การยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงด้วยสารสกัดจากใบชาเขียว และใบมันสำปะหลังในกรดไนตริก 0.1 โมลาร์

CORROSION INHIBITION OF COPPER BY *Camellica sinensis* AND *Manihot esculenta* (L.) Crantz LEAVES EXTRACT IN 0.1 MOLAR NITRIC ACID

นางสาวสุดาพร ศักดิ์ศิริศร

นางสาวปรียาพรรณ พุ่มระหงษ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2565

การยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงด้วยสารสกัดจากใบชาเขียว และใบมันสำปะหลังในกรดไนตริก 0.1 โมลาร์

CORROSION INHIBITION OF COPPER BY *Camelliea sinensis* AND *Manihot esculenta* (L.) Crantz LEAVES EXTRACT IN 0.1 MOLAR NITRIC ACID

นางสาวสุดาพร ศักดิ์ศศิธร
นางสาวปรียาพรรณ พุ่มระหงษ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CORROSION INHIBITION OF COPPER BY *Camelliea sinensis* AND *Manihot esculenta* (L.) Crantz LEAVES EXTRACT IN 0.1 MOLAR NITRIC ACID

MISS SUDAPORN SAKSASITORN

MISS PREEYAPUN POOMRAHONG

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THR DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN INDUSTRIAL CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABAQNG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงด้วยสารสกัดจากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลังในกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ Corrosion Inhibition of Copper by *Camelliea sinensis* and *Manihot esculenta* (L.) Crantz Leaves Extract in 0.1 Molar Nitric Acid
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุดาพร ศักดิ์ศศิธร 52050249 นางสาวปรียาพรรณ พุ่มระหงษ์ 52051142
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้นับโครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2555

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ปานไพลิน สีหาราช	ปานไพลิน
ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน	
ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงด้วยสารสกัดจากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลังในกรดไนตริก 0.1โมลาร์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวสุดาพร ศักดิ์ศศิธร
	นางสาวปรียาพรรณ พุ่มระหงษ์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงในสารละลายกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ด้วยสารสกัดจากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลัง ทำการสกัดจากใบพืชแห้งโดยใช้ 50% เอทานอลเป็นตัวทำละลายสกัดสารจากใบชาเขียว และ 50% อะซีโตนและ 80% เอทานอล เป็นตัวทำละลายสกัดสารจากใบมันสำปะหลัง จากนั้นนำสารสกัดไปทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนด้วยเทคนิคโพลาไรเซชัน (Polarization) โดยไม่เติมสารสกัดและเติมสารสกัดที่ความเข้มข้น 10 100 1000 และ 10000 mg/L ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบใบพืชทั้งสองชนิดพบว่าสารสกัดจากใบมันสำปะหลังสามารถยับยั้งการกัดกร่อนได้ดีที่ความเข้มข้น 10 mg/L เมื่อเทียบกับใบชาเขียว โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของสารสกัดจากใบมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 10 mg/L มีค่าเท่ากับ 99.3% เมื่อเทียบกับใบชาเขียวที่ความเข้มข้นเดียวกันซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนเท่ากับ 96.4% โดยสารสกัดจากใบมันสำปะหลังและใบชาเขียวสามารถยับยั้งการกัดกร่อนได้สูงที่สุดถึง 99.9% เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเป็น 1000 mg/L เมื่อทำการตรวจวัดหาสารองค์ประกอบในสารสกัดด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟชนิดของเหลวประสิทธิภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography,HPLC) พบว่า ในสารสกัดจากใบมันสำปะหลังมีคาเทชินเป็นองค์ประกอบมีปริมาณเท่ากับ 1,254 mg/L ส่วนสารสกัดจากใบชาเขียวพบคาเทชินเป็นองค์ประกอบเท่ากับ 280 mg/L และคาเฟอีนเป็นองค์ประกอบเท่ากับ 8,018 mg/L ตามลำดับ

คำสำคัญ : ชาเขียว, มันสำปะหลัง, คาเทชิน, คาเฟอีน, การยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Corrosion Inhibition of Copper by *Camelliea sinensis* and *Manihot esculenta* (L.) Crantz Leaves Extract in 0.1 molar Nitric acid
Student	Miss Sudaporn Saksasitorn
	Miss Preeyapun Poomrahong
Degree	Bachelor of Science
Major	Industrial Chemistry
Advisor	Asst.Prof.Dr. Sutha Sutthiruangwong

ABSTRACT

This work studied the corrosion inhibition efficiency of copper in 0.1 molar nitric by *Camelliea sinensis* (green tea) and *Manihot esculenta* (L.) Crantz. (cassava) leaves extract. The extraction applied 50% ethanol for green tea leaves and 50% acetone with 80% ethanol for cassava leaves. The corrosion inhibition was done at the concentration of 10 100 1000 and 10000 mg/L. It was found that 10 mg/L of cassava leaves extract showed high inhibitor efficiency of 99.3% which is higher when compared to green tea extract at the same concentration with inhibition efficiency of 96.4%. However both extract showed highest inhibition efficiency of 99.9% at 1000 mg/L of extract. The detected components in the extract done by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) were catechin in cassava and caffeine with catechin in green tea. The amount of catechin was 1,254 mg/L in cassava extract. The amount of catechin and caffeine in green tea were 280 and 8,018 mg/L respectively.

Keywords : Green tea, Cassava, Catechin, Caffeine, Corrosion inhibition of copper

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

หัวข้อโครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะความอนุเคราะห์ของบุคคลากรหลายๆฝ่ายที่คอยให้คำแนะนำ ปรึกษาและเสนอแนะให้กับคณะผู้จัดทำมาเป็นอย่างดี ซึ่งคณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณดังนี้

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่เป็นผู้ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร วัลลภ อารีรบ และคณะลูกศิษย์ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์บางเขน ที่ให้คำแนะนำตลอดจนข้อมูลในการศึกษาและสกัดสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง

ขอขอบพระคุณสถาบันชา มหาลัยแม่ฟ้าหลวงที่ให้ความรู้และข้อมูลเกี่ยวกับพันธ์ชาชนิดต่างๆรวมทั้งองค์ประกอบและปริมาณคาเทชินในแต่ละชนิด

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำปรึกษาในการใช้เครื่องมือ การปฏิบัติงาน รวมทั้งคำแนะนำต่างๆตลอดจนการให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์ และเครื่องมือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน และ ดร.ปานไพลิน สีหาราช กรรมการตรวจสอบโครงงานพิเศษนี้ที่ให้คำแนะนำ ติชม ตลอดจนข้อเสนอแนะต่างๆ มาเป็นอย่างดี

ท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านทฤษฎีและปฏิบัติการ คอยสนับสนุน และให้คำปรึกษามาโดยตลอด เป็นผลให้สามารถทำโครงงานพิเศษเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี ซึ่งคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และขออภัยหากมีข้อผิดพลาดประการใดไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

นางสาวสุดาพร ศักดิ์ศศิธร

นางสาวปรียาพรรณ พุ่มระหงษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูปภาพ	XI
บทที่ 1 บทนำ	
1.1. ความเป็นมาของโครงงาน	1
1.2. วัตถุประสงค์	3
1.3. ขอบเขตของการศึกษา	3
1.4. วิธีการศึกษา	3
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1. หลักการกัดกร่อน	5
2.2. กลไกการกัดกร่อน	5
2.2.1. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง	5
2.2.2. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า	6
2.3. ลักษณะของการกัดกร่อน	8
2.3.1. การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ	8
2.3.2. การกัดกร่อนแบบกัลวานิก	8
2.3.3. การกัดกร่อนแบบหลุม	8
2.3.4. การกัดกร่อนบริเวณซอก	9
2.3.5. การกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน	9
2.3.6. การกัดกร่อนจากความเค้น	9
2.3.7. การกัดกร่อนร่วมกับความล้า	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4. การป้องกันการกัดกร่อน	9
2.4.1. การเลือกใช้วัสดุ	9
2.4.2. การปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อม	10
2.4.2.1. การลดอุณหภูมิ	10
2.4.2.2. การลดปริมาณออกซิเจนหรือตัวออกซิไดซ์	10
2.4.2.3. การเปลี่ยนความเข้มข้น	10
2.4.3. สารยับยั้งการกัดกร่อน	11
2.4.3.1. สารยั้บยั้งการกัดกร่อนชนิดดูดซับ	11
2.4.3.2. สารหน่วงปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรเจน	11
2.4.3.3. สารกำจัดออกซิเจน	11
2.4.3.4. การปรับสภาพผิว	12
2.4.4. การป้องกันการกัดกร่อนจากพืชธรรมชาติ	12
2.4.4.1. พืชที่ใช้ในงานวิจัย	12
1. ชาเขียวญี่ปุ่น	12
2. ใบมันสำปะหลัง	16
2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
2.6. การสกัด	22
2.6.1. การสกัดด้วยไอน้ำ	22
2.6.2. การสกัดด้วยตัวทำละลาย	23
2.6.2.1. การสกัดแบบแบท	24
2.6.2.2. การสกัดอย่างต่อเนื่อง	24
2.6.2.3. การสกัดของแข็ง	26
2.7. เครื่องโครมาโตกราฟชนิดของเหลวประสิทธิภาพสูง	29
2.7.1. หลักการของเครื่อง HPLC	30
2.7.2. การวิเคราะห์	30
2.7.3. ส่วนประกอบหลักของเครื่อง HPLC	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 32

3.2. อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 33

3.3. วิธีการทดลอง 34

3.3.1. การสกัด 34

3.3.2. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 36

3.3.3. วิธีการทดสอบการกัดกร่อน 39

3.3.4. วิธีการวัดปริมาตรคาเทชิน และคาเฟอีนในสารสกัดจาก ใบชาเขียวโดยใช้เครื่อง HPLC 39

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1. ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของทองแดงจากสารสกัดใบชาเขียว 40

4.2. ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของทองแดงจากสารสกัดใบมันสำปะหลัง 44

4.3. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารและความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของ คาเทชินในใบชาเขียวและใบมันสำปะหลังและคาเฟอีนในสารสกัดใบชาเขียว 47

4.3.1. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณคาเทชินในสารสกัดชาเขียว 47

4.3.2. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณคาเฟอีนในสารสกัดชาเขียว 49

4.4. ค่า pH ของกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ที่เติมสารสกัดจาก ใบชาเขียวและใบมันสำปะหลัง 52

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการวิจัย 54

5.2. ข้อเสนอแนะ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก ก รูปภาพประกอบการทดลอง	58
ภาคผนวก ข สูตรการคำนวณ	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์	8
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบในใบมันสำปะหลังแห้ง	17
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงโดยสารสกัดจากใบชาเขียว	40
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงโดยสารสกัดใบมันสำปะหลัง	44
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบวัดค่า pH ของกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ที่เติมสารสกัดจากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลัง	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่1.1 แสดงโครงสร้างของสารแทนนิน	1
รูปที่ 2.1 ใบชาเขียว	12
รูปที่ 2.2 ใบมันสำปะหลัง	16
รูปที่ 2.3 การสกัดด้วยไอน้ำแบบที่ 1	23
รูปที่ 2.4 การสกัดด้วยไอน้ำแบบที่ 2	23
รูปที่ 2.5 การสกัดแบบแบท	24
รูปที่ 2.6 เครื่องมือสำหรับการสกัดแบบต่อเนื่อง	25
รูปที่ 2.7 แสดงการสกัดอย่างต่อเนื่องโดยใช้ตัวสกัดเพียงเล็กน้อย	26
รูปที่ 2.8 เครื่องมือสำหรับทำการสกัดต่อเนื่องแบบธรรมดาที่ เรียกว่า Continuous-infusion extractor	27
รูปที่ 2.9 เครื่องมือสำหรับทำการสกัดแบบ discontinuous-infusion หรือเครื่องสกัดซอกเลต	28
รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่อง HPLC	29
รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง HPLC	30
รูปที่ 3.1 ใบมันสำปะหลัง	34
รูปที่ 3.2 การสกัดฟลาโวนอยด์จากใบมันสำปะหลังโดยชุดซอกห์เลต	35
รูปที่ 4.1 กราฟโพลาไรเซชันของกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ที่ไม่เติมและเติมสารสกัด ชาเขียวความเข้มข้น 10 100 1000 และ 10000 mg/L	40
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการยั้งยัง การกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารสกัดใบชาเขียว	41
รูปที่ 4.3 โครงสร้างสารที่พบในสารสกัดใบชาเขียว	43
รูปที่ 4.4 กราฟโพลาไรซ์เซชันของกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ที่ไม่เติมและเติมสารสกัด จากใบมันสำปะหลังความเข้มข้น 10 100 1000 และ 10000 mg/L	44
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการยับยั้ง การกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารสกัดใบมันสำปะหลัง	45
รูปที่ 4.6 โครงสร้างสารที่พบในสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง	46
รูปที่ 4.7 กราฟโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานคาเทชิน	47
รูปที่ 4.8 กราฟโครมาโตแกรมของสารคาเทชินในสารสกัดใบชาเขียว	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ และค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาเทชิน	48
รูปที่ 4.10 กราฟโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานคาเฟอีน	49
รูปที่ 4.11 กราฟโครมาโตแกรมของสารคาเฟอีนในสารสกัดใบชาเขียว	49
รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาเฟอีน	50
รูปที่ 4.13 กราฟโครมาโตแกรมของสารคาเทชินในสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

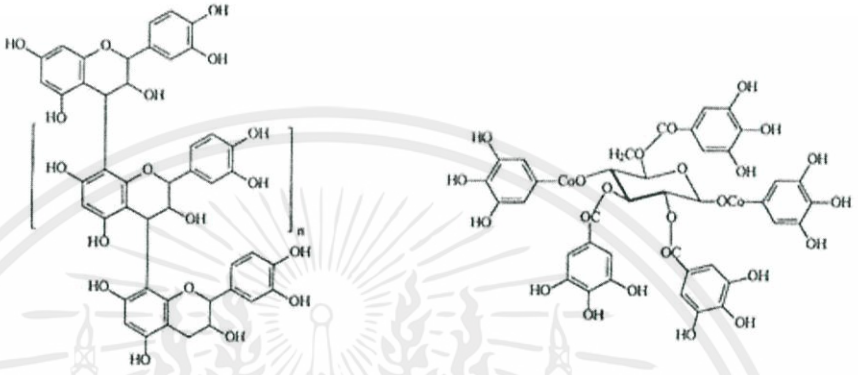
บทนำ

1.1. ความเป็นมาของโครงงาน

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ประกอบด้วยโครงสร้างโรงงานที่มีเหล็กเป็นวัสดุหลัก เช่นอุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมการสำรวจและขุดเจาะน้ำมันดิบ อุตสาหกรรมการกลั่นน้ำมันดิบ เป็นต้น ซึ่งในหน่วยการผลิตประกอบด้วยท่อส่ง โครงสร้างเหล็ก รวมทั้งเครื่องจักร ที่ทำจากวัสดุโลหะทั้งสิ้น นอกเหนือจากการใช้งานในอุตสาหกรรม วัสดุประเภทโลหะยังถูกใช้อย่างกว้างขวางในด้านการผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน ปัญหาด้านการกัดกร่อนเป็นปัญหาหลักในอุตสาหกรรมเหล่านี้เนื่องจากก่อให้เกิดความเสียหายเป็นมูลค่าสูง เมื่อเกิดการกัดกร่อนทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา รวมทั้งอาจเกิดการสูญเสียทางอ้อม เช่น การหยุดโรงงาน สูญเสียประสิทธิภาพในการผลิต การปนเปื้อนของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการออกแบบโครงสร้างเกินความจำเป็น จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องป้องกันการกัดกร่อนของโลหะ เพื่อยืดอายุการใช้งานให้ยาวนานขึ้น และส่งผลต่อการลดค่าใช้จ่าย รวมทั้งการลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ (แร่เหล็กและโลหะอื่นๆ) โดยใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด การป้องกันการกัดกร่อนมีหลากหลายวิธีการ เช่น การป้องกันการกัดกร่อนแบบแคโทด การป้องกันการกัดกร่อนแบบแอโนด การป้องกันโดยการกัลวาไนซ์ และการชุบเคลือบด้วยสารเคมี เป็นต้น ซึ่งการป้องกันในแต่ละแบบเหมาะกับอุตสาหกรรมหรือชิ้นส่วนโลหะที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับหน้าที่และการใช้งาน ในการชุบเคลือบด้วยสารเคมี หรือการเติมสารยับยั้งการกัดกร่อนที่เป็นสารเคมีสังเคราะห์อาจมีความเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงมีแนวคิดในการสกัดสารยับยั้งการกัดกร่อนจากธรรมชาติเพื่อลดการใช้สารเคมีสังเคราะห์ ลดอันตรายจากการใช้สารเคมีต่อสิ่งแวดล้อมและผู้ที่ปฏิบัติงาน ในอุตสาหกรรมการเกษตรอย่างการปลูกมันสำปะหลัง เมื่อเกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้ว จะเหลือเศษใบมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก และอาจจะนำเศษเหลือเหล่านี้ไปเผาทำลายหรือนำไปเป็นอาหารสัตว์ ซึ่งเศษเหลือเหล่านี้ยังไม่มีการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด แต่สารแทนนินในใบมันสำปะหลังสามารถถูกสกัดออกมาเพื่อใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรม โดยสารแทนนินเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) และยังมีสารประกอบจำพวกโพลิฟีนอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Polyphenol) ซึ่งใช้มากในอุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมย้อมสี การทำยา รวมทั้งการนำไปทำปุ๋ย นอกจากนี้สารแทนนินยังมีคุณสมบัติในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Anti-oxidant) นับว่าเป็นสารที่น่าสนใจและสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานด้านการป้องกันการกัดกร่อนของโลหะได้



รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของสารแทนนิน

นอกจากนี้ใบชาซึ่งมีแทนนินในปริมาณที่สูงและสารกลุ่มคาเทชินซึ่งเป็นสารประกอบอะโรมาติกก็มีความน่าสนใจในการนำมาสกัดเพื่อไปเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน โดยชาที่นำมาใช้ในการสกัดคือ ชาเขียวเนื่องจากใบชามีหลากหลาย ชนิด เช่น ใบชาเขียว ชาดำ ชาขาว และชาอู่หลง เป็นต้น ใบชาแต่ละชนิดมีสายพันธุ์และกรรมวิธีในการผลิตแตกต่างกัน เช่น ชาดำเป็นชาที่ผ่านกระบวนการหมัก และคั่วทำให้สารแทนนินสูญเสียไปในระหว่างกระบวนการผลิต โดยจะเกิดการออกซิไดซ์ในระหว่างนี้ ทำให้ความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระลดลง ต่างจากใบชาเขียวเป็นชาที่เก็บแล้วไม่ผ่านกระบวนการหมักและการให้ความร้อนโดยการคั่ว แต่เพียงแค่อบแห้งเท่านั้น ปริมาณสารอาหารและสารต้านอนุมูลอิสระจึงสูญเสียไปเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับใบชาชนิดอื่น ใบชาเขียวจึงเหมาะสมแก่การนำมาสกัดเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน โดยสารสกัดจากธรรมชาติจะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและผู้ปฏิบัติงาน ช่วยลดปัญหาการกำจัดสารพิษจากอุตสาหกรรมการสังเคราะห์สารเคมียับยั้งการกัดกร่อน ในงานทดลองนี้จึงทำการสกัดสารแทนนินจากใบมันสำปะหลังและใบชาเขียวในสภาวะกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ เนื่องจากงานวิจัยส่วนใหญ่ทำการทดลองในสภาวะที่เป็นกรดรีดิวซ์ (Reduce) จึงทำการทดลองในสภาวะที่เป็นกรดออกซิไดซ์ (Oxidize) เพื่อจำลองสภาวะในการใช้งานอีกรูปแบบหนึ่งทดสอบว่าสารสกัดจากพืชสองชนิดนี้จะสามารถป้องกันการกัดกร่อนของโลหะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2. วัตถุประสงค์

1.2.1. เพื่อศึกษาสมบัติของสารสกัดที่ได้จากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลัง ที่สามารถออกฤทธิ์ยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงในสารละลายกรดไนตริก 0.1 โมลาร์

1.2.2. เพื่อศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดง

1.3. ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาและทดลองใช้สารสกัดจากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลัง เพื่อใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงในสารละลายกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ โดยวิธีเปรียบเทียบการกัดกร่อนของทองแดงที่ไม่ได้เติมสารสกัดจากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลัง ที่ความเข้มข้น 10 100 1000 และ 10000 mg/L

1.4. วิธีการศึกษา

1.4.1. ค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการกัดกร่อน การป้องกันการกัดกร่อน

1.4.2. ศึกษาเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกโพลาไรเซชัน

1.4.3. จัดหาอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้สำหรับการทดลอง

1.4.4. สกัดสารจากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อน

1.4.5. ทำการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล

1.4.6. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.4.7. เขียนรายงานการทดลอง

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการกัดกร่อนและการยับยั้งการกัดกร่อน

1.5.2. มีความสามารถในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.3. สามารถนำสารสกัดจากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลังมาใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแทนสารเคมีสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1. หลักการกัดกร่อน

การกัดกร่อน คือปฏิกิริยาระหว่างวัสดุโลหะกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงที่สามารถวัดค่าได้ และเป็นสาเหตุให้ความสามารถในการทำหน้าที่ของวัสดุเสียไป ในกรณีส่วนใหญ่ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า แต่บางครั้งสามารถเป็นปฏิกิริยาเคมีทั่วไปได้ [1] ซึ่งอัตราการกัดกร่อนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเข้มข้น ชนิดของตัวทำปฏิกิริยาเคมี ผลจากปฏิกิริยาเคมี และอาจเกิดจากปัจจัยอื่นอีก เช่น ความเค้นเชิงกล และการกัดเซาะ [2]

การกัดกร่อนเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติอย่างหนึ่ง เนื่องจากโลหะส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในธรรมชาติจะอยู่รวมกับสารอื่นเป็นสารประกอบโลหะหรือที่เรียกว่าสินแร่ ซึ่งเป็นลักษณะที่มีเสถียรภาพอยู่แล้ว เมื่อนำสินแร่ไปสกัดเป็นโลหะบริสุทธิ์จะทำให้ความไม่มีเสถียรภาพเกิดขึ้น ดังนั้นโลหะที่ไม่มีเสถียรภาพจึงพยายามกลับคืนสู่สภาพเดิมซึ่งมีเสถียรภาพสูงกว่า เช่น การที่เหล็กกล้ามีแนวโน้มที่จะกลับคืนเกิดเป็นเหล็กออกไซด์โดยการกัดกร่อน

2.2. กลไกการกัดกร่อน

การกัดกร่อนมีกลไกที่สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

2.2.1. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรง [3]

การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีโดยตรงเป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดกับโลหะ โลหะที่ใช้ในงานวิศวกรรมที่อยู่ในกลุ่มธาตุทรานซิชันจะสามารถรวมกับออกซิเจนในสิ่งแวดล้อมได้ค่อนข้างน้อย การเกิดออกซิเดชันของโลหะดังกล่าวจะเกิดได้ช้ามากที่อุณหภูมิห้อง และจะสามารถเกิดได้เร็วมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ดังเช่นการเกิดสะเก็ดที่ผิวของเหล็กกล้าเมื่ออบจนถึงอุณหภูมิร้อนแดง เมื่ออบเหล็กให้ร้อนในบรรยากาศที่มีออกซิเจนจะเกิดชั้นของสะเก็ดออกไซด์สีดำของ FeO เคลือบที่ผิวนอก ดังสมการที่ 2.1

เอกสารนี้เป็น... ไม่ว่ากรณีใด... เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2Fe + O_2 \longrightarrow 2FeO$$ สมการที่ 2.1

จากสมการที่ 2.1 เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากอะตอมของเหล็กถูกออกซิไดซ์ ในขณะที่อะตอมของออกซิเจนถูกรีดิวซ์ กระบวนการจะเกี่ยวข้องกับการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากอะตอมเหล็กไปยังอะตอมของออกซิเจน

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^- \quad \text{(แอโนด)}$$ สมการที่ 2.2

$$O_2 + 4e^- \longrightarrow O_2^{2-} \quad \text{(แคโทด)}$$ สมการที่ 2.3

แอโนด (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) คือกระบวนการที่อะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน

แคโทด (ปฏิกิริยารีดักชัน) คือกระบวนการที่อะตอมรับอิเล็กตรอน

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไม่ได้เกิดจากผลของออกซิเจนเพียงอย่างเดียว แต่อาจมาจากสารปนเปื้อน เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ซัลเฟอร์ออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน และไอน้ำ ที่เป็นสาเหตุทำให้โลหะเกิดการเสื่อมสภาพเร็วมากขึ้นที่อุณหภูมิสูง

2.2.2. การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า [3,5]

การกัดกร่อนจากปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า เป็นการกัดกร่อนที่เกิดกับโลหะที่อุณหภูมิห้องโดยจะเกิดเมื่อโลหะต่างกันสองชนิดที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตราฐานต่างกัน สัมผัสกันทางไฟฟ้า และอยู่ในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ สารละลายอิเล็กโตรไลต์จะเป็นสารที่ประกอบด้วยไอออนบวกและไอออนลบที่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ตัวอย่างการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้า เหล็กในสารละลายกรดเมื่อจุ่มเหล็กในสารละลายกรดเจือจางหรือกรดไฮโดรคลอริก จะเกิดก๊าซไฮโดรเจนที่ผิวพร้อมกับเหล็กที่ละลายออกมาเป็นไอออนของเหล็กเกิดเป็นสารประกอบของเหล็กคลอไรด์ที่ละลายได้ ดังสมการที่ 2.4

$$Fe + 2HCl \longrightarrow FeCl_2 + H_{2\,(g)}$$ สมการที่ 2.4

จะเห็นได้ว่าไอออนคลอไรด์ไม่ได้เป็นส่วนหลักของปฏิกิริยาเลย ปฏิกิริยาของไอออนอย่างง่ายเป็นดั้งสมการที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Fe + 2H^+ + 2Cl^- \longrightarrow Fe^{2+} + H_{2\,(g)} + 2Cl^-$$ สมการที่ 2.5

จะเห็นว่าเหล็กเกิดปฏิกิริยาการกัดกร่อนเป็นปฏิกิริยาย่อย 2 ปฏิกิริยา ดังนี้

1. ครึ่งปฏิกิริยาแอโนด (Anodic reaction) $Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e^-$

2. ครึ่งปฏิกิริยาแคโทด (Cathodic reaction) $2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$

ซึ่งปฏิกิริยาแอโนดคือปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กที่เกิดปฏิกิริยาให้อิเล็กตรอนแล้วมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นส่วนครึ่งปฏิกิริยาแคโทดเป็นปฏิกิริยารีดักชันของไฮโดรเจนที่เกิดปฏิกิริยารับอิเล็กตรอนแล้วมีเลขออกซิเดชันลดลง ซึ่งปฏิกิริยาทั้งสองจะเกิดควบคู่กันไป กล่าวคือมีการให้และรับอิเล็กตรอนในเวลาเดียวกันด้วยอัตราที่เท่ากันที่ผิวโลหะ

ตารางค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์มาตรฐาน (ตารางที่ 2.1) เป็นตารางแสดงคุณสมบัติการเป็นโลหะเฉื่อย และว่องไว จากการพิจารณาจากค่าศักย์ไฟฟ้า เมื่อเทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน ข้อสรุปที่ได้จากตารางมีดังนี้ [2]

1. โลหะเฉื่อย (Noble metal) จะมีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานสูงกว่าโลหะว่องไว (Active metal)

2. โลหะที่มีความต่างศักย์ต่ำกว่าจะเข้าทำปฏิกิริยาแทนที่โลหะที่มีค่าความต่างศักย์สูงกว่าในสารละลายได้

3. สามารถบอกได้ว่าโลหะจะถูกกัดกร่อนโดยกรดได้หรือไม่ ถ้าโลหะที่มีค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานสูงกว่า ไฮโดรเจนก็จะไม่ถูกกัดกร่อนในสภาวะกรด (ยกเว้นในกรณีที่มีออกซิเจนอยู่ในสารละลายด้วย)

4. โลหะสองชนิดเมื่อนำมาสัมผัสกันโลหะที่เฉื่อยจะทำหน้าที่เป็นแคโทดและรับอิเล็กตรอน ส่วนโลหะที่ว่องไวจะทำหน้าที่เป็นแอโนดและให้อิเล็กตรอน

5. โลหะสองชนิดเมื่อนำมาสัมผัสกันความรุนแรงของปฏิกิริยาการกัดกร่อนจะขึ้นอยู่กับผลต่างของค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของโลหะทั้งสองชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าครึ่งเซลล์ [4]

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

2.3. ลักษณะของการกัดกร่อน [1,2]

2.3.1. การกัดกร่อนแบบสม่ำเสมอ (Uniform corrosion) เป็นการกัดกร่อนทั่วทั้งผิวหน้า ซึ่งพบมากที่สุด และเป็นชนิดที่ทำให้โลหะสูญเสียเนื้อโลหะมากที่สุด การเกิดการกัดกร่อนแบบนี้จะทำให้อายุการใช้งานของโลหะสั้นลง

2.3.2. การกัดกร่อนแบบกัลวานิก (Galvanic corrosion) เป็นการกัดกร่อนที่เกิดจากโลหะสองชนิดที่ต่างกันมาสัมผัสกันและจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโตรไลต์เดียวกันจะเกิดการ กัดกร่อนที่บริเวณรอยต่อของโลหะ

2.3.3. การกัดกร่อนแบบหลุม (Pitting) เป็นการกัดกร่อนที่พบมากในอุตสาหกรรม โดยทั่วไปสามารถพบได้ในโลหะที่มีพฤติกรรมการสร้างชั้นป้องกัน (Passivation) ความเสียหายที่เกิดบนผิวของชิ้นงานมีลักษณะเป็นจุด มีการเสียเนื้อโลหะน้อย แต่เป็นการกัดกร่อนที่อันตราย เนื่องจากไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4. การกัดกร่อนบริเวณซอก (Crevice corrosion) เป็นการกัดกร่อนที่เกิดจากความแตกต่างของปริมาณโลหะไอออน หรือความเข้มข้นของออกซิเจน ซึ่งจะเกิดการกัดกร่อนในบริเวณซอก และบริเวณใต้พื้นที่อับต่างๆ เช่น หมุดย้ำ ปะเก็น

2.3.5. การกัดกร่อนบริเวณขอบเกรน (Intergranular corrosion) เป็นการเกิดการกัดกร่อนขึ้นระหว่างเกรนตัวอย่าง เช่น การกัดกร่อนของถังเหล็กที่ใช้ในสิ่งแวดล้อมที่เป็นด่าง

2.3.6. การกัดกร่อนจากความเค้น (Stress corrosion) เมื่อวัสดุได้รับแรงเค้นจากสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดการกัดกร่อนได้ การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นอาจเป็นรอยแตก หรือรอยแยกระหว่างเกรนก็ได้

2.3.7. การกัดกร่อนร่วมกับความล้า (Corrosion fatigue) ในกรณีนี้ชิ้นงานจะถูกแรงเค้นซ้ำๆ เป็นเหตุให้เกิดความเสียหายโดยก่อให้เกิดรอยแตกที่แผ่ขยาย ทำให้ชิ้นงานเสียหายในที่สุด

2.4. การป้องกันการกัดกร่อน [6]

การกัดกร่อนสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัยที่เอื้อเฟื้อกัน โดยมีองค์ประกอบต่างๆ คือ น้ำ อากาศ ในสภาพแวดล้อมที่เอื้อให้เกิดการกัดกร่อน การป้องกันการกัดกร่อนจึงสามารถทำได้โดยตัดปัจจัยเหล่านี้ออก การป้องกันการกัดกร่อนสามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

2.4.1. การเลือกใช้วัสดุ (Material selection)

โดยทั่วไปวิธีการป้องกันการกัดกร่อนที่ง่ายที่สุดคือการเลือกใช้วัสดุโลหะหรืออัลลอยด์ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมในการใช้งาน มีความทนการกัดกร่อนได้ดีในสภาวะนั้นๆ ซึ่งโดยปกติแล้วการเลือกใช้วัสดุโลหะบางประเภทมักถูกเลือกใช้อย่างไม่ถูกต้อง เช่น การใช้เหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นไม่ใช่วัสดุที่สามารถต้านทานการกัดกร่อนได้ดีที่สุด และไม่ได้ไม่ขึ้นสนิมเสมอไป โดยเหล็กกล้าไร้สนิมจะประกอบไปด้วย โครเมียม 11.5-30% และนิกเกิล 0-22 % ซึ่งสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ดีแต่ไม่สามารถทนได้ในทุกสภาวะ เช่น ในสภาพที่มีคลอไรด์ไอออนและมีแรงเค้นสูง เป็นต้น เหล็กกล้าไร้สนิมจะสามารถทนการกัดกร่อนได้แต่จะเกิดการกัดกร่อนบริเวณของเกรน เกิดการแตกร้าวจากความเค้นและการกัดกร่อนแบบหลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2.การปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อม (Alteration of environment)

การเปลี่ยนสภาพแวดล้อมสามารถลดการกัดกร่อนได้ เช่น การลดอุณหภูมิ การกำจัดออกซิเจน การเพิ่มpH การเติมสารยับยั้งการกัดกร่อน แต่จะสามารถปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมได้หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับธรรมชาติของกระบวนการนั้นๆ

2.4.2.1. การลดอุณหภูมิ (Lowering temperature)

การลดอุณหภูมิจะส่งผลให้อัตราการกัดกร่อนลดลง อย่างไรก็ตามภายใต้สภาวะเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปเล็กน้อยจะส่งผลต่ออัตราการกัดกร่อน หรือในสภาวะที่อยู่ในน้ำหรือน้ำเกลือ การเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงจุดเดือดจะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนลดลง ทำให้เกิดการกัดกร่อนได้น้อยกว่า เนื่องจากปริมาณออกซิเจนในน้ำร้อนจะมีปริมาณมากกว่าในน้ำเดือดจึงเป็นการลดการกัดกร่อนได้อีกทางหนึ่ง

2.4.2.2. การลดปริมาณออกซิเจนหรือตัวออกซิไดซ์ (Removing oxygen or oxidizers)

การลดปริมาณออกซิเจนเปรียบเสมือนการเอาตัวรับอิเล็กตรอนออกจากระบบทำให้ไม่มีออกซิเจนมารับอิเล็กตรอนจากโลหะ จึงสามารถป้องกันการกัดกร่อนได้อีกทางหนึ่ง สามารถทำได้โดยการทำระบบสูญญากาศ (Vacuum treatment) การพ่นไล่ออกซิเจนด้วยก๊าซเฉื่อย (inert gas sparging)

2.4.2.3. การเปลี่ยนความเข้มข้น (Changing concentration)

การเปลี่ยนความเข้มข้น คือการลดความรุนแรงของการกัดกร่อนในหลายๆกระบวนการ เช่น การกัดกร่อนจากน้ำที่นำมาหล่อเย็นในถังปฏิกรณ์นิวเคลียร์ สามารถลดความรุนแรงลงได้โดยการกำจัดคลอไรด์ไอออนในน้ำที่นำมาใช้ หรือกรดบางชนิด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดฟอสฟอริก จะค่อนข้างมีความรุนแรงลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้น ดังนั้นในการป้องกันการกัดกร่อนสำหรับกรณีนี้สามารถป้องกันการกัดกร่อนได้โดยเพิ่มความเข้มข้นของกรด ในสภาวะที่มีอุณหภูมิปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3. สารยับยั้งการกัดกร่อน

สารยับยั้งการกัดกร่อนจะถูกเพิ่มเข้าไปในสารละลายที่เป็นสภาวะแวดล้อมของวัสดุในปริมาณเล็กน้อยเพื่อลดอัตราการกัดกร่อน สารยับยั้งการกัดกร่อนส่วนใหญ่จะพัฒนามาจากการสังเคราะห์และมีบางส่วนได้มาจากธรรมชาติซึ่งมีองค์ประกอบหลายชนิด สารยับยั้งการกัดกร่อนสามารถแบ่งได้หลายประเภทตามชนิดขององค์ประกอบและกลไกการยับยั้งการกัดกร่อน

2.4.3.1. สารยับยั้งการกัดกร่อนชนิดดูดซับ (Adsorption-type inhibitors)

โดยปกติสารประกอบอินทรีย์สามารถถูกดูดซับลงไปบนพื้นผิวของโลหะได้และสามารถยับยั้งการละลายหรือการสลายตัวของโลหะและยับยั้งปฏิกิริยารีดักชันได้ ส่วนใหญ่แล้วการดูดซับสารยับยั้งการกัดกร่อนบนพื้นผิวโลหะจะสามารถลดปฏิกิริยาได้ทั้งทางฝั่งแอโนดและแคโทด ถึงแม้ว่าจะมีผลต่อปฏิกิริยาทั้งสองฝั่งไม่เท่ากันก็ตาม เช่น สารประกอบประเภทเอมีน

2.4.3.2. สารหน่วงปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรเจน (Hydrogen-evolution poisons)

สารยับยั้งการกัดกร่อนประเภทนี้ได้แก่ Arsenic และ Antimony ions ซึ่งเป็นสารหน่วงปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรเจน โดยสารประเภทนี้จะได้ผลดีมากในสารละลายกรดแต่ไม่เป็นผลดีกับสิ่งแวดล้อมเมื่อเกิดการลดปฏิกิริยาการเกิดไฮโดรเจนจะทำให้เกิดการลดปฏิกริยารีดักชัน จะส่งผลให้เกิดการควบคุมกระแสทางฝั่งแอโนดิก

2.4.3.3. สารกำจัดออกซิเจน (Scavengers)

สารกำจัดออกซิเจนทำหน้าที่ในการกำจัดตัวเร่งต่างๆที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนจากสารละลาย ตัวอย่างเช่น โซเดียมซัลไฟด์ และไฮดราซีน ซึ่งสามารถกำจัดออกซิเจนออกจากสารละลายได้ตามสมการที่ 2.6 และสมการที่ 2.7

$$2Na_2SO_3 + O_2 \longrightarrow 2Na_2SO_4 \qquad \text{สมการที่ 2.6}$$

$$N_2H_4 + O_2 \longrightarrow N_2 + 2H_2O \qquad \text{สมการที่ 2.7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเติมสารยับยั้งการกัดกร่อนชนิดนี้ลงไปจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมการกัดกร่อนแบบแคโทดได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่จะไม่สามารถลดการกัดกร่อนได้ในสภาวะที่สารละลายมีความเป็นกรดสูง

2.4.3.4. การปรับสภาพผิว (Surface treatment)

- การเคลือบผิวด้วยสารอินทรีย์ (Organic coating)

การเคลือบผิวด้วยสารอินทรีย์สามารถทำได้โดยการเคลือบผิวด้านนอกของโลหะเพื่อไม่ให้สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยตรงโดยจะมีปัจจัยที่ต้องพิจารณา คือความเป็นขั้วของสารอินทรีย์ที่จะนำมาเคลือบ แรงยึดติด (addition force) และพื้นผิวของโลหะ การเคลือบด้วยสารอินทรีย์อาจจะทำได้โดยการทาสีทับลงไป สีที่ทาไม่จำเป็นต้องทาจนหนาแต่ต้องสามารถยืดหยุ่นได้ดีและสามารถกันน้ำได้

- การเคลือบผิวด้วยโลหะ (Metallic coatings)

การเคลือบผิวด้วยโลหะชนิดอื่นทำเพื่อให้เกิดการกัดกร่อนแทน โดยการเคลือบผิวต้องมีความหนาพอสมควร แต่ไม่ต้องดูเรื่องการยึดติดเท่าการเคลือบด้วยสีหรือพอลิเมอร์ เนื่องจากเป็นสารเคลือบเป็นโลหะเช่นเดียวกันสามารถใช้อิเล็กตรอนร่วมกันได้การเคลือบผิวด้วยโลหะทำได้สองลักษณะ คือการทำจุ่มร้อนและการทำ Electroplating

2.4.4. การป้องกันการกัดกร่อนจากพืชธรรมชาติ

2.4.4.1. พืชที่ใช้ในงานวิจัย

1. ชาเขียวญี่ปุ่น [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำ ระโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 ใบชาเขียว

ชามาจากพืชตระกูลคาเมลเลีย (Camellia) มีชื่อทางพฤษศาสตร์ว่า Camelliea sinensis ถิ่นกำเนิดอยู่ในอินเดียและจีน มีลักษณะเป็นไม้พุ่ม ใบแหลมสีเขียวดอกสีขาวมีกลิ่นหอม เมื่อปล่อยให้โตตามธรรมชาติสามารถสูงได้ถึง 20 เมตร แต่การทำไร่ชามักจะเลี้ยงไว้ที่ความสูงประมาณ 3-5 เมตร และตัดแต่งกิ่งส่วนบนให้เป็นแนวราบเพื่อความสะดวกในการเก็บยอดชาที่จะผลิมาใหม่ ชามีสองสายพันธุ์ ได้แก่

1.1. ชาอัสสัม (Camellia sinensis vav, Assamicca)

เป็นไม้ยืนต้นสูง 6-18 เมตร ใบเป็นรูปรี กว้าง 3-6 เซนติเมตร ยาว 8-20 เซนติเมตร ผิวใบเป็นคลื่นและเป็นมันลื่น ปลายใบเรียวแหลม ชาชนิดนี้โตเร็วกว่าชาจีน ใบมีขนาดใหญ่กว่าและรสชาติเข้มข้น

1.2. ชาจีน (Camellia sinensis vav, Sinensis)

เป็นไม้พุ่มเตี้ย ใบของชาจีนมีขนาดเล็กและแคบกว่าชาอัสสัม กว้าง 2-4 เซนติเมตร เนื้อใบด้าน ปลายใบแหลม ชาชนิดนี้ทนต่อความหนาวเย็นและเติบโตอย่างช้าๆ ออกใบดกและมีกลิ่นหอม ชาจีนมีหลายประเภทสามารถแบ่งได้ดังนี้

1.2.1. ชาเขียว [8]

ชาเขียวเป็นชาที่ไม่ผ่านการหมักในกระบวนการผลิต โดยนำยอดชาสดมาทำให้แห้งใช้วิธีให้ความร้อนเพื่อหยุดยั้งการสลายตัวของยอดชา หรือปฏิกิริยาของเอ็นไซม์ ชาประเภทนี้เป็นชาที่นิยมดื่มกันมากในประเทศจีนและญี่ปุ่น รสอ่อน สีน้ำชาเป็นสีเขียว หรือเหลืองอมเขียว กากชามีสีค่อนข้างสด ชาเขียวที่รู้จักกันแพร่หลาย เช่น ชาหลงจิ่ง ชาซุนหมี่ ชาญี่ปุ่น เป็นต้น ชาเขียวสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.1.1. ชาเขียวอบไอน้ำ

เป็นการแปรรูปชาหยุดกระบวนการทางเคมีในใบชาด้วยการอบไอน้ำในช่วงเวลาสั้นๆ โดยเก็บยอดชานำมานึ่งด้วยไอน้ำอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 0.7 นาทีเพื่อหยุดการทำงานของเอ็นไซม์ภายในยอดชา เสร็จแล้วนำไปนวดอบไอร้อนเพื่อลดปริมาณความชื้นในใบลง ต่อจากนั้นนำมานวดในอุณหภูมิห้องปกติเพื่อทำให้เซลล์แตก และนวดด้วยความร้อนอีกเพื่อทำให้ใบชาม้วนตัวสวยงาม แล้วนำไปอบแห้งให้ความชื้นในใบชาลดลงเหลือ 4 เปอร์เซ็นต์ชาเขียวอบไอน้ำส่วนใหญ่ มีการแปรรูปในประเทศญี่ปุ่น สีของน้ำชาประเภทนี้จะมีสีเขียวถึงเขียวอมเหลือง เนื่องจากยังมีคลอโรฟิลอยู่

1.2.1.2. ชาเขียวคั่ว

เป็นชาที่หยุดกระบวนการทางเคมีในยอดชาด้วยการคั่วด้วยกะทะร้อนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 300 - 350 องศาเซลเซียส แล้วนำไปนวดให้เซลล์แตกและม้วนตัว แล้วอบแห้ง

1.2.2. ชากึ่งหมัก หรือ ชาอู่หลง

เป็นชาที่มีการหมักใบชาสดในระหว่างกระบวนการผลิตเพียงบางส่วน โดยเพิ่มการนำยอดชามาผึ่งแดด 20-40 นาทีทำให้อุณหภูมิในยอดชาเพิ่มสูงขึ้น เกิดกลิ่นหอม แล้วนำไปผึ่งในร่มอีกครั้งพร้อมเขย่าเพื่อกระตุ้นยอดชาให้ตื่นตัว เร่งการหมักทำให้มีสีเข้มขึ้น ความแก่อ่อนของการหมักขึ้นกับระยะเวลาการหมักและการเขย่ากระตุ้น ชนิดชาที่รู้จักกันดีที่สุดคือ ชาอู่หลง ชาประเภทนี้รสชาติน้ำชาเข้มข้นและมีกลิ่นหอม น้ำชามีสีเหลืองอมเขียว น้ำตาลอมเขียว น้ำตาลอมเหลือง น้ำตาลส้ม ขึ้นอยู่กับวิธีการผลิต

1.2.3. ชาหมัก หรือชาดำ

ชาที่นิยมดื่มกันมาก โดยเฉพาะแถบยุโรป ใบชาจะมีสีดำ ส่วนลักษณะน้ำชาจะมีสีส้มหรือสีน้ำตาลแดงจะให้สีและรสชาติเข้มข้นที่สุด ชาดำจะนิยมใช้ยอดชาพันธุ์อัสสัม ซึ่งจะมีปริมาณโพลีฟีนอลสูงชาประเภทนี้ ได้แก่ ชาคีมุนของจีน ชาของอินเดีย และชาศรีลังกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3. สารสำคัญในชาเขียว

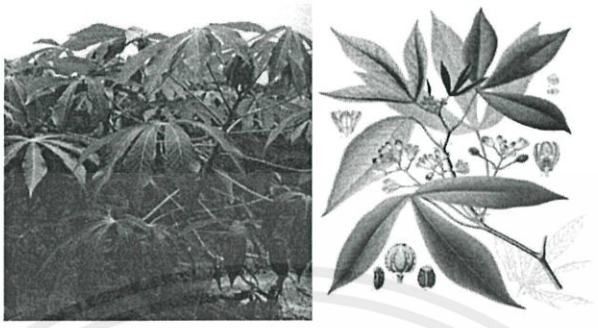
ในใบชาเขียวมีสารโพลีฟีนอล (polyphenols) ที่มีคุณสมบัติเป็นสารแอนตี้ออกซิแดนท์ที่ดีในปริมาณสูง (30–35 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักใบชาแห้ง) สารโพลีฟีนอลจะรวมถึงสารฟลาโวนอยด์ (flavonoids) ซึ่งมักพบได้ทั่วไปในผัก ผลไม้ ส่วนสารคาเทชิน (catechins) เป็นสารออกฤทธิ์ที่สำคัญซึ่งเป็นฟลาโวนอยด์ชนิดพิเศษที่พบในชา เนื่องจากชาเขียวไม่ผ่านกระบวนการหมัก จึงยังคงรักษาคาเทชินไว้ได้ในปริมาณสูง พบว่าในชาเขียวมีปริมาณคาเทชินประมาณ 10–18 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักใบชาแห้ง ในขณะที่ชาดำมี คาเทชินประมาณ 3–5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักใบชาแห้ง แสดงว่าการหมักมีการทำลายสารคาเทชิน นอกจากนี้นักวิจัยยังสามารถแยกสารคาเทชินออกได้เป็น 5 ชนิด [9] คือ

1. Gallocatechin (GC)
2. Epicatechin (EC)
3. Epigallocatechin (EGC)
4. Epicatechin gallate (ECG)
5. Epigallocatechin gallate (EGCG)

โดย Epigallocatechin gallate (EGCG) ถือเป็นแอนตี้ออกซิแดนท์ที่ดีที่สุด นอกจากนี้ใบชาเขียวยังประกอบไปด้วยวิตามินและแร่ธาตุต่างๆที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย เช่น กรดอะมิโน วิตามินซี วิตามินบี วิตามินอี และฟลูออไรด์ ชาเขียวที่มีคุณภาพดีจะมีปริมาณกรดอะมิโนสูงแต่มีแทนนินต่ำ ในทางตรงข้ามชาดำและชาอูหลงที่ดีจะมีปริมาณแทนนินสูง ชาเขียวมีรสชาติเฉพาะตัวจะมีรสฝาดน้อย เมื่อนำมาทำเป็นชาเขียวจะทำให้น้ำชามีสีเขียวอ่อนปนน้ำตาล มีกลิ่นหอมเฉพาะสามารถนำมาปรุงแต่งสี กลิ่น และรสสำหรับผลิตภัณฑ์หลายๆ ชนิดได้อย่างลงตัว เนื่องจากละลายน้ำได้ดี มีกลิ่นหอม และรสชาติดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ใบมันสำปะหลัง [10]



รูปที่ 2.2 ใบมันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Manihot esculenta* (L.) Crantz เป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง เป็นพืชอาหารที่สำคัญอันดับ 5 รองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง ชื่อสามัญมีหลายชื่อ เช่น Cassava Yuca Mandioa Manioc หรือ Tapioca ชาวไทยเดิม เรียกกันว่า มันสำโรง มันไม้ ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกว่า มันต้นเตี้ย ภาคใต้เรียกมันเทศ คำว่า "สำปะหลัง" ที่นิยมเรียกอาจมาจากคำว่า ซำเปอ (Sampou) ของชวาตะวันตก

2.1. ชนิดและสายพันธุ์

มันสำปะหลังที่ปลูกเชิงเกษตรกรรม มีสองชนิด คือ

2.1.1. ชนิดหวาน มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิคต่ำ ไม่มีรสขมและสามารถใช้ทำอาหารได้โดยตรง เช่น พันธุ์ห้านาที พันธุ์ระยอง 2

2.1.2. ชนิดขม มีปริมาณกรดโอโดรไซยานิคสูง ต้องนำไปแปรรูปก่อน เช่น พันธุ์ระยอง 1 3 5 60 90 พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 และ พันธุ์ห้วยบง 60

การจำแนกสายพันธุ์ใช้คุณลักษณะหลายอย่างช่วยในการจำแนก เช่น สีของใบอ่อน สีก้านใบ สีลำต้น ขนที่ยอดอ่อน ลักษณะทรงต้น หูใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2. องค์ประกอบสำคัญในใบมันสำปะหลังแห้ง [11]

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบในใบมันสำปะหลังแห้ง

องค์ประกอบในใบมันสำปะหลัง	ปริมาณ (%)
โปรตีนรวม	24-30
เยื่อใย	10-15
ไขมัน	7.24
แทนนิน	0.33
เถ้า	5.72
ฟอสฟอรัส	0.73
โพแทสเซียม	1.71
แคลเซียม	0.99
แมกนีเซียม	0.29

จากองค์ประกอบทั้งหมดในใบมันสำปะหลังองค์ประกอบที่ต้องการคือ แทนนิน เนื่องจากแทนนินมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ

2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1. Sheyreese M. Vincent et Cyril B. Okhio [12] ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนจากสารสกัดชาเขียว ซึ่งพบว่ามีส่วนประกอบที่สามารถละลายน้ำได้และเป็นสารอินทรีย์ที่มีส่วนประกอบของไนโตรเจน กรดไขมันและออกซิเจน ซึ่งเป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ จากคุณสมบัติสามารถนำมาใช้เป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนได้ โดยหลักการคือใช้เป็นตัวป้องกันการรวมตัวกันของออกซิเจนกับอิเล็กตรอนของโลหะไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันขึ้น โดยในงานวิจัยทำการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของดีบุกในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ไม่มีการเติมสาร

เอกสารนี้เป็น... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยับยั้งและเติมสารยับยั้ง จากผลการทดลองพบว่าสารสกัดใบชาเขียวสามารถทำให้การแลกเปลี่ยนอิเล็คตรอนลดลงได้จึงสามารถยับยั้งการกัดกร่อนได้

2.5.2. วัลลบ อารีรบ และคณะ [11] ศึกษาการสกัดสารแทนนินจากใบมันสำปะหลัง สารแทนนิน สามารถพบได้ในพืชทุกชนิด เป็นสารทุติยภูมิที่มีสารออกฤทธิ์ที่สำคัญ คือ Condensed tannin เช่น Catechin และ Hydrolyzed tannin เช่น Gallotannin สารแทนนินมีรสขมฝาด โดยปริมาณของสารขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของพืช สภาพแวดล้อมของการปลูก เช่น ธาตุอาหารพืช การเข้าทำลายของโรคและแมลง ในการสกัดสารแทนนินได้ศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในใบมันสำปะหลังแห้ง พบว่าสารตัวทำละลาย 50%acetone และ 80%ethylalcohol ที่อัตราส่วน 1 : 1 ปรับค่า pH=5 พบว่าสามารถสกัดสารแทนนินออกมาได้สูงสุดที่ 11.88 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้งใบมันสำปะหลัง หรือที่ความเข้มข้นของสารแทนนิน ประมาณ 325 มิลลิกรัมต่อลิตร แทนนินเป็นสารที่มีโมเลกุลใหญ่และโครงสร้างซับซ้อน ซึ่งมีสถานะเป็นกรดอ่อนรสฝาด เป็นสารให้ความฝาดในพืชพบได้ในพืชหลายชนิด แทนนิน มี 2 ชนิด คือคอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins) หรือเรียกอีกอย่างว่า โปรแอนโทรไซยานิน (proanthrocyanin) พบได้ในส่วนเปลือกต้นและแก่นไม้เป็นส่วนใหญ่ และสารไฮโดรไลซ์แทนนิน (hydrolysable tannins) คือแบบที่สามารถถูกแยกออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ ได้ พบมากในส่วนใบ ฝัก และส่วนที่ปูดออกมาจากปกติเมื่อต้นไม้ได้รับอันตราย (gall) แทนนิน มีคุณสมบัติตกตะกอนโปรตีน ทำให้หนังสัตว์ไม่เน่าเปื่อย จึงมีการใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังด้วย แทนนินมีฤทธิ์ฝาดสมาน จึงใช้เป็นยารักษาโรคท้องเสียได้ แทนนินมีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียได้ ตัวอย่างแทนได้แก่ theogallin gallic acid ellagic acid แทนนิน มาจากคำว่า “แทนนิ่ง” (tanning) ซึ่งแปลว่ารักษาไว้และกันน้ำ แทนนิ่ง คือการเปลี่ยนหนังสัตว์ที่ตายแล้วให้เป็นผลิตภัณฑ์หนังโดยการใช้สารสกัดจากพืช

2.5.3. หนึ่งหทัย คงอินทร์ อทิตยา จันเสนา และอัจฉราภรณ์ ใจปราณี [5] ศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้าในกรดซัลฟิวริกจากสารสกัดใบพญายอ ทำการทดลองโดยสกัดสารจำพวก C-glycosly flavones จากใบพญายอโดยวิธีการแช่ให้เปื่อยเพื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กกล้า AISI 1045 ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.05 M ที่ 25 °C โดยทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคโพเทนชิโอไดนามิกโพลาไรเซชัน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าชนิดคาโลเมลอิ่มตัวเป็นขั้วอ้างอิง และแผ่นแพลทินัมเป็นขั้วตรงข้าม จากการทดลองทำการเจือจางสารสกัดจากใบพญายอให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น 1000 2000 และ 3000 ppm ในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ พบว่าสารสกัดจากใบพญายอมีความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อน และให้ค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนสูงถึง 96% เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดมีค่า 3000 ppm นอกจากนี้สารสกัดจากใบพญายอยังมีสมบัติเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบแอโนด

2.5.4. A.Y. El-Etre [13] ศึกษาการนำพืชมาทดลองใช้เป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อน เพื่อลดการใช้สารเคมีที่มีราคาแพงและเป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม พืชที่ใช้ทดลอง คือต้นเทียนกิ่ง พบมากในแอฟริกาและเอเชียตอนใต้ ใช้ทำเป็นยาและสีย้อม ซึ่งในใบเทียนกิ่งมีสาร Lawsone(2-hydroxy-1,4-naphthoquinone) และแทนนิน จากการนำมาสกัดเพื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของ C-steel nickel และ Zinc ในตัวกลางต่างๆ คือสารละลายกรด เบส และกลาง ด้วยเทคนิคโพลาไรเซชัน ซึ่งไม่เติมและเติมสารสกัดใบเทียนกิ่งที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยวัดค่าศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ของการกัดกร่อนระหว่างตัวกลางสามนิด ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบเทียนกิ่งประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนจะเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบผลการทดลองในตัวกลางต่างๆพบว่า C-steel และ Nickel จะมีประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีที่สุดในสภาวะกรด รองลงมา คือเบสและกลาง ตามลำดับ ส่วน Zinc มีประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีที่สุดในสภาวะกลาง รองลงมา คือเบสและกรด ตามลำดับ ซึ่งสารสกัดในใบเทียนกิ่งมีพฤติกรรมเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนแบบผสม อธิบายโดยการยับยั้งการดูดซับโมเลกุลสารสกัดใบเทียนกิ่งบนผิวหน้าของโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรปกคลุมผิวหน้าของโลหะ ตามหลัก Langmuir Isotherm เมื่อความเข้มข้นของสารสกัดใบเทียนกิ่งเพิ่ม การดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นด้วย จากการทดลองสรุปได้ว่า สารสกัดจากใบเทียนกิ่งเป็นตัวยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีสำหรับ C-steel nickel และ Zinc ในตัวกลางสารละลายกรด กลาง และเบส

2.5.5. เชิดชัย ละอองทิพรส และณรงค์ ผังวิวัฒน์ [14] ศึกษาการหน่วงการกัดกร่อนด้วยผลิตภัณฑ์ ธรรมชาติ โดยศึกษาการกัดกร่อนของเหล็ก อะลูมิเนียม และทองแดงที่เคลือบผิวโดยใช้สารสกัดจากธรรมชาติจากใบพืช 5 ชนิด คือใบกระโดน ใบชงโค ใบฝรั่ง ใบชมพู่ และใบมะลิ ด้วยคลอโรฟอร์มและเฮกเซน ทำการทดลองในสามสภาวะ คือกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 5% โซเดียมคลอไรด์ เข้มข้น 3.5% และกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2.5% วิธีการทดลอง นำเหล็ก อะลูมิเนียม และทองแดงขัดผิวหน้าด้วยกระดาษทรายหยาบและละเอียดตามลำดับ นำโลหะแต่ละแผ่นจุ่มลงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารสกัด (เข้มข้น 5% v/v) นาน 15 วินาที และปล่อยให้แห้งในอากาศนาน 10 วินาที จุ่มชิ้นโลหะลงไปในสารสกัดอีกครั้ง แล้วยกขึ้นจากสารสกัดทันทีเพื่อเพิ่มความหนาของสารสกัดที่เคลือบ จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้ง แล้วนำโลหะที่ได้มาทดสอบการกัดกร่อนโดยแช่ในสารละลาย 3 สภาวะนาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาคำนวณหาการหน่วงการกัดกร่อนด้วยเทคนิคน้ำหนักที่หายไป (Weight loss method) และวิธีโพเทนชิโอไดนามิก (potentiodynamic method) จากผลการทดสอบการหน่วงการกัดกร่อนของเหล็กอะลูมิเนียม และทองแดงพบว่าสารสกัดจากใบฝรั่งด้วยเฮกเซนจะให้ผลการยับยั้งการกัดกร่อนดีที่สุดในทุกสภาวะการทดสอบ

2.5.6. Phan Toan Thang [15] ศึกษาผลการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดใบสาบเสือต่อเซลล์เนื้อเยื่อผิวหนังชั้นในและหนังกำพร้า ซึ่งสารสกัดจากใบสาบเสือสามารถสร้างเซลล์เนื้อเยื่อในการรักษาบาดแผลได้ดีขึ้น มีการสกัดสารจากใบสาบเสือโดยใช้ใบสด (10 กิโลกรัม) นำมาตากแดดให้แห้งเป็นเวลา 5 วัน จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 วันใช้ใบแห้งละเอียด 1 กิโลกรัมแบ่งเป็นสามส่วน จากนั้นสกัดด้วยเอทานอล 4000 มิลลิตรโดยใช้ซอกห์เลตเป็นเวลา 12 ชั่วโมง แล้วระเหยตัวทำละลายด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน นอกจากนี้ในใบสาบเสือยังมีสารต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถนำมาสกัดเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนของเหล็กได้

2.5.7. รัชฎาพร อุ่นศิวไลย์ [16] ศึกษาคุณสมบัติ และโภชนเภสัชของสารสกัดรางจืด โดยนำใบรางจืดไปสกัดด้วยน้ำ เอทานอล และอะซีโตน จากการตรวจหาส่วนประกอบและตรวจสอบคุณสมบัติและโภชนเภสัชของสารสกัดจากรางจืดพบว่า รางจืดมีองค์ประกอบหลัก คือ ฟินอลลิก คาโรทีนอยด์ และคลอโรฟิลล์ โดยพบว่ามีสารฟินอลลิกสูงสุด (24.3 ไมโครกรัมของกรด กาลิค) ในสารสกัดน้ำ รองลงมาเป็นสารสกัดเอทานอล (5.65 ไมโครกรัมของกรดกาลิค) และน้อยที่สุดในสารสกัดอะซีโตน (1.42 ไมโครกรัมของกรดกาลิค) จากการตรวจหาส่วนประกอบหลักโดยเทคนิค HPLC (High performance liquid chromatography) พบว่ากรดคาเฟอิกและอะพิจินิน (apiginin) เป็นส่วนประกอบหลักในสารสกัดน้ำ และสารประกอบคลอโรฟิลล์เป็นสารประกอบหลักในสารสกัดเอทานอล สารสกัดอะซีโตน และสารสกัดน้ำ ซึ่งแสดงฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระโดยการตรวจสอบด้วยวิธี DPPh assay ที่ค่า EC_{50} สูงสุดที่ 0.13 มิลลิกรัมกรดกาลิคต่อมิลลิลิตร ขณะที่สารสกัดเมทานอล และอะซีโตนแสดงค่า EC_{50} และ 0.26 มิลลิกรัมกรดกาลิคต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ นอกจากนี้การแสดงฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยการตรวจสอบด้วยวิธี FRAP assay สูงสุดที่ 0.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิโมลต่อกรัมในสารสกัดน้ำ รองลงมาเป็นสารสกัดเอทานอลและอะซีโตนที่ค่า 0.18 และ 0.04 มิลลิโมลต่อกรัมตามลำดับ

2.5.8. วุฒิชัย นาครักษา และอรพรรณ บุญวิธวาเจริญ [17] ศึกษาผลของอุณหภูมิของน้ำ อัตราส่วนระหว่างใบชาต่อน้ำ และเวลาที่ใช้ในการชงชาต่อปริมาณสารต้านออกซิเดชันในน้ำชา ในการวิเคราะห์ปริมาณโพลีฟีนอลโดยรวม แทนนินและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในใบชาเขียว ชาอูหลง ชาดำและชาใบหม่อน โดยนำตัวอย่างใบชาบดหยาบชนิดต่างๆ 1 กรัม สกัดด้วยเมทานอล 80% ปริมาตร 10 มิลลิลิตรในกรวยแยกขนาด100 มิลลิลิตร เวลาในการสกัด 20 นาที (เขย่าเป็นครั้งคราว) จากนั้นนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลโดยรวม (Total polyphenol) แทนนิน (Tannin) และฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน (antioxidant activity, AA) พบว่า สายพันธุ์และกระบวนการผลิตชาที่แตกต่างกัน ทำให้มีปริมาณโพลีฟีนอลโดยรวม แทนนินและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ใบชาเขียวจะมีปริมาณโพลีฟีนอลโดยรวม แทนนินและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงสุด รองลงมา คือชาดำ ชาอูหลง และชาใบหม่อน ตามลำดับซึ่งการที่สารประกอบโพลีฟีนอลโดยรวมในชาลดลง เนื่องจากเกิดโพลิเมอร์ไรซ์ของสารประกอบฟีนอลขณะผ่านกระบวนการผลิต ชาเขียวเป็นชาที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการหมัก จึงมีปริมาณสารประกอบโพลีฟีนอลสูงกว่าชาอูหลงและชาดำ ซึ่งเป็นชาที่ผ่านกระบวนการหมัก และเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิของน้ำ (80 และ 100 องศาเซลเซียส) อัตราส่วนระหว่างใบชาต่อน้ำ (0.6 กรัม/100 มิลลิลิตร และ 1.2 กรัม/100 มิลลิลิตร) และระยะเวลาที่ใช้ในการชงชา (1 2 3 4 และ 5 นาที) ต่อปริมาณโพลีฟีนอลโดยรวม แทนนินและฤทธิ์การต้านออกซิเดชัน พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำ อัตราส่วนระหว่างใบชาต่อน้ำและเวลาที่ใช้ในการชงชาเขียว ชาอูหลงและ ชาดำนานขึ้น ทำให้ได้น้ำชาที่มีปริมาณโพลีฟีนอลโดยรวม แทนนินและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันสูงขึ้น ส่วนชาใบหม่อนนั้นจะมีปริมาณโพลีฟีนอลโดยรวมและแทนนินในน้ำชาสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำ อัตราส่วนระหว่างใบชาต่อน้ำและเวลาที่ใช้ในการชงชาใบหม่อนเพิ่มขึ้น แต่ฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในน้ำชาใบหม่อนจะลดลง เมื่ออุณหภูมิของน้ำที่ใช้ในการชงชาเพิ่มขึ้นเนื่องจากสารสำคัญที่มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชันในใบหม่อน คือ ฟลาโวนอยด์โดยเฉพาะในกลุ่มย่อยฟลาโวนอยด์ เช่น เควอซิติน (quercetin) และเคมเฟอรอล (kaempferol) จะสลายตัวเมื่อได้รับความร้อนและระเหยไปพร้อมกับไอน้ำ นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังพบว่าการใช้เวลาในการชงชานานขึ้นจะมีผลต่อการเพิ่มของฤทธิ์การต้านออกซิเดชันในน้ำชาทั้ง 4 ชนิดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2.5.9. สุวรงค์ วงษ์ศิริ สุเมธ ชวเดช และพรสวรรค์ ดิษยบุตร [18] ศึกษาเรื่องการแยกสกัดแทนนินจากเปลือกเงาะแทนนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนพวกฟีนอลลิกเป็นสารที่ทำให้เกิดความฝาด ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนังและผลิตกาว ในปัจจุบันมีการนำเข้าแทนนินปริมาณมากจึงเกิดแนวคิดที่จะสกัดสารแทนนินจากเปลือกเงาะซึ่งตรวจสอบพบว่ามีปริมาณแทนนินสูง และเป็นเศษเหลือจากอุตสาหกรรมผลไม้กระป๋อง โดยในการทดลองจะแบ่งเป็น 2 การทดลองย่อยโดยการทดลองแรกเป็นการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมต่างๆในการแยกสกัดนี้ ซึ่งได้แก่ อนุภาคของเปลือกเงาะ ชนิดและความเข้มข้นของสารแยกสกัด อุณหภูมิ ปริมาณเปลือกเงาะต่อสารแยกสกัด และปริมาณสารเคมีช่วยเร่งสารแยกสกัด (Na_2SO_3) ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิน้ำ 90 องศาเซลเซียส อัตราส่วนของเปลือกเงาะต่อน้ำเท่ากับ 1:1 เวลาที่ใช้ในการแช่ 24 ชั่วโมง ขนาดของอนุภาคเปลือกเงาะ คือ 1-2 มิลลิเมตร โดยแช่เพียงครั้งเดียวให้ผลการสกัดสูงถึง 14.95% เทียบน้ำหนักเปลือกเงาะหรือคิดเป็นร้อยละการสกัด (%Extraction) เท่ากับ 77.73% ส่วนการทดลองที่สองเป็นการสกัดโดยใช้ถังสกัดต่อเรียงกัน การควบคุมเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi-continuous) สวนทางกัน (Counter-current operation) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมเช่นกัน

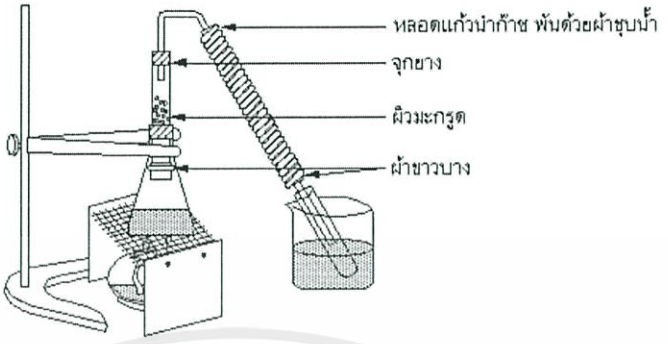
2.6 การสกัด [19]

การสกัดแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลักๆ คือการสกัดด้วยไอน้ำ และการสกัดด้วยตัวทำละลาย

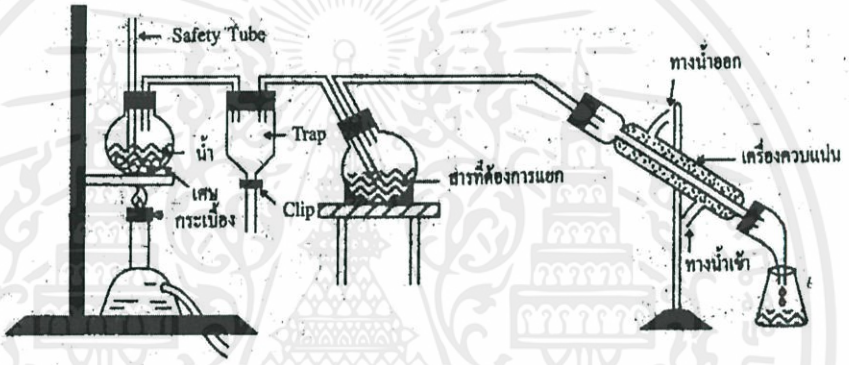
2.6.1. การสกัดด้วยไอน้ำ

การสกัดด้วยไอน้ำ จะใช้หลักการให้ไอน้ำพาสารที่ต้องการออกมา โดยสารนั้นควรมี จุดเดือดต่ำ ระเหยง่าย และไม่ละลายน้ำ แต่ถ้าเป็นสารที่มีจุดเดือดสูงจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงความดันเข้าช่วยเพื่อให้สารนั้นกลายเป็นไอได้โดยยังไม่ถึงจุดเดือดปกติของมัน โดยมากจะใช้ในการสกัดพวกน้ำมันหอมระเหยจากพืช ซึ่งการสกัดด้วยไอน้ำจะใช้เครื่องมือดังรูป 2.3 และ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การสกัดด้วยไอน้ำแบบที่ 1



รูปที่ 2.4 การสกัดด้วยไอน้ำแบบที่ 2

2.6.2. การสกัดด้วยตัวทำละลาย

การสกัดด้วยตัวทำละลายสามารถทำได้โดยใช้ตัวทำละลายของเหลวชนิดหนึ่งสกัดตัวถูกละลาย ออกจากของเหลวอีกชนิดหนึ่ง มีชื่อเรียกวิธีการสกัดนี้ว่า liquid-liquid extraction ซึ่งมีเทคนิคสำหรับการ วิเคราะห์อยู่ 3 วิธี คือ วิธีการสกัดแบบแบทช (Batch extraction) วิธีการสกัดแบบต่อเนื่อง (Continuous extraction) และการสกัดแบบเคาน์เตอร์เคอร์เรนท์ (Counter current extraction) ถ้าการสกัดใช้ตัวทำละลายของเหลวชนิดเดียวสกัดตัวถูกละลายออกจากสารตัวอย่างของแข็ง จะเรียกการสกัดนี้ว่า Solid-liquid extraction การสกัดจะเกิดขึ้นดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับการละลายของตัวถูกละลายในตัวทำละลาย ถ้าตัวถูกละลายสามารถละลายได้น้อยจำเป็นต้องใช้เทคนิคของการสกัดที่ทำได้อย่างต่อเนื่อง และใช้ตัวทำละลายเพียงเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าเทคนิคการสกัดมีได้หลายวิธี การสกัดจะเลือกใช้เทคนิคและวิธีการใดนั้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการสกัด หรือชนิดของตัวถูกละลายและตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2.1. การสกัดแบบแบท (Batch extraction)

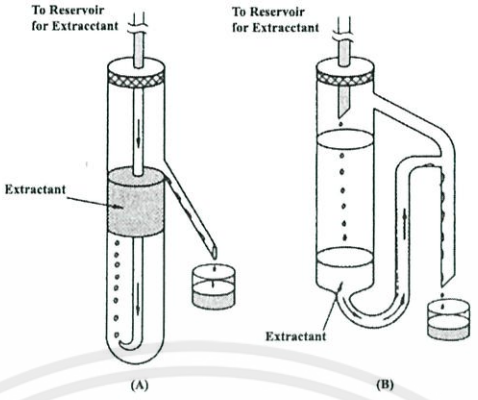
การสกัดแบบแบท เป็นเทคนิคที่ง่ายที่สุดของวิธีการสกัดที่เรียกว่า liquid-liquid extraction ซึ่งมีหลักการ คือทำให้ตัวถูกละลายที่ละลายในตัวทำละลายที่ 1 (ปกติคือตัวทำละลายของน้ำ) กระจายไปสู่ตัวทำละลายที่ 2 (ปกติคือตัวทำละลายอินทรีย์) โดยที่ตัวทำละลายทั้งสองชนิดนี้สัมผัสกันอย่างใกล้ชิด แต่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน วิธีการสกัดสามารถทำได้ง่ายๆ คือนำสารละลายของน้ำที่มีตัวถูกละลายที่ต้องการแยกใส่ในกรวยแยก (Separatory funnel) แล้วเติมตัวทำละลายอินทรีย์ตามลงไปในกรวยแยก จากนั้นเขย่ากรวยแยก 2-3 นาที ให้คว่ำกรวยแยกแล้วเปิดจุกเพื่อระบายความดัน แล้วหงายกรวยเพื่อทำการเขย่าต่อ ทำแบบนี้ 2-3 ครั้ง จนกระทั่งการกระจายของตัวถูกละลายระหว่างตัวทำละลายทั้งสองถึงสมดุล ตั้งกรวยแยกทิ้งไว้จนกระทั่งตัวทำละลายทั้งสองแยกชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 การสกัดแบบแบท (Batch extraction)

2.6.2.2. การสกัดอย่างต่อเนื่อง (Continuous extraction)

การสกัดที่ต้องทำหลายๆครั้ง เพื่อให้ได้สารที่สนใจแยกออกมามากที่สุด พบว่าการใช้วิธีการสกัดแบบแบทนั้นไม่สะดวกและอาจมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นมากจากการถ่ายเทตัวทำละลายหลายๆครั้ง นอกจากนี้ยังทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองตัวทำละลาย ได้มีการพัฒนาเทคนิคของการสกัดให้ใช้ตัวทำละลายน้อยลง สะดวกขึ้น และได้ผลดี คือการทำการสกัดอย่างต่อเนื่อง เครื่องมือที่ใช้ดังแสดงในรูป2.6 และ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

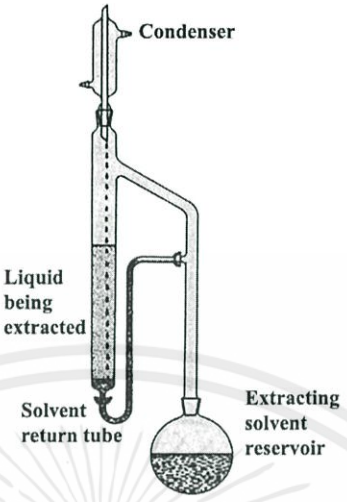


รูปที่ 2.6 เครื่องมือสำหรับการสกัดแบบต่อเนื่อง

(A) สำหรับตัวสกัดที่เบากว่าน้ำ (B) สำหรับตัวทำละลายที่หนักกว่าน้ำ

การสกัดตัวถูกละลายในชั้นน้ำด้วยตัวทำละลายอินทรีย์มีเทคนิคในการสกัดได้ 2 แบบ คือ ถ้าตัวทำละลายอินทรีย์เบากว่าน้ำ การสกัดต้องใช้เครื่องมือที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.6 (A) แต่ถ้าตัวทำละลายอินทรีย์หนักกว่าน้ำ การสกัดต้องใช้เครื่องมือดังแสดงในรูปที่ 2.6 (B) เทคนิคของการสกัด คือผ่านตัวทำละลายอินทรีย์หรือตัวสกัดลงในสารละลายของน้ำอย่างต่อเนื่อง แล้วเก็บตัวทำละลายอินทรีย์ที่แยกออกซึ่งมีตัวถูกละลายกระจายมาด้วยในภาชนะ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 การสกัดแบบนี้ยังคงใช้ตัวทำละลายอินทรีย์จำนวนมาก การสกัดควรออกแบบเครื่องมือที่สามารถทำให้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ไปแล้วถูกกลั่นให้บริสุทธิ์แล้วนำมาใช้งานได้ใหม่โดยไม่ต้องเฝ้าดู การออกแบบเครื่องมือทำได้ดังแสดงใน รูปที่ 2.7 ตัวทำละลายอินทรีย์จะสกัดตัวถูกละลายแล้วผ่านมาเก็บยังขวดรองรับก้นกลม เมื่อให้ความร้อนที่ขวดรองรับตัวทำละลายอินทรีย์ซึ่งระเหยได้ง่ายจะกลายเป็นไอ จากนั้นจะถูกทำให้ควบแน่นได้ตัวทำละลายอินทรีย์ที่บริสุทธิ์ผ่านลงไปในสารละลายของน้ำที่ต้องการสกัดใหม่ เป็นเช่นนี้อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งการสกัดสมบูรณ์ จะเห็นว่าการสกัดแบบนี้ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ไม่มากนัก และไม่ต้องเสียเวลาในการเฝ้าดู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดงการสกัดอย่างต่อเนื่องโดยใช้ตัวสกัดเพียงเล็กน้อย

วิธีการสกัดแบบนี้เป็นวิธีที่ทำให้สามารถสกัดตัวถูกละลายที่มีค่าอัตราส่วนของการกระจายต่ำออก จากตัวทำละลายของน้ำได้อย่างสมบูรณ์ แต่ถ้ามีตัวถูกละลายที่สามารถถูกสกัดได้มากกว่า 1 ตัว พบว่า วิธีนี้ไม่สามารถทำให้ตัวถูกละลายทั้งสองชนิดหรือมากกว่าแยกออกจากกันได้

2.6.2.3. การสกัดของแข็ง (Extraction of Solids)

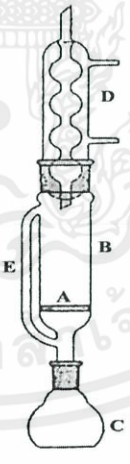
ถ้าตัวถูกละลายที่ต้องการสกัดอยู่ในสารตัวอย่างที่เป็นของแข็งสามารถทำการสกัดด้วยตัวทำละลาย ของเหลว เรียกวิธีการสกัดนี้ว่า Solid-liquid extraction การสกัดจะทำได้ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับการละลายของตัวถูกละลายในตัวสกัดหรือตัวทำละลายของเหลว และเวลาที่ใช้ในการสกัด เวลาที่ใช้จะสั้นหรือยาวขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวถูกละลายที่อยู่ในสารตัวอย่างของแข็ง ถ้าตัวถูกละลายเพียงดูดซับที่ผิวของของแข็งการสกัดจะใช้เวลาน้อย แต่ถ้าตัวถูกละลายอยู่ในภายในของแข็งจะต้องใช้เวลามากกว่า และถ้าปรากฏว่าการกระจายของตัวทำละลายสู่ภายในของแข็งเกิดขึ้นได้ช้ามาก จำเป็นต้องบดของแข็งให้ละเอียดก่อนทำการสกัด การสกัดของแข็งหรือการทำ Solid-liquid extraction สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการสกัดสารทางชีววิทยา สารอินทรีย์ตลอดจนเกลือของสารอนินทรีย์ได้ ตัวอย่างเช่น การสกัดแยก แคลเซียมออกจากสทรอนเซียม ถ้าแคลเซียมอยู่ในรูปของเกลือไนเตรตจะสกัดแยกออกจากสารตัวอย่างได้ โดยใช้แอลกอฮอล์ที่บริสุทธิ์ผสมกับเอทิลอีเทอร์ หรือถ้าต้องการแยกโซเดียมออกจากโพแทสเซียมทำได้โดยสกัดเกลือโซเดียมเปอร์คลอเรตออกจากสารตัวอย่างด้วยเอทิลอะซีเตต เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการสกัดของแข็งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

1. ถ้าตัวถูกละลายอยู่ในสารตัวอย่างของแข็งเพียงแค่ดูดซับที่ผิวและการละลายของตัวถูกละลายในตัวสกัดมีค่าสูง การสกัดสามารถทำได้อย่างง่ายๆ คือนำสารตัวอย่างใส่ลงในบีกเกอร์หรือขวดปากกว้าง แล้วเติมตัวสกัดหรือตัวทำละลายลงไป จากนั้นคนด้วยเครื่องคน ถ้าใช้ขวดปากกว้างที่มีฝาปิดสนิทได้ก็สามารถใช้เครื่องเขย่าได้ เมื่อคนเป็นเวลานานพอจนแน่ใจว่าตัวถูกละลายละลายในตัวสกัดหมดแล้ว ให้ใช้วิธีกรองเอาของแข็งออกจากสารละลาย ด้วยเทคนิคนี้ก็สามารถแยกตัวถูกละลายออกจากสารตัวอย่างของแข็งได้ เทคนิคนี้เหมาะสำหรับใช้ในการแยกสารประกอบประเภทเกลือของสารอนินทรีย์ และเป็นเทคนิคที่สำคัญในกระบวนการสระล้าง (leaching operation)

2. ถ้าตัวถูกละลายเป็นสารประกอบอินทรีย์หรือสารทางชีวิทยา ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีการละลายในตัวสกัดต่ำหรือการสกัดจะสมบูรณ์ได้ต้องใช้เวลานานๆ จำเป็นต้องใช้เทคนิคของการสกัดอย่างต่อเนื่อง เครื่องมือที่ใช้สำหรับทำการสกัดอย่างต่อเนื่องมีอยู่ 2 แบบ คือ continuous infusion extractor ดังแสดงในรูปที่ 2.8 และ discontinuous-infusion extractor ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งมีชื่อเรียกที่รู้จักกันดี คือ เครื่องสกัดของซอกห์เลต (Soxhlet extractor)



รูปที่ 2.8 เครื่องมือสำหรับทำการสกัดต่อเนื่องแบบธรรมดาที่เรียกว่า continuous-infusion extractor

จากรูป A คือ Sintered-glass plate

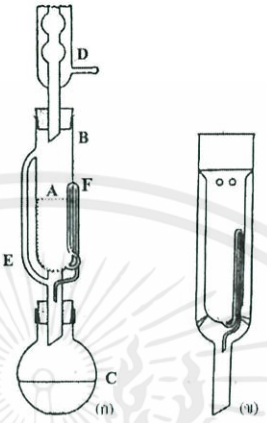
B คือ หลอดบรรจุสารที่ถูกสกัด ซึ่งเป็นบริเวณที่ เกิดการสกัดซึ่งเรียกว่า extractor

C คือ ขวดหรือ flask สำหรับใส่ตัวสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D คือ ตัวควบแน่น

E คือ หลอดสำหรับให้ไอของตัวสกัดผ่านไปควบแน่น



รูปที่ 2.9 เครื่องมือสำหรับทำการสกัดแบบ discontinuous-infusion หรือเครื่องสกัดซอกเลต

(ก) รูปแสดงเครื่องมือสกัดซอกเลตครบชุด

(ข) แสดงเฉพาะหลอดแก้ว B ที่ออกแบบพิเศษขึ้นเพื่อให้สารที่ต้องการสกัดถูกล้อมรอบด้วยไอของ ตัวสกัด

จากรูป A คือ ถุงผ้าสำหรับใส่สารที่ต้องการสกัดที่เป็นของแข็ง

B-E อธิบายได้เช่นเดียวกับรูปที่ 2.8

F คือ กาลักน้ำ (siphon)

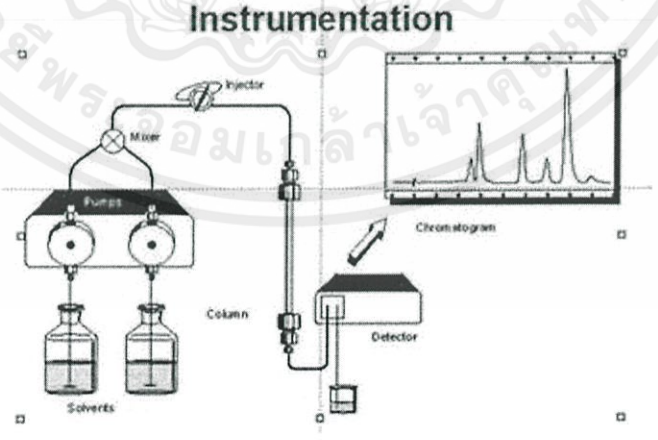
เครื่องสกัดแบบ continuous-infusion สามารถทำการสกัดได้โดยตัวทำละลายที่บรรจุอยู่ใน flask C จะถูกกลั่นผ่านหลอด E แล้วควบแน่นเป็นของเหลวที่หลอดควบแน่น D จากนั้นจะหยดลงสู่ตัวถูกละลายที่อยู่ในสารตัวอย่างของแข็งที่อยู่ในหลอดแก้ว B แล้วพาตัวถูกละลายไหลลงสู่ flask C ตัวทำละลายที่ไหลกลับมายัง flask C จะถูกกลั่นแล้วควบแน่นกลับมาสกัดตัวถูกละลายอีกเป็นเช่นนี้ต่อไปอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งตัวถูกละลายถูกสกัดลงมาอยู่ใน flask C ได้อย่างสมบูรณ์ จะเห็นได้ว่าวิธีการสกัดแบบนี้ใช้ตัวทำละลายหรือตัวสกัดไม่มาก เพราะมันสามารถถูกกลั่นทำให้บริสุทธิ์ แล้วนำมาใช้งานใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่เสียเวลาเฝ้าดู สำหรับสารตัวอย่างของแข็งที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

บรรจุอยู่ในหลอดแก้ว B สามารถอยู่ภายในหลอดได้ โดยไม่ไหลลงสู่ flask C เพราะมีแผ่น sintered-glass plate (ตามรูปที่ 2.8 คือ A) เป็นตัวรองรับ วิธีการสกัดแบบนี้มีข้อเสีย คือตัวทำละลายที่ไหลผ่านมาสกัดตัวถูกละลายมีเวลาสัมผัสกับของแข็งน้อย

เทคนิคของการสกัดเกิดขึ้นได้ดังนี้ คือบรรจุของแข็งที่ต้องการสกัดลงในถุงผ้า A แล้วใส่หลอดแก้ว B ตัวสกัด คือตัวทำละลายอินทรีย์ที่ระเหยกลายเป็นไอได้บรรจุอยู่ในขวดก้นกลม C โดยการให้ความร้อนแก่ตัวสกัดในขวดก้นกลม ตัวสกัดจะระเหยกลายเป็นไอผ่านหลอดแก้ว E ไปยังตัวควบแน่น D เมื่อตัวสกัดถูกควบแน่นกลายเป็นของเหลวจะไหลตกลงมาบนของแข็งที่ต้องการสกัดในถุงผ้า A เมื่อตัวสกัดถูกสะสมในหลอดแก้ว B มากเพียงพอจะเกิดกาลักน้ำดูดของเหลวให้ไหลกลับมายังขวด C ทางหลอดแก้ว F สารที่ถูกสกัดจะออกมากับตัวสกัดและสะสมในขวด C ส่วนตัวสกัดจะถูกความร้อนทำให้กลายเป็นไอแล้วควบแน่นมาใช้ใหม่ได้อีกอย่างต่อเนื่อง การสกัดด้วยเครื่องมือซอกห์เลตสามารถติดตั้งให้ทำงานได้ตลอดเวลาเป็นเวลานานโดยไม่ต้องเฝ้าดู ทำให้ประหยัดเวลาสำหรับผู้วิเคราะห์ได้อย่างดี เพราะในขณะทำการสกัดสามารถใช้เวลาไปทำงานอื่นได้ การสกัดแบบนี้บางครั้งต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงหรืออาจหลายวันก็ได้

2.7. เครื่องโครมาโตกราฟชนิดของเหลวประสิทธิภาพสูง (High Performance Liquid Chromatography ,HPLC) [27]



รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของเครื่อง HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1. หลักการของเครื่อง HPLC

HPLC เป็นเครื่องมือใช้สำหรับแยกสารประกอบที่ต้องการซึ่งผสมอยู่ในตัวอย่าง โดยกระบวนการแยกสารจะเกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟส คือเฟสอยู่กับที่ (stationary phase) หรือคอลัมน์ (column) กับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งจะถูกแยกออกมาในเวลาที่ต่างกัน สารผสมที่อยู่ในตัวอย่างสามารถถูกแยกออกจากกันได้นั้นจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้นกับเฟสที่เคลื่อนที่หรือเฟสที่อยู่กับที่ โดยสารประกอบตัวใดที่สามารถเข้ากันได้ดีกับเฟสที่เคลื่อนที่สารนั้นก็จะถูกแยกออกมาก่อน ส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับเฟสที่เคลื่อนที่หรือเข้ากันได้ดีกับเฟสอยู่กับที่ก็จะถูกแยกออกมาทีหลัง โดยสารที่ถูกแยกออกมาได้นี้จะถูกตรวจวัดสัญญาณด้วยตัวตรวจวัดสัญญาณ (detector) และสัญญาณที่บันทึกได้จากตัวตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีค ซึ่งจะเรียกว่า โครมาโตแกรม (chromatogram)

2.7.2. การวิเคราะห์

HPLC สามารถตรวจวัดได้ทั้งเชิงคุณภาพวิเคราะห์ (Qualitative Analysis) และเชิงปริมาณวิเคราะห์ (Quantitative Analysis) โดยการเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน ส่วนใหญ่นิยมใช้วิเคราะห์สารประกอบที่ระเหยยาก (Low Volatile Substation) หรือมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (High Molecular Weight Compounds)

2.7.3. ส่วนประกอบหลักของเครื่อง HPLC

รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3.1. Mobile phase หรือ Solvent (Reservoir) ตัวทำละลายที่ใช้ในการชะหรือแยกตัวอย่าง เป็นเฟสเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นของเหลว ทำหน้าที่ในการนำสารตัวอย่างและตัวทำละลายเข้าสู่เฟสอยู่กับที่ที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์ ซึ่งกระบวนการแยกจะเกิดขึ้นภายในคอลัมน์

2.7.3.2. Pump ทำหน้าที่ดึงตัวทำละลายซึ่งทำหน้าที่เป็นเฟสเคลื่อนที่เข้าสู่ระบบ HPLC

2.7.3.3. Injector หรือ Autosampler ทำหน้าที่ในการฉีดสารตัวอย่างเข้าระบบ HPLC

2.7.3.4. Column ภายในบรรจุด้วยเฟสที่อยู่กับที่ มีลักษณะเป็นของแข็งหรือเจลจึงเกิดกระบวนการแยกองค์ประกอบของสารที่สนใจ โดยกระบวนการแยกเกิดขึ้นระหว่างเฟสที่เคลื่อนที่กับเฟสที่อยู่กับที่

2.7.3.5. Detector เป็นตัวตรวจวัดสัญญาณ ทำหน้าที่ในการตรวจวัดสัญญาณของสารที่สนใจที่ได้จากกระบวนการแยก ซึ่งเครื่องนี้มี Detector 3 ชนิด คือ Photodiode array detector Fluorescence detector และ Refractive index detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1. กรดไนตริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์

3.1.2. เอทานอล เกรดวิเคราะห์

3.1.3. อะซิโตน เกรดวิเคราะห์

3.1.4. น้ำกลั่น

3.1.5. กรดไฮโดคลอริก (1:1)

3.1.6. ก๊าซไนโตรเจน

3.1.7. สารมาตรฐานคาเทชิน

3.1.8. สารมาตรฐานคาเฟอีน

3.1.9. อะซิโตไนไตรล์ เกรด HPLC

3.1.10. เมทานอล เกรด HPLC

3.1.11. เอทิลอะซิเตท เกรด HPLC

3.1.12. กรดอะซิตริก เกรด HPLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1. เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary evaperator)

3.2.2. เครื่องโพเทนชิโอสแตท (Potentiostat)

3.2.3. เครื่องอัลตราโซนิก

3.2.4. แท่นให้ความร้อน

3.2.5. ตู้อบสาร

3.2.6. ชุดซอกห์เลต (Soxhlet extraction)

3.2.7. ชุดทดสอบการกัดกร่อน

3.2.8. โลหะทองแดง

3.2.9. โลหะแพลทินัม

3.2.10. บริภัณฑ์เครื่องแก้ว

3.2.11. ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงชนิดคาโลเมลอิ่มตัว

3.2.12. กระดาษทรายหมายเลข 240 680 และ1200

3.2.13. พาราฟิล์ม

3.2.14. โกร่งบดสาร

3.2.15. เครื่อง HPLC รุ่น HiQ sil C18HS No. OHS00205 size 4.6 mm x 150 mm ยี่ห้อ KYA TECH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. วิธีการทดลอง

3.3.1. การสกัด

3.3.1.1. การสกัดแทนนินจากใบมันสำปะหลัง [11]

- วิธีการเก็บใบมันสำปะหลัง

1. ใบมันสำปะหลังจะเริ่มเก็บหลังปลูกได้ 4 เดือน โดยสามารถเก็บได้เดือนละครั้งจนกระทั่งขุดหัวมัน

2. การเก็บใบมันจะเก็บ เฉพาะใบที่กางเต็มที่แล้ว เก็บต้นละ 5-10 ใบต่อต้นขึ้นอยู่กับขนาดของต้นมันสำปะหลัง

รูปที่ 3.1 ใบมันสำปะหลัง

3. นำใบมันสำปะหลังมาตากไว้กลางแจ้ง 1-2 วัน จนใบมันสำปะหลังแห้งสนิท พลิกกลับกองใบมันสำปะหลังเพื่อให้ใบแห้งสนิททั่วถึง หากมีความชื้นอยู่จะทำให้ใบเน่าและขึ้นราได้ ข้อควรระวังในการตากใบมันมันสำปะหลังคือควรตากใบมันสำปะหลังในที่ที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก เพราะในใบมันสำปะหลังมีสารที่เรียกว่าไซยาไนด์ซึ่งเป็นสารอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แต่สามารถกำจัดให้หมดไปได้ด้วยการใช้ความร้อนในการตากสารไซยาไนด์จะระเหยออกไปจากใบมันจนไม่เหลือความเป็นพิษอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ใบมันสำปะหลังที่จะใช้ในการสกัดสารแทนนินนั้น จะต้องเป็นใบมันสำปะหลังแห้งที่บดละเอียดจนมีขนาดเล็กผ่านตะแกรงขนาด 20 mesh ได้เพื่อให้สารละลายเข้าไปสกัดสารแทนนินให้ออกมาจากใบได้ดี

5. บรรจุใบมันสำปะหลังบดไว้ในถุงหรือภาชนะที่มีฝาปิดให้เรียบร้อย นำไปเก็บในที่แห้งและสะอาด เพื่อป้องกันแมลงเข้าทำลาย รอการนำไปใช้ในการสกัด

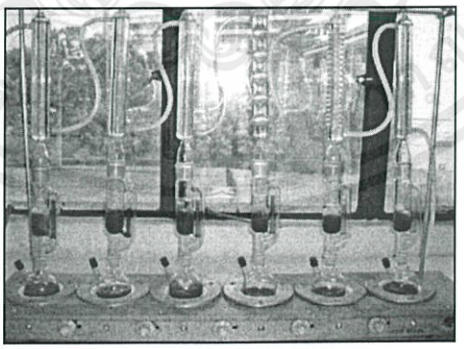
- การสกัดสารแทนนินจากใบมันสำปะหลังด้วยชุดซอกห์เลต

1. ชั่งใบมันสำปะหลังบดละเอียดที่ร่อนผ่านตะแกรงแล้วจำนวน 10.00 กรัม ใส่ลงถุงผ้าบรรจุตัวอย่าง

2. เตรียมตัวทำละลาย 250 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบด้วยสารละลาย 50%acetone และ 80%ethyl alcohol ที่อัตราส่วน 1:1

3. บรรจุใบมันสำปะหลังและสารละลายเข้าชุดซอกห์เลต ตั้งอุณหภูมิที่ 90-100 องศาเซลเซียสต้มสกัดเป็นเวลา 5 ชั่วโมง

4. นำสารสกัดที่ได้ไประเหยด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน



รูปที่ 3.2 การสกัดสารจากใบมันสำปะหลังโดยชุดซอกห์เลต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2. การสกัดฟลาโวนอยด์จากชาเขียวด้วยชุดซอกห์เลต [22]

1. ร่อนใบชาเขียวอบแห้งผ่านตะแกรง 20 mesh

2. ชั่งใบชาเขียวอบแห้งที่ร่อนผ่านตะแกรงจำนวน 10.00 กรัม ใส่ลงถุงผ้าและใส่ลงในซอกห์เลต

3. เติม 50% v/v เอทานอล 250 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลม

4. รีฟลักซ์ในอ่างน้ำร้อนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

5. นำสารสกัดที่ได้ไประเหยด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน

3.3.2. การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.3.2.1. เตรียมกรดไนตริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์

- ปิเปตกรดไนตริกเข้มข้น 96% ปริมาตร 9.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร 1000 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

3.3.2.2. เตรียมกรดไฮโดคลอริก (1:1)

- เตรียมกรดไฮโดรคลอริก 100 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้ว

3.3.2.3. เตรียมสารสกัด

- เตรียมสารสกัดเข้มข้น 10 mg/L โดยชั่งสารที่สกัดเก็บไว้จำนวน 5 มิลลิกรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์

- ทำเช่นเดียวกันเพื่อเตรียมสารสกัดความเข้มข้น 100 1000 และ 10000 mg/L โดยชั่งสารสกัดมา 50 500 และ 5000 มิลลิกรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.4. เตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

- ตัดชิ้นโลหะทองแดงให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร ขัดด้วยกระดาษทรายหมายเลข 240 680 และ 1200 ตามลำดับ โดยใช้น้ำกลั่นช่วยในการขัด ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยน้ำกลั่น

- ล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาด

- แช่ชิ้นงานตัวอย่างในเอทานอล 95% ในเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 5 นาที

- เป่าชิ้นงานให้แห้งด้วยลมร้อน

3.3.2.5. เตรียมขั้วแพลทินัม

- ล้างขั้วแพลทินัมด้วยน้ำยาทำความสะอาด

- แช่ในกรดไฮโดรคลอริก (1:1) เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นขัดและล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาด

- ล้างด้วยเอทานอล 95% อีกครั้ง แล้วเป่าให้แห้ง

3.3.2.6. เตรียมสารละลายเฟสเคลื่อนที่

- นำน้ำกลั่นเกรด Millipore Acetointrile Methanol Ethyl acetate และ Acetic acid เกรด HPLC ไปกรองโดยใช้กระดาษไนลอนขนาด 0.45 ไมโครเมตร

- นำน้ำกลั่นเกรด Millipore Acetonitrile Methanol Ethyl acetate และ Acetic acid ที่กรองแล้วมาผสมกันในอัตราส่วน 89:6:1:3:1 v/v/v/v/v

- นำสารละลายไปไล่ฟองอากาศโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกเป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.7. เตรียมสารละลายมาตรฐานคาเทชิน

- ชั่งสารมาตรฐานคาเทชินมา 30 มิลลิกรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายเฟสเคลื่อนที่ ได้สารละลายมาตรฐานคาเทชินเข้มข้น 600 mg/L

- เตรียมสารสารละลายมาตรฐานคาเทชินเข้มข้น 60 mg/L โดยใช้ไมโครปิเปตปิเปตสารละลายมาตรฐานคาเทชินเข้มข้น 600 mg/L มา 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายเฟสเคลื่อนที่

- ทำเช่นเดียวกันเพื่อเตรียมสารละลายมาตรฐานคาเทชินเข้มข้น 120 180 240 และ 300 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานคาเทชิน 600 mg/L มา 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ

3.3.2.8. เตรียมสารละลายมาตรฐานคาเฟอีน

- ชั่งสารมาตรฐานคาเฟอีนมา 30 มิลลิกรัม ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายเฟสเคลื่อนที่ ได้สารละลายมาตรฐานคาเฟอีนเข้มข้น 600 mg/L

- เตรียมสารสารละลายมาตรฐานคาเฟอีนเข้มข้น 60 mg/L โดยใช้ไมโครปิเปตปิเปตสารละลายมาตรฐานคาเทชินเข้มข้น 600 mg/L มา 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยสารละลายเฟสเคลื่อนที่

- ทำเช่นเดียวกันเพื่อเตรียมสารละลายมาตรฐานคาเฟอีนเข้มข้น 120 180 240 และ 300 mg/L โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานคาเฟอีนเข้มข้น 600 mg/L มา 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ตามลำดับ

3.3.2.9. เตรียมสารสกัดที่ใช้กับเครื่อง HPLC

- กรองสารสกัดที่เก็บไว้ผ่านบุชเนอร์

- ดูดสารสกัดผ่านหัวกรองขนาด 0.45 ไมโครเมตร

- เก็บสารสกัดไว้ในขวดไวแอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3. วิธีการทดสอบการกัดกร่อน

1. ล้างชุดทดสอบการกัดกร่อนด้วยน้ำกลั่น ผึ่งให้แห้ง แล้วกลั้วด้วยกรดที่เติมสารสกัดที่ต้องการทดสอบ

2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่องโพเทนชิโอสแตท เลือกโปรแกรมควบคุม กรอกข้อมูลพื้นที่ผิวของชิ้นงานตัวอย่าง เลือกสภาวะการทดสอบใช้อัตราเร็วในการวัด 600 mV/hr ปรับค่าศักย์ไฟฟ้าในช่วงตั้งแต่ –800 ถึง 800 mV เทียบกับค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (Open circuit potential)

3. จัดอุปกรณ์ชุดทดสอบการกัดกร่อน แล้วเติมสารสกัดที่เตรียมไว้ และเริ่มพ่นก๊าซไนโตรเจนลงในสารละลายเป็นเวลา 30 นาที

4. ต่อขั้วไฟฟ้าจากเครื่องโพเทนชิโอสแตทกับชุดทดสอบการกัดกร่อน

5. ใส่ชิ้นงานตัวอย่าง ใส่ขั้วอ้างอิง และขั้วแพลทินัมลงในชุดทดสอบการกัดกร่อน

6. เริ่มปรับค่าศักย์ไฟฟ้า และวัดค่ากระแสไฟฟ้า เมื่อวัดเสร็จจึงทำการบันทึกข้อมูล

7. หาค่า i_{corr} และ E_{corr} โดยการประมาณการนอกช่วงทาเฟิล (Tafel extrapolation)

3.3.4. วิธีการวัดปริมาณคาเทชินและคาเฟอีนในสารสกัดจากใบชาเขียวโดยใช้เครื่อง HPLC

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และเครื่อง HPLC เลือกโปรแกรมควบคุมการทำงาน เลือกสภาวะในการทดสอบใช้อัตราการไหล 0.9 mL/min ความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร และใช้เวลาในการวิเคราะห์ 15 นาทีต่อหนึ่งรอบการฉีด

2. ให้เครื่อง HPLC ดูดสารละลายเฟสเคลื่อนที่

3. เริ่มทำการวิเคราะห์ ใช้เข็มดูดสารละลายมาตรฐานมา 20 ไมโครลิตร แล้วฉีดเข้าเครื่อง HPLC

4. เมื่อวิเคราะห์เสร็จทำการบันทึกข้อมูลกราฟโครมาโตแกรมเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์

5. สร้างกราฟมาตรฐานของสารบันทึกข้อมูลเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์

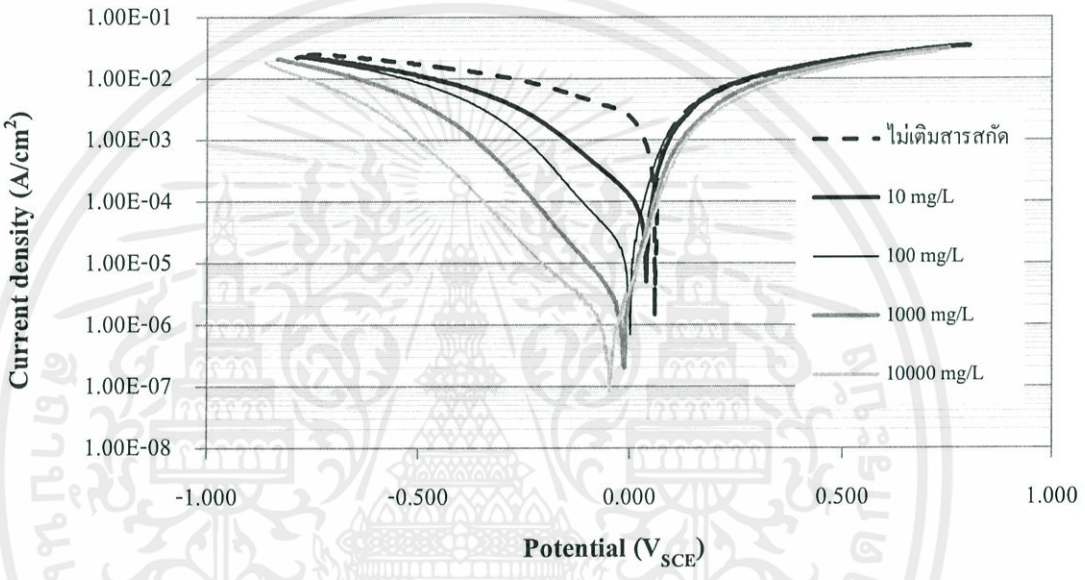
6. วิเคราะห์หาปริมาณคาเทชิน และคาเฟอีนในสารสกัดจากใบชาเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1. ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของทองแดงจากสารสกัดจากใบชาเขียว

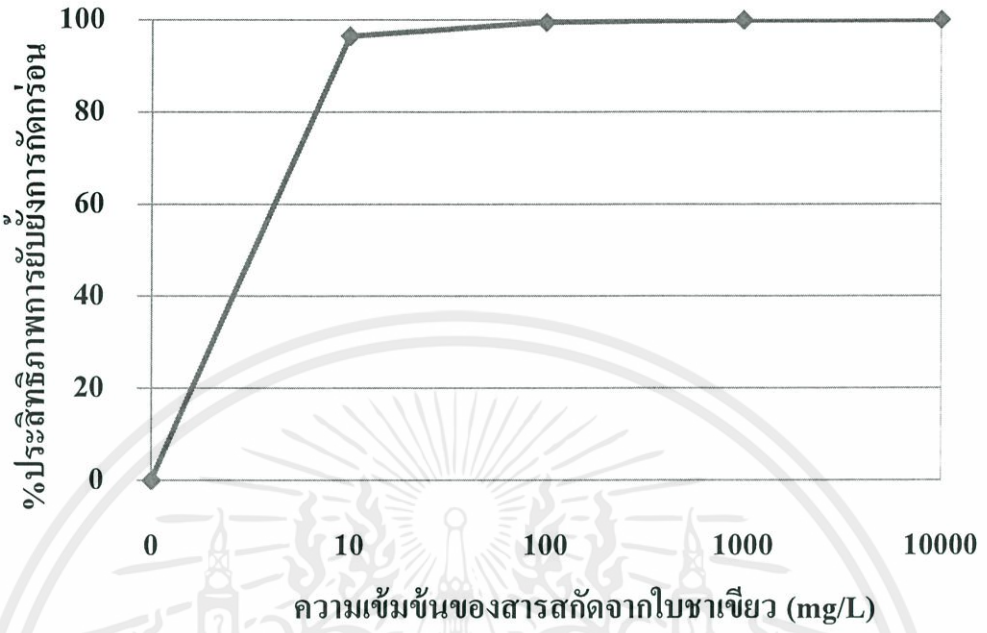


รูปที่ 4.1 กราฟโพลาไรเซชันของทองแดงในกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ที่ไม่เติมและเติมสารสกัดจากใบชาเขียวความเข้มข้น 10 100 1000 และ 10000 mg/L

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงโดยสารสกัดใบชาเขียว

ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/L)	E_{corr} (V)	i_{corr} (A/cm^2)	R_p ($\Omega \cdot cm^2$)	ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน (%)
0	0.063	2.95×10^{-3}	2.01×10^{3}	-
10	0.039	1.06×10^{-4}	2.01×10^{5}	96.4
100	0.000	1.55×10^{-5}	9.70×10^{5}	99.4
1000	-0.013	1.89×10^{-6}	7.00×10^{6}	99.9
10000	-0.047	7.76×10^{-7}	2.20×10^{7}	99.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการยั้งยังการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารสกัดจากใบชาเขียว

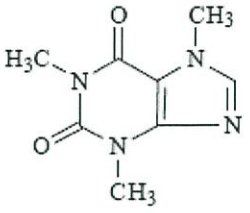
รูปที่ 4.1 แสดงพฤติกรรมการกัดกร่อนของทองแดง โดยการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของสารสกัดจากใบชาเขียวที่ไม่เติมและเติมสารสกัดที่ความเข้มข้น 10 100 1000 และ 10000 mg/L ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนของทองแดงที่เติมสารสกัดแต่ละความเข้มข้นมีค่า 0.063 0.039 0.000 -0.013 และ -0.047 V ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเลื่อนไปทางลบมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าสารสกัดที่เติมลงไปมีผลทำให้สารละลายมีความสามารถในการออกซิไดซ์ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากใบชาเขียว พิจารณาข้อมูลจากตารางที่ 4.1 ซึ่งได้จากกราฟโพลาไรซ์เซชันของกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ที่เติมและไม่เติมสารสกัดจากใบชาเขียว พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบชาเขียวจาก 0 จนถึง 10000 mg/L ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีแนวโน้มลดลงจาก 2.95×10^{-3} เป็น 1.06×10^{-4} 1.55×10^{-5} 1.89×10^{-6} และ 7.76×10^{-7} A/cm^2 ตามลำดับ ซึ่งค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนนี้จะแปรผกผันกับประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนจึงเพิ่มมากขึ้น โดยการทดสอบที่เติมสารสกัดจากใบชาเขียวเข้มข้น 10000 mg/L มีค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนต่ำที่สุด

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาเท่านั้น ไม่ว่ากรณีใดๆ จะนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

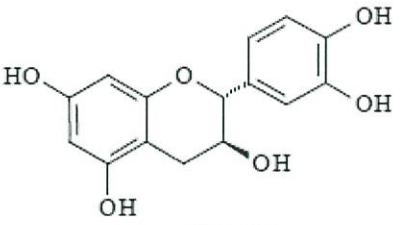
ส่งผลให้มีประสิทธิภาพยับยั้งการกัดกร่อนสูงถึง 99.9% ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จากข้อมูลพื้นฐานข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมสารสกัดเพิ่มมากขึ้นจาก 10 จนถึง 10000 mg/L จะส่งผลให้สามารถยับยั้งการกัดกร่อนได้ดีขึ้น เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนมีค่า 96.4% 99.4% จนมีค่าสูงสุดที่ 99.9% ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ (R_p) จะมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัด โดยการทดสอบที่ใช้สารสกัดใบชาเขียว 10000 mg/L จะมีค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์เท่ากับ $2.20\times10^{7}\ \Omega\cdot cm^{2}$ ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับการเติมสารสกัดที่ความเข้มข้นอื่น และสารละลายกรดไนตริกที่ไม่ได้มีการเติมสารสกัดจากใบชาเขียวจะมีค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ที่น้อยที่สุดคือ $2.01\times10^{3}\ \Omega\cdot cm^{2}$ ส่วนการทดสอบที่เติมสารสกัดใบชาเขียวเข้มข้น 10 100 และ 1000 mg/L มีค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์เท่ากับ 2.01×10^{5} 9.70×10^{5} และ$7.0\times10^{6}\ \Omega\cdot cm^{2}$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า เมื่อเติมสารสกัดจากใบชาเขียวในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ของโลหะตัวอย่างทองแดงมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วยซึ่งส่งผลดีต่อการยับยั้งการกัดกร่อน

สรุปได้ว่าค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน ซึ่งเป็นตัวแปรที่บ่งบอกถึงอัตราการกัดกร่อนของโลหะ จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากใบชาเขียว ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนจะลดลงต่ำที่สุดเมื่อเติมสารสกัดจากใบชาเขียวเท่ากับ 10000 mg/L และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดใบชาเขียวพบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าลดลงอย่างชัดเจน เป็นสิ่งยืนยันว่าการเติมสารสกัดจากใบชาเขียวจะทำให้สารละลายมีความสามารถในการออกซิไดซ์ลดลงซึ่งส่งผลทำให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนลดลงด้วย

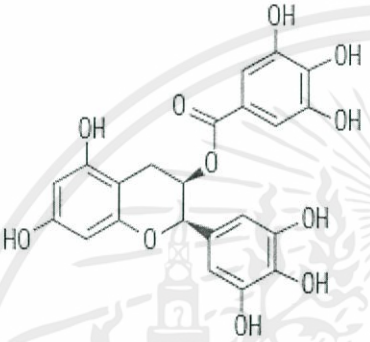
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



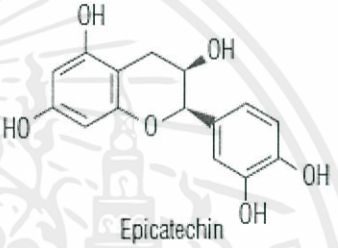
Caffeine



Catechin



Epigallocatechin Gallate



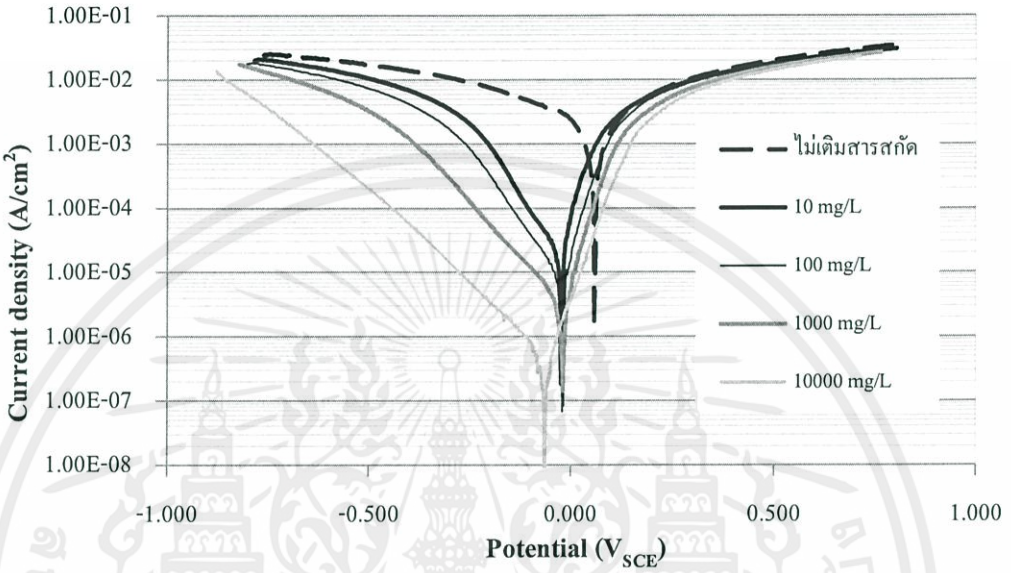
Epicatechin

รูปที่ 4.3 โครงสร้างสารที่พบในสารสกัดใบชาเขียว [21,26]

สารสกัดจากใบชาเขียวดังแสดงในรูปที่ 4.3 สามารถช่วยยับยั้งการกัดกร่อนโดยการดูดซับที่ผิวหน้าของโลหะ เนื่องจากภายในโครงสร้างโมเลกุลของ Caffeine Catechin Epigallocatechin Gallate และ Epicatechin มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่หลายตำแหน่ง จากผลการทดลองที่ได้สารสกัดจากใบชาเขียวสามารถยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงได้ในสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ทั้งนี้อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวในโครงสร้างจะทำหน้าที่ดูดซับที่ผิวหน้าของโลหะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนจนเป็นชั้นของสารอินทรีย์เคลือบอยู่บนผิวของโลหะทำให้ลดการสัมผัสของผิวโลหะกับสารละลายโดยตรง จึงสามารถป้องกันการกัดกร่อนโดยป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิวชิ้นงาน [23] ทั้งนี้เมื่อเพิ่มปริมาณของสารสกัดจากใบชาเขียวมากขึ้นประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนจะเพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องจากสัดส่วนของพื้นที่ที่ถูกปกคลุมโดยสารสกัดจะมีค่าเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2. ผลการทดลองการป้องกันการกัดกร่อนของทองแดงจากสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง

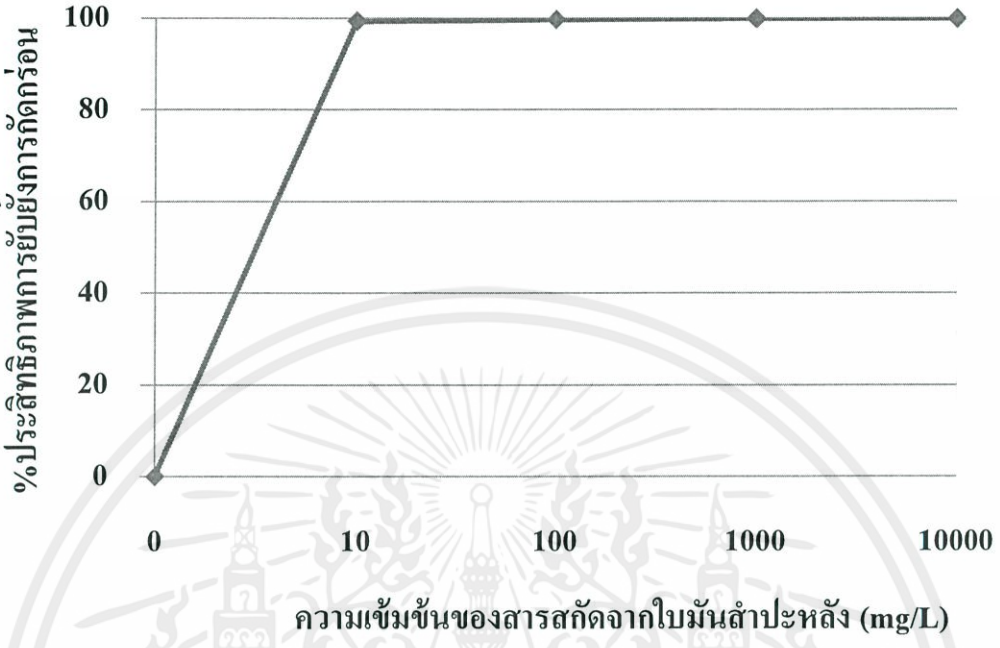


รูปที่ 4.4 กราฟโพลาไรซ์เซชันของทองแดงในกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ที่ไม่เติมและเติมสารสกัดจากใบมันสำปะหลังความเข้มข้น 10 100 1000 และ 10000 mg/L

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงโดยสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง

ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/L)	E_{corr} (V)	i_{corr} (A/cm^2)	R_p ($\Omega \cdot cm^2$)	ประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน (%)
0	0.063	2.95×10^{-3}	2.01×10^{3}	-
10	-0.021	2.09×10^{-5}	7.05×10^{5}	99.3
100	-0.021	8.11×10^{-6}	1.83×10^{6}	99.7
1000	-0.020	3.26×10^{-6}	5.09×10^{6}	99.9
10000	-0.064	5.71×10^{-7}	4.04×10^{7}	99.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



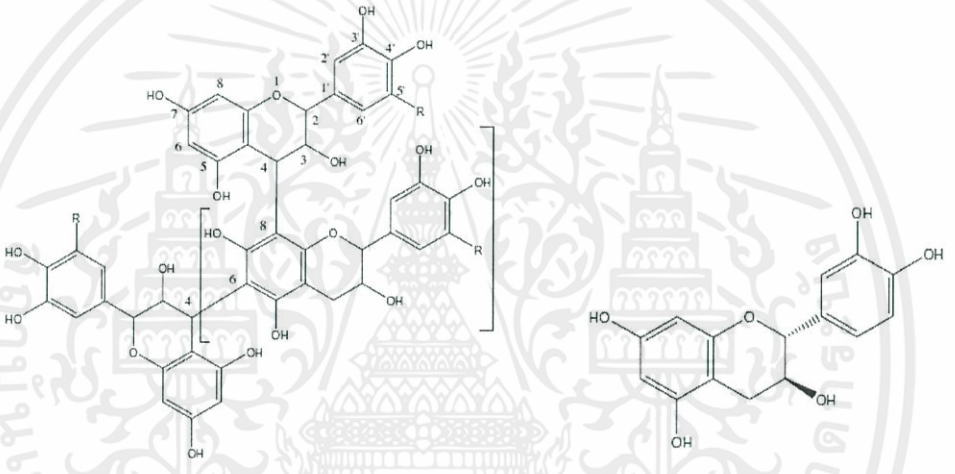
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนกับความเข้มข้นของสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง

จากรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.2 พบว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนของทองแดงในกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ที่ไม่เติมสารสกัดจากใบมันสำปะหลังมีค่า 0.063 V เมื่อเติมสารสกัดจากใบมันสำปะหลังลงไปที่ความเข้มข้น 10 100 และ 1000 mg/L ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าเท่ากับ -0.021 -0.021 และ -0.020 V ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนที่ได้จากการเติมสารสกัดในแต่ละความเข้มข้นมีค่าใกล้เคียงกันมากแต่เมื่อเพิ่มปริมาณสารสกัดจากใบมันสำปะหลังเป็น 10000 mg/L จะทำให้ค่าศักย์ไฟฟ้าการกัดกร่อนเลื่อนไปทางลบมากขึ้นอย่างชัดเจนแสดงให้เห็นว่าสารสกัดจากใบมันสำปะหลังมีผลทำให้สารละลายมีความสามารถในการออกซิไดซ์ลดลง

พิจารณาค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนของทองแดงในกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ที่เติมสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง 10 100 1000 และ 10000 mg/L มีค่าเท่ากับ 2.09×10^{-5} 8.11×10^{-6} 3.26×10^{-6} และ 5.71×10^{-7} A/cm^2 ซึ่งลดลงจากการทดลองที่ไม่เติมสารสกัดตามลำดับ และพบว่าค่าความต้านทานการถูกโพลาไรซ์ของทองแดงในกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ ที่ไม่เติมสารสกัดจากใบมันสำปะหลังมีค่าเท่ากับ 2.01×10^{3} $\Omega\cdot cm^2$ และค่าความต้านทานการกัดกร่อนของกรดไนตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เติมสารสกัดจากใบมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 10000 mg/L มีค่ามากที่สุดคือ $4.04\times10^{7}\ \Omega\cdot cm^{2}$ และจากการคำนวณค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงในกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ ที่เติมสารสกัดจากใบมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 10 100 1000 และ 10000 mg/L พบว่ามีค่าเท่ากับ 99.3% 99.7% 99.9% และ 99.9% ตามลำดับ ตามรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมสารสกัดจากใบมันสำปะหลังมากขึ้นจะสามารถยับยั้งการกัดกร่อนของโลหะตัวอย่างทองแดงได้ดีขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการดูดซับบนผิวหน้าของโลหะโดยสารสกัดที่มีสารจำพวกคอนเดนซ์แทนนินและคาเทชินซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่ภายในโครงสร้างโมเลกุล [22]



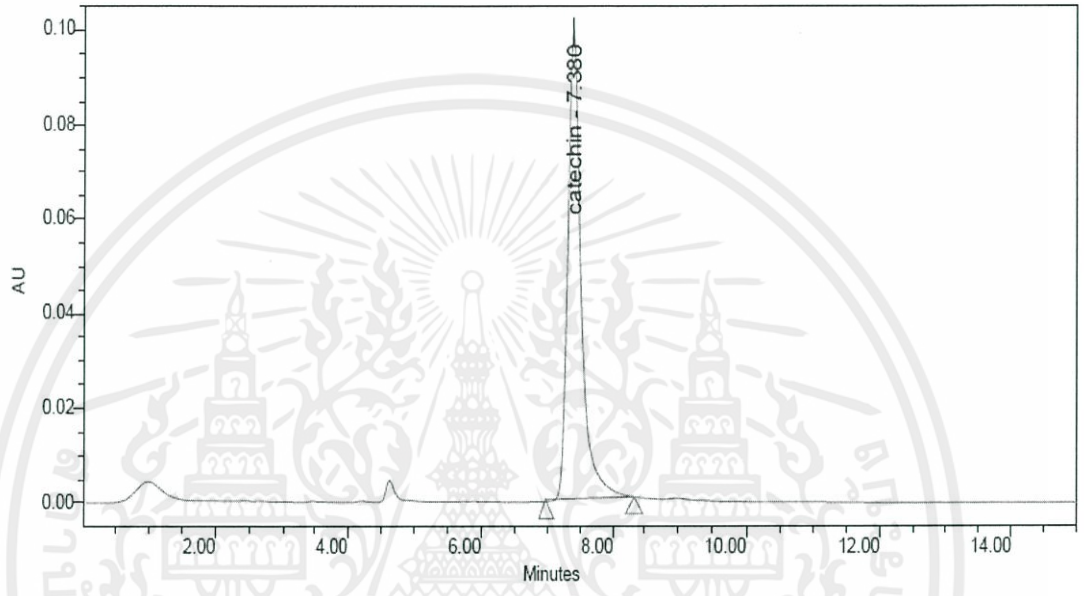
Condense tannin Catechin

รูปที่ 4.6 โครงสร้างสารที่พบในสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง

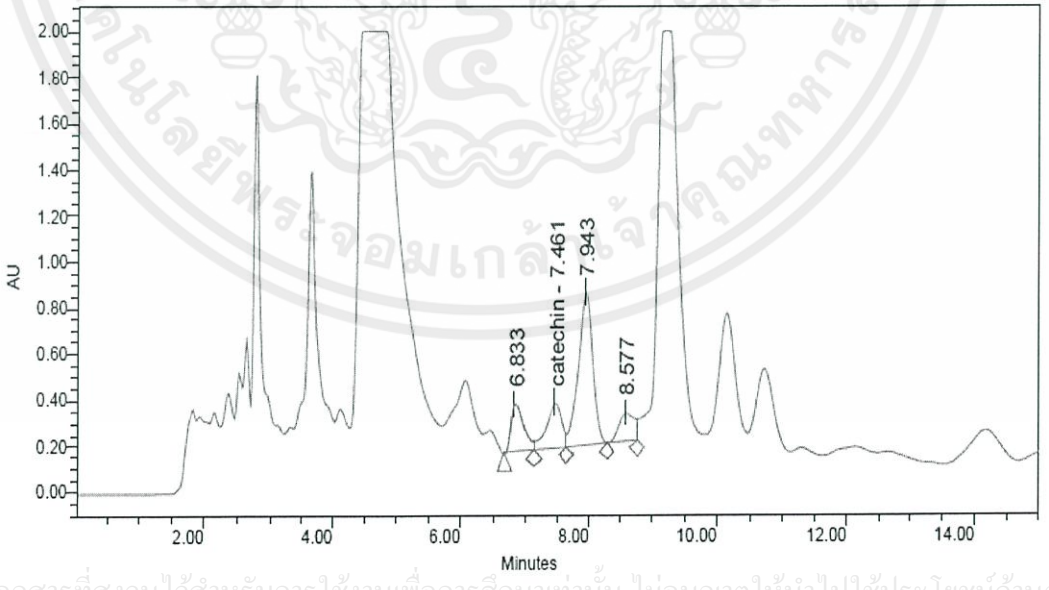
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณสารและความสามารถในการยับยั้งการกัดกร่อนของคาเทชินในสารสกัดใบชาเขียวและใบมันสำปะหลังและคาเฟอีนในสารสกัดใบชาเขียว

4.3.1. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณคาเทชินในสารสกัดจากใบชาเขียว



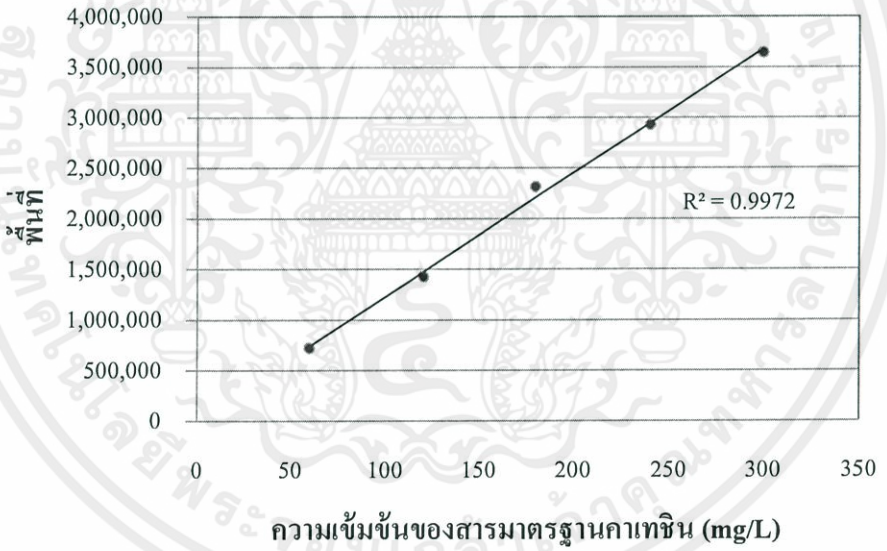
รูปที่ 4.7 กราฟโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานคาเทชิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 กราฟโครมาโตแกรมของสารคาเทชินในสารสกัดใบชาเขียว

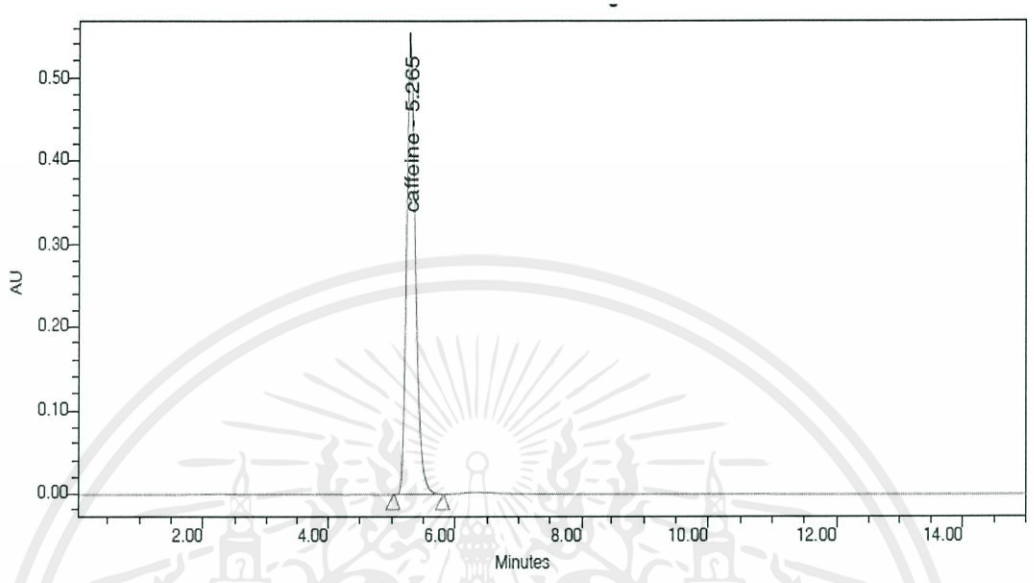
จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 พบว่าที่เวลา 7.380 นาทีเป็นเวลาที่สารมาตรฐานคาเทชินเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์จนกระทั่งถูกตรวจวัดได้ (Retention time) เมื่อฉีดสารสกัดจากใบชาเขียวเพื่อตรวจวัดสารคาเทชินพบว่ามีพีคปรากฏขึ้นที่เวลา 7.461 นาที ซึ่งใกล้เคียงกับเวลาที่ตรวจพบสารมาตรฐานคาเทชิน จากนั้นสามารถเตรียมกราฟมาตรฐานคาเทชินได้โดยการฉีดสารมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้น 60 120 180 240 และ 300 mg/L พบว่าพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานเหล่านี้มีขนาด 720,651 1,428,335 2,314,490 2,926,731 และ 3,643,114 ซึ่งจากข้อมูลสามารถนำมาสร้างกราฟมาตรฐานได้ดังแสดงในรูป 4.9 จากรูปที่ 4.8 พบว่าพื้นที่ของสารคาเทชินในสารสกัดที่ได้มีค่าเท่ากับ 3,441,404 ซึ่งค่าพื้นที่สามารถนำมาแปลงเป็นปริมาณได้จากความสัมพันธ์ของกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยจะได้ค่าความเข้มข้นของคาเทชินมีค่าเท่ากับ 280 mg/L



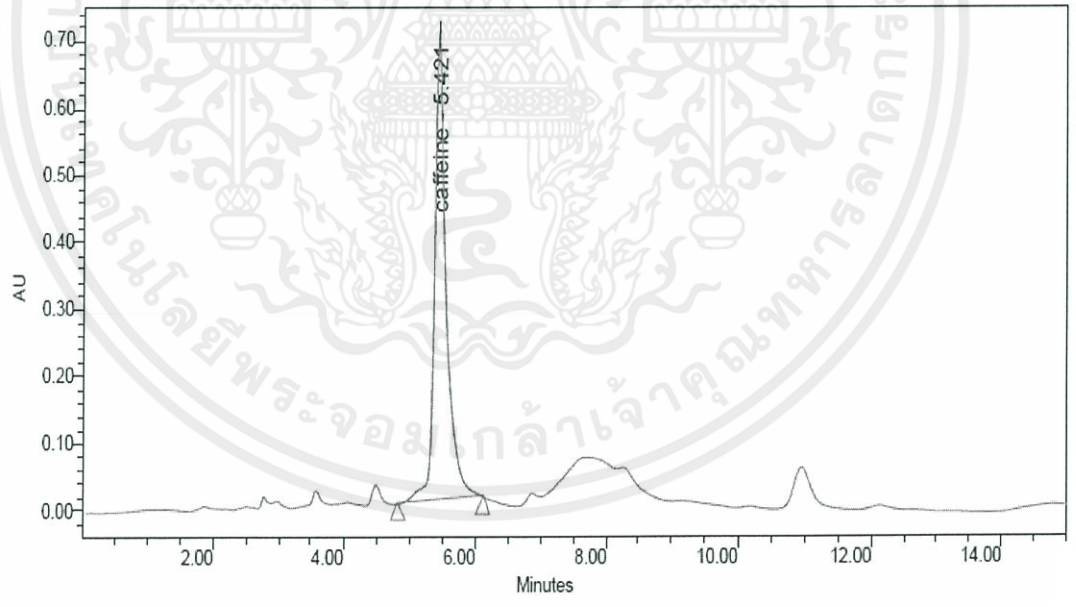
รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาเทชิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2. ผลการวิเคราะห์หาปริมาณคาเฟอีนในสารสกัดจากใบชาเขียว



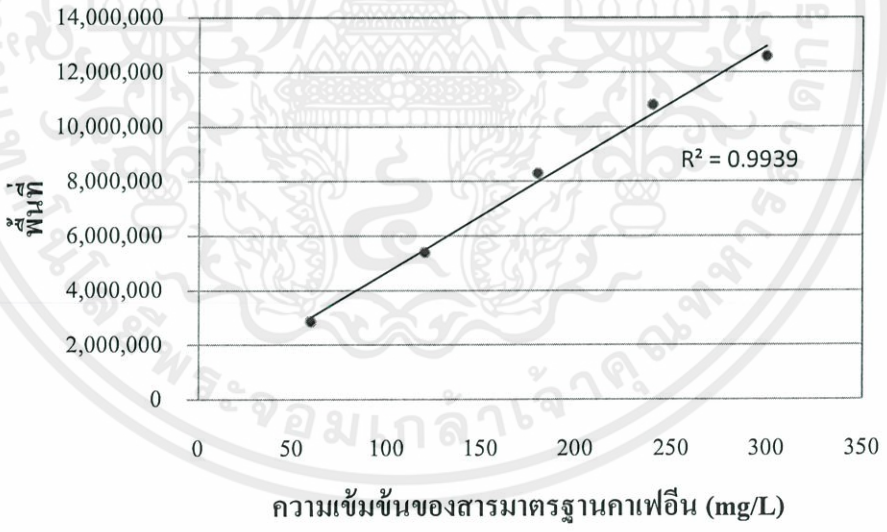
รูปที่ 4.10 กราฟโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานคาเฟอีน



รูปที่ 4.11 กราฟโครมาโตแกรมของสารคาเฟอีนในสารสกัดใบชาเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

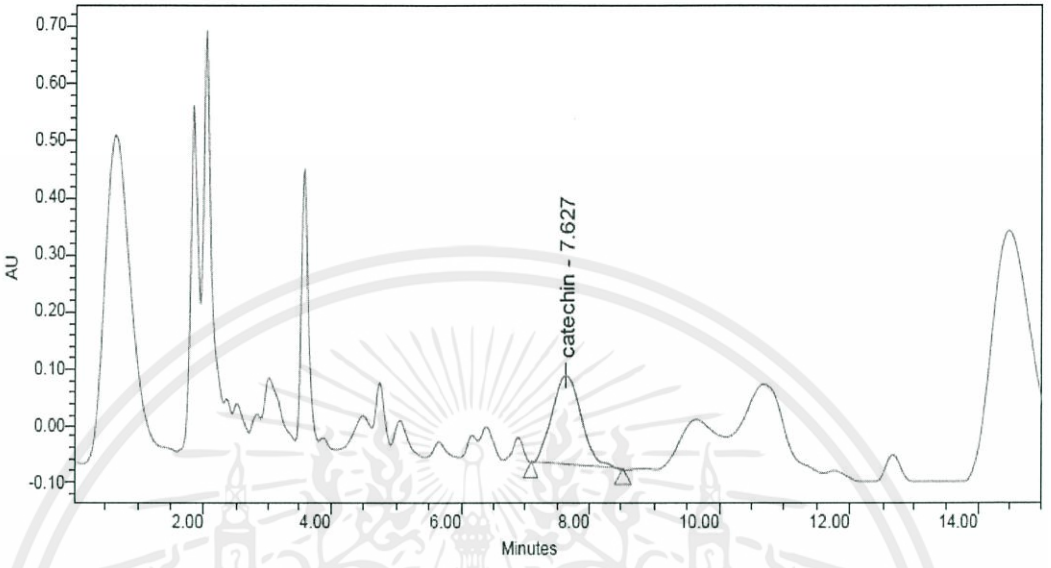
จากรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่าที่เวลา 5.265 นาทีเป็นเวลาที่สารมาตรฐานคาเฟอีนเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์จนกระทั่งถูกตรวจวัดได้ เมื่อฉีดสารสกัดจากใบชาเขียวเพื่อตรวจวัดสารคาเฟอีนพบว่ามีพีคปรากฏที่เวลา 5.421 นาทีซึ่งใกล้เคียงกับเวลาที่ตรวจพบสารมาตรฐานคาเฟอีน จากนั้นสามารถเตรียมกราฟมาตรฐานคาเฟอีนได้โดยฉีดสารมาตรฐานคาเฟอีนที่ความเข้มข้น 60 120 180 240 และ 300 mg/L พบว่าพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานเหล่านี้มีขนาดเท่ากับ 2,843,394 5,384,977 8,379,382 10,790,169 และ 12,507,719 ซึ่งจากข้อมูลสามารถนำมาสร้างกราฟมาตรฐานคาเฟอีนได้ดังแสดงในรูป 4.12 เนื่องจากคาเฟอีนที่อยู่ในสารสกัดใบชาเขียวมีปริมาณมากจึงต้องทำการเจือจางสารสกัดก่อนการฉีดสาร โดยเจือจางสารสกัดให้มีความเข้มข้นลดลง 40 เท่า พบว่าพื้นที่ใต้พีคของสารคาเฟอีนในสารสกัดดังแสดงในรูปที่ 4.11 มีขนาดเท่ากับ 8,775,823 ซึ่งค่าพื้นที่ใต้พีคสามารถนำมาแปลงเป็นปริมาณได้จากความสัมพันธ์ของกราฟดังรูปที่ 4.12 พบว่ามีปริมาณคาเฟอีนในสารสกัดก่อนเจือจางเท่ากับ 8,018 mg/L



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่กับค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานคาเฟอีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณคาเทชินในสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง



รูปที่ 4.13 กราฟโครมาโตแกรมของสารคาเทชินในสารสกัดจากใบมันสำปะหลัง

จากรูปที่ 4.7 และ 4.13 พบว่าที่เวลา 7.380 นาทีเป็นเวลาที่สารมาตรฐานคาเทชินเคลื่อนที่ผ่านคอลัมน์จนกระทั่งถูกตรวจวัด (Retention time) เมื่อฉีดสารสกัดจากใบมันสำปะหลังเพื่อตรวจวัดสารคาเทชินพบว่ามีพีคปรากฏขึ้นที่เวลา 7.627 นาทีซึ่งใกล้เคียงกับเวลาที่ตรวจพบสารมาตรฐานคาเทชิน จากนั้นสามารถเตรียมกราฟมาตรฐานคาเทชินได้โดยการฉีดสารมาตรฐานคาเทชินที่ความเข้มข้น 60 120 180 240 และ 300 mg/L พบว่าพื้นที่ใต้พีคของสารมาตรฐานเหล่านี้มีขนาด 720,651 1,428,335 2,314,490 2,926,731 และ 3,643,114 ซึ่งจากข้อมูลสามารถนำมาสร้างกราฟมาตรฐานได้ดังแสดงในรูป 4.9 เนื่องจากคาเทชินที่อยู่ในสารสกัดใบมันสำปะหลังมีปริมาณมากจึงต้องทำการเจือจางสารสกัดก่อนการฉีดสาร โดยเจือจางสารสกัดให้มีความเข้มข้นลดลง 6 เท่า พบว่าพื้นที่ใต้พีคของสารคาเฟอีนในสารสกัดดังแสดงในรูปที่ 4.13 มีขนาดเท่ากับ 2,528,566 ซึ่งค่าพื้นที่ใต้พีคสามารถนำมาแปลงเป็นปริมาณได้จากความสัมพันธ์ของกราฟดังรูปที่ 4.9 พบว่ามีปริมาณคาเฟอีนในสารสกัดก่อนเจือจางเท่ากับ 1,254 mg/L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตรวจวัดปริมาณสารคาเทชินในสารสกัดจากใบมันสำปะหลังและใบชาเขียวพบว่าปริมาณคาเทชินในใบมันสำปะหลังมีค่ามากกว่าประมาณ 4 เท่า เมื่อพิจารณาจากข้อมูลข้างต้นและเมื่อเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนระหว่างสารสกัดจากใบชาและใบมันสำปะหลัง พบว่าสารสกัดจากใบมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อพิจารณาความเข้มข้นที่ 10 mg/L พบว่าสารสกัดจากใบมันมีประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อนเท่ากับ 99.3 % เทียบกับสารกัดจากใบชาเขียวที่ความเข้มข้นเดียวกันซึ่งมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนเท่ากับ 96.4 % และเมื่อพิจารณาการเติมสารสกัดที่ความเข้มข้นเท่ากับ 100 mg/L พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสารสกัดจากใบมันสำปะหลังและใบชาเขียวมีค่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนเท่ากับ 99.7% และ 99.4% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นน้อยๆ พบว่าสารสกัดจากใบมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนที่ดีกว่า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดเป็น 1000 และ 10000 mg/L ประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนของสารสกัดจากใบมันสำปะหลังและใบชาเขียวจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและเท่ากันที่ 99.9%

4.4. ผลการทดลองวัดค่า pH ของกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ที่เติมสารสกัดจากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลัง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบวัดค่า pH ของกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ที่เติมสารสกัดจากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลัง

ความเข้มข้นของสารสกัด (mg/L)	ค่า pH ของใบชาเขียว	ค่า pH ของใบมันสำปะหลัง
0	0.51	0.51
10	0.51	0.51
100	0.51	0.51
1000	0.51	0.51
10000	0.51	0.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของผลงานทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการเติมสารสกัดจากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลังไม่มีผลต่อค่า pH ของกรดไนตริก 0.1 โมลาร์แต่อย่างใด เนื่องจากในการทดลองโดยเติมสารสกัดจากใบชา

เขียวและใบมันสำปะหลังเมื่อเติมสารสกัดเข้าไปที่ความเข้มข้นสูงอย่าง 10000 mg/L อาจทำให้ปริมาณของกรดไนตริกลดน้อยลงไปตามส่วน จึงต้องวัดค่า pH ของสารละลายเพื่อตรวจสอบว่าการเติมสารสกัดอาจทำให้ปริมาณกรดลดลงเล็กน้อย ซึ่งอาจส่งผลต่อการกัดกร่อนของทองแดงด้วย จากการตรวจวัดพบว่าการเติมสารสกัดลงไปไม่มีผลต่อค่า pH ของสารละลายจึงไม่มีปัจจัยในการที่ปริมาณกรดไนตริกลดลงมาส่งผลต่อการกัดกร่อนของทองแดง นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการป้องกันการกัดกร่อนของสารสกัดที่เติมลงไปนั้นไม่ได้เกิดจากปฏิกิริยาการสะเทินของกรด-เบส เนื่องจากสารสกัดที่เติมลงไปไม่มีฤทธิ์ความเป็นเบสที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับกรดได้ ซึ่งสารสกัดอาจไปจับกับโปรตอนในกรดเป็นผลให้จำนวนโปรตอนในกรดลดลง จนเป็นสาเหตุให้การกัดกร่อนลดลงด้วย แต่การที่ค่า pH ของสารละลายไม่เปลี่ยนแปลงสนับสนุนให้เห็นว่าการยับยั้งการกัดกร่อนที่เกิดขึ้น เกิดจากการดูดซับบนพื้นผิวของโลหะทำให้ผิวหน้าของโลหะสัมผัสกับสารละลายได้น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงในสารละลายกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ ด้วยสารสกัดจากใบชาเขียวและใบมันสำปะหลังสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. สารสกัดจากใบชาเขียวสามารถยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงได้โดยมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนสูงถึง 99.9 % เมื่อเติมสารสกัดจากใบชาเขียวที่ความเข้มข้น 1000 mg/L

2. สารสกัดจากใบมันสำปะหลังสามารถยับยั้งการกัดกร่อนของทองแดงได้โดยทำให้ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้น และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการกัดกร่อนสูงถึง 99.9 % เมื่อเติมสารสกัดจากใบมันสำปะหลังที่ความเข้มข้น 1000 mg/L

5.2. ข้อเสนอแนะ

กลุ่มสารที่นำมาสกัดเป็นสารยับยั้งการกัดกร่อนควรมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวอยู่ภายในโครงสร้างโมเลกุล เพื่อการดูดซับบนพื้นผิวของโลหะ เช่น สารกลุ่มฟลาโวนอยด์ซึ่งจะพบมากในเปลือกเงาะ หรือเปลือกมังคุด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] สุธา สุทธิเรืองวงศ์. **หัวข้อเรื่องที่น่าสนใจในอุตสาหกรรม (การกัดกร่อน)**. พิมพ์ครั้งที่ 2 . กรุงเทพฯ:สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554

[2] กัญจนา ตระกูลคู. **เทคโนโลยีการกัดกร่อน.** พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ : กราฟแมนเพรส, 2530

[3] พรศักดิ์ อรรถวานิช. **โลหการวิศวกรรม.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546

[4] มหาวิทยาลัยมหิดล . **"ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานครึ่งเซลล์"**.[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/electrochemistry/web/electrode potential.htm.

[5] หนึ่งหทัย คงอินทร์ อทิตยา จันเสนา และอัจฉราภรณ์ ใจปราณี. **ความสามารถในการยับยั้งการกัด กร่อนของเหล็กกล้าในกรดซัลฟิวริกโดยสารสกัดจากใบพญายอ.** วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 15, (2553)79-87

[6] Mars G. Fontana. **Corrosion engineering**. 3 rd ed. New York : McGraw Hill,1988. 278-315.

[7] ปิยวรรณ พึ่งโพธิ์ทอง และรัตติกาล บุญอาจ. **การปลูกและจัดสวนชา**. พิมพ์ครั้งที่ 1 .กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ประสานมิตร, 2548. 1-69.

[8] ประสานพร มณฑลธรรม. **ชาสมุนไพรเพื่อสุขภาพและความงาม.** พิมพ์ครั้งที่ 1 .กรุงเทพฯ : มายิกสำนักพิมพ์, 2537.97-110.

[9] มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. **"องค์ประกอบในใบชา"**.[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก :http//www.Teainstitutemfu.com

[10] "ใบมันสำปะหลัง". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http//www.wikipeadia.org

[11] วัลลบ อารีรบ และคณะ. **รายงานการวิจัยการสกัดสารแทนนินจากใบมันสำปะหลัง.** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555

เอกสารนี้เป็น[illegible]ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง[illegible]ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

[13] El-Etre A.Y. **Inhibitor of acid corrosion of carbon steel using aqueous extract of olive leaves**.journal of colloid and interface science 314,2007.page 578-583

[14] เชิดชัย ละอองทิพรส และ ณรงค์ ผังวิวัฒน์. **การหน่วงการกัดกร่อนด้วยผลิตภัณฑ์ธรรมชาติ.** วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 13 ฉบับที่ 4 ต.ค. - ธ.ค. 2546

[15] Phan Toa Thang. **Antioxidant effect of the extract from the leaves of chromolaena odorata on human dermal fibroblasts and epidermal keratinocytes against hydrogen peroxide and hypoxanthine- xanthine oxidase incuced damage**. Burna 27,2007.319- 327

[16] รัชฎาพร อุ่นศิวิไลย์. **คุณสมบัติเชิงหน้าที่และโภชนเภสัชของสารสกัดรางจืด.** สาขาเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2549

[17] วุฒิชัย นาครักษา และอรพรรณ บุญวิธวาเจริญ.**ผลของอุณหภูมิของน้ำ อัตราส่วนระหว่างใบชาต่อน้ำและเวลาที่ใช้ในการชงชาต่อปริมาณสารต้านออกซิเดชันในใบชา**. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง: ปีที่14 ฉบับที่ 2 สิงหาคม 2549

[18] สุวรงค์ วงษ์ศิริ สุเมธ ชวเดชและพรสวรรค์ ดิษยบุตร. **การแยกสกัดแทนนินจากเปลือกเงาะ.** ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[19] มหาวิทยาลัยรามคำแหง. **"การสกัดด้วยตัวทำละลาย"**.[ออนไลน์].เข้าถึงได้จาก: http://e-book.ram.edu/e-book/c/cm334/cm334-2.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[20] Xi Jun, Shen Deji, Li Ye,Zhang Rui.**Comparison of in vitro antioxidant activities and bioactive components of green tea extracts by different extraction methods**.International journal of Pharmaceutics408,2011.page 97-101

[21] Samuel T. SAITO Albert WELZEL and Edna S. SUYENAGA. **A Method For Fast Determind of Epigallocatechin Gallate (EGCG),Epicatechin (EC),Catechin (C) and Caffeine (Caf) in Green tea Using HPLC.** Campinas 26(2), 2006. page 394-400

[22] Kang Wei Tan Mold. Jain Kassim and Chuan Wei Oo. **Possible Improvement of Catechinas corrosion in acid medium.** Corrosion scienc 65,2012.page 152-162

[23] Fernando Silvio De Souza and et al. **Adsorption Behavior of Caffeine as agreen corrosion inhibitor for copper.**Materials science and Engineering 32,2012.page 2436-2444

[24] นราภรณ์ แซ่ลี้ อรพิน เกิดชูชื่น และ เลาหกุลจิตต์.**ปริมาณสาร Epigallocatechin Gallate(EGCG) และอนุพันธ์ของ Catechins ในชาจีนและชาอัสสัม.**วิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 40.ฉบับที่ 3 (พิเศษ),2552

[25] M.Hazwan Hussin and M. Jain Kassim. **The corrosion inhibition and adsorption behavior of Uncaria gambir extract on mild steel in 1 M. HCl.** Meterial Chemistry and Physics 125,2011.page 461-468

[26] **Sensitive Determination of Catechin in Tea by HPLC**.Dionex Application Note 275.

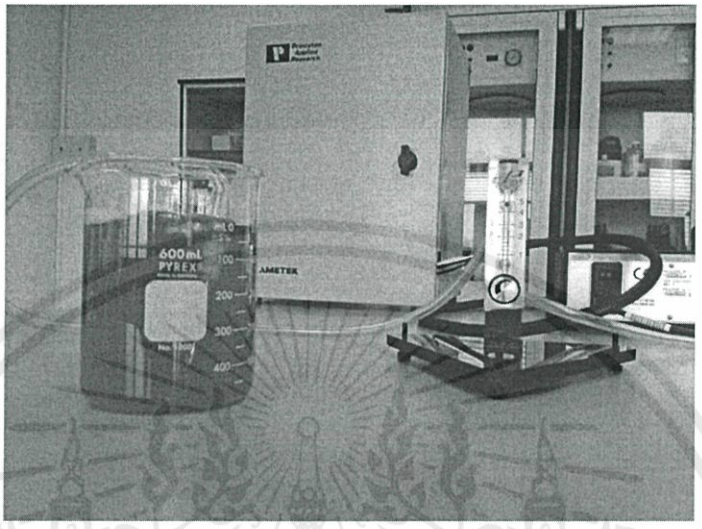
[27] จิราภรณ์ พิมภูมี.**เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง High Performance Liquid Chromatography (HPLC).** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

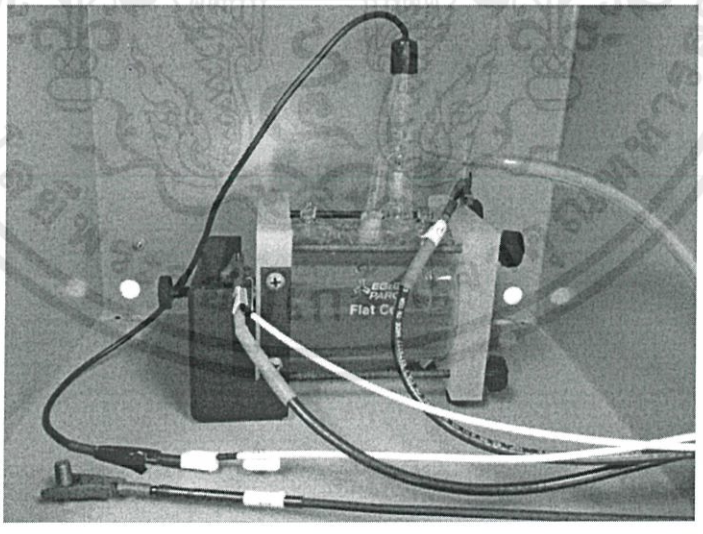
ภาคผนวก ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปภาพประกอบการทดลอง

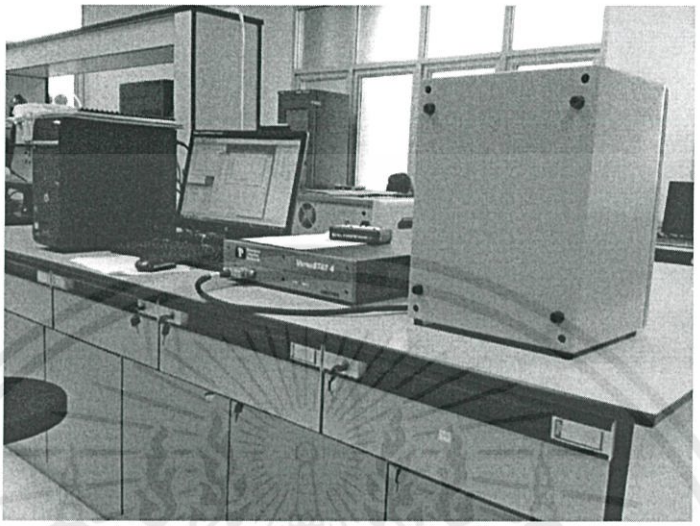


รูปที่ 1 การพ่นไนโตรเจนในสารละลายก่อนการวัดการกัดกร่อน

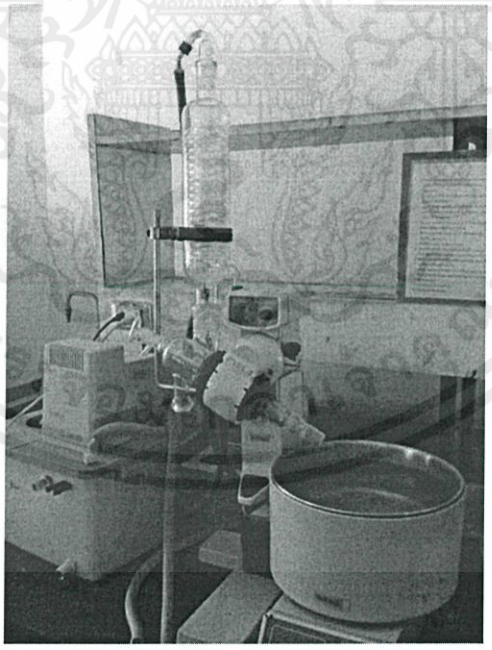


รูปที่ 2 การต่อเซลล์ในตู้ฟาราเดย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

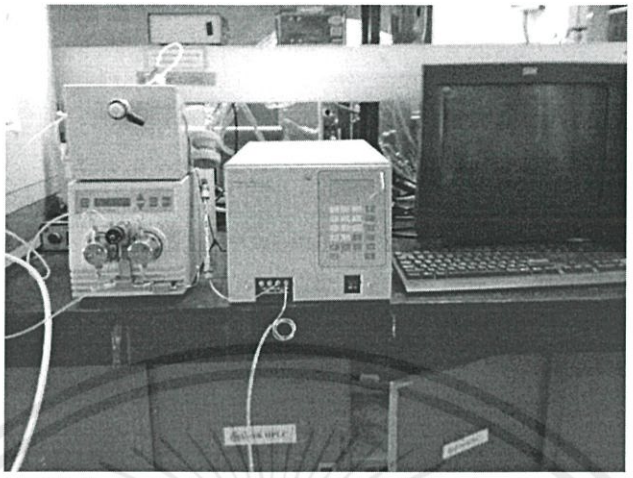


รูปที่ 3 เครื่องโพเทนชิโอสแตท

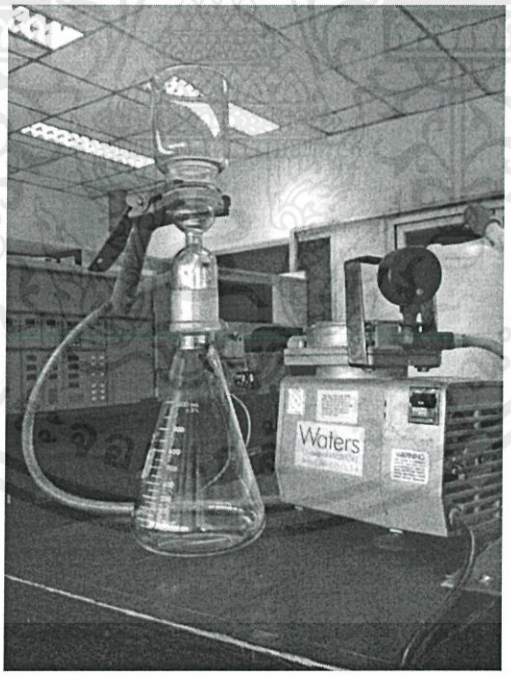


รูปที่ 4 เครื่องระเหยแบบหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 เครื่องโครมาโตกราฟชนิดของเหลวประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 6 เครื่องกรอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูตรการคำนวณ

1. ค่าความต้านทานการเกิดโพลาไรเซชัน (Polarization Resistance, R_p)

$$R_p = \frac{(\beta_a \times \beta_c)}{2.3 \times i_{corr} \times (\beta_a + \beta_c)}$$

β_a คือ ความชันของทาเฟลฝั่งแอโนดิก

β_c คือ ความชันของทาเฟลฝั่งแคโทดิก

i_{corr} คือ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อน

2.3 คือ ค่าลอการิทึมของสิบ

2. ค่าประสิทธิภาพการยับยั้งการกัดกร่อน

$$\%IE = \frac{i_{corr} \times i_{corr}^{inhibit}}{i_{corr}}$$

i_{corr} คือ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนของทองแดงในกรดไนตริก 0.1 โมลาร์

$i_{corr}^{inhibit}$ คือ ค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าการกัดกร่อนของทองแดงในกรดไนตริก 0.1 โมลาร์ที่เติมสารสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้