

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าของอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พริ้นท์
ELECTROCHEMICAL ANALYSIS OF ALPHA-MANGOSTIN USING
SCREEN-PRINTED ELECTRODE



T115918



นางสาวกรรวรรณ พงศ์คำ
นางสาวณัฐภรณ์ ชัมมสุนทรีย์
นางสาวสุพรรณิ ขจรกวินกุล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 115918
วัน,เดือน,ปี... 1 1 ๒๕๕๒

b.....
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ELECTROCHEMICAL ANALYSIS OF ALPHA-MANGOSTIN USING
SCREEN-PRINTED ELECTRODE**

**MISS KORAWAN PHONGKUM
MISS NUPATTARANEE THAMMASOONTAREE
MISS SUPANEE KAJORNKRAWINKUL**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHEL OR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY-ANALYTICAL INSTRUMENTATION
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2009**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าของอัลฟา-แมงโกสตินโดยใช้ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนต์

Electrochemical Analysis of α -mangostin Using Screen-Printed Electrode

ชื่อนักศึกษา

นางสาว กรวรรณ พองคำ

นางสาว ญภัทรณีย์ ชัมมสุนทรีย์

นางสาว สุพรรณณี ขจรกวินกุล

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา

เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์

ปีการศึกษา

2552

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์ ประจำปีการศึกษา 2552

คณะกรรมการสอบ	ทนายมือชื่อ
รศ. อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	
ดร.วิบูลย์ ประคัมฐ์เวียงคำ	
รศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าของอัลฟา-แมงโกสตินโดยใช้ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนต์
ชื่อนักศึกษา	นางสาว กรวรรณ พองคำ นางสาว ญภัทรณีย์ ชัมมสุนทรีย์ นางสาว สุพรรณิ ขจรกวินกุล
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์
ปีการศึกษา	2552
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาการตรวจวัดอัลฟา-แมงโกสตินจากเปลือกมังคุดโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าไซคลิกโวลแทมเมตรีและแอมเพอโรเมตรีและยังมีการตรวจเอกลักษณ์ของสารอัลฟา-แมงโกสตินโดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์อัลฟาแมงโกสตินนั้นใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนต์ทำการศึกษา pH ที่เหมาะสมในช่วง pH 5-8 โดยใช้ scan rate ในช่วง 10-100 mV/s และความเข้มข้นในช่วง 25-125 ppm ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) ที่ pH 7.00 เป็นสถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

ผลการศึกษาวลการตอบสนองโดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมตรีที่ศักย์ไฟฟ้า +1.207 V พบว่าขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนต์มีเวลาในการตอบสนอง 20 วินาที ค่าความเข้มข้นกับกระแสมีความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงในช่วง 100-200 ppm ($R^{2.2} = 0.9642$) ค่าขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด, ค่าความเที่ยงและค่าร้อยละของการคืนกลับเท่ากับ 4.799 ppm, 1.047% และ 83.17 % ตามลำดับ

คำสำคัญ : อัลฟา-แมงโกสติน, ไซคลิกโวลแทมเมตรี, แอมเพอโรเมตรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Electrochemical analysis of mangostin using screen-printed electrode
Student	Miss Korawan Phongkum Miss Nupattarane Thammasontaree Miss Supanee Kajornkrawinkul
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Industrial Chemistry-Analytical Instrumentation
Academic Year	2009
Advisor	Assoc.Prof.Dr.Suwan Chaiyasith

ABSTRACT

This special project focus on the investigation of alpha-mangostin from pericarp *Garcinia mangostana* by cyclic voltammetry and amperometry with characterization by high-performance liquid chromatography.

The optimum condition for study alpha-mangostin by cyclic voltammetry was found that the screen -printed electrode showed a well defined oxidation current +1.207 V Vs Ag/AgCl at a wide pH range 5-8, the optimum scan rate was showed in the range 10-100 mV/s, the concentration was established in the range 25-125 ppm. alpha-mangostin were investigated by cyclic voltammetry in 0.01 M phosphate buffer in methanol 30% (v/v) at pH 7.00 was an efficient condition. Respond time by amperometry method was found to be 20 second and linearity from cyclic voltammetry was established in the range 25-125 ppm given $R^2 = 0.9642$ the detection limit was 4.799 ppm with the repeatability and recovery was 1.047% and 83.17 %, respectively

Keywords : alpha-mangostin ,cyclic voltammetry ,amperometry .

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้ข้อมูล คำแนะนำ คำปรึกษารวมทั้งวิธีแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจาก รศ.ดร. สุวรรณ ไชยสิทธิ์และผศ.ดร.เพชญ์ชัย ไชยสิทธิ์ อาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ ไพศาลและดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้ให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาและตรวจสอบข้อมูลในโครงการพิเศษเล่มนี้ให้เป็นไปอย่างถูกต้อง

ขอขอบคุณ ครอบครัวฟองคำ ครอบครัวธัมมสุนทรีย์และครอบครัวขจรกวินกุล ที่คอยให้คำแนะนำและกำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการศึกษาศาสตร์และเพื่อนๆที่คอยช่วยเหลือในทุกเรื่อง

สำหรับประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากโครงการพิเศษเล่มนี้ ขอมอบให้แก่ครอบครัวฟองคำ ครอบครัวธัมมสุนทรีย์และครอบครัวขจรกวินกุล ตลอดจนคุณครู อาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้

นางสาวกรวรรณ ฟองคำ
นางสาวณัฐกรณีย์ ธัมมสุนทรีย์
นางสาวสุพรรณิ ขจรกวินกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
คำย่อและสัญลักษณ์.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 มังคุด.....	5
2.2 อนุโมลีสระ.....	8
2.3 เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า.....	11
2.4 โวลแทมเมทรี.....	12
2.5 การวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี.....	29
2.6 หลักการวิเคราะห์ HPLC.....	30
2.7 สกรีน-พรีนต์ (Screen-printed electrode).....	33
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	39
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	40
3.2 การสกัดเซนโทนจากเปลือกมังคุด.....	41
3.3 การสร้างสกรีน-พรีนต์ที่ใช้ในการศึกษาเคมีไฟฟ้า.....	41
3.4 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์.....	42
3.5 การดำเนินงานวิจัย.....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	49
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก.....	66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในเนื้อมั่งคุด.....	6
2.2 แสดงการเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าจุลภาคชนิดต่างๆ	19
3.1 แสดงสภาวะที่ใช้ในการศึกษา pH ที่เหมาะสม	45
3.2 แสดงสภาวะที่ใช้ในการศึกษา scan rate ที่เหมาะสม	46
3.3 แสดงสภาวะที่ใช้ในการศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง	46
4.1 แสดงค่า Retention time ของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินและ สารละลายตัวอย่าง	49
4.2 แสดงความสัมพันธ์ของสมการความเป็นเส้นตรง	50
4.3 แสดงผลความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นที่แท้จริงของสารตัวอย่าง	50
4.4 แสดงผลการคำนวณของแผนการทดลองสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCB).....	51
4.5 แสดงผลการคำนวณค่าการวิเคราะห์การคืนกลับ (%Recovery).....	53
4.6 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ background current.....	58
4.7 แสดงค่า%recovery ของการวิเคราะห์อัลฟา-แมงโกสติน	60
4.8 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์อัลฟา-แมงโกสตินด้วยเทคนิค HPLC และ โวลแทมเมตรี.....	61
ก.1 นำหนักเปลือกมั่งคุดจกใช้ในการสกัด.....	66
ก.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินที่ความเข้มข้นต่างๆ	67
ข.1 สภาวะที่ใช้ในการสกัดสารแอลฟา-แมงโกสตินจากเปลือกมั่งคุด	68
ค.2 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.005, 0.01, 0.02 และ 0.04 M ปริมาตร 25 mL.....	69
จ.1 แสดงพื้นที่ใต้พีคของสารตัวอย่างในตัวอย่างละลายและเวลาที่ใช้ใน การ sonicate ที่แตกต่างกัน	74
ช.1 ค่า RCB ของตัวทำละลายชนิดต่างๆ.....	77
ช.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอนฟ(ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%).....	79
ช.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอนฟ(ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%	81
ฎ.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา pH ที่เหมาะสม ของสารละลายอัลฟา-แมงโกสติน 100 ppm ในเมทานอล 30 % (v/v) โดยใช้ scan rate 50 mV/s ที่ pH 5.00 – 8.00 ที่ขั้วไฟฟ้า สกรีน-พรีนที่	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ฎ.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา scan rate ที่เหมาะสมของสารละลายอัลฟา-แมงโกสทิน ความเข้มข้น 100 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ใน เมทานอล 30 % (v/v) pH 7.00 และ scan rate ต่างๆ ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่	88
ฐ.1 ข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายอัลฟา-แมงโกสทิน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) และ 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่	90
ฅ.1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ background current ที่ได้จากการวัดโดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ใน เมทานอล 30 % (v/v) ที่ pH 7.00	92
ณ.1 การศึกษาความเที่ยงของการวิเคราะห์	94
ด.1 ข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแอมเพอโรแกรมของปริมาตรตัวอย่าง 25 μ L ที่มีการเติม สารละลายสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 100-200 ppm ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 1.207 V	96
ต.1 ตารางแสดงการตรวจวัดปริมาณอัลฟา-แมงโกสทินในเปลือกมังคุดโดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรี โดยการเติมสารละลายมาตรฐานในตัวอย่าง (standard addition method) ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐาน อัลฟา-แมงโกสทิน ความเข้มข้น 100-200 ppm ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 1.207 V	97
ถ.1 ตารางแสดงค่า % Recovery ที่เป็นที่ยอมรับตามข้อกำหนด AOAC	98

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงสูตร โครงสร้างของแซนโทน.....	6
2.2 แสดงลักษณะสัญญาณกระตุ้น โวลแทมเมตรี.....	14
2.3 แสดงการจัดเซลล์ใน โวลแทมเมตรี.....	15
2.4 แสดงขั้วไฟฟ้าจุลภาคแบบต่างๆ.....	16
2.5 แสดงช่วงศักย์ของขั้วไฟฟ้าจุลภาคในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกลือหนุชนิดต่างๆ.....	18
2.6 แสดงการให้ศักย์ไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับเวลาของไซคลิกโวลแทมโมแกรม.....	20
2.7 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรม.....	21
2.8 แสดงการแปรผลข้อมูลของไซคลิกโวลแทมโมแกรม.....	21
2.9 แสดงการเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้าของ Species.....	22
2.10 แสดงลักษณะของไซคลิกโวลแทมโมแกรมสำหรับปฏิกิริยาเคมีของ Nernst.....	22
2.11 แสดงรูปแบบการให้ศักย์ไฟฟ้าของ linear sweep voltammetry.....	24
2.12 แสดง linear sweep voltammogram ที่ scan rate ต่าง ๆ ของสารละลาย Fe^{3+}	25
2.13 แสดงแอมเพอโรแกรม.....	26
2.14 แสดงโวลแทมโมแกรมจากสัญญาณกระตุ้นแบบต่างๆ.....	28
2.15 แสดงโวลแทมโมแกรมของสารผสม 2 ชนิด เมื่อ ($E_{1/2}$) ต่างกัน.....	28
2.16 เครื่อง UV-Vis spectrophotometer แบบถ้ำแสงเดี่ยว.....	30
2.17 เครื่อง UV-Vis spectrophotometer แบบถ้ำแสงคู่.....	30
2.18 แสดงสกรีน-พริ้นท์.....	34
3.1 แสดงสกรีนพริ้นท์ที่เตรียมได้.....	42
4.1 แสดงโครมาโทแกรมของสารละลายตัวอย่างโดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	52
4.2 แสดงโครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน.....	52
4.3 แสดงโครมาโทแกรมของ Spiked Sample.....	52
4.4 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ 0.01 M และเมทานอล 30% (v/v) pH 7.00 โดยใช้ scan rate 50 mV/s.....	54

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 กราฟแสดงค่า pH และ ค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณ ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายอัลฟา-แมงโกสทิน ความเข้มข้น 100 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH ต่างๆ โดยใช้ scan rate 50 mV/s	55
4.6 แสดงการพลอตค่า scan rate (10-100 mV/s) กับค่าปริมาณกระแสไฟฟ้า ที่ได้จากสัญญาณไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่ และสารละลายอัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 100 ppm ในฟอสเฟต บัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) pH 7.00.....	56
4.7 พล็อตค่า scan rate ^{1/2} (10-100(mV/s) ^{1/2}) กับค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้ จากสัญญาณไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่ ในสารละลาย อัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 100 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M และเมทานอล 30 % (v/v) pH 7.00.....	56
4.8 กราฟแสดงค่าความเข้มข้น (25 –125 ppm) กับค่ากระแสไฟฟ้า (µA) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M และเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00 โดยใช้ scan rate 50 mV/s.....	57
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นกับกระแสไฟฟ้า.....	59
ง.1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้เอทานอลเป็น ตัวทำละลาย	70
ง.2 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	70
ง.3 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้เมทานอลเป็น ตัวทำละลาย	71
ง.4 โครมาโทแกรมของสารละลายตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้เมทานอลเป็น ตัวทำละลาย	71
ง.5 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้อะซิโตนเป็น ตัวทำละลาย	72
ง.6 โครมาโทแกรมของสารละลายตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้อะซิโตนเป็น ตัวทำละลาย	72

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.7 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้อะซิโตนไนไตรล์เป็นตัวทำละลาย.....	73
ง.8 โครมาโทแกรมของสารละลายตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้อะซิโตนไนไตรล์เป็นตัวทำละลาย.....	73
ฉ.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	75
ฉ.2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย.....	75
ฉ.3 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย.....	76
ฉ.4 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของ สารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้อะซิโตนไนไตรล์เป็นตัวทำละลาย.....	76
ญ.1 ไชคลิกโวลเทมโมแกรมและข้อมูลที่ได้จากการศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลาย อัลฟา-แมงโกสทิน 75 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) โดยใช้ scan rate 50 mV/s ที่ pH 5.00 – 8.00 ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่.....	84
ฎ.1 ไชคลิกโวลเทมโมแกรมและข้อมูลที่ได้จากการศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลาย อัลฟา-แมงโกสทิน 75 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) โดยใช้ scan rate 50 mV/s ที่ pH 5.00 – 8.00 ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่.....	85
ฎ.1 ไชคลิกโวลเทมโมแกรม และข้อมูลที่ได้จากการศึกษา scan rate ที่เหมาะสมของ สารละลายอัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 75 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) pH 7.00 และ scan rate ต่างๆ ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่.....	87
ฐ.1 ไชคลิกโวลเทมโมแกรม และข้อมูลของไชคลิกโวลเทมโมแกรมของ อัลฟา-แมงโกสทินที่ ความเข้มข้นต่างๆ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) ที่ใช้ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่.....	89
ฑ.1 ไชคลิกโวลเทมโมแกรมที่ได้จากสารตัวอย่างที่มีอัลฟา-แมงโกสทิน ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M pH ที่ 7.00 scan rate 50 mV/s.....	91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่

หน้า

- ค.1 สัญญาณและข้อมูลที่ได้จากศึกษาด้วย เทคนิคแอมเพอโรเมทรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้า
สกรีน-พรีนที่ปริมาตรตัวอย่าง 25 μL ที่มีการดิมสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน
เข้มข้น 100-200 ppm ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 1.207 V..... 95



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XI ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

ppm	=	Part per million
α	=	Alpha
β	=	Beta
mg	=	Milligrams
HPLC	=	High performance liquid chromatography
R^2	=	Relative coefficient
nm	=	Nanometre
g	=	Grams
mV/s	=	Millivolt per second
μ l	=	Microlitre
I	=	Current
CV	=	Cyclic voltammetry
M	=	Molar
RCB	=	Randomized complete block design
v/v	=	Volume by volume
w/w	=	Weight by weight
SD	=	Standard deviation
RSD	=	Relative standard deviation
DL	=	Detection limit



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ [1]

แซนโทนเป็นสารประกอบตามธรรมชาติที่สามารถพบได้ในผักและผลไม้โดยในธรรมชาติมีแซนโทนมากกว่า 200 ชนิด และวิทยาศาสตร์การแพทย์ในปัจจุบันก็ให้ความสนใจในการค้นคว้าและวิจัยถึงคุณประโยชน์อันน่ามหัศจรรย์ของสารประกอบจากธรรมชาติชนิดนี้อย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันมีการค้นพบอนุพันธ์ของแซนโทนในผลมังคุดมากกว่า 40 ชนิดซึ่งถือได้ว่ามังคุดเป็นผลไม้ชนิดเดียวที่มีสารแซนโทนในธรรมชาติอยู่ในผลมากที่สุดเท่าที่เคยมีการค้นพบมาโดยเฉพาะในบริเวณเปลือกของผลมังคุดจะมีแซนโทนตามธรรมชาติอยู่มากที่สุดและจากความจริงที่ว่าแซนโทนตามธรรมชาติจะเกิดขึ้นได้น้อยมาก การที่ผลมังคุดมีปริมาณแซนโทนอยู่อย่างมากมายจึงเป็นคุณลักษณะที่โดดเด่นและพิเศษของผลไม้ชนิดนี้ ในวันที่ใช้หวัด 2009 กำลังระบาดได้มีการค้นพบสารแซนโทนในมังคุดป้องกันไข้หวัด 2009 ได้ผลงานจากสถาบันวิจัยแห่งชาติ หลายปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิจัยของนักวิทยาศาสตร์และนักชีววิทยาหลายสถาบัน ได้ศึกษาค้นคว้าผลไม้มันและสิ่งต่างรอบตัวและได้ค้นพบสารแซนโทนที่มีอยู่มากในมังคุดซึ่งเป็นเคมีเชิงซ้อนที่มีการรับอนและออกซิเจนเป็นองค์ประกอบแซนโทนมีลักษณะคล้ายวิตามินช่วยรับสมดุลการทำงานของเซลล์ในร่างกายมนุษย์ให้ทำงานปกติและเหมาะสมมังคุดส่วนมากมีวิตามินซีป้องกันหวัดได้ เปลือกมันที่มีรสฝาดๆหากนำมาต้มน้ำกิน ก็จะลดอาการท้องเดินทำลายแบคทีเรียในลำไส้ซึ่งอาการท้องเดินนี้ก็เป็นหนึ่งในอาการของไข้หวัด 2009 สารประกอบในกลุ่ม Xanthones ตามธรรมชาติ มีโมเลกุลที่มีโครงสร้างทางเคมีที่มีลักษณะเด่น โดยส่วนใหญ่จะเป็นสารพวก tricyclic aromatic ring จากโครงสร้างดังกล่าวทำให้สารในกลุ่ม Xanthones มีความเสถียรและมีประโยชน์อย่างมากมายโดยวงแหวนจะสามารถเกิดการแทนที่ได้ในหมู่สารประกอบพวก phenolic, isoprene และ methoxy group ซึ่งจะให้โมเลกุลของสารที่ใหญ่ขึ้นและเกิดปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย คุณค่าอันน่ามหัศจรรย์ของสารแซนโทนในมังคุดมีมากมายโดยมีงานวิจัย[2] ยืนยันว่าแซนโทนมีคุณสมบัติในการลดขนาดของเนื้องอกที่เกิดในมนุษย์ ด้านการเกิดโรคมะเร็งในเม็ดเลือดขาว(ลูคีเมีย) ด้านการเจริญเติบโตของเชื้อโรค โดยเฉพาะเชื้อแบคทีเรียและเชื้อไวรัสที่อยู่นอกเซลล์รวมทั้งความสามารถในการต้านสารอนุมูลอิสระได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดชนิดหนึ่งและยังมีผลการวิจัยที่ยืนยันว่าแซนโทนสามารถทำลายเซลล์มะเร็งบางชนิดได้สารกลุ่ม Xanthones [3-5] มีรายงานว่ามีความสามารถยับยั้งการหลั่งสาร prostaglandin E₂[6] และต้านเชื้อ HIV-1 protease และสารบางตัวใน

กลุ่มยังสามารถแสดงสมบัติจุลินทรีย์และสมบัติทางยาเช่น cytotoxic, ยาต้านการอักเสบ, ยาต้านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อจุลินทรีย์, ยาต้านเชื้อราแล้วยังแสดงสมบัติการต้าน xanthine oxidase และ monoamine oxidase [7,8] Xanthones เป็นสารที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมบวกและแกรมลบและยังสามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเชื้อไวรัสที่อยู่นอกเซลล์ ซึ่งเป็นเชื้อไวรัสที่แม้แต่กลุ่มยาปฏิชีวนะก็ไม่สามารถจะออกฤทธิ์ไปครอบคลุมได้ และให้ผลในการลดอาการไข้หวัด ลดอาการปวดข้อที่พบมากในกลุ่มผู้สูงอายุโดยแซนโทนสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Cox-1 และ Cox-2 ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการอักเสบวมขึ้นในร่างกายแซนโทนยังช่วยเพิ่มความยืดหยุ่น และลดอาการปวดข้อต่อในร่างกาย ลดอาการภูมิแพ้มีผลการวิจัยที่ชี้ชัดว่า แซนโทนส่งผลให้ Mast Cell มีการผลิตสารฮีสตามีนที่เป็นสาเหตุของอาการแพ้ได้น้อยลงส่งผลให้ระบบทางเดินหายใจมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นการค้นพบแซนโทนตามธรรมชาติในผลมังคุดจึงเป็นความหวังของวิทยาศาสตร์การแพทย์สมัยใหม่ที่จะนำคุณประโยชน์ของแซนโทนไปใช้ในการบำบัดรักษาโรค รวมไปถึงการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ต่อไปในอนาคต ในปัจจุบันมีงานวิจัยจากทั่วโลกมากมายที่ยืนยันถึงคุณประโยชน์ที่ดีของแซนโทนที่มีต่อระบบการทำงานในร่างกายมนุษย์ [9] ตัวอย่างเช่น เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดชนิดหนึ่งเท่าที่เคยค้นพบกันมากจากงานวิจัยทั่วโลก ซึ่งพบว่าแซนโทนในผลมังคุดสามารถป้องกันสารอนุมูลอิสระในร่างกายมนุษย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพเหนือกว่าในน้ำผักและผลไม้อื่นๆ ได้ถึง 20-30 เท่า

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้คือการศึกษาสภาพที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มแซนโทนชื่ออัลฟา-แมงโกสทินจากเปลือกของมังคุดเพื่อศึกษาถึงผลของสภาวะการสกัดที่ต่างกันโดยใช้ตัวทำละลายและใช้เวลาในการ sonicate ที่แตกต่างกันแล้วตรวจวัดโดยใช้เทคนิค HPLC เปรียบเทียบกับเทคนิค cyclic voltammetry และทำการตรวจวัดอัลฟา-แมงโกสทินที่สกัดได้จากตัวอย่างเปลือกมังคุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาสภาวะในการสกัดสารอัลฟา-แมงโกสทินจากเปลือกมังคุดและตรวจวัดด้วยเทคนิค HPLC
2. ศึกษาการนำขั้วสกรีน-พรีนท์มาใช้ทางเคมีไฟฟ้าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์อัลฟา-แมงโกสทิน
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวิเคราะห์อัลฟา-แมงโกสทินด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.หาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารอัลฟา-แมงโกสทินในเปลือกมังคุดโดยมีการปรับเปลี่ยนตัวทำละลายและระยะเวลาในการ Sonicate โดยใช้เทคนิค HPLC
- 2.ศึกษาการเตรียมขั้วสกรีน-พรีนท์เพื่อใช้ตรวจวัดสารอัลฟา-แมงโกสทิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ใช้ในเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีและเทคนิคแอมเพอโรเมตรีเพื่อใช้ในการตรวจวัดสารอัลฟา-แมงโกสติน
4. ทำ Method Validation เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกมังคุดได้เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ได้ในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือกมังคุดได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด
2. สามารถใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าในการตรวจวัดสารมาตรฐานแอลฟา-แมงโกสติน ที่มีความบริสุทธิ์ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว
3. สามารถใช้ข้าวสกรีน-พรีนที่วิเคราะห์สาร ที่มีราคาถูก เตรียมง่าย และใช้วัสดุภายในประเทศ
4. สามารถวิเคราะห์หาอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าและHPLC โดยใช้ปริมาณที่น้อยและรวดเร็ว
5. เป็นข้อมูลอ้างอิงของการนำข้าวไฟฟ้าสกรีน-พรีน มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มแซนโทนต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โครงการพิเศษเรื่องการประยุกต์ใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าสำหรับตรวจวัดสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มแซนโทนคือ อัลฟา-เมงโกสตินที่สภาวะต่างๆจากเปลือกมังคุด ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎี เอกสาร วารสาร รายงาน และบทความในประเทศและต่างประเทศ เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย ดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1 มังคุด

2.1.1 สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในมังคุด

2.2 อนุมูลอิสระ

2.3 เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า

2.3.1 วิธีโพเทนชิโอเมตริก (Potentiometric method)

2.3.2 วิธีอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic method)

2.3.3 วิธีวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductometric method)

2.3.4 วิธีโวลแทมเมตริก (Voltammetric method)

2.3.5 วิธีแอมเพอโรเมตริก (Amperometric method)

2.4 โวลแทมเมตรี

2.4.1 ความที่นำมาของกลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมตรี

2.4.2 เทคนิควิธีวิเคราะห์ในกลุ่มโวลแทมเมตรี

2.4.3 อุปกรณ์และเครื่องมือการทำโวลแทมเมตรี

2.4.4 เซลล์โวลแทมเมตรี

2.4.5 อิเล็กโทรไลต์ที่ใช้น

2.4.6 ไชคลิกโวลแทมเมตรี

2.4.7 Linear sweep voltammetry

2.4.8 แอมเพอโรเมตรี

2.4.9 โวลแทมโมแกรม (Voltammogram)

2.5 การวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี

2.6 หลักการวิเคราะห์ HPLC

2.6.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง HPLC

2.6.2 การเลือกใช้และการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ทาง HPLC

2.6.3 การพัฒนาวิธีการแยกที่เฉพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.4 การประยุกต์ใช้งานทั่วไป

2.6.5 ข้อจำกัดของเทคนิค

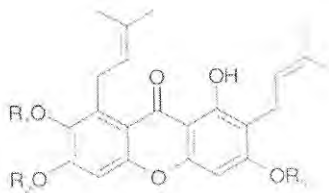
2.7 สกรีน-พริ้นท์ (Screen-printed electrode)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มังคุด [1]

ประเทศไทยนับว่าเป็นประเทศที่มีความหลากหลายทางชีวภาพแห่งหนึ่งของโลกนอกจากพื้นที่ที่อุดมไปด้วยทรัพยากรทางธรรมชาติ และสถานที่ท่องเที่ยวมากมายแล้วยังมีผักและผลไม้ที่มีชื่อเสียงไปทั่วโลกอีกด้วย ไม่ว่าจะเป็น ทุเรียน เงาะ มังคุด ฯลฯ ในบรรดาผลไม้ทั้งหมด “มังคุด” ได้รับการยกย่องให้เป็น “ราชินีแห่งผลไม้” (Queen of fruits) ด้วยลักษณะเฉพาะของผลมังคุดที่มีกลิ่นเฝื่อนอยู่ที่หัวขั้วของผลคล้ายมงกุฎของราชินี เนื้อด้านในมีสีขาวนวลรสชาติหวานอมเปรี้ยวอร่อยอย่างยากที่จะมีผลไม้ชนิดใดในโลกเทียบเคียงได้มังคุด (Mangosteen) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Garcinia mangostana* Linn. จัดอยู่ในวงศ์ *Guttiferace* มังคุดเจริญเติบโตได้ในดินเกือบทุกชนิด แต่ดินที่เหมาะสมควรเป็นดินเหนียวปนทรายที่มีความอุดมสมบูรณ์สูงสามารถอุ้มน้ำและระบายน้ำได้ดีพื้นที่ที่เหมาะสมต่อการปลูกมังคุดควรมีสภาพภูมิอากาศร้อนและชุ่มชื้น คือมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียสและมีฝนตกทุกสัปดาห์เสมอ เนื้อด้านในของมังคุด (pulp) ประกอบด้วยสารอาหาร วิตามินและเกลือแร่อื่นๆ อีกหลายชนิด เช่น น้ำตาลกรดอินทรีย์ แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็กนอกจากนั้นกากใยจากเนื้อของมังคุดยังช่วยในการขับถ่ายได้ดีอีกด้วย นอกจากนี้สารอาหารที่อยู่ในเนื้อมังคุดแล้ว เปลือกมังคุด (pericarp) ยังมีสารสำคัญคือแทนนิน (tannin) และสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มแซนโทน (xanthones) ดังรูปที่ 2.1 มากกว่า 40 ชนิดอีกด้วย ในอดีตคนไทยรู้จักการใช้ประโยชน์จากเปลือกมังคุดในการรักษาโรคท้องเสียท้องร่วงเรื้อรัง ถ่ายเป็นมูกเลือด เนื่องจากเปลือกมังคุดมีฤทธิ์ฝาดสมาน (astringent) จากแทนนินวิธีใช้คือใช้เปลือกสดหรือเปลือกแห้งฝนกับน้ำรับประทานหรือจะใส่เปลือกแห้งคั่วกับน้ำรับประทานก็ได้ผลเช่นเดียวกันนอกจากนี้เปลือกมังคุดยังมีสรรพคุณในการรักษาโรคผิวหนัง เช่น กลาก เกลื้อนและผดผื่น ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากสารแซนโทนที่ชื่อแมงโกสติน (mangostin) มีฤทธิ์ช่วยลดการอักเสบ, ด้านเชื้อแบคทีเรียและยับยั้งเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคผิวหนัง ได้วิธีใช้คือนำเปลือกมังคุดแห้งคั่ว น้ำอาบหรือทาบริเวณผื่นคันหรือใช้เปลือกมังคุดฝนกับน้ำปูนใสทาบริเวณที่เป็นก็ได้ผลดีเช่นกันซึ่งการใช้ประโยชน์จากเปลือกมังคุดมาใช้เป็นยานับว่าเป็นภูมิปัญญาพื้นบ้านที่ชาญฉลาดอย่างยิ่ง ด้วยเทคโนโลยีที่เจริญก้าวหน้า ในปัจจุบันกระบวนการทางวิทยาศาสตร์สามารถทำการศึกษาถึงประโยชน์จากสารสำคัญที่มีอยู่ในเปลือกมังคุดคือ แทนนินและแซนโทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงสูตรโครงสร้างของแซนโทน

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในเนื้อมังคุด [2]

ฟรุกโทส	24	เปอร์เซ็นต์	วิตามินซี	7.2	เปอร์เซ็นต์
ซูโครส	10	เปอร์เซ็นต์	วิตามินอี	0.6	เปอร์เซ็นต์
กลูโคส	2.2	เปอร์เซ็นต์	ฟอสฟอรัส	9.21	เปอร์เซ็นต์
มอลโทส	0.14	เปอร์เซ็นต์	คอปเปอร์	0.06	เปอร์เซ็นต์
แล็กโทส	<0.1	เปอร์เซ็นต์	เหล็ก	0.17	เปอร์เซ็นต์
ความเป็นกรด (pH)	3.52	เปอร์เซ็นต์	แมกนีเซียม	0.1	เปอร์เซ็นต์
ความชื้น	80.69	เปอร์เซ็นต์	สังกะสี	0.12	เปอร์เซ็นต์
โปรตีน	0.5	เปอร์เซ็นต์	วิตามินเอ (B-carotene)	35	เปอร์เซ็นต์
ของแข็งที่ ละลายน้ำ	18.8	เปอร์เซ็นต์	วิตามินบี1 (Thiamin)	0.08	เปอร์เซ็นต์
สารเชื้อย	1.35	เปอร์เซ็นต์	วิตามิน บี2 (ไรโบฟลาวิน)	0.054	เปอร์เซ็นต์

ลักษณะ/พันธุ์ [3]

มังคุดที่ปลูกในประเทศไทยมีพันธุ์เดียวเรียกกันว่าเป็นพันธุ์พื้นเมือง เนื่องจากการเพาะเมล็ดและเมล็ดมังคุดไม่ได้เกิดจากการผสมเกสรจึงแทบจะไม่มีโอกาสกลายพันธุ์เลย เนื่องจากเกสรตัวผู้ของดอกมังคุดเป็นหมันเมล็ดจึงเจริญจากเนื้อเยื่อของต้นแม่โดยไม่ได้รับการผสมเกสร ดังนั้นจึงเชื่อกันว่ามังคุดมีพันธุ์เดียวแม้จะพบว่ามังคุดสายพันธุ์จากเมืองนนท์มีผลเล็กและเปลือกบาง มังคุดภาคใต้เปลือกหนาแต่ยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบให้เห็นชัดเจนพอที่จะแยกเป็นพันธุ์ได้

คุณค่าทางโภชนาการของมังคุด

เนื้อมังคุด มีคุณค่าทางอาหารสูง [10] โดยเฉพาะโพแทสเซียม โปรตีน สารเยื่อใย วิตามินซี ฟอสฟอรัส แคลเซียม และแมกนีเซียม จากการตรวจวิเคราะห์ พบว่าในน้ำมังคุด 100 mL ประกอบด้วยโพแทสเซียมสูงถึง 87.14 mg แคลเซียม 34.53 mg และแมกนีเซียม 111.22 mg

นอกจากนี้ในเนื้อมังคุดยังประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำไปใช้ประโยชน์

ปัจจุบันวงการเครื่องสำอางและผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดได้ให้ความสนใจนำสารสกัดจากเปลือกมังคุดไปใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น สบู่เปลือกมังคุด ที่ช่วยดับกลิ่นเต่า ช่วยบรรเทาโรคผิวหนัง รักษาสิวฝ้า ซึ่งใช้ได้ผลดีและเป็นที่ยอมรับของผูบริโภค เมื่อได้ลิ้มรสของเนื้อในของมังคุดอย่างอิมเมมแล้วก็อย่าได้ทิ้งขั้วเปลือกมังคุดให้เป็นขยะเน่าเหม็น โดยเปล่าประโยชน์เลย เปลือกมังคุดยังมีสรรพคุณในการสมานแผล ช่วยให้แผลหายเร็ว เช่น ใช้รักษาบาดแผลพุพอง แผลเน่าเปื่อย แผลเป็นหนอง โดยการใส่เปลือกมังคุดฝนกับน้ำปูนใสทาบริเวณแผล น้ำดื่มเปลือกมังคุดแห้งต้มน้ำล้างแผลใช้แทนการด้วยน้ำยาล้างแผลหรือด่างทับทิม ได้ด้วยเพราะเปลือกมังคุดนี้มีสารแทนนิน (Tannin) และสารแซนโทน (Xanthone) ที่มีชื่อเรียกเฉพาะชื่อเดียวกับมังคุดว่าสารแมงโกสติน (mangostin) สารแทนนินมีฤทธิ์สมานแผลช่วยให้แผลหายเร็วขึ้น สารแมงโกสตินมีฤทธิ์ช่วยลดอาการอักเสบ และต้านเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดหนองสารแซนโทนในเปลือกมังคุดยังมีฤทธิ์ในการยับยั้งเชื้อราที่เป็นสาเหตุของโรคผิวหนังและกลากได้อีกด้วย

2.1.1 สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในมังคุด

สารแซนโทนมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) จึงมีการศึกษามากมายที่ชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ของสารแซนโทนที่มีในเปลือกมังคุดจากกรณีศึกษาของนักวิทยาศาสตร์พบว่าสารแซนโทนที่มีอยู่ในผลมังคุดนั้นมีมากกว่า 40 ชนิดด้วยกัน เช่น mangostins, gartanin, garcinone E, 1,5-dihydroxy-2-(3-methylbut-2-enyl)-3-methoxyxanthone and 1,7-dihydroxy-2-(3-methylbut-2-enyl)-3-methoxyxanthone) ถูกพบจากส่วนเปลือกของมังคุดและยังมีสารแซนโทนอื่นๆที่พบที่กลีบเลี้ยงของมังคุดอีกด้วย เช่น mangostanol, alpha-mangostin, gamma-mangostin, gartanin, 8-deoxygartanin, 5,9-dihydroxy-2, 2-dimethyl-8-methoxy-7-(3-methylbut-2-enyl)-2H, mangostenol, mangostenone A and mangostenone B เป็นต้น

2.2 อนุมูลอิสระ [4]

อนุมูลอิสระ (Free Radical) คือ โมเลกุลที่มีธาตุที่ไม่มั่นคงเนื่องจากขาดอิเล็กตรอนไป 1 ตัว ปกติแร่ธาตุทั้งหลายในร่างกายของเราจะมีอิเล็กตรอนอยู่จรรอบเป็นจำนวนคู่ซึ่งทำให้โมเลกุลนั้นคงตัวในกรณีที่มีการสูญเสียอิเล็กตรอนหรือรับอิเล็กตรอนมาอีกเพียง 1 ตัวจะทำให้โมเลกุลนั้นไม่มั่นคงกลายเป็นตัวอันตรายและตัวเจ้าปัญหาคือพอเจอใครเขาดีก็แย่งอิเล็กตรอนมาแทน 1 ตัวผู้ถูกแย่งก็กลายเป็นตัวเจ้าปัญหาแทนเพราะตัวมันไม่เสถียรต้องไปแย่งจากโมเลกุลอื่นมาเป็นทอดๆ ยกเว้นแต่ตัวที่ไม่เสถียร 2 ตัวมาเจอกันก็จะรวมกันกลายเป็นมันคงได้ ตัวอย่างของอนุมูลอิสระ ได้แก่

- OH[•] (Hydroxyl radical) อนุมูลไฮดรอกซิล

เอกสารนี้เป็น ROO[•] (Peroxyl radical) อนุมูลเปอร์ออกไซด์
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- H₂O₂ (Hydrogen Peroxide) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ดังนั้นอนุมูลอิสระจึงเป็นสารพิษต่อเซลล์ร่างกายถ้ามีมากในเซลล์ก็เป็นอันตรายได้โดยจะทำลายดีเอ็นเอ เยื่อหุ้มเซลล์ และอื่นๆแต่เซลล์ร่างกายพวกเม็ดเลือดขาวก็ใช้สารพวกนี้กำจัดแบคทีเรียดังนั้นสิ่งที่ร่างกายสร้างขึ้นเพื่อป้องกันตัวเองคือระบบต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) เป็นโมเลกุลหรืออะตอมที่มีอิเล็กตรอนเดี่ยวอย่างน้อย 1 ตัวโคจรรอบวงนอกสุดของอนุมูลอิสระจะเกิดเมื่อพันธะระหว่างอะตอมแตกออกและมีอิเล็กตรอนเดี่ยวคงเหลืออยู่ อิเล็กตรอนเดี่ยวนี้ทำให้อนุมูลอิสระมีความเสถียรต่ำ่วงไวต่อการเกิดปฏิกิริยาสูงจึงทำปฏิกิริยากับโมเลกุลที่อยู่รอบๆ โดยดึงอิเล็กตรอนให้โมเลกุลข้างเคียงเพื่อให้ตัวมันเสถียร โมเลกุลข้างเคียงที่สูญเสียหรือรับอิเล็กตรอนจะกลายเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่ไม่เสถียรและเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลอื่นต่อไปเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) อนุมูลอิสระจะสามารถเกิดขึ้นได้ในร่างกายจากการขนถ่ายอิเล็กตรอนในกระบวนการเผาผลาญอาหารทำให้เกิดพลังงานโดยใช้ออกซิเจนในไมโทคอนเดรีย อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะถูกจับโดยออกซิเจนเกิดเป็นอนุมูลของออกซิเจนที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเรียกว่า reactive oxygen species (ROS) เช่น อนุมูลอิสระของ hydroxyl, superoxide และ peroxy อนุมูลอิสระชนิดอื่นที่เกิดขึ้นในร่างกาย เช่น reactive nitrogen species ตัวอย่างเช่น nitric oxide, nitrogen dioxide และอนุมูลอิสระ glutathyl และ methyl นอกจากการเผาผลาญอาหารที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระแล้วแหล่งอื่นในร่างกายที่ทำให้เกิดอนุมูลอิสระได้แก่ ปฏิกิริยาเอนไซม์ เช่น xanthine oxidase, prostaglandin synthase, lipoxygenase, aldehyde oxidase ปฏิกิริยาเปอร์ออกไซด์ของกรดไขมัน (lipid peroxidation) โดยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสภาวะทางอารมณ์เช่น ความเครียดและสภาพของร่างกายเช่นการมีไข้ การติดเชื้อ เป็นต้น เป็นแหล่งอนุมูลอิสระจากภายนอกร่างกายได้แก่ รังสีไอโซน ควันทูหรือ อนุภาคอินทรีย์ตัวทำลายอินทรีย์และสภาวะต่างๆ ขณะเดียวกันนอกจากอนุมูลอิสระจะเกิดขึ้นกับร่างกาย

2.2.1 การเกิดอนุมูลอิสระ [5]

อนุมูลอิสระจะถูกสร้างขึ้นมาทั้งจากกระบวนการเมตาบอลิซึม (metabolism) ในร่างกายเอง และในภาวะที่ผิดปกติโดยในภาวะที่ผิดปกติจะส่งผลให้เกิดการสะสมของอนุมูลอิสระที่เพิ่มมากขึ้นดังนั้นจำเป็นที่ร่างกายต้องหาทางป้องกันจากการโดนทำลายของอนุมูลอิสระเหล่านั้นสิ่งที่ร่างกายสร้างขึ้นเพื่อปกป้องตัวเองคือระบบต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant) ซึ่งประกอบไปด้วยสารหรือเอนไซม์ต่างๆ ที่ความเข้มข้นต่ำๆ ที่สามารถชะลอหรือป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันของสาร (Substrate) ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาโดยสารเหล่านี้รวมถึงสารเกือบทุกชนิดในร่างกายเช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต ดีเอ็นเอ แต่อย่างไรก็ตามก็มีบางสภาวะที่ปริมาณอนุมูลอิสระมีมากเกินไปที่ระบบต้านอนุมูลอิสระจะจัดการได้ จะเกิดสภาวะที่เรียกว่า (oxidative oxidation stress) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต และเป็นสาเหตุการทำลายเซลล์ซึ่งเป็นสาเหตุของการแก่ (aging)

และรุนแรงไปถึงการเป็นโรคร้ายไข้เจ็บต่างๆ เช่นเส้นเลือดตีบ โรคเกี่ยวกับระบบภูมิคุ้มกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(autoimmune disease) โรคที่เกิดกับการที่หลอดเลือดกลับไปเลี้ยงอวัยวะที่เคยมีการตีตันของเส้นเลือดในระยะสั้น ๆ มาก่อน รวมไปถึงการเป็นโรคมะเร็งด้วย นับเป็นกลไกการต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญกลไกหนึ่ง ซึ่งเป็นการทำงานที่อาศัยเอนไซม์หรือไม่ก็ได้ สารต้านอนุมูลอิสระเหล่านี้จะทำลายระบบอนุมูลอิสระและลดการเกิดปฏิกิริยา ณ จุดตั้งต้นหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาถูกโซ่

การหาขีดความสามารถในการเป็นตัวต้านอนุมูลอิสระของสารต้านอนุมูลอิสระส่วนใหญ่ทำโดยอาศัยหลักการคือขั้นแรกจะสร้างอนุมูลอิสระขึ้นมาก่อนแล้วจึงเติมสารต้านอนุมูลอิสระลงไป จากนั้นทำการตรวจวัดหาสารต้านอนุมูลอิสระที่เหลือหลังจากการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งหลักการนี้สามารถนำมาใช้ได้อย่างหลากหลาย ขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของตัวเกิดอนุมูลอิสระและชนิดของตัวตรวจวัดอนุมูลอิสระ

2.2.2 สารต้านออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี

2.2.2.1 บีเอชที (butylated hydroxyl toluene) [6]

เป็นสารประกอบที่เป็นผลึกสีขาวหรือเหลืองอ่อน มีกลิ่นฉุน ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ บีเอชทีเป็นวัสดุกันหืนในกลุ่มฟีนอลิกและกระทำตัวคล้ายคลึงกับบีเอชเอ (butylated hydroxyl anisole) อย่างมากในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) โดยบีเอชทีไม่เหมือนบีเอชเอตรงที่ไม่สามารถละลายได้ในโพรพิลีนไกลคอล (propylene glycol) บีเอชทีมีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชันแต่ในทางตรงกันข้ามจะมีประสิทธิภาพต่างๆ ในน้ำมันพืช บีเอชทีสามารถทนต่อความร้อนสูงในกระบวนการทำอาหารได้ ไม่ดีเท่าบีเอชเอ การเติมบีเอชทีไม่มีผลเสริมฤทธิ์กับแกลเลต (gallate) จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าใช้ร่วมกับบีเอชเอ

2.2.2.2 บีเอชเอ (butylated hydroxyl anisole) [7]

เป็นสารประกอบที่เป็นผลึกสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นฉุน ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในแอลกอฮอล์ และ propane-1,2-diol เป็นวัสดุกันหืนที่นิยมใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหาร ประสิทธิภาพของบีเอชเอจะเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณที่ใช้แต่จะสูงสุดที่ปริมาณความเข้มข้นร้อยละ 0.02 เท่านั้น แม้จะมีการใช้ปริมาณบีเอชเอที่สูงกว่าปริมาณที่กล่าวแต่ประสิทธิภาพก็ไม่เพิ่มขึ้นด้วย

2.2.2.3 โพรพิลแกลเลต [8]

เป็น propanol ester ของ 3, 4, 5-tri-hydroxybenzoic acid เป็นสารประกอบผลึกสีครีมขาว ไม่มีกลิ่น มีรสขมเล็กน้อย ละลายน้ำได้เล็กน้อย และละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ และ propane-1,2-diol โพรพิลแกลเลตเป็นวัสดุกันหืนสังเคราะห์ที่เตรียมโดยการเอสเทอร์ริฟิเคชันกรดแกลลิก ด้วยโพรพิลแอลกอฮอล์ แล้วกลั่นเพื่อขจัดแอลกอฮอล์ที่มากเกินไปออก โพรพิลแกลเลตที่มีจำหน่ายทางการค้ามักจะอยู่ในรูปผลึกสีขาวละลายน้ำได้เล็กน้อยมีประสิทธิภาพดีมากทั้งในไขมันและน้ำมันสัตว์และน้ำมันพืช สำหรับการใช้ในอาหารนั้นนิยมเป็นวัสดุกันหืนในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันต่ำ หรือไขมันพืชจากสัตว์เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เนื้อต่างๆ ผลิตภัณฑ์ปลา

ผลิตภัณฑ์ขนมอบกรอบ ผลิตภัณฑ์อาหารว่าง เนย นมผง และมาการีน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.4 ทีบีเอชควิว (tertiary butyl hydroquinone) [9]

ทีบีเอชควิว เป็นสารประกอบที่มีผลึกสีขาว มีกลิ่นเฉพาะตัวไม่ละลายในน้ำแต่ละลายในแอลกอฮอล์ ทีบีเอชควิวเป็นวัสดุกันหืนชนิดหนึ่งในกลุ่มฟีนอลิกที่มีการนำมาใช้อุตสาหกรรมอาหารเป็นวัตถุที่ตีที่สุด แม้ว่าสารต้านออกซิเดชันที่ได้จากการสังเคราะห์เหล่านี้จะมีประสิทธิภาพและราคาถูกแต่เมื่อใช้ไปแล้วอาจมีผลเสียเพราะอาจมีสารพิษเกิดขึ้น หากใช้ในปริมาณมากเกินไปอาจส่งผลกระทบต่อผู้บริโภคได้

2.2.3 สารต้านออกซิเดชันจากธรรมชาติ

2.2.3.1 สารต้านออกซิเดชันจากผักและผลไม้

ผักและผลไม้หลายชนิดมีสารต้านออกซิเดชันเป็นสารประกอบการบริโภคผักและผลไม้ในปริมาณมากได้รับสารต้านออกซิเดชันในปริมาณมากด้วย สารต้านออกซิเดชันที่พบส่วนใหญ่ในผักผลไม้เป็นสารฟลาโวน (flavone) แอนโทไซยานิน (anthocyanin) และสารที่เกี่ยวข้องจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าสารที่อยู่ในผักและผลไม้มีส่วนช่วยไม่ให้เกิดมะเร็งและโรคหัวใจ ได้มีการศึกษาคุณสมบัติการต้านออกซิเดชันในผักหลายชนิด ได้แก่ ผักที่มาจากรากและหัว เช่น แครอท มันฝรั่ง มันเทศ เรดบีท (red beet) ผักประเภท cruciferoces vegetable เช่น กะหล่ำปลี ถั่วงอก บร็อกโคลี เป็นต้น ส่วนที่เป็นใบเช่น ผักกาดหอม ผักโขม (spinach) เป็นต้น หัวหอม มันฝรั่ง และผักชนิดอื่นๆ

2.2.3.2 ไวตามินซี

ไวตามินซีเป็นวิตามินที่จำเป็นสำหรับร่างกายเพราะทำให้ร่างกายทำงานได้เป็นปกติและเป็นวิตามินที่ร่างกายไม่สามารถผลิตขึ้นเองได้ ไวตามินซีเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่ชนิดหนึ่งและยังช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายได้อย่างดีโดยจะทำงานร่วมกับเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดหนึ่ง เรียกว่าเซลล์เพชฌฆาต (natural killer cell) ทำหน้าที่ในการค้นหาและจัดการกำจัดเซลล์ผิดปกติ นอกจากนี้ไวตามินซียังช่วยลดปริมาณการเกิด ไนโตรซามีน (nitrosamine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งในระบบทางเดินอาหารอีกด้วย ไวตามินซีมีความสำคัญอีกประการหนึ่ง คือ เป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มสารชีวเคมีที่สร้างคอลลาเจน (collagen) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างกระดูกของมนุษย์ และเป็นส่วนประกอบสำคัญของผิวหนัง กล้ามเนื้อ และปอด ถ้าร่างกายได้รับไวตามินซีน้อย โครงสร้างของร่างกายในส่วนต่างๆ ก็จะอ่อนแอลง เซลล์ที่ผิดปกติจะสามารถฝังตัวหรือแพร่กระจายออกไปตามส่วนต่างๆ และก่อให้เกิดเนื้องอกหรือมะเร็งได้ในที่สุด ไวตามินซีจะสร้างเสริมคอลลาเจนมากขึ้นซึ่งคอลลาเจนเป็น โปรตีนชนิดหนึ่งที่สามารถยับยั้งการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็งได้

แหล่งอาหารที่พบไวตามินซีมาก ได้แก่ ผักใบเขียวทั่วไปและผลไม้รสเปรี้ยว ไวตามินซีมีข้อเสียมากคือ ไม่ทนต่อความร้อน อากาศ และละลายน้ำง่าย ทนกรดแต่ไม่ทนด่าง ผักและผลไม้ที่เก็บไว้นานจะทำให้ปริมาณไวตามินซีสูญเสียไปถึงร้อยละ 33 การหุงต้มก็เป็นการทำให้สูญเสียไว

ตามินซีไปถึงร้อยละ 50-80 การหันผักเป็นชิ้นเล็กๆก่อนนำไปล้างก็ทำให้สูญเสียไวตามินซีไปอีก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้สถาบันวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงมีข้อเสนอแนะว่าควรรับประทานผักสดและผลไม้สดเป็นดีที่สุด และการหุงต้มผักควรใช้น้ำให้น้อยที่สุดและใช้เวลาในการหุงต้มให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรือการใช้เตาไมโครเวฟเพื่อป้องกันการสูญเสียวิตามินซี

2.2.3.3 คอุมาริน(Coumarins)

สารคอุมารินเป็นเบนโซไพโรน (pyrone) ชนิดหนึ่งในกลุ่มของสารฟีนอลิกซึ่งพบมากในพืชและได้มีการทดสอบผลของคอุมารินกับไฮดรอกซิลต่างๆและการใช้อย่างอื่นแทนในการป้องกันการเกิด lipid peroxide และการใช้อินนูลิโอสระออกซิเจนบางชนิด ซึ่งในบรรดาคอุมารินที่ได้จากพืชพบว่าใช้ dihydroxy substitution ซึ่งๆ ได้แก่ fraxetin, esculetin และ dephnetin เป็นต้น ยับยั้ง Fe - ascorbate ที่มีประสิทธิภาพซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิด microsomal lipid peroxidation

2.2.3.4 Xanthones

มี pyrone เป็นส่วนประกอบซึ่งเป็นสารคล้ายฟลาโวนอยด์ และมีผลในทางชีววิทยาอย่างกว้างๆ และได้มีการคิดแยก hydroxyl xanthone ออกจากไม้ของ *Garcinia subelliptica* และได้ศึกษาคุณสมบัติในการต้านออกซิเดชันของสารนี้ นอกจากนี้สาร 1,2-dihydroxy-5,6-dimethoxyxanthone และ 1, 8-dihydroxy-6-dimethoxy xanthone มีประสิทธิภาพในการป้องกันการเกิด lipid peroxidation ในสมองของหนู (rat brain homogenate) และสาร 1, 2, 5-trihydroxy xanthone เป็นสารที่มีศักยภาพในการต้านอนุมูลอิสระ DPPH และออกซิเจนที่ได้จาก xanthine-xanthineoxidase system globuxanthone มีประสิทธิภาพในการจับกับออกซิเจน และป้องกันการเกิด lipid peroxidation

2.3 เคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นโดยมีการถ่ายเทอิเล็กตรอนจากสปีชีส์หนึ่งไปยังอีกสปีชีส์หนึ่ง ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยารีดอกซ์นั้นคือพื้นฐานของเคมีวิเคราะห์เชิงไฟฟ้า สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณได้โดยวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดอกซ์ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี (electrochemical cell) ค่าทางไฟฟ้าที่วัดได้นั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณสารที่ต้องการวิเคราะห์ ได้แก่ กระแส (current) ศักย์ไฟฟ้า (voltage) และความต้านทาน (resistance) เมื่อมีวิธีการสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่สามารถวัดค่าทางไฟฟ้าต่าง ๆ นี้ได้ ก็สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้ มีวิธีการสร้างเซลล์ไฟฟ้าเคมีสำหรับค่าทางไฟฟ้าได้หลายแบบจึงทำให้เกิดเทคนิคการวิเคราะห์ต่างๆ ได้หลายวิธี และมีชื่อเรียกวิธีการวิเคราะห์นั้นตามเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ดังต่อไปนี้

2.3.1 วิธีโพเทนชิโอเมตริก (Potentiometric method)

เป็นวิธีการวัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วที่ไวต่อสปีชีส์ที่ต้องการวิเคราะห์หาปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 วิธีอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic method)

เป็นวิธีที่อาศัยเซลล์ไฟฟ้าเคมีชนิดอิเล็กโทรไลซิส เกิดเป็นโลหะเกาะที่ขั้วแคโทด ซึ่งทำให้ขั้วมีน้ำหนักมากขึ้น

2.3.3 วิธีวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductometric method)

เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีค่าความต้านทานสูงจะนำไฟฟ้าได้ไม่ดี แต่ถ้ามีความต้านทานต่ำจะนำไฟฟ้าได้ดี ค่าความต้านทานของเซลล์ไฟฟ้าเคมีนั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย นั่นคือค่าการนำไฟฟ้าก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไอออนในสารละลายด้วย ดังนั้นการวัดค่าการนำไฟฟ้าโดยตรงจึงสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของสารได้

2.3.4 วิธีโวลแทมเมตริก (Voltammetric method)

อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับศักย์ไฟฟ้าที่เกิดอิเล็กโทรไลซิสที่ขั้วทำงานขนาดเล็ก และสารละลายหนึ่งปราศจากการคน พบว่าเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่อิเล็กโทรไลติกเซลล์จะเกิดกระแสที่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสาร โดยหลักการของโวลแทมเมตริก ถ้าใช้ขั้วทำงานที่มีขนาดเล็กมากๆ และเกิดการโพลาไรซ์ได้ง่าย เช่น ขั้วปรอทหยด ทำให้สามารถวัดกระแสเทียบกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่เซลล์ วิธีการวิเคราะห์แบบนี้เรียกว่า โพลาร์โกราฟี ถ้าควบคุมให้เซลล์มีกระแสคงที่แล้ววัดศักย์ไฟฟ้าของขั้วทำงานเทียบกับเวลาจะเรียกวิธีการวิเคราะห์นี้ว่า โครโนโพเทนชิโอเมตริก นอกจากนี้การควบคุมศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่เซลล์เพื่อวัดกระแสที่เกิดขึ้นโดยหลักการของโวลแทมเมตริกนี้สามารถทำได้หลายแบบทำให้เกิดวิธีการวิเคราะห์ขึ้นอีกมากมายหลายวิธี เช่นพัลส์และดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โพลาร์โกราฟี ลิเนียร์สวิตช์โพลาร์โกราฟี ไชคลิกโวลแทมเมตริก และสตรีปปิงโวลแทมเมตริก เป็นต้น[14]

2.4 โวลแทมเมตริก (Voltammetry) [10]

โวลแทมเมตริกเป็นชื่อรวมของกลุ่มวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าที่ข้อมูลของการวิเคราะห์ที่ได้จากความสัมพันธ์ของการเกิดกระแสกับการให้พลังงานศักย์แก่วงจรภายใต้สภาวะการทดลองที่เกิดกระบวนกรนอนพาราเดอิก หรือเกิดโพลาร์ไรเซชัน (Polarization) ขึ้นที่ขั้วไฟฟ้าใช้งาน โดยทำให้ขั้วไฟฟ้าใช้งานมีขนาดเล็กที่พื้นที่ผิวน้อย (เพียงไม่กี่ตารางเมตร) ทำให้การเกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตัวอย่างซึ่งจำเป็นต้องอาศัยพลังงานศักย์จากภายนอกด้วยขนาดเล็กของขั้วไฟฟ้าใช้งานจึงเรียกขั้วไฟฟ้าใช้งานในเทคนิคโวลแทมเมตริกว่า “ขั้วไฟฟ้าจุลภาค (microelectrode)”

โวลแทมเมตริกมีความแตกต่างจากวิธีโพเทนชิโอเมตริกโดยสิ้นเชิง กล่าวคือการทำโวลแทมเมตริกเป็นการให้พลังงานไฟฟ้าในรูปศักย์แก่วงจร เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตัวอย่าง ดังนั้นการจัดเซลล์ของวงจรเป็นแบบอิเล็กโทรไลต์ และการไหลของกระแสอยู่ภายใต้สภาวะการเกิดโพลาร์ไรเซชันเนื่องจากความเข้มข้นที่ขั้วไฟฟ้าจุลภาค สำหรับวิธีโพเทนชิโอเมตริกสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปฏิกิริยาเคมีได้เองในสารละลายอย่างต่อเนื่อง การจัดเซลล์จึงเป็นแบบแกลวานิกโดยสภาวะการทดลองเป็นสภาวะที่กระแสมีค่าเป็นศูนย์ และไม่มีโพลาริเซชันเกิดขึ้น

2.4.1 ความเป็นมาของกลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมทรี

ตามบันทึกทางเคมีวิเคราะห์ โพลาริกราฟีเป็นวิธีการวิเคราะห์แรกในกลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมทรี โดยนักเคมีชาวเชคโกสโลวาเกีย ชื่อ Jaroslav Heyrovsky เป็นผู้คิดค้นพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1920 ซึ่ง Heyrovsky ได้บันทึกผลของกระแสเมื่อมีการผ่านพลังงานศักย์ไปในสารละลาย ตัวอย่างโดยใช้หยดปรอทเป็นขั้วไฟฟ้าใช้งาน ขั้วไฟฟ้าหยดปรอท (Dropping Mercury Electrode, DME) จึงถูกกำหนดให้เป็นขั้วไฟฟ้าใช้งานสำหรับวิธีการวิเคราะห์โพลาริกราฟีจนถึงปัจจุบัน เมื่อมีการประยุกต์ใช้วิธีโพลาริกราฟีในการหาจุดยุติของการไทเทรต เรียกชื่อว่าแอมแปโรเมตริกไทเทรชัน กลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมทรีจึงเริ่มขึ้น โดยรวมโพลาริกราฟีและแอมแปโรเมตริกไทเทรชันในกลุ่มการวิเคราะห์เดียวกันวิธีการวิเคราะห์โวลแทมเมทรี โดยเฉพาะโพลาริกราฟี มีบทบาทสำคัญมากในขณะนั้นในการศึกษากระบวนการขึ้นมูลฐานของการเกิดออกซิเดชันหรือรีดักชันของสารในตัวกลางต่าง ๆ รวมทั้งกระบวนการดูดซับสารและกลไกการส่งผ่านอิเล็กตรอนที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า ทำให้สามารถวิเคราะห์ไอออนต่างๆทั้งสารละลายอินทรีย์และสารละลายอินทรีย์ต่าง ๆ ความสำคัญของโวลแทมเมทรีลดลงในช่วงปลาย ค.ศ. 1950 เมื่อเริ่มมีการนำเทคนิคสเปกโทรสโกปีมาใช้ในการวิเคราะห์ การดัดแปลงเทคนิควิธีการวิเคราะห์โวลแทมเมทรี เริ่มขึ้นราวกลาง ค.ศ. 1960 โดยพัฒนาวิธีการบันทึกศักย์และกระแสที่ต่างไปจากเดิม ซึ่งถูกเรียกเป็นแบบคลาสสิกประจวบกับมีพัฒนาการด้านอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ที่เกิดขึ้นด้วย ทำให้เกิดเทคนิควิธีการวิเคราะห์ในกลุ่มโวลแทมเมทรีขึ้นมาอีกหลายวิธีด้วยกัน เช่น พัลส์โวลแทมเมทรี เป็นต้น อุปกรณ์การวิเคราะห์ที่ทันสมัยรวมเข้ากับเทคนิควิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ เน้นในด้านความจำเพาะเจาะจงของสารและความสามารถในการตรวจสอบสารปริมาณต่ำ ๆ ทำให้กลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมทรีกลายเป็นจุดสนใจที่กลับมาเป็นที่นิยมจนถึงปัจจุบัน ที่นับว่าเป็นประโยชน์มากทางการวิเคราะห์ คือการใช้เทคนิคโวลแทมเมทรีควบคู่กับเทคนิคการวิเคราะห์อื่น ๆ เช่น Hyperformance Liquid Chromatography (HPLC) เป็นต้น

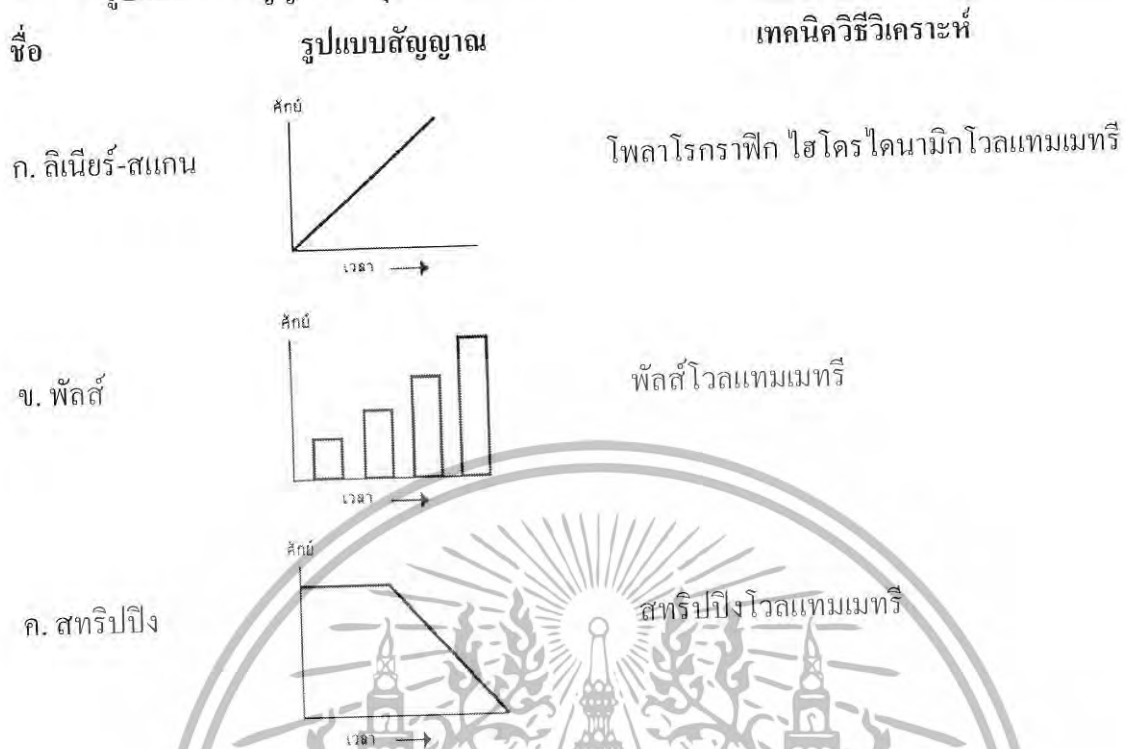
2.4.2 เทคนิควิธีการวิเคราะห์ในกลุ่มโวลแทมเมทรี

ลักษณะสำคัญของการวิเคราะห์ด้วยหลักการโวลแทมเมทรี คือต้องจัดเซลล์แบบ electrolyte ขั้วไฟฟ้าต้องเป็นขั้วไฟฟ้าจุลภาค และต้องมีการบันทึกกระแสตามศักย์ที่ให้กับวงจรหรือขั้วไฟฟ้า ดังได้กล่าวแล้วว่าพัฒนาการของเทคนิคการวิเคราะห์จากโพลาริกราฟีซึ่งเป็นแบบคลาสสิก เกิดจากการพัฒนาดัดแปลงวิธีการในการบันทึกศักย์และกระแสที่ต่าง ๆ กันไป ถ้าถือว่าศักย์ที่ให้กับวงจรในช่วงระยะเวลาหนึ่งเป็นเสมือนสัญญาณกระตุ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี และเกิดการไหลของกระแส สัญญาณกระตุ้นที่แตกต่างกันไปย่อมทำให้เกิดการตอบสนองของกระแสที่ต่างกัน เกิดเป็น

เทคนิควิธีการวิเคราะห์แบบต่างๆขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของสัญญาณกระตุ้นที่ใช้ในโวลแทมเมทรี แบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ ดังแสดงดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะสัญญาณกระตุ้น โวลแทมเมทรี

แบบแรกของสัญญาณกระตุ้นดังรูป 2.2 ก. เป็นแบบดั้งเดิมหรือแบบคลาสสิก ซึ่งพลังงานในรูปศักย์ถูกให้กับวงจร ในอัตราความเร็วคงที่ประมาณ 1-5 mV/s สัญญาณเช่นนี้เป็นลิเนียร์-สแกน (Linear-scan) คือศักย์เพิ่มอย่างเป็นเส้นตรงตามเวลาโพลารोगราฟิและโวลแทมเมทรีในยุคแรก ๆ จัดเป็นเทคนิควิธีวิเคราะห์ในสัญญาณแบบแรกนี้ ซึ่งอาจจะเรียกรวมเป็น ลิเนียร์-สแกนโวลแทมเมทรี สำหรับสัญญาณกระตุ้นแบบพัลส์ (รูป 2.2 ข.) และสทริปปิง (รูป 2.2 ค.) ใช้ในเทคนิควิธีวิเคราะห์พัลส์โวลแทมเมทรี และสทริปปิงโวลแทมเมทรี ตามลำดับ

2.4.3 อุปกรณ์และเครื่องมือการทำโวลแทมเมทรี

การวิเคราะห์ด้วยหลักการโวลแทมเมทรี ไม่ว่าจะเป็นเทคนิควิธีการวิเคราะห์ใด ย่อมประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนของเซลล์ไฟฟ้า และส่วนของเครื่องมือในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า เซลล์เคมีไฟฟ้าในการทำโวลแทมเมทรีมักเรียกว่า เซลล์โวลแทมเมทรี เพราะมีความแตกต่างไปจากเซลล์เคมีไฟฟ้าธรรมดาอยู่บ้าง ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป สำหรับเครื่องมือในการควบคุมสัญญาณไฟฟ้า มักประกอบด้วยอุปกรณ์ในการควบคุมศักย์ที่ให้แก่วัสดุไฟฟ้า เรียกว่า โปเทนชิออสแตต (potentiostat) และอุปกรณ์ในการอ่านค่ากระแสของวงจร อาจเรียกส่วนของการควบคุมสัญญาณไฟฟ้านี้ว่า โวลแทมเมตริก อะนาไลเซอร์ (voltammetric analyzer) ในเครื่องของการทำโวลแทมเมทรีที่ใช้ในงานวิเคราะห์ต่างๆ ยังมีประกอบด้วยอุปกรณ์บันทึกผลข้อมูลและอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 เซลล์โวลแทมเมทรี

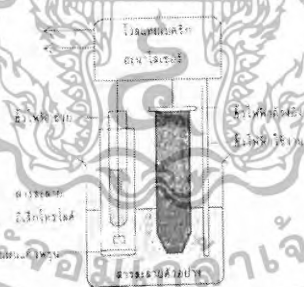
เซลล์โวลแทมเมทรี มักใช้เรียกเซลล์เคมีไฟฟ้าการวิเคราะห์โวลแทมเมทรี ประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าและสารอิเล็กโทรไลต์ ที่แตกต่างไปจากการทำโพเทนชิโอเมทรี ตรงที่ว่า ขั้วไฟฟ้าในการทำโวลแทมเมทรี มักประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ขั้วไฟฟ้าใช้งาน และขั้วไฟฟ้าช่วยหรือขั้วไฟฟ้าร่วม จุ่มอยู่ในสารละลายที่มีตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ และสารอิเล็กโทรไลต์ที่ไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา มักเรียกเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ช่วยหรือเกลือหนุน (supporting electrolyte) โดยสารอิเล็กโทรไลต์ช่วยมักใช้ในปริมาณที่มากเกินไป

2.4.4.1 ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง

ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ต้องมีค่าศักย์ขั้วไฟฟ้าคงที่ตลอดการทดลอง และควบคุมค่าศักย์ของขั้วไฟฟ้าใช้งานด้วย แม้ขั้วไฟฟ้าคาโลเมล จะเคยถูกจัดเป็นขั้วอ้างอิงที่ใช้ได้ทั่วไป แต่ด้วยเหตุผลด้านความเป็นพิษ และผลต่อมลพิษของปรอท ทำให้ขั้วไฟฟ้าซิลเวอร์-ซิลเวอร์คลอไรด์ เป็นที่ยอมรับในการเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงแทน

2.4.4.2 ขั้วไฟฟาร่วมหรือขั้วไฟฟ้าช่วย

จัดเป็นขั้วไฟฟ้าขั้วที่สามของวงจรโวลแทมเมทรีที่คุณลักษณะเฉพาะ คือ ทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เป็นขั้วที่รับพลังงานไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้าอ้างอิง ส่งต่อผ่านสารละลายไปยังขั้วไฟฟ้าใช้งาน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมีของสารตัวอย่างที่ขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่โดยขั้วไฟฟาร่วมนี้ไม่มีส่วนเกี่ยวข้องหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้น ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาของสารตัวอย่างระหว่างการวิเคราะห์



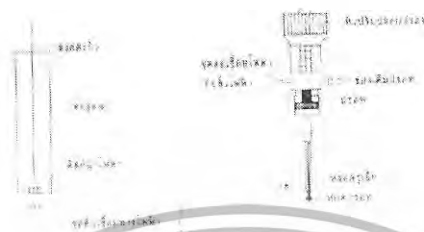
รูปที่ 2.3 แสดงการจัดเซลล์ในโวลแทมเมทรี

ขั้วไฟฟาร่วมมักมีพื้นที่ผิวมาก ๆ เพื่อให้การนำไฟฟ้าเป็นไปได้ดี ลดการเกิดศักย์จากโอห์ม ($E = IR$) ของวงจร ขดลวดแพลทินัมหรือแผ่นแพลทินัมหรืออ่างปรอท มักใช้เป็นขั้วไฟฟาร่วมได้ โดยอยู่ในสารละลายที่แยกเฉพาะจากสารละลายตัวอย่างด้วยสะพานเกลือ หรือแผ่นแก้วพรุน ดังตัวอย่างการจัดเซลล์อย่างง่าย ในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.3 ขั้วไฟฟ้าใช้งาน

ในกลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมตรี ขั้วไฟฟ้าใช้งานจะแตกต่างจากการวิเคราะห์อื่น ๆ ที่ว่าขนาดของขั้วไฟฟ้าต้องเล็ก ซึ่งมักเรียนเป็นขั้วไฟฟ้าจุลภาค ทั้งนี้เพื่อให้พื้นที่ผิวของขั้วไฟฟ้าในการสัมผัสกับสารตัวอย่างมีน้อย เกิดสถานะของโพลาริเซชันตลอดการวิเคราะห์



รูปที่ 2.4 แสดงขั้วไฟฟ้าจุลภาคแบบต่างๆ

- (ก) ดิสก์อิเล็กโทรด
- (ข) ขั้วไฟฟ้าหยดปรอทแขวนตัว (HMDE)
- (ค) ขั้วไฟฟ้าหยดปรอท (DME)

ส่วนประกอบหลักของขั้วไฟฟ้าจุลภาคที่ใช้กันเ็นทางปฏิบัติ มีนเป็น โลหะเฉื่อย เช่น แพลทินัมหรือทอง ไพลโรไลต์กราฟไฟต์หรือกลาสคาร์บอน และปรอท รูปแบบของขั้วไฟฟ้าที่ผลิตออกสู่ตลาดมีได้แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของส่วนประกอบของขั้วไฟฟ้านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ที่กะทัดรัด เหมาะแก่การใ้ใช้งานวิเคราะห์ทั่วไป หรือการนำไปประยุกต์ใ้กับการวิเคราะห์อื่น ๆ ได้แก่ ขั้วไฟฟ้าที่ส่วนประกอบอัดเป็นแผ่นแบนเล็ก ๆ เรียกดิสก์อิเล็กโทรด (disk electrode) ดังรูปที่ 2.4 (ก) ขั้วไฟฟ้าแบบนี้ส่วนของแผ่นแบนเล็ก ๆ นอกจากอาจเป็นแพลทินัมหรือคาร์บอน ยังอาจใ้เป็นพวกโลหะกึ่งตัวนำ เช่นซิลิกหรืออินเดียมออกไซด์ได้ด้วย โดยแผ่นที่ทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้านั้นเสียบติดใ้กับขั้วของเซลล์เคมีไฟฟ้า ปรอทนำมาทำเป็นขั้วไฟฟ้าแบบแผ่นได้ โดยการทำเป็นแผ่นฟิล์มเคลือบบนแผ่นโลหะอีกที แต่ไม่ค่อยนิยมทำกัน ปรอทอยู่ในสถานะของเหลว หยดปรอททำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้าจุลภาคได้ดีใ้ใช้กัน ได้แก่ขั้วไฟฟ้าหยดปรอทแขวนตัวและ

ขั้วไฟฟ้าปรอทหยด ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.4 (ข) และ 2.4 (ค) ในรูปที่ 2.4 (ข) เรียกว่า ขั้วไฟฟ้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตใ้หน้าไปใ้ประโยชน์ดานการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใ้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใ้

ปรอทแขวนตัว (Hanging Mercury Drop Electrode, HMDE) โดยปรอทถูกเก็บในกระเปาะเล็ก ๆ ที่อยู่ระหว่างปรับกับหลอดรูเล็ก ปรอทถูกหยดออกจากหลอดรูเล็ก ๆ จากการควบคุมหมุนหัวปรับซึ่งมีขีดสเกลบอก เพื่อกำหนดขนาดหยดปรอทตามต้องการ หยดปรอทจะติดกับหลอดรูเล็กนั้นชั่วคราว หยดปรอท (Dropping Mercury Electrode, DME) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ค) เป็นขั้วไฟฟ้าตั้งเดิมที่ใช้ในงานวิเคราะห์โพลารोगราฟี ซึ่งการควบคุมขนาดของหยดปรอท และอัตราการเร็วของการหยดทำได้โดยการปรับระยะห่างระหว่างอ่างเก็บปรอทกับปลายหลอดรูเล็ก (ซึ่งยาวประมาณ 10 cm. เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.05 mm.) ระหว่างอ่างเก็บหลอดรูเล็กเป็นท่อให้ปรอทไหลมาจากอ่างเก็บ โดยปกติท่อนี้ยาวประมาณ 50 cm. ขั้วไฟฟ้าหยดปรอทนี้ปล่อยหยดปรอทที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 50 cm. ถึง 1mm ทุก 2 ถึง 6 วินาที หรือประมาณ 10-30 หยดต่อปรอท เนื่องจากขั้วไฟฟ้าหยดปรอทนี้ไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ช่วยในการควบคุมหยดปรอทเหมือน HMDE ที่กล่าวไปแล้ว การใช้งานในโพลารोगราฟีจึงถูกจัดเป็นวิธีโพลารोगราฟีคลาสสิกแทนการใช้ขั้วไฟฟ้าหยดแบบ HMDE หรือ DME ในทางการค้าได้มีการสร้างขั้วไฟฟ้าที่นำมาใช้งานได้ทั้งแบบหยดปรอทติดต่อกัน (DME) และหยดปรอทแขวนไว้ (HMDE) ขึ้นกับการปรับการทำงานของขั้วไฟฟ้า เรียกขั้วไฟฟ้านี้ว่า ขั้วไฟฟ้าหยดปรอทอยู่นิ่ง (Static Mercury Drop Electrode, SMDE) โดยตัวขั้วไฟฟ้าประกอบด้วยที่เก็บปรอท มีกลไกของลิ้น โซลินอยด์ในการควบคุมปล่อยปรอทมาตามหลอดรูเล็ก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลอดใหญ่กว่าที่ใช้กับ DME (ประมาณ 0.15mm) ดังนั้นหยดปรอทจึงถูกปล่อยลงมาตามหลอดรูเล็กอย่างรวดเร็ว เพียงไม่ถึง 10^{-6} ของวินาที เมื่อปรอทหยดออกมาทางปลายหลอดรูเล็กมีลิ้นอัตโนมัติ ไม่ให้หยดปรอทขยายใหญ่อีก พร้อมกับบันทึกกระแส ณ จุดนี้ก่อนที่หยดปรอทจะถูกปัดออกจากหลอดรูเล็กนั้น ถ้าการหยดของหยดปรอทดำเนินอย่างต่อเนื่อง การทำงานจัดเป็นขั้วไฟฟ้า DME แต่ถ้าการทำงานของขั้วไฟฟ้าใช้เพียงหยดปรอทหยดเดียวที่คาดที่ปลายหลอดขั้วไฟฟ้านั้นถือเป็น HMDE

2.4.4.4 การเลือกใช้ขั้วไฟฟ้าจุลภาค

ขั้วไฟฟ้าใช้งานในกลุ่มการวิเคราะห์โวลแทมเมตรีซึ่งเป็นขั้วไฟฟ้าจุลภาคมักนิยมใช้ขั้วไฟฟ้าจุลภาคจากแพลทินัม (Pt) หรือคาร์บอน (C) หรือปรอท (Hg) ในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง เมื่อต่อขั้วไฟฟ้าเหล่านี้เข้ากับวงจรของเซลล์เคมีไฟฟ้า จะให้ช่วงของศักย์ที่สัมพันธ์กับกระแสได้ไม่เหมือนกัน ดังนั้นในการวิเคราะห์สารตัวอย่างจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ขั้วไฟฟ้าจุลภาคให้เหมาะสมด้วยโดยสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ต้องสามารถเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในช่วงศักย์ของขั้วไฟฟ้าที่เลือกใช้ใช้นั้นได้จึงจะวิเคราะห์สารนั้นได้

โดยทั่วไปตัวทำละลายของสารตัวอย่างมักเป็นน้ำ ช่วงศักย์ของแต่ละขั้วไฟฟ้าอาจหาได้จากกราฟให้พลังงานไฟฟ้าในรูปศักย์แกว่งจรเซลล์เคมีไฟฟ้าที่มีขั้วไฟฟ้าจุลภาคที่ต้องการศึกษาเป็นขั้วไฟฟ้าใช้งาน และขั้วไฟฟ้าคาโบลเมตเป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิงอยู่ในน้ำ (อาจมีสารละลายเกลือหนูนด้วย)

ศักย์ที่ให้กับวงจรจนเกิดการไหลของกระแสอันเป็นผลจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำ และให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงข้อมูล และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมเลกุลออกซิเจน ($\text{H}_2\text{O} \rightarrow 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$) เป็นชนิดจำกัดศักย์ทางบวก ขณะเดียวกันชนิดจำกัดศักย์ทางลบได้จากการเกิดรีดักชันของน้ำและได้โมเลกุลไฮดรอกเจน ($2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + \text{OH}^-$) ชนิดจำกัดศักย์ทั้งบวกและลบแตกต่างกันในขั้วไฟฟ้าจุลภาคแต่ละชนิดและยังต่างกันตามแต่ละชนิดของสารละลายเกลือหนืดด้วย ซึ่ง Skoog & West ได้สรุปเป็นผังของช่วงศักย์ของแต่ละชนิดของขั้วไฟฟ้าจุลภาคในสารละลายเกลือหนืดต่าง ๆ กันดังแสดงในรูป 2.5 สำหรับขั้วไฟฟ้าที่เป็นแพลทินัมหรือคาร์บอนชนิดจำกัดศักย์ทางบวกในการเกิดออกซิเดชันของน้ำมีค่าไม่น้อยกว่า +1.0 V ขึ้นกับชนิดของสารละลายเกลือหนืด โดยสารละลายเกลือหนืดที่มีความเป็นกรดสูง เช่น 1M $\text{HClO}_4(\text{C})$ หรือ 1M $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{Pt})$ ในรูปที่ 2.4 ทำให้ชนิดจำกัดศักย์ไปทางบวกมากขึ้น ส่วนชนิดจำกัดศักย์ด้านลบของทั้งแพลทินัมและคาร์บอนมีความแตกต่างกัน เนื่องจากศักย์เกิดตัวของไฮดรอกเจนที่ต่างกันของแต่ละขั้วไฟฟ้า ศักย์เกิดตัวของไฮดรอกเจนสำหรับขั้วไฟฟ้าคาร์บอนจะมีค่าสูงกว่าขั้วไฟฟ้าแพลทินัมทำให้ชนิดจำกัดศักย์ด้านลบของคาร์บอนได้ถึง +1.0 V หรือมากกว่า ขึ้นกับ pH ของสารละลาย แต่ชนิดจำกัดศักย์ด้านลบของแพลทินัมได้เพียง -0.1 V เท่านั้น



รูปที่ 2.5 แสดงช่วงศักย์ของขั้วไฟฟ้าจุลภาคในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เกลือหนืดชนิดต่าง ๆ

ปรอทในการเป็นขั้วไฟฟ้าจุลภาคมีชนิดจำกัดศักย์ทางบวกและลบต่างจากแพลทินัมและคาร์บอนโดยช่วงศักย์ทางบวกสำหรับปรอทต้องไม่มากกว่า +0.4 V เพราะปรอทเกิดออกซิเดชันได้ ขณะเดียวกันชนิดจำกัดศักย์ทางลบมีค่ามากกว่าการใช้แพลทินัมหรือคาร์บอน เพราะศักย์เกิดตัวของไฮดรอกเจนมีค่าสูงมาก ทำให้ศักย์ทางลบสำหรับปรอทได้มากถึง +2.0 V หรือมากกว่าตามแต่ละสารละลายเกลือหนืดที่ใช้ (รูปที่ 2.5) นอกจากการเลือกขั้วไฟฟ้าจุลภาคให้เหมาะกับสารตัวอย่างโดยดูช่วงศักย์ที่เหมาะสม ถ้าศักย์ของการเกิดปฏิกิริยาของสารตัวอย่างไปทางลบมากกว่า 0.1V ยังต้องทำการขจัดออกซิเจนในสารตัวอย่างด้วย เพราะออกซิเจนเกิดรีดักชันได้ ดังนั้นเมื่อใช้คาร์บอนหรือปรอทเป็นขั้วไฟฟ้ามักต้องเสริมอุปกรณ์ไล่ออกซิเจนในการวิเคราะห์ แม้แพลทินัมไม่มีผลต่อออกซิเจน แต่ปัญหาที่มักประสบคือการเกิดออกไซด์ของสารบนผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า ทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่มีความแม่นยำเท่าที่ควร ข้อสรุปเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าจุลภาคชนิดต่างๆตามตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเพียงแนวทางเบื้องต้น เพื่อให้สามารถแยกแยะการใช้ขั้วไฟฟ้าทั้งสามชนิดได้ในการวิเคราะห์ต่าง ๆ

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบขั้วไฟฟ้าจุลภาคชนิดต่าง ๆ

	ขั้วไฟฟ้าจุลภาค ¹		
	Pt	C	Hg
ช่วงศักย์ (V) ²	-0.1 ถึง +1.0	-1.0 ถึง +1.0	2.0 ถึง +0.4
การขจัดออกซิเจน	-	จำเป็น	จำเป็น
ความเกิดขลุ่ยไฮโดร	เกิด		

¹ มี SCE เป็นขั้วไฟฟ้าอ้างอิง

² ช่วงศักย์แปรเปลี่ยนได้โดยตามสภาวะการวิเคราะห์

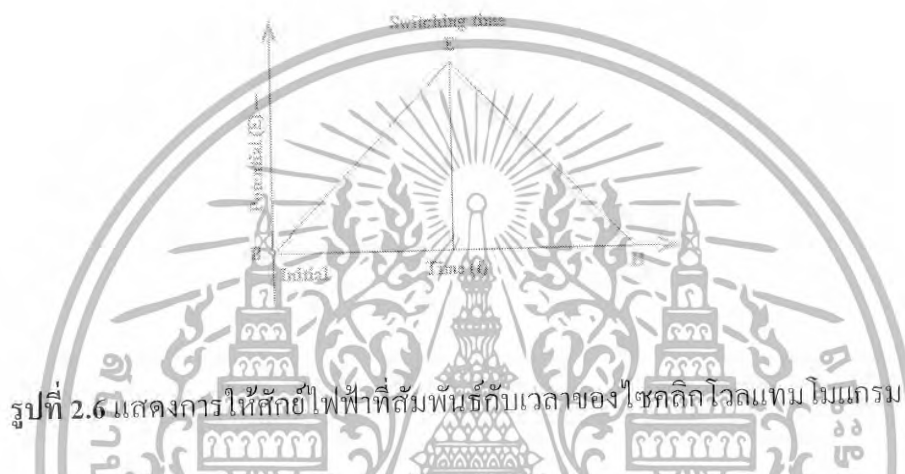
2.4.5 อิเล็กโทรไลต์เกลือหนู

คือสารประกอบอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้เติมลงในสารละลายตัวอย่างในการวิเคราะห์ทางโวลแทมเมตรี โดยเติมในปริมาณที่มากกว่าสารตัวอย่างประมาณ 50-100 เท่า ทั้งนี้สาร electrolyte เกลือหนูนี้ต้องไม่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของสารตัวอย่าง แต่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการทำให้ไอออนของสารตัวอย่างมีการเคลื่อนที่ในสารละลายแบบการแพร่ไม่ใช้แบบไมเกรชันและยังช่วยลดผลของความต้านทานของเซลล์ด้วย นอกจากนี้การเลือกชนิดของอิเล็กโทรไลต์เกลือหนูที่เหมาะสม ยังช่วยทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์หรือช่วยขจัดโลหะแทรกซ้อนที่ปนมาในสารตัวอย่าง โดยการเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนด้วยสารประกอบอิเล็กโทรไลต์ทั่วไปที่มีคุณสมบัติเป็นกรดแก่ (เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟูริก ต่างแก่ (เช่น โซเดียมหรือลิเทียมไฮดรอกไซด์) หรือเกลือ (เช่น คลอไรด์ เปอร์คลอเรท หรือซัลเฟตของโลหะอัลคาไลหรือไอออนแอมโมเนียมหรืออะลูมิเนียม) หรือสารก่อสารเชิงซ้อน (เช่น ทาร์เทรต, ซิเตรต, โซดาไนต์, ฟลูออไรด์หรือเอมีน รวมทั้งแอมโมเนียและ EDTA) ล้วนแต่นำมาใช้เป็นอิเล็กโทรไลต์เกลือหนูได้ทั้งสิ้น การเลือกใช้สารอิเล็กโทรไลต์เกลือหนูหนึ่ง ๆ มักต้องคำนึงถึงการทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์นั้นๆ ด้วย เพราะการทำหน้าที่ของอิเล็กโทรไลต์เกลือหนูอยู่ที่การใช้สารอิเล็กโทรไลต์นั้นๆ ในปริมาณที่มาก ขณะเดียวกันคุณสมบัติของสารอิเล็กโทรไลต์ในปริมาณที่มากนี้ย่อมมีผลต่อสภาวะของการทำการวิเคราะห์ด้วย ตัวอย่างเช่น การใช้ 1 M HCl เป็นอิเล็กโทรไลต์เกลือหนูในการวิเคราะห์สารแคดเมียมคลอไรด์ HCl ที่เติมลงไป ในสารละลายตัวอย่างในปริมาณมากนี้ทำให้สารละลายมีความเป็นกรดตลอดเวลาและอยู่ในสภาวะของการถูกบัฟเฟอร์ไว้ขณะเดียวกันไอออนของไฮโดรเจนและคลอไรด์ที่มีอยู่มากมายกลายเป็นตัวกลางที่เกิดการดูดหรือผลักของไอออน (เกิดไมเกรชัน) แทนการเกิดไมเกรชันของไอออนแคดเมียมกับผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า ดังนั้น 1 M HCl นี้จึงทำหน้าที่ของการควบคุมความเป็นกรดใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 ไชคลิกโวลแทมเมตรี

ไชคลิกโวลแทมเมตรีเป็นเทคนิคที่ให้ศักย์ไฟฟ้าในลักษณะสามเหลี่ยมหน้าจั่วแก่ขั้วไฟฟ้าทำงานดังแสดงตามรูปที่ 2.6 ซึ่งพัฒนาโดย Nicholson และ Shain เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างมากเพื่อใช้ในการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าของสารบริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้าทำงาน ตลอดจนใช้ในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์โดยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าอื่นๆต่อไป การบันทึกกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าทำงาน โดยจะทำการพลอตค่ากระแสไฟฟ้ากับศักย์ไฟฟ้าซึ่งเรียกว่าไชคลิกโวลแทมโมแกรม (cyclic voltammogram) ดังรูปที่ 2.7



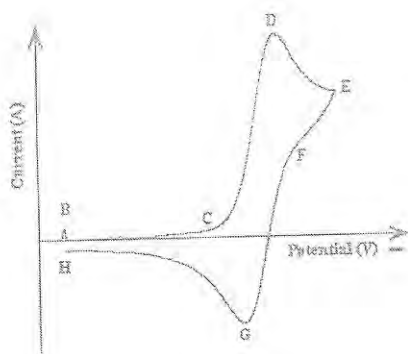
รูปที่ 2.6 แสดงการให้ศักย์ไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับเวลาของไชคลิกโวลแทมโมแกรม

การให้ศักย์ไฟฟ้าในไชคลิกโวลแทมเมตรีจะเป็นการให้ศักย์ไฟฟ้าตามค่า scan rate เมื่อเทียบกับเวลาจนถึงจุดสูงสุดและลดศักย์ไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามด้วย scan rate เดียวกัน ซึ่งสามารถอธิบายสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ขั้วไฟฟ้าทำงานกับเวลา ณ จุดต่างๆ ตามสัมพันธ์ในสมการที่ (2.1)

$$V = \frac{dE}{dt} \quad (2.1)$$

การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในเคมีไฟฟ้า เช่นการให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางที่เป็นลบแก่ขั้วไฟฟ้าทำงาน สารที่อยู่ในรูปของออกซิไดซ์ตอนเริ่มแรกของการให้ศักย์ไฟฟ้ายังไม่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน จนกระทั่งให้ศักย์ไฟฟ้าใกล้จะถึง E° จะเริ่มเกิดกระแสแคโทดิกเกิดขึ้น ($O + e^- \rightarrow R$) จนกระทั่งมีการให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางย้อนกลับจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ($R \rightarrow e^- + O$) และให้กระแสแอนโนดิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



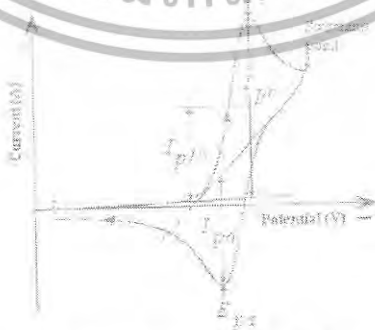
รูปที่ 2.7 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรม

จากรูปที่ 2.7 สามารถแสดงตำแหน่งในไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการเกิดปฏิกิริยาที่ตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าต่างๆ

- B เป็นจุดเริ่มการให้ศักย์ไฟฟ้า
- C เป็นจุดเริ่มที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน
- D เป็นพีคแอโนดิก
- E เป็นจุดที่เปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าในทิศทางบวก
- F เป็นจุดที่เริ่มเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- G เป็นพีคแคโทดิก
- H เป็นจุดสิ้นสุดการให้ศักย์ไฟฟ้า

2.4.6.1 การแปรผลข้อมูล

การแปรผลข้อมูลของไซคลิกโวลแทมโมแกรมจะแปรผลเพื่อหาค่าของศักย์ไฟฟ้าที่ให้จากค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งพัฒนาโดย Nicholson และ Shain



รูปที่ 2.8 แสดงการแปรผลข้อมูลของไซคลิกโวลแทมโมแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6.2 ระบบที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้

ในระบบที่เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (reversible reaction) จะต้องเป็นระบบที่มีการเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนอย่างรวดเร็วตามรูปที่ 2.9 แสดงปฏิกิริยาของสารออกซิไดซ์ที่อยู่ในรูป O รับอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าเปลี่ยนอยู่ในรูป R และเกิดการแพร่ของสารในชั้นการแพร่ของสารละลาย กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการแพร่นี้ เรียกว่ากระแสแคโทดิก (cathodic current) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เรียกว่า ปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) และเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามจะเกิดปฏิกิริยาของสารรีดิวส์ (reduced) ที่อยู่ในรูปของ R ให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนไปเป็น O กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการแพร่นี้เรียกว่ากระแสแอนอดิก (anodic current) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation)

รูปที่ 2.9 แสดงการเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้าของ Species



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของไซคลิก โวลแทมโมแกรมสำหรับปฏิกิริยาเคมีของ Nernst

รูปที่ 2.10 แสดงไซคลิก โวลแทมโมแกรมของปฏิกิริยาที่ผันกลับได้จากการให้ศักย์ไฟฟ้าตามรูปที่ 2.6 ซึ่งสามารถใช้สมการของ Randles-Sevcik อธิบายดังแสดงในสมการที่ (2.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_p = (2.69 \times 10^5) n^{3/2} ACD^{1/2} v^{1/2} \quad (2.2)$$

- เมื่อค่า n คือ จำนวนของอิเล็กตรอน
 A คือ พื้นที่ของอิเล็กโทรดในการเกิดปฏิกิริยา (cm^2)
 C คือ ความเข้มข้นของสารละลาย (mol/cm^3)
 D คือ diffusion coefficient (cm^2/s)
 v คือ scan rate (V/s)

เงื่อนไขการพิจารณาของการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ผันกลับได้ของ Nernst สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

1. การแยกกันของ $\Delta E_p = (E_{pa} - E_{pc})$ ต้องมีค่าแตกต่างเป็น $\Delta E_p = 59/n \text{ mV}$ ที่ 25°C
2. ค่าของ E_p ไม่ขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับ scan rate
3. i_p นั้นจะเป็นฟังก์ชันเส้นตรงกับค่า $v^{1/2}$
4. อัตราส่วนของพีค i_{pa}/i_{pc} ต้องมีค่าเท่ากับ 1 ทุก scan rate
5. ค่าของ $E^\circ = \frac{(E_{p,a} + E_{p,c})}{2}$
6. ค่าของ $E_{p/2} = E_{1/2} \pm V$

2.4.6.3 ระบบที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ และกึ่งผันกลับได้

ในกระบวนการที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ (Irreversible reaction) จะมีการแลกเปลี่ยนของอิเล็กตรอนในการเกิดปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดพีคเดียวและเกิดการเลื่อนของศักย์ไฟฟ้า โดยการเลื่อนของศักย์ไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับค่า scan rate ที่ใช้ สามารถใช้สมการที่ (2.3) ในการอธิบาย

$$E_p = E^\circ + \left(\frac{RT}{\alpha n F} \right) \left[-0.78 + \ln \left(\frac{k^\circ}{D^{1/2}} \right) - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\alpha n F v}{RT} \right)^{1/2} \right] \quad (2.3)$$

เมื่อ α คือ transfer coefficient

k° คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน

n_a คือ จำนวนอิเล็กตรอนในขั้นตอนการกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการอิเล็กโทรด (the number of electrons in the rate-determination step of electrode process)

E_p คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่มีกระแสสูงสุด

ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าของพีค (peak potential) (E_p) และค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งพีค (half peak potential) ($E_{p/2}$) ที่ 25°C จะแตกต่างกันเท่ากับ $|E_p - E_{p/2}| = \frac{1.857 RT}{\alpha F} = \frac{47.7}{\alpha} \text{ mV}$ และปริมาณกระแสไฟฟ้าสามารถใช้สมการที่ (2.3) ในการอธิบาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในชั้นเรียนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าปริมาณกระแสจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นสารละลาย แต่ปริมาณกระแสที่เกิดจากการให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางย้อนกลับจะลดลง ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของ α เช่น ถ้าค่าของ $\alpha = 0.5$ อัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าในปฏิกิริยาผันกลับได้หารด้วยกระแสในปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ (reversible/irreversible) จะมีค่าเท่ากับ 1.27 ซึ่งค่าของกระแสไฟฟ้าในปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ จะมีค่าเป็น 80% ของกระแสไฟฟ้าในปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ส่วนในกรณีปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ค่า k^0 จะอยู่ระหว่าง $10^{-5} - 10^{-1}$ cm/s ปริมาณของกระแสไฟฟ้าจะถูกควบคุมโดยความเร็วในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน และการเคลื่อนที่ของมวล รูปร่างของไซคลิกโวลแทมโมแกรมจะเป็นฟังก์ชันของ $k^0 / \sqrt{\pi a D}$ (เมื่อ $a = nFv / RT$) เมื่ออัตราส่วนของ $k^0 / \sqrt{\pi a D}$ มีค่าเพิ่มขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ถ้าอัตราส่วนมีค่าลดลงจะเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้

2.4.7 Linear sweep voltammetry

เป็นเทคนิคที่กำหนดช่วงศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าทำงาน โดยเพิ่มศักย์ค่าไฟฟ้าทำงานจาก V_1 ถึง V_2 ในลักษณะที่เป็นเส้นตรงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ขั้วไฟฟ้าทำงานจะเพิ่มตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยค่าอัตราศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตามเวลาเรียกว่าค่า scan rate ซึ่งสามารถคำนวณจากค่าความชันของการให้ศักย์ไฟฟ้าในการบันทึกโวลแทมโมแกรมสามารถบอกคุณสมบัติของสารได้ คือ (1) อัตราเร็วของการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนในการเกิดปฏิกิริยา (2) ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า และ (3) บอกศักย์ไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาเมื่อใช้ scan rate ค่าหนึ่งๆ

รูปที่ 2.11 แสดงรูปแบบการให้ศักย์ไฟฟ้าของ linear sweep voltammetry (ก) แสดง ศักย์ไฟฟ้าที่เวลาต่างๆและ(ข) แสดง linear sweep voltammogram

การวัดกระแสไฟฟ้าของ linear sweep voltammetry จะเป็นการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าเทียบกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้ ยกตัวอย่างเช่นในการเกิดปฏิกิริยาของ Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ($Fe^{3+} + e \rightarrow Fe^{2+}$) โดยให้ scan rate คงที่ค่าเดียวตลอดการทดลอง ดังรูป 2.11 (A) และทำการพลอตค่ากระแสไฟฟ้ากับ ศักย์ไฟฟ้าจากซ้ายไปขวา ค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับศักย์ไฟฟ้า และให้ค่ากระแสไฟฟ้า

สูงสุด หลังจากนั้นก็ลดลง ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่ให้กระแสไฟฟ้าสูงสุดคือศักย์ไฟฟ้าของการเกิดปฏิกิริยา เอกสารนี้เผยแพร่เพื่อส่งเสริมความรู้ให้กับนักเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก Fe^{3+} เป็น Fe^{2+} ณ กระแสไฟฟ้าสูงสุดนั้นจะมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เร็วมากเมื่อเทียบกับค่า voltage sweep rate ดังนั้นบริเวณผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงานจะเกิดสมมูลไดนามิกเกิดขึ้นซึ่งเราเรียกว่าสมมูลเคมีไฟฟ้าโดยใช้สมการสมมูลของ Nernst ในการอธิบาย ดังแสดงในสมการที่ (2.5)

$$E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{[Fe^{3+}]}{[Fe^{2+}]} \right) \quad (2.5)$$

จากสมการที่ (2.5) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของความเข้มข้น Fe^{3+}/Fe^{2+} กับศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ (E) และ E° เป็นค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน โดยตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าที่สมมูลจะเกิดการเลื่อนไปตาม E°

รูปที่ 2.12 แสดง linear sweep voltammogram ที่ scan rate ต่างๆ ของสารละลาย Fe^{3+}

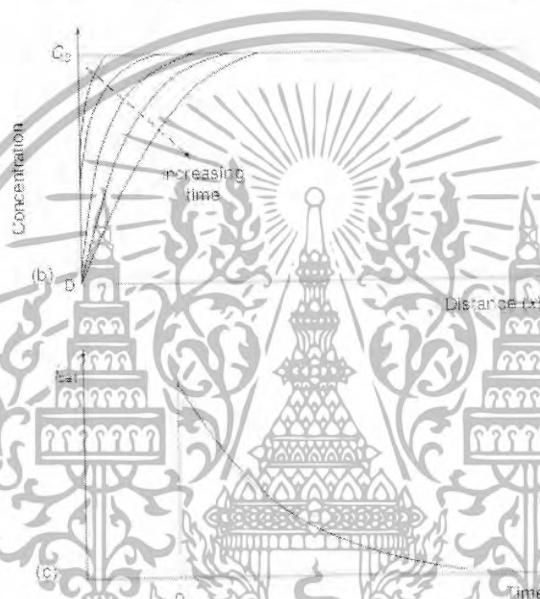
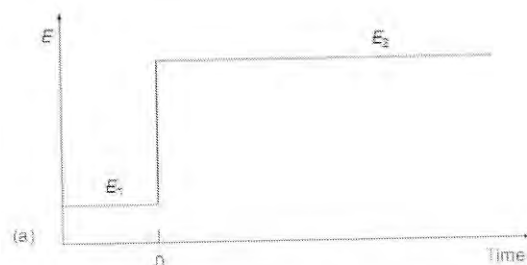
รูปที่ 2.12 แสดง linear sweep voltammogram ที่ scan rates ต่างๆ ของสารละลาย Fe^{3+} พบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามค่า scan rate ที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาขนาดของ diffusion layer ที่บริเวณผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงานแล้วจะเห็นว่า ค่าของ diffusion layer จะแปรผันตรงกับค่า scan rate เมื่อค่า scan rate มีค่ามากขึ้น ค่าของ diffusion layer สูงขึ้นตาม เป็นผลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงานได้เร็วมากขึ้นส่งผลทำให้มีปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นในกรณีที่เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเร็ว ปฏิกิริยานั้นจะเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ และในกรณีที่ปฏิกิริยาเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนช้าจะเกิดปฏิกิริยาแบบกึ่งย้อนกลับหรือแบบย้อนกลับไม่ได้

2.4.8 แอมเพอโรเมทรี (Amperometry)

แอมเพอโรเมทรีเป็นเทคนิคที่ให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าทำงานในลักษณะคงที่แบบขั้นบันได โดยจ่ายศักย์ไฟฟ้าให้แก่ขั้วไฟฟ้าใช้งานจากค่าตรงจุดที่เกิด faradaic reaction ไปจนถึงจุดศักย์ไฟฟ้าที่ความเข้มข้นของ electroactive species ที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้ามีผลเป็นศูนย์ ดังรูปที่ 2.13(a)

ส่วน รูปที่ 2.13(b) ใช้ขั้วไฟฟ้าอยู่กับที่และปรอทจากภาชนะการเคลื่อนที่ของมวลภายใต้เอกสารนี้แล้วจะสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ขั้วไฟฟ้าที่ตำแหน่งนั้น เมื่อนำเอาตัวอย่างไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะนี้จะมีเพียงการแพร่ รูปที่ 2.13(c) ปริมาณกระแสที่ได้จะเป็นผลมาจากการเปลี่ยนความเข้มข้นอย่างต่อเนื่องที่ละน้อยๆ ในบริเวณใกล้ขั้วไฟฟ้า ดังนั้นจะเห็นว่าความเข้มข้นค่อยๆ ลดลงในลักษณะลาดชันตามเวลาที่ผ่านไป



รูปที่ 2.13 แสดงแอมเพอโรแกรม

ซึ่งเขียนเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์เรียกว่าสมการ Cottrell Equation

$$i(t) = \frac{nFAcD^{1/2}}{\pi^{1/2}t^{1/2}} = kt^{-1/2} \quad (2.6)$$

เมื่อ n , คือจำนวนของอิเล็กตรอน

F , คือค่าคงที่ Faraday

A , คือพื้นที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า

C , คือความเข้มข้น

D , คือค่าสัมประสิทธิ์การแพร่

และ t คือเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น $it^{1/2}$ คงที่มักอยู่ในเทอม "Cottrell behavior." ซึ่งเบี่ยงเบนไปจากพฤติกรรมที่ปรากฏที่ระยะเวลายาวนาน (มากกว่า 100 วินาที) เป็นผลจากการพาดตามธรรมชาติหรือเมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าจุลภาค (microelectrodes) ที่มีอัตราส่วนเส้นรอบวงต่อพื้นที่ผิวสูงในกรณีหลังเป็นกรณีกระแส (เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้น) ที่ขึ้นกับเวลาที่ได้เป็นเวลา $t > 0.1$ s เนื่องจากมีรัศมีของการแพร่ที่กว้างขั้วไฟฟ้าแบบ spherical electrodes ก็ใช้หลักในการพิจารณาคล้ายๆกันซึ่งค่ากระแสที่ตอบสนองจะเป็นไปตามขึ้นของศักย์ไฟฟ้าซึ่งจะมีทั้งส่วนที่เป็น time-dependent ดังแสดงส่วนที่เป็น time-independent ดังสมการ

$$i(t) = nFAD_0 C_0(b) / (\pi D_0 t)^{1/2} + nFAD_0 C_0 / r \quad (2.7)$$

สำหรับค่า t น้อยๆ ($t < 50$ ms) สัญญาณของ โครโนแอมเพอโรเมตริกจะมีสัญญาณพื้นของการอัดกระแสรวมอยู่ด้วย

$$i_e = \frac{E}{R_s} e^{-t/\tau} \quad (2.8)$$

การอัดกระแสไฟฟ้าจะเหมือนที่เกิดขึ้น เมื่อเราจ่ายศักย์ไฟฟ้าเข้าไปในวงจรแบบอนุกรม (series RC circuit) กระแสการอัดประจุนี้จะลดลงในลักษณะเอกโพเนนเชียลซึ่งเป็นสัญญาณตอบสนองให้เราเห็นแม้ไม่มี electroactive species ก็ตาม โครโนแอมเพอโรเมตรินิยมใช้สำหรับวัดค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของ electroactive species หรือวัดพื้นที่ผิวของหน้าขั้วไฟฟ้าทำงานและใช้งานทางด้านวิเคราะห์หาคัดสอบสารชีวภาพ เช่น กลูโคส ในเลือด หรืองานทางด้านเอนไซม์ (จะกล่าวรายละเอียดถัดไป) โครโนแอมเพอโรเมตริยังสามารถประยุกต์ใช้ในการศึกษากลไกที่เกิดขึ้นที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้า โครโนแอมเพอโรเมตริยังสามารถบันทึกค่าประจุ (บันทึกประจุเทียบกับเวลา charge-time dependence) ซึ่งสามารถทำได้โดยรวบรวมค่ากระแสที่ได้จากศักย์ไฟฟ้าต่างๆ และทำการปรับแก้ค่าให้ถูกต้องโดยเพิ่มค่าประจุเนื่องจาก double-layer charging (Q_d) และค่าประจุที่เกิดจากปฏิกิริยาการดูดซับ (Q_i)

$$Q = \frac{2nFACD^{-1}t^{3/2}}{\pi^{1/2}} + Q_d + Q_i \quad (2.9)$$

ซึ่งเทคนิคการวัดประจุเรียกว่า chronocoulometry ซึ่งสามารถใช้สำหรับวัดปริมาณตัวทำปฏิกิริยาที่ถูกดูดซับอยู่ (เนื่องจากสามารถที่จะแยกค่าประจุที่เกิดขึ้นโดยการดูดซับและ solution species) การสร้างกราฟของประจุ (Q) เทียบกับเวลา $t^{1/2}$ เรียกว่า Anson plot ค่าของจุดตัดแกนที่เวลาเท่ากับศูนย์ก็คือค่าของประจุรวม (Q_d และ Q_i) ที่เกิดจาก double-layer charging และปฏิกิริยาการดูดซับซึ่งสามารถประมาณค่าจุดตัดแกนที่ได้นี้แล้วนำไปหักลบเพื่อปรับแก้ค่าเป็นการหักลบค่าของ

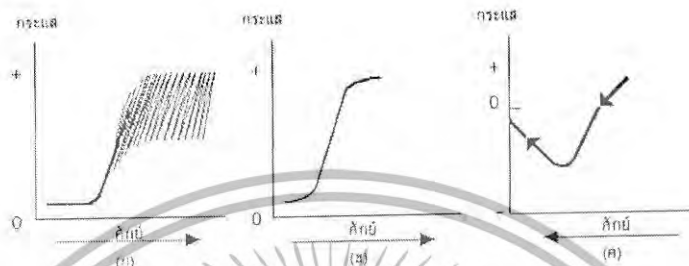
สารละลาย blank solution ออกไปได้ที่ให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.9 โวลแทมโมแกรม (Voltammogram)

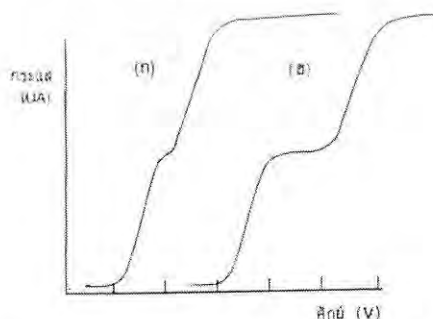
ในเทคนิควิธีการวิเคราะห์หีใด ๆ ในโวลแทมเมทรีเส้นกราฟที่ได้จากการพล็อตระหว่างกระแสที่วัดได้กับศักย์ที่ให้กับขั้วไฟฟ้าจุลภาค เรียกว่า โวลแทมโมแกรมยกเว้นสำหรับวิธี โพลาริกราฟีที่เรียกเป็นโพลาริแกรม โวลแทมโมแกรมที่ได้จากสัญญาณกระตุ้นที่ต่างกัน (รูปที่ 2.1) จะไม่เหมือนกันดังแสดงในรูปที่ 2.14

รูปที่ 2.14 แสดง โวลแทมโมแกรม จากสัญญาณกระตุ้นแบบต่าง ๆ



- (ก) สัญญาณ ดิเนียร์-สแกน
- (ข) สัญญาณ แบบพัลส์
- (ค) สัญญาณ แบบสทริปปิง

ข้อมูลของการวิเคราะห์ที่ได้จากโวลแทมโมแกรมคือค่ากระแสจำกัด (i_L) ซึ่งเป็นค่าที่แปรตามความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าจุลภาค ใช้ค่านี้ในการหาปริมาณสารตัวอย่างได้ลักษณะเฉพาะของกระแสจำกัด คือ เป็นกระแสฟาราเดอิกที่มีค่าไม่ขึ้นกับการแปรของศักย์ที่ให้กับวงจรและค่าของกระแสถูกจำกัดด้วยอัตราความเร็วของการที่สารตัวอย่างถูกพาไปยังผิวหน้าของขั้วไฟฟ้า ข้อมูลจากโวลแทมโมแกรมในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารคือค่าศักย์ครึ่งคลื่น ($E_{1/2}$) ซึ่งเป็นค่าคงที่ของสารในสารอิเล็กโทรไลต์ที่เกี่ยวพันกันเป็นค่าศักย์บนเส้นกราฟที่ค่ากระแสเป็นครึ่งหนึ่งของกระแสจำกัดกรณีที่มีสารตัวอย่างมากกว่า 1 ชนิดที่เกิดปฏิกิริยาที่ผิวหน้าขั้วไฟฟ้าได้สารตัวอย่างถูกแยกออกจากกัน ได้ถ้าค่าศักย์ครึ่งคลื่นของแต่ละสารในสารอิเล็กโทรไลต์ที่เกี่ยวพันกันมีค่าต่างเกินมากกว่า 0.1 V ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ข) เปรียบเทียบกับในรูปที่ 2.15 (ก)



รูปที่ 2.15 แสดงโวลแทมโมแกรมของสารผสม 2 ชนิด เมื่อ $E_{1/2}$ ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปี (Spectroscopic Method) [11]

UV-Vis spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงในช่วงรังสียูวี และช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืน โดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ ความยาวคลื่นแสงจะ มีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบ เจริญ และสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ในปัจจุบันได้รับการพัฒนาให้มีขนาดที่ เล็กกะทัดรัด มีความไวมากขึ้น ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ควบคู่กันกับเครื่องมือ ในการวิเคราะห์ และการฟ่งต่อ ด้วย เทคนิคอื่นๆ ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขึ้น

UV-Vis Spectrum

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีแถบสเปกตรัมตั้งแต่ช่วงความยาวคลื่นสั้น (รวมทั้ง รังสีแกมมาและ รังสีเอ็กซ์) ไปจนถึงช่วงความยาวคลื่นยาว (รวมถึงไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ) รังสียูวีและแสงขาว เป็นเพียงส่วนเล็กๆส่วนหนึ่งของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยมีความยาวคลื่นประมาณ 190-800 นาโน เมตร เมื่อทำการวัดปริมาณ ของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจาก แหล่งกำเนิด ที่ความยาว คลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสงหรือค่า absorbance ของสารจะแปรผันกับจำนวน โมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถระบุชนิด และปริมาณ ของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ/ปริมาณ

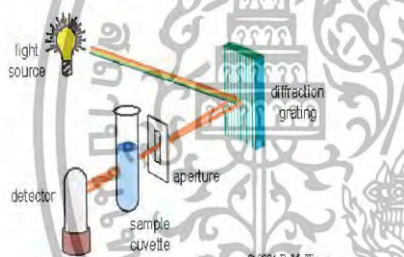
โดยหลักการแล้วสเปกตรัมซึ่งเกิดจากการดูดกลืนแสงในช่วงรังสียูวีและแสงขาวของสาร ตัวอย่างจะแสดงคุณสมบัติเฉพาะของสารนั้นๆ ทำให้สามารถนำไปใช้ วิเคราะห์สารชนิดต่างๆได้ แต่ทั้งนี้การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะให้ผลได้เพียงคร่าวๆ เพราะลักษณะของสเปกตรัมของสารแต่ละชนิดที่ได้จะมีความกว้างมาก และยังมีรายละเอียดอีกเยอะจึงจำเป็นต้องใช้เทคนิคอื่นๆร่วม วิเคราะห์ด้วย สำหรับการวิเคราะห์สารในเชิงปริมาณด้วยเทคนิค UV-Vis spectroscopy สามารถทำได้โดยใช้วิธีการทำกราฟ มาตรฐานระหว่างค่า absorbance และค่าความเข้มแสงดังนั้นเมื่อสามารถ วัดค่า absorbance ของสาร ได้ก็สามารถหาปริมาณของสารที่จะวิเคราะห์ได้จากกราฟ

UV-Vis spectrophotometry

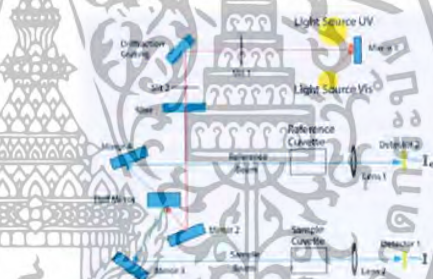
เครื่อง UV-Vis Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ทำหน้าที่ในการตรวจวัดความเข้มแสงที่ ผ่านหรือสะท้อนจากตัวอย่างเปรียบเทียบกับความเข้มแสงจากแหล่งกำเนิดเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยทั่วไปแล้วจะมีส่วนประกอบหลักๆที่เหมือนกัน ได้แก่แหล่งกำเนิดแสงเกรตติ้งหรือโมโนโครมาเตอร์ เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างและเครื่องตรวจวัดแหล่งกำเนิดแสง จะต้องให้แสงที่คงที่อย่างต่อเนื่อง ตัว ที่นิยมใช้คือ หลอดทังสเตนฮาโลเจน ซึ่งให้แสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 320-2,500 นาโนเมตร สำหรับแหล่งกำเนิดแสงในช่วงรังสียูวีนั้นจะใช้หลอดไฮโดรเจนหรือหลอด ดิวทีเรียม ซึ่งให้แสง

เอกสารนี้ในช่วงความยาวคลื่น 160-375 นาโนเมตร แต่แสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดนั้นจะมีความยาวคลื่นต่างๆ เอกสารนี้เป็นของตงตงมีแสงนี้หรือสารเชิงอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ เมื่อผู้ยูเอตเหนาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงต้องใช้โมโนโครเมเตอร์เป็นตัวกระจายแสงออกเพื่อให้แสงที่จะผ่านไปยังตัวอย่างมีความยาวคลื่นค่าเดียวตามที่ต้องการ หลังจากนั้นแสงความยาวคลื่นค่าเดียวจะผ่านไปยังเซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่างและสารเปรียบเทียบกับ (cuvettes) ซึ่งมีรูปร่างต่างๆ กันออกไป แต่โดยส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นกล่องทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีความกว้าง ภายใน 1 เซนติเมตร (ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าระยะทางเดินของแสงที่ผ่านเข้าไปในตัวอย่างตามกฎของ Beer-Lambert และ cuvettes ที่ดีที่สุดนั้นทำมาจากควอตซ์ที่มีคุณภาพสูง สำหรับ cuvettes ที่ทำจากแก้วหรือพลาสติกนั้นก็เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป แต่สามารถใช้ได้เฉพาะในช่วงแสงขาวเท่านั้น เพราะแก้วและพลาสติกดูดกลืนแสงในช่วงรังสียูวีแสงในส่วนที่ไม่ถูกดูดกลืนจะเดินทางผ่านตัวอย่างมาถึงเครื่องตรวจวัด สำหรับเครื่อง ตรวจวัดที่นิยมใช้ ได้แก่ PMT (photomultiplier tube), diode arrays และ CCDs (charge coupled devices) เครื่องจะทำการบันทึกค่าความยาวคลื่นร่วมกับค่ามุมของแต่ละความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืน ผลของสเปกตรัมที่ได้ จะแสดงในรูป ของกราฟระหว่างค่า absorbance และค่าความยาวคลื่น เครื่อง UV-Vis spectrophotometer สามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ แบบลำแสงเดี่ยว และแบบลำแสงคู่ดังรูปที่ 1.6 และ 1.7 สำหรับเครื่องแบบ ลำแสงเดี่ยว เป็นเครื่องที่ใช้ ลำแสงเดี่ยว จากแหล่งกำเนิด ผ่าน ไปยังตัวอย่าง เครื่องมือนี้ได้รับ การออกแบบ ให้สามารถใช้งานได้ง่ายสะดวก และมีราคาไม่แพงมากนัก



รูปที่ 2.16 เครื่อง UV-Vis spectrophotometer
แบบลำแสงเดี่ยว



รูปที่ 2.17 เครื่อง UV-Vis spectrophotometer
แบบลำแสงคู่

2.6 หลักการวิเคราะห์ HPLC [12]

เครื่อง HPLC (High Performance Liquid Chromatography) เป็นเครื่องมือใช้สำหรับแยกสารประกอบที่สนใจที่ผสมอยู่ในตัวอย่าง โดยกระบวนการแยกสารประกอบที่สนใจจะเกิดขึ้นระหว่างเฟส 2 เฟสคือเฟสอยู่กับที่ (column) กับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ซึ่งสารจะถูกแยกออกมาในเวลาที่แตกต่างกันโดยสารผสมที่อยู่ในตัวอย่างสามารถถูกแยกออกจากกันได้นั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการเข้ากันได้ดีของสารนั้นกับ mobile phase หรือ stationary phase สารประกอบตัวไหนที่สามารถเข้ากันได้ดีกับ mobile phase จะเคลื่อนที่ผ่าน column ได้เร็วสารนั้นก็จะถูกแยกออกมาก่อนส่วนสารที่เข้ากันได้ไม่ดีกับ mobile phase หรือเข้ากันได้ดีกับ stationary phase จะเคลื่อนที่ผ่าน column ได้ช้าก็จะถูกแยกออกมาทีหลัง โดยสารที่ถูกแยกออกมาได้นี้จะถูกตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณด้วยตัวตรวจวัดสัญญาณที่วัดได้จะอยู่ในรูปสัญญาณไฟฟ้าตามเวลาและปริมาณของสารแต่ละตัวที่ตรวจวัดได้จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณเพื่อแสดงผลออกมาเป็นโครมาโทแกรม สัญญาณที่บันทึกได้จากตัวตรวจวัดจะมีลักษณะเป็นพีค ซึ่งจะเรียกว่า โครมาโทแกรม โดยโครมาโทกราฟี่ของเหลวสมรรถนะสูงแยกสารเคมีภายใต้ความดันของเหลวเป็นเทคนิคการวิเคราะห์สารเชิงคุณภาพวิเคราะห์ (qualitative analysis) และปริมาณวิเคราะห์ (quantitative analysis) ที่นิยมใช้มากวิธีหนึ่งโดยสามารถใช้กับงานด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวางเช่นในการวิเคราะห์ทางอาหาร ยาฆ่าแมลง ทางด้านการแพทย์ สมุนไพร และทางด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น สามารถตรวจวิเคราะห์ปริมาณต่ำๆได้ในระดับไมโครกรัม(μg) ถึงพิโคกรัม (pg) เมื่อเลือกใช้เครื่องตรวจวัดที่เหมาะสม

2.6.1 ส่วนประกอบหลักของเครื่อง HPLC

1. Mobile phase / Solvent: หรือตัวทำละลายที่ใช้ในการชะหรือแยกตัวอย่างเป็นเฟสเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นของเหลวทำหน้าที่ในการนำสารตัวอย่างและตัวทำละลายเข้าสู่ stationary phase (ในที่นี้คือคอลัมน์) เพื่อให้เกิดกระบวนการแยกภายในคอลัมน์
2. Degaser: ทำหน้าที่กำจัดฟองอากาศที่มีอยู่ใน mobile phase เพื่อไม่ให้ฟองอากาศเข้าสู่ column และ detector
3. Pump: ทำหน้าที่ดึงตัวทำละลาย (mobile phase) เข้าสู่ระบบ HPLC เนื่องจากในการแยกสารผสมในเทคนิค HPLC จะอาศัยหลักการไหลของเฟสเคลื่อนที่ผ่านเฟสอยู่กับที่ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก จึงทำให้เกิดความต้านทานการไหลระบบปั๊มจึงมีความสำคัญมากในการที่จะทำให้เกิดความดันสูงเพื่อที่จะเอาชนะแรงต้านทาน
4. Injector/Autosampler: ทำหน้าที่ในการฉีดสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบ HPLC Sample injection เป็นอุปกรณ์ในการฉีดสารตัวอย่างมีทั้งแบบ manual และแบบ automatic sampler
5. Column: มีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกขนาดเล็ก ซึ่งภายในท่อจะบรรจุของแข็งขนาดเล็กหรือเจลที่เกาะติดกับพื้นผิวภายในท่อทำหน้าที่ให้เกิดกระบวนการแยกของสารที่สนใจ โดยการบวนการแยกเกิดขึ้นระหว่าง สารที่ต้องการแยกกับของแข็งขนาดเล็กหรือเจลที่เกาะติดกับพื้นผิวภายในท่อ แต่สำหรับ HPLC: Agilent 1100 มีอุปกรณ์เพิ่มเติมที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ Column จึงเรียกว่า column thermostat และ column มี 2 ชนิดคือ

5.1 Analytical column มีความยาวประมาณ 10 - 30 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 4 - 10 มิลลิเมตรวัสดุที่ใช้ทำคอลัมน์เช่น stainless steel, polyethylene, glass, PEEK เป็นต้น สำหรับส่วนที่เป็น packing material ที่บรรจุอยู่ภายในได้แก่ silica based resins, gels, bonded phases เป็นต้น

5.2 Guard column นิยมต่อระหว่างส่วน injector และส่วนของ analytical column ซึ่งจะทำให้หน้าที่กรองอนุภาคหรือสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนมากับสารตัวอย่างรวมทั้งตัวทำละลายเพื่อช่วยยืดอายุ

การใช้งานของ analytical column ส่วนที่เป็น packing material จะคล้ายคลึงกับ analytical column เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Detector: คือตัวตรวจวัดสัญญาณทำหน้าที่ในการตรวจวัดสัญญาณของสารที่สนใจที่ได้จากกระบวนการแยกมีหลายชนิดด้วยกันการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับตัวอย่างที่สนใจว่าสามารถตอบสนองกับ Detector ชนิดไหนได้ดีและ Detector ที่ใช้วัดสัญญาณสำหรับ HPLC เครื่องตรวจวัดที่นิยมใช้ ได้แก่

6.1 Ultraviolet-Visible detector: เช่น Diode array detector เป็น detector ที่วัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร สามารถวัดได้ที่หลายความยาวคลื่นในเวลาเดียวกันและวัดได้ตั้งแต่ 190-900 nm ระบบการเดินทางของแสงจะเป็นแบบย้อนแสงแสงจากแหล่งกำเนิดแสง light source จะผ่านไปยัง flow cell ก่อนที่จะผ่านไปยัง monochromator คือ slit และ grating เมื่อแสงตกกระทบบน grating แสงจะกระจายออกเป็นความยาวคลื่นต่างๆ แล้วไปตกกระทบบนแผงของ Diode array ตรวจวัดสัญญาณออกมาเป็นโครมาโทแกรม Diode array detector สามารถเก็บข้อมูล spectrum ของ พีคต่างๆ ของ โครมาโทแกรมและสามารถนำออกมาใช้งานเมื่อไหร่ก็ได้

6.2 Fluorescence detector: เป็น detector ที่มีความไวสูงและมีความเฉพาะเจาะจง (selective) เนื่องจากมีความสามารถในการวัดสารที่สามารถให้ fluorescence ได้ โดยตัวอย่างที่ถูกกระตุ้น (excited) จะได้รับพลังงานจากแสงยูวีที่ผ่าน monochromator ออกมา แสงที่ออกมาจะมีความยาวคลื่นตามต้องการ จากนั้นก็จะผ่านเข้าไปยัง flow cell ที่มีสารตัวอย่างอยู่ เมื่อตัวอย่างถูกกระตุ้นจะปล่อยรังสี emission ออกมาทุกทิศทางหลากหลายความยาวคลื่น โดยจะทำการตรวจวัดรังสีที่มีความยาวคลื่นที่มีมุม 90° ซึ่งจะถูกส่งผ่านไปยัง filter ตัดแสงที่ไม่ต้องการออก จากนั้นจึงผ่านเข้าไปยัง photo cell ตรวจวัดสัญญาณออกมาเป็น โครมาโทแกรม ดังนั้นทั้งความยาวคลื่น excitation และ emission จึงเป็นความยาวคลื่นที่เป็นลักษณะจำเพาะกับตัวอย่างนั้นๆ เท่านั้น ดังนั้นตัวอย่างที่เหมาะสมกับ Fluorescence Detector เช่น ตัวอย่างสารชีวภาพ เลือดปัสสาวะ เป็นต้น

6.3 Refractive index detectors (RI detector) : ใช้วัดปริมาณสารใดก็ได้ที่มีค่าดัชนีหักเหแตกต่างจากเฟสเคลื่อนที่นั้นคือจะเกิดความแตกต่างกันระหว่าง reference cell (มีเฟสเคลื่อนที่ไหลผ่าน) และ sample cell (มีสารที่เราสนใจ) ภายใน detector จึงทำให้ได้ค่าดัชนีหักเหที่ต่างกันจึงตรวจวัดสัญญาณได้

6.4 Electrochemical detectors : ใช้วัดการสูญเสียหรือได้รับอิเล็กตรอนของสารที่ออกมาจากคอลัมน์

6.5 Conductivity detectors : ใช้วัดความสามารถในการนำไฟฟ้าของสารที่ต้องการวิเคราะห์กับเฟสเคลื่อนที่

2.6.2 การเลือกใช้และการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์ทาง HPLC

การจะเลือกเทคนิคใดในการแยกสารตัวอย่งนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่ต้องพิจารณาดังนี้

1. ธรรมชาติของสารตัวอย่าง
2. วิธีที่ต้องการนำมาใช้แยกสารตัวอย่าง

3. ความสะดวกในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ประสบการณ์กับวิธีที่ใช้แยกสารตัวอย่าง
5. และสิ่งอื่น ๆ ที่อาจพิจารณา

2.6.3 การพัฒนาวิธีการแยกสารที่เฉพาะ

1. การเลือกวิธีของ LC
2. การเลือกคอลัมน์ที่เหมาะสม
3. การกำหนดสถานะของการทดลองที่เหมาะสม
4. การพิจารณาการใช้เทคนิคบางเทคนิคในการแก้ปัญหการแยกให้ดีขึ้น

2.6.4 การประยุกต์ใช้งานทั่วไป

1. Petrochemical Analysis เช่น Aliphatic + Aromatic Hydrocarbons
2. Environmental Analysis เช่น PAHs , Pesticides , Herbicides
3. Pharmaceutical Analysis เช่น Drugs , Steroids
4. Natural Products เช่น Terpenoid
5. Biochemical Analysis เช่น Carbohydrates , Proteins
6. Thermoplastic Polymers
7. ใช้ทำให้สารที่สนใจในของผสมมีความบริสุทธิ์ขึ้น
8. ใช้ในงานควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์
9. ใช้ติดตามการดำเนินไปของปฏิกิริยาเคมีในการวิเคราะห์สารต่างๆ

2.6.5 ข้อจำกัดของเทคนิค

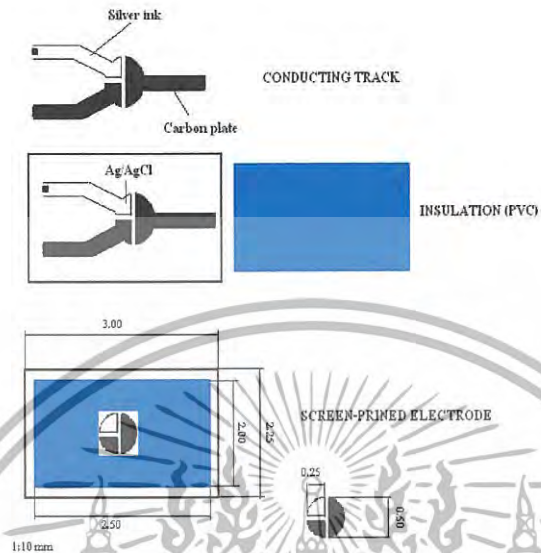
1. ในการระบุชนิดสารประกอบถูกจำกัดจำเป็นต้องมีสารมาตรฐานเทียบเคียง ยกเว้นในกรณีที่มีการเชื่อมกับเทคนิคแมสสเปกโทรเมทรี (MS)
2. กำลังในการแยกถูกจำกัดในกรณีที่สารตัวอย่างมีความซับซ้อน
3. เวลาในการวิเคราะห์ค่อนข้างนานอาจกินเวลาถึง 2 ชั่วโมง
4. จำเป็นต้องเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์

2.7 สกรีน-พริ้นท์(Screen-printed)

สกรีน-พริ้นท์เป็นขั้วไฟฟ้าที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจวิเคราะห์มีลักษณะคล้ายคลึงกับขั้วไฟฟ้าโดยทั่ว ๆ ไปแต่มีข้อดีเพิ่มขึ้นคือสามารถเตรียมขึ้นได้ง่ายใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นเป็นขั้วไฟฟ้าที่สามารถใช้เพียงครั้งเดียวแล้วทิ้งสกรีน-พริ้นท์ ประกอบด้วยแผ่นรองรับ 2 แผ่น ซึ่งภายในมีขั้วไฟฟ้า 3 ขั้วคือขั้วทำงาน (Working electrode) ขั้วอ้างอิง (Reference electrode) และขั้วไฟฟ้าช่วย (Auxiliary electrode) ดังรูป 2.17 ในการวิเคราะห์สารทำได้โดยการต่อสกรีนพริ้นท์เข้ากับเครื่องตรวจวัดหดยดสารที่ต้องการวิเคราะห์ลงบนแผ่นก็สามารถวิเคราะห์ได้ทันทีนอกจากนี้

แล้วสกรีน-พริ้นท์ยังมีคุณสมบัติที่ดีอีกหลายประการเช่นสามารถหลีกเลี่ยงสิ่งเจือปนลดปัญหา
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ตรวจวัดได้ค่อนข้างต่ำเนื่องจากประสิทธิภาพของขั้วต่ำลงและสามารถเตรียมขึ้นได้จำนวนมากบนแผ่นรองรับที่เหมือนกันหรือแตกต่างกัน



รูปที่ 2.18 แสดงสกรีน-พริ้นท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A.S. Zarena และ K. Udaya Sankar [13] ได้ศึกษาการใช้ Supercritical carbon dioxide ในการสกัด Xanthones ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากเปลือก โดยทำสกัดในภาวะที่มีและไม่มี แอลกอฮอล์ที่เป็นตัวทำละลายที่ความดัน 30 MPa อุณหภูมิ 50 °C สกัดใน Supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) โดยพบว่าตัวทำละลายที่เป็นแอลกอฮอล์จะสามารถเพิ่มอัตราการสกัดสารและ yield ของผลิตภัณฑ์ที่สกัดได้มากขึ้น SC-CO₂ จะผสมกับ Ethanol (4%) ที่ 20 MPa อุณหภูมิ 40 °C แล้วตรวจวัดคุณลักษณะของสาร Xanthones โดยใช้เทคนิค HPLC/LC-ESI-MS จากส่วน Liquid chromatography electron spray และ mass spectrometry (LC-ESI-MS) จะให้ spectrum ของสารในกลุ่ม Xanthones ทั้ง 12 ชนิด นำโครงสร้างของสารที่ตรวจพบไปเปรียบเทียบกับลักษณะการแตกตัวที่เป็นลักษณะเฉพาะของสาร โดยข้อมูลดังกล่าวได้เก็บบันทึกใน literature

Xiuhong Ji และคณะ [14] ได้ทำการตรวจวัดการวิเคราะห์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพในการตรวจวัดหาสารแทนโตนในมังคุดด้วยเทคนิค LC-PDA และ LC-ESI-MS การทดสอบนี้ได้พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาสารแทนโตนทั้ง 6 ชนิดได้ในเวลาเดียวกัน โดยที่การวิเคราะห์เชิงปริมาณนั้นจะใช้เทคนิค High Performance Liquid Chromatography แบบ Reverse Phase (ใช้คอลัมน์ C18 ขนาด 150 mm × 3.00 mm, 5 μm) โดยมี Photodiode Array เป็น Detector (LC-PDA) ตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 320 nm และการวิเคราะห์เชิงคุณภาพในการจำแนกสารแทนโตนแต่ละชนิดจะใช้เทคนิค High Performance Liquid Chromatography ที่เชื่อมต่อกับ Mass Spectrometry (LC-MS) โดยที่ Mass Analyzer และระบบเชื่อมต่อที่ใช้คือ Time of Flight (TOF) และ Electrospray (ESI) ตามลำดับความถูกต้อง (Precision) ของวิธีนี้จะดูจากค่า R.S.D. ซึ่งได้แก่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 4.6% และมีค่า Recovery อยู่ในช่วง 96.58% - 113.45%

M.B. Ningappa, R. Dinesha, L. Sriniva [15] ได้ศึกษาการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระในมังคุดแล้วนำมาทดสอบฤทธิ์ในการต้านปฏิกิริยาโดยใช้ Cytochrome C ที่อยู่ในเยื่อหุ้มของ mitochondrial โดยจะเป็นแหล่งถ่ายเทอิเล็กตรอนของสาร protein of the respiratory chain โดยจะใช้เป็นต้นแบบของสารโปรตีนที่ทำการตรวจวัดค่า direct reductive capacity ของการสกัดซึ่งเป็นกลไกปฏิกิริยาของสารต้านอนุมูลอิสระ โดยสารสกัดลดการ Oxidized cytochrome C จะสามารถ reduce Ferric cytochrome C ไปเป็น Ferrocycytochrome C

W. Gritsanapan (1994) [16] ได้ทดสอบความสามารถในการเป็นสารต้านออกซิเดชัน (Antioxidant capacity) ของเครื่องดื่มชาในท้องตลาดโดยใช้เทคนิค 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging capacity assay 2,2'-Azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) cation radical scavenging assay ferric reducing antioxidant power assay (FRAP) และทำการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลโดยวิธี Folin-

Denis ในเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammetry) โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสารต้านออกซิเดชันในตัวอย่างบนขั้วใช้งานกลาสคาร์บอนในสารละลายฟอสเฟอรับ์เฟอรับ์ pH7.0 และใช้พื้นที่ได้ฟิโคโนออกซิเดชันเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน(+)-คาเทคินส์ (+)-Catechinผลที่ได้รายงานในหน่วยของ catechin equivalent antioxidant capacity (CEAC) ถ้าับความสามารถในการต้านออกซิเดชันของตัวอย่างชาผงี่หือต่าง ๆ ที่ได้จากไซคลิกโวลเทมเมตรีตรงกับวิธี DPPH ABTS และ FRAP ยกเว้นถ้าับความสามารถในการต้านออกซิเดชันของเครื่องดื่มชาขวดยี่หือต่าง ๆ แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยและผลการวิเคราะห์ปริมาณ โดยวิธีไซคลิกโวลเทมเมตรีให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกันกับวิธี Folin-Denis ดังนั้นเทคนิคไซคลิกโวลเทมเมตรีเป็นเทคนิคที่สามารถใช้ในการทำคุณภาพวิเคราะห์ได้เช่นเดียวกับ DPPH ABTS และ FRAP และใช้ในการทำปริมาณวิเคราะห์ได้เช่นเดียวกับวิธี Folin-Denis

Wandee Gritsanapan et.al(2007)[17]ได้ทำการวิจัยความหลากหลายของปริมาณรวมของสารเมงโกสทินในเปลือกผลมังคุด ซึ่งมังคุดเป็นผลไม้ที่นิยมบริโภคในประเทศไทยกันอย่างแพร่หลายเปลือกผลมังคุดประกอบด้วยสารจำพวกเมงโกสทินโดยมีสารอัลฟา-เมงโกสทินเป็นสารหลักซึ่งสารดังกล่าวและการสกัดเปลือกผลมังคุดมีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดลิว ทำให้ในปัจจุบันสารสกัดเปลือกผลมังคุดถูกนำมาใช้ผลิตเป็นยารักษาผิวหนัง ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมคุณภาพของสารสกัดเปลือกผลมังคุด โดยการกำหนดปริมาณขั้นต่ำของสารอัลฟา-เมงโกสทินในสารสกัดสกัดเอทานอลของเปลือกผลมังคุดที่เก็บมาจากภาคตะวันออกเฉียงและภาคใต้ของประเทศไทยจำนวน 13 แห่ง ด้วยวิธี UV-Spectrophotometry ที่ได้ตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์โดยการศึกษา linearity, precision, accuracy, limit of detection (LOD) และ limit of quantitation (LOQ) โดยพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารอัลฟา-เมงโกสทินกับการดูดกลืนแสงเป็นเส้นตรงในช่วง 2-20 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.9999 วิธีวิเคราะห์ดังกล่าวมีความแม่นยำโดยมีค่า RSD น้อยกว่า 2% และมีค่าเฉลี่ย % recovery เท่ากับ 100.68 ส่วน LOD และ LOQ มีค่า 0.1622 และ 0.4915 ไมโครกรัม/มิลลิลิตรตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ปริมาณรวมของสารเมงโกสทินในตัวอย่างเปลือกผลมังคุดแห่งทั้ง 13 ตัวอย่างพบว่าปริมาณอยู่ระหว่าง $8.51 \pm 0.02\%$ โดยน้ำหนัก ในขณะที่ในสารสกัดพบปริมาณ 30.19 ± 0.16 ถึง $45.61 \pm 0.09\%$ โดยน้ำหนัก โดยตัวอย่างที่เก็บจากภาคใต้จะมีปริมาณเฉลี่ยของสารเมงโกสทิน ($10.39 \pm 1.04\%$ ในเปลือกผลมังคุดแห่ง) มากกว่าตัวอย่างที่เก็บจากภาคตะวันออกเฉียง ค่าเฉลี่ยของปริมาณรวมของสารเมงโกสทินในเปลือกผลมังคุดแห่งและในสารสกัดของตัวอย่างทั้งหมดเท่ากับ $9.94 \pm 0.88\%$ และ $36.25 \pm 4.66\%$ โดยน้ำหนักตามลำดับ จากงานวิจัยนี้พบว่าวิธี UV-Spectrophotometry เป็นวิธีวิเคราะห์ที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว และเหมาะสมที่จะใช้เป็วิธีการควบคุมคุณภาพของเปลือกผลมังคุด

และของสารสกัดจากเปลือกผลมังคุด เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ ข้อมูลจากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ในการกำหนดมาตรฐานของเปลือกผลมังคุดและสารสกัดเปลือกผลมังคุดรวมทั้งทำให้ทราบถึงแหล่งปลูกมังคุดที่มีปริมาณรวมของสารเมงโกสทินสูงเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบที่ดีอีกด้วย

W. Jinsart et.al(1992)[18]ได้ทำการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าเพื่อการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในสารสกัดจากผลพิกุล (*Mimusops elengi* Linn.) โดยการสกัดสารจากผลพิกุลอ่อนแก่จัด และสุก โดยใช้ 70% เมทานอล : 70% อะซีโตน อัตราส่วน 1:1 (V/V) ในการสกัดได้เป็นสองส่วน คือ crude extract และ residue และสกัดแยก crude extract และ residue ออกเป็น fraction ต่าง ๆ คือ free phenolic acid fraction (F1) soluble phenolic acis esters fraction (F2) และ insoluble-bound phenolic acids fraction (F3) นำ F1, F2 และ F3 ของผลพิกุลอ่อนมาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางโครมาโตกราฟีคือ Thin Layer Chromatography (TLC) และ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่าในสารสกัดจากผลพิกุลมี garlic acid เป็นองค์ประกอบหลักในทุก ๆ fraction ทำการทดสอบความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของ crude extract และ fraction ต่าง ๆ โดยใช้เทคนิค Electrochemistry เปรียบเทียบกับวิธีทาง Spectrometry สำหรับเทคนิคทาง Electrochemistry ใช้เทคนิค Cyclic Voltammetry (CV) และ Differential Pulse Voltammetry (DPV) และเทคนิค Spectrometry คือ DPPH และ ABTS สำหรับทุก ๆ เทคนิคพบว่าใน crude extract ของผลพิกุลอ่อนมีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าผลแก่จัดและผลสุก แสดงว่าในผลพิกุลมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารที่มีคุณสมบัติเป็น antioxidant ไปตามระยะเวลาการสุกและในสารสกัดของ fraction ต่าง ๆ พบว่ามีพิกุลผลอ่อนและผลแก่จัด fraction 2 มีความสามารถในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระดีกว่า fraction 3 และ fraction 1 แสดงว่าในพิกุลผลอ่อนสารประกอบฟีนอลส่วนใหญ่อยู่ในรูป soluble phenolic acid esters ส่วนในพิกุลผลสุกพบว่าสารสกัดทั้งสาม fraction ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าในพิกุลผลสุก สารประกอบฟีนอลอยู่ที่นั่นในรูป free phenolic acids, soluble phenolic acis esters และ insoluble-bound phenolic acids จึงสามารถใช้เทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าเพื่อการวิเคราะห์ antioxidant capacity ในสารสกัดจากผลพิกุลได้

K. Nakatani et.al(2002)[19]ทำการวิจัยหาปริมาณความจุของความสามารถในการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนและผลของอัลฟา-เมงโกสทินต่อการป้องกันเส้นประสาทในการต้านกรด 3-ไนโตรโพรไพโอนิก (3-nitropropionic) ที่อยู่ในเซลล์ประสาทของสมองส่วนล่าง โดยได้ค้นพบว่าอัลฟา-เมงโกสทินที่เป็นสารแซนโทนที่สกัดได้จากมังคุดนี้มีคุณสมบัติในการต้านอนุมูลอิสระซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยากับสปีชีส์ของออกซิเจนและเป็นผลในการป้องกันการเกิดศักย์ไฟฟ้าของอัลฟา-เมงโกสทินเพื่อใช้ในการต้านสารพิษในไมโทคอนเดรีย นั่นคือ 3-nitropropionic acid (3-NP) ซึ่งเป็นสารที่เกิดจากเซลล์ส่วนล่างของสมอง โดยได้พบว่าอัลฟา-เมงโกสทินสามารถรวบรวมอะตอมเดี่ยวของออกซิเจนที่เป็น superoxide anion และ peroxy nitrite anion ในทางตรงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้ามอัลฟา-แมงโกสทินก็ไม่สามารถที่จะรวบรวม hydroxyl radicals และ hydrogen peroxide นอกจากนี้อัลฟา-แมงโกสทินยังสามารถป้องกันเซลล์ประสาทจาก 3-NP

TR. Govindachari et.al(1917)[20]ได้ทำการวิจัยถึงการกลั่นลำดับโดยใช้ dichloromethane ซึ่งสามารถสกัดสารออกมาได้มากถึง 5 ชนิดจากมังคุด คือ 1,2-dihydro-1,8,10-trihydroxy-2-(2-hydroxypropan-2-yl)-9-(3-methylbut-2-enyl)furo[3,2- α]xanthen-11-one(1) 6-deoxy-7-demethylmangostanin (2) 1,3,7-trihydroxy-2,8-di-(3-methylbut-2-enyl) (3) mangostanin (4) and α -mangostin (5) ซึ่งโครงสร้างของสารประกอบที่ 1 และ 2 จะถูกตรวจวัดโดยการวิเคราะห์ทางสเปกโทรสโกปีและสารประกอบทั้ง 5 จะถูกแยกออกมาและวิเคราะห์ร่วมกับสารประกอบอื่นอีก 11 ชนิด ซึ่งจะทำการแยกออกมาจากเปลือกมังคุดด้วยวิธี quinone reductase-induction โดยใช้เซลล์ murine heptoma และวิธี hydroxyl radical antioxidant assay ซึ่งเทคนิคนี้สารประกอบที่ 1-4 จะถูก induce ด้วยเอนไซม์ quinone reductase เพิ่มขึ้น 0.68-2.2 $\mu\text{g/mL}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานโครงการพิเศษ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า (Voltammetry) ในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มแซนโทนเปรียบเทียบกับเทคนิค HPLC ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

- 3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ
- 3.1.2 สารเคมี

3.2 การสกัดแซนโทนจากเปลือกมังคุด

- 3.2.1 การอบและการชั่งน้ำหนักเปลือกมังคุด
- 3.2.2 ขั้นตอนการสกัดสาร

3.3 การสร้างสกรีน-พรีนที่ใช้ในการศึกษาเคมีไฟฟ้า

- 3.3.1 การเตรียมแผ่น PVC
- 3.3.2 การสร้างสกรีน-พรีน

3.4 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

3.5 การดำเนินงานวิจัย

3.5.1 การตรวจวัดโดยใช้เทคนิค HPLC

3.5.2 การศึกษาไซคลิกโวลแทมเมทรี

- 3.5.2.1 การศึกษากระแสพื้น
- 3.5.2.2 การศึกษา pH ที่เหมาะสม
- 3.5.2.3 การศึกษา scan rate ที่เหมาะสม
- 3.5.2.4 การศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง
- 3.5.2.5 การศึกษาไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่าง
- 3.5.2.6 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดที่วัดได้
- 3.5.2.7 การศึกษาความเที่ยง

3.5.3 การตรวจวัดโดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรี

- 3.5.3.1 การตรวจวัดโดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรี
- 3.5.3.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรีในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง
- 3.5.3.3 การศึกษาค่าวิเคราะห์การคืนกลับ

3.5.4 ตารางแสดงผลเปรียบเทียบการวิเคราะห์อัลฟา-แมงโกสตินในเทคนิค HPLC และ

โวลแทมเมทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องตรวจวัดพี-เอช รุ่น Metrohm 654 (Metrohm, Herisau, Switzerland)
2. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ รุ่น BP 210 D (Sartorius, Germany)
3. Autolab PGSTAT 20 รุ่น Metrohm, Switzerland
4. เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวแบบสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatography : HPLC)
 - 4.1 Pump: รุ่น HPLC pump
 - 4.2 Detector: รุ่น Water 486 Tunable Absorbance Detector
 - 4.3 Program: รุ่น Millennium
5. ฝ้ายกรีน 140T
6. แผ่นพีวีซีสับสเตรท
7. กาวซิลิโคน
8. เพรสกรีนอะลูมิเนียม 16×20 นิ้ว (ขอบไม)
9. เครื่อง Vortex
10. เครื่อง Sonicate

3.1.2 สารเคมี

1. อัลฟา-แมงโกสทิน ความบริสุทธิ์ 99.99% (Faculty of Pharmacy, Mahidol University)
2. เอทานอล ความบริสุทธิ์ 99.5% เกรดวิเคราะห์ (Fisher Scientific, England)
3. เมทานอล ความบริสุทธิ์ 99.5% เกรดวิเคราะห์ (Fisher Scientific, England)
4. อะซีโตนความบริสุทธิ์ 99.5% เกรดวิเคราะห์ (Fisher Scientific, England)
5. อะซีโตนไฮดรอกไซด์ความบริสุทธิ์ 99.5% เกรดวิเคราะห์ (Fisher Scientific, England)
6. หมึกคาร์บอน (Acheson, USA)
7. หมึกซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์ (Acheson, USA)
8. หมึกซิลเวอร์ (Acheson, USA)
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH)
10. ไดโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Di-potassium hydrogenphosphate; K_2HPO_4) 98% (w/w) (CARLO ERBA, Italia)
11. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (Potassium dihydrogenphosphate; KH_2PO_4) 99.5% (w/w) (BDH, UK)
12. แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen gas; N_2) 99.999% (v/v) (TIG, Thailand)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การสกัดสารแซนโทนจากเปลือกมังคุด [21]

3.2.1 การอบและการชั่งน้ำหนักเปลือกมังคุด

นำมังคุดที่ซื้อจากตลาดมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ และป็นด้วยเครื่องปั่นจนแตกละเอียด แล้วทำการชั่งน้ำหนักก่อนนำไปอบ แล้วทำการอบที่อุณหภูมิประมาณ 55 องศาเซลเซียสจนกระทั่งน้ำหนักเปลือกมังคุดคงที่ และนำไปชั่งน้ำหนักหลังอบ โดยน้ำหนักเปลือกมังคุดที่ใช้ในการสกัดแสดงในตารางตารางก.1 ภาคผนวก ก

3.2.2 ขั้นตอนการสกัดสาร

1. นำตัวอย่างที่เป็นผงมาประมาณ 0.1-0.2 g ซึ่งแสดงผลการชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ดังแสดงในตาราง ก.2 ภาคผนวก ก.1 แล้วใส่ใน centrifuge tube
2. เติมอะซิโตน 3 mL (ใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัด)
3. นำไปเข้าเครื่อง Vortex เพื่อให้สารละลายกลายเป็นเนื้อเดียวกัน
4. นำไปเข้าเครื่อง sonicate ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที
5. นำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อให้สารแยกชั้นจากนั้นนำ supernatant ที่ได้ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 mL
6. แล้วทำการทดลองซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ชุดท้ายปรับปริมาตรด้วยอะซิโตน
7. ทำการทดลองซ้ำ ตั้งแต่ข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนตัวทำละลายเป็นอะซิโตนไทรล์, เมทานอลและเอทานอลตามลำดับโดยที่แต่ละตัวทำละลายทำซ้ำ 3 ครั้ง โดยสภาวะต่างๆที่ใช้ในการสกัดแสดงในตาราง ข.2 ภาคผนวก ข
8. ทำการทดลองซ้ำ ตั้งแต่ข้อ 1-4 แต่เปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการ sonicate เป็น 20, 25 และ 30 นาทีตามลำดับ

3.3 การสร้างสกรีน-พริ้นท์

3.3.1 การเตรียมแผ่น PVC

นำแผ่น PVC ความหนา 0.4 มิลลิเมตรที่เตรียมมาตัดให้ได้ขนาดกว้าง 18 ซม. และยาว 48 ซม.

3.3.2 การสร้างขั้วไฟฟ้าสกรีน-พริ้นท์

ออกแบบลายสกรีนซึ่งเป็นการกำหนดขนาดตำแหน่งและรูปร่างของขั้วไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Corel Draw Version 12 และโปรแกรม Adobe Illustrator Creative Suit 2 ซึ่งลายสกรีนจะประกอบด้วยชั้นทั้งหมด 4 ชั้น เรียงลำดับจากชั้นล่างสุด คือ

1. ลายแถบการนำไฟฟ้า (Conducting track)
2. ลายขั้วไฟฟ้าอ้างอิง
3. ลายขั้วไฟฟ้าใช้งาน และจุดตรวจ
4. ลายฉนวนไฟฟ้า (Insulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.3.2.1 นำแบบที่ได้ไปเตรียมเฟรมสกรีน โดยพิมพ์แม่พิมพ์โดยวิธีกาอัดจากนั้นจึงนำสกรีนที่พิมพ์แม่พิมพ์แล้วลงบนกรอบอะลูมิเนียม
- 3.3.2.2 ทำการสกรีนลายแถบการนำไฟฟ้าด้วยหมึกซิลเวอร์บนแผ่นพีวีซี นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายที่อยู่ในหมึกซิลเวอร์
- 3.3.2.3 ทำการสกรีนขั้วไฟฟ้าใช้งาน และจุดตรวจวัดด้วยหมึกคาร์บอนนำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายที่อยู่ในหมึกคาร์บอน
- 3.3.2.4 ทำการสกรีนขั้วไฟฟ้าอ้างอิงด้วยหมึกซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายที่อยู่ในหมึกซิลเวอร์/ซิลเวอร์คลอไรด์
- 3.3.2.5 ทำการสกรีนลายฉนวนไฟฟ้าด้วยสีน้ำมัน นำไปอบที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายที่อยู่ในสีน้ำมัน

ลายแบบสกรีนทั้ง 4 แบบที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงสกรีน-พริ้นท์ที่เตรียมได้

3.4 การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

เตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 5-8 เพื่อใช้ศึกษาหา pH ที่เหมาะสมของสารอัลฟา-แมงโกสทินแสดงในภาคผนวก ค ในหัวข้อ ค.1 และตาราง ค.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การดำเนินการวิจัย

3.5.1 การตรวจวัดโดยใช้เทคนิค HPLC

3.5.1.1 การเตรียมสารละลายเฟสเคลื่อนที่

เตรียมสารละลายเฟสเคลื่อนที่ผสมระหว่างเมทานอล HPLC grade และน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 95 : 5 (v/v) กรองด้วยกระดาษกรองเมมเบรนที่มีความละเอียด 0.45 ไมครอนและทำการไล่แก๊สโดยการเขย่าด้วยเครื่อง ultrasonic bath เป็นเวลา 30 นาที

3.5.1.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน

เตรียมสารมาตรฐานเข้มข้น 25, 50, 75, 100, และ 125 ppm แสดงดังแสดงภาคผนวก ก หัวข้อ ก.3 และ ก.4

3.5.1.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสติน

นำสารตัวอย่างที่ผ่านขั้นตอนการสกัดในข้อ 3.2.2 มาฉีดเข้าเครื่อง HPLC โดยใช้ปริมาตรที่ฉีด 10 μ L โดยใช้สภาวะในการทดลองดังแสดงในภาคผนวก ข.2

3.5.1.4 การศึกษาการตอบสนองความเป็นเส้นตรง (Linearity)

นำข้อมูลตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมกราฟมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Relative coefficient) R^2 โดยใช้สารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินที่มีความเข้มข้น 25-125 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) ที่ pH 7.00 scan rate ที่ใช้ในการศึกษาคือ 50 mV/s แล้วพลอตกราฟระหว่างความเข้มข้นของสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินกับค่ากระแสที่วัดได้จากหัวฟ้าสกรีน-พริ้นท์

3.5.1.5 การตรวจวัดปริมาณอัลฟา-แมงโกสตินในสารละลายตัวอย่าง

1. นำสารละลายที่สกัดได้ 10 μ L ฉีดเข้าเครื่อง HPLC ที่มีสภาวะแสดงดังข้อ 3.5.1.3 โดยแต่ละตัวอย่างทำการตรวจวัดซ้ำ 3 ครั้ง
2. นำพื้นที่ใต้พีคเฉลี่ยของอัลฟา-แมงโกสตินมาเทียบหาความเข้มข้นจากสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน

3.5.1.6 การศึกษาค่าการคืนกลับ (% Recovery) โดยการทำ Spiked sample

การคำนวณค่า % Recovery ของการวิเคราะห์อัลฟา-แมงโกสตินโดยใช้เทคนิค HPLC นำสารสกัดตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสติน 0.0257 g ละลายด้วยตัวทำละลายเอทานอล โดยนำไปกรองโดยใช้กระดาษกรอง 0.45 ไมครอน ปรับจนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 5 ml 2 ขวด ขวดแรกเติมสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน 100 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตร 3 ml ลงไปในสารละลายตัวอย่าง ขวดที่สองเป็นขวดที่ไม่เติมสารมาตรฐานลงไป แล้วนำสารทั้ง 2 ขวดไปฉีดเข้า HPLC เพื่อคำนวณค่าการคืนกลับ (% Recovery)

3.5.2 การศึกษาไซคลิกโวลแทมเมทรี

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาของสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี โดยวัดกระแสไฟฟ้าเทียบกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ระบบด้วยเครื่องควบคุมศักย์ไฟฟ้าและวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า Autolab PGSTAT 20 ช่วงของศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาในเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีของอัลฟา-แมงโกสตินคือ -1.50 ถึง +2.00 V เมื่อเทียบกับศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าอ้างอิงชนิด Ag/AgCl โดยมีสภาวะที่ใช้ในการทดลองดังนี้

Pretreatment

First conditioning potential (r) : 0

Duration (s) : 0

Equilibration time (s) : 5

Measurement

Number of scan : 1

Cell off after measurement :

Standby potential : 0

Potential

Define start potential w.r.t. OCP :

Start potential (V) : -1.50

First vertex potential (V) : +2.00

Second vertex potential (V) : +2.00

Step potential (V) : 0.00244

Scan rate (V/s) : 0.005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.1 การศึกษากระแสพื้น

การศึกษากระแสพื้นในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.10 M ในตัวทำละลายเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00 โดยใช้ scan rate 50 (mV/sec) โดยจะเปรียบเทียบกับปริมาณกระแสพื้นที่วัดจากขั้วไฟฟ้าทำงานคือ ขั้วสกรีน-พรีนที่อเล็กโทรด

3.5.2.2 การศึกษา pH ที่เหมาะสม

การศึกษา pH ที่เหมาะสมจะศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากขั้วสกรีน-พรีนที่อเล็กโทรดของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้สภาวะในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการศึกษา pH ที่เหมาะสม

สารละลายอัลฟา-แมงโกสทิน			
pH	ความเข้มข้น (ppm)	scan rate (mV/sec)	ความเข้มข้นของฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (M) ใน 30% เมทานอล (v/v)
5	100	50	0.01
6	100	50	0.01
7	100	50	0.01
8	100	50	0.01

1. ทำการชั่งน้ำหนักโคโพลีเมอร์ไฮโดรเจนฟอสเฟตมา 0.8709 กรัม
2. ชั่งน้ำหนักโพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตมา 0.68045 กรัม
3. นำสารในข้อที่ 1 และ 2 ผสมกันแล้วปรับปริมาตรด้วย 30% เมทานอล (v/v) จนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 500 ml
4. แบ่งสารจากขวดวัดปริมาตรลงในบีกเกอร์ขนาดเล็กลง 4 บีกเกอร์แล้วทำการปรับ pH ตามต้องการ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดไฮโดรคลอริก
5. จากนั้นนำมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน 10 μ l แล้วทำการปรับปริมาตรโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมที่ pH ต่างๆ จนได้ปริมาตรสุดท้ายเป็น 10 ml
6. นำสารที่เตรียมในข้อ 5 ไปทำการทดสอบโดยการวัดซ้ำ 3 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.3 การศึกษา scan rate ที่เหมาะสม

การศึกษา scan rate ที่เหมาะสมโดยจะเปรียบเทียบปริมาณกระแสที่วัดได้กับค่า scan rate ที่ให้แก่วัสดุไฟฟ้าทำงานของสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยสภาวะที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงสภาวะที่ใช้ในการศึกษา Scan Rate ที่เหมาะสม

สารละลายอัลฟา-แมงโกสทิน			
pH	ความเข้มข้น (ppm)	scan rate (mV/sec)	ความเข้มข้นของฟอสเฟตบัพเฟอร์(M) ใน 30% เมทานอล (v/v)
7	100	10	0.01
7	100	25	0.01
7	100	50	0.01
7	100	100	0.01

3.5.2.4 การศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง

การศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของสารละลายอัลฟา-แมงโกสทิน จะศึกษาโดยการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้กับความเข้มข้นของสารมาตรฐาน ซึ่งจะใช้สภาวะในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงสภาวะที่ใช้ในการศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง

สารละลายอัลฟา-แมงโกสทิน			
pH	ความเข้มข้น (ppm)	scan rate (mV/sec)	ความเข้มข้นของฟอสเฟตบัพเฟอร์(M) ใน 30% เมทานอล (v/v)
7	25	50	0.01
7	50	50	0.01
7	100	50	0.01
7	125	50	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2.5 การศึกษาไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายตัวอย่าง

ทำการศึกษาไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายตัวอย่างโดยนำตัวอย่างที่สกัดออกมาได้นำไปวัดกระแสไฟฟ้า โดยใช้สภาวะดังนี้

-สารละลายตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทิน ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ในตัวทำละลายเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00 โดยใช้ scan rate 50 (mV/sec)

3.5.2.6 การหาขีดจำกัดของการวิเคราะห์

การหาขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Detection Limit) จะเป็นการศึกษาปริมาณของอัลฟา-แมงโกสทินที่น้อยที่สุดที่จะสามารถวิเคราะห์หาได้โดยอาศัยกราฟมาตรฐานในข้อ 3.5.2.3 เพื่อหาความเข้มข้นของอัลฟา-แมงโกสทิน

3.5.2.7 การศึกษาความเที่ยง

การศึกษาคความเที่ยงในการวิเคราะห์สามารถทำได้โดยใช้สารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 100 ppm มาผสมในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00 โดยมีการให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง คือ -1.50 ถึง +2.00 V เมื่อเทียบกับศักย์ไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าอ้างอิงชนิด Ag/AgCl โดยใช้ scan rate ในการศึกษา 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่เสถียรที่กระแสไฟฟ้าที่ได้แล้วทำซ้ำ 10 ซ้ำ จากนั้นนำไปคำนวณค่า %RSD (Relative Standard Deviation)

3.5.3 การตรวจวัดโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าแอมเพอโรเมตรี

3.5.3.1 การตรวจวัดโดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมตรี

เป็นการตรวจวัดในเทคนิคแอมเพอโรเมตรี โดยวัดปริมาณกระแสที่ได้จากขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่เสถียรที่กระแสไฟฟ้าที่ได้ศึกษาจากเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีคือที่ศักย์ +1.207 V ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ในตัวทำละลายเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00 โดยใช้ scan rate 50 (mV/sec)

3.5.3.2 การประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาปริมาณอัลฟา-แมงโกสทินจากตัวอย่างเปลือกมังคุดที่สกัดได้จะวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแอมเพอโรเมตรี โดยสามารถที่จะหาปริมาณอัลฟา-แมงโกสทินในตัวอย่างได้โดยเทคนิคการเติมสารละลายมาตรฐาน (standard addition method) โดยให้นำตัวอย่างสารอัลฟา-แมงโกสทิน 0.0250 g มาละลายโดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00 (ภาคผนวก ค) นำสารละลายที่ได้มาปรับปริมาตรให้เป็น 25 ml ในขวดวัดปริมาตร นำสารตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทินมาปริมาณ 25 μ l แล้วใส่ลงใน cell ที่มีการปั่นกววนตลอดเวลา จากนั้นเติมสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ในชื่อของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินที่มีความเข้มข้น 100, 125, 150, 200 ppm ลงไปในตัวอย่างเดียวกัน โดยในแต่ละความเข้มข้นจะเติมลงไปปริมาณ 25 μ l เพื่อตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่ +1.207 V ซึ่งจะปรากฏแอมเพอโรแกรมที่มีลักษณะเป็นขั้นบันไดที่สูงขึ้นตามความเข้มข้นที่เติมลงในตัวอย่าง แล้วทำการพลอตกราฟระหว่างค่าความเข้มข้นของสารมาตรฐานที่เติมเข้าไปกับค่ากระแสไฟฟ้าเพื่อจะไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารตัวอย่างได้ต่อไป

3.5.3.3 การหาขีดจำกัดในการวิเคราะห์

การหาขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Detection Limit) จะเป็นการศึกษาปริมาณของอัลฟา-แมงโกสทินที่น้อยที่สุดที่สามารถวิเคราะห์หาได้ โดยอาศัยกราฟมาตรฐานในข้อ 3.6.3.2 เพื่อหาความเข้มข้นของอัลฟา-แมงโกสทิน

3.5.3.5 การวิเคราะห์ค่าการคืนกลับ

การคำนวณหา %Recovery ของการวิเคราะห์อัลฟา-แมงโกสทินโดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรี นำสารสกัดตัวอย่าง 0.0257 g มาละลายโดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00 (ภาคผนวก ค) นำสารละลายที่ได้มาปรับปริมาตรให้เป็น 25 ml ในขวดวัดปริมาตร นำสารตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทินมาปริมาณ 25 μ l แล้วใส่ลงใน ceH ที่มีการปั่นกววนตลอดเวลา จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินที่มีความเข้มข้น 100-200 ppm ลงไปในตัวอย่างเดียวกัน ซึ่งจะปรากฏ แอมเพอโรแกรมที่มีลักษณะเป็นขั้นบันไดที่สูงขึ้นตามความเข้มข้นที่เติมลงในตัวอย่าง เพื่อใช้คำนวณหาค่าการคืนกลับ (% Recovery)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 การตรวจวัดโดยใช้เทคนิค HPLC

4.1.1 การหาพีคเอกลักษณ์ของสารอัลฟา-แมงโกสติน

การหาพีคเอกลักษณ์ของสารอัลฟา-แมงโกสตินทำได้โดยการเปรียบเทียบพีคของสารมาตรฐานกับพีคของสารตัวอย่าง ซึ่งแสดงผลโครมาโทแกรมดังภาคผนวก ง. และ Retention time ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่าง ผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Retention time ของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินและสารตัวอย่าง

ตัวทำละลาย	Retention time (min)	
	Standard	Sample
เอทานอล	6.201	6.228
เมทานอล	6.286	6.393
อะซิโตน	6.289	6.275
อะซิโตนไนไตรล์	6.049	6.540

4.1.2 การวิเคราะห์หาความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน

การวิเคราะห์หาความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน ทำได้โดยการฉีดสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินที่มีความเข้มข้นต่างกัน แล้วนำค่าพื้นที่ใต้พีคที่ได้ ซึ่งแสดงผลดังภาคผนวก จ มาหาค่าเฉลี่ยแล้วนำมาพลอตกับความเข้มข้นของสารมาตรฐานซึ่งกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินในตัวทำละลายที่ต่างกัน ผลแสดงดังภาคผนวก ฉ และผลโครมาโทแกรมที่ได้ของแต่ละตัวทำละลายคือ เอทานอล, เมทานอล, อะซิโตน และอะซิโตนไนไตรล์ แสดงใน ภาคผนวก ง

4.1.3 การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารตัวอย่าง

การวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารตัวอย่างทำได้โดยการนำพื้นที่ใต้พีค (ภาคผนวก จ แสดงพื้นที่ใต้พีคของสารตัวอย่างในตัวทำละลายและเวลาที่ใช้ในการ sonicate ที่แตกต่างกัน) ซึ่งพื้นที่ใต้พีคที่ได้นี้สามารถนำมาหาความสัมพันธ์กับสมการเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินสุดท้ายจะให้ความเข้มข้นของสารตัวอย่างผลแสดงดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของสมการความเป็นเส้นตรง

Solvent	Equation	R ²	ความเข้มข้นของตัวอย่างจากกราฟ (ppm)			
			1	2	3	4
เอทานอล	$y = 29630x - 80187$	0.9980	120.96	120.43	121.18	120.85
เมทานอล	$y = 29265x + 14948$	0.9932	117.27	118.67	117.76	116.56
อะซีโตน	$y = 20327x + 30916$	0.9695	95.74	97.32	96.56	98.65
อะซีโตนไนไตรล์	$y = 26415x + 278783$	0.9283	61.62	61.52	61.25	61.65

จากตารางที่ 4.2 นำความเข้มข้นที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นที่แท้จริงของตัวอย่าง ซึ่งความเข้มข้นที่แท้จริงนั้นคำนวณย้อนกลับไปหาความเข้มข้นที่แท้จริงที่เราปรับปริมาตรเป็น 10 mL เพื่อหาปริมาณอัลฟา-แมงโกสตินในเปลือกมังคุด 200 mg ดังแสดงตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลความเข้มข้นเฉลี่ยและความเข้มข้นที่แท้จริงของสารตัวอย่าง

Solvent	Equation	R ²	ความเข้มข้น เฉลี่ย±SD (ppm)	%R.S.D	ปริมาณที่ แท้จริง (mg)
เอทานอล	$y = 29630x - 80187$	0.9980	120.86±0.31	0.26	1.21
เมทานอล	$y = 29265x + 14948$	0.9932	117.56±0.89	0.76	1.18
อะซีโตน	$y = 20327x + 30916$	0.9695	97.07±1.24	1.28	0.97
อะซีโตนไนไตรล์	$y = 26415x + 278783$	0.9283	61.51±0.18	0.29	0.62

4.1.4 แผนการทดลองสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design = RCB)

การทำแผนการทดลอง RCB นี้เพื่อเป็นการหาเวลาที่ใช้ในการ Sonicate ในตัวทำละลายที่ต่างกัน 4 ชนิดคือ เอทานอล, เมทานอล, อะซีโตนและ อะซีโตนไนไตรล์ Treatment (t) = 4 และ Block = 4 (เวลาที่ใช้ในการ sonicate คือ 15, 20, 25 และ 30 นาที) ซึ่งวิธีการคำนวณแสดงดังภาคผนวก ข และผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการคำนวณของแผนการทดลองสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCB)

Source of Variation	Degree of freedom	Sum of Square	Mean Square	F-ratio	F-table	
					0.05	0.01
Block	3	0.86	0.287	0.3979	3.86	6.99
Treatment	3	8925	2975	4131.44**	3.86	6.99
Error	9	6.481	0.72			
Total	15	8932				

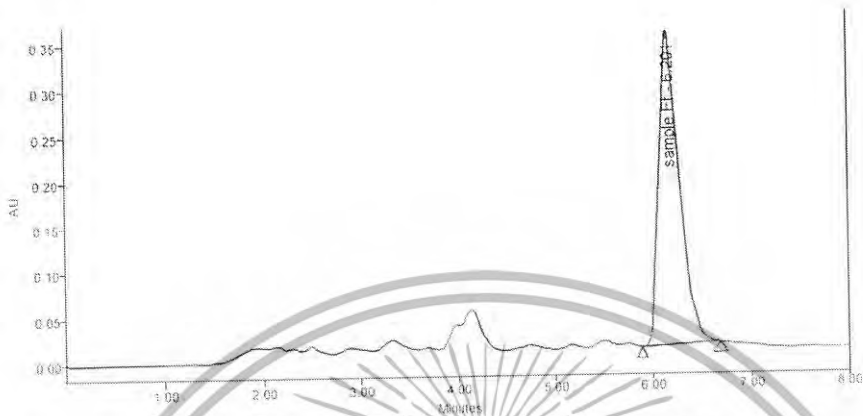
** แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99%

จากผลของแผนการทดลอง RCB ทำให้ทราบว่าเวลาที่ใช้ในการ sonicate ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 1% ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% นั่นคือ เวลาที่ใช้ในการ sonicate ไม่มีผลต่อการทดลองที่จะทำให้สกัดได้สารออกมามากขึ้นและทำให้ทราบว่าตัวทำละลายแต่ละชนิดที่ใช้นั้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 1% ที่ระดับความเชื่อมั่น 99% นั่นคือตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองมีผลกับสารอัลฟา-แมงโกสตินซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่ 4.3 ที่ตัวทำละลายเอทานอลจะให้ความเข้มข้นของสารตัวอย่างมากที่สุด

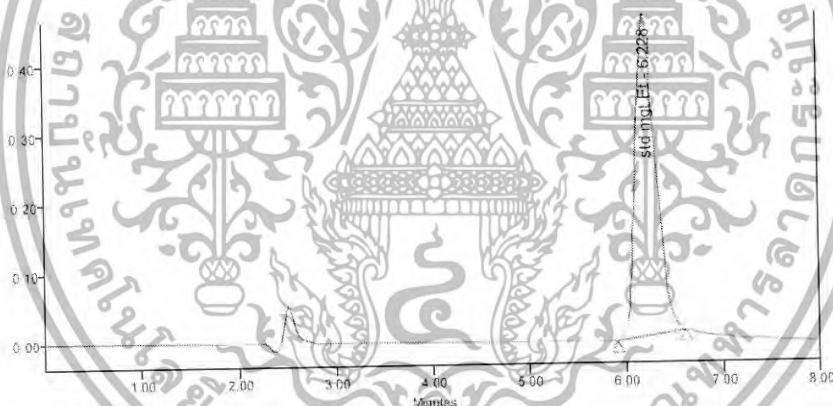
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 การวิเคราะห์หาค่าการคืนกลับ (%Recovery) โดยการทำให้ Spiked sample

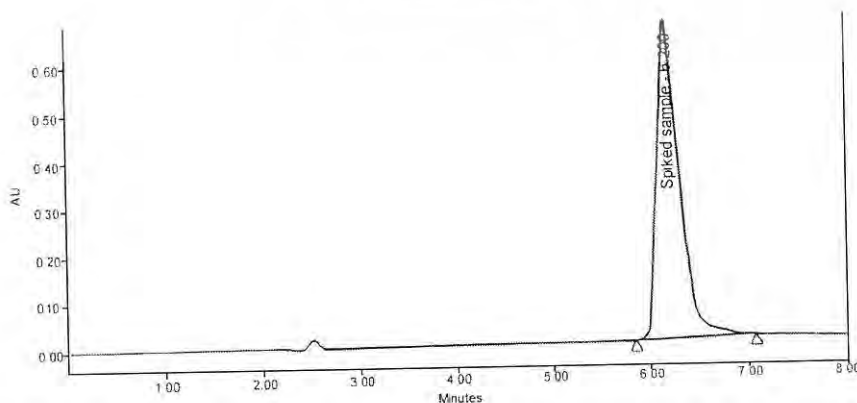
การวิเคราะห์หาค่าการคืนกลับ (%Recovery) โดยการทำให้ Spiked sample ซึ่งหาได้จากการนำพื้นที่ใต้พีคของ Spiked sample ที่ได้มาคำนวณหาความเข้มข้น



รูปที่ 4.1 โครมาโทแกรมของสารละลายตัวอย่าง โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ 4.2 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 4.3 โครมาโทแกรมของ Spiked sample (ตัวอย่าง + สารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการอ้างอิงเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการคำนวณค่าการวิเคราะห์การคืนกลับ (%Recovery)

Type	Peak area	ความเข้มข้น (ppm)
Sample	2718444	221.75
Standard	3630090	225.00
Spiked sample	6594138	414.46
%Recovery		85.65 %

จากรูป 4.1-4.3 แสดงให้เห็นว่าพีคที่ปรากฏในตัวอย่างนั้นคือ อัลฟา-แมงโกสตินจริงเนื่องจากมีพื้นที่พีคเพิ่มขึ้นปรากฏในตารางที่ 4.5

จากตารางที่ 4.5 ได้แสดงผลการคำนวณค่าการคืนกลับ (%Recovery) โดยที่สูตรวิธีการคำนวณ ได้แสดงผลดังภาคผนวก ฉ ซึ่งได้ค่าเท่ากับ 85.65 % เปรียบเทียบกับ Xiuhong Ji et. al. (2006) ที่ใช้ เทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยมี Photodiode Array เป็น Detector (LC-PDA) โดยที่ได้ค่า %Recovery อยู่ในช่วง 96.58% - 113.45% ซึ่งค่าในงานวิจัยนี้มีค่าที่ต่ำกว่าช่วงที่ Xiuhong Ji et. al. (2006) ทดลองได้ เนื่องจากงานวิจัยของ Xiuhong Ji et. al. (2006) ได้ใช้ Photodiode Array เป็น Detector ที่สามารถวิเคราะห์ได้หลายความยาวคลื่นในเวลาเดียวกันและได้มีการทำ gradient elution ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของ mobile phase ได้ ทำให้มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์มากขึ้น

4.2 การเตรียมสกรีน-พรีนัท

4.2.1 สภาวะที่ใช้เตรียมสกรีน-พรีนัท

สภาวะที่ใช้เตรียมสกรีน-พรีนัท มีดังนี้

ความดัน	1 บรรยากาศ
อุณหภูมิในการเตรียม	25 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิในการอบ	60 องศาเซลเซียส

4.2.2 ขนาดและลักษณะของสกรีน-พรีนัท

ขนาดของสกรีน-พรีนัท ที่เตรียมได้มีความยาว 3 เซนติเมตร กว้าง 2 เซนติเมตร

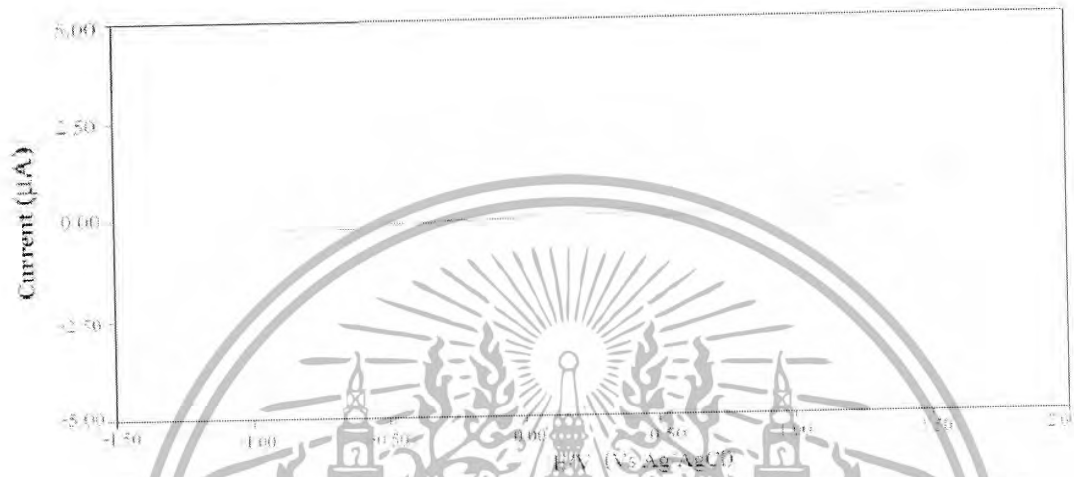
หนา 0.4 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ไชคลิกโวลแทมเมตรี

4.3.1 การศึกษากระแสพื้น

ผลการทดลองการศึกษากระแสพื้นของขั้วไฟฟ้าสกรีน-พริ้นท์อเล็กโทด โดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมแสดงในรูปที่ 4.4 (ภาคผนวก ญ)



รูปที่ 4.4 แสดง ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01M

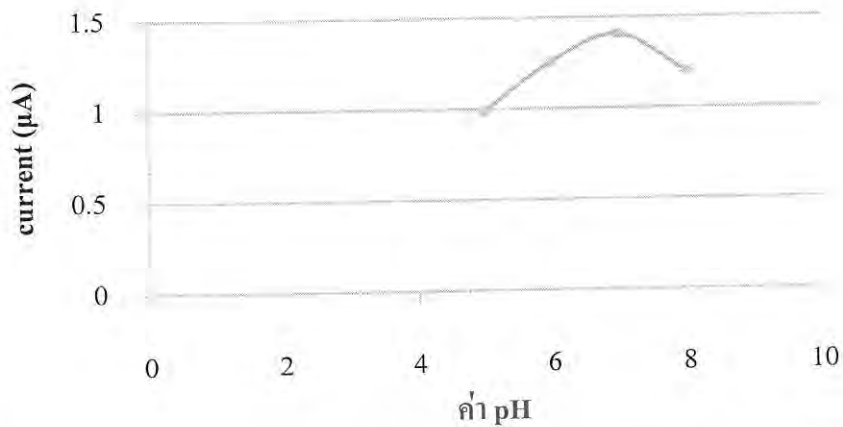
ในเมทานอล 30% (v/v) pH 7.00 โดยใช้ scan rate 50 mV/s

หมายเหตุ กระแสของ blank ที่วัดได้มาจากการหักลบของกระแสที่ +1.207 V

4.3.2 การศึกษา pH ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์

ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินที่ความเข้มข้น 100 ppm ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 5.00, 6.00, 7.00 และ 8.00 (ไชคลิกโวลแทมโมแกรม ดังแสดงในภาคผนวก ฎ) และเมื่อพลอตค่า pH เทียบกับปริมาณกระแสไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อ pH สูงขึ้น ปริมาณกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงสุดที่ pH 7.00 และปริมาณกระแสไฟฟ้าก็จะลดลงที่ pH 8.00 ดังนั้นที่ pH 7.00 จะเป็น pH ที่เหมาะสมที่สุดที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินจึงสรุปได้ว่าสถานะที่ดีที่สุดที่จะทำให้ปริมาณกระแสสูงสุดกว่า pH อื่น ๆ คือ สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่ pH 7.00 เราจึงใช้สารละลายอัลฟา-แมงโกสตินที่ pH 7 ในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่า pH และ ค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายอัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 100 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH ต่างๆ โดยใช้ scan rate 50 mV/s

4.3.3 การศึกษา scan rate ที่เหมาะสม [22]

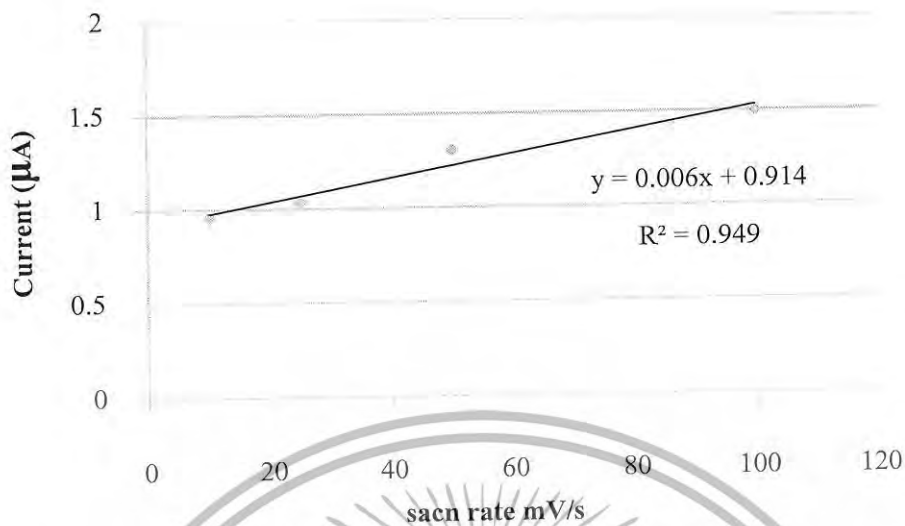
ผลการศึกษา scan rate ที่เหมาะสมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 75 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) และช่วง scan rate ที่ใช้ศึกษาคือ 25 – 100 mV/s

เมื่อนำค่า scan rate ที่ให้แก่วัไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่มาพลอตกับค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมดังแสดงในรูป 4.6 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตาม scan rate ในลักษณะเป็นเส้นโค้ง (รูปดังแสดงในภาคผนวก ก) และเมื่อพลอตค่ากระแสไฟฟ้ากับค่า scan rate^{1/2} ดังแสดงในรูป 4.7 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามค่า scan rate ในลักษณะเป็นเส้นตรง โดยมีค่า R² เท่ากับ 0.9700 ของขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าที่มีอัลฟา-แมงโกสทินที่ตรึงอยู่บนผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าพบว่าสารอัลฟา-แมงโกสทินให้กระแสที่เกิดจากกระบวนการ diffusion control โดยเห็นได้จากสมการ [23]

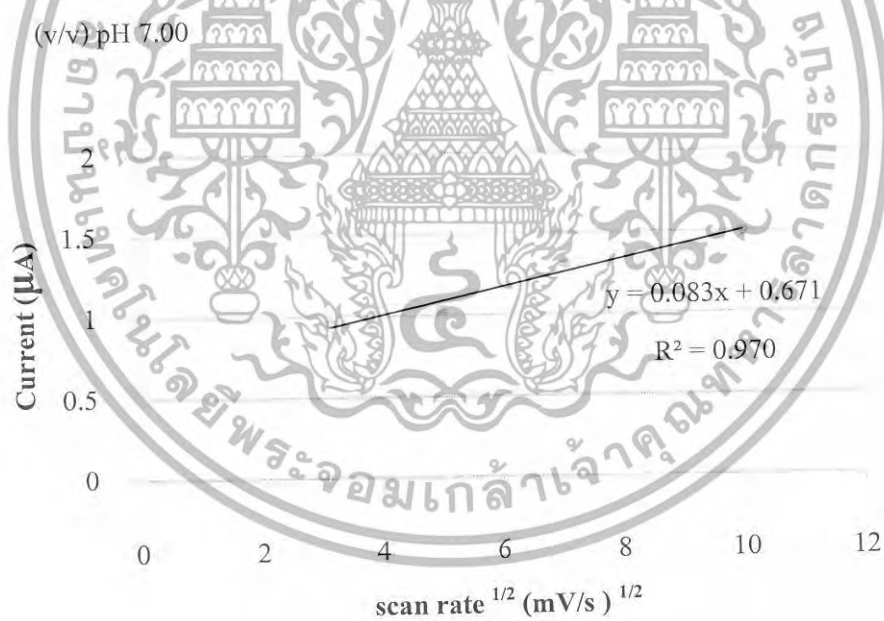
$$i_p = 2.99 \times 10^5 n(\alpha n_s)^{1/2} ACD^{1/2} V^{1/2}$$

ในการทดลองนี้เป็นกระบวนการ diffusion control ที่เกิดบนผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าเมื่อมีสารตัวอย่างอยู่ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ปฏิกริยาที่เกิดคือ diffusion-control คือเมื่อนำอัตราการ scan rate^{1/2} มาเขียนกราฟกับกระแส (i_p) จะให้พิกที่เป็นเส้นตรงดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการวิเคราะห์อัลฟา-แมงโกสทินโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า สามารถใช้ค่า scan rate ในช่วง 50-100 mV/s เพราะว่าจะให้กระแสที่ชัดเจนในการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการพลอตค่า scan rate (10-100 mV/s) กับค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่ในสารละลายอัลฟา-เมงโกสดีนความเข้มข้น 100 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) pH 7.00

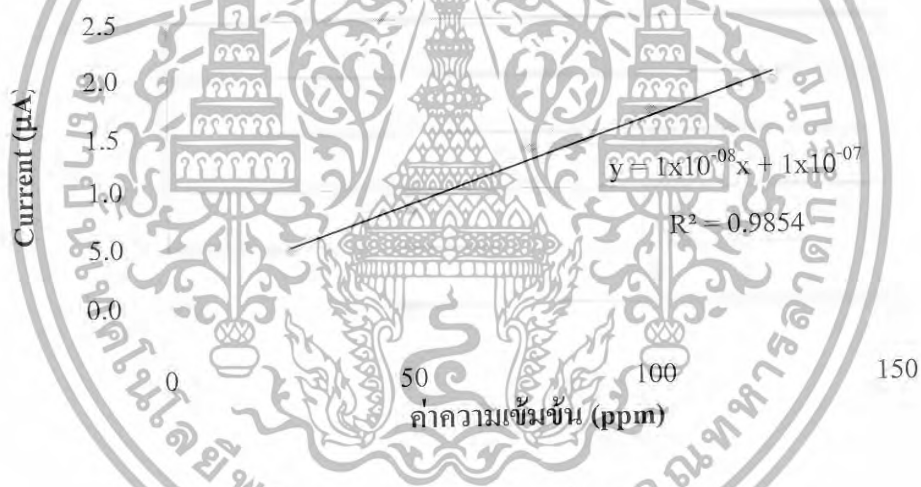


รูปที่ 4.7 พลอตค่า scan rate ^{1/2} (10-100(mV/s)^{1/2}) กับค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่ ในสารละลายอัลฟา-เมงโกสดีนความเข้มข้น 100 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) pH 7.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 การศึกษาช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง

พบว่าเมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนทีจะมีความเป็นเส้นตรงคือ 25-125 ppm โดยมีค่า R^2 เท่ากับ 0.9854 ดังแสดงในรูป 4.8 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมแสดงใน ภาคผนวก ฐ ผลการศึกษาความเข้มข้นต่างๆของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินที่ความเข้มข้น 25, 50, 75, 100, 125 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00 โดยใช้ scan rate 50 mV/s พบว่าที่ความเข้มข้นของสารมากขึ้นจะมีแนวโน้มค่าปริมาณกระแสที่เกิดขึ้นตามลำดับดังแสดงในตารางที่ ฐ.1 (ภาคผนวก ฐ) ดังนั้นถ้าสารมีความเข้มข้นมาก ๆ จะทำให้การเกิดปฏิกิริยาบนหน้าขั้วของขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนทีดีขึ้นผลการศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงโดยเทคนิคไชคลิก-โวลแทมเมตรีด้วยขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00 โดยใช้ scan rate 50 mV/s พบว่าเมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนทีจะมีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ 25 – 125 ppm โดยมีค่า $R^2 = 0.9854$ ดังแสดงในรูป 4.8 และพบว่าค่าความเข้มข้นของอัลฟา-แมงโกสทินเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าเกิดการเลื่อนในทิศทางที่เป็นบวกมากขึ้นจาก 1.203-1.208 V ดังแสดงในรูป 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าความเข้มข้น (25 – 125 ppm) กับค่ากระแสไฟฟ้า (μA) ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00 โดยใช้ scan rate 50 mV/s

4.3.5 การศึกษาไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่าง

ผลการศึกษาไชคลิกโวลแทมโมแกรมโดยไชคลิกโวลแทมโมแกรมแสดงดังภาคผนวก ฑ พบว่าที่ศักย์ไฟฟ้า +1.207 V เป็นศักย์ไฟฟ้าที่ใช้ศึกษาสารอัลฟา-แมงโกสทินเพราะเมื่อเทียบกับไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารมาตรฐานแล้วพบว่าเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าเดียวกัน ดังนั้นเราจะใช้ค่าศักย์ไฟฟ้า +1.207 V ในการศึกษาในเทคนิคแอมเพอโรเมทรีต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดที่วัดได้ (Limit of Detection, LOD)

การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดในการวัด พิจารณาได้จากสมการของความเป็นเส้นตรง ซึ่งได้ดังนี้

$$Y = 1 \times 10^{-8} X + 1 \times 10^{-7}$$

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ background current

จำนวนครั้งที่วัด	ค่ากระแส blank ที่วัดได้ (μA)
1	0.245
2	0.213
3	0.236
4	0.244
5	0.253
6	0.247
7	0.253
8	0.225
9	0.269
10	0.249
เฉลี่ย	0.243
SD	0.016
3SD	0.048

จากตารางจะนำค่า 3SD ของ background current ไปคำนวณหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (วิธีการคำนวณดังแสดงในภาคผนวก ต) ดังนั้นขีดจำกัดของการตรวจวัดต่ำสุดที่จะสามารถตรวจวัดได้และมีความถูกต้องแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต้องมีค่าเท่ากับ 4.799 ppm

4.3.7 การศึกษาความเที่ยง

ความเที่ยงในการวิเคราะห์จากค่า repeatability พิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และสัมประสิทธิ์การแปรผัน (%RSD) ของการวัด 10 ซ้ำของสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน (ดังแสดงในภาคผนวก ฉ) ที่ความเข้มข้น 75 ppm พบว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.014 และค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันคือ 1.047 % ซึ่งค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

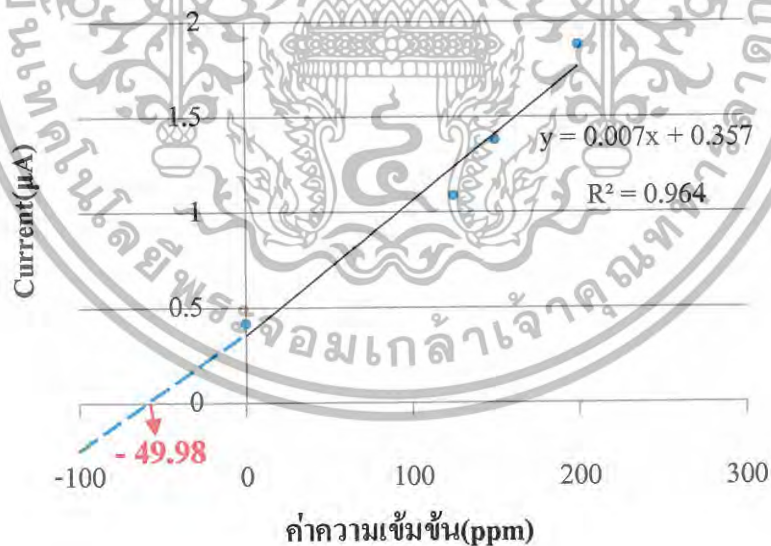
4.4 การตรวจวัดโดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรี

4.4.1 การตรวจวัดโดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรี

จากการตรวจวัดสารละลายอัลฟา-แมงโกสทินเข้มข้น 100-200 ppm ในฟอสเฟตบัพเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) pH 7.00 ด้วยเทคนิคแอมเพอโรเมทรี ศักย์ไฟฟ้าคงที่ +1.207 V (แอมเพอโรแกรมดังแสดงในภาคผนวก ค) พบว่าเมื่อมีการเติมสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินลงไปทีละน้อยอย่างอัลฟา-แมงโกสทินที่มีปริมาตร 25 μL จะปรากฏแอมเพอโรแกรมที่มีลักษณะเป็นขั้นบันได ดังนั้นเมื่อเติมสารละลายสารละลายอัลฟา-แมงโกสทินที่มีความเข้มข้นมากขึ้นจะให้ค่าผลจากการศึกษาโดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรีของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินที่กระแสเพิ่มขึ้นด้วยดังแสดงในตารางที่ ค.1 ภาคผนวก ค หลังจากการเติมสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินจะเห็นได้ว่าภายในเวลาประมาณ 20 วินาที กราฟแอมเพอโรแกรมจะเริ่มเข้าสู่สมดุล ดังนั้นค่าเวลา Respond Time ในการกลับสู่สมดุลของสารอัลฟา-แมงโกสทินมีค่าประมาณ 20 วินาที

4.4.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรีในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

การตรวจวัดปริมาณอัลฟา-แมงโกสทินในเปลือกมังคุด โดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรี โดยการเติมสารละลายมาตรฐานลงในตัวอย่าง (standard addition method) ความเข้มข้น 100-200 ppm ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ + 1.207 V กราฟมาตรฐานแสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของอัลฟา-แมงโกสทินกับกระแสไฟฟ้าในฟอสเฟตบัพเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 เป็นรูปแสดงกราฟของวิธีการเติมสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินลงในตัวอย่างที่ไม่ทราบค่าความเข้มข้น ซึ่งจากกราฟสามารถหาค่าความชันได้เท่ากับ 0.007 และจุดตัดแกน y มีค่าเท่ากับ 0.357 ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทินที่ได้จากจุดตัดแกน X เท่ากับ -49.98 ppm เมื่อคำนวณกลับเพื่อหาปริมาณของสารอัลฟา-แมงโกสทินในเปลือกมังคุด 200 มิลลิกรัม พบว่ามีปริมาณอัลฟา-แมงโกสทินเท่ากับ 1.2495 มิลลิกรัม

4.4.3 การศึกษาค่าวิเคราะห์การคืนกลับ (%Recovery)

การศึกษาค่าวิเคราะห์การคืนกลับจะพิจารณาจาก %recovery ที่มีการเติมสารละลายสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 100-200 ppm ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 1.207 V การคำนวณค่า % Recovery แสดงในภาคผนวก ค

ตารางที่ 4.7 แสดงค่า % Recovery ของการวิเคราะห์อัลฟา-แมงโกสทิน

ความเข้มข้นที่เติม(ppm)	ค่า % Recovery
100	83.75
125	82.23
150	83.36
200	83.32
เฉลี่ย	83.17

ตารางแสดงค่า % Recovery ของการวิเคราะห์อัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรีด้วยขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่ พบว่าค่า % Recovery อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่าวิธีการวิเคราะห์หาสารอัลฟา-แมงโกสทินโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าแอมเพอโรเมทรีมีความสามารถในการวิเคราะห์ที่ดีและมีความถูกต้องสูงมาก

4.5 ตารางแสดงผลเปรียบเทียบการวิเคราะห์อัลฟา-เมงโกสทินในเทคนิค HPLC และโวลเทมเมทรี

จากผลการทดลองพบว่าในตัวอย่างเปลือกมังคุด 200 มิลลิกรัม เมื่อวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค HPLC และ CV พบว่าปริมาณอัลฟา-เมงโกสทินที่พบในเปลือกมังคุดมีค่าเท่ากับ 1.21 มิลลิกรัม 1.2495 มิลลิกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์อัลฟา-เมงโกสทินด้วยเทคนิค HPLC และเทคนิค โวลเทมเมทรี

เทคนิค	ช่วงความเป็นเส้นตรง(ppm)	% Recovery	ปริมาณตัวอย่าง($\mu\text{g/ml}$)
HPLC	25-125	85.65	6.0500
CV	100-200	83.17	6.2475



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์หาสารต้านอนุมูลอิสระอัลฟา-แมงโกสติน จากเปลือกมังคุด โดยใช้ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนท้อเล็กโทรด ซึ่งเป็นเครื่องมือที่นำวัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศมาใช้งานในการวิเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ราคาถูก และตรงกับความต้องการในงานเคมีวิเคราะห์

เมื่อพิจารณาการวิเคราะห์หาสารที่เหมาะสมในการสกัดสารต้านอนุมูลอิสระอัลฟา-แมงโกสตินจากเปลือกมังคุด โดยใช้เทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่าตัวทำละลายแต่ละชนิดมีผลต่อการสกัด ซึ่งตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดสารอัลฟา-แมงโกสตินได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ เอทานอล และเมื่อศึกษาเวลาที่ใช้ในการ sonicate พบว่า เวลาที่ใช้ในการ sonicate นั้น ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ 1% นั่นคือเวลาที่ใช้ในการ sonicate ไม่มีผลต่อการสกัด นอกจากนี้ยังได้ทำการวิเคราะห์พีคสูงน้เอกลักษณะของสารอัลฟา-แมงโกสตินที่ได้จากการเปรียบเทียบค่า Retention time ของสารมาตรฐานกับสารตัวอย่างซึ่งพบว่าค่า Retention time ของสารมาตรฐานกับสารตัวอย่างมีค่าประมาณ 6.2 สำหรับในการวิเคราะห์เชิงปริมาณนั้นสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของสมการเส้นตรงจากกราฟมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินพบว่าความเข้มข้นของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างนั้นมีค่าประมาณ 1.21 มิลลิกรัมและ % Recovery ในเทคนิค HPLC เท่ากับ 85.65 %

การวิเคราะห์อัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าไซคลิกโวลเทมเมทรีเพื่อจะศึกษาสถานะที่เหมาะสมพบว่า การวิเคราะห์อัลฟา-แมงโกสตินจะทำในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.01 M ใน methanol 30% (v/v) pH 7.00 พบว่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้กระแสสูงสุดของอัลฟา-แมงโกสตินคือ 1.207 V โดยมีขีดจำกัดของการตรวจวัดเท่ากับคือ 0.7633 ppm ค่า % Recovery ที่ได้จากเทคนิคแอมเพอโรเมทรี มีค่าเท่ากับ 83.17 % และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ตัวอย่าง ซึ่งได้ค่าความเข้มข้นของสารอัลฟา-แมงโกสตินที่มีในตัวอย่างเท่ากับ 1.2495 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์หาปริมาณอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าที่มีการใช้ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่อิเล็กโทรดมีปัญหาคือที่สำคัญหนึ่งคือ มีสัญญาณรบกวนสูง จึงทำให้ความสามารถในการตรวจวัดปริมาณอัลฟา-แมงโกสทินที่มีความเข้มข้นต่ำมาก ๆ ไม่ได้และสารที่จะนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ได้ต้องเป็นสารที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าเท่านั้น ดังนั้นในการตรวจวัดโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าให้ได้สัญญาณไฟฟ้าที่ดีควรจะมีการพัฒนาหน้าขั้วสกรีน-พรีนที่อิเล็กโทรดเพื่อให้มีความจำเพาะเจาะจงต่อสารนั้น ๆ ที่จะทำการตรวจวัดและสามารถลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A.S. Zarena and K. Udaya Sankar, **J. Supercritical Fluids**, 49:330-337.
- [2] http://en.wikipedia.org/wiki/Purple_Mangosteen
- [3] http://www.takofoods.com/detail_TH.php?page_id=detailnews&id_news=110
- [4] <http://www.exrx.net/Nutrition/Antioxidants/Introduction.html>
- [5] <http://www.springerlink.com/content/h7f395yrj2dyqm67/>
- [6] <http://chemicaland21.com/lifescience/foco/bht.htm>
- [7] <http://science.jrank.org/pages/1099/Butylated-Hydroxyanisole.html>
- [8] http://en.wikipedia.org/wiki/Propyl_gallate
- [9] <http://chemicaland21.com/specialtychem/finechem/tbhq.htm>
- [10] Keith B. Oldham and Jan C. Myland, 1994, **Fundamentals of electrochemical science**, 2 edth, Academic press, inc., Ontario, Canada, pp263-308
- [11] <http://en.wikipedia.org/wiki/Spectroscopy>
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/High_performance_liquid_chromatography
- [13] Zarena A.S., Udaya K. Sankar, 2009, Supercritical carbon dioxide extraction of xanthenes with antioxidant activity from *Garcinia mangostana*: Characterization by HPLC/LC-ESI-MS, *J. of critical fluids* 49, 330-337.
- [14] Xiuhong Ji, Bharathi Avula, Ikhlas A. Khan, 2007, Quantitative and qualitative determination of six xanthenes in *Garcinia mangostana* L. by LC-PDA and LC-ESI-MS, *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 43, 1270-1276.
- [15] Manjari Mohan, Tarvinder K. Taneja, Sudhir Sahdev, Krishnaveni Mohareer, Rasheedunnisa Begum, Mohammad Athar, Nand K. Sah, and Seyed E. Hasnain, 2003, Antioxidants prevent UV-induced apoptosis by inhibiting mitochondrial cytochrome c release and caspase activation in *Spodoptera frugiperda* (Sf9) cells, *Cell Biology International*, Volume 27, Issue 6, 483-490.
- [16] Preeyanan Buasod, 2008, Antioxidant capacity test of tea beverages by cyclic voltammetry, Thesis, 1.
- [17] Werayut Pothitirat and Wandee Gritsanapan, 2008, Quantitative analysis of total mangostins in *Garcinia mangostana* fruit rind, *J Health Res* 22(4), 161-166.
- [18] Chaiyan Boonyuen, 2007, Development of and electrochemical method for the quantitative and quantitative determination of the total antioxidants in the fruit of *mimusops elengi* linn.

Extracted. Thesis, 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [19] Cesario V. Borlongan, Hitoo Nishino and Paul R. Sanberg, 1997, Systemic, but not intraparenchymal, administration of 3-nitropropionic acid mimics the neuropathology of Huntington's disease: a speculative explanation, *Neuroscience Research*, 28, 185-189.
- [20] Young-Won Chin, Hyun-Ah Jung, Heebyung Chai, William J. Keller and Douglas A. Kinghorn, 2007, Xanthonones with Quinone reductase inducing activity from the fruits of *Garcinia mangostana* (Mangosteen), *Division of Medicinal Chemistry and Pharmacognosy*, 1.
- [21] <http://www3.interscience.wiley.com/journal/114224273/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0>
- [22] Joseph Wang, 1948, **Analytical electrochemistry**, 3 edrd, WILEY-VCH, New Jersey, USA, PP72-84.
- [23] Suwan Chaiyasith, Tanin Tangkuaram and Pachernchai Chaiyasith, 2005, Electrocatalytical of chlorophenoxy-carboxylic acids at a protoporphyrin IX cobalt (III) chloride modified glassy carbon electrode, 581, 104-110.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารละลายตัวอย่างและสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสตินเพื่อใช้ในการ
วิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC

ตารางก.1 น้ำหนักเปลือกมังคุดที่ใช้ในการสกัด

Solvent	sonicate(min)	ครั้งที่ 1 (g)	ครั้งที่ 2 (g)	ครั้งที่ 3 (g)	เฉลี่ย (g)
Acetone	15	0.20776	0.20082	0.20046	0.2030
	20	0.20927	0.20019	0.200836	0.2034
	25	0.21186	0.20084	0.20961	0.2074
	30	0.20333	0.20410	0.20065	0.2026
Acetonitrile	15	0.20061	0.20043	0.20051	0.2005
	20	0.20454	0.20666	0.20488	0.2053
	25	0.20057	0.20855	0.21035	0.2064
	30	0.20381	0.20133	0.20164	0.2022
Ethanol	15	0.2018	0.20901	0.20672	0.2058
	20	0.20117	0.20018	0.20270	0.2013
	25	0.20051	0.20507	0.20057	0.2020
	30	0.20645	0.20932	0.2042	0.2066
Methanol	15	0.20229	0.20487	0.20501	0.2040
	20	0.21158	0.20280	0.20959	0.2079
	25	0.21535	0.20540	0.20188	0.2075
	30	0.21091	0.20160	0.20036	0.2042

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน

การเตรียมสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินเข้มข้น 25, 50, 75, 100 และ 125 ppm โดยการชั่งน้ำหนักของมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน ดังนี้

ตารางก.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น ppm	น้ำหนักสารมาตรฐาน (g)
25	0.00027
50	0.00055
75	0.00075
100	0.00103
125	0.00127



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

สภาวะที่ใช้ในการสกัดสารอัลฟา-แมงโกสตินจากเปลือกมังคุดและสภาวะที่ใช้ในการ
ทดลองด้วยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

ตารางข.1 สภาวะที่ใช้ในการสกัดสารแอลฟา-แมงโกสตินจากเปลือกมังคุด

ตัวทำละลาย	เวลา sonocate (min)	อุณหภูมิ (°C)
Acetone	15	27
	20	27
	25	27
	30	27
Acetonitrile	15	27
	20	27
	25	27
	30	27
Ethanol	15	27
	20	27
	25	27
	30	27
Methanol	15	27
	20	27
	25	27
	30	27

ข.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลองด้วยเทคนิค HPLC

Mobile phase: น้ำปราศจากไอออนและเมทานอล HPLC grade ในอัตราส่วน 95:5 (V/V)

Flow rate: 1ml/min

Injection volume: 10 µl

Wavelength: 319 nm

Run Time: 10 min

Sample weight: 1.00

Dilution: 1.00

Detector: UV Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์และสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน

ค.1 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ปริมาตร 500 mL

ชั่ง K_2HPO_4 มา 0.8709 กรัมละลายด้วย 30% เมทานอล (v/v) และชั่ง KH_2PO_4 มา 0.6804 กรัมละลายด้วย 30% เมทานอล (v/v) แล้วนำสารละลายทั้งสองมาละลายเข้าด้วยกัน สุดท้ายปรับปริมาตรด้วย 30% เมทานอล (v/v)

ค.2 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.005, 0.01, 0.02 และ 0.04 M ปริมาตร 25 mL

ชั่งสารละลายบัฟเฟอร์ตามตารางค.2 แล้วปรับปริมาตรด้วย 30% เมทานอล (v/v)

ตารางค.2 การเตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.005, 0.01, 0.02 และ 0.04 M ปริมาตร 25 mL

ความเข้มข้น (M)	K_2HPO_4 (g)	KH_2PO_4 (g)
0.005	0.0218	0.017
0.01	0.0435	0.034
0.02	0.0871	0.068
0.04	0.1742	0.1361

หมายเหตุ การปรับ pH ที่ 5-8 โดยใช้ 0.1 M HCl และ 0.1 M NaOH

ค.3 สารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 125 ppm ปริมาตร 25 mL

ชั่งสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน 0.003125 กรัม ต้มทำละลายจนครบปริมาตร 25 mL

ค.4 สารละลายมาตรฐาน อัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 ppm ปริมาตร 10 mL

นำสารละลายจาก ก.1 มา 2, 4, 6 และ 8 mL ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลาย สุดท้ายจะได้สารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินที่มีความเข้มข้น 25, 50, 75 และ 100 ppm ตามลำดับ

หมายเหตุ ตัวทำละลายที่ใช้ ได้แก่ เอทานอล, เมทานอล, อะซิโตน และ อะซิโตนไนไตรล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

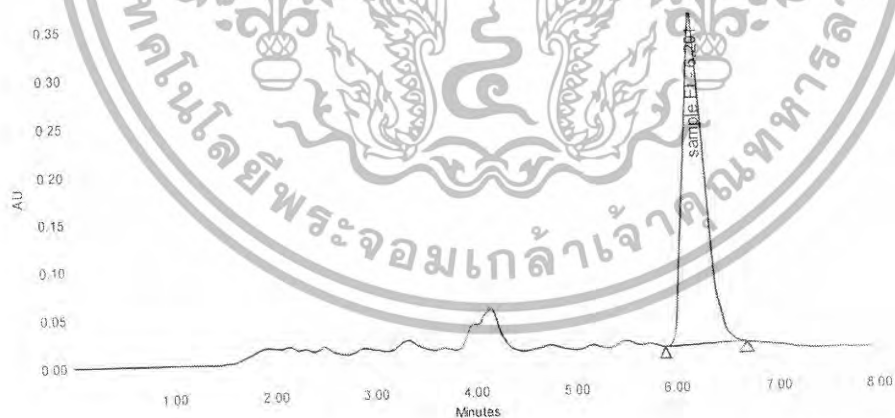
โครมาโทแกรมของสารละลายอัลฟา-แมงโกสติน

ง.1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ ง.1 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

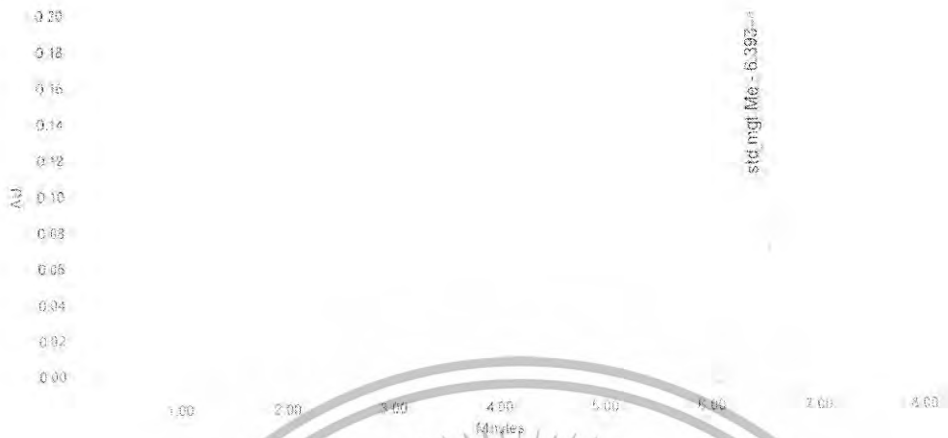
ง.2 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ ง.2 โครมาโทแกรมของตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.3 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ ง.3 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย

ง.4 โครมาโทแกรมของสารละลายตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ ง.4 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย

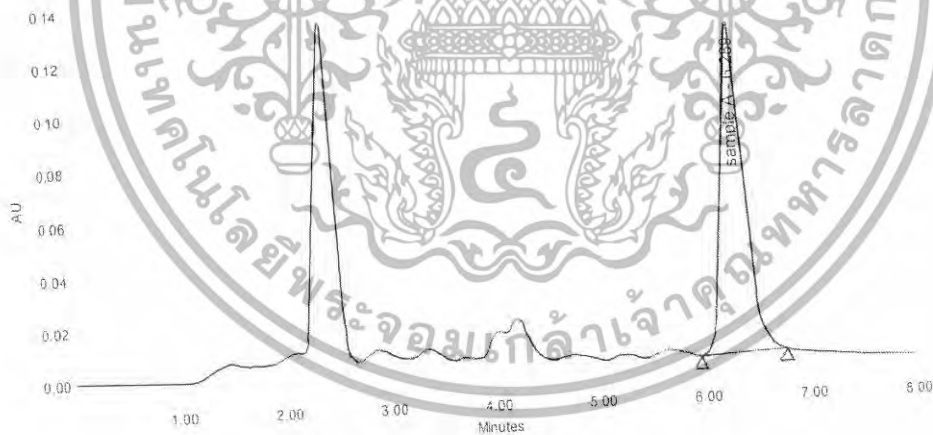
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.5 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ ง.5 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย

ง.6 โครมาโทแกรมของสารละลายตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ ง.6 โครมาโทแกรมของสารละลายตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้อะซิโตนเป็นตัวทำละลาย

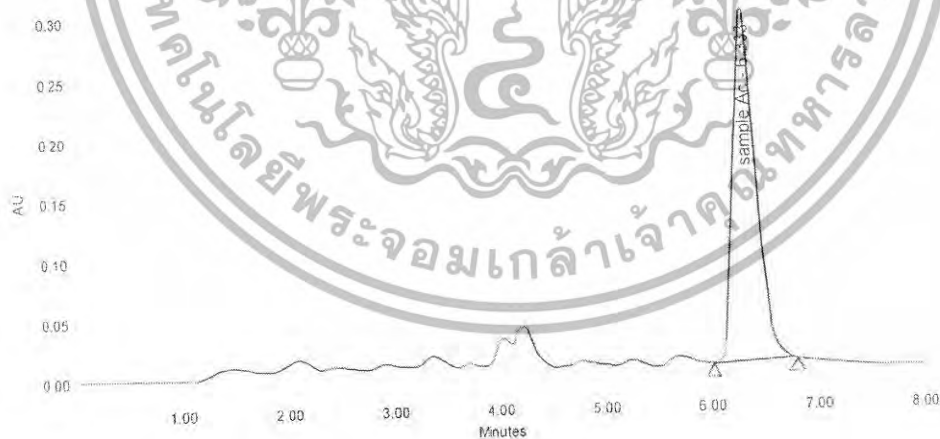
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.7 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้อะซิโตนไนไตรล์เป็นตัวทำละลาย



รูปที่ ง.7 โครมาโทแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้อะซิโตนไนไตรล์เป็นตัวทำละลาย

ง.8 โครมาโทแกรมของสารละลายตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้อะซิโตนไนไตรล์เป็นตัวทำละลาย



รูปที่ ง.8 โครมาโทแกรมของสารละลายตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้อะซิโตนไนไตรล์เป็นตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การแสดงผลพื้นที่ได้ฟีดของสารตัวอย่างในตัวทำละลายและเวลาที่ใช้ในการ sonicate ที่แตกต่างกัน

ตารางจ.1 แสดงพื้นที่ได้ฟีดของสารตัวอย่างในตัวทำละลายและเวลาที่ใช้ในการ sonicate ที่แตกต่างกัน

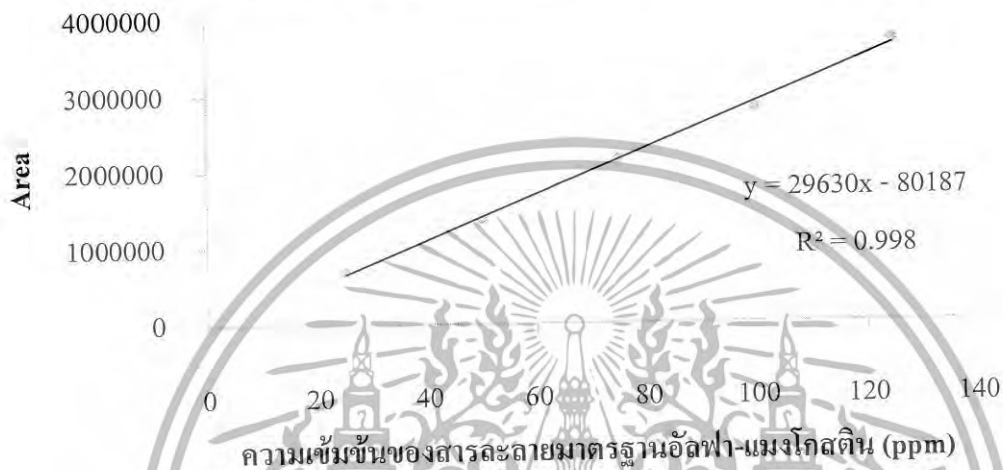
ตัวทำละลาย	สถานะ เวลาที่ใช้ในการ sonicate (min)	พื้นที่ได้ฟีด			ค่าเฉลี่ย
		1	2	3	
เอทานอล	15	3602466	3399712	3509661	3503946
	20	3422390	3340971	3701127	3488163
	25	3801280	3231009	3499017	3510435
	30	3511093	3589011	3401778	3500627
เมททานอล	15	3357981	3881961	3100918	3446953
	20	3550117	3201901	3711870	3487963
	25	3637234	3309170	3437592	3461332
	30	3500189	3419081	3359018	3426096
อะซีโตน	15	2019221	1910334	2001807	1977121
	20	2209117	1800679	2017880	2009225
	25	2206733	1874332	1900231	1993765
	30	2100936	1903371	2104501	2036269
อะซีโตนไทรล์	15	1807221	1901167	2011201	1906530
	20	1891105	1911208	1908901	1903738
	25	2290109	1808841	1591206	1896719
	30	2109133	1906901	1706039	1907358

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

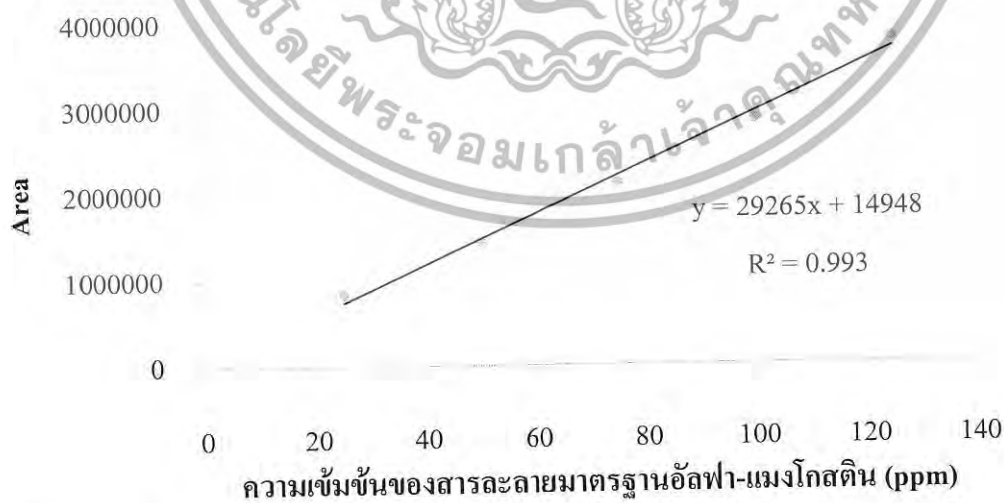
การวิเคราะห์ความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน ด้วยเทคนิค HPLC

ฉ.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลาย
มาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ ฉ.1 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลาย
มาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย

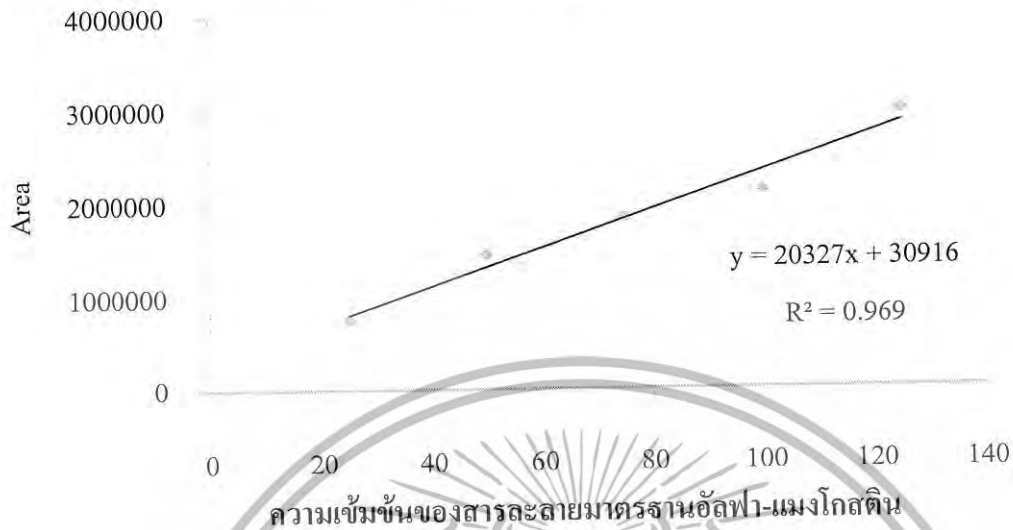
ฉ.2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลาย
มาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ ฉ.2 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลาย
มาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.3 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้พื้กับความเข้มข้นของสารละลาย
มาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้อะซีโตนเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ ฉ.3 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้พื้กับความเข้มข้นของสารละลาย
มาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้อะซีโตนเป็นตัวทำละลาย

ฉ.4 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้พื้กับความเข้มข้นของสารละลาย
มาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้อะซีโตนในไตรล์เป็นตัวทำละลาย



รูปที่ ฉ.4 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้พื้กับความเข้มข้นของสารละลาย
มาตรฐานอัลฟา-แมงโกสติน โดยใช้อะซีโตนในไตรล์เป็นตัวทำละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณแผนการทดลองสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design = RCB)

ตารางข.1 ค่า RCB ของตัวทำละลายชนิดต่างๆ

ตัวทำละลาย	block1	block2	block 3	block 3	total
เอทานอล	120.96	120.43	121.18	120.85	483.42
เมทานอล	117.27	118.67	117.76	116.56	470.26
อะซีโตน	95.74	97.32	96.56	98.65	388.27
อะซีโตนไทรล์	61.62	61.52	61.25	61.65	246.04
total	395.59	397.94	396.75	397.71	1587.99

วิธีการคำนวณ

$$\text{total DF} = t \times r$$

$$\text{block} = r - 1$$

$$\text{treatment DF} = t - 1$$

$$\text{error DF} = \text{total DF} - \text{block DF} - \text{treatment DF}$$

$$\text{correction faction (CF)} = \frac{\text{total sum}^2}{t \times r}$$

$$\text{total SS} = \sum x^2 - \text{CF}$$

$$\text{block SS} = \sum \frac{B^2}{t} - \text{CF}$$

$$\text{treatment SS} = \sum \frac{t^2}{r} - \text{CF}$$

$$\text{error SS} = \text{total SS} - \text{block SS} - \text{treatment SS}$$

$$\text{block MS} = \frac{\text{block SS}}{\text{block DF}}$$

$$\text{treatment MS} = \frac{\text{treatment SS}}{\text{treatment DF}}$$

$$\text{error MS} = \frac{\text{error SS}}{\text{error DF}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$F\text{-treatment} = \frac{\text{treatment } MS}{\text{error } MS}$$

$$F\text{-block} = \frac{\text{block } MS}{\text{error } MS}$$

ตั้งสมมติฐานของ treatment

$$H_0 : \mu_{\text{EtOH}} = \mu_{\text{MeOH}} = \mu_{\text{Acetone}} = \mu_{\text{Acetonitrile}}$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \text{ (some } i \text{ และ } j \text{)}$$

ตั้งสมมติฐานของ block

$$H_0 : \mu_{\text{block1}} = \mu_{\text{block2}} = \mu_{\text{block3}} = \mu_{\text{block4}}$$

$$H_1 : \mu_i \neq \mu_j \text{ (some } i \text{ และ } j \text{)}$$

ให้ $\alpha = 0.05$ และ $\alpha = 0.01$

เปรียบเทียบ F-ratio กับ F-table

$$F_{\text{block}, \alpha = 0.05 (3,9)} = 3.86$$

$$F_{\text{block}, \alpha = 0.01 (3,9)} = 6.99$$

$$F_{\text{treatment}, \alpha = 0.05 (3,9)} = 3.86$$

$$F_{\text{treatment}, \alpha = 0.01 (3,9)} = 6.99$$

$$F_{\text{block}} = 0.3979 < 3.86 \text{ และ } 6.99 \rightarrow \text{ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99\%}$$

$$F_{\text{treatment}} = 4131.44 > 3.86 \text{ และ } 6.99 \rightarrow \text{แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 99\%}$$

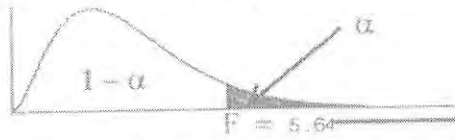
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ

แสดง F-table ที่ใช้ในการคำนวณแผนการทดลองแบบสุ่ม

ตารางซ.1 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเอฟ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%)

ตัวเลขในตารางเป็นค่าของ $F_{1-\alpha}$ ซึ่งทำให้ $P(F < F_{1-\alpha}) = 1 - \alpha$ เมื่อ $\alpha = .01$



ที่ $df_1 = 5, df_2 = 10$ และ $\alpha = .01$

df2	df1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4052	4999.3	5404	5624	5764	5859	5928	5982	6022
2	98.5	99	99.16	99.25	99.3	99.33	99.36	99.38	99.39
3	34.12	30.82	29.41	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.34
4	21.2	18	16.68	15.98	15.52	15.21	14.98	14.8	14.66
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.92	10.61	10.46	10.29	10.16
6	13.75	10.92	9.76	9.15	8.75	8.47	8.36	8.1	7.98
7	12.25	9.55	8.43	7.85	7.46	7.19	7.09	6.86	6.72
8	11.26	8.57	7.5	7.01	6.63	6.37	6.28	6.08	5.91
9	10.56	8.07	7.03	6.42	6.06	5.8	5.71	5.47	5.35
10	10.04	7.56	6.55	5.95	5.6	5.34	5.2	5.06	4.94
11	9.55	7.2	6.22	5.63	5.29	5.03	4.9	4.74	4.63
12	9.07	6.76	5.8	5.22	4.89	4.64	4.51	4.35	4.39
13	8.61	6.37	5.43	4.86	4.54	4.29	4.14	4.03	4.19
14	8.16	6.05	5.13	4.57	4.26	4.01	3.86	3.77	4.03
15	7.73	5.76	4.85	4.3	4.0	3.75	3.6	3.5	3.89
16	7.31	5.41	4.52	3.97	3.67	3.42	3.27	3.19	3.78
17	6.9	5.11	4.23	3.68	3.39	3.14	2.99	2.91	3.68
18	6.29	4.81	3.94	3.4	3.11	2.86	2.71	2.64	3.6
19	6.18	4.69	3.83	3.29	3.01	2.76	2.61	2.54	3.52
20	6.1	4.65	3.8	3.26	2.98	2.73	2.58	2.51	3.46
21	6.02	4.6	3.75	3.22	2.94	2.69	2.54	2.47	3.4
22	5.95	4.57	3.72	3.19	2.91	2.66	2.51	2.44	3.35
23	5.88	4.54	3.69	3.16	2.88	2.63	2.48	2.41	3.3
24	5.82	4.51	3.66	3.13	2.85	2.6	2.45	2.38	3.25
25	5.77	4.48	3.63	3.1	2.82	2.57	2.42	2.35	3.22
26	5.72	4.45	3.6	3.07	2.79	2.54	2.39	2.32	3.18
27	5.68	4.42	3.57	3.04	2.76	2.51	2.36	2.29	3.15
28	5.64	4.39	3.54	3.01	2.73	2.48	2.33	2.26	3.12
29	5.6	4.36	3.51	2.98	2.7	2.45	2.3	2.23	3.09
30	5.56	4.33	3.48	2.95	2.67	2.42	2.27	2.2	3.07
40	5.31	4.18	3.31	2.83	2.61	2.36	2.21	2.14	2.99
50	5.08	4.08	3.19	2.65	2.44	2.19	2.04	1.97	2.92
60	4.85	3.98	3.09	2.58	2.37	2.12	1.97	1.9	2.85
120	4.65	3.79	2.95	2.48	2.27	2.02	1.87	1.8	2.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เงินเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางข.1 ความน่าจะเป็นแบบเอฟ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 99%) (ต่อ)

df1										df2
10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	
6056	6107	6157	6209	6234	6260	6286	6313	6340	6366	1
99.4	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.48	99.48	99.49	99.5	2
27.23	27.05	26.87	26.69	26.6	26.5	26.41	26.32	26.22	26.12	3
14.55	14.37	14.2	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56	13.46	4
10.05	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.2	9.11	9.02	5
7.87	7.72	7.56	7.4	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88	6
6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65	7
5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.2	5.12	5.03	4.95	4.86	8
5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.4	4.31	9
4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4	3.91	10
4.54	4.4	4.25	4.1	4.02	3.94	3.86	3.76	3.69	3.6	11
4.3	4.15	4.01	3.85	3.78	3.7	3.62	3.54	3.45	3.36	12
4.1	3.96	3.82	3.65	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17	13
3.94	3.8	3.65	3.5	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3	14
3.8	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87	15
3.69	3.55	3.41	3.25	3.18	3.1	3.02	2.93	2.84	2.75	16
3.59	3.45	3.31	3.15	3.09	3.01	2.92	2.83	2.74	2.65	17
3.51	3.37	3.23	3.07	3	2.92	2.84	2.75	2.65	2.56	18
3.43	3.3	3.15	3	2.93	2.85	2.77	2.67	2.58	2.49	19
3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.7	2.61	2.52	2.43	20
3.31	3.17	3.03	2.88	2.8	2.72	2.64	2.55	2.46	2.37	21
3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.59	2.5	2.41	2.32	22
3.21	3.07	2.93	2.78	2.7	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27	23
3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.5	2.41	2.31	2.22	24
3.13	2.99	2.85	2.7	2.62	2.54	2.46	2.37	2.28	2.19	25
3.09	2.95	2.81	2.66	2.58	2.5	2.42	2.33	2.24	2.15	26
3.06	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.39	2.29	2.2	2.11	27
3.03	2.9	2.75	2.6	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17	2.08	28
3	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14	2.05	29
2.98	2.84	2.7	2.55	2.47	2.39	2.3	2.21	2.11	2.01	30
2.9	2.76	2.62	2.47	2.39	2.3	2.21	2.12	2.02	1.92	35
2.83	2.7	2.55	2.4	2.32	2.23	2.14	2.04	1.94	1.84	40
2.77	2.63	2.49	2.34	2.26	2.17	2.08	1.98	1.88	1.78	50
2.72	2.58	2.44	2.29	2.21	2.12	2.03	1.93	1.83	1.73	60
2.68	2.54	2.4	2.25	2.17	2.08	1.99	1.89	1.79	1.69	80
2.65	2.51	2.37	2.22	2.14	2.05	1.96	1.86	1.76	1.66	100
2.63	2.49	2.35	2.2	2.12	2.03	1.94	1.84	1.74	1.64	120
2.61	2.47	2.33	2.18	2.1	2.01	1.92	1.82	1.72	1.62	150
2.6	2.46	2.32	2.17	2.09	2.0	1.91	1.81	1.71	1.61	200
2.59	2.45	2.31	2.16	2.08	1.99	1.9	1.8	1.7	1.6	300
2.58	2.44	2.3	2.15	2.07	1.98	1.89	1.79	1.69	1.59	400
2.57	2.43	2.29	2.14	2.06	1.97	1.88	1.78	1.68	1.58	500
2.56	2.42	2.28	2.13	2.05	1.96	1.87	1.77	1.67	1.57	600
2.56	2.42	2.28	2.13	2.05	1.96	1.87	1.77	1.67	1.57	800
2.55	2.41	2.27	2.12	2.04	1.95	1.86	1.76	1.66	1.56	1000
2.55	2.41	2.27	2.12	2.04	1.95	1.86	1.76	1.66	1.56	1500
2.54	2.4	2.26	2.11	2.03	1.94	1.85	1.75	1.65	1.55	2000
2.54	2.4	2.26	2.11	2.03	1.94	1.85	1.75	1.65	1.55	3000
2.54	2.4	2.26	2.11	2.03	1.94	1.85	1.75	1.65	1.55	4000
2.54	2.4	2.26	2.11	2.03	1.94	1.85	1.75	1.65	1.55	5000
2.54	2.4	2.26	2.11	2.03	1.94	1.85	1.75	1.65	1.55	6000
2.54	2.4	2.26	2.11	2.03	1.94	1.85	1.75	1.65	1.55	8000
2.54	2.4	2.26	2.11	2.03	1.94	1.85	1.75	1.65	1.55	10000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางข.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นเอฟ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%)

ตัวเลขในตารางเป็นค่าของ $F_{1-\alpha}$ ซึ่งทำให้ $P(F < F_{1-\alpha}) = 1 - \alpha$ เมื่อ $\alpha = .05$



F = 3.33
ที่ df1 = 5, df2 = 10 และ $\alpha = .05$

df2	df1								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19	19.16	19.25	19.3	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.28	6.16	6.09	6.04	6
5	6.61	5.75	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.38	4.28	4.21	4.15	4.1
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.59	3.5	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.1	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.97	3.58	3.35	3.2	3.09	3.01	2.95	2.9
12	4.75	3.88	3.49	3.26	3.11	2.99	2.91	2.85	2.8
13	4.67	3.81	3.42	3.19	3.03	2.92	2.84	2.78	2.73
14	4.6	3.74	3.35	3.12	2.97	2.85	2.77	2.71	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.91	2.79	2.71	2.65	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.86	2.74	2.66	2.6	2.54
17	4.45	3.59	3.2	2.97	2.82	2.7	2.62	2.56	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.78	2.66	2.58	2.52	2.45
19	4.38	3.52	3.13	2.9	2.75	2.63	2.55	2.49	2.42
20	4.35	3.49	3.1	2.87	2.72	2.6	2.52	2.46	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.69	2.57	2.49	2.43	2.37
22	4.3	3.44	3.05	2.82	2.67	2.55	2.47	2.4	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.8	2.64	2.52	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.4	3.01	2.78	2.63	2.51	2.42	2.35	2.3
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.6	2.49	2.4	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.2	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.7	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.06	3.23	2.84	2.57	2.46	2.34	2.25	2.18	2.12
50	4	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.1	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.16	2.08	2.02	1.95
∞	3.84	3	2.6	2.37	2.21	2.1	2.01	1.94	1.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางข.2 ความน่าจะเป็นแบบเอฟ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) (ต่อ)

df1										df2
10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	
241.9	243.9	245.9	248	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3	1
19.4	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.5	2
8.79	8.74	8.7	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53	3
5.96	5.91	5.86	5.8	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63	4
4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.5	4.46	4.43	4.4	4.36	5
4.06	4	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.7	3.67	6
3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.3	3.27	3.23	7
3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93	8
3.14	3.07	3.01	2.94	2.9	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71	9
2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.7	2.66	2.62	2.58	2.54	10
2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.4	11
2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.42	2.38	2.34	2.3	12
2.67	2.6	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.3	2.25	2.21	13
2.6	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13	14
2.54	2.46	2.4	2.33	2.29	2.25	2.2	2.16	2.11	2.07	15
2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01	16
2.45	2.38	2.31	2.24	2.19	2.15	2.1	2.06	2.01	1.96	17
2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.07	2.02	1.97	1.92	18
2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.01	1.98	1.93	1.88	19
2.35	2.28	2.2	2.13	2.08	2.04	1.99	1.94	1.89	1.84	20
2.32	2.25	2.18	2.1	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	21
2.3	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88	1.83	1.78	22
2.27	2.2	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76	23
2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.74	24
2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71	25
2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.9	1.85	1.8	1.75	1.69	26
2.2	2.13	2.05	1.97	1.93	1.88	1.83	1.78	1.73	1.67	27
2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65	28
2.18	2.1	2.03	1.94	1.9	1.85	1.8	1.75	1.7	1.64	29
2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฅ

วิธีการคำนวณหาค่าวิเคราะห์การคืนกลับ (%Recovery)

$$\%Recovery = \frac{C_{\text{spiked sample}} - C_{\text{sample}}}{C_{\text{standard}}} \times 100$$

- $C_{\text{spiked sample}}$ = ความเข้มข้นของ spiked sample
 C_{sample} = ความเข้มข้นของตัวอย่าง
 C_{standard} = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

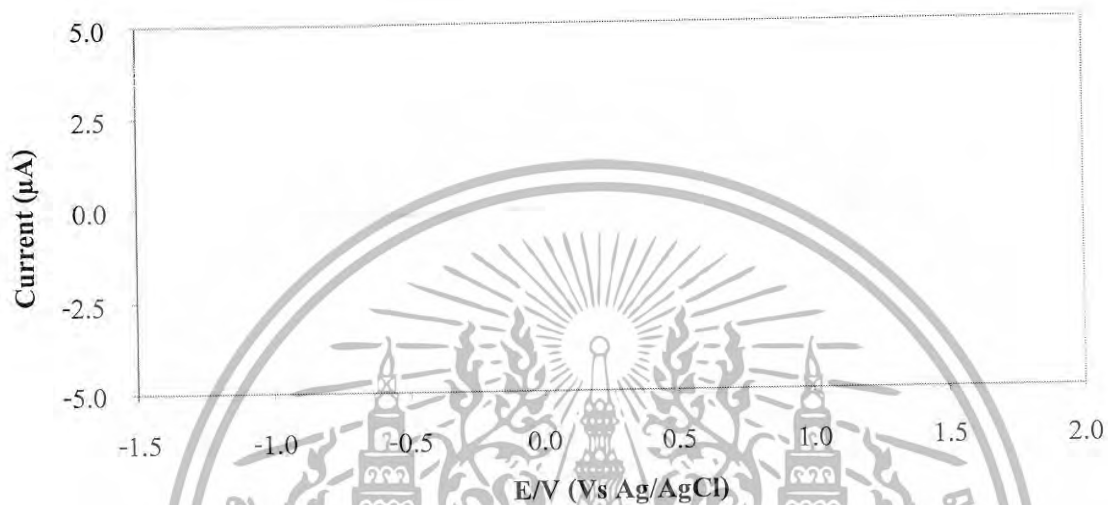


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ญ

การศึกษากระแสไฟฟ้า

ญ.1 ไชคลิกโวลเทมโมแกรมของสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) โดย
ใช้ scan rate 50 mV/s ที่ pH 7.00 ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่



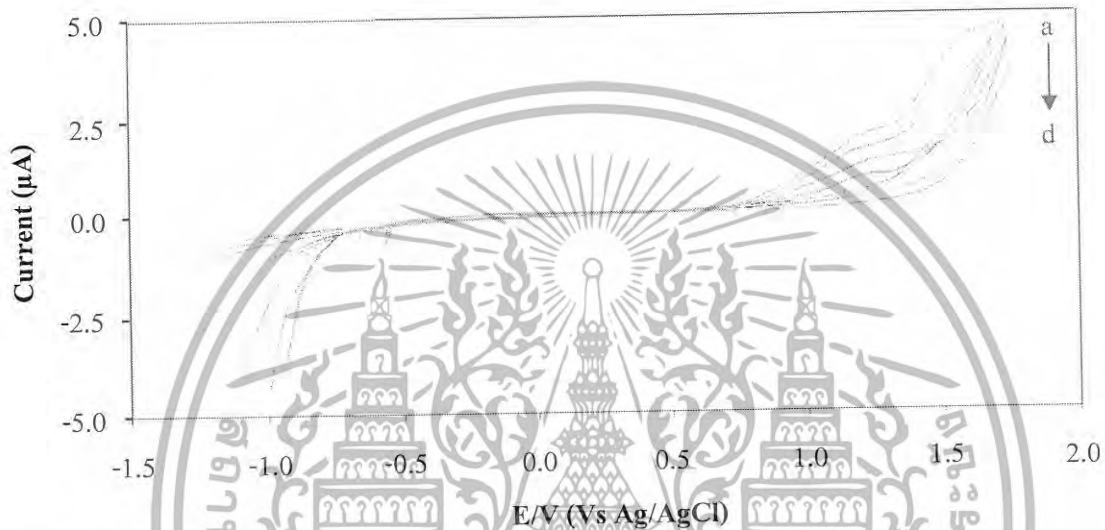
รูปที่ ญ.1 แสดงไชคลิกโวลเทมโมแกรมของสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ 0.01M ในเมทานอล
30% (v/v) pH 7.00 โดยใช้ scan rate 50 mV/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การศึกษา pH ที่เหมาะสม

ฉ.1 ไชคติกโวลเทมโมแกรมและข้อมูลที่ได้จากการศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายอัลฟา-เมงโก สติน 75 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) โดยใช้ scan rate 50 mV/s ที่ pH 5.00 – 8.00 ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่



รูปที่ ฉ.1 ไชคติกโวลเทมโมแกรมที่ได้จากการศึกษา pH ที่เหมาะสม ของสารละลายอัลฟา-เมงโก สติน 100 ppm ในเมทานอล 30% (v/v) โดยใช้ scan rate 50 mV/s ที่ pH 5.00 – 8.00 ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่

- a = pH 8
- b = pH 7
- c = pH 6
- d = pH 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา pH ที่เหมาะสม ของสารละลายอัลฟา-แมงโกสติน 100 ppm ในเมทานอล 30% (v/v) โดยใช้ scan rate 50 mV/s ที่ pH 5.00 – 8.00 ที่ขั้วไฟฟ้า สกรีน-พรีนที่

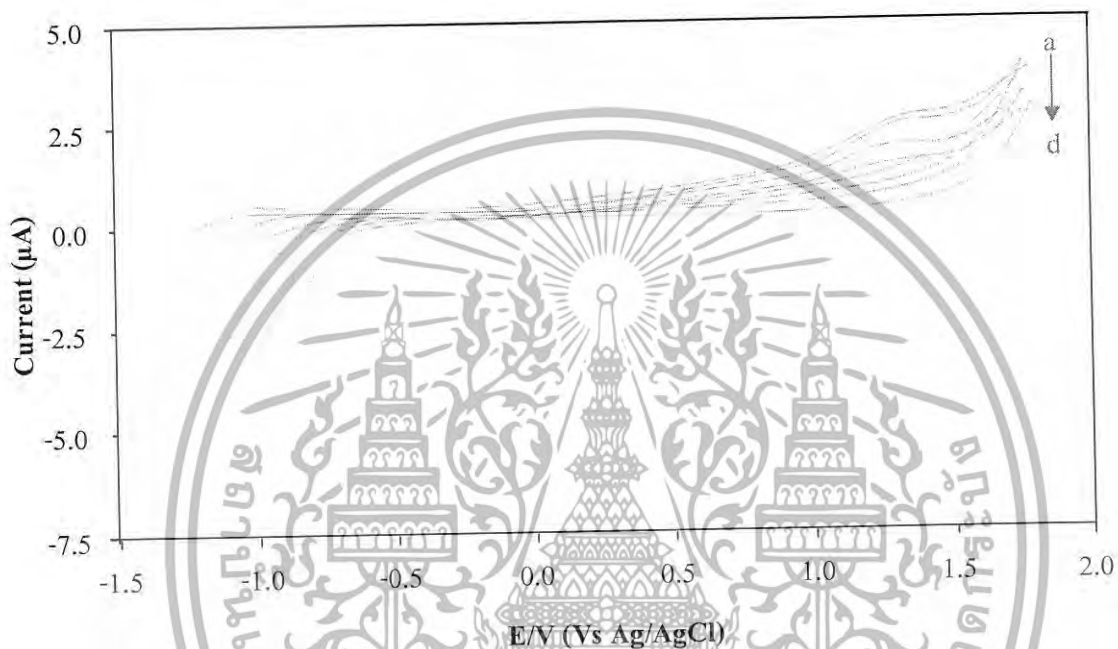
pH	ค่าศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่ากระแสไฟฟ้า (μ A)	ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า (μ A)
5	1.201	0.984	0.985
	1.204	0.986	
	1.203	0.985	
6	1.206	1.396	1.396
	1.205	1.397	
	1.207	1.396	
7	1.207	1.405	1.405
	1.206	1.405	
	1.209	1.404	
8	1.206	1.694	1.693
	1.205	1.693	
	1.205	1.693	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การศึกษา scan rate ที่เหมาะสม

ก.1 ไชคลิกโวลเทมโมแกรม และข้อมูลที่ได้จากการศึกษา scan rate ที่เหมาะสมของสารละลาย อัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 75 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) pH 7.00 และ scan rate ต่างๆ ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่



รูปที่ ก.1 ไชคลิกโวลเทมโมแกรม จากการศึกษาค้นคว้า scan rate ที่เหมาะสมของสารละลายอัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 75 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) pH 7.00 ที่ scan rate ต่างๆ ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่

a = 100 mV/s

b = 50 mV/s

c = 25 mV/s

d = 10 mV/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา scan rate ที่เหมาะสมของสารละลายอัลฟา-แมงโกสตินความเข้มข้น 100 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ใน เมทานอล 30 % (v/v) pH 7.00 และ scan rate ต่างๆ ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พริ้นท์

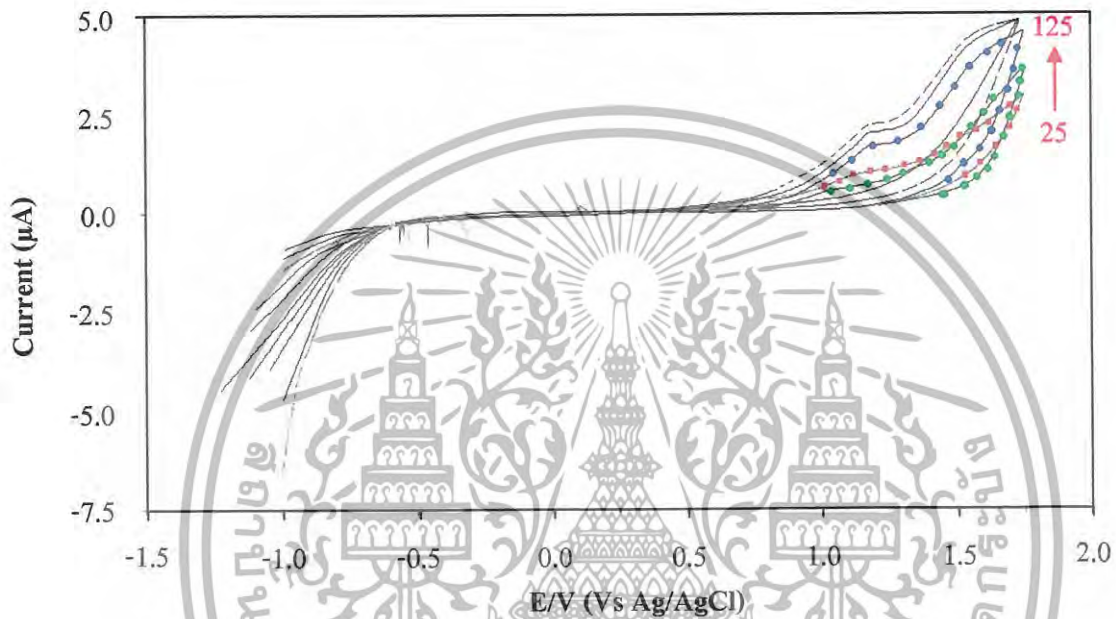
scan rate (mV/s)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ย ศักย์ไฟฟ้า±SD (V)	กระแสไฟฟ้า (μ A)	ค่าเฉลี่ย กระแสไฟฟ้า±SD (μ A)
10	1.203		0.958	
	1.204	1.203 ± 0.000	0.958	0.958 ± 0.001
	1.203		0.957	
25	1.205		1.034	
	1.206	1.206 ± 0.001	1.034	1.034 ± 0.000
	1.207		1.034	
50	1.203		1.304	
	1.208	1.207 ± 0.003	1.305	1.305 ± 0.001
	1.209		1.305	
100	1.209		1.498	
	1.208	1.209 ± 0.000	1.497	1.498 ± 0.001
	1.208		1.498	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฐ

การศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง

ฐ.1 ไชคลิกโวลแทมโมแกรม และข้อมูลของไชคลิกโวลแทมโมแกรมของอัลฟา-แมงโกสทินที่ความเข้มข้นต่างๆ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ใช้ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่



รูปที่ ฐ.1 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน ที่ความเข้มข้น 25-125 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH 7.00 โดยใช้ scan rate 50 mV/s

----- 125 ppm ——— 100 ppm ● 75 ppm ● 50 ppm ● 25 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่ได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายอัลฟา-แมงโกสทิน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30 % (v/v) และ 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนท์

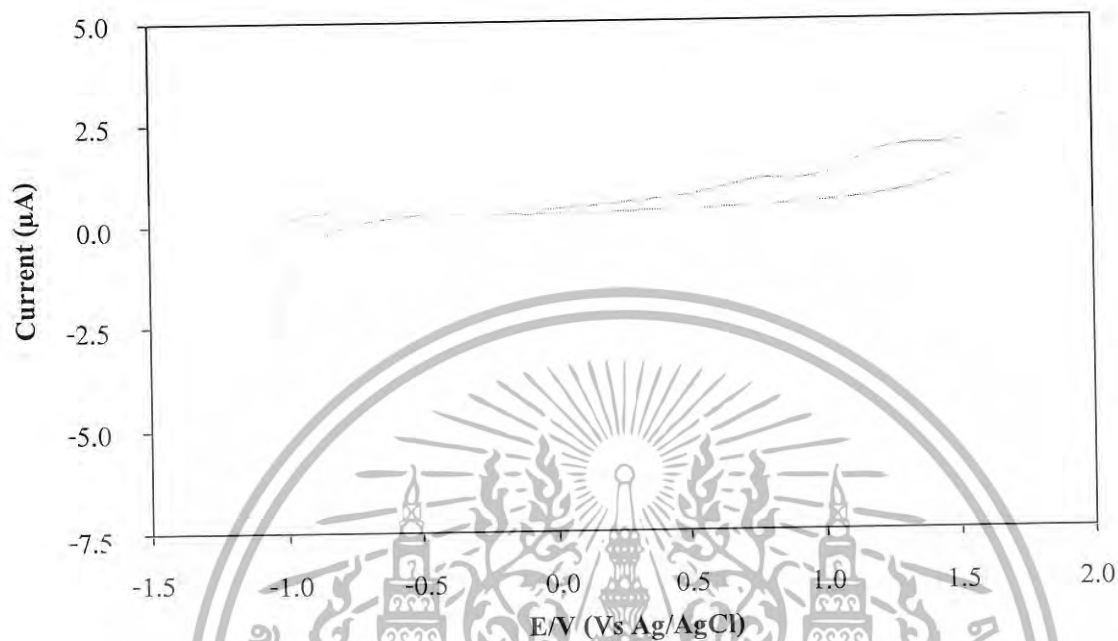
ความเข้มข้น (ppm)	กระแสไฟฟ้า			ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า (μA)
	(μA)			
25	0.480	0.483	0.490	0.484
50	0.830	0.832	0.830	0.831
75	1.350	1.350	1.340	1.350
100	1.670	1.650	1.690	1.670
125	1.900	1.920	1.930	1.920



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ๓

การศึกษาไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารตัวอย่าง



รูปที่ ๓.1 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่ได้จากสารตัวอย่างที่มีอัลฟา-แมงโกสทินในฟอสเฟสบัฟเฟอร์ 0.01 M pH ที่ 7.00 scan rate 50 mV/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฅ

การคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ในเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี

ตารางฅ.1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ background current ที่ได้จากการวัดที่

1.207 V โดยใช้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่

pH 7.00

จำนวนครั้งที่วัด	ค่ากระแส blank ที่วัดได้ (μA)
1	0.245
2	0.213
3	0.236
4	0.244
5	0.253
6	0.247
7	0.253
8	0.225
9	0.269
10	0.249
เฉลี่ย	0.243
SD	0.016
3SD	0.048

หมายเหตุ กระแสของ blank ที่วัดได้ได้มาจากการหักลบของกระแสที่ + 1.207 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ.1 การคำนวณหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์

การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดในการวัด พิจารณาได้จากสมการของความเป็นเส้นตรงที่ความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินที่ความเข้มข้น 25, 50, 75, 100, 125 ppm ในฟอสเฟตบัพเฟอร์ 0.01 M ในเมทานอล 30% (v/v) ที่ pH7.00 โดยใช้ scan rate 50 mV/s โดยจิวไฟฟ้าสกรีน-พรีนซ์จะมีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ 25 – 125 ppm โดยมีค่า $R^2 = 0.9854$ สมการเส้นตรงมีค่าดังนี้

$$Y = 1 \times 10^{-8} X + 1 \times 10^{-7}$$

จากตารางจะนำค่า 3SD ของ background current แทนเป็นค่า y ในสมการเส้นตรง

$$0.048 \times 10^{-6} = 1 \times 10^{-8} X + 1 \times 10^{-7}$$

$$\therefore X = 4.799 \text{ ppm}$$

ดังนั้นขีดจำกัดของการตรวจวัดต่ำสุดที่จะสามารถตรวจวัดได้และมีความถูกต้องแม่นยำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ต้องมีค่าเท่ากับ 4.799 ppm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

การศึกษาความเที่ยง

ตารางฉ.1 การศึกษาความเที่ยงของการวิเคราะห์

การศึกษาความเที่ยงของสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 75 ppm ในฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01M ในเมทานอล 30% ที่ pH 7.00 โดยใช้ scan rate ที่ 50 mV/s ค่า repeatability ของการวัดซ้ำ 10 ซ้ำของสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน

จำนวนซ้ำ	ค่ากระแสไฟฟ้า(μ A)
1	1.350
2	1.375
3	1.342
4	1.320
5	1.359
6	1.346
7	1.342
8	1.355
9	1.349
10	1.355
Mean	1.349
SD	0.014
% RSD	1.047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ด

การศึกษาโดยใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรี

ด.1 สัญญาณและข้อมูลที่ได้จากศึกษาด้วย เทคนิคแอมเพอโรเมทรีโดยใช้ขั้วไฟฟ้าสกรีน-พรีนที่ ปริมาตรตัวอย่าง 25 μl ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินที่มีความเข้มข้น 100-200 ppm ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 1.207 V



รูปที่ ด.1 แอมเพอโรแกรมของสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินที่มีการเติมสารละลายมาตรฐาน อัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 100-200 ppm ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 1.207 V

a = สารตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทินในฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ในเมทานอล 30% ที่
pH = 7.00

b = สารตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทินในฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 100 ppm ในเมทานอล 30% ที่
pH = 7.00

c = สารตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทินในฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 125 ppm ในเมทานอล 30% ที่
pH = 7.00

d = สารตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทินในฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 150 ppm ในเมทานอล 30% ที่
pH = 7.00

e = สารตัวอย่างอัลฟา-แมงโกสทินในฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 200 ppm ในเมทานอล 30% ที่
pH = 7.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ด.1 ข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแอมเพอโรแกรมของปริมาตรตัวอย่าง 25 μL ที่มีการเติมสารละลายสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทินความเข้มข้น 100-200 ppm ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 1.207 V

ความเข้มข้นสารมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน (ppm)	ค่ากระแสไฟฟ้า(μA)
100	0.42
125	1.09
150	1.38
200	1.88



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ต

การประยุกต์ใช้เทคนิคแอมเพอโรเมทรีในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

ตารางต.1 ตารางแสดงการตรวจวัดปริมาณอัลฟา-แมงโกสทินในเปลือกมังคุดโดยใช้เทคนิค

แอมเพอโรเมทรี โดยการเติมสารละลายมาตรฐานในตัวอย่าง(standard addition method) ที่มีการเติมสารละลายมาตรฐานอัลฟา-แมงโกสทิน ความเข้มข้น 100-200 ppm ที่ศักย์ไฟฟ้าคงที่ 1.207 V

ลำดับการเติม	ความเข้มข้น (ppm)	ค่ากระแสไฟฟ้า(μA)
add standard 1	100	0.42
add standard 2	125	1.09
add standard 3	150	1.38
add standard 4	200	1.88



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ค่าการคืนกลับ (%Recovery)

ตาราง.1 ตารางแสดงค่า % Recovery ที่เป็นที่ยอมรับตามข้อกำหนด AOAC

ความเข้มข้นของ analyte	%Recovery
100%	98-102
> 10%	98-102
> 1%	97-103
> 0.1%	95-105
100 ppm	90-107
10 ppm	80-110
1 ppm	80-110
100 ppb	80-110
10 ppb	60-115
1 ppb	40-120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้