

การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้มซ้ำใน
โรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลัง



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้มซ้ำใน
โรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยแทนนินที่สกัดจากไขมันลำปะหลัง



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Corrosion Inhibition of Carbon Steel used as a Reboiler Material for
Biodiesel Plant with Tannin extracted from Cassava Leaves

Sukrit Pateepplephon

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 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้ม้ำใน
โรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลัง
โดย นายสุกฤษฎี ปทีปผล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วลัยรัตน์ จันทรัมย์พร
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



วลัยรัตน์ จันทรัมย์พร
(ผศ.ดร. วลัยรัตน์ จันทรัมย์พร)

ประธานกรรมการ

อนรรณ พิณรัตน์

กรรมการ

(ผศ.ดร. ชนวรรณ พิณรัตน์)

ดร. ณัฐนนท์ ไพบูลย์ศิลป์

กรรมการ

(ดร. ณัฐนนท์ ไพบูลย์ศิลป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์	การป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้มซ้ำในโรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยแทนนินที่สกัดจากไบมันสำปะหลัง
โดย	นายสุกฤษฎี ปทีปพลีผล
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วัลย์รัตน์ จันทระอัมพร

บทคัดย่อ

ปริญญาานิพนธ์นี้ได้ศึกษาพฤติกรรมและกลไกในการยับยั้งการกัดกร่อนของแทนนินที่สกัดจากไบมันสำปะหลัง รวมทั้งผลกระทบของความเข้มข้นของแทนนินและเวลา ต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้มซ้ำสำหรับกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล รวมไปถึงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนกับแทนนินที่สกัดจากฟ้าทลายโจรและไซเตียมฟอสเฟต ในปริญญาานิพนธ์นี้ ชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนถูกแช่อยู่ในสารละลายแทนนินที่ความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร เป็นเวลา 6 และ 9 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่ามีชั้นของธาตุเหล็ก ออกซิเจน และคาร์บอน ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของสารประกอบเฟอร์ริกแทนเนต บนพื้นผิวของชิ้นงานที่แช่อยู่ในสารละลายแทนนินในช่วง 9 สัปดาห์ ซึ่งสารประกอบเฟอร์ริกแทนเนตจะถูกสร้างขึ้นจากการสร้างพันธะระหว่าง แทนนินและผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกัดกร่อนบนพื้นผิวของชิ้นงาน โดยที่ชั้นของสารประกอบเฟอร์ริกแทนเนตนั้น สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ และจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีการหาน้ำหนักที่หายไปโดยการพล็อตกราฟระหว่างน้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่ของชิ้นงานที่แช่ในสารละลายแทนนินเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร เทียบกับเวลา พบว่าอัตราการกัดกร่อนซึ่งหาได้จากความชันของกราฟ ของชิ้นงานที่แช่ในสารละลายแทนนินเข้มข้น 0.32 กรัมต่อลิตร มีค่าสูงกว่าประมาณ 1.41 เท่า นอกจากนี้ยังได้ศึกษาพฤติกรรมการกัดกร่อนด้วยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกโพลาริเซชัน พบว่าการใช้แทนนิน ที่ความเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตร เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนมีค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนดีกว่าที่ความเข้มข้น 0.32 กรัมต่อลิตร เนื่องจากโมเลกุลของแทนนินที่ดูดซับลงบนพื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนเกิดการคายซับ และในส่วนของ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนนั้นพบว่าแทนนินที่สกัดจากฟ้าทลายโจรมีประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมาคือ แทนนินที่สกัดจากไบมันสำปะหลัง และ ไซเตียมฟอสเฟต ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Corrosion Inhibition of Carbon Steel used as a Reboiler Material for Biodiesel Plant with Tannin extracted from Cassava Leaves

By Mr. Sukrit Pateepplephon

Degree Bachelor of Engineering

Program Chemical Engineering

Year 2017

Advisor Asst. Prof. Dr. Walairat Chandra-ambhorn

ABSTRACT

This research studied the behavior of corrosion inhibition of tannin extracted from cassava leaves including the effect of tannin concentration and time on inhibitor efficiency of carbon steel grades ASTM A516-70 used as a reboiler material for glycerin separation in biodiesel plants. Finally, the inhibitor efficiency was compared with that of tannin extracted from *Andrographis paniculata* and sodium phosphate. In this work, specimens were immersed in 0.16 and 0.32 g/L of tannin solution for 6 and 9 weeks at 120 °C. Through Energy Dispersive X-ray Spectrometer and Scanning electron microscope analysis, iron, oxygen, and carbon layer which are the main constituents of ferric tannate were found on the surface of specimens immersed for 9 weeks. Ferric tannate was formed by bonding between tannin and corrosion product on the surface of the specimens and this layer could prevent corrosion. Through weight loss method, it was found that the slope of the graph which plot between weight loss per area and time that represent the corrosion rate of each specimens. The slope of specimen in 0.32 g/L tannin solution is about 1.41 times higher than specimen in 0.16 g/L tannin solution. Furthermore, the corrosion behavior of carbon steel was investigated by potentiodynamic polarization technique. From the analytical results, it could be found that the inhibitor efficiency of tannin at 0.16 g/L was greater than that at 0.32 g/L because tannin molecule could desorb from the specimen surfaces. Comparing with tannin extracted from *Andrographis paniculata* and sodium phosphate, it could found that the inhibitor efficiency of these three inhibitors decreased in the order of tannin extracted from *Andrographis paniculata* > tannin extracted from cassava leaves > sodium phosphate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วลัยรัตน์ จันทรัมย์พร อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโทที่ช่วยแนะนำและให้ความรู้ พร้อมทั้งให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานวิจัยนี้ ทำให้การจัดการปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณจุฑาลักษณ์ วงศ์ชัยชนะ หัวหน้าโครงการสารสนเทศนินจากไบมันสำปะหลัง ที่ได้เอื้อเพื่อสารสนเทศที่สกัดจากไบมันสำปะหลัง มาให้ใช้ในการทำงานวิจัยนี้

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในแต่ละรายวิชา เพื่อให้ผู้จัดทำสามารถนำความรู้ที่ได้มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้

วิทยาลัยนวัตกรรมการผลิตขั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆในการทำปริญญาโทเล่มนี้

ครอบครัวของผู้วิจัย ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัย ให้คำปรึกษาและกำลังใจมาโดยตลอด

นายสุกฤษฎี ปทีปผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตโครงการ.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การกัดกร่อน.....	4
2.2 กลไกการกัดกร่อน.....	4
2.3 อัตราการเกิดการกัดกร่อน.....	4
2.4 โพลาริเซชัน.....	5
2.5 ประเภทของการกัดกร่อน.....	6
2.6 สารยับยั้งการกัดกร่อน.....	7
2.7 แทนนิน.....	7
2.8 มันสำปะหลัง.....	7
2.9 เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70.....	8
2.10 กระบวนการกลั่นแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล.....	8
2.11 เครื่องมือและวิธีการที่ใช้ทดสอบ.....	9
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการทดลอง.....	15
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	15
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	16
3.3 วิธีการทดลอง.....	17
3.4 แผนการดำเนินงาน.....	20
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	21
4.1 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวของชิ้นงานหลังจากแช่ในสารละลายยกลีเซอร์รินที่เติมสารแทนนิน เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน.....	21
4.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการกัดกร่อนด้วยวิธีการหาน้ำหนักที่หายไป.....	23
4.3 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	24
4.4 การทำโพลาริเซชันของสารแทนนินที่ความเข้มข้นต่างๆที่มีต่อการยับยั้งการกัดกร่อน ของเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516-70.....	26
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	31
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	31
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	33
เอกสารอ้างอิง.....	34
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการสกัดสารแทนนินจากไขมันสำปะหลัง.....	38
ภาคผนวก ข ความเข้มข้นที่แท้จริงของแทนนินที่สกัดจากไขมันสำปะหลัง.....	39
ภาคผนวก ค คำนวณน้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่.....	40
ภาคผนวก ง ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ราคาของพีซีที่มีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบ.....	2
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของ เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70.....	8
ตารางที่ 3.1 สภาวะจำลองในการศึกษาการใช้แทนนินที่สกัดจากไขมันสำปะหลังในการยับยั้งการกัดกร่อนในเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้ม้ำในกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล.....	17
ตารางที่ 3.2 แผนการดำเนินงาน.....	20
ตารางที่ 4.1 ร้อยละของธาตุบนพื้นผิวของชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM 516-70.....	22
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่ไม่มีและมีการเติมแทนนินที่สกัดจากไขมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตรลงในสารละลายกลีเซอริน.....	27
ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนและประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนโดยใช้สารแทนนินที่สกัดจากไขมันสำปะหลังกับแทนนินที่สกัดจากฟ้าทลายโจรและไซเดียมฟอสเฟต.....	29
ตาราง ข-1 ปริมาณแทนนินที่สกัดจากไขมันสำปะหลังที่อยู่ในสารละลายกลีเซอริน.....	39
ตาราง ค-1 น้ำหนักที่หายไปของแต่ละชิ้นงาน.....	40
ตาราง ค-2 พื้นที่ผิวที่เกิดการกัดกร่อนของแต่ละชิ้นงาน.....	41
ตาราง ค-3 น้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่ของแต่ละชิ้นงาน.....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 กราฟโพลาริเซชันของโลหะสังกะสีในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก.....	5
รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของธาตุต่างๆ บนพื้นผิวของชิ้นงานที่ 1.....	21
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของธาตุต่างๆ บนพื้นผิวของชิ้นงานที่ 2.....	22
รูปที่ 4.3 น้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่กับเวลาของชิ้นงานที่แช่ในสารละลายกลีเซอรินที่เติม แทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังที่มีความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส.....	23
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอนทั้งก่อน จุ่มสารละลายกลีเซอริน (ก) และหลังจุ่มสารละลายกลีเซอรินที่เติมสารแทนนินที่มีความเข้มข้น และ ระยะเวลาต่างๆ (ข) 0.16 g/L 6 สัปดาห์ (ค) 0.32 g/L 6 สัปดาห์ (ง) 0.16 g/L 9 สัปดาห์ (จ) 0.16 g/L 9 สัปดาห์.....	25
รูปที่ 4.5 กราฟโพเทนซีโอไดนามิกส์โพลาริเซชันของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ไม่มีและมีการเติม แทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังที่มีความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร ลงในสาร ละลายกลีเซอริน.....	26
รูปที่ 4.6 กลไกการดูดซับ คายซึบ บนพื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอน และพันธะระหว่างโมเลกุลของ สารแทนนิน.....	28

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันไบโอดีเซลมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นความจำเป็นที่ประเทศไทย รวมถึงประเทศต่างๆบนโลกต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนแหล่งเชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่กำลังจะหมดลง จึงทำให้การหาแหล่งพลังงานใหม่ขึ้นมาทดแทนจึงนับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญ

ไบโอดีเซล คือ เชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากการนำน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์ หรือแม้แต่ไขมันที่เหลือจากการทอดอาหารมาผ่านกระบวนการทางเคมี โดยในกระบวนการผลิตนั้นจะผสมน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์แอลกอฮอล์ ทำปฏิกิริยากันจนได้เชื้อเพลิง เพื่อใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งกระบวนการผลิตไบโอดีเซลนั้น จะได้กลีเซอริน (Glycerin) เป็นผลพลอยได้ (By-product) ซึ่งสามารถนำไปสร้างมูลค่าเพิ่มได้โดยการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆต่อไป โดยกลีเซอรินนั้นต้องผ่านกระบวนการที่ทำให้บริสุทธิ์โดยกระบวนการกลั่น ซึ่งในขั้นตอนแรกไบโอดีเซลจะถูกนำมากำจัดน้ำส่วนเกินออก ภายใต้ อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นจะนำไปปั่นรวมกับสารละลายแอลกอฮอล์ และกลีเซอรินจะถูกแยกออกทางกันดั้ม และสุดท้ายกลีเซอรินถูกนำไปกลั่นในหอกลั่นซึ่งมีหม้อต้มฆ่าทำ จากวัสดุที่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนจนได้กลีเซอรินที่บริสุทธิ์ตามที่ต้องการ

การกัดกร่อน (Corrosion) เป็นปัญหาหลักในภาคอุตสาหกรรมมาอย่างยาวนาน โดยเฉพาะการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งเป็นเหล็กกล้าที่มีการนำมาใช้มากที่สุด อาจมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 90 โดยข้อมูลที่ได้มีการสำรวจในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา พบว่าการสูญเสียงบประมาณ (Direct cost) ที่เกิดจากการกัดกร่อนประมาณ ร้อยละ 3.1 ของ GDP โดยจากการสำรวจในปี ค.ศ. 1999-2001 และรายงานในปี ค.ศ. 2002 คิดเป็นเงินประมาณ 276 พันล้านเหรียญดอลลาร์สหรัฐอเมริกา หรือคิดเป็นเงินไทยประมาณ 10 ล้านล้านบาท ซึ่งยังไม่ับความสูญเสียทางอ้อม (indirect cost) ซึ่งมีมูลค่านับเป็นอีกประมาณหนึ่งเท่าตัว ซึ่งเมื่อนำมารวมกันก็มีมูลค่าประมาณ ร้อยละ 6 ของ GDP และประเทศที่กำลังพัฒนา จากการคาดการณ์น่าจะมีการสูญเสียงบประมาณที่เกิดจากการกัดกร่อนประมาณ ร้อยละ 3-5 ของ GDP โดยสำหรับประเทศไทยนั้น ในปี 2008 มี GDP ประมาณ 280 พันล้านเหรียญดอลลาร์สหรัฐอเมริกา ดังนั้นประเทศไทยจะมีความเสียหายที่เกิดจากการกัดกร่อนคิดเป็นมูลค่าประมาณ 8.3 พันล้านเหรียญดอลลาร์สหรัฐอเมริกา โดยคิดแค่ ร้อยละ 3 ของ GDP แต่ในความเป็นจริงแล้วประเทศไทยน่าจะมีความเสียหายที่เกิดจากการกัดกร่อนอยู่ในช่วง ร้อยละ 5-10 ซึ่งนับเป็นมูลค่ามหาศาล [1]

การป้องกันการกัดกร่อนนั้นปัจจุบันทำได้หลากหลายวิธี อาทิเช่น การเลือกใช้วัสดุ (Material Selection) โดยควรเลือกวัสดุที่มีค่าศักย์ไฟฟ้าใกล้เคียงกันมาสร้างอุปกรณ์ การออกแบบ (Design) โดยออกแบบให้พื้นที่ส่วนแอโนดต่อพื้นที่ส่วนแคโทดมีค่าสูง ซึ่งจะทำให้ลดการกัดกร่อนแบบ Galvanic ได้ดีกว่า วิธีการทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical methods) ซึ่งประกอบไปด้วย Cathodic Protection โดยในระบบต้องมีวัสดุอื่นซึ่งทำหน้าที่เป็นแอโนดตัวแทนต่อเข้ากับโลหะที่ต้องการจะป้องกันการกัดกร่อน และ Anodic Protection โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปที่โลหะจากภายนอก ทำให้โลหะสร้างชั้นฟิล์มที่เสถียร (Protective Film) ที่ผิว ซึ่งใช้ได้กับโลหะบางประเภท และวิธีที่ง่าย และเหมาะสมที่สุดในการป้องกันการกัดกร่อนของหม้อต้มซ้่า คือ การใส่สารที่ช่วยยับยั้งการกัดกร่อน ซึ่งสารที่ยับยั้งการกัดกร่อนที่ได้รับความนิยม อาทิเช่น โครเมต (Chromate) ไนไตรท์ (Nitrite) โซเดียมฟอสเฟต (Sodium Phosphate)

นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการศึกษาและวิจัยกันอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ได้จากพืชและสมุนไพร เพื่อลดการนำเข้าสารที่ยับยั้งการกัดกร่อนจากต่างประเทศ ซึ่งตัวอย่างของสารที่สกัดได้และนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ แทนนิน (Tannin) ซึ่งพบมากในพืชหลายชนิด อาทิเช่น ใบมันสำปะหลัง ฟ้ายทลายโจร กาแฟ ข้าวโพด กล้วย ผลมะขาม ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับราคาและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แล้ว พบว่า ใบมันสำปะหลังมีความคุ้มค่าสูงสุด แสดงได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ราคาของพืชที่มีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบ

ชนิดของพืช	ราคา (บาทต่อกิโลกรัม)
ใบมันสำปะหลัง	7
ฟ้ายทลายโจร	200
กาแฟ	250
ข้าวโพด	20
กล้วย	30
ผลมะขาม	12

ดังนั้นงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการใช้แทนนินที่สกัดจากพืช คือ ใบมันสำปะหลัง มาใช้ยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้มซ้่าในกระบวนการกลั่นกลีเซอรินให้บริสุทธิ์จากโรงงานผลิตไบโอดีเซล โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายแทนนินที่เวลาต่างๆ

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมและกลไกในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 โดยใช้แทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาอิทธิพลของเวลาในการใช้แทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนที่มีต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน
- 1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นในการใช้แทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนที่มีต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน
- 1.2.4 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังกับแทนนินที่สกัดจากฟ้าทลายโจรและโซเดียมฟอสเฟต

1.3 ขอบเขตโครงการงาน

- 1.3.1 ศึกษาพฤติกรรมและกลไกในการยับยั้งการกัดกร่อน โดยใช้แทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อน
- 1.3.2 ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังที่ระยะเวลา 6 และ 9 สัปดาห์ ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส
- 1.3.3 ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตร และ 0.32 กรัมต่อลิตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงพฤติกรรมและกลไกในการยับยั้งการกัดกร่อนเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516-70 โดยใช้แทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อน
- 1.4.2 ทราบถึงระยะเวลาที่เหมาะสมในการใช้แทนนินเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อน
- 1.4.3 ทราบถึงแนวโน้มของประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายแทนนิน และความเป็นไปได้ในการใช้แทนนินเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด ASTM A516-70 ที่ใช้เป็นวัสดุในหม้อต้มฆ่า ในโรงงานผลิตไบโอดีเซล
- 1.4.4 ทราบถึงตัวยับยั้งการกัดกร่อนที่มีแนวโน้มเหมาะสมที่สุดในการใช้ยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด ASTM A516-70 ที่ใช้เป็นวัสดุในหม้อต้มฆ่า ในโรงงานผลิตไบโอดีเซล โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลัง แทนนินที่สกัดจากฟ้าทลายโจร และโซเดียมฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

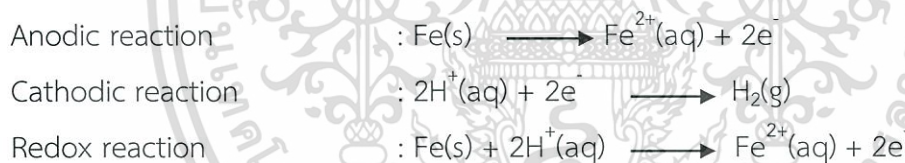
2.1 การกัดกร่อน

การกัดกร่อน หมายถึง การที่วัสดุเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีและแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้ากับสิ่งแวดล้อม ทำให้วัสดุเกิดการเสื่อมสภาพ หรือทำให้อายุการใช้งานของวัสดุนั้นลดลง ซึ่งการกัดกร่อนนับเป็นปัญหาหลักทางด้านวิศวกรรมที่สำคัญและควรจะมีการศึกษาเพื่อหาวิธีการป้องกันที่เหมาะสมเพื่อลดหรือยับยั้งไม่ให้เกิดการกัดกร่อนนั้นเกิดขึ้น

2.2 กลไกการกัดกร่อน

ปฏิกิริยาการกัดกร่อนนั้นแบ่งออกเป็น 2 ปฏิกิริยาย่อย นั่นคือ ปฏิกิริยาด้านแอโนด (Anodic reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาการจ่ายอิเล็กตรอน และ ปฏิกิริยาด้านแคโทด (Cathodic reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยารับอิเล็กตรอน และเมื่อนำปฏิกิริยาทั้ง 2 มารวมกันจะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox reaction)

ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อน เช่น การนำเหล็กไปแช่ลงในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ปฏิกิริยาทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีดังนี้ [2]



2.3 อัตราการเกิดการกัดกร่อน

อัตราการเกิดการกัดกร่อน หมายถึง ในช่วงเวลาช่วงหนึ่งนั้น วัสดุที่เราสนใจเกิดการกัดกร่อนมากน้อยเพียงใด ซึ่งอัตราการเกิดการกัดกร่อนนั้นจัดว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญมากในการทำนายพฤติกรรมของการกัดกร่อน รวมถึงความเสียหายที่เกิดจากการกัดกร่อน ซึ่งวิธีการในการหาค่าอัตราการเกิดการกัดกร่อนประกอบไปด้วยหลายวิธี อาทิเช่น Weight loss method, Weight gain method และ Electrochemical techniques เป็นต้น โดยวิธี Electrochemical techniques จะสามารถหาค่าได้จาก 2 สภาวะ คือ ที่สภาวะสมดุล และที่นอกเหนือสภาวะสมดุล ซึ่งที่นอกเหนือสภาวะสมดุลจะหาในเทอมของ “โพลาริเซชัน (Polarization)” [2]

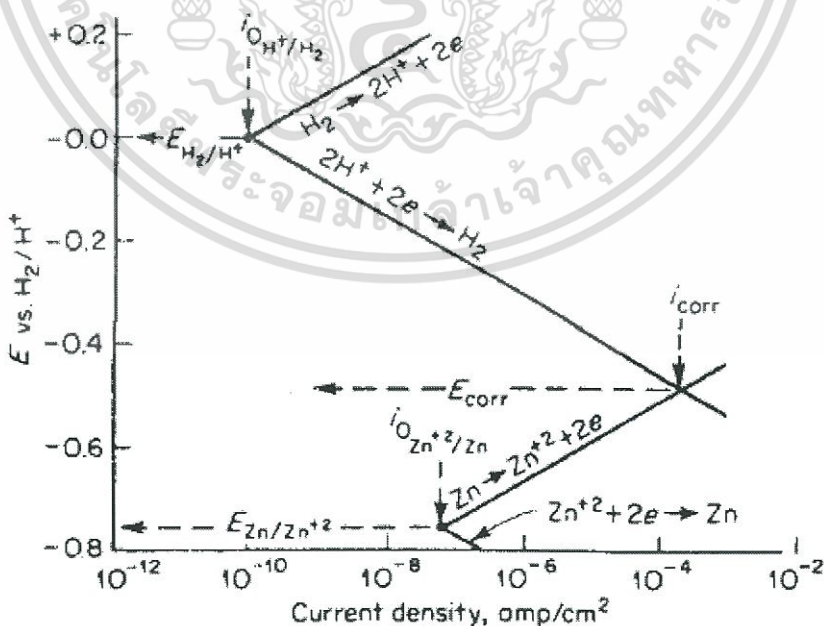
2.4 โพลาริเซชัน

โพลาริเซชัน คือ ค่าที่เบี่ยงเบนไปจากค่าสมดุลของศักย์ไฟฟ้าซึ่งขนาดของโพลาริเซชันหาได้จาก ผลต่างของค่าศักย์ไฟฟ้าของสภาวะหนึ่งๆกับค่าศักย์ไฟฟ้าของวงจรที่เปิด (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน เกิดเฉพาะผิวหน้าของโลหะเท่านั้น) ซึ่งโพลาริเซชันนั้นสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ แอกติเวชัน โพลาริเซชัน และ คอนเซนเทรชันโพลาริเซชัน

แอกติเวชัน โพลาริเซชัน หมายถึง การเกิดโพลาริเซชันโดยที่ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นถูกควบคุมโดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวของโลหะและสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งจะเกิดโพลาริเซชันชนิดนี้กับ ระบบที่มีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นสูง

คอนเซนเทรชัน โพลาริเซชัน หมายถึง การเกิดโพลาริเซชันโดยที่ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นถูกควบคุมโดยการแพร่ของสารละลายอิเล็กโทรไลต์มาที่บริเวณพื้นผิวของโลหะ ซึ่งจะเกิดโพลาริเซชันชนิดนี้กับ ระบบที่มีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีความเข้มข้นต่ำ

โดยในสภาวะของการกัดกร่อนที่เกิดจริงนั้น จะต้องคำนึงถึงปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ของทั้งโลหะและสารตัวกลางในการกัดกร่อน โดยเราสามารถหาศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{Corr}) และกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (I_{Corr}) จากการตัดกันระหว่างเส้นกราฟโพลาริเซชันของปฏิกิริยารีดักชันของสารตัวกลางในการกัดกร่อนกับเส้นกราฟโพลาริเซชันของปฏิกิริยาออกซิเดชันของโลหะ ดังรูปที่ 2.1 แสดงการหาค่า E_{Corr} และ I_{Corr} ของปฏิกิริยาการกัดกร่อนของโลหะสังกะสีในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก [2]



รูปที่ 2.1 กราฟโพลาริเซชันของโลหะสังกะสีในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ประเภทของการกัดกร่อน [3]

2.5.1 การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวหน้า (Uniform corrosion) ซึ่งในการกัดกร่อนลักษณะนี้โลหะจะเกิดการกัดกร่อนออกไปอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผิวหน้า

2.5.2 การกัดกร่อนแบบแกลวานิก (Galvanic or Two-metal corrosion) การกัดกร่อนแบบนี้ประกอบไปด้วยโลหะที่ต่างกัน 2 ชนิดที่ต่างก็สัมผัสสารอิเล็กโทรไลต์และเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า โดยโลหะที่เสถียรน้อยกว่าหรือมีค่าศักย์ไฟฟ้าต่ำกว่าจะถูกกัดกร่อน

2.5.3 การกัดกร่อนในซอก (Crevice corrosion) ในการกัดกร่อนแบบนี้ จะมีซอก รอยซ้อน หรือแผ่นประกบอันเป็นที่อับระหว่างโลหะที่สนใจกับวัสดุอีกชนิดหนึ่ง หรืออาจเป็นซอกภายในโครงสร้างโลหะเดียวกันนั้น ผลจากการมีซอกทำให้สารละลายเข้าไปซังและการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นอย่างรุนแรงในซอกนั้น

2.5.4 การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion) ในการกัดกร่อนประเภทนี้ โลหะจะมีการกัดกร่อนเฉพาะที่เป็นหลุมลึกบนชิ้นงาน

2.5.5 การกัดกร่อนแบบตามขอบเกรน (Intergranular corrosion) การกัดกร่อนแบบนี้จะเกิดขึ้นที่บริเวณขอบเกรนหรือข้างๆขอบเกรน ซึ่งมักเป็นผลมาจากการดำเนินกรรมวิธีทางความร้อนที่ไม่เหมาะสมกับโลหะ

2.5.6 การกัดกร่อนแบบเลือกธาตุ (Selective corrosion) การกัดกร่อนแบบนี้จะเกิดกับเฟสๆหนึ่งของโลหะผสม โดยที่ธาตุซึ่งละลายอยู่ในเฟสดังกล่าวจะมีความเสถียรน้อยกว่าธาตุอื่นจะถูกกัดกร่อนออกไป

2.5.7 การกัดกร่อนแบบเซาะลึก หรือ แบบกัดเซาะ (Erosion corrosion) ในการกัดกร่อนแบบนี้จะมีผลของการกัดกร่อนและการไหลของตัวกลางที่มีฤทธิ์กัดกร่อนเกิดขึ้นร่วมกันและส่งผลให้การกัดกร่อนรุนแรงขึ้น ตัวกลางดังกล่าวอาจเป็นของไหลเฟสเดียวหรือมีอนุภาคอยู่ในของไหลนั้นด้วยก็ได้

2.5.8 การแตกจากการกัดกร่อนร่วมกับความเค้น (Stress corrosion cracking) การกัดกร่อนแบบนี้เกิดจากการที่โลหะตกอยู่ภายใต้ภาระแรงดึงหรือแรงเฉือนขณะนำไปใช้งานหรือสัมผัสกับสภาวะแวดล้อมที่ทำให้โลหะนั้นไวต่อการแตกหักแบบดังกล่าว ผลที่เกิดขึ้น คือ ทำให้รอยแตกเกิดขึ้นในชิ้นงานและสามารถลุกลามออกไปก่อให้เกิดความวิบัติให้แก่ชิ้นงานได้

2.6 สารยับยั้งการกัดกร่อน

สารยับยั้งการกัดกร่อนเป็นสารที่เมื่อเติมลงในของเหลวหรือแก๊สแล้วจะช่วยลดอัตราการกัดกร่อนของวัสดุจำพวกโลหะและอัลลอยได้อย่างมีนัยสำคัญ กลไกโดยทั่วไปของการเติมสารยับยั้งการเกิดการกัดกร่อน คือ จะเกิดขึ้นเคลือบผิวชั้นบริเวณผิวของโลหะ ซึ่งมักจะเป็นชั้นที่ทำให้เกิดการสึกกร่อนกับโลหะ โดยสารยับยั้งการกัดกร่อนนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ สารยับยั้งการกัดกร่อนแบบ อนินทรีย์ เช่น โซเดียมฟอสเฟต ไอออนของแมกนีเซียม ไอออนของนิกเกิล เป็นต้น และสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบอินทรีย์ เช่น แทนนิน ลิกนิน เอมีน เป็นต้น [4]

2.7 แทนนิน

แทนนิน (Tannin, Tannic acid) เป็นพอลิฟีนอล (Polyphenol) ที่มีโมเลกุลใหญ่ และโครงสร้างซับซ้อน มีสูตรโมเลกุล ($C_{75}H_{52}O_{46}$) เป็นกรดอ่อน ประกอบด้วย กรดแกลลิก 9 โมเลกุล และ น้ำตาลกลูโคส 1 โมเลกุล แทนนินมีจำหน่ายเป็นการค้าในรูปของ กรดแทนนิก (Tannic acid)

แทนนินเป็นสารให้รสฝาด (Astringency) และรสขม (Bitter) พบได้ในพืชหลายชนิด เช่น ใบชา ใบฝรั่ง ใบพลู ใบชุมเห็ด ใบมันสำปะหลัง ผลไม้ดิบ เช่น กัลยาดิบ ใบเปลือกและเมล็ดของผลไม้ เช่น เปลือกมังคุด องุ่น เม็ดในของมะขาม เปลือกมะพร้าวอ่อน

แทนนินสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ คอนเดนส์แทนนิน (Condensed tannins) หรือเรียกว่า โปรแอนโทไซยานิน (Proanthocyanin) หรือ Flavan-3-ols และ สารไฮโดรไลซ์แทนนิน (Hydrolysable tannins) คือแทนนินที่สามารถถูกแยกออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้แก่ Glycosylated gallic acids, Kaempferol, Quercetin เป็นต้น [5]

2.8 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชหัวชนิดหนึ่งมีชื่อเรียกกันทั่วไปในภาษาอังกฤษว่า แคสซาวา (Cassava) หรือ ทาปิโอก้า (Tapioca) ประเทศแถบแอฟริกา เรียกชื่อ ภาษาฝรั่งเศส ว่า แมนิออค (Manioc)

มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดในอเมริกาใต้ เช่น ประเทศเปรู เม็กซิโก กัวเตมาลา ฮอนดูรัส และบราซิล ซึ่งมีการปลูกมันสำปะหลังมา 3,000 ถึง 7,000 ปีแล้ว ต่อมาได้ขยายไปสู่แหล่งอื่นๆ ของโลก โดยชาวโปรตุเกส และสเปน นำมันสำปะหลังจากเม็กซิโก มายังฟิลิปปินส์ ประมาณ ค.ศ.17 และชาวฮอลแลนด์ นำไปยังอินโดนีเซีย ประมาณ ค.ศ.18

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มยืนต้นมีอายุอยู่ได้หลายปี การปลูกมันสำปะหลังจะใช้ส่วนของลำต้นตัดเป็นท่อนปักไปในดิน ตรงบริเวณรอยตัดที่ปักอยู่ในดินจะแตกเป็นราก ฝอย หลังจากปลูกได้ประมาณ 2 เดือนรากจะค่อยๆ สะสมแป้ง และมีขนาดโตขึ้น เรียกว่าหัวมันสำปะหลัง และสามารถเก็บเกี่ยวหัวมันสำปะหลังหลังจาก 6 เดือน ผ่านไปแล้วโดยจะยึดอายุเก็บเกี่ยวไปได้ถึง 16 เดือน โดยส่วนต่าที่อยู่ด้านข้างท่อน มันจะเจริญเติบโตออกมาเป็นลำต้นต่อไป [6]

2.9 เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70

สำหรับชิ้นงานที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 หรือ ASTM SA516 Grade 70 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีปริมาณคาร์บอนสูง มักใช้ทำหม้อต้ม (Boiler) หรือ ภาชนะที่ทนความดันสูง มักใช้ในอุตสาหกรรมน้ำมันและปิโตรเคมี โดยส่วนประกอบทางเคมี แสดงได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของ เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70

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 ธาตุนิกเกิลช่วยเพิ่มความทนทานต่อการกระแทกของเหล็กและทนความร้อนและธาตุแมงกานีสทำให้เหล็กทนต่อแรงดึงได้มากขึ้นรวมทั้งยังเพิ่มสัมประสิทธิ์การขยายตัวของเหล็กด้วย เป็นต้น [7]

2.10 กระบวนการกลั่นแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล

“กลีเซอริน” เป็นผลพลอยที่ได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยหากต้องการเพิ่มมูลค่าผลพลอยได้ของกลีเซอริน จะต้องนำมาทำให้บริสุทธิ์มากขึ้น โดยผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้ Pharmaceutical grade glycerine ซึ่งจะมีความบริสุทธิ์ของกลีเซอริน 99.5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป และกลีเซอรินที่ได้ในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล จะถูกนำมากำจัดส่วนที่เป็นน้ำที่ปนกันอยู่ออกไปจนหมดภายใต้อุณหภูมิที่มีการควบคุม เพื่อเป็นการรักษาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ จากนั้นกลีเซอรินที่ปราศจากน้ำแล้วจะถูกนำเข้าสู่ระบบหอกลั่นกลีเซอริน ซึ่งจะทำการกลั่นจนได้กลีเซอรินที่บริสุทธิ์ตามที่ต้องการ จากนั้นจะนำไปผ่านการกำจัดสีออกไ้โดยผ่านถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 เครื่องมือและวิธีการที่ใช้ทดสอบ

2.11.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ electron เป็นแหล่งกำเนิดแสง เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะสัญญาณของวัสดุในระดับจุลภาค ซึ่งเป็นรายละเอียดที่เล็กมาก และเนื่องจากข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่มีความยาวคลื่นแสงขนาดใหญ่กว่า ลักษณะสัญญาณบางชนิดที่ต้องการศึกษา และกำลังความสามารถในการแยกชัดของกล้องจุลทรรศน์แบบแสงธรรมดาที่มีค่าต่ำ ใช้วัตถุเล็กสุดประมาณ 0.2 ไมโครเมตร และให้กำลังขยายสูงสุดไม่เกิน 3000 เท่า ซึ่งไม่สามารถตรวจสอบรายละเอียดของวัตถุที่มีขนาดเล็กมากๆได้ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกชัดดี เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้น เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะสัญญาณของวัสดุ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีกำลังขยายมากกว่า 3000 เท่า จนถึงระดับมากกว่า 100,000 เท่า และสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพ ซึ่งขึ้นกับลักษณะตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 นาโนเมตร อีกทั้งยังสามารถใช้งานร่วมกับเทคนิคการวิเคราะห์อื่น เช่น Energy dispersive spectrometry (EDS) และ Wavelength dispersive spectrometry (WDS) ที่เป็นข้อมูลทางเคมี จึงทำให้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน [9]

2.11.2 เครื่องโพเทนชิโอสแตท/กัลวานอสแตท (Potentiostat/Galvanostat)

เครื่องโพเทนชิโอสแตท/กัลวานอสแตทจะป้อนพลังงานตัวอย่างที่เป็นขั้วทำงาน (Working electrode) ผ่านทางขั้วช่วย (Auxiliary electrode) ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ต่างๆ เพื่อเร่งให้เกิดการกัดกร่อนแบบทั่วผิวหน้า แล้วตรวจวัดสมบัติทางไฟฟ้าของชิ้นงานเปลี่ยนไปผ่านทางขั้วอ้างอิง (Reference electrode) เพื่อติดตามผลเป็นเส้นกราฟโพลาริเซชัน ซึ่งข้อมูลที่ได้รับจากเทคนิคนี้คือ พฤติกรรมการกัดกร่อนของวัสดุ โดยพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{Corr}) และ กระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (I_{Corr}) [7]

2.11.3 อุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-ray)

อุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy dispersive Spectrometry) เป็นดีเทคเตอร์ตัวหนึ่งที่อยู่ในระบบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ใช้สำหรับวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง โดยทำหน้าที่รับสัญญาณ X-Ray ที่ปล่อยออกมาจากสารตัวอย่าง นิยมทำโดยวัดปริมาณสัญญาณ X-Ray ที่เกิดขึ้นจากธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ในสารมาตรฐาน (อาจเป็น ธาตุบริสุทธิ์ หรือของผสมที่ทราบส่วนประกอบแน่นอน) เปรียบเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นจากธาตุที่ต้องการวิเคราะห์ในสารตัวอย่าง [10]

2.11.4 วิธีการหาน้ำหนักที่หายไป

วิธีการหาน้ำหนักที่หายไป คือ การทดสอบหาประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งเป็นขั้นตอนพื้นฐานในการตรวจสอบการกัดกร่อนของโลหะ โดยนำโลหะที่ต้องการทดสอบไปไว้ในสภาวะต่างๆ ในระยะเวลาหนึ่งตามที่ต้องการ แล้วบันทึกน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปโดยเปรียบเทียบค่าก่อนและหลังใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน [11]

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกรียงไกร ทาประทุม [7] ศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินที่สกัดจากฟ้าทะลายโจรต่อประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่ใช้เป็นวัสดุของหม้อต้มข้าสำหรับกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล สภาวะที่ทำการทดลอง คือ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมฟอสเฟตในกลีเซอริน 4.92 6.56 และ 9.84 กรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของสารละลายแทนนินในกลีเซอริน 0.016 0.080 และ 0.160 กรัมต่อลิตร โดยทำการแช่ชิ้นงานที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 สัปดาห์ ก่อนนำไปวิเคราะห์สภาพของผิวชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด นอกจากนี้ยังศึกษาพฤติกรรมกัดกร่อนด้วยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกโพลาริเซชันโดยใช้ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์ - ซิลเวอร์คลอไรด์เป็นขั้วอ้างอิงและแท่งแพลทินัมเป็นขั้วช่วย จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโพเทนชิโอดนามิกโพลาริเซชัน พบว่าทั้งโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินสามารถยับยั้งการกัดกร่อนของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนได้โดยมีประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนที่ใกล้เคียงกันในช่วงความเข้มข้นที่ศึกษา โดยความเข้มข้นที่ยับยั้งการกัดกร่อนได้มากที่สุดโดยใช้สารแทนนิน คือ 0.16 กรัมต่อลิตร

Carlos Eduardo de Almeida Souza Torres และ คณะ [12] ได้ทำการค้นคว้าสำหรับพลังงานทางเลือกซึ่งสามารถปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมลภาวะในปริมาณที่ลดลง พบว่าเชื้อเพลิงไบโอดีเซลนั้นสามารถจัดอยู่ในชนิดของพลังงานทางเลือกดังกล่าวได้ จึงส่งผลให้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นที่สนใจและมีการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นในประเทศบราซิล ซึ่งการกัดกร่อนในอุปกรณ์ที่สร้างด้วยเหล็กนั้น นับเป็นปัญหาหลักของโรงงานผลิตไบโอดีเซล เพราะฉะนั้นวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ในงานวิจัยนี้ รวมไปถึงการสำรวจสภาวะการทำงานต่างๆ ประวัติการล้มเหลวของเครื่องมือ และการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์เกี่ยวกับการกัดกร่อน จึงถูกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยทำการติดตั้งเครื่องวัดความต้านทานไฟฟ้า AISI 316L ในจุดที่มีโอกาสที่จะเกิดการกัดกร่อนขึ้นได้ในกระบวนการผลิต

กมณชนก วงศ์สุขสิน และ ปณิตดา ผ่านสำแดง [13] ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแทนนินจากตัวอย่างใบมันสำปะหลังที่เก็บมาจาก อำเภอ ทรัพย์ จังหะนศรราชสีมา โดยศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลาย คือ น้ำ เมทานอลกับน้ำร้อยละ 30 50 70 80 90 เอทานอล เอทานอลกับน้ำร้อยละ 30 50 70 90 และอะซีโตน อะซีโตนกับน้ำร้อยละ 30 50 70 80 90 โดยปริมาตร อัตราส่วนระหว่างใบมันสำปะหลังต่อตัวทำละลาย คือ 1: 10 1:20 1:30 และ 1:40 กัมต่อมิลลิลิตร อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด คือ อุณหภูมิห้อง และ 50 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการสกัด คือ 1 3 และ 5 ชั่วโมง โดยใช้วิธีการสกัดแบบแช่ครั้งเดียว และวิเคราะห์ปริมาณสารแทนนินทั้งหมดโดยใช้สารที่สกัดได้ทำปฏิกิริยากับโพลิน-เดนนิส รีเอเจนต์ แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 762 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-สเปกโทร โฟโตมิเตอร์ พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแทนนินจากตัวอย่างใบมันสำปะหลัง คือ อะซีโตนกับน้ำร้อยละ 80 อัตราส่วน 1:20 ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และใช้เวลาในการสกัด 3 ชั่วโมง ซึ่งพบว่า มีปริมาณสารแทนนินสูงสุด คือ 644.62 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

M.Dargahi และ คณะ [14] ได้ทำการศึกษาสารแทนนินที่สกัดจากแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อนำมาป้องกันหม้อต้มไอน้ำในระดับที่สูงกว่าแนวทางของ ASTM อย่างมีนัยสำคัญ โดยใช้แทนนินเป็นตัวป้องกันการกัดกร่อน เพื่อลดการใช้ น้ำและพลังงาน รวมถึงการปล่อยแก๊สเรือนกระจกและการเจือปนซึ่งจะส่งผลให้เกิดน้ำเสียขึ้น ซึ่งความสามารถในการดูดซับแทนนินและป้องกันการกัดกร่อนบนพื้นผิวของหม้อต้มซึ่งเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนถูกนำมาศึกษาในสภาวะที่เป็นเบส โดยใช้ Quartz crystal microbalance, Dissipation monitoring และ Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) ซึ่งผลลัพธ์ได้แสดงการสร้างตัวของชั้นสารแทนนินที่เสถียรและมีประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนบนพื้นผิวของหม้อต้มภายในช่วง 5 นาที ถึง 15 นาทีแรกของการดูดซับ โดยที่การดูดซับนั้นถูกนำมาอธิบายโดย Langmuir isotherm ซึ่งให้ค่าพลังงานกิบบ์มีค่าเป็นลบ ($\Delta G_{ads} = -47.36$ KJ/mol) ซึ่งบ่งบอกว่าการดูดซับนั้นสามารถเกิดขึ้นเองได้บนพื้นผิวของหม้อต้มและชั้นของแทนนินบนหม้อต้มให้ค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน ร้อยละ 85 ภายใต้สภาวะการทดลอง

Afidah A. Rahim และ คณะ [16] ได้ศึกษาพฤติกรรมในการยับยั้งการกัดกร่อน ของ โมโนเมอร์ Flavanoid ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสารแทนนินในต้นโกงกาง ซึ่งประกอบไปด้วย Catechin, Epicatechin, Epigallocatechin และ Epicatechingallate ถูกทดสอบในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก โดยใช้วิธีการทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งพบว่าโมโนเมอร์ดังกล่าวสามารถเป็นตัวยับยั้งประเภหคโคโทติกได้ และประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนยังขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโมโนเมอร์ และเพื่อสามารถอธิบายพฤติกรรมการดูดซับของโมเลกุลบนพื้นผิวเหล็ก โดยใช้วิธี Semiempirical ซึ่งเกี่ยวกับเคมีควอนตัม และคำนวณโดยใช้โปรแกรม HyperChem 6.0 พบว่าความหนาแน่นทางอิเล็กทรอนิกส์แบบ HOMO ของโมเลกุล ถูกนำมาใช้เพื่ออธิบายกลไกการยับยั้งการกัดกร่อน จุดที่เกิดการดูดซับมากที่สุดคือ บริเวณใกล้เคียงของกลุ่มฟีนอล และในส่วนที่สอง คือ การใช้สารแทนนินที่สกัดจากเปลือกของต้นโกงกาง เพื่อนำมาศึกษาความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กในสารละลายที่เป็นกรด และนำมาเปรียบเทียบกับการใช้สารแทนนินที่สกัดจากกระเจี๊ยบ ต้นแคบวาโค และเกาลัด ในเชิงพาณิชย์

นครินทร์ ศรีสุวรรณ และ คณะ [11] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์สาร Tetramethyl dioctyl ethylene diammonium bromide (TEDB) เพื่อใช้ในการยับยั้งการกัดกร่อนชนิดแคโทติกของเหล็กกล้าคาร์บอนในระบบน้ำหล่อเย็น โดยมีการใช้เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ และโปรตรอน-นิวเคลียส แมกเนติก เรโซแนน สเปกโตรมิเตอร์ เพื่อวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน และยืนยันว่าสาร TEDB เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทเอมีน และต่อมาได้ทำการศึกษาหาประสิทธิภาพการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยสาร TEDB ที่ความเข้มข้น 100 150 และ 200 ppm ตามลำดับ โดยใช้วิธีการหาน้ำหนักที่หายไปด้วยการจุ่มแช่ในสารละลาย 2 ชนิด คือโซเดียมคลอไรด์ 0.1 M และกรดไฮโดรคลอริก 0.1 M ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสาร TEDB ที่เข้มข้น 200 เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.1 M หลังผ่านการจุ่มแช่ชิ้นงานไป 30 วัน และสำหรับการทดสอบในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.1 M ควรใช้สาร TEDB ที่เข้มข้น 150 ppm โดยสอดคล้องกับภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ที่พบว่าผิวหน้าของเหล็กกล้าคาร์บอนเกิดการกัดกร่อนน้อยที่สุด เมื่อใช้ความเข้มข้นของ TEDB ข้างต้น

S. Martinez และ I. Stajlar [17] ได้ทำการศึกษาทฤษฎีฟรอนเทียร์ออปิทัลและการดูดซับสำหรับการอธิบายผลของการคำนวณทางควอนตัมและวัดค่าอัตราการกัดกร่อน เพื่อที่จะสามารถอธิบายถึงวิธีการในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำด้วยแทนนินจากเกาลัดในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 2 M โดย 9 องค์ประกอบหลักของแทนนินจากเกาลัด ซึ่งประกอบไปด้วย tannin-vescalagin, castalagin, vescalin, castalin, gallic acid, ellagic acid, mono-, di- และ trigalloylglucose ถูกนำมาสร้างแบบจำลองโดยวิธีการศาสตร์ของโมเลกุลพลศาสตร์ของโมเลกุล และวิธีการเชิงประจักษ์ทางควอนตัม NDDO (semiempirical quantum NDDO method) ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าองค์ประกอบของแทนนินน่าจะดูดซับในสภาวะที่เป็นกลาง โดยดูดซับด้วยแรงไฟฟ้าสถิตย์ที่กระทำระหว่างโมเลกุลไดโพลและพื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนที่มีประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นครินทร์ ศรีสุวรรณ และคณะ [18] ได้ทำการศึกษาอัตราการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในระบบน้ำหล่อเย็น และศึกษาประสิทธิภาพการหน่วงการกัดกร่อนของสารยับยั้งการกัดกร่อนชนิดแอนอดิก โดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าและการวัดค่ามัมสัมผัสของหยดน้ำ โดยทำการทดสอบในสารละลายโซเดียมคลอไรด์และสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ซึ่งมีการเติมสารโพตัสเซียม โนนาโนเอต (สารประกอบคาร์บอนิล) ที่ความเข้มข้น 100 150 200 และ 300 ppm ลงในสารละลายทดสอบทั้งสองชนิดตามลำดับ เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมสำหรับการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน ซึ่งการผลการทดลองพบว่าในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ ความเข้มข้นของสารยับยั้ง การกัดกร่อนที่ 300 ppm แสดงค่าอัตราการกัดกร่อนน้อยที่สุดที่ 0.51 mmpy ส่วนในสารละลายไฮโดรคลอริก ความเข้มข้นของสารยับยั้งการกัดกร่อนที่ 200 ppm แสดงค่าอัตราการกัดกร่อนน้อยที่สุดที่ 0.31 mmpy โดยผลการทดสอบดังกล่าวสอดคล้องกับการวัดค่ามัมสัมผัสของหยดน้ำบนผิวหน้าของชิ้นงานตัวอย่างที่มีค่าเพิ่มขึ้น หลังจากการเติมสารยับยั้งการกัดกร่อนลงในสารละลายทดสอบทั้ง 2 ชนิด เทคนิคนี้จึงสามารถใช้อย่างมั่นใจได้ว่าสารโพตัสเซียม โนนาโนเอต ที่มีหมู่คาร์บอกซิลที่ปลายสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน สามารถยึดเกาะผิวหน้าของเหล็กกล้าคาร์บอนและทำให้สภาพพื้นผิวที่ไม่ชอบน้ำของชิ้นงานตัวอย่างมีมากขึ้น ดังนั้นสารละลายทดสอบจึงสัมผัสกับผิวโลหะได้น้อยลง ปฏิบัติการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนจึงลดลง

เสรี หนูหลง และ คณะ [19] ได้ทำการศึกษาความต้านทานการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสิ่งแวดล้อมที่มีพฤติกรรมคล้ายดินเปรี้ยว เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน โดยเหล็กกล้าคาร์บอนที่นำมาทดลองมี 2 ชนิด คือ เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low-carbon steel) และเหล็กกล้าคาร์บอนสูง (High-carbon steel) โดยทำการศึกษาการกัดกร่อน-สึกกร่อนในสเลอริรี ของกรดซัลฟิวริก ที่ pH4 และทรายซึ่งเสมือนหนึ่งเป็นดินเปรี้ยวสังเคราะห์ โดยการจำลองพฤติกรรมเคลื่อนไหวของชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอน ด้วยชุดทดสอบ ที่เรียกว่า โรเตตติ้งไซลินเดอร์อิเล็กโทรด (Rotating cylinder electrode) ซึ่งการทดสอบเริ่มต้นด้วยการทดสอบการสึกกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอริรี ของน้ำและทรายซึ่งมีความเข้มข้นของทรายร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และทำการทดสอบการกัดกร่อนในสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่ pH4 ที่ไม่มีทราย และสุดท้ายจะเป็นการศึกษาการกัดกร่อน-สึกกร่อนในสเลอริรีของสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่ pH4 โดยมีทรายร้อยละ 20 โดยน้ำหนักผสมอยู่ด้วย นอกจากนั้นในการทดลองได้ศึกษาผลของความเร็วของการหมุนชิ้นงาน ต่ออัตราการสึกกร่อน โดยจากผลการทดลองพบว่า เหล็กกล้าคาร์บอนสูงมีอัตราการต้านทานการกัดกร่อนสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ นอกจากนี้ความเร็วรอบที่เพิ่มขึ้นยังส่งผลให้อัตราการสึกกร่อน อัตราการกัดกร่อน และอัตราการกัดกร่อน-สึกกร่อน เพิ่มขึ้น

สุธา สุทธิเรืองวงศ์ และ คณะ [20] ได้ทำการศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนโดยใช้สารสกัดจากธรรมชาติ โดยสกัดจากพืชชนิดต่างๆ โดยงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้วิธีการแช่ให้เปื่อยยุ่ยโดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เป็นตัวทำละลายในการสกัดสารจำพวก C-glycosyl flavones จากใบพลูหายเพื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า AISI 1045 ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 M ที่ 25°C ซึ่งพฤติกรรมและประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน (Inhibitor efficiency) ถูกตรวจสอบด้วยเทคนิคโพเทนซิโอดินามิก โพลาริเซชัน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดคาโบลเมอ อิมตัวเป็นขั้วอ้างอิง และแผ่นแพลทินัมเป็นขั้วตรงข้าม โดยจากผลการทดลองพบว่า สารสกัดจากใบพลูหายมีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อน และให้ค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนสูงถึง ร้อยละ 96 เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดมีค่า 3,000 ppm นอกจากนี้สารสกัดจากใบพลูหายยังมีสมบัติเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแอโนดิก

H. Winkelmann และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาเพื่อยืดอายุการใช้งานของใบมีดที่ใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปไม้ ซึ่งพบว่าใบมีดมีความเสียหายบริเวณขอบของมีดและบนพื้นผิวของใบมีด ตรวจพบการกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting corrosion) โดยจากการศึกษาพบว่า ไม้แต่ละชนิดส่งผลต่อความรุนแรงของการกัดกร่อนของใบมีดที่แตกต่างกันและพบว่าแทนนินซึ่งเป็นสารที่เป็นองค์ประกอบในเนื้อไม้หลายชนิดที่ความเข้มข้นแตกต่างกันไปตามชนิดของไม้ โดยแทนนินนั้นเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการก่อให้เกิดการกัดกร่อน ประกอบกับการเกิดความร้อนในขณะที่ใช้ใบมีดในการตัดไม้ ส่งผลให้ปฏิกิริยาการกัดกร่อนเกิดได้รุนแรงมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลกระทบจากความเครียดเชิงกล (Mechanical stress) ทำให้สารประกอบที่เกิดขึ้นระหว่างแทนนิน กับ Fe บนพื้นผิวของใบมีด หลุดออกไป และส่งผลให้พื้นผิวของใบมีดไม่สามารถสร้างชั้นป้องกันการกัดกร่อน (Protective layer) ได้อีกด้วย

E.Kusmieriek และ E.Chrzescijanska [15] ได้ทำการศึกษาการกัดกร่อนในบรรยากาศโดยมีสาเหตุมาจากมลภาวะในอากาศ ซึ่งจะส่งผลให้โลหะและโลหะผสมเกิดความเสียหายขึ้น การกัดกร่อนในบรรยากาศนั้นจัดเป็นปัญหาอย่างรุนแรงต่อความเสียหายทางเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม เพราะฉะนั้นการป้องกันการกัดกร่อนจึงนับเป็นเรื่องที่สำคัญเป็นอย่างมาก โดยที่การป้องกันการกัดกร่อนโดยใช้กรดแทนนิกถูกศึกษาโดยใช้ Linear polarization resistance method โดยมีพารามิเตอร์ คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน กระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน และ ค่าต้านทานการกัดกร่อน หลังจากนั้นค่าอัตราการกัดกร่อนและประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนจะถูกนำมาคำนวณจาก 2 กลุ่มตัวอย่าง คือ โลหะ และ โลหะผสม ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ทองแดงมีค่าต้านทานการกัดกร่อนสูงสุดในการใช้กรดแทนนิกเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อน และค่าประสิทธิภาพในการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะผสมพบว่า Inconel 625 มีค่าสูงสุด เนื่องมาจากมีปริมาณโครเมียมที่สูงกว่า และมีปริมาณเหล็กที่ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ชิ้นงานที่ใช้ในการทดลอง

เหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ซึ่งเป็นวัสดุในการทำหม้อต้มฆ่าในกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล 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. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
4. เอทานอล (C_2H_5OH)
5. น้ำกลั่น (Distillated water)
6. สารแทนนินสกัดจากใบไม้ป่าหลังเข้มข้น 1,500 ppm
7. เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 อุปกรณ์สำหรับเตรียมชิ้นงาน

1. กระดาษทรายเบอร์ 180 320 800 1,000 และ 1,200
2. ขวดโหลเก็บชิ้นงานบรรจุซิลิกาเจล
3. เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

3.2.2 อุปกรณ์สำหรับเตรียมสารละลายกลีเซอริน โดยทำการขจัดสบู่ออก

1. เครื่องชั่งสาร
2. เครื่องกวนสารละลายแม่เหล็กไฟฟ้า
3. ตู้อบ
4. ปีกเกอร์ขนาด 10 มิลลิลิตร 100 มิลลิลิตร 500 มิลลิลิตร 1 ลิตร และ 2 ลิตร
5. ปิเปตขนาด 5 มิลลิลิตร
6. ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 250 มิลลิลิตร 500 มิลลิลิตร และ 1 ลิตร
7. กรวยแยก
8. แท่งแก้วคนสาร
9. หลอดหยดสาร
10. นาฬิกาจับเวลา
11. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH – meter)

3.2.3 อุปกรณ์สำหรับการเตรียมชิ้นงานหลังการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ผิวสัมผัสฐานด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

1. เครื่องล้างอัลตราโซนิก (Ultrasonic bath)
2. ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
3. ถุงมือผ้า ถุงมือยาง
4. กล้องเก็บบรรจุซิลิกาเจล

3.3 วิธีการทดลอง

เพื่อศึกษาการใช้แทนนินที่สกัดได้จากใบมันสำปะหลังเพื่อยับยั้งการกักร้อนในเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้มฆ่าในกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล จึงได้ทำการทดลองในสภาวะจำลองที่ทำการศึกษาแสดงดังตารางที่ 3.1 โดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1. เตรียมผิวชิ้นงานที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 โดยขัดด้วยกระดาษทรายตั้งแต่เบอร์ 180 ไปจนถึง 1,200
2. วัดขนาดของแต่ละชิ้นงาน โดยใช้เวอร์เนียร์คาลิเปอร์
3. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานก่อนทำการทดลอง
4. เตรียมสารละลายกลีเซอริน โดยทำการขจัดสบู่อก
5. นำแทนนินสกัดจากใบมันสำปะหลังเข้มข้น 1,500 ppm มาเติมลงในสารละลายกลีเซอรินจนได้ความเข้มข้นเท่ากับ 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร
6. นำชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมผิวมาแช่ลงในสารละลายกลีเซอรินที่เติมแทนนินตามสภาวะที่แสดงในตารางที่ 3.1
7. นำขวดบรรจุชิ้นงานไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลาตามที่แสดงไว้ใน ตารางที่ 3.1
8. นำชิ้นงานหลังจากผ่านการอบมาล้างด้วยเอทานอลในเครื่องล้างอัลตราโซนิก เป็นระยะเวลา 45 นาที
9. ชั่งน้ำหนักชิ้นงานหลังทำการทดลอง
10. วิเคราะห์ผิวชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน
11. วิเคราะห์การกักร้อนด้วย เทคนิคโพเทนชิโอไดนามิก โพลาริเซชัน

ตารางที่ 3.1 สภาวะจำลองในการศึกษาการใช้แทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังในการยับยั้งการกักร้อนในเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้มฆ่าในกระบวนการแยกกลีเซอรินในโรงงานผลิตไบโอดีเซล

ชิ้นงาน	ความเข้มข้นแทนนิน (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นของสารสกัดแทนนิน (ppm)	ปริมาณสารสกัดแทนนินที่ต้องใช้ (มิลลิลิตร)	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	เวลา (สัปดาห์)
A1	0.16	1,500	32	7.1	6
A2	0.16	1,500	32	7.1	9
B1	0.32	1,500	64	7.1	6
B2	0.32	1,500	64	7.1	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การเตรียมชิ้นงาน

นำชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM 516-70 ไปขัดผิว (Grinding) ให้เรียบด้วย กระจกทรายขัดเหล็ก (Silicon carbide) เบอร์หยาบไปจนถึงเบอร์ละเอียด คือเบอร์ 180, 320, 800, 1000 และ 1200 ตามลำดับ การขัดแต่ละครั้งจะต้องขัดไปในทิศทางเดียวกันตลอดผิวชิ้นงาน แล้วหมุนชิ้นงานไป 90 องศาขัดต่อจนรอยเดิมหายไป หลังจากขัดจนผิวชิ้นงานเรียบสนิทแล้วเก็บชิ้นงานไว้ในขวดโหลเก็บชิ้นงานที่บรรจุซิลิกาเจลไว้

3.3.2 การเตรียมสารละลายกลีเซอริน โดยทำการขจัดสบู่ออก

1. ตวงกลีเซอรินปริมาตร 1 ลิตร น้ำกลั่นปริมาตร 500 มิลลิลิตร และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 2 ลิตร จากนั้นเริ่มกวนสารละลายด้วย เครื่องกวนสารละลายพลังแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาที
2. หลังจากครบ 30 นาทีแล้ว เทสารละลายลงในกรวยแยก แล้วทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 คืน เพื่อให้เกิดการแยกชั้นของสาร
3. เมื่อสารละลายเกิดการแยกชั้นแล้ว ไซสารละลายกลีเซอรินชั้นล่างออกมาใส่บีกเกอร์ แล้ว ตวงกลีเซอรินให้ได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
4. เติมสารสกัดแทนนินเข้มข้นลงในสารละลายกลีเซอรินที่เตรียมไว้ตามความเข้มข้นที่ต้องการ แล้วใช้เครื่องกวนพลังแม่เหล็กกวนสารให้เข้ากัน
5. วัดค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH) ของกลีเซอรินแล้วปรับค่าให้เป็นกลางถึงด่างเล็กน้อย (ค่า pH ประมาณ 7 - 7.5) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์
6. นำสารละลายกลีเซอรินที่ได้ใส่ขวดแก้วแล้วเปิดฝาแล้วอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 ชั่วโมงเพื่อระเหยน้ำและเมทานอลออก

3.3.3 การวิเคราะห์แทนนิน

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ

1. นำสารสกัดใบมันสำปะหลังเข้มข้นผสมกับน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตรในหลอดการทดลอง
2. เติมผงเฟอร์ริกคลอไรด์ (Fe_3Cl) ในหลอดแก้วแล้วเขย่าให้กัน โดยสีของสารผสมจะเปลี่ยนไป เป็นสีน้ำเงินเข้มถ้ามีไฮโดรไลซ์แทนนิน และจะเป็นสีเขียวถ้าในสารผสมมีคอนเดนส์แทนนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การหาค่าน้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่ของชิ้นงาน

1. หาค่าน้ำหนักที่หายไปของแต่ละชิ้นงาน โดยหาผลต่างระหว่างน้ำหนักก่อนการทดลอง และ น้ำหนักหลังการทดลองของแต่ละชิ้นงาน
2. หาค่าพื้นที่ผิวที่เกิดการกัดกร่อนจากขนาดของชิ้นงาน โดยไม่คิดพื้นที่ผิวด้านที่ติดกับกัน ภาชนะ เนื่องจากไม่เกิดการกัดกร่อนกับสารละลาย
3. นำค่าน้ำหนักที่หายไป มาหารด้วยพื้นที่ที่เกิดการกัดกร่อน ของชิ้นงานแต่ละชิ้น
4. นำค่าน้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่ที่ได้มาพล็อตกราฟเทียบกับเวลาเพื่อศึกษาอัตราการกัดกร่อน จากความชันของกราฟ

3.3.5 การทดสอบหาประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน

1. นำชิ้นงานไปวิเคราะห์การกัดกร่อนในสารละลายกลีเซอรินที่เติมและไม่เติมแทนนินด้วย เครื่องโพเทนชิโอสแตท เพื่อหา I_{corr} , E_{corr} และ Corrosion rate
2. หาค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของการเติมแทนนินลงในสารละลายกลีเซอรินที่ ความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร



3.4 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานของงานวิจัยนี้แสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ความก้าวหน้าของโครงการวิจัย / เดือน									
	พ.ศ. 2560					พ.ศ. 2561				
	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/วิธีการดำเนินการทดลอง			←————→							
3.ดำเนินการทดลอง			←————→							
4.จัดทำรูปเล่มและงานนำเสนอเบื้องต้น			←————→							
5.วิเคราะห์ผลการทดลอง						←————→				
6.สรุปผลการทดลองและทำรูปเล่มวิจัยฉบับสมบูรณ์								←————→		
7.นำเสนอผลงานวิจัย										↔

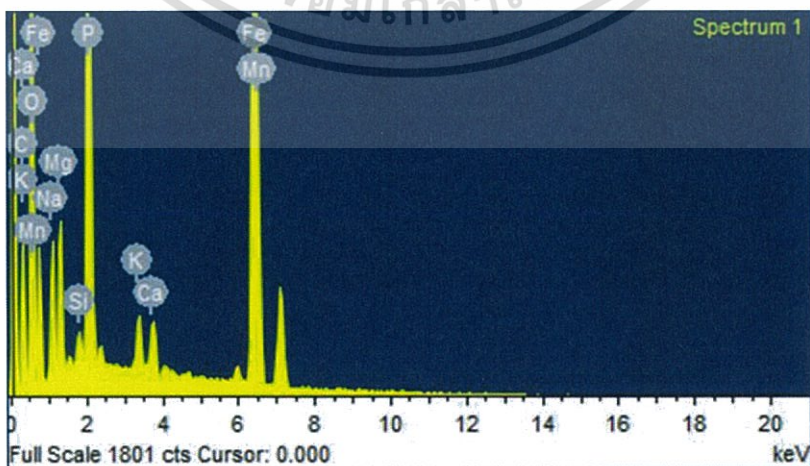
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

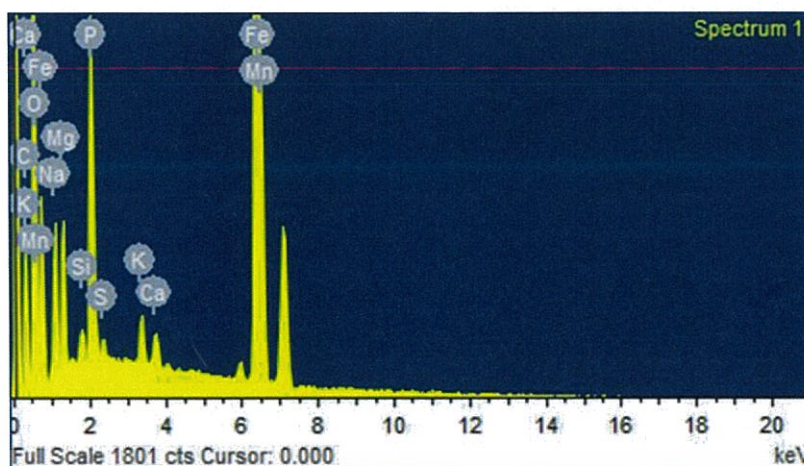
4.1 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวของชิ้นงานหลังจากแช่ในสารละลายกลีเซอรินที่เติมแทนนินเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน

เนื่องด้วยการใช้แทนนินเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของโลหะนั้น แทนนินจะทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกัดกร่อน (Corrosion product) และดูดซับลงบนพื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอน เกิดเป็นชั้นของ “เฟอร์ริกแทนเนต (Ferric tannate)” ขึ้น โดยที่ชั้นของ เฟอร์ริกแทนเนต ที่ได้จะมีความเสถียรและสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ [15] เพราะฉะนั้น การวิเคราะห์พื้นผิวของชิ้นงานด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน จึงสามารถสรุปได้ว่าบนพื้นผิวของโลหะมีองค์ประกอบของธาตุต่างๆอยู่เป็นสัดส่วนเท่าไร เพื่อที่จะสามารถสรุปได้ว่าบนพื้นผิวของโลหะเกิดชั้นของ เฟอร์ริกแทนเนตขึ้นหรือไม่ โดยทำการสุ่มชิ้นงานที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่แช่ในสารละลายกลีเซอริน ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์ มาจำนวน 2 ชิ้นงาน เพื่อทำการทดสอบ โดยรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงถึงค่าสเปกตรัมของธาตุต่างๆบนพื้นผิวของชิ้นงานที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งร้อยละของธาตุต่างๆได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 โดยเปรียบเทียบกับร้อยละของธาตุของสารประกอบเฟอร์ริกแทนเนตจากการสังเคราะห์ของ Ruina, Zhang และคณะ [22] และเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 [7]



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมของธาตุต่างๆ บนพื้นผิวของชิ้นงานที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของธาตุต่างๆ บนพื้นผิวของชิ้นงานที่ 2

ตารางที่ 4.1 ร้อยละของธาตุบนพื้นผิวของชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM 516-70

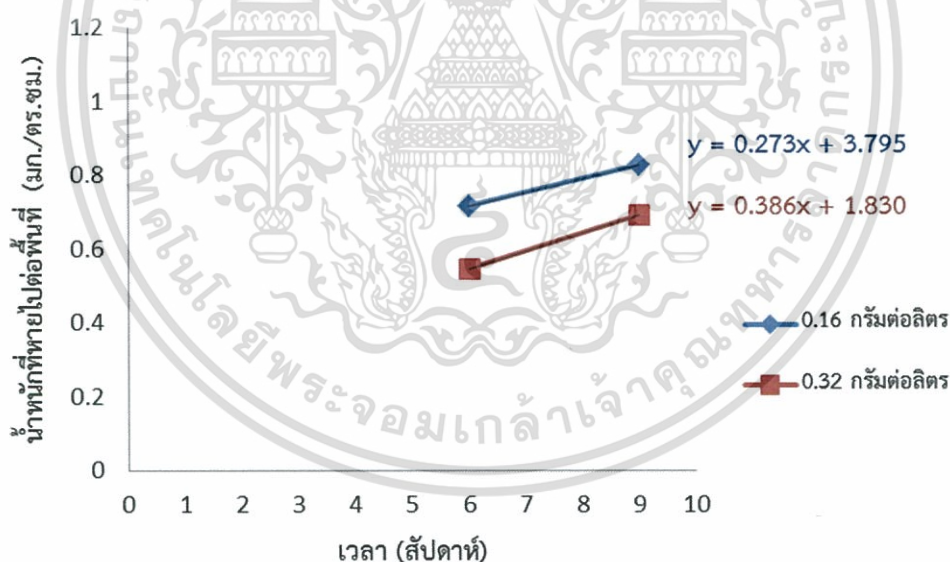
	ร้อยละของธาตุ เหล็ก (Fe)	ร้อยละของธาตุ คาร์บอน (C)	ร้อยละของธาตุ ออกซิเจน (O)	ร้อยละของธาตุ อื่นๆ
ชิ้นงานที่ 1	34.19	16.43	33.55	15.83
ชิ้นงานที่ 2	50.37	13.82	23.44	12.37
Ferric tannate [22]	29.91	23.06	46.83	0.00
Carbon steel ASTM 516-70 [7]	96.72	0.27	0.00	3.01

จากผลการทดลองพบว่าค่าร้อยละของธาตุที่พบมากที่สุดบนพื้นผิวของชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้นงาน คือ เหล็ก (Fe) คาร์บอน (C) และ ออกซิเจน (O) โดยธาตุทั้ง 3 ธาตุนั้นเป็นองค์ประกอบหลักของสารประกอบเฟอร์ริกแทนเนต ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบที่แสดงในตารางที่ 3.1 พบว่าพื้นผิวของชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้นงานมีร้อยละของธาตุทั้ง 3 ธาตุใกล้เคียงกับสารประกอบเฟอร์ริกแทนเนตมากกว่าร้อยละของธาตุบนพื้นผิวของของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 อย่างชัดเจน จึงแสดงให้เห็นว่าบนพื้นผิวของชิ้นงานทั้ง 2 ชิ้นมีความเป็นไปได้สูงในการเกิดขึ้นของเฟอร์ริกแทนเนตขึ้น และสามารถส่งผลในการป้องกันการกัดกร่อนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการกัดกร่อนด้วยวิธีการหาน้ำหนักที่หายไป

จากผลการวิเคราะห์หาอัตราการกัดกร่อนด้วยวิธีการหาน้ำหนักที่หายไป โดยทำการพล็อตกราฟระหว่างน้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่กับเวลา ดังแสดงในรูป 4.3 พบว่าความชันของกราฟของชิ้นงานที่แช่ในสารละลายกลีเซอรินที่เติมแทนนินที่สกัดจากใบในสำปะหลังที่ความเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตร และ 0.32 กรัมต่อลิตร มีค่าเท่ากับ 0.273 และ 0.386 มิลลิกรัม/ตารางเซนติเมตร-สัปดาห์ตามลำดับ ซึ่งพบว่าความชันของชิ้นงานที่แช่ในสารละลายที่เติมแทนนินที่ความเข้มข้น 0.32 กรัมต่อลิตร มีความชันที่สูงกว่าชิ้นงานที่แช่ในสารละลายที่เติมแทนนินที่ความเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตร ประมาณ 1.41 เท่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการเกิดการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่แช่ในสารละลายกลีเซอรินที่เติมแทนนินที่สกัดจากใบในสำปะหลังที่ความเข้มข้น 0.32 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่า อัตราการเกิดการกัดกร่อนในสารละลายที่เติมแทนนินที่ความเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตร ประมาณ 1.41 เท่า



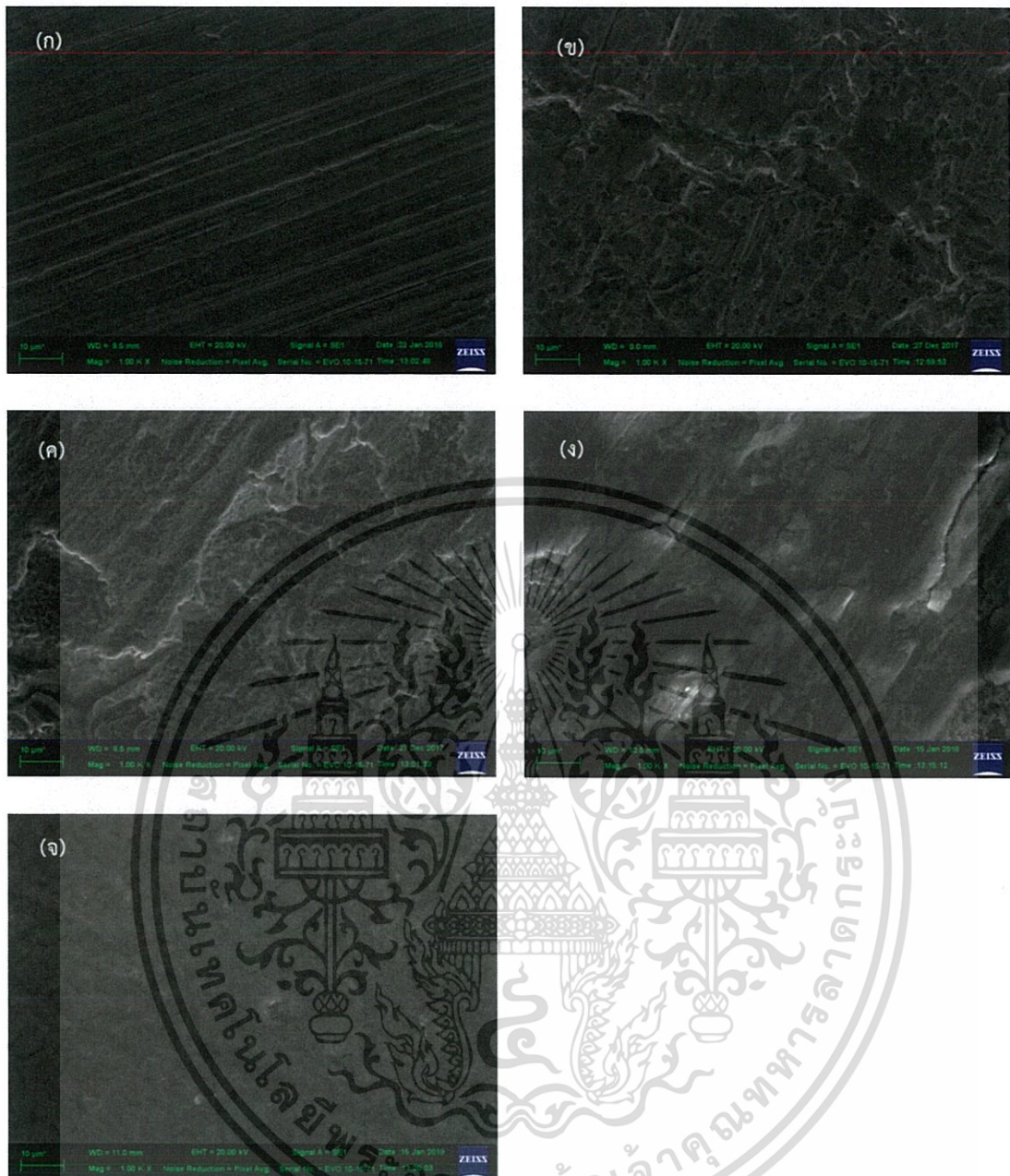
รูปที่ 4.3 น้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่กับเวลาของชิ้นงานที่แช่ในสารละลายกลีเซอรินที่เติมแทนนินที่สกัดจากใบในสำปะหลังที่ความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

4.3 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากผลการทดลอง พบว่าพื้นผิวของชิ้นงานที่แช่ในสารละลายกลีเซอรินที่เติมแทนนินเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนที่ความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ จะสังเกตเห็นว่าพื้นผิวของชิ้นงานเกิดการกัดกร่อนอย่างชัดเจน ดังแสดงในรูป 4.4 (ข) และ (ค) ตามลำดับ เมื่อเทียบกับพื้นผิวของชิ้นงานที่ยังไม่เกิดการกัดกร่อน ดังแสดงในรูป 4.4 (ก) โดยการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นการกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform corrosion) และการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion) ตลอดพื้นผิวของชิ้นงาน โดยการกัดกร่อนที่เกิดบนพื้นผิวของชิ้นงานที่แช่ในสารละลายกลีเซอรินที่เติมแทนนินที่ความเข้มข้น 0.32 กรัมต่อลิตร จะเกิดรุนแรงกว่าพื้นผิวของชิ้นงานที่เติมแทนนินที่ความเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตร

ส่วนพื้นผิวของชิ้นงานที่แช่ในสารละลายกลีเซอรินที่เติมแทนนินเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนที่ความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร เป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์ จะสังเกตว่ามีชั้นอีกชั้นหนึ่งมาเคลือบพื้นผิวของชิ้นงานเอาไว้ ดังแสดงในรูป 4.4 (ง) และ (จ) ตามลำดับ โดยจากการวิเคราะห์พื้นผิวของชิ้นงานด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน สามารถสรุปได้ว่า ชั้นของสารเคลือบที่เกิดขึ้น คือชั้นของสารประกอบเฟอร์ริกแทนเนต (Ferric tannate) ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการกัดกร่อนได้ จึงสามารถสรุปได้ว่าการเติมแทนนินลงในสารละลายกลีเซอรินสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ โดยตรวจพบชั้นของสารประกอบเฟอร์ริกแทนเนตที่ระยะเวลา 9 สัปดาห์

ส่วนสาเหตุที่ไม่พบชั้นของสารประกอบเฟอร์ริกแทนเนตบนพื้นผิวของชิ้นงานที่แช่ในสารละลายเป็นเวลา 6 สัปดาห์นั้น อาจจะเป็นเพราะหลังจากนำชิ้นงานออกจากสารละลายแล้ว ต้องนำชิ้นงานไปล้างในเครื่องล้างอัลตราโซนิกเป็นเวลา 45 นาที เพราะสารละลายกลีเซอรินซึ่งรวมไปถึงแทนนินนั้นมีความเหนียวมาก อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องมือวิเคราะห์ได้ ซึ่งหลังจากการล้างแล้วอาจทำให้ชั้นของสารประกอบเฟอร์ริกแทนเนตหลุดออกจากพื้นผิวของชิ้นงาน ทั้งนี้สารประกอบเฟอร์ริกแทนเนตที่เกิดขึ้นอาจยึดเกาะที่ผิวของชิ้นงานได้ไม่เพียงพอ หรือเกิดขึ้นในปริมาณที่ไม่มากพอ ทำให้หลังจากล้างในเครื่องล้างอัลตราโซนิกแล้วนำไปส่องพื้นผิวชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจึงไม่พบชั้นของสารประกอบเฟอร์ริกแทนเนตเกิดขึ้น



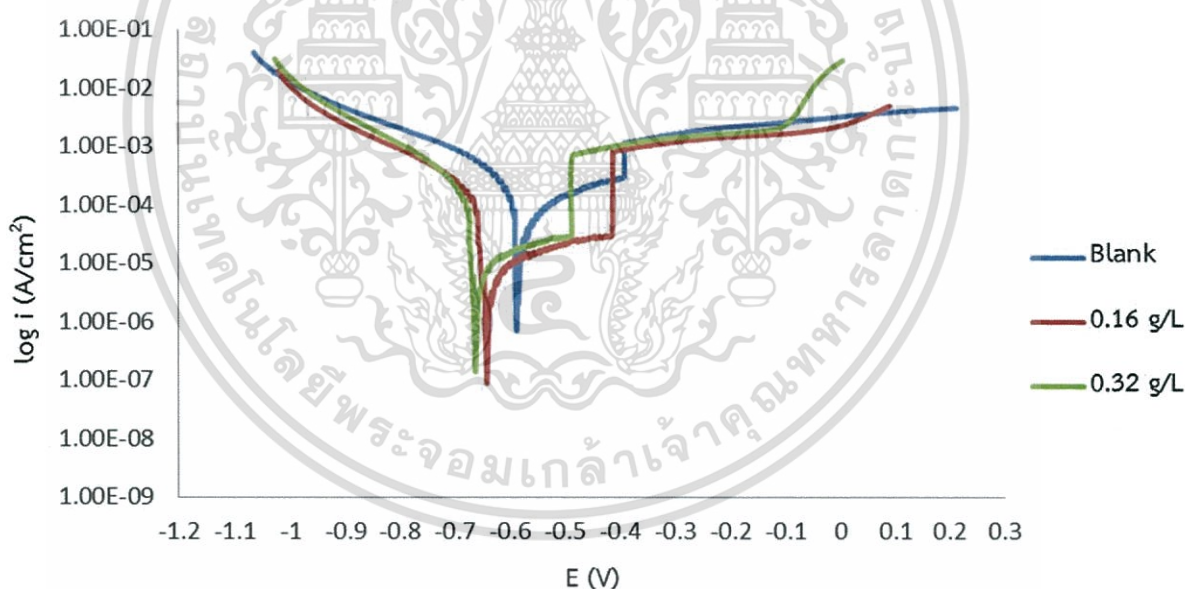
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวเหล็กกล้าคาร์บอนทั้งก่อน
 กลุ่มสารละลายกลีเซอริน (ก) และหลังกลุ่มสารละลายกลีเซอรินที่เติมแทนนินที่ความเข้มข้น และ
 ระยะเวลาต่างๆ (ข) 0.16 g/L 6 สัปดาห์ (ค) 0.32 g/L 6 สัปดาห์ (ง) 0.16 g/L 9 สัปดาห์
 (จ) 0.16 g/L 9 สัปดาห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทำโพลาริเซชันของแท่งนินที่ความเข้มข้นต่างๆที่มีต่อการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516-70

4.4.1 ผลจากการทำโพลาริเซชันของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่ไม่เติมและเติมแท่งนินที่สกัดจากไบโมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร

จากผลการทดลองแสดงดังรูป 4.5 โดยพบว่าเมื่อเติมแท่งนินที่สกัดจากไบโมันสำปะหลังลงในสารละลายกลีเซอรินแล้ว เส้นกราฟที่ได้จะมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปจาก สารละลายกลีเซอรินที่ไม่ได้เติมแท่งนิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมแท่งนินที่สกัดจากไบโมันสำปะหลังลงในสารละลายกลีเซอรินมีผลต่อการกัดกร่อนของชิ้นงาน โดยค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (Corrosion potential, E_{corr}) ค่าความหนาแน่นกระแสการกัดกร่อน (Corrosion current density, I_{corr}) ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน และอัตราการเกิดการกัดกร่อน (Corrosion rate) ได้ดังตาราง 4.2



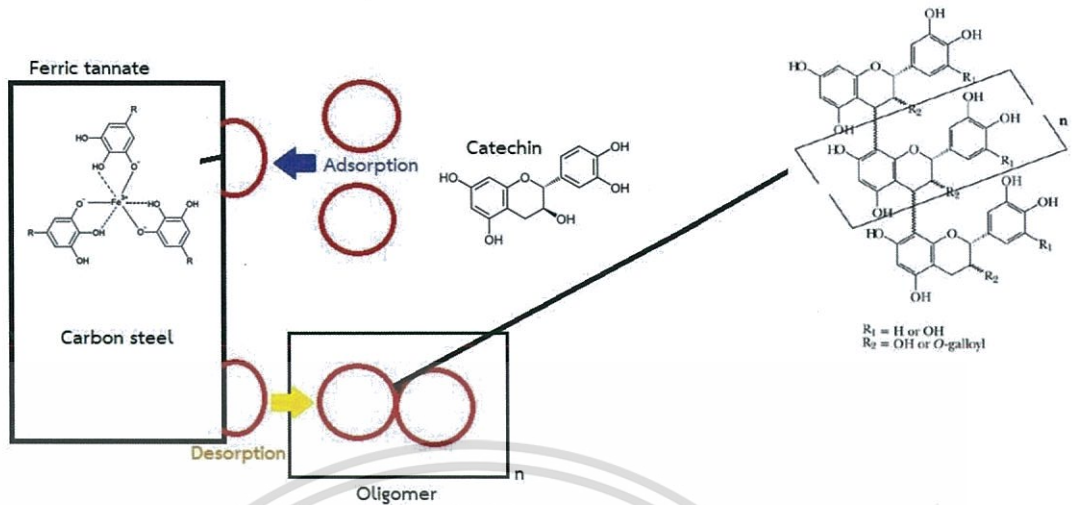
รูปที่ 4.5 กราฟโพเทนชิโอไดนามิกส์โพลาริเซชันของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ไม่มีและมีการเติมแท่งนินที่สกัดจากไบโมันสำปะหลังที่มีความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร ลงในสารละลายกลีเซอริน

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่ไม่มีและมีการเติมแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร ลงในสารละลายกลีเซอริน

ความเข้มข้นของสารแทนนิน (กรัมต่อลิตร)	ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน [E_{corr} (V)]	ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน [I_{corr} (A/cm ²)]	อัตราการเกิดการกัดกร่อน (มิลลิเมตรต่อปี)	ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน (ร้อยละ)
ไม่เติม	-0.58831	1.65×10^{-7}	1.92×10^{-3}	-
0.16	-0.62263	1.57×10^{-8}	1.82×10^{-4}	90.51
0.32	-0.66978	2.14×10^{-8}	2.49×10^{-4}	87.04

จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.2 พบว่าแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังไม่ได้ช่วยให้ความต้านทานการกัดกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) มีค่าลดลงจาก -0.58831 เป็น -0.62263 และ -0.66978 V เมื่อเติมแทนนินที่ความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน (I_{corr}) มีแนวโน้มลดลงจาก 1.65×10^{-7} เป็น 1.57×10^{-8} และ 2.14×10^{-8} A/cm² เมื่อเติมแทนนินที่ความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยทั้งนี้ เป็นผลมาจากการเกิดขึ้นของสารประกอบเพอร์ริกแทนเนตชั้นที่ผิวของชิ้นงาน ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของเหล็กเกิดได้ยากขึ้น ซึ่งจะสอดคล้องกับอัตราการเกิดการกัดกร่อนซึ่งมีค่าลดลงจาก 1.92×10^{-3} เป็น 1.82×10^{-4} และ 2.49×10^{-4} มิลลิเมตรต่อปี ตามลำดับ เมื่อเติมแทนนินที่ความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร ส่วนเหตุผลที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแทนนินที่เติมลงไปจาก 0.16 เป็น 0.32 กรัมต่อลิตร แล้วค่า I_{corr} และ อัตราการกัดกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้นนั้น มีสาเหตุมาจากการเติมแทนนินลงไปมากจนโมเลกุลของแทนนินเหลือในสารละลาย ซึ่งระหว่างโมเลกุลของแทนนินสามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นโพลิโกลเมอรได้ ซึ่งความแข็งแรงของพันธะระหว่างโมเลกุลของแทนนินจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อแทนนินในสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงก่อให้เกิดการคายซับ (Desorb) ของโมเลกุลแทนนินที่ดูดซับ (Adsorb) ลงบนพื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอน [23] ดังรูปที่ 4.6 และส่งผลให้ความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กลไกการดูดซับ คายซึบ บนพื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอน และพันธะระหว่างโมเลกุล ของสารแทนนิน

ในส่วนของประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนนั้นพบว่าการเติมแทนนินลงไป 0.16 กรัมต่อลิตร ให้ค่าของประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนสูงที่สุด คือมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 90.51 ส่วนการเติมแทนนินเพิ่มเป็น 0.32 กรัมต่อลิตร ให้ค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนเท่ากับ ร้อยละ 87.04 ซึ่งประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนที่ลดลงมีสาเหตุมาจากการคายซึบของโมเลกุลแทนนินบนพื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอน เนื่องจากความเข้มข้นของแทนนินที่เพิ่มขึ้น ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

4.4.2 ผลจากการเปรียบเทียบการทำโพลาริเซชันของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่เติมแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลัง เทียบกับแทนนินที่สกัดจากฟ้าทลายโจรและโซเดียมฟอสเฟต [7] ที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากผลการเปรียบเทียบระหว่างตัวยับยั้งการกัดกร่อนทั้ง 3 ชนิด สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3 โดยปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบประกอบไปด้วย ความเข้มข้น ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน (E_{corr}) และประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน

ตารางที่ 4.3 ผลการเปรียบเทียบค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนและประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนโดยใช้สารแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังกับแทนนินที่สกัดจากฟ้าทลายโจรและโซเดียมฟอสเฟต

สารยับยั้ง	ความเข้มข้น (กรัมต่อลิตร)	ศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน [E_{corr} (V)]	ประสิทธิภาพการยับยั้ง การกัดกร่อน (ร้อยละ)
โซเดียมฟอสเฟต	4.92	-0.504	90.77
	6.56	-0.480	94.84
	9.84	-0.462	96.51
แทนนินที่สกัดจากฟ้าทลาย โจร	0.016	-0.531	89.77
	0.080	-0.474	91.86
	0.160	-0.459	99.57
แทนนินที่สกัดจากใบมัน สำปะหลัง	0.160	-0.623	90.51
	0.320	-0.670	87.04

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนของโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินที่สกัดจากฟ้าทลายโจรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวยับยั้งการกัดกร่อนจะส่งผลให้ความต้านทานการกัดกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังนั้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นแล้ว จะส่งผลให้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนลดลง ซึ่งชี้ให้เห็นว่า การเพิ่มความเข้มข้นของตัวยับยั้งการกัดกร่อนไม่ได้ช่วยให้ความต้านทานการกัดกร่อนเพิ่มขึ้น

ส่วนค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนนั้น พบว่าแทนนินทั้ง 2 ชนิด ให้ค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนใกล้เคียงกับโซเดียมฟอสเฟต แต่มีปริมาณการใช้ต่ำกว่าโซเดียมฟอสเฟต อยู่ในช่วงประมาณ 15-615 เท่า ทำให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของแทนนินทั้ง 2 ชนิด น่าจะมีสูงกว่าโซเดียมฟอสเฟต ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างแทนนินทั้ง 2 ชนิดนั้น ที่ความเข้มข้นเดียวกัน คือ 0.16 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของแทนนินที่สกัดจากฟ้าทลายโจรมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 99.57 ส่วนแทนนินที่สกัดที่สกัดจากใบมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 90.51 ซึ่งแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังให้ค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนที่ต่ำกว่า และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังเป็น 0.32 กรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนที่ได้มีค่าลดลงเป็น ร้อยละ 87.04 เนื่องจากการคายซับของแทนนินบนพื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอน [23] ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของแทนนินที่สกัดจากฟ้าทลายโจรมีค่าสูงกว่าแทนนินที่สกัดได้จากใบมันสำปะหลัง



บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 จากการศึกษาพฤติกรรมและกลไกในการป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่แช่ในสารละลายกลีเซอริน ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยใช้แทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังเติมลงไปเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน โดยทำการวิเคราะห์พื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน พบว่าแทนนินสามารถทำปฏิกิริยากับผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกัดกร่อน (Corrosion product) และดูดซับลงบนพื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอน เกิดเป็นชั้นของสารประกอบ “เฟอร์ริกแทนเนต (Ferric tannate)” ซึ่งมีความเสถียรและสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้ โดยเมื่อพิจารณารูปภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวชิ้นงานที่แช่ในสารละลายกลีเซอรินเป็นเวลา 9 สัปดาห์ พบว่าพื้นผิวของชิ้นงานมีชั้นของสารอีกชั้นหนึ่งมาเคลือบพื้นผิวของชิ้นงานเอาไว้ และเมื่อพิจารณาผลจากอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน พบว่าปริมาณร้อยละของธาตุนบนพื้นผิวของชิ้นงานมีแนวโน้มที่ชัดเจนว่ามีสารประกอบเฟอร์ริกแทนเนต เคลือบอยู่บนพื้นผิวของชิ้นงาน

5.1.2 จากการศึกษาผลของเวลา ในการใช้แทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่แช่ในสารละลายกลีเซอริน ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ที่มีต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน โดยใช้วิธีการหาน้ำหนักที่หายไปศึกษาชิ้นงานในแต่ละสภาวะ ซึ่งพบว่าเมื่อนำค่าน้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่ของชิ้นงานที่เดิมแทนนินที่ความเข้มข้น 0.16 และ 0.32 กรัมต่อลิตร มาพล็อตกราฟเทียบกับเวลา โดยความชันกราฟจะแสดงถึงอัตราการกัดกร่อนในหน่วย มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร·สัปดาห์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.273 และ 0.386 ตามลำดับ จึงชี้ให้เห็นว่าอัตราการกัดกร่อนในการใช้แทนนินเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนที่ความเข้มข้น 0.32 กรัมต่อลิตร ของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ที่แช่ในสารละลายกลีเซอริน ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าการใช้แทนนินที่ความเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตร ประมาณ 1.41 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของการใช้แทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A516-70 ที่แช่ในสารละลายกลีเซอริน ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยการเติมแทนนินที่ความเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตร และ 0.32 กรัมต่อลิตร โดยใช้เทคนิคโพเทนชิโอดินามิกส์โพลาริเซชัน ในการหาค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อน ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน อัตราการเกิดการกัดกร่อน และประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแทนนิน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังไม่ได้ช่วยให้ความต้านทานการกัดกร่อนเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน และ อัตราการเกิดการกัดกร่อน พบว่ามีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเติมแทนนินลงไป ซึ่งความเข้มข้นของแทนนินที่ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน และ อัตราการเกิดการกัดกร่อน มีค่าต่ำที่สุดคือ 0.16 กรัมต่อลิตร จึงส่งผลให้ได้ค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนสูงสุดเท่ากับ ร้อยละ 90.51 ส่วนเหตุผลที่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นแทนนินเป็น 0.32 กรัมต่อลิตรแล้วได้ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนต่ำลง เนื่องจากโมเลกุลแทนนินที่ดูดซับลงบนพื้นผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนเกิดการคายซับ โดยเมื่อมีปริมาณแทนนินในสารละลายมาก แทนนินสามารถทำปฏิกิริยาเกิดเป็นโพลิโกลิเมอร์สายสั้นได้ ซึ่งความแข็งแรงของพันธะระหว่างโมเลกุลของแทนนินจะแปรผันตามความเข้มข้นของแทนนินในสารละลาย

5.1.4 จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของตัวยับยั้งการกัดกร่อนทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลัง แทนนินที่สกัดจากฟ้าทลายโจร และโซเดียมฟอสเฟต พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของตัวยับยั้งการกัดกร่อนทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ถ้าสังเกตปริมาณการใช้ จะพบว่าแทนนินทั้ง 2 ชนิดจะถูกใช้ในความเข้มข้นที่น้อยกว่าโซเดียมฟอสเฟตอย่างชัดเจน เพราะฉะนั้นแทนนินทั้ง 2 ชนิดน่าจะมีประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีกว่าโซเดียมฟอสเฟต ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างแทนนิน 2 ชนิด พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของแทนนินที่สกัดจากฟ้าทลายโจรมีค่าสูงกว่าแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลัง โดยเปรียบเทียบที่ความเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 99.57 และ ร้อยละ 90.51 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรลดเวลาล้างชิ้นงานหลังทำการแช่ในสารละลายกลีเซอรินที่เติมแทนนินเพื่อยับยั้งการกัดกร่อน เนื่องจากอาจทำให้สารประกอบอินทรีย์ที่เคลือบอยู่บนชิ้นงานเกิดการหลุดออก

5.2.2 ควรศึกษาประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังที่มีต่อเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด ASTM A516-70 ในสารละลายกลีเซอรินที่ผ่านการขจัดสบู่ออกโดยใช้กรดชนิดอื่นนอกเหนือจากกรดซัลฟิวริกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อาทิเช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริก กรดคาร์บอนิก เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สยาม แก้วคำไสย์. “มูลค่าความสูญเสียจากการกัดกร่อน (Costs of Corrosion)” [Online]. Available : <http://siamkaewkumsai.blogspot.com/2010/06/costs-of-corrosion.html>
- [2] M.G. Fontana. (1987). Corrosion Engineering. Mcgraw-Hill Co, Singapore
- [3] สมฤกษ์ จันทอัมพร. (2558). หลักการพื้นฐานการกัดกร่อน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์วิทยาลัย.
- [4] ปริญญา บุญสา และคณะ. (2560). ภาพรวมของการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนในอุตสาหกรรม, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมปีที่13, 2560(1), 83-95.
- [5] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนาปนนท์. “Tannin / แทนนิน” [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2376/tannin-แทนนิน>
- [6] มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. “มันสำปะหลัง” [Online], Available : <http://www.tapiocathai.org/C.html>
- [7] เกรียงไกร ทาประทุม. 2559. การยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนที่ใช้เป็นวัสดุหม้อต้มฆ่าในโรงงานผลิตไบโอดีเซลด้วยโซเดียมฟอสเฟตและแทนนินที่สกัดได้จากฟ้าทะลายโจร. ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [8] สำนักงานพัฒนาการวิจัยการเกษตร. “เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม” [Online], Available : <http://www.arda.or.th/kasetinfo/south/palm/used/01-04.php>
- [9] หัสวิภา หมายมั่น. “Scanning Electron Microscope : SEM” [Online], Available : <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/micro-analysis-instrument-menu/item/96-scanning-electron-microscope.html>
- [10] ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. “ENERGY DISPERSIVE SPECTROMETRY (EDS)” [Online], Available : http://www.mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=41&id=50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [11] นครินทร์ ศรีสุวรรณ และคณะ. การสังเคราะห์สารยับยั้งการกัดกร่อนชนิดแคโทดิกเพื่อป้องกันการกัดกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอน. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 1223-1228.
- [12] Carlos Eduardo de Almeida Souza Torres et al. Corrosion failure analysis in a biodiesel plant using electrical resistance probes. *Engineering Failure Analysis*, 2016, 365-372.
- [13] กมนชนก วงศ์สุขสิน และ ปนัดดา ผ่านสำแดง. การสกัดสารแทนนินจากใบมันสำปะหลัง. การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 2 “งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น” ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติฉลองสิริราชสมบัติ 60 ปี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, 214-224.
- [14] M. Dargahi et al. Tannin-Based Corrosion Inhibitor for Protection of Mild Steel. *Corrosion -Houston Tx-*, 2015, 1321-1329.
- [15] E. Kusmierek and E. Chrzescijanska. Tannic acid as corrosion inhibitor for metals and alloys. *Materials and Corrosion*, 2015(66), No.2, 169-174.
- [16] Afidah A. Rahim et al. Mangrove tannins and their flavanoid monomers as alternative steel corrosion inhibitors in acidic medium. *Corrosion Science*, 2007, 402-417.
- [17] S. Martinez and I. Stagljjar. Correlation between the molecular structure and the corrosion inhibition efficiency of chestnut tannin in acidic solutions. *Molecular Structure (Theochem)*, 2003, 167-174
- [18] นครินทร์ ศรีสุวรรณ และคณะ. ประสิทธิภาพการป้องกันการกัดกร่อนของสารยับยั้งการกัดกร่อนโพตัสเซียม โนนานีโอต บนเหล็กกล้าคาร์บอน. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 1460-1468
- [19] เสรี หนูหลง และคณะ. การกัดกร่อน-สีกร่อนของเหล็กกล้าคาร์บอนในสเลอรรี่ที่มีสภาวะเป็นกรด. การประชุมมหาดไทยวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6, 1429-1441
- [20] สุชา สุทธิเรืองวงศ์ และคณะ. ความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในกรดซัลฟิวริกโดยสารสกัดจากใบพลู. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, 2010, 79-87
- [21] H. Winkelmann et al. Corrosion mechanisms in the wood industry, especially caused by tannins. *Materials and Corrosion*, 2009(60), 40-48

- [22] Ruina Zhang et al. Synthesis and characterization of ferric tannate as a novel porous adsorptive-catalyst for nitrogen removal from wastewater. ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2015, 40785-40791
- [23] P. Morales-Gil et.al. Corrosion inhibition of pipeline steel grade API 5L X52 immersed in a 1 M H₂SO₄ aqueous solution using heterocyclic organic molecules. Electrochimica Acta, 2004, 4733-4741
- [24] Pierre R. Roberge. "Inhibitor efficiency" [Online], Available : <https://corrosion-doctors.org/Inhibitors/Efficiency.htm>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก ขั้นตอนการสกัดแทนนินจากใบไม้ป่าหลัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข ความเข้มข้นที่แท้จริงของแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลัง

ตาราง ข-1 ปริมาณแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังที่อยู่ในสารละลายกลีเซอริน

ชิ้นงาน	ความเข้มข้นที่แท้จริงของแทนนินที่สกัดจากใบมันสำปะหลังในสารละลายกลีเซอริน (กรัม/ลิตร)	ปริมาตรของสารละลาย (มิลลิลิตร)	ปริมาณของสารแทนนินเข้มข้น 1,500 ppm ที่ต้องเติมลงในสารละลาย (มิลลิลิตร)
A1	0.16	300	32
A2	0.16	300	32
B1	0.32	300	64
B2	0.32	300	64

ตัวอย่างการคำนวณ

สารละลายแทนนินเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตร ในสารละลายกลีเซอริน 300 มิลลิลิตร จะมีสารแทนนินอยู่ทั้งหมดเท่ากับ $(0.16 \times 300) / 1,000 = 0.048$ กรัม

เพราะฉะนั้นต้องเติมสารแทนนินเข้มข้น 1,500 ppm ลงไปเท่ากับ $(1,000 \times 0.048) / 1.5 = 32$ มิลลิกรัม จึงทำให้สารละลายกลีเซอริน 300 มิลลิลิตร มีสารแทนนินเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตรละลายอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค คำนวณน้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่

ตาราง ค-1 น้ำหนักที่หายไปของแต่ละชิ้นงาน

ชิ้นงาน	น้ำหนักก่อนการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักหลังการทดลอง (กรัม)	น้ำหนักที่หายไป (กรัม)	น้ำหนักที่ หายไป (มิลลิกรัม)
A1	30.88510	30.87644	0.00866	8.66000
A2	26.15220	26.14335	0.00885	8.85000
B1	28.03576	28.02956	0.00620	6.20000
B2	30.72441	30.71610	0.00831	8.31000

น้ำหนักที่หายไปหาได้จากสมการ

น้ำหนักที่หายไป = น้ำหนักก่อนการทดลอง - น้ำหนักหลังการทดลอง

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตาราง ค-1 น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงาน A1 มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}
 \text{น้ำหนักที่หายไป} &= 30.88510 - 30.87644 && \text{กรัม} \\
 &= 0.00866 && \text{กรัม} \\
 &= 0.00866 \times 1,000 && \text{มิลลิกรัม} \\
 &= 8.66000 && \text{มิลลิกรัม}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-2 พื้นที่ผิวที่เกิดการกักร่อนของแต่ละชั้นงาน

ชั้นงาน	ความกว้างเฉลี่ย (เซนติเมตร)	ความสูงเฉลี่ย (เซนติเมตร)	พื้นที่ที่เกิดการกักร่อน (ตารางเซนติเมตร)
A1	1.9600	1.0520	12.0893
A2	1.8550	0.9790	10.7052
B1	1.8970	1.0230	11.3611
B2	1.9203	1.0840	12.0142

พื้นที่ที่เกิดการกักร่อนหาได้จากสมการ

$$\text{พื้นที่ที่เกิดการกักร่อน} = (\text{ความกว้างเฉลี่ย})^2 + (4 \times \text{ความกว้างเฉลี่ย} \times \text{ความยาวเฉลี่ย})$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตาราง ค-2 พื้นที่ที่เกิดการกักร่อนของชั้นงาน A1 มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{พื้นที่ที่เกิดการกักร่อน} &= (1.9600)^2 + (4 \times 1.9600 \times 1.0520) && \text{ตารางเซนติเมตร} \\ &= 3.8416 + 8.2477 && \text{ตารางเซนติเมตร} \\ &= 12.0893 && \text{ตารางเซนติเมตร} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-3 น้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่ของแต่ละชั้นงาน

ชั้นงาน	น้ำหนักที่หายไป (มิลลิกรัม)	พื้นที่ที่เกิดการกักต้อน (ตารางเซนติเมตร)	น้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่ (มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
A1	8.66	12.0893	0.7163
A2	8.85	10.7052	0.8267
B1	6.20	11.3611	0.5457
B2	8.31	12.0142	0.6917

น้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่หาได้จากสมการ

น้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่ = น้ำหนักที่หายไป / พื้นที่ที่เกิดการกักต้อน

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตาราง ค-3 น้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่ของชั้นงาน A1 มีค่าเท่ากับ

น้ำหนักที่หายไปต่อพื้นที่ = $8.66 / 12.0893$ มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร
 = 0.7163 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน

ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนหาได้จากสมการ [24]

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

เมื่อ

$\%IE$ คือ ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อน

i คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน

i_{inhibit} คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนเมื่อเติมสารยับยั้ง

ตัวอย่างการคำนวณ

จากตารางที่ 4.3 เมื่อเติมแทนนินเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตร ลงในสารละลายกลีเซอริน จะสามารถหาประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \%IE &= [(1.65 \times 10^{-7} - 1.57 \times 10^{-8}) / 1.65 \times 10^{-7}] \times 100 \% \\ &= 90.51 \% \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนเมื่อเติมแทนนินเข้มข้น 0.16 กรัมต่อลิตร ลงในสารละลายกลีเซอริน มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนเท่ากับ ร้อยละ 90.51