงเค้น วัสดุที่อ่อนไหว และสิ่งแวดล้อมที่มีฤทธิ์กัดกร่อน ถ้าองค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งขาดหายไป หรือมีขนาดไม่เพียงพอ จะไม่เกิดการแตกร้าวจากแรงเค้นและการกัดกร่อน

2.4 กราฟโพลาริเซชันของระบบสองคู่ปฏิกิริยาครึ่งไฟฟ้า [7]



รูปที่ 2.1 เส้นโพลาริเซชันของระบบสองคู่ปฏิกิริยาครึ่งไฟฟ้า (ปฏิกิริยาแอโนดิกที่เด่น คือ $Fe \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$ และปฏิกิริยาแคโทดิกที่เด่น คือ $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$) [21]

ระบบหลายคู่ปฏิกิริยาไฟฟ้า ที่ $E_{i, total=0}$ อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาแอโนดิกเท่ากับ อัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาแคโทดิก แต่ปฏิกิริยาทั้งสองมาจากคู่ปฏิกิริยารีดักชันออกซิเดชันคนละ คู่กัน ในกรณีตัวอย่าง



เมื่อเป็นเช่นนี้จะพบว่า ความหนาแน่นกระแสสุทธิไหลผ่านรอยต่อโลหะ/สารละลายจะมีค่าเป็นศูนย์ แต่เหล็กจะถูกกัดกร่อนออกมาเสมอตามปฏิกิริยาออกซิเดชัน เราจะเรียกความหนาแน่นกระแสการกัดกร่อน (Corrosion current density; i_{corr}) ซึ่งแสดงถึงอัตราการกัดกร่อน และจะเรียกศักย์ที่ความหนาแน่นกระแสรวมเป็นศูนย์ว่า ศักย์การกัดกร่อน (Corrosion potential; E_{corr}) ซึ่งแสดงถึงความต้านทานการกัดกร่อน เมื่อพิจารณารูปที่ 2.3 จะเห็นว่าค่าในแกนตั้งจุดตัดของเส้นทาบเฟลแอโนดิกรวมและเส้นทาบเฟลแคโทดิกรวมก็คือ $E_{i, total=0}$ หรือก็คือ E_{corr} นอกจากนี้ ในกรณีที่ให้ปฏิกิริยาการกัดกร่อนโลหะเด่นค่าในแกนนอนที่จุดตัดดังกล่าวคือขนาดความหนาแน่นกระแสการกัดกร่อนนั่นเอง

2.5 สารยับยั้งการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitors)

สารยับยั้งการกัดกร่อน คือ สารที่เติมลงไปในสิ่งแวดล้อมเพียงเล็กน้อยแล้วสามารถลดอัตราการกัดกร่อนของโลหะได้ [4, 8]

2.4.1 รูปแบบการทำงานของสารยับยั้งการกัดกร่อน [4, 8, 10]

2.4.1.1 การดูดซับของสารยับยั้งการกัดกร่อนกับผิวของโลหะด้วยแรงทางกายภาพ เป็นลักษณะของการดูดซับของโมเลกุลที่มีขั้วไปเกาะที่พื้นผิวของโลหะ โดยเกิดการดูดซับของสารยับยั้งการกัดกร่อนผ่านอะตอมของซัลเฟอร์ ไนโตรเจน ออกซิเจน ทำให้เกิดการขัดขวางกระบวนการถ่ายโอนมวลและประจุที่บริเวณพื้นผิวของโลหะ จึงทำให้สามารถลดอัตราการกัดกร่อนได้

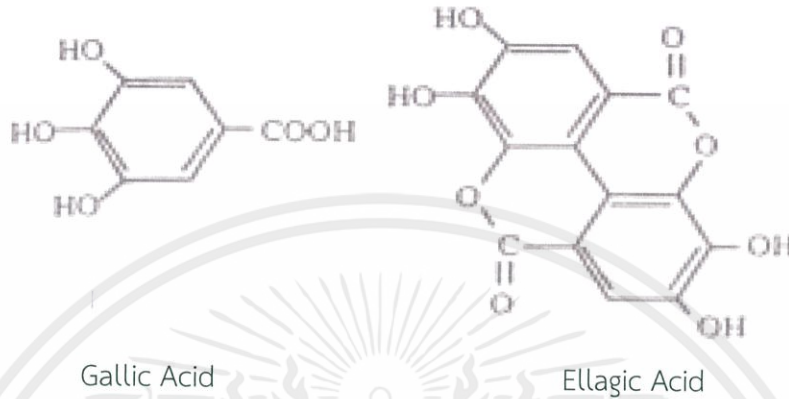
2.4.1.2 การดูดซับของสารยับยั้งการกัดกร่อนกับผิวของโลหะด้วยแรงทางเคมี คือ เกิดการสร้างพันธะระหว่างสารยับยั้งการกัดกร่อนกับพื้นผิว แล้วค่อยดูดซับบนพื้นผิว ทำให้พื้นผิวโลหะถูกกัดกร่อนน้อยลง

2.4.2 แทนนิน (Tannin) [9]

แทนนินเป็นสารจำพวกฟีนอลิกที่มีโมเลกุลใหญ่และโครงสร้างซับซ้อน มีสถานะเป็นกรดอ่อน รสฝาด เป็นสารที่แยกทำให้บริสุทธิ์ได้ยาก เพราะไม่ตกผลึก พบได้ในรูปอิสระ และคุณสมบัติของแทนนินจะขึ้นกับชนิดและขนาดโมเลกุล แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

2.4.2.1 ไฮโดรไลซ์แทนนิน (Hydrolysable Tannin)

ไฮโดรไลซ์แทนนิน (Hydrolysable Tannin) หรือ แกลโลแทนนิน (Gallo Tannin) เป็นสารเอสเทอร์ที่เกิดจากน้ำตาล หรือ โพลีฟีนอล สามารถถูกย่อยเป็นโมเลกุลเล็กๆได้ด้วยกรด พบมากในส่วนใบ ฝัก และส่วนที่ปูดออกมาจากปกติ สารในกลุ่มนี้ที่สำคัญได้แก่ Gallic acid, Ellagic acid เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างโครงสร้างโมเลกุลของไฮโดรไลซ์แทนนิน [9]

2.4.2.2 คอนเดนส์แทนนิน (Condensed Tannin)

คอนเดนส์แทนนิน (Condensed tannin) หรือ คาเทชิน (Catechun) พบได้ในส่วน เปลือกต้น และแก่นไม้เป็นส่วนใหญ่ เป็นสารที่ไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยกรดหรือเอนไซม์

2.6 ฟ้ายะลวยโจร [9, 11]



รูปที่ 2.3 ต้นฟ้ายะลวยโจร [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟ้าทะลายโจร (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Andrographis paniculata* (Burm.f.) Wall ex Nees.) จัดให้เป็นสมุนไพรพื้นบ้านที่สามารถหามารับประทานแก้โรคได้เอง สูงประมาณ 30-70 ซม. ลำต้นเป็นสี่เหลี่ยม แตกกิ่งมาก ใบเรียวยาว ปลายใบแหลม ดอกขนาดเล็กสีขาว มีรอยกระสีม่วงแดง ลักษณะเป็นหลอด ฝักคล้ายฝักต้อยติ่ง เมล็ดสีน้ำตาลอ่อน สรรพคุณหลายประการ เช่น แก้ไข้ทั่วไป เช่น ไข้หวัด ไอ เจ็บคอ หลอดลมอักเสบ ขับเสมหะ รักษาโรคผิวหนัง ท้องเสีย บิด และแก้กระเพาะลำไส้อักเสบ นอกจากนี้ยังพบว่าฟ้าทะลายโจรนั้นมีปริมาณแทนนินที่สูงกว่าพืชชนิดอื่นๆ[11]

2.6 เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70

สำหรับชิ้นงานที่นำมาทดสอบเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 หรือ ASME SA516 Grade 70 เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนสูง มักใช้ทำหม้อต้ม (Boiler) หรือภาชนะที่ทนความดันสูง ใช้ในอุตสาหกรรมการที่มีมาตรฐานสูง เช่น อุตสาหกรรมน้ำมัน แก๊สและปิโตรเคมี [12]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 [12]

ส่วนประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ส่วนประกอบทางเคมี	ร้อยละโดยน้ำหนัก	Yield Strength (N/mm ²)	Tensile Strength (N/mm ²)
คาร์บอน	0.27	โครเมียม	0.30	335	510-650
ซิลิกอน	0.60	นิกเกิล	0.30		
แมงกานีส	0.30	โมลิบดีนัม	0.08		
ฟอสฟอรัส	0.03	ไทเทเนียม	0.01		
อะลูมิเนียม	0.02	วานาเดียม	0.02		
ทองแดง	0.30	กำมะถัน	0.02		
ไนโอเบียม	0.01	เหล็ก	96.72		

จากตารางคุณสมบัติธาตุต่างๆที่ผสมในเหล็กกล้าคาร์บอน เช่น ธาตุซิลิกอนทำให้เหล็กแข็งแรงและทนทานต่อการเสียดสี ธาตุทองแดงเพิ่มความแข็งแรงและไม่เกิดสนิมเมื่อใช้งานในบรรยากาศ ธาตุโครเมียมเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อนของสารได้มากขึ้นและเหล็กเป็นสนิมได้ยาก ธาตุนิกเกิลช่วยเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกของเหล็กและทนความร้อนและธาตุแมงกานีส

ทำให้เหล็กทนต่อการเสียดสีและทนทานต่อแรงดึงได้มากขึ้นรวมทั้งยังเพิ่มสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเหล็กด้วย เป็นต้น [12-13]

2.8 กระบวนการกลั่นแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล [1-2]

2.8.1 คุณสมบัติของกลีเซอริน

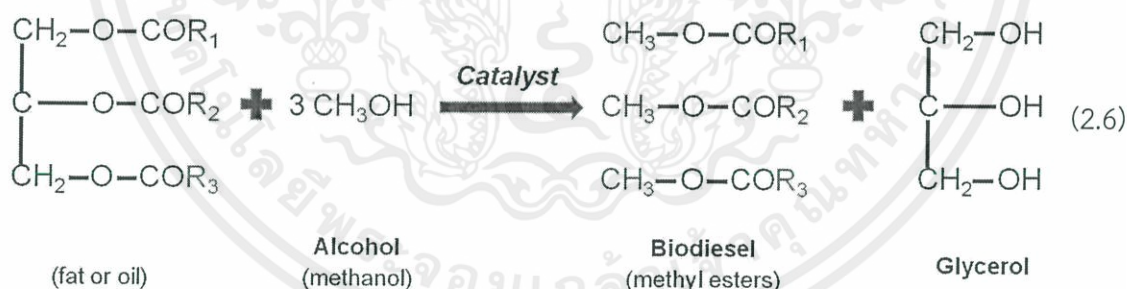
ของเหลวที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีความหนืด และมีรสหวาน โดยปกติมาจากน้ำมันของพืช เช่น น้ำมันมะพร้าว และน้ำมันปาล์ม มีจุดเดือดอยู่ที่ 290 °C ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์และน้ำ แต่ไม่ละลายในไขมัน

2.8.2 องค์ประกอบของกลีเซอรินที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซล

ประกอบด้วย กลีเซอริน (Glycerin) สบู่ (Soaps) โพแทสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) โพแทสเซียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($KHCO_3$) เมทานอล (Methanol) เอทานอล (Ethanol) และ เอสเทอร์ (Ester)

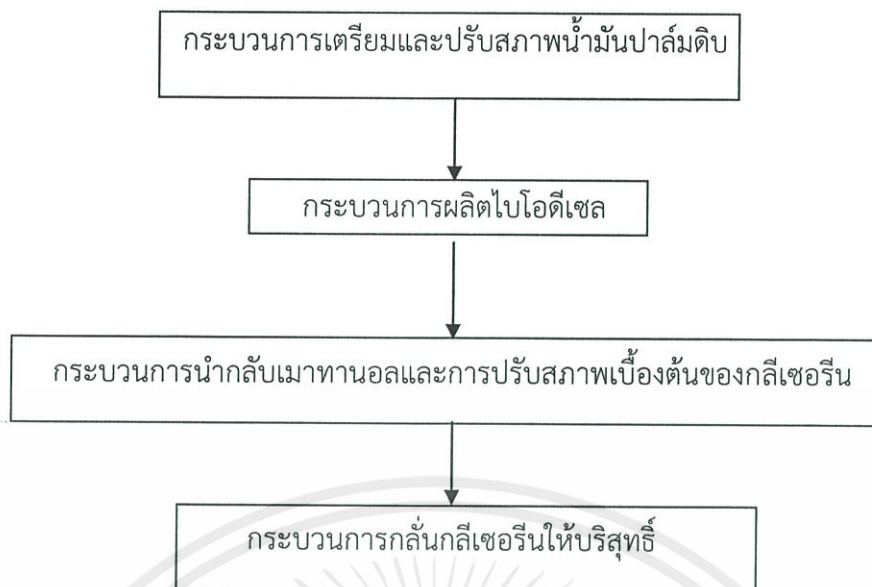
2.8.3 การผลิตไบโอดีเซล

“ไบโอดีเซล” เป็นชื่อเรียกเชื้อเพลิงที่เป็นสารเอสเทอร์ (Ester) ที่ได้จากการทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับเมทานอลหรือเอทานอล เรียกปฏิกิริยาดังกล่าวว่าปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) โดยได้กลีเซอรินเป็นผลพลอยได้ ดังสมการ (2.6)



2.8.4 การทำให้กลีเซอรินบริสุทธิ์ [2]

สำหรับในระดับโรงงานมีกระบวนการผลิตกลีเซอริน 4 ขั้นตอนดังรูป



รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงขั้นตอนการผลิตกลีเซอรินจากโรงงาน

2.9 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบการกัดกร่อน

2.9.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร โดยการสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษา สัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและ เซลล์หน้าตัดของโลหะและวัสดุ เป็นต้น

หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser Lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ หากต้องการภาพที่มีความคมชัด จะปรับให้ลำอิเล็กตรอนมีขนาดเล็ก หลังจากนั้นลำอิเล็กตรอนจะถูกปรับระยะโฟกัสโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective Lens) ลงไปบนผิวชิ้นงานที่ต้องการศึกษา หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงาน จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้

จะถูกบันทึกและแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และ ถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไปและสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย

2.9.2 เครื่องโพเทนชิโอสแตท/กัลวานอสแตท (Potentiostat/Galvanostat)

เครื่องโพเทนชิโอสแตทกัลวานอสแตทจะป้อนพลังงานให้แก่ชิ้นงานตัวอย่างที่เป็นขั้วทำงาน (Working Electrode) ผ่านทางขั้วช่วย (Auxiliary Electrode) ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ เพื่อเร่งให้เกิดการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้า แล้วตรวจวัดสมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นงานที่เปลี่ยนไปผ่านทางขั้วอ้างอิง (Reference Electrode) เพื่อติดตามผลเป็นเส้นกราฟโพลาไรเซชัน (Polarization) ซึ่งข้อมูลที่ได้รับจากเทคนิคนี้ คือพฤติกรรมของการกัดกร่อนของวัสดุ โดยพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) กระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (I_{corr})

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kilincceker และคณะ [16] ศึกษาผลกระทบของฟอสเฟสไอออน (PO_4^{3-}) มีต่อการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในสารละลายซัลเฟตโดยในการทดลองนี้มีการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนคือสารละลายโซเดียมฟอสเฟต โดยทำการทดลองที่ 4 อุณหภูมิ คือ 293 313 333 และ 353 เคลวินและที่ pH 3 คือ 2.1 7.2 และ 12.3 การปรับค่า pH โดยใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ใช้วิธีการวัดค่าการกัดกร่อนในการทดลองนี้ คือ เทคนิคโพเทนชิโอเมตรี (Potentiometry) เป็นกรวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของศักย์ไฟฟ้าจากศักย์ไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์จะได้กราฟเส้นโพลาริเซชัน โดยสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนและกระแสไฟฟ้าของการกัดกร่อน ได้จากจุดตัดของเส้นความชันของเส้นกราฟแอโนดและแคโทดผลการทดลองพบว่าที่ค่า pH เป็น 2.1 จะทำให้เกิดการกัดกร่อนของเหล็กโดยสารละลายโซเดียมฟอสเฟตที่เติมลงไปสามารถลดการกัดกร่อนได้ เมื่อเติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตจะทำให้ฟอสเฟตไอออนเข้าไปในส่วนของโครงสร้างของฟิล์มที่ผิวของเหล็ก เกิดการรวมเป็น $Fe_3(PO_4)_2$ ช่วยป้องกันการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นได้ ในส่วนของผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกัดกร่อนพบว่าเมื่ออุณหภูมิมากขึ้น อัตราการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นด้วย

Liu และคณะ [17] ศึกษาการใช้เบนโซโทรอะโซลและโซเดียมฟอสเฟตเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสารละลายเตตระบิวทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ โดยทำการทดลองสารละลายเตระเอนบิวทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ที่ไม่มีการเติมสารยับยั้งการกัดกร่อนและที่มีการเติมสาร

ยับยั้งการกัดกร่อน คือ เบนโซไทรอะโซล โซเดียมฟอสเฟต และสารละลายผสมระหว่างโซเดียมฟอสเฟตและเบนโซไทรอะโซล ตามลำดับ ทำการวัดค่าอัตราการกัดกร่อนโดยใช้วิธีโพเทนชิโอเมตรี และการสูญเสียน้ำหนัก แล้วทำการวิเคราะห์ผิวสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเอกซเรย์สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (Scanning Electron Microscope ; SEM/Energy – dispersive X-ray Spectroscopy ; EDX) จากการทดลองพบว่าชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนในสารละลายผสมระหว่างโซเดียมฟอสเฟตและเบนโซไทรอะโซลสามารถยับยั้งการกัดกร่อนได้ดีที่สุดสำหรับสารละลายเตรนเออนบิวทิลแอมโมเนียมโบไมด์ และประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีกรเติมสารละลายเบนโซไทรอะโซล ทั้งนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ผิวสัณฐานด้วยเอกซเรย์สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (EDX) พบว่ามีธาตุฟอสฟอรัสและธาตุไนโตรเจนที่ผิวของเหล็กกล้าคาร์บอน แสดงว่าอาจจะมาจากการรวมตัวของฟอสเฟตและเบนโซไทรอะโซลที่ชั้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอน ทำให้ช่วยยับยั้งการกัดกร่อนได้

Sail และคณะ [18] ศึกษาผลของสารยับยั้งการกัดกร่อนฟอสเฟตของเหล็กในสารละลายสังเคราะห์คอนกรีต เนื่องจากพบว่าโซเดียมฟอสเฟตเป็นสารยับยั้งที่มีประสิทธิภาพ เพราะมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันระบบทำความเย็น รวมทั้งท่อที่อยู่ใต้ดิน โดยใช้วิธีโพเทนชิโอเมตรีและการสูญเสียน้ำหนักเป็นวิธีการวัดอัตราการกัดกร่อนรวมทั้งมีการวิเคราะห์โครงสร้างผิวสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) และการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องมือวิเคราะห์โครงสร้างผลึก (X-ray Diffractometer; XRD) จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารยับยั้งการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการกัดกร่อนเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ยังสันนิษฐานได้ว่าฟอสเฟตไอออนจับตัวอยู่ที่ผิวเหล็ก ช่วยในการป้องกันการกัดกร่อนได้และเมื่อวิเคราะห์ผิวสัณฐานด้วย SEM ก็สามารถสังเกตได้ถึงผิวของเหล็กที่มีการกัดกร่อนลดลง

พงศธร มานะโสและราชัญ อนันต์เอื้อ [5] ศึกษาความเข้มข้นและระยะเวลาที่มีผลต่อการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ซึ่งเป็นวัสดุในการทำหม้อต้ม้ำในกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซลโดยใช้โซเดียมฟอสเฟตเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน และได้ออกแบบการทดลองเป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 ศึกษาความเข้มข้นของโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เป็นระยะเวลา 40 วัน ตอนที่ 2 ศึกษาระยะเวลาในการยับยั้งการกัดกร่อนของโซเดียมฟอสเฟต ทำการทดลองที่ระยะเวลาแตกต่างกัน โดยทำการวิเคราะห์ผิวสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดและเอกซเรย์สเปกโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน จากผลการทดลองพบว่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของโซเดียมฟอสเฟตที่เกิดการยับยั้งการกัดกร่อนอย่างเห็นได้ชัด คือ ตั้งแต่ 4.92 และ 9.84 กรัมต่อลิตรกลีเซอริน จึงเลือก 4.92 และ 9.84 กรัมต่อลิตรกลีเซอรินมาศึกษาผลของระยะเวลาที่มีต่อการยับยั้งการกัดกร่อน พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นการกัดกร่อนจะเพิ่มมากขึ้น โดยโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 4.92 และ 9.84 กรัมต่อลิตร สามารถยับยั้งการกัดกร่อนได้เป็นเวลา 10 สัปดาห์ก่อนเกิดการกัดกร่อนมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่ระยะเวลา 14 สัปดาห์และโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 9.84 กรัมต่อลิตรสามารถยับยั้งการกัดกร่อนได้ดีที่สุด

มณฑนา จริยาบุรณ [19] ศึกษาผลของการสกัดฟ้าทะลายโจรและใบชาที่มีต่อพฤติกรรมการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำในสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ด้วยวิธีการหาน้ำหนักที่หายไปและวิธีโพเทนซิโอดนามิกส์โพลาไรเซชัน (Potentiodynamic Polarization) รวมทั้งศึกษาพื้นผิวสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) จากผลการทดลองจะพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดทั้งสองชนิดจะทำให้ประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ที่แสดงให้เห็นว่า พื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำหลังจากที่จุ่มลงในสารละลายกรดที่มีส่วนผสมของสารสกัดอยู่ด้วยจะได้รับการปกป้อง เนื่องจากการดูดซับของสารสกัดผ่านอะตอมของออกซิเจน ซึ่งเป็นการบอกเป็นนัยว่าการดูดซับของสารสกัดเป็นแบบกายภาพ และทั้งนี้การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนได้แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นด้วย

N. Kumpawat และคณะ [20] ศึกษาประสิทธิภาพของสารสกัดใบกะเพราสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลางในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักและวิธีเทอร์โมเมตริก ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของการยับยั้งเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดและประสิทธิภาพการยับยั้งลดลงเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นและจากวิธีการวัดทั้งสองวิธีให้ผลที่มีแนวโน้มเหมือนกัน นอกจากนี้ประสิทธิภาพยับยั้งการกัดกร่อนสูงสุดเท่ากับ 98.67% ใน 0.5 N HCl acid ที่ 1.2% ของสารสกัดจากต้นและยังพบว่าที่ 1.2% ของสารสกัดจากใบมีประสิทธิภาพการยับยั้งเท่ากับ 96.02 %

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ซึ่งเป็นวัสดุในการทำหม้อต้มใช้ในกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล โดยในการทดลองจะใช้ชิ้นงานที่เป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาดเฉลี่ย 2 cm x 2 cm x 1 cm เพื่อสามารถนำมาวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กลีเซอริน ($C_3H_5(OH)_3$)
2. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)
3. โซเดียมฟอสเฟต (Na_3PO_4)
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$)
5. เอทานอล (C_2H_5OH)
6. น้ำกลั่น (Distillated Water)
7. ฟ้ายละลายโจร
8. สารละลายโพลิน - เดนีส รีเอเจนต์
9. เฟอริกคลอไรด์ (Fe_3Cl)
10. สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัว
11. สารละลายมาตรฐานกรดแทนนิกเข้มข้น

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์สำหรับการเตรียมชิ้นงาน

1. กระจกทรายเบอร์ 180 320 800 1,000 และ 1,200
2. ขวดโหลเก็บชิ้นงานบรรจุซิลิกาเจล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 อุปกรณ์สำหรับเตรียมสารละลายเกลือซีโรน (โดยทำการขจัดสบู่ออก) การเตรียมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตและการเตรียมสารสกัดฟ้าทะลายโจร

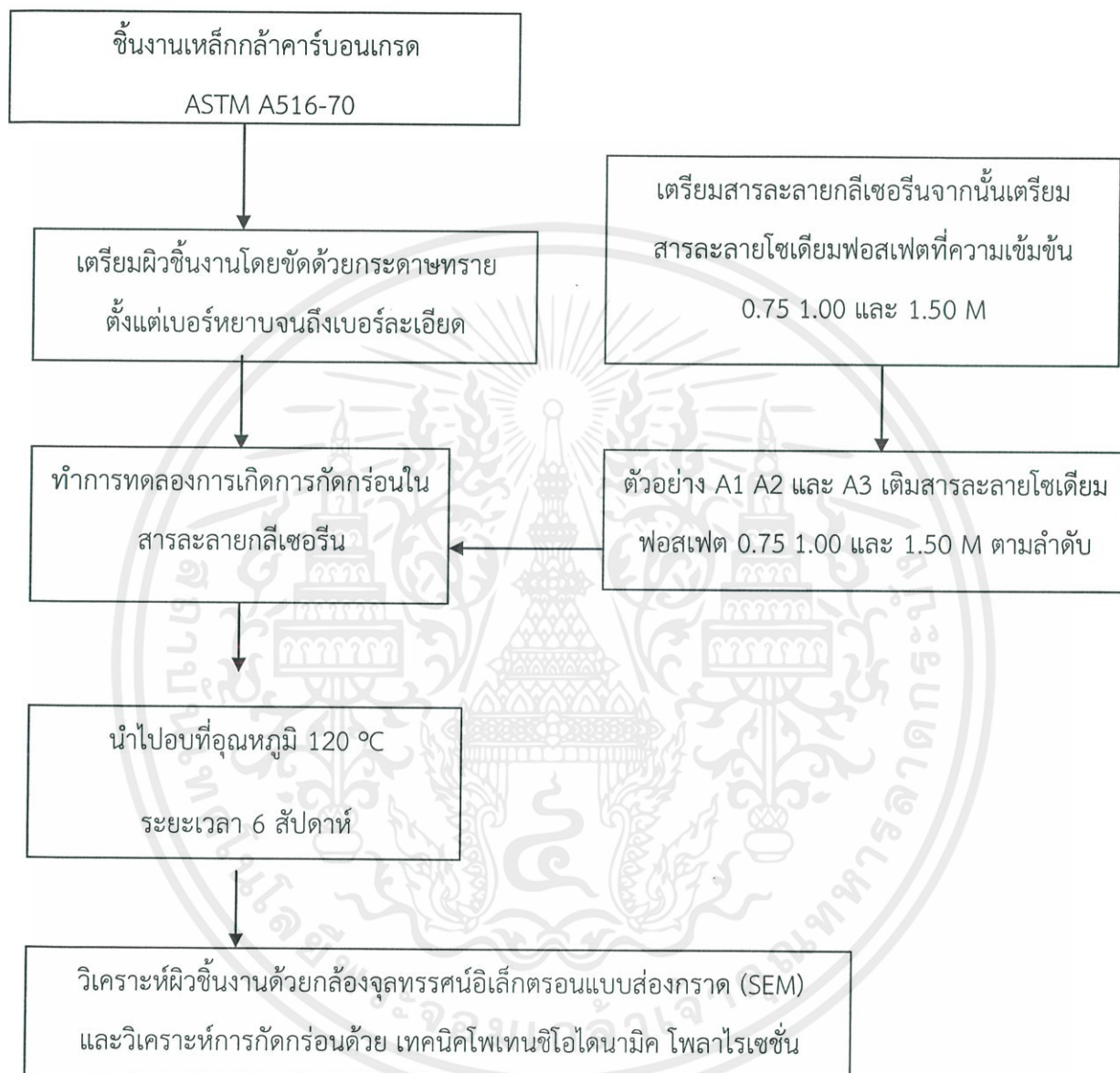
1. เครื่องชั่งสาร
2. เครื่องกวนสารละลายพลังงานแม่เหล็ก
3. ตู้อบ
4. ปีกเกอร์ขนาด 10 มิลลิลิตร 100 มิลลิลิตร 500 มิลลิลิตร 1ลิตรและ 2 ลิตร
5. ขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตรและ 1 ลิตร
6. กรวยแยก
7. กรวยกรอง
8. แท่งแก้วคนสาร
9. หลอดหยดสาร
10. นาฬิกาจับเวลา
11. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Meter)

3.2.3 อุปกรณ์สำหรับการเตรียมชิ้นงานหลังการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ผิวสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

1. เครื่องล้างอัลตราโซนิก (Ultrasonic Bath)
2. ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. ถังมือผ้า ถังมือยาง
4. กล่องเก็บชิ้นงานบรรจุซิลิกาเจล

3.3 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 เพื่อศึกษาการใช้โซเดียมฟอสเฟตในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุทำหม้อต้มในกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล



รูปที่ 3.1 แผนการทดลองตอนที่ 1

ตอนที่ 2 ศึกษาการใช้แทนนินซึ่งสกัดจากฟ้าทะลายโจรที่ส่งผลต่อการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุทำหม้อต้มในกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล



รูปที่ 3.2 แผนการทดลองตอนที่ 2

ตารางที่ 3.1 การทดลองเติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างกัน

ชั้นงาน	ความเข้มข้นโซเดียมฟอสเฟต (M)	น้ำหนักโซเดียมฟอสเฟตที่ต้องใช้ (g)	ค่าความเป็นกรด -ต่าง (pH)
A1	0.75	30.75	7.1
A2	1.00	41.00	7.5
A3	1.50	61.50	7.3

ตารางที่ 3.2 การทดลองเติมสารละลายแทนนินที่สกัดจากฟ้าทะลายโจรที่ความเข้มข้นต่างกัน

ชั้นงาน	ความเข้มข้นแทนนิน (g/l)	น้ำหนักแทนนินที่ต้องใช้ (g)	ค่าความเป็นกรด -ต่าง (pH)
B1	0.01	1.00	6.7
B2	0.05	5.00	6.8
B3	0.10	10.00	7.1

3.3.1 การเตรียมชั้นงาน

นำชั้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM 516-70 นำไปขัดผิว (Grinding) ให้เรียบด้วยกระดาษทรายขัดเหล็ก (Silicon Carbide) หล่อลื่นด้วยน้ำขณะขัด โดยเริ่มจากกระดาษทรายเบอร์หยาบจนถึงเบอร์ละเอียด คือเบอร์ 180, 320, 800, 1,000 และ 1,200 ตามลำดับ โดยการขัดแต่ละครั้งจะต้องขัดให้เกิดรอยกระดาษในทิศทางเดียวกันตลอดชั้นงานแล้งจึงหมุนชั้นงานไป 90 องศาขัดต่อจนรอยเดิมหายไปหลังจากขัดจนผิวงานเรียบสนิทแล้วเก็บชั้นงานไว้ในขวดโหลเก็บชั้นงานที่บรรจุซิลิกาเจลไว้

3.3.2 การเตรียมสารละลายกลีเซอรินโดยการขจัดสบู่ออก

3.3.2.1 ตวงกลีเซอรินปริมาตร 1 ลิตร น้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร และกรดซัลฟิวริกปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร จากนั้นเริ่มกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนสารละลายพลังแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาที

3.3.2.2 หลังจากครบ 30 นาทีแล้ว เทสารละลายใส่ในกรวยแยก แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของสาร

3.3.2.3 เมื่อสารละลายเกิดการแยกชั้นแล้ว ไชสารละลายกลีเซอรินชั้นล่างออกมาใส่ในบีกเกอร์แล้วตวงกลีเซอรินให้ได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.4 เติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตปริมาตร 10 มิลลิลิตร ลงในสารละลายกลีเซอรินที่เตรียมไว้แล้วใช้เครื่องกวนพลังแม่เหล็กกวนให้สารเข้ากัน

3.3.2.5 วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของกลีเซอรินแล้วปรับค่าให้เป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย ประมาณ 7 -7.5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

3.3.2.6 นำสารละลายกลีเซอรินที่ได้ใส่ขวดแก้วแล้วปิดฝาแล้วอบที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมงเพื่อระเหยน้ำออกและเมทานอลออก

3.3.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมฟอสเฟต

3.3.3.1 ชั่งโซเดียมฟอสเฟตตาม 30.75 และ 61.50 กรัมตามลำดับ ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นแล้วใช้แท่งแก้วคนสารจนโซเดียมฟอสเฟตละลายจนหมด

3.3.3.2 จากนั้นเทสารละลายโซเดียมฟอสเฟตที่ได้ลงในขวดวัดปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ปิดฝาเขย่าสารละลายให้เข้ากัน จะได้สารละลายโซเดียมฟอสเฟต 0.75 และ 1.5 M ตามลำดับ

3.3.4 การเตรียมสารสกัดฟ้าทะลายโจร

3.3.4.1 ชั่งฟ้าทะลายโจร 20 กรัม

3.3.4.2 จากนั้นนำไปต้มน้ำกลั่นปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 °C

3.3.4.3 กรองด้วยกระดาษกรอง ระเหยน้ำออก ได้สารสกัดฟ้าทะลายโจรเข้มข้น 20 กรัม

3.3.4.5 ชั่งสารสกัดฟ้าทะลายโจร 5 กรัมและ 10 กรัม ตามลำดับใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นแล้วใช้แท่งแก้วคนสารจนสารสกัดฟ้าทะลายโจรละลายจนหมด

3.3.4.6 จากนั้นเทสารสกัดฟ้าทะลายโจร ที่ได้ลงในขวดวัดปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร ปิดฝาเขย่าสารละลายให้เข้ากันจะได้สารสกัดฟ้าทะลายโจร ความเข้มข้น 5 และ 10 g/l ตามลำดับ

3.4 การวิเคราะห์แทนนิน

3.4.1 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

3.4.1.1 นำสารสกัดฟ้าทะลายโจรเข้มข้นผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตรในหลอดทดลอง

3.4.1.2 เติมผงเฟอร์ริกคลอไรด์ (Fe_3Cl) ในหลอดทดลองแล้วเขย่าให้เข้ากัน โดยสีของสารผสมจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเข้มถ้ามีไฮโดรไลซ์แทนนินและจะเป็นสีเขียวถ้าในสารผสมมีคอนเดนส์แทนนิน

3.4.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

3.4.2.1 วิธีสร้างกราฟมาตรฐาน

(1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแทนนิกเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 0.5 1.0 2.0 4.0 6.0 8.0 และ 10.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 7 ขวด

(2) เติมสารละลายฟอลิน - เดนนิส รีเอเจนต์ 5 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัว 10 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

(3) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี - วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และเขียนกราฟมาตรฐานกรดแทนนิน

3.4.2.2 วิเคราะห์ปริมาณสารแทนนิน

(1) ชั่งตัวอย่างใบฟ้าทะลายโจร 1 กรัม (อัตราส่วน 1: 10) เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

(2) กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ใส่ในขวดทึบแสง

(3) จากนั้น ปิเปตสารสกัดปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

(4) เติมฟอลิน - เดนนิส รีเอเจนต์ 5 มิลลิลิตรเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิ่มตัว 10 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

(5) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี - วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และเทียบหาปริมาณสารแทนนินจาก กราฟมาตรฐาน

3.5 การทดลองหาการกัดกร่อนเพื่อนำไปวิเคราะห์ผิวสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

3.5.1 นำชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM 516-70 ขนาดเฉลี่ย 2 cm x 2 cm x 2 cm จำนวน 6 ชิ้นที่เตรียมไว้ไปแช่น้ำหนักและบันทึกผลก่อนการทดลอง

3.5.2 นำชิ้นงานใส่ขวดบรรจุในขวดสารละลายกลีเซอรินที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.3.2 โดยแยกชิ้นงานทั้ง 4 ชิ้นใส่ลงในขวดรวมทั้งหมด 4 ขวดตามการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ตั้งขั้นตอนที่

3.5.3 นำขวดที่เตรียมไว้ในข้อ 2 ใส่ไว้ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 40 วัน เพื่อให้เกิดการกัดกร่อน

3.5.4 เมื่ออบจนครบกำหนดระยะเวลาแล้วให้นำขวดชิ้นงานออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วนำชิ้นงานออกจากขวดและนำไปล้างทำความสะอาดด้วยโดยนำชิ้นงานใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นให้ท่วมชิ้นงานแล้วนำไปล้างด้วยเครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 45 นาที

3.5.5 นำชิ้นงานที่ล้างแล้วไปแช่น้ำหนักหลังจากการทดลองและนำไปวิเคราะห์ผิวสัณฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 3.3 แผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ความก้าวหน้าของโครงการวิจัย / เดือน									
	พ.ศ. 2559					พ.ศ. 2560				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. การเตรียมงานวิจัย / การศึกษาเอกสาร	←—————→									
2. กำหนดแผนการทดลอง / วิธีการดำเนินการ	←————→									
3. ดำเนินการทดลอง ตอนที่ 1	←————→									
4. จัดทำรูปเล่มและงานนำเสนอเบื้องต้น	←————→									
5. วิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 1	←————→									
6. ดำเนินการทดลองตอนที่ 2	←————→									
7. วิเคราะห์ผลการทดลองตอนที่ 2	←————→									
8. สรุปผลการทดลองและทำรูปเล่มงานวิจัยฉบับสมบูรณ์	←————→									
9. นำเสนอผลการวิจัย	←————→									

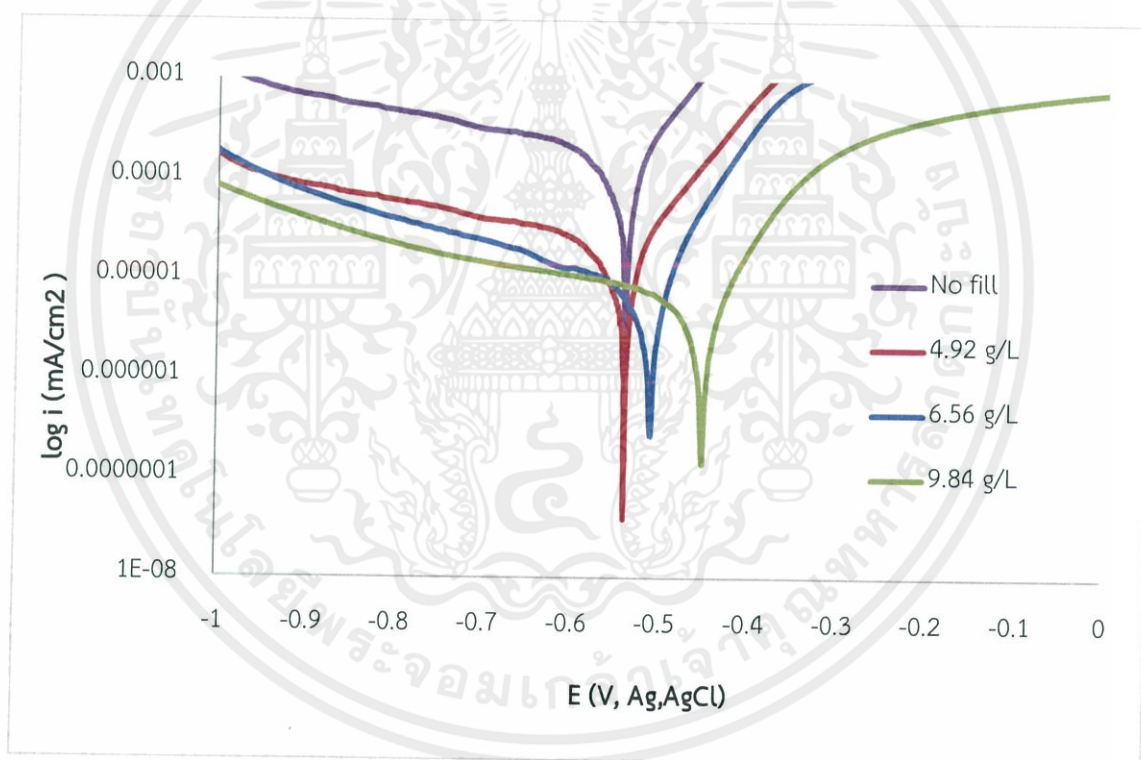
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลความเข้มข้นของโซเดียมฟอสเฟตที่มีต่อการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516-70

รูปที่ 4.1 เป็นกราฟโพลาไรเซชันของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ถูกทดสอบในสารละลายกลีเซอรินที่ไม่มีและมีการเติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตที่มีความเข้มข้น 4.92 6.56 และ 9.84 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าจากกราฟสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential, E_{corr}) และค่าความหนาแน่นกระแสการกัดกร่อน (Corrosion current density; i_{corr}) และประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน ได้ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกส์โพลาไรเซชันของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ไม่มีและมีการเติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตที่มีความเข้มข้นต่างๆในสารละลายกลีเซอริน

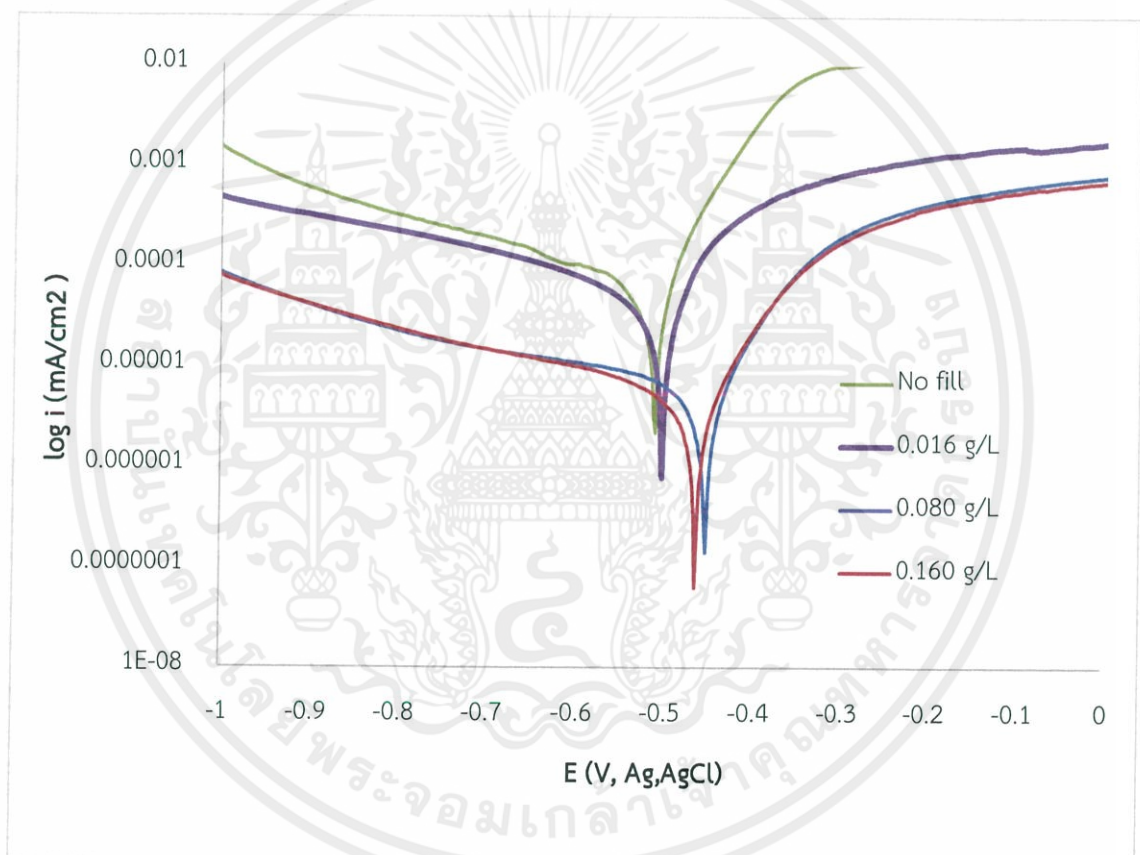
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516-70 ที่ไม่มีและมีการเติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆในสารละลายกลีเซอริน

ความเข้มข้นของ โซเดียมฟอสเฟต (กรัมต่อลิตร)	ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน $[E_{corr} (V)]$	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน $[I_{corr} (mA/cm^2)]$	ประสิทธิภาพการ ยับยั้งการกัดกร่อน (%)
ไม่เติม	-0.514	8.56×10^{-5}	-
4.92	-0.504	7.91×10^{-6}	90.77
6.56	-0.480	4.42×10^{-6}	94.84
9.84	-0.462	2.98×10^{-6}	96.51

จากรูปที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่จุ่มในกลีเซอรินที่ไม่มีและมีการเติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 4.92 6.56 และ 9.84 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก -0.514 เป็น -0.462 V เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายโซเดียมฟอสเฟตจาก 4.92 เป็น 9.84 กรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเลื่อนไปทางบวกมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความต้านทานการกัดกร่อนมีมากขึ้นหรือความสามารถในการออกซิไดส์ของสารละลายมีน้อยลง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (I_{corr}) ซึ่งหาได้จากการประมาณค่านอกช่วงของทาเฟิล (Tafel extrapolation) มีแนวโน้มลดลงจาก 7.91×10^{-6} 4.42×10^{-6} และ 2.98×10^{-6} mA/cm² ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายโซเดียมฟอสเฟตจาก 4.92 6.56 และ 9.84 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ นั้นแสดงให้เห็นว่าอัตราการกัดกร่อนของโลหะมีค่าลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการทำปฏิกิริยาของผิวโลหะและฟอสเฟตไอออนของสารละลาย $Fe_3(PO_4)_2$ ทำให้เกิดฟิล์มป้องกันบนผิวเหล็ก ส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนลดลงด้วย [5, 16] และยังสอดคล้องกับประสิทธิภาพของการยับยั้งการกัดกร่อนโดยที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมฟอสเฟตเท่ากับ 9.84 กรัมต่อลิตร จะให้ประสิทธิภาพของการยับยั้งการกัดกร่อนสูงสุดถึง 96.51%

4.2 ผลความเข้มข้นของแทนนินที่สกัดจากฟ้าทะลายโจรที่มีต่อการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516-70

รูปที่ 4.1 เป็นกราฟโพลาริเซชันของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ถูกทดสอบในสารละลายกลีเซอรินที่ไม่มีและมีการเติมสารละลายแทนนินที่ความเข้มข้น 0.016 0.080 และ 0.160 กรัมต่อลิตรตามลำดับ พบว่าจากกราฟสามารถหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) และค่าความหนาแน่นกระแสการกัดกร่อน (Corrosion current density; i_{corr}) และประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน ได้ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกส์ โพลาริเซชันของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ไม่มีและมีการเติมสารละลายแทนนินที่ความเข้มข้นต่างๆในสารละลายกลีเซอริน

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ไม่มีและมีการเติมสารละลายแทนนินที่ความเข้มข้นต่างๆในสารละลายกลีเซอริน

ความเข้มข้นของแทนนิน (กรัมต่อลิตร)	ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน [E_{corr} (V)]	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน [I_{corr} (mA/cm ²)]	ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน (%)
ไม่เติม	-0.514	8.56×10^{-5}	-
0.016	-0.531	8.76×10^{-6}	89.77
0.080	-0.474	6.97×10^{-6}	91.86
0.160	-0.459	3.65×10^{-7}	99.57

จากรูปที่ 4.2 และ ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่จุ่มในกลีเซอรินที่ไม่มีและมีการเติมสารละลายแทนนินที่ความเข้มข้น 0.016 0.080 และ 0.160 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก -0.514 เป็น -0.459 V เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายแทนนินจาก 0.016 เป็น 0.160 กรัมต่อลิตร จะเห็นได้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเลื่อนไปทางบวกมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความต้านทานการกัดกร่อนมีมากขึ้นหรือความสามารถในการออกซิไดส์ของสารละลายมีน้อยลง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (I_{corr}) มีแนวโน้มลดลงจาก 8.76×10^{-6} 6.97×10^{-6} และ 3.65×10^{-6} mA/cm² ตามลำดับ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายแทนนินจาก 0.016 0.080 และ 0.160 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ นั่นแสดงให้เห็นว่าอัตราการกัดกร่อนของโลหะมีค่าลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากความสามารถดูดซับลงบนพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอนผ่านออกซิเจนอะตอมของแทนนิน ทำให้เกิดชั้นของสารอินทรีย์เคลือบอยู่บนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน ส่งผลให้การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของเหล็กเกิดได้ยากขึ้น [19] และยิ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพของการยับยั้งการกัดกร่อนโดยที่ความเข้มข้นแทนนินเท่ากับ 0.160 กรัมต่อลิตร จะให้ประสิทธิภาพของการยับยั้งการกัดกร่อนสูงสุดถึง 99.57 %

4.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินที่มีผลต่อการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในกลีเซอริน

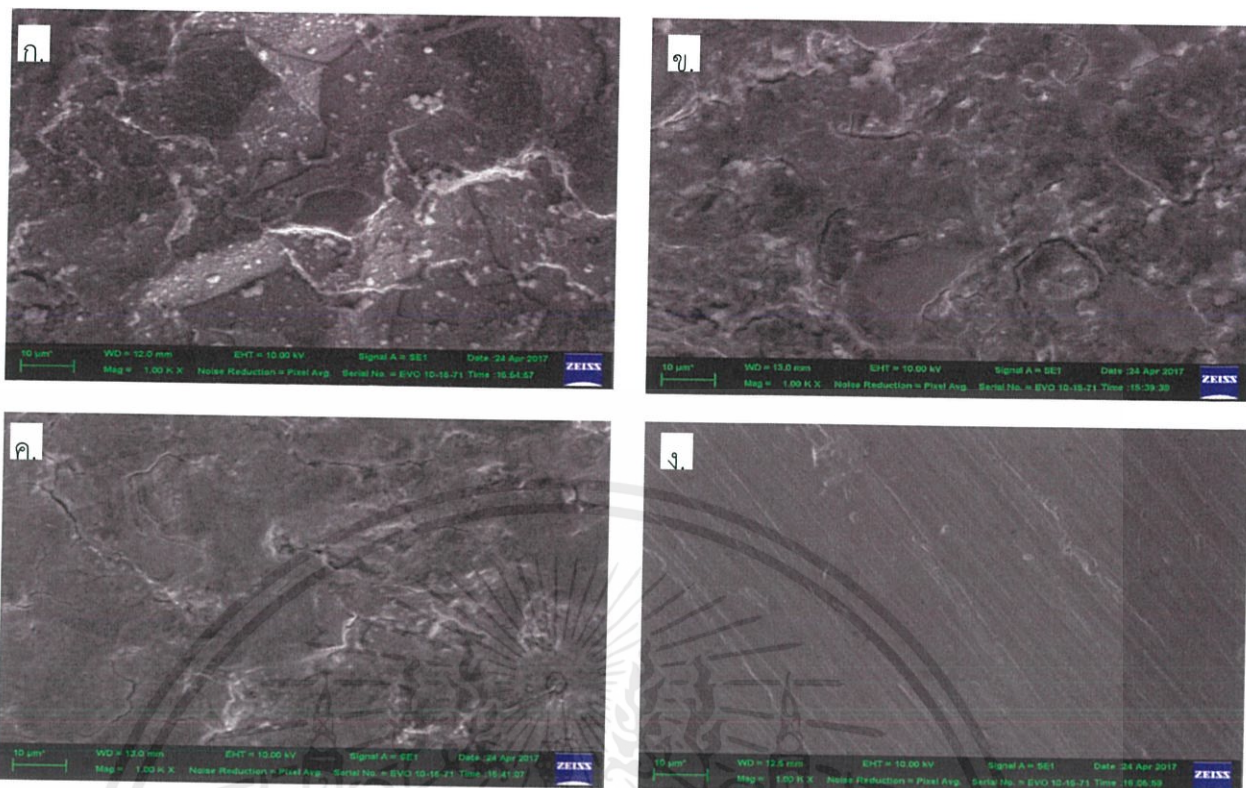
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ไม่มีและมีการเติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินที่ความเข้มข้นต่างๆในสารละลายกลีเซอริน

สารยับยั้ง	ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าการกัด กร่อน $[I_{corr} (mA/cm^2)]$	ประสิทธิภาพการยับยั้ง การกัดกร่อน (%)
โซเดียมฟอสเฟต	4.92	7.91×10^{-6}	90.77
	6.56	4.42×10^{-6}	94.84
	9.84	2.98×10^{-6}	96.51
แทนนิน	0.016	8.76×10^{-6}	89.77
	0.080	6.97×10^{-6}	91.86
	0.160	3.65×10^{-7}	99.57

ตารางที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินพบว่าประสิทธิภาพของสารทั้งสองใกล้เคียงกัน โดยประสิทธิภาพของการยับยั้งการกัดกร่อนสูงสุดของโซเดียมฟอสเฟตเท่ากับ 96.51% และประสิทธิภาพของการยับยั้งการกัดกร่อนสูงสุดของแทนนินเท่ากับ 97.57% นั้นแสดงว่าโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนได้ดี แต่เนื่องจากปริมาณการใช้แทนนินมีน้อยกว่าโซเดียมฟอสเฟต ดังนั้นแทนนินมีประสิทธิภาพของการยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีกว่าโซเดียมฟอสเฟต

4.4 ผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอนหลังจากแช่ในกลีเซอริน อุณหภูมิ 120 °C เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์

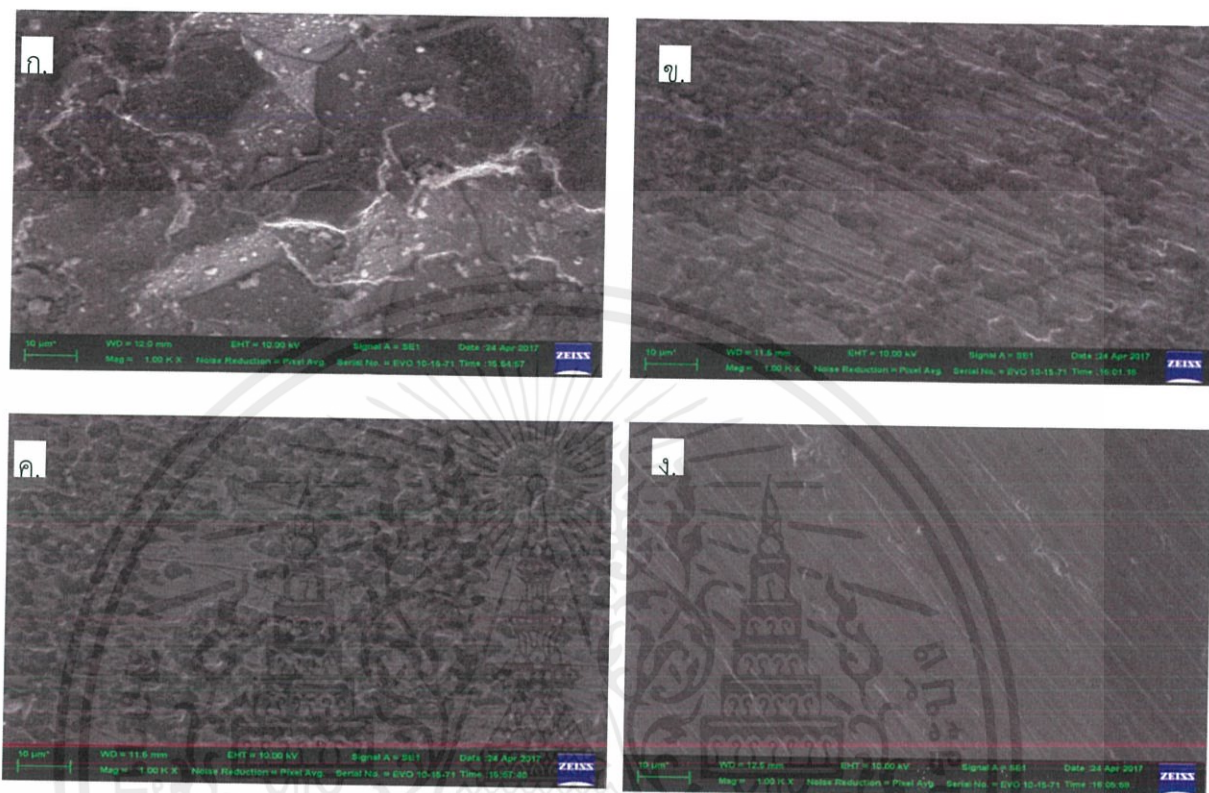
4.4.1 ผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอนหลังจากแช่ในกลีเซอรินที่ไม่มีและมีโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆที่ อุณหภูมิ 120 °C เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์



รูปที่ 4.3 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอนหลังจากจุ่มในกลีเซอรินที่ไม่มีและมีโซเดียมฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างๆที่ อุณหภูมิ 120 °C เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ก. ไม่เติม ข. 4.92 g/L ค. 6.56 g/L ง. 9.84 g/L

จากรูป ก. พื้นผิวที่เพิ่งผ่านการขัดของกระดาษทรายที่ยังไม่ได้แช่ลงในกลีเซอริน รูป ข. แสดงถึงการกัดกร่อนที่มากขึ้นหลังจากแช่ลงในกลีเซอรินโดยเติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟต 4.92 กรัมต่อลิตร รูป ค. แสดงถึงการกัดกร่อนที่พบอยู่แต่เริ่มน้อยลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายโซเดียมฟอสเฟตเป็น 6.56 กรัมต่อลิตร รูป ง. แสดงถึงการกัดกร่อนที่พบอยู่แต่เริ่มน้อยลงและยังเห็นรอยขีดจากกระดาษทรายเหมือนรูป ก. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายโซเดียมฟอสเฟตเป็น 9.84 กรัมต่อลิตร ส่วนสาเหตุที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโซเดียมฟอสเฟตแล้วทำให้พื้นผิวขรุขระน้อยลงหรือเกิดการกัดกร่อนได้ลง มาจากการเกิดขึ้นฟิล์ม $Fe_3(PO_4)_2$ เกิดขึ้นทำให้ขัดขวางออกซิเจนที่จะทำปฏิกิริยาบนผิวเหล็ก [5, 16]

4.4.2 ผลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอนหลังจากแช่ในกลีเซอรินที่ไม่มีและมีส่วนเติมแทนนินที่ความเข้มข้นต่างๆที่ อุณหภูมิ 120 °C เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์



รูปที่ 4.4 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอนหลังจากจุ่มในกลีเซอรินที่ไม่มีและมีส่วนเติมแทนนินที่ความเข้มข้นต่างๆที่ อุณหภูมิ 120 °C เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ ก. ไม่เติม ข. 0.016 g/L ค. 0.08 g/L ง. 0.160 g/L

จากรูป ก. พื้นผิวที่เพิ่งผ่านการขัดของกระดาษทรายที่ยังไม่ได้แช่ลงในกลีเซอริน รูป ข. แสดงถึงการกัดกร่อนที่มากขึ้นหลังจากแช่ลงในกลีเซอรินโดยเติมสารละลายแทนนิน 0.0160 กรัมต่อลิตร รูป ค. แสดงถึงการกัดกร่อนที่พบอยู่แต่เริ่มน้อยลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายแทนนิน เป็น 0.080 กรัมต่อลิตร รูป ง. แสดงถึงการกัดกร่อนที่พบอยู่แต่เริ่มน้อยลงและยังเห็นรอยขีดจากกระดาษทรายเหมือนรูป ก. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลายแทนนิน เป็น 0.160 กรัมต่อลิตร ส่วนสาเหตุที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแทนนิน แล้วทำให้พื้นผิวขรุขระน้อยลงหรือเกิดการกัดกร่อนได้น้อยลง มาจากการเกิดชั้นฟิล์มของสารอินทรีย์เกิดขึ้นโดยดูดซับผ่านออกซิเจนอะตอมของแทนนินจะทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันบนพื้นผิวเหล็กเกิดได้ยากขึ้น การกัดกร่อนจึงลดลงด้วย [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมฟอสเฟตที่มีต่อเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516-70 ที่แช่ในกลีเซอรินที่เติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟต 4.92 6.56 และ 9.84 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอดินามิกส์โพลาริเซชัน ในการหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนและประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเพิ่มทางบวกมากขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มของความต้านทานการกัดกร่อนได้มากขึ้น ส่วนค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนซึ่งเป็นตัวแปรที่หมายถึงอัตราการกัดกร่อนนั้น มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดฟิล์มบนชั้นผิวโลหะทำให้ยับยั้งการกัดกร่อนได้ นอกจากนี้ยังได้ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนสูงถึง 96.51% ด้วย ดังนั้นโซเดียมฟอสเฟตจึงทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนได้ดี

5.1.2 จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของแทนนินที่สกัดจากฟ้าทะลายโจรที่มีต่อเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516-70 ที่แช่ในกลีเซอรินที่เติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟต 0.016 0.080 และ 0.160 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอดินามิกส์โพลาริเซชัน ในการหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนและประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเพิ่มทางบวกมากขึ้น แสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มของความต้านทานการกัดกร่อนได้มากขึ้น ส่วนค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนซึ่งเป็นตัวแปรที่หมายถึงอัตราการกัดกร่อนนั้น มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากการดูดซับบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน ผ่านทางออกซิเจนอะตอมของแทนนิน ทำให้เกิดชั้นสารอินทรีย์เคลือบบนผิวเหล็กกล้าคาร์บอน ส่งผลให้ยับยั้งการกัดกร่อนได้ นอกจากนี้ยังได้ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนสูงถึง 97.57% ด้วย ดังนั้นสารแทนนินจึงทำหน้าที่เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนได้ดี

5.3.3 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของโซเดียมฟอสเฟตกับแทนนินที่สกัดจากฟ้าทะลายโจร พบว่าสารทั้งสองมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากแทนนินมีปริมาณการใช้น้อยกว่าโซเดียมฟอสเฟต จึงอาจกล่าวได้ว่าแทนนินมีประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีกว่าโซเดียมฟอสเฟต

5.3.4 จากรูปภาพของเหล็กกล้าคาร์บอนที่แช่ในกลีเซอรินที่อุณหภูมิ 120 °C ระยะเวลา 6 สัปดาห์ที่ได้จากการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของทั้ง โซเดียมฟอสเฟตและแทนนิน ทำให้พื้นผิวเหล็กกล้าถูกกัดกร่อนน้อยลงหรือขรุขระน้อยลง อันเนื่องมาจากการเกิดชั้นฟิล์มขึ้นบนผิวเหล็กกล้า ทำให้เกิดการขัดขวางออกซิเจนอะตอมที่จะทำปฏิกิริยาบนผิวเหล็กกล้า ซึ่งก็คือการกัดกร่อนนั่นเอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการวิจัยสำหรับสารทั้งสอง คือ โซเดียมฟอสเฟตและแทนนินเพื่อหาระยะเวลาการเกิดฟิล์มบนชั้นผิวเหล็กกล้า ว่าสามารถจะอยู่บนชั้นผิวได้เป็นระยะเวลาานเท่าไรหรือมีการเติมปริมาณสารความเข้มข้นเท่าใดที่จะทำให้เกิดฟิล์มบนชั้นเหล็กตามระยะเวลาที่กำหนด

5.2.2 ควรมีการวิจัยสำหรับสารแทนนินซึ่งเป็นสารสกัดที่ได้จากธรรมชาติในแง่ของการเน่าเสียว่ามีความเสถียรของสารสกัดมากน้อยเพียงใด เพื่อที่จะนำมาใช้ได้จริงในเชิงพาณิชย์ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Finsgar, J. Jackson. Application of corrosion inhibitors for steels in acidic acid media for the oil and gas industry: A review. *Corrosion Science*, 2014(86), 17-41
- [2] อมร อุดเสนและคณะ. 2007. *การทำกลีเซอรอลจากผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซลให้บริสุทธิ์*. ปรินญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [3] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. พื้นฐานการกัดกร่อนของโลหะและหลักการเลือกใช้วัสดุ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://goo.gl/QQfPco>. 5 ตุลาคม 2559
- [4] M. G. Fontana. (1987). *Corrosion Engineering*, McGraw-Hill Co, Singapore
- [5] พงศธร มานะโส และราชัญ อนันต์เอื้อ. 2015. *การศึกษาผลของความเข้มข้นของโซเดียมฟอสเฟตที่มีต่อการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้มฆ่าในโรงงานผลิตไบโอดีเซล*. ปรินญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [6] William D. Callister, Jr. and David G. Rethwisch. (2014). *Materials Science and Engineering: An Introduction*, (8th ed). New York: John Wiley & Sons.
- [7] สมฤกษ์ จันทอัมพร. (2558). *หลักการพื้นฐานของการกัดกร่อน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] Zaki Ahmad. (2006). *Principles of corrosion engineering and corrosion control*. Amsterdam: Sevier.
- [9] รัตนา อินทรานุปรณ์. (2550). *การตรวจสอบและการสกัดแยกสารสำคัญจากสมุนไพร*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [10] R.T. Loto, C.A. Loto and T. Fedotova. Inhibition Effect of N, N'-Dimethylaminoethanol on the Corrosion of Austenitic Stainless steel Type 304 in 3M H₂SO₄, *International Journal of Electrochemical Science*, 2013(7), 10763-10778.
- [11] อธิชา วิทยาภรณ์. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับสมุนไพร. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://pharmacyjpr.blogspot.com/2010/04/food-poisoning-straphyllococcus.html>. 5 พฤศจิกายน 2559
- [12] AZO materials. ASTM A516 Grade 70 and ASME SA516 grade 70 Carbon Steel Plate for Boiler and Pressure Vessel by Masteel. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://goo.gl/86hc32>. 5 ตุลาคม 2559

- [13] Max steel. คุณสมบัติของธาตุต่างๆ เมื่อผสมลงไปเหล็ก. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://goo.gl/aM7YL2>. 5 ตุลาคม 2559
- [14] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบทางโครงสร้างจุลภาค Scanning electron microscope: SEM. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://goo.gl/QQfPco>. 5 ตุลาคม 2559
- [15] แม้น อมรสิทธิ์. (2534). *หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์
- [16] G. Kilinceker, B. Yazici, M. Erbil, *The Effect of phosphate ions (PO_4^{3-}) on the corrosion of iron in Sulphate*. Department of Chemistry Eastern Mediterranean University, 41-50.
- [17] S. Liu, N. Xu, J Duan, Z. Zeng, Z. Feng, R. Xiao. Corrosion inhibition of carbon steel in tetra-n-butrylammonium bromide aqueous solution by benzotriazole and Na_3PO_4 . *Corrosion Science*, 2009(51), 1356-2363.
- [18] Sali. The effect of phosphate corrosion inhibitor on steel in synthetic concrete solution. *Advance in Material Research*; 2013, Vol. 2, No. 3, 155-172.
- [19] มัณฑนา จริยาบุรณ์. 2556. การศึกษาสารหน่วงการกัดกร่อนจากธรรมชาติ. รายงานฉบับสมบูรณ์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [20] N. Kumpawat, A. Chaturvedi, R. K. Upadhyay. A comparison study of corrosion inhibition efficiency of stem and leaves extract of *Ocimum sanctum* (Holy Basil) for mild steel in HCl solution. *Protection of metals and physical chemistry of surfaces*, 2010, Vo. 46, No. 2, 267-270.
- [21] EL-Etre, A.Y., Abdallah, M., El-Tantawy, Z.E. Corrosion inhibition of some metals using lawsonia extract. *Corrosion Science*, 2013(47), 385-395.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก ความเข้มข้นที่แท้จริงของโซเดียมฟอสเฟตและแทนนิน

ตาราง ก-1 ปริมาณโซเดียมฟอสเฟตที่อยู่ในกลีเซอริน

ชั้นงาน	ความเข้มข้นที่แท้จริงของ โซเดียมฟอสเฟตต่อกลีเซอริน 1 ลิตร (g/L)	ความเข้มข้นของ โซเดียมฟอสเฟตที่เติม ในกลีเซอริน (M)
A1	0.75	4.92
A2	1.00	6.56
A3	1.50	9.84

ตัวอย่างการคำนวณ 1

การเตรียมสารละลายกลีเซอริน 250 ml ที่เติมสารละลายโซเดียมฟอสเฟตความเข้มข้น 0.75 M ในปริมาณ 10 ml จะใช้โซเดียมฟอสเฟต 30.75 กรัม ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 250 ml

ดังนั้น ในสารละลายโซเดียมฟอสเฟต 10 ml จะมีปริมาณโซเดียมฟอสเฟต = $\frac{30.75 \times 10}{250} = 1.23$ กรัม จะได้ $1.23 \times \frac{1,000}{250} = 4.92$ กรัมของโซเดียมฟอสเฟตต่อกลีเซอริน 1 ลิตร

ตาราง ก-2 ปริมาณแทนนินที่อยู่ในกลีเซอริน

ชั้นงาน	ความเข้มข้นที่แท้จริงของ โซเดียมฟอสเฟตต่อกลีเซอริน 1 ลิตร (g/L)	ความเข้มข้นของ โซเดียมฟอสเฟตที่เติม ในกลีเซอริน (M)
B1	0.010	0.016
B2	0.050	0.080
B3	0.100	0.160

ตัวอย่างการคำนวณ 2

ชั่งแทนนิน 1 g ที่ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 250 ml ดังนั้น ในสารละลายแทนนิน 10 ml จะมีปริมาณ = $\frac{1 \times 250}{260} = 0.160$ กรัมแทนนินต่อกลีเซอริน 1 ลิตร

ภาคผนวก ข. ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน

ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน หาได้จากสูตร [7]

$$\%IE = (i - i_{\text{inhibit}}) / i \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ

$\%IE$ = ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน

i = ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน

i_{inhibit} = ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนเมื่อเติมสารยับยั้ง

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตารางที่ 4.2 จะได้ว่าเมื่อไม่เติมและเติมแทนนินความเข้มข้น 0.160 g/l จะได้ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน

$$\begin{aligned} \%IE &= [(3.65 \times 10^{-7} - 7.91 \times 10^{-6}) / 3.65 \times 10^{-7}] \times 100 \\ &= 99.57\% \end{aligned}$$