

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง  
การพัฒนาวิธีวิเคราะห์วิตามินอีในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง  
โดยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า



T107808



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาลัทธิศาสตรบัณฑิต  
สาขาเคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Development method for determination of vitamin E in cosmetic product  
by Electrochemical analysis**



**Kesanee Arceamnat**

**Vipawee Banditwaytikul**

**A Special Project submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of**

**Bachelor of Science**

**Major in Industrial Chemistry-Analysis Instrumentation**

**Department of Chemistry**

**Faculty of Science**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang**


**Academic Year 2006**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษเรื่อง**      การพัฒนาวิธีวิเคราะห์วิตามินอีในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางโดยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า  
**นักศึกษา**                      นางสาวเกศณี อารีอำนาจ      46050410  
    นางสาววิภาวี      บัณฑิตเวทิตกุล      46050431  
**ภาควิชา**                      เคมี      คณะวิทยาศาสตร์  
**สาขาวิชา**                      เคมีอุตสาหกรรมเครื่องมือวิเคราะห์  
**อาจารย์ที่ปรึกษา**              รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	
กรรมการ อ.พรทิพย์ ศัพทอนันต์	
กรรมการ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล	

  
 (ผศ.ดร.ประยงค์ ควงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ดิจิทัลของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การพัฒนาวิธีวิเคราะห์วิตามินอีในเครื่องสำอางด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า		
นักศึกษา	นางสาวเกษณี	อารีอำนาจ	46050410
	นางสาววิภาวี	บัณฑิตเวทิตกุล	46050431
ภาควิชา	เคมี	คณะ วิทยาศาสตร์	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม – เครื่องมือวิเคราะห์		
ปีการศึกษา	2549		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ. อรุณี	คงศักดิ์ไพศาล	

### บทคัดย่อ

การศึกษากการพัฒนาวิธีวิเคราะห์วิตามินอีในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการสกัดด้วย Supercritical Fluid Extraction และ การสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอล การศึกษากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ของวิตามินอี โดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตตระเอทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์ ที่ pH 2.5 – 3.0 โดยใช้ Scan rate 50 mV/s ช่วงความเข้มข้น 10-150 ppm มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับกับปริมาณกระแสไฟฟ้า และมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9984 และเมื่อทำการเปรียบเทียบการประสิทธิภาพการสกัด โดยใช้เทคนิคการสกัดด้วย Supercritical Fluid Extraction และ การสกัดด้วยสารละลายมาตรฐานเมทานอล ทำการวิเคราะห์วิตามินอีโดยเทคนิคโพลาไรซ์เรซินเจียลพัลส์โวลแทมเมทรี ที่ step potential ที่ 0.06 และ modulation amplitude ที่ 0.006 พบว่าการสกัดด้วยตัวทำละลายเมทานอลจะมีค่า Horwitz equation อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ คืออยู่ในช่วง ( $\approx 2$ ) ปริมาณตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์อยู่ในช่วง 0.01-0.99 mg/g มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% Recovery) อยู่ในช่วง 80-108 ซึ่งเป็นวิธีที่ดีกว่าการสกัดด้วย Supercritical Fluid Extraction โดย ซึ่งมีค่าอยู่นอกค่าการยอมรับได้ ( $> 2$ ) ปริมาณตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์อยู่ในช่วง 0.2 – 2.0 mg/g มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (% Recovery) อยู่ในช่วง 79-100 ซึ่งมีความไม่แน่นอนในการสกัดตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Special Project Title</b>	Development Analytical of Vitamin E in Cosmetic products with Electrochemical		
<b>Name</b>	Kesanee	Areeamnat	46050410
	Vipawee	Banditwaytikul	46050431
<b>Department</b>	Chemistrty		
<b>Program</b>	Industrial Chemistry – Analytical Instrumentation		
<b>Academic Year</b>	2006		
<b>Special Project Advisor</b>	Assoc. Prof. Arunee Kongsakphaisal		

### ABSTRACT

This study, we aimed to develop the method for determination of Vitamin E in cosmetic product using electrochemical analysis technique, vitamin E was extracted by supercritical fluid extraction compared to methanol extraction technique. The maximum measurable current of this vitamin E solution investigate by cyclic voltammetry in the buffer solution of 0.06 M Citric acid, and 0.06 M Tetraethylammonium tetrafluoroborate in methanol (pH 2.5-3), scan rate 50 mV/s, linear concentration rang in 10-150 ppm,  $R^2$  equals to 0.9984. In addition, the comparison of supercritical fluid and methanol extraction vitamin E solution investigate by differential pulse voltammetry technique at 0.006 mV of step potential constant, 0.06 mV of modulation amplitude constant. The Horwitz equation value of methanol extraction is about 2 from 0.01 – 0.99 mg/g of sample (spiked recoveries were 80-108 %), while the supercritical fluid extraction the > 2 of Horwitz equation value from 0.2 – 2.0 mg/g of sample (spiked recoveries were 79-100 %). According to the result from this study, the methanol extraction is the high performance method for Vitamin E extraction from the cosmetic products than the supercritical fluid extraction method.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำชี้แนะ ช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำงาน

ขอขอบพระคุณ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ อ.พรทิพย์ ศัพท์อนันต์ กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะ จนในที่สุดทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วรรณฯ ตั้งเจริญชัย ที่กรุณาสอนวิธีใช้งานและเอื้อเฟื้อเครื่อง Supercritical Fluid Extraction ในการสกัดวิตามินอีซึ่งมีส่วนสำคัญในการทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณ ไพโรจน์ จันทร์หอม ที่กรุณาสอนวิธีใช้งานเครื่อง Voltammetry ซึ่งมีส่วนสำคัญในการทำโครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณสุภัทร บานเย็น คุณกัญญา มงคลโกชน์ คุณสุพจน์ ศิวาคม และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความสะดวกต่อการทำงานอย่างยิ่ง

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากโครงการพิเศษเล่มนี้ ขอมอบให้กับบิดามารดาซึ่งเป็นที่เคารพรักรยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้ ซึ่งมีค่ายิ่งต่อการดำรงชีวิตในอนาคต

น.ศ.เกศณี อารีอำนาจ  
น.ศ.วิภาวี ปันทิตเวทิตกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและที่มาของ โครงการงานพิเศษ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของ โครงการงานพิเศษ.....	3
1.4 คำจำกัดความ.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 วิตามินอี.....	4
2.1.1 หน้าที่ของวิตามินอี.....	5
2.1.2 ประโยชน์ของวิตามินอี.....	5
2.1.3 ปริมาณที่แนะนำต่อวัน.....	6
2.1.4 แหล่งวิตามินจากอาหาร.....	7
2.1.5 การขาดวิตามินอี.....	8
2.1.6 พิษจากวิตามิน.....	8
2.1.7 วิตามินอีในเครื่องสำอาง.....	9
2.2 Supercritical Fluid Extraction.....	12
2.2.1 หลักการ.....	12
2.2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของ Supercritical Fluid Extraction.....	13
2.2.2.1 Mobile phase.....	13
2.2.2.2 Extraction cell.....	15
2.2.2.3 Restrictor.....	15
2.2.2.4 ป้อน.....	16
2.3 เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า.....	17
2.3.1 Potential step voltammetry.....	17
2.3.2 Linear sweep voltammetry.....	20
2.3.3 ไชคลิกโวลแทม โมแกรม.....	22
2.3.3.1 การแปรผลข้อมูล.....	24
2.3.3.2 ระบบที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้.....	24
2.3.3.3 ระบบที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้และกึ่งผันกลับได้.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา	หน้า
2.4 งานวิจัยเกี่ยวข้อง.....	27
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์.....	29
3.1.1 สารเคมี.....	29
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	29
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
3.2.1 การเตรียมสารละลายที่ได้ในการทดลอง.....	30
3.2.1.1 การเตรียม stock solution ของสารละลายมาตรฐานวิตามิน	
100 ppm.....	30
3.2.1.2 การเตรียม stock solution ของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี	
100 ppm.....	30
3.2.1.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 0, 1, 5, 10 และ	
25 ppm.....	30
3.2.1.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 50, 75, 100, 125, 150	
และ 175 ppm.....	30
3.2.1.5 การเตรียมสารละลาย 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียม	
เตตระฟลูออโรโบเรท และ 0.06 กรดซิตริกในเมทานอล	
ปริมาตร 250 mL.....	30
3.2.2 การศึกษาไซคลิกโวลแทมเมทรี.....	30
3.2.2.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	30
3.2.2.1.1 การศึกษาหาอัตราส่วนของ Citric acid ที่ดีที่สุด.....	30
3.2.2.1.2 การศึกษาหาอัตราส่วนของ tetrabutylammonium tetraborate.....	31
3.2.2.1.3 การศึกษาหาอัตราส่วนของ tetrabutylammonium	
tetrafluoroborate ที่ดีที่สุด.....	31
3.2.2.2 การศึกษา pH ที่เหมาะสม.....	32
3.2.2.3 การศึกษา Scan rate ที่เหมาะสม.....	32
3.2.2.4 การศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง.....	32
3.2.3 การศึกษาดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมทรี.....	33
3.2.3.1 การศึกษา step potential ที่เหมาะสม.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา	หน้า
3.2.3.2 การศึกษา modulation amplitude ที่เหมาะสม.....	33
3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	34
3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง.....	34
3.3.1.1 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการสกัดสารด้วยเทคนิค Supercritical Fluid Extraction.....	34
3.3.1.1.1 การเตรียมตัวอย่างครีมหรือโลชั่นแบบปกติ.....	34
3.3.1.1.2 การเตรียมตัวอย่างครีมหรือโลชั่นแบบ spike sample.....	34
3.3.1.2 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการสกัดด้วยสารละลายมาตรฐานเ มทานอล.....	34
3.3.1.2.1 การเตรียมตัวอย่างครีมหรือโลชั่นแบบปกติ.....	34
3.3.1.2.2 การเตรียมตัวอย่างครีมหรือโลชั่นแบบ spike sample.....	35
3.3.1.3 การเตรียมสารละลายตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค คิฟเฟอร์เรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี.....	35
3.3.2 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐาน วิตามินอี .....	35
3.3.3 ศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอีโดยเทคนิค standard addition.....	36
3.3.4 การศึกษาหาความเที่ยง.....	36
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b>	
4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์วิตามินอีโดยเทคนิคต่างๆ.....	38
4.1.1 เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี.....	38
4.1.1.1 การศึกษากระแสพื้น.....	38
4.1.1.2 การศึกษาสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	39
4.1.1.3 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	39
4.1.1.4 การศึกษา scan rate ที่เหมาะสม.....	40
4.1.1.5 การศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง.....	42
4.1.2 Differential pulse voltammetry.....	42
4.1.2.1 ศึกษา step potential ที่ modulation amplitude คงที่ ที่ 0.2505 .....	42
4.1.2.2 ศึกษา modulation amplitude ที่ step potential คงที่ ที่ 0.06.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

เนื้อหา	หน้า
4.1.2.3 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลาย มาตรฐานวิตามินอี.....	45
4.1.2.4 ศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน วิตามินอี standard addition.....	47
4.2 การวิเคราะห์หาวิตามินอีในผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น.....	48
4.2.1 สารตัวอย่างที่สกัดด้วยวิธี Supercritical Fluid Extraction.....	48
4.2.2 สารตัวอย่างที่สกัดด้วยสารละลายมาตรฐานเมทานอล.....	50
4.2.3 ค่าการยอมรับได้ของการวิเคราะห์วิตามินอีด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า.....	51
4.2.4 การศึกษาหาความเที่ยง.....	53
4.2.5 การหาค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection; LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ).....	53
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	54
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	54
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>55</b>
<b>ภาคผนวก ก</b> สูตรสำหรับการคำนวณ.....	<b>56</b>
<b>ภาคผนวก ข</b> ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์.....	<b>58</b>
<b>ภาคผนวก ค</b> การศึกษา Scan rate ที่เหมาะสม.....	<b>61</b>
<b>ภาคผนวก ง</b> การศึกษา pH ที่เหมาะสม.....	<b>64</b>
<b>ภาคผนวก จ</b> การศึกษาช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของเทคนิคไซคลิกโวลแทมโมแกรม... <b>67</b>	<b>67</b>
<b>ภาคผนวก ฉ</b> ศึกษา step potential ที่เหมาะสม.....	<b>70</b>
<b>ภาคผนวก ช</b> ศึกษา modulation amplitude ที่เหมาะสม.....	<b>73</b>
<b>ภาคผนวก ซ</b> ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐาน วิตามินอีของตัวอย่าง.....	<b>76</b>
<b>ภาคผนวก ฌ</b> ศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี standard addition.....	<b>83</b>
<b>ภาคผนวก ฎ</b> การวิเคราะห์หาวิตามินอีในผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น .....	<b>86</b>
<b>ภาคผนวก ฏ</b> การวิเคราะห์หาวิตามินอีในผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น โดยวิธีการสกัดด้วยสารละลายเมทานอล.....	<b>95</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงปริมาณที่แนะนำในวัยต่างๆ.....	7
2.2 แสดงแหล่งที่พบวิตามินอี.....	7
2.3 แสดงสมบัติของ Supercritical Fluid.....	14
2.4 แสดงสมบัติทางกายภาพของ supercritical Fluid บางชนิด.....	14
3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษาหาอัตราส่วนของ Citric acid.....	31
3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษาหาอัตราส่วนของ Tetraethylammonium Tetrafluoroborate.....	31
3.3 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษาหาอัตราส่วนของ Tetrabutylammonium Tetrafluoroborate.....	31
3.4 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษา pH ที่เหมาะสม.....	32
3.5 สภาวะที่ใช้ศึกษา Scan rate ที่เหมาะสม.....	32
3.6 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง.....	32
3.7 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษา step potential ที่เหมาะสม.....	33
3.8 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษา modulation amplitude ที่เหมาะสม.....	33
3.9 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลาย มาตรฐานวิตามินอี.....	35
3.10 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐาน วิตามินอี standard addition.....	36
3.11 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษาหาความเที่ยง.....	37
4.1 แสดงปริมาณวิตามินอีในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น โดยใช้กราฟมาตรฐาน สารละลายมาตรฐานวิตามินอีสกัดโดยเทคนิค Supercritical Fluid Extraction.....	49
4.2 แสดงปริมาณวิตามินอีในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น โดยใช้วิธีการเติม สารละลายมาตรฐานวิตามินอี สกัดโดยเทคนิค Supercritical Fluid Extraction.....	50
4.3 แสดงปริมาณวิตามินอีในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น โดยใช้กราฟมาตรฐาน สารละลายมาตรฐานวิตามินอี สกัดโดยสารละลายมาตรฐานเมทานอล.....	51
4.4 แสดงปริมาณวิตามินอีในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น โดยใช้วิธีการ เติมสารละลายมาตรฐานวิตามินอี สกัดโดยสารละลายมาตรฐานเมทานอล.....	51
4.5 แสดงค่าการยอมรับได้ของการวิเคราะห์วิตามินอีด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าโดยเทคนิคการ สกัดด้วย Supercritical Fluid Extraction.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.6 แสดงค่าการยอมรับได้ของการวิเคราะห์วิตามินอีด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า สกัดด้วยสารละลายมาตรฐานเมทานอล.....	52
4.7 แสดงผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี เพื่อหาค่า LOD และ LOQ.....	53
ข.1 ข้อมูลจากการทดลองศึกษาหาความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ผสมกับเตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอทเข้มข้น 0.06 M.....	59
ข.2 ข้อมูลจากการทดลองศึกษาหาความเข้มข้นของเตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอทที่ผสมกับกรดซิตริก เข้มข้น 0.06 M.....	60
ค.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา scan rate (mV/s) ของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 Ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตตระเอทิลแอมโมเนียมเตตระโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate ต่างๆที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน.....	63
ง.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตตระเอทิลแอมโมเนียมเตตระโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน.....	66
จ.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน.....	69
ฉ.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา step potential.....	72
ช.1 ข้อมูลที่ได้จากศึกษา modulation amplitude.....	75
ซ.1 ข้อมูลที่ได้จากศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอีที่ใช้ในการเทียบตัวอย่างยูซีลิน.....	80
ซ.2 ข้อมูลที่ได้จากศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอีที่ใช้ในการเทียบตัวอย่างออร์ลทอล.....	81
ซ.3 ข้อมูลที่ได้จากศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ที่ใช้ในการเทียบตัวอย่าง Smooth E .....	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ฅ.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี standard addition .....	85
ณ.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองตัวอย่างที่สกัดได้.....	87
ณ.2 แสดงข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานวิตามินอีที่สกัดได้ (Standard addition).....	88
ณ.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองตัวอย่างที่สกัดได้.....	96
ณ.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองตัวอย่างที่สกัดได้.....	97



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างของวิตามินอีจากธรรมชาติ (รูปแบบ) และรูปวิตามินอีจาก การสังเคราะห์ (รูปต่าง).....	4
2.2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไอโซเมอร์ต่างๆของวิตามินอี.....	5
2.3 แสดงผลิตภัณฑ์วิตามินอีในรูปของแคปซูล.....	11
2.4 แสดง Diagram ของของไหลเหนือวิกฤต.....	13
2.5 แสดงส่วนประกอบเครื่อง SFE.....	13
2.6 แสดงสมบัติของ carbon dioxide ที่ใช้เป็น mobile phase.....	14
2.7 แสดงรูปภาพของ Extraction cell ขนาดต่างๆ.....	15
2.8 แสดงรูปส่วนของRestrictor.....	16
2.9 การให้ศักย์ไฟฟ้าใน potential step voltammetry.....	17
2.10 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้ากับเวลาที่ได้จากการให้ศักย์ไฟฟ้าช่วง $V_1$ ถึง $V_2$ ของสารละลาย $Fe^{3+}$ .....	18
2.11 ความเข้มข้นของ $Fe^{3+}$ ในชั้นการแพร่ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงาน ณ เวลาต่างๆ.....	19
2.12 รูปแบบการให้ศักย์ไฟฟ้าของ linear sweep voltammetry (A) แสดงศักย์ไฟฟ้าที่เวลา ต่างๆ และ (B) แสดง linear sweep voltammogram.....	20
2.13 linear sweep voltammogram ที่ scan rate ต่างๆ ของสารละลาย $Fe^{3+}$ .....	21
2.14 การบันทึก linear sweep voltammogram โดยใช้ค่า voltage sweep rateค่าเดียวกัน แต่มีค่าคงที่ของ reduction rate ( $K_{red}$ ) ต่างกัน.....	22
2.15 การให้ศักย์ไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับเวลาของ ไชคลิก โวลแทมเมท.....	22
2.16 ไชคลิก โวลแทมโมแกรม.....	23
2.17 การแปรผลข้อมูลของ ไชคลิก โวลแทมโมแกรม.....	24
2.18 การเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้าของ Specie.....	25
2.19 รูปลักษณะของ ไชคลิก โวลแทมโมแกรมสำหรับปฏิกิริยาเคมีของ Nernst.....	25
4.1 ไชคลิก โวลแทมโมแกรมของสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์ที่ได้จากขั้วไฟฟ้า ทำงานกลาสคาร์บอน โดยใช้ scan rate 50 mV/s.....	38
4.2 แสดงค่ากระแสกับความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ความเข้มข้นของเตตระบิวทิลแอม โมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอท คงที่ที่ 0.06 M.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 แสดงค่ากระแสกับความเข้มข้นของเตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอท ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก คงที่ที่ 0.06 M.....	40
4.4 พล็อตค่า scan rate (10 – 750 mV/s) กับค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณ ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอนในสารละลายวิตามินอีเข้มข้น 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซัลฟูริกและ 0.06 M เตตระเอททิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์.....	41
4.5 พล็อตค่า scan rate <sup>1/2</sup> กับค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณ ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอนในสารละลายวิตามินอีเข้มข้น 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซัลฟูริก และ 0.06 M เตตระเอททิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์.....	41
4.6 พล็อตค่าความเข้มข้นของวิตามินอี (1-175 ppm) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซัลฟูริก และ 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์ กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณ ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน และใช้ scan rate 50 mV/s.....	42
4.7 พล็อตค่า step potential (0.001-0.025) กับค่า กระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณ ดิฟเฟอร์เรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสคาร์บอนของสารละลายวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซัลฟูริก และ 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์.....	43
4.8 พล็อตค่า step potential (0.001-0.008) กับค่า กระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณ ดิฟเฟอร์เรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสคาร์บอนของสารละลายวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซัลฟูริก และ 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอทในเมทานอลบริสุทธิ์.....	43
4.9 พล็อตค่า modulation amplitude (0.01-0.12) กับค่า กระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณ ดิฟเฟอร์เรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสคาร์บอนของสารละลายวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซัลฟูริก และ 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอทในเมทานอลบริสุทธิ์.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.10	ผลลดค่า modulation amplitude (0.01-0.12) กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสติคาร์บอนของสารละลายวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตะตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์.....	45
4.11	ผลลดค่าความเข้มข้นสารละลายวิตามินอีมาตรฐาน (0-100 ppm) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตะตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์ กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน.....	46
4.12	ผลลดค่าความเข้มข้นสารละลายวิตามินอีมาตรฐาน (0-20 ppm) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตะตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์ กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน.....	46
4.13	ผลลดค่าความเข้มข้นสารละลายวิตามินอีมาตรฐาน (0-10 ppm) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตะตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์ กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสติคาร์บอน.....	47
4.14	แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ความเข้มข้น 0-2 ppm.....	48
4.15	แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ความเข้มข้น 1-10 ppm.....	48
ข.1	ไซคลอกลิวตแอมโมแกรมที่ได้จากการศึกษา scan rate (mV/s) ของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตะตระเอทิลแอมโมเนียมเตตระโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate ต่างๆที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสติคาร์บอน.....	57
ค.1	รูปไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่ได้จากการศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตะตระเอทิลแอมโมเนียมเตตระโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสติคาร์บอน.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
จ.1	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ได้จากการศึกษา step potential ที่ modulation คงที่ ที่ 0.2505 สารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบอเรท ในเมทานอลบรีสุทซ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน.....	68
ฉ.1	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ได้จากการศึกษา modulation amplitude ที่ step potential คงที่ ที่ 0.06 สารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบอเรท ในเมทานอลบรีสุทซ์ และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน.....	71
ช.1	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ได้จากการศึกษา modulation amplitude ที่ step potential คงที่ ที่ 0.06 สารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบอเรท ในเมทานอล บรีสุทซ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน.....	74
ซ.1	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ได้จากศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลาย มาตรฐานวิตามินอี ที่ใช้ในการเทียบตัวอย่างยูซีทีนในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบอเรท ในเมทานอล บรีสุทซ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน.....	77
ซ.2	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ได้จากศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลาย มาตรฐานวิตามินอี ที่ใช้ในการเทียบตัวอย่างออร์ลทอล ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบอเรท ในเมทานอล บรีสุทซ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน.....	78
ซ.3	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ได้จากศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลาย มาตรฐานวิตามินอีที่ใช้ในการเทียบตัวอย่าง Smooth E ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบอเรท ในเมทานอล บรีสุทซ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน.....	79
ณ.1	ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ได้จากการศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐาน วิตามินอี standard addition ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบอเรท ในเมทานอลบรีสุทซ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน.....	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ฅ.2 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ได้จากการศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี standard addition ที่เป็นสารละลายมาตรฐานวิตามินอีความเข้มข้น 2 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซिटริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเติตระฟลูออโรโบเรท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน.....	85
ฅ.1 แสดงกราฟสารละลายมาตรฐานวิตามินอีช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง 0-2 ppm.....	87
ฅ.2 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของยูซีลิน 0.1 กรัม (A) ตัวอย่างยูซีลินหลอดที่ 1 (B) ตัวอย่างยูซีลินหลอดที่ 2 .....	89
ฅ.3 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของยูซีลิน 0.1 กรัม เติมด้วยสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 100 ไมโครลิตร 1000 ppm (A) ตัวอย่างยูซีลินหลอดที่ 1 (B) ตัวอย่างยูซีลินหลอดที่ 2 .....	90
ฅ.4 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของออเรนทอล 0.1 กรัม (A) ตัวอย่างออเรนทอลหลอดที่ 1 (B) ตัวอย่างออเรนทอลหลอดที่ 2.....	91
ฅ.5 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของออเรนทอล 0.1 กรัม เติมด้วยสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 100 ไมโครลิตร 1000 ppm (A) ตัวอย่างออเรนทอลหลอดที่ 1 (B) ตัวอย่างออเรนทอลหลอดที่ 2 .....	92
ฅ.6 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของสมูทอี 0.1 กรัม (A) ตัวอย่างสมูทอีหลอดที่ 1 (B) ตัวอย่างสมูทอีหลอดที่ 2.....	93
ฅ.7 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของสมูทอี 0.1 กรัม เติมด้วยสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 100 ไมโครลิตร 1000 ppm (A) ตัวอย่างสมูทอีหลอดที่ 1 (B) ตัวอย่างสมูทอีหลอดที่ 2.....	94
ฅ.1 แสดงกราฟสารละลายมาตรฐานวิตามินอีช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง 0-2 ppm .....	96
ฅ.2 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของยูซีลิน 0.1 กรัม.....	98
ฅ.3 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของยูซีลิน 0.1 กรัม เติมด้วยสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 100 ไมโครลิตร 1000 ppm.....	98
ฅ.4 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของออเรนทอล 0.1 กรัม .....	99
ฅ.5 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของออเรนทอล 0.1 กรัม เติมด้วยสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 100 ไมโครลิตร 1000 ppm .....	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูป.6 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของสมุทสี 0.1 กรัม.....	100
รูป.7 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของสมุทสี 0.1 กรัม เติมด้วยสาร ละลายมาตรฐานวิตามินอี 100 ไมโครลิตร 1000 ppm .....	100



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ช่วงหลายปีที่ผ่านมา สารต้านอนุมูลอิสระเริ่มเป็นที่รู้จักกันมากขึ้น มีการโฆษณาผ่านสื่อต่างๆ ไม่ว่าจะผ่านทางโทรทัศน์ วิทยุ อินเทอร์เน็ต หรือสื่อสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ เพื่อให้ความรู้หรือจำหน่ายผลิตภัณฑ์ เนื่องมาจากประโยชน์ของสารต่อต้านอนุมูลอิสระซึ่งมีมากมายและตอบสนองความต้องการของมนุษย์ เช่น การช่วยชะลอการเกิดริ้วรอยเหี่ยวย่นบนใบหน้าและส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย ช่วยลดความเสี่ยงเกี่ยวกับโรคทางประสาท ระบบภูมิคุ้มกัน การเกิดโรคหัวใจและป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง ทั้งนี้เนื่องมาจากคนในยุคปัจจุบันมีพฤติกรรมการบริโภคอาหารที่ให้พลังงานสูงและไม่นิยมออกกำลังกาย ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นสาเหตุหลักของการเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ ตามมาเช่น โรคหัวใจและโรคมะเร็งต่างๆ

ในโมเลกุลของสารเคมีจะมีอิเล็กตรอนอยู่เป็นคู่แต่เมื่อได้รับการกระตุ้นจากสิ่งเร้าต่างๆ ทำให้เกิดการแยกคู่ เช่น มลพิษในอากาศ แสง ความร้อน การออกกำลังกายอย่างหักโหม ยาบางชนิด ซึ่งเป็นผลทำให้อิเล็กตรอนเกิดการแยกออกจากกันนี้ทำให้โมเลกุลถูกเรียกว่า อนุมูลอิสระ ซึ่งมีอายุสั้นมาก มีความว่องไวต่อการดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลข้างเคียง ทำให้โมเลกุลที่ถูกดึงอิเล็กตรอนไปกลายเป็นอนุมูลอิสระ และจะไปดึงอิเล็กตรอนจากโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงต่อ ๆ ไป กลายเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่

การเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ทำให้เกิดความเสียหายแก่เซลล์ของอวัยวะในร่างกาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผนังเซลล์ทำให้เซลล์ตายหรือทำงานไม่ได้ จนอาจเกิดมะเร็ง อนุมูลอิสระเป็นสารพิษต่อเซลล์ โดยจะทำลายดีเอ็นเอ เยื่อหุ้มเซลล์ แต่เซลล์เม็ดเลือดขาวจะใช้อนุมูลอิสระในการกำจัดแบคทีเรีย

#### ตัวอย่างอนุมูลอิสระมีดังนี้

- |                             |                      |                     |
|-----------------------------|----------------------|---------------------|
| 1. Superoxide anion radical | 2. Hydroxyl radical  | 3. Peroxide radical |
| 4. Peroxyl radical          | 5. Hydrogen peroxide | 6. Ozone            |
| 7. Singlet oxygen           | 8. Hydrogen radical  | 9. Methyl radical   |

#### สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกายและจัดเป็นเอนไซม์ได้แก่

1. Superoxide dismutase (SOD)
2. Catalase (CAT)
3. Glutathione peroxidase (GPX)
4. Glutathione reductase (GR)
5. Glutathione S-transferase (GST)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกายและไม่จัดเป็นเอนไซม์ ได้แก่

- |                |                |                  |
|----------------|----------------|------------------|
| 1. Glutathione | 2. Lipoic acid | 3. Ceruloplasmin |
| 4. Albumin     | 5. Transferrin | 6. Haptoglobin   |
| 7. Hemopexin   | 8. Uric acid   | 9. Bilirubin     |
| 10. Cysteine   |                |                  |

### สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในอาหารและไม่จัดเป็นเอนไซม์

- |                            |                |                  |
|----------------------------|----------------|------------------|
| 1. Tocopherols (vitamin E) | 2. Carotenoids | 3. Ascorbic acid |
| 4. Steroids                | 5. Ubiquinones | 6. Thiols        |
| 7. Inosine                 | 8. Taurine     | 9. Pyruvate      |
| 10. Gallic acid            | 11. Flavonoids | 12. Trolox       |
| 13. BHT                    | 14. BHA        |                  |

สารต้านอนุมูลอิสระจะทำลายอนุมูลอิสระ โดยการจับอนุมูลอิสระ ลดการเกิดปฏิกิริยา ณ จุดตั้งต้นหรือยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ ในโครงการพิเศษนี้จะวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระที่พบได้ในเครื่องสำอางและไม่จัดเป็นเอนไซม์คือ Tocopherols หรือ วิตามินอี

แหล่งที่พบวิตามินอีได้แก่ น้ำมันพืชต่าง ๆ เมล็ดพืช ข้าวโพด ถั่ว แป้งสาลี เนยเทียม เนื้อสัตว์ นมและเครื่องสำอางต่าง ๆ

การเกิดริ้วรอยของผิวหนังคือการทำลายเซลล์ของผิวหนังโดยอนุมูลอิสระที่จะเข้าไปจับกับ เอนไซม์ กรดนิวคลีอิก (nucleic acid) และคอลลาเจน ทำให้สารเหล่านี้สูญเสียคุณสมบัติไป ความผิดปกติอาจเกิดขึ้นได้ตั้งแต่การเกิดริ้วรอยของผิวหนังมากกว่าปกติจนถึงความผิดปกติที่รุนแรง โดยปกติร่างกายเราจะกำจัดสารอนุมูลอิสระโดยใช้สารต้านอนุมูลอิสระที่มีอยู่ในร่างกาย ได้แก่ วิตามินซี วิตามิน อี โดยมีเอนไซม์ superoxide dismutase ร่วมด้วย ดังนั้นการใช้สารต้านอนุมูลอิสระทาผิวจึงเป็นการเสริมการทำงานของสารต้านอนุมูลอิสระในร่างกาย

เครื่องสำอางที่ใช้ในปัจจุบันมีการเติมวิตามินอีลงไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านการต่อต้านริ้วรอยบนผิวหนังและใบหน้าเนื่องจากปัจจัยจากภายในร่างกาย เช่น ต่อมไขมันทำงานลดลงจึงทำให้ผิวขาดความชุ่มชื้น เส้นใยคอลลาเจนมีปริมาณลดลงจึงทำให้ผิวมีความยืดหยุ่นน้อยลง การไหลเวียนเลือด สารโชนต่างๆและพันธุกรรม นอกจากนี้ยังมีปัจจัยภายนอก เช่น รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet; UV) ทำลายเซลล์ผิวหนัง สารเคมี ความร้อน ความชื้น การสูบบุหรี่และการดื่มแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารต้านอนุมูลอิสระมีผลดีต่อร่างกาย อาจลดเปอร์เซ็นต์ในการเกิดโรคต่างๆได้ ชะลอการเกิดริ้วรอยเหี่ยวย่นต่าง ๆ บนใบหน้าและส่วนอื่น ๆ ร่างกาย แต่มีงานวิจัยบางส่วนพบว่าสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในอาหารพวกผักสดและผลไม้มากกว่าสารสกัด ดังนั้นการรับประทานผักและผลไม้จึงเป็นสิ่งที่ทำได้ง่ายและส่งผลดีต่อสุขภาพ

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาวิธีการสกัดวิตามินอีในเครื่องสำอาง โดยใช้เทคนิค Supercritical Fluid Extraction (SFE)
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์วิตามินอีโดยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า
3. นำวิธีที่ศึกษามาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาวิตามินอีในผลิตภัณฑ์ต่างๆ

## 1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดวิตามินอี โดยเทคนิค Supercritical Fluid Extraction
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์วิตามินอี โดยใช้เทคนิคทางไซคลิกโวลแทมเมตรี และเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ในการตรวจวัดปริมาณวิตามินอี ได้แก่ ชนิดและความเข้มข้นของบัฟเฟอร์ pH, Scan rate, Step potential และ Modulation amplitude ที่เหมาะสม
3. วิเคราะห์ตัวอย่างวิตามินอีในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางค์

## 1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

1. สืบค้นข้อมูลจากแหล่งข้อมูล
2. ศึกษาข้อมูลที่ได้และวางแผนการดำเนินงาน โดยจัดเตรียมอุปกรณ์ สารเคมี สารมาตรฐานและเครื่องมือที่ใช้
3. ดำเนินการทดลอง โดยการเตรียมตัวอย่างกึ่งของเหลวในอัตราที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SFE
4. ศึกษาสภาวะและวิธีการวิเคราะห์วิตามินอีที่เหมาะสม โดยเทคนิคทางไซคลิกโวลแทมเมตรี และเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดตัวอย่างโดยใช้เทคนิค SFE
2. พัฒนารูปแบบการวิเคราะห์ และตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการวิเคราะห์วิตามินอี โดยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า
3. สามารถนำวิธีการสกัดและวิธีการวิเคราะห์ที่พัฒนาแล้วใช้กับตัวอย่างเครื่องสำอางค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

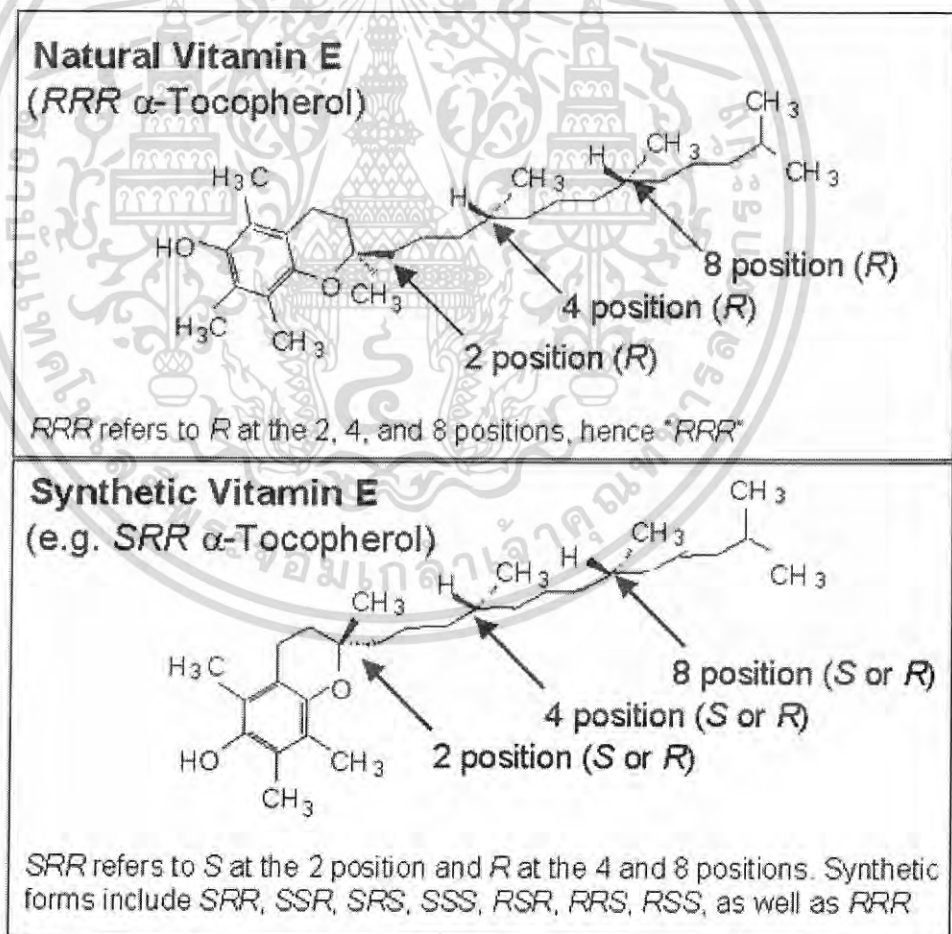
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 วิตามินอี

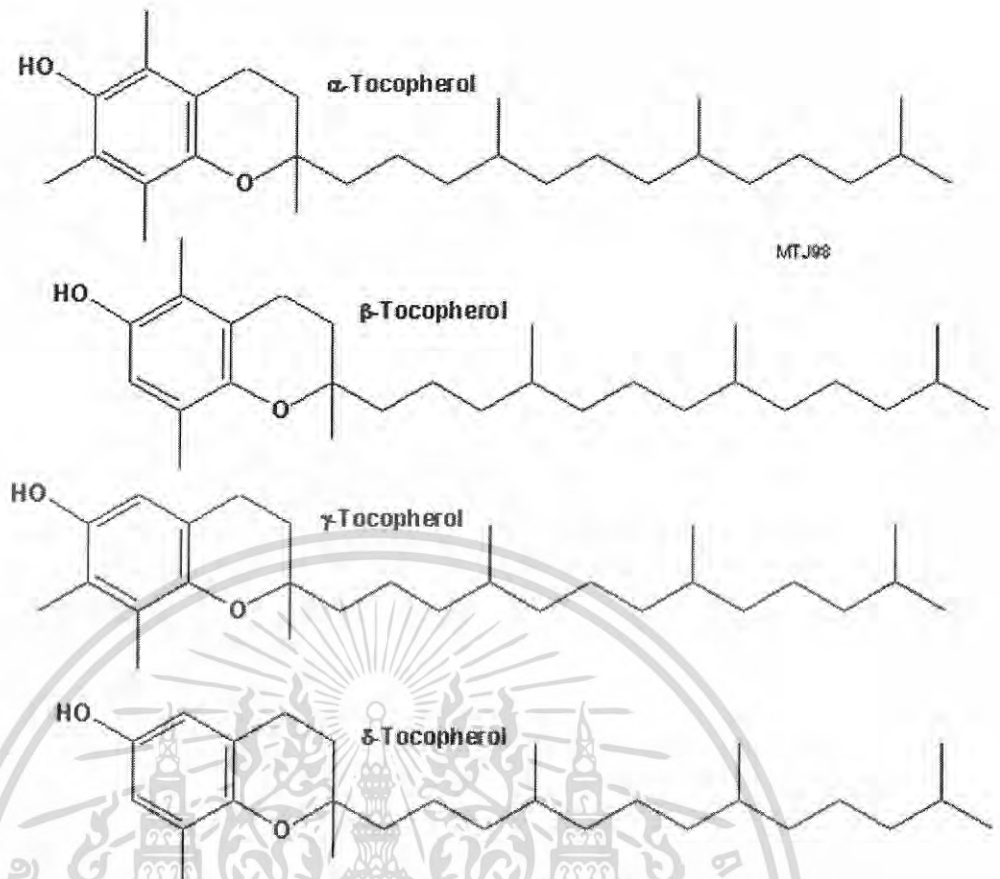
มีสูตรทั่วไปคือ  $C_{29}H_{50}O_2$  มีลักษณะเป็นน้ำมันข้นสีเหลือง ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถละลายในไขมันและตัวทำละลายไขมัน สารนี้ไม่ทนต่อค่างและแสง สามารถรวมตัวกับออกซิเจนได้รวดเร็ว จึงใช้เป็นสารกันการเติมออกซิเจน (antioxidant)

Tocopherol มีอยู่หลาย isomer ได้แก่ alpha, beta, gamma, และ zigma tocopherol ในกลุ่ม alpha-tocopherol มีประสิทธิภาพสูงสุด วิตามินอีธรรมชาติอยู่ในรูปของ dl-alpha-tocopherol ซึ่งเป็นรูปแบบที่จำหน่ายในชื่อ “Natural Vitamin E” ส่วนวิตามินอีที่ได้จากการสังเคราะห์คือ d-alpha-tocopherol หน่วยของวิตามินอี เรียกว่า –tocopherol equivalent [ T.E.] โดยที่ 1 IU = 1 มิลลิกรัม dl-alpha-tocopheryl acetate = 0.6 มิลลิกรัม d-alpha-tocopherol



**รูปที่ 2.1** แสดงโครงสร้างของวิตามินอีจากธรรมชาติ (รูปบน) และรูปวิตามินอีจากการสังเคราะห์ (รูปล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของไอโซเมอร์ต่างๆของวิตามินอี

### 2.1.1 หน้าที่ของวิตามินอี

ในปัจจุบันวิตามินอีเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่าเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ เป็นตัวจับ free radical ต่างๆ รักษาความคงทนของเนื้อเยื่อและเซลล์ของร่างกาย เนื้อเยื่อร่างกายประกอบด้วยสารจำพวก ฟอสโฟลิปิด (ไขมันชนิดหนึ่ง) กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว แรงยึดเหนี่ยวของกรดไขมันชนิดนี้ถูกออกซิเจนทำลายได้โดยง่าย ทำให้เซลล์ของร่างกายสูญเสียความคงทน และสลายตัวเป็นกรดไขมันชนิดหนึ่งซึ่งเป็นอันตรายต่อเซลล์ร่างกาย กรดไขมันชนิดนี้เป็นสารพวกเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะเกิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในเนื้อเยื่อ

### 2.1.2 ประโยชน์ของวิตามินอี

วิตามินอีเป็นสารต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดีเลิศ ให้ผลในการป้องกันการทำลายเซลล์ ลดความเสื่อมของอวัยวะต่างๆ ที่มีสาเหตุมาจากอนุมูลอิสระ (free radical) และปกป้องเยื่อหุ้มเซลล์ที่อวัยวะต่างๆ เช่น เซลล์ของผิวหนัง ตา ตับ หน้าอก และลูกอัณฑะ ทำให้อวัยวะดังกล่าวมีประสิทธิภาพการทำงาน และอายุการใช้งานนานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดอนุมูลอิสระจากกรดไขมันดังกล่าวในร่างกายทำให้เนื้อเยื่อเกิดการระคายเคืองและโดนทำลาย ก่อให้เกิดอาการอักเสบเรื้อรังตามมา ซึ่งมักเกิดกับเซลล์ผนังหลอดเลือด มีผลทำให้เกิดภาวะผนังหลอดเลือดแข็งตัว การเกิดริ้วรอยความเหี่ยวย่น เพิ่มความยืดหยุ่นให้โครงสร้างที่ดีและความตึงของผิว ภาวะมะเร็งได้ในระยะยาว ดังนั้นการได้รับวิตามินอีในปริมาณที่เหมาะสมจะสามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อภาวะดังกล่าวได้

มีรายงานเกี่ยวกับประโยชน์ของการใช้วิตามินอีเป็นอาหารเสริมในผู้ป่วยโรคเบาหวาน และผลการศึกษาค้นคว้าทดลองบ่งชี้ถึงข้อดีของการเกิดโรคหัวใจล้มเหลวในผู้ป่วยเป็นเบาหวาน จากผลการทดลองพบว่าผู้ป่วยจะมีโอกาสเสี่ยงของโรคลดลง ผู้ป่วยโรคเบาหวานมีแนวโน้มการสะสมอนุมูลอิสระจำนวนมาก จึงเป็นไปได้ที่วิตามินอีจะไปช่วยลดปริมาณของอนุมูลอิสระดังกล่าว วิตามินอียังมีผลในการลดการเกาะตัวกันของเกล็ดเลือด และส่งผลทำให้เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจมีประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น โดยใช้ก๊าซออกซิเจนน้อยลง ซึ่งช่วยลดอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคระบบหลอดเลือดและหัวใจ

วิตามินอีมักถูกใช้ควบคู่กับวิตามินบีเสมอ ทางแพทย์จึงเรียกว่า วิตามินพี่น้อง วิตามินอีมีส่วนช่วยป้องกันโรคโลหิตจางและอาการหลอดเลือดแข็ง ทำให้การทำงานของหัวใจและการไหลเวียนของโลหิตเป็นปกติ นอกจากนี้ยังช่วยเก็บออกซิเจนและลดคอเรสเตอรอลในโลหิตทำให้ไม่เกิดลิ่มในหลอดเลือด (thrombosis) ซึ่งเป็นอันตรายแก่ชีวิตได้ง่าย จึงกล่าวได้ว่าวิตามินอีเป็นยาอายุวัฒนะชนิดหนึ่ง

### 2.1.3 ปริมาณที่แนะนำต่อวัน

เนื่องจากวิตามินอีเป็นวิตามินอีที่ไม่เป็นพิษ สำหรับการแนะนำให้รับประทานคือวันละ 400-600 IUs สำหรับผู้ที่ต้องการบริโภคในปริมาณที่สูงมากควรปรึกษาแพทย์ เพราะอาจทำให้เกิดภาวะความดันโลหิตสูง ผู้ที่อยู่ในมลภาวะ รับประทานอาหารประเภทไขมัน น้ำมัน ฮอรัโมนเพศ หลังเอสโตรเจน ผู้ที่ดื่มชา กาแฟควรรับประทานวิตามินอีในปริมาณที่เพียงพอทุกวัน

การรับประทานวิตามินอีร่วมกับสารต้านอนุมูลอิสระอื่นๆ เช่น วิตามินซี บีต้าแคโรทีน กลูตาไทโอน และซีลีเนียม จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของวิตามินอีดีขึ้นหลายเท่าอีกด้วย

ตารางที่ 2.1 แสดงปริมาณที่แนะนำในวัยต่างๆ 32

อายุและวัย	ปริมาณทั่วไป (IU)
ทารก(infants)	30-50
เด็ก(children)	30-60
วัยรุ่น(adolescent)	50-150
ชายวัยทำงาน(adult Males)	250
หญิงวัยทำงาน(adult females)	150-200
หญิงระยะตั้งครรภ์(pregnant)	200-300
หญิงระยะให้นมบุตร(lactation)	200-300

#### 2.1.4 แหล่งวิตามินอีจากอาหาร

วิตามินอีพบได้มากในอาหารประเภทพืชได้แก่

ตารางที่ 2.2 แสดงแหล่งที่พบวิตามินอี

แหล่งอาหาร	ปริมาณโดยประมาณ (IU ต่อ 100 กรัม)
อัลมอนด์	13.5
น้ำมันอัลมอนด์	5.8
น้ำมันแอฟริคอต	19.0
บราซิลนัท	5.9
กะหล่ำปรี	6.4
เมล็ดมะม่วงหิมพานต์	4.6
น้ำมันข้าวโพด	19.0
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	40.0
เฮเซลนัท	19.0
เนยเทียม	16.2
ถั่วลิสง	6.3
น้ำมันถั่วลิสง	14.4
เมล็ดดอกคำฝอย	31.5
เมล็ดทานตะวัน	28.0
วอลนัท	20.0
จมูกข้าวสาลี	144.0
ข้าวสาลีบดทั้งเปลือก	27.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางแสดงว่าแหล่งอาหารที่มีปริมาณวิตามินอีมากที่สุดคือจมูกข้าวสาลี ทั้งนี้ปริมาณวิตามินอีจะขึ้นอยู่กับการปฏิบัติในการเก็บรักษาและการปรุงอาหาร การหุงต้มปกติไม่ทำให้สูญเสียวิตามินอี อาหารแช่แข็งที่มีวิตามินอี เมื่อเก็บไว้นาน ๆ จะทำให้สูญเสียวิตามินอี รวมทั้งวิตามินอี ยังสลายตัวเมื่อได้รับแสงอัลตราไวโอเล็ต ออกซิเจนและด่าง เว้นแต่จะได้ป้องกันอาหารนั้นไม่ให้สัมผัสกับอากาศ

### 2.1.5 การขาดวิตามินอี

สำหรับสัตว์แล้วการขาดวิตามินอีถือว่ามีอันตรายมากถึงชีวิต มีผลต่อการสืบพันธุ์ของสัตว์ ถ้าขาดจะทำให้เป็นหมันเพราะเซลล์สืบพันธุ์สลายตัว กล้ามเนื้อหลอดไตอักเสบ ขนเปลี่ยนสี มีการทำลายตับ กล้ามเนื้อฝ่อ หัวใจเสื่อม และเป็นโรคโลหิตจาง

แต่สำหรับมนุษย์อาการต่างๆไม่ปรากฏชัดเจน อาจจะเป็นเพราะว่ามีวิตามินอีอยู่ในอาหารมนุษย์อย่างหลากหลาย และร่างกายมีวิตามินอีสำรองอยู่บ้างในส่วนที่เป็นไขมันของร่างกาย

แต่สำหรับสตรีที่มีครรภ์และให้อาหารทารกแรกคลอดมีความจำเป็นต้องได้รับปริมาณวิตามินชนิดนี้เพียงพอเพื่อป้องกันการแท้งบุตร การเกิดโรคโลหิตจางและอาการบวมหน้าของทารก

ผู้ที่มีปัญหาเรื่องน้ำดี (น้ำดีมีส่วนร่วมในการดูดซึมไขมัน) มีความยากลำบากในการดูดซึมไขมัน อาการดังกล่าวจะทำให้เกิดภาวะการขาดวิตามินอี สัญญาณการเกิดความเสียหายของประสาทจึงเริ่มปรากฏ ทำให้สูญเสียการรับสัมผัสและการสนองต่อสิ่งเร้า สูญเสียความรู้สึกทางกายกล้ามเนื้ออ่อนแรง มีปัญหาเรื่องการกลอกตาและทรงตัวได้ยาก อวัยวะทำงานไม่ประสานกัน หากภาวะการขาดวิตามินอีไม่ได้รับการแก้ไข ความเสียหายที่เกิดขึ้นอาจไม่กลับคืนสู่สภาพเดิมได้

เนื่องจากเยื่อหุ้มเม็ดเลือดแดงมีความไวต่อการทำลายของออกซิเจนสูงมาก ผู้ที่ขาดวิตามินอีจึงอาจเกิดภาวะเม็ดเลือดแดงสลายตัวได้ ผู้ที่มีภาวะแฝงหรือพันธุกรรมที่ไวต่อการถูกทำลายด้วยออกซิเจน เป็นต้นว่าผู้ที่ขาดเอนไซม์ กลูโคส-6-ฟอสเฟต ดีไฮโดรเจเนส (G6PD) มักมีแนวโน้มขาดวิตามินอี ธาตุเหล็กเป็นสารตั้งต้นในการเติมออกซิเจน การมีธาตุเหล็กอยู่มากจึงมีความต้องการใช้วิตามินอีที่เก็บสะสมไว้มากขึ้นตาม ผู้ที่กินผลิตภัณฑ์ที่มีธาตุเหล็กเป็นส่วนประกอบหรือผู้ที่มีปัญหาในการขับถ่ายหรือขจัดธาตุเหล็กออกจากร่างกาย จึงต้องกินวิตามินอีเสริม

### 2.1.6 พิษจากวิตามินอี

ถ้ากินวิตามินอีขนาดสูงมาก วิตามินอีจะไปชะลอการดูดซึมวิตามินเอและเคจากทางเดินอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิตามินอีสามารถขัดขวางการสร้างวิตามินเค รูปแบบที่ออกฤทธิ์ จึงขัดขวางความสามารถในการจับก้อนของเลือดตามไปด้วย นอกจากนี้วิตามินเอยังสามารถขัดขวางการจับตัวกันของเกร็ดเลือด การจับตัวกันน้อยลงของเกล็ดเลือด อาจทำให้มีความเสี่ยงที่จะเกิดโรคลิ่มปัจจุบัน

### 2.1.7 วิตามินอีในเครื่องสำอาง

1) การเป็นสาร antioxidant วิตามินอีเป็นสาร antioxidant ได้เพราะสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ lipid ชนิดไม่อิ่มตัว (lipid peroxides) ในผิวหนังได้ ทั้งนี้เพราะเยื่อเซลล์ (cell membrane) ประกอบด้วย phospholipid ซึ่งส่วนใหญ่เป็น lipid ชนิดไม่อิ่มตัวสามารถเกิด lipid peroxides ได้ และมีผลต่อความแก่ก่อนวัยของผิว เมื่อเกิดปฏิกิริยา lipid peroxides จะได้ malondialdehyde (MDA) ซึ่ง MDA จะทำปฏิกิริยา cross-link กับสารคอลลาเจน ทำให้ปริมาณ soluble collagen ลดลง และ insoluble collagen เพิ่มมากขึ้น ทำให้ความยืดหยุ่นของผิวลดลง จากการทดลองในหนูไม่มีขน (hairless mice) พบว่ามีวิตามินอีอะซีเตต ในปริมาณ 5% จะช่วยลดการเกิด MDA ลงไป 40-80% ต่อมามีการทดลองในคน ผลการทดลองสนับสนุนคุณสมบัติวิตามินอี และอนุพันธ์ของวิตามินอี ว่าสามารถช่วยลดความชราภาพของผิว เนื่องจากป้องกันการเกิด free radical และยับยั้งการเกิด lipid peroxidation ให้ลดลง วิตามินอีจึงมีบทบาทสำคัญในการป้องกันการเกิด free radical และยับยั้งการเกิด lipid peroxide

2) การชะลอความชราภาพของผิว เป็นที่ทราบกันว่า free radical มีผลต่อความชราภาพของผิว เพราะจะทำให้มีการทำลายเซลล์และทำให้เซลล์ตาย การออกกำลังกายที่มากเกินไปและความเครียดทำให้มี free radical เกิดขึ้นในขณะที่ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ free radical ยังเกิดจากเอ็นไซม์ต่าง ๆ ได้ เช่น superoxide dimutase และ catalase วิตามินอีช่วยชะลอความชราภาพของผิว จากการทดลองพบว่า วิตามินอี ในปริมาณ 5% เมื่อทาบนผิวจะช่วยลดปริมาณเอ็นไซม์ ornithine dicarboxylase บนผิว ซึ่งจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อผิวโดนแสง UV ได้ถึง 91% วิตามินอีช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของผิวโดยมีผลต่อ elastic fiber ในผิวชั้น dermis และ connective tissue collagen เนื่องจากวิตามินอี ไม่สามารถซึมซับไปได้ถึง subepidermis tissue ดังนั้นการใช้วิตามินอี จะได้ผลดีถ้ามีการรับประทานร่วมด้วย

3) การป้องกันแสงอัลตราไวโอเล็ต แสงแดดเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ผิวแก่ก่อนวัย มีการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่าแสง UV-B (ความยาวคลื่น 220-320 นาโนเมตร) เป็นตัวทำให้เกิด free radical ในผิวหนังสัตว์ทดลอง แต่ถ้ามีการทาวิตามินอีอะซีเตต ในผิวของหนูไม่มีขน ก่อนฉายแสงอัลตราไวโอเล็ตในช่วง UV-B พบว่าวิตามินอีอะซีเตต ช่วยลดอาการแดงได้ 40-55 % จากการดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่า ผิวที่ทาวิตามินอีอะซีเตตก่อนการฉายแสงอัลตราไวโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

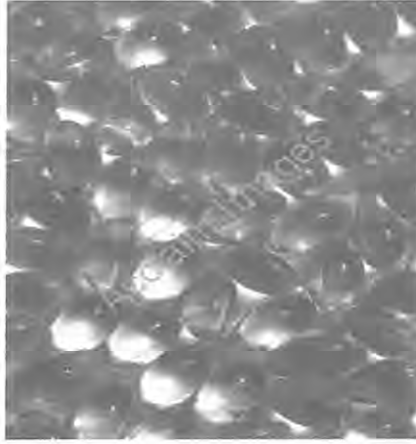
เลตในช่วง UV-B จะมีการป้องกันเซลล์ผิวชั้นนอก และช่วยป้องกันการอักเสบด้วย โดยสรุป วิตามินอีอะซีเตต สามารถยับยั้งกลไกการเกิด free radical เนื่องจากการได้รับแสง UV-B

4) การให้ความชุ่มชื้นกับผิว ปัจจัยที่มีผลสำคัญที่สุดต่อความชราภาพของผิวคือ ผิวแห้ง และการขาดสมดุลหรือเกิดความบกพร่องของความสามารถในการอุ้มน้ำของ Stratum corneum ในชั้นผิวหนึ่งจะทำให้สูญเสียน้ำและแห้ง จากการศึกษาคุณสมบัติการให้ความชุ่มชื้นกับผิว โดยใช้วิตามินอีอะซีเตต ในรูปของอิมัลชันที่ความเข้มข้น 1,2.5 และ 5% ทาบนผิวและวัดค่าการสูญเสียน้ำ (transepidermal water loss, TEWL) พบว่าวิตามินอีอะซีเตตที่ความเข้มข้น 1.0 และ 2.5% จะไม่ค่อยเห็นผลเท่าไรนัก แต่ที่ความเข้มข้น 5.0% จะลดการสูญเสียน้ำได้ 19% หลังการทา 3 นาที และ 24% หลังการทาต่อเนื่องกัน 4 วัน ซึ่งประสิทธิภาพของวิตามินอีอะซีเตตจะเพิ่มขึ้นหากทาซ้ำและทาบ่อย ๆ

5) การดูแลและปรับสภาพเส้นผม อนุพันธ์ของวิตามินอีซึ่งเป็นที่รู้จักกันมากที่สุดที่นิยมใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ดูแลปรับสภาพผม คือ วิตามินแพนทีนอล (Panthenol) ซึ่งมีคุณสมบัติดีมากในการให้ความชุ่มชื้นบนเส้นผมและหนังศีรษะ จะคงอยู่บนเส้นผมและหนังศีรษะได้เป็นเวลานาน ต่อมาได้มีการศึกษาซึ่งชี้ให้เห็นอย่างเด่นชัดว่าวิตามินอื่น ๆ และอนุพันธ์เหล่านั้น นอกเหนือจากแพนทีนอล มีบทบาทสำคัญในการดูแลและป้องกันเส้นผม หนังศีรษะไม่ให้ถูกทำลายโดยความร้อน ความแห้ง การตัดหรือย้อมผม เส้นผมต้องสัมผัสกับสารเคมี จากการทดลองใช้แชมพูและครีมนวดผม ที่มีส่วนผสมของวิตามินอีอะซีเตต 1% สระผมที่ไม่เคยตัดหรือย้อมมาก่อน และประเมินผลความสามารถในการติดค้างบนเส้นผมและการแทรกซึมไปในเส้นผม พบว่ามีการติดอยู่บนเส้นผมและหนังศีรษะได้นาน หลังจากการใช้ติดต่อกัน 5 ครั้ง

6) การช่วยลดการอักเสบ วิตามินอี สามารถลดและบรรเทาการอักเสบได้ นอกจากนี้ยังช่วยยับยั้งการระคายเคืองต่อผิว อาการแพ้รวมกับการอักเสบและการคันด้วย อนุพันธ์วิตามินอีใหม่ ๆ ที่น่าสนใจนอกเหนือจากวิตามินอีอะซีเตตได้แก่ วิตามินอีลิโนเลอเทอ (Vitamin E Linoleate) และวิตามินอีนิโคติเนท (Vitamin E Nicotinate) วิตามินอีลิโนเลอเทอ สามารถแทรกซึมลงไปได้ถึงเซลล์ผิวหนึ่งชั้น stratum corneum ช่วยรักษาระดับน้ำ ในเซลล์ ทำให้ผิวชุ่มชื้น มีคุณสมบัติเป็นตัวให้ความชุ่มชื้นผิวได้ระยะเวลานาน ทั้งนี้ เพราะมีการสะสมวิตามินอีลิโนเลอเทอ ในชั้น stratum corneum และส่วนบนของชั้น epidermis สำหรับวิตามินอีนิโคติเนทจะช่วยเพิ่มการไหลเวียนของโลหิต (microcirculation) ช่วยทำให้สภาพผิวดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงผลึกภักทวิทามินอีในรูปของแคปซูล [5]

จะเห็นว่าวิตามินอี โดยเฉพาะอีอะซีเตตมีคุณสมบัติในการช่วยป้องกันผิวและช่วยบำรุงรักษาผิว การใช้วิตามินอีและวิตามินอีอะซีเตตเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอางจะได้ผลดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับปริมาณวิตามินอีหรือวิตามินอีอะซีเตต ที่ผสมอยู่ในเครื่องสำอาง ปริมาณวิตามินอีอะซีเตตที่ใช้เป็นส่วนผสมในครีมบำรุงผิว ครีมกันแดด และครีมปรับสภาพเส้นผมจะต้องมีปริมาณความเข้มข้นที่เหมาะสม เพื่อให้ผู้ใช้ได้รับประโยชน์อย่างเต็มที่ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาวิจัย พบว่า ปริมาณวิตามินอีอะซีเตตควรมีปริมาณ 5% ในครีมบำรุงผิว 1% ในครีมปรับสภาพเส้นผม จึงจะให้ผลในการใช้ ดังนั้นผู้บริโภคที่ใช้เครื่องสำอางดังกล่าวควรพิจารณาเลือกซื้อเครื่องสำอางที่ระบุปริมาณวิตามินอี และวิตามินอีอะซีเตตบนฉลากเพื่อจะได้ประโยชน์อย่างสูงที่สุดจากการใช้ อย่างไรก็ตามการใช้วิตามินอี ถ้าจะให้ได้ผลดีก็ควรต้องใช้ร่วมกับการรับประทาน โดยการควบคุมของแพทย์อย่างใกล้ชิด

ในเครื่องสำอางที่มี amines และ amides เป็นส่วนประกอบจะมีสารปนเปื้อนประเภท nitrites อยู่ด้วย ทำให้เกิด nitrosamine หรือ nitroamide ได้ ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง สามารถป้องกันได้ โดยการเติม blocking agent ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการลดการเกิด nitrosamine ในครีมและโลชั่น เนื่องจากวิตามินอีสามารถทำลาย free radicals ต่าง ๆ

นอกจากนี้วิตามินอียังใช้รักษาอาการต่าง ๆ ได้แก่

- บรรเทาอาการผิปกติก่อนมีประจำเดือน (PSM)
- บรรเทาอาการขาเป็นตะคริวเวลากลางคืน
- ลดความเสี่ยงต่อการเป็นคอกระจก
- ชะลอการทรุดตัวของโรคความจำเสื่อมหรืออัลไซเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

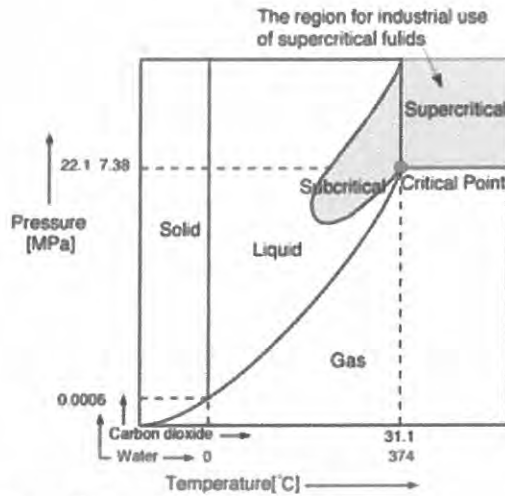
## 2.2 Supercritical Fluid Extraction

### 2.2.1 หลักการ

ในสภาวะอุณหภูมิและค่าความดันค่าหนึ่ง สารบริสุทธิ์ใดๆ สามารถเป็นทั้งของเหลวอิมัลชันและไออิมัลชัน โดยเรียกสภาวะนี้ว่า จุดวิกฤต (critical point) [3] ซึ่งสภาวะนี้สามารถแสดงเป็นจุดในกราฟระหว่างอุณหภูมิและความดัน ถ้าเพิ่มอุณหภูมิหรือความดันให้สูงกว่าจุดวิกฤตนี้ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของของไหล และเรียกของไหลที่อยู่ในสภาวะนี้ว่า ของไหลเหนือวิกฤต (supercritical fluid) ของไหลเหนือวิกฤตมีองค์ประกอบที่ไม่ใช่ของเหลวหรือก๊าซ แต่เป็นของไหลกึ่งของเหลวและก๊าซ ทำให้ของไหลเหนือวิกฤตมีคุณสมบัติต่างๆ คล้ายตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถแพร่ได้มากกว่า และมีความหนืดและแรงตึงผิวน้อยกว่าการสกัดด้วยของไหลเหนือวิกฤต มีข้อดีหลายประการ ได้แก่ เป็นตัวทำละลายที่สามารถควบคุมได้โดยการปรับอุณหภูมิหรือความดัน สามารถนำของไหลเหนือวิกฤตกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นตัวทำละลายที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม สามารถสกัดสารสำคัญที่มีจุดเดือดสูง โดยใช้อุณหภูมิต่ำได้ ไม่จำเป็นต้องทำความสะอาดหรือปรับสภาพของสารสกัดเช่นเดียวกับวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม สามารถสกัดสารที่ละลายตัวโดยอุณหภูมิสูงได้เพราะใช้อุณหภูมิต่ำในการสกัด แต่อย่างไรก็ตาม การสกัดด้วยของไหลเหนือวิกฤตยังมีข้อเสีย ได้แก่ เครื่องมือราคาแพง เนื่องจากการสกัดต้องใช้ความดันสูง ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้ทนความดันสูงได้ และต้องมีอุปกรณ์ในการอัดเพื่อนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ และเพื่อลดค่าใช้จ่ายของตัวทำละลาย

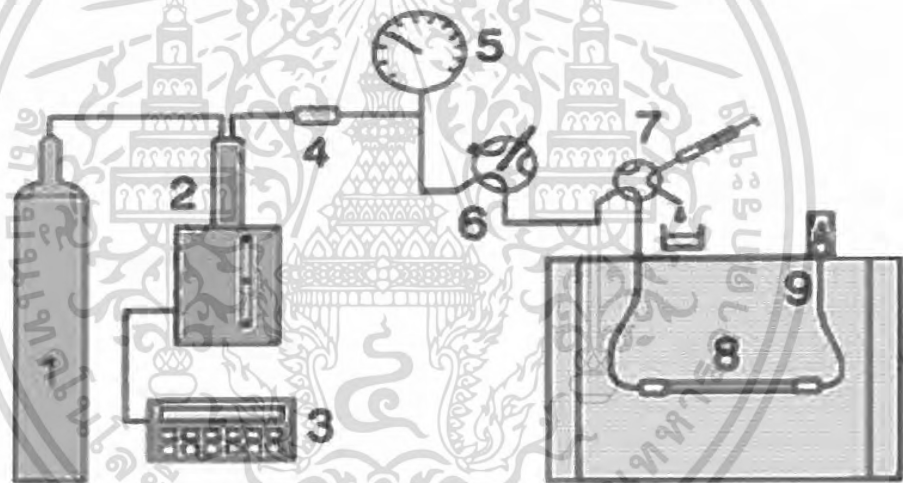
แต่การสกัดโดยอาศัยของไหลเหนือวิกฤตสามารถสกัดเฉพาะสารสำคัญได้ ซึ่งแสดงว่าการสกัดโดยอาศัยของไหลเหนือวิกฤตมีความจำเพาะเจาะจงต่อสารที่ต้องการ โดยพิจารณาจากร้อยละของสารสำคัญ (% yield) แต่ละชนิดที่สูงกว่า และมีความแปรปรวนของแต่ละองค์ประกอบน้อยกว่าวิธีการกลั่นแบบต่อเนื่องด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ หรือไอน้ำนอกจากนี้ยังพบว่าในการกลั่นแบบต่อเนื่องด้วยตัวทำละลายหรือไอน้ำ จะต้องระวังการสลายตัวของสารสกัดด้วยเนื่องจากความร้อน (thermal degradation) สำหรับงานวิจัยที่เปรียบเทียบวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์กับการสกัดด้วยของไหลเหนือวิกฤต โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวทำละลาย มีดังต่อไปนี้ การสกัด horsetail oleoresin จาก *Equisetum giganteum* L. หรือที่รู้จักในชื่อ horsetail หรือ giant horsetail โดยใช้เฮกเซน และเมทานอลเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ เปรียบเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต พบว่าสารสกัดที่ได้จากทั้งสองวิธีมีองค์ประกอบแตกต่างกันขึ้นกับความหนาแน่นของตัวทำละลาย และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด และในการสกัด essential oil จาก *Origanum majorana* L. เพื่อหาสารที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายอินทรีย์เปรียบเทียบกับคาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต พบว่าการไหลของของไหลเหนือวิกฤตสามารถสกัดสารที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดง Diagram ของของไหลเหนือวิกฤต [6]

2.2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของ Supercritical Fluid Extraction (SFE)



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบเครื่อง SFE 1 - Cylinder with CO2 2 - HPLC pump 3 - pressure control unit 4 - filters 5 - manometer 6 - on/off valve 7 - VALCO injection valve 8 - column 9 - restrictor [8]

2.2.2.1 mobile phase

การสกัดด้วยของไหลเหนือวิกฤต ต้องเป็นสารที่มีความหนาแน่นและมีความสามารถในการ solvate ได้ใกล้เคียงกับของเหลวและมีความหนืดเหมือนกับแก๊ส ความสามารถในการแพร่กระจายอยู่ระหว่างแก๊สกับของเหลว ทำให้มีความเหมาะสมใช้เป็น mobile phase

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติของ Supercritical Fluid [14]

Property	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosity (cP)	Diffusivity (mm <sup>2</sup> /s)
Gas	1	0.01	1-10
SCF	100-800	0.05-0.1	0.01-0.1
Liquid	1000	0.5-1.0	0.001

โดย mobile phase ที่นิยมใช้ เป็น carbon dioxide เพราะสามารถทำให้เป็นของไหลเหนือวิกฤตได้ง่ายที่อุณหภูมิ 304.1 องศาเซลวิน และความดันที่ 73.8 bar mobile phase ของ SFE จะมีความจำเพาะเจาะจงต่อสาร ทำให้สกัดออกมาได้ง่าย และนำกลับมาใช้ใหม่ได้



รูปที่ 2.6 แสดงสมบัติของ carbon dioxide ที่ใช้เป็น mobile phase [7]

ตารางที่ 2.4 แสดงสมบัติทางกายภาพของ supercritical Fluid บางชนิด [14]

Fluid	Critical Temperature (K)	Critical Pressure (bar)
Carbon dioxide	304.1	73.8
Ethane	305.4	48.8
Ethylene	282.4	50.4
Propane	369.8	42.5
Propylene	364.9	46.0
Trifluoromethane (Fluoroform)	299.3	48.6
Chlorotrifluoromethane	302.0	38.7

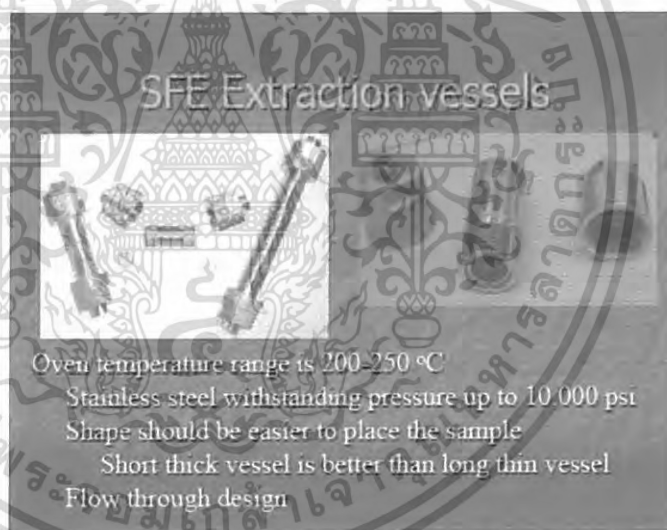
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง (ต่อ)

Fluid	Critical Temperature (K)	Critical Pressure (bar)
Trichlorofluoromethane	471.2	44.1
Ammonia	405.5	113.5
Water	647.3	221.2
Cyclohexane	553.5	40.7
n-Pentane	469.7	33.7
Toluene	591.8	41.0

### 2.2.2.2 Extraction cell

Extraction cell หรือเซลล์สกัด ใช้บรรจุตัวอย่างที่ต้องการสกัด จะทำจาก สเตนเลส สตีลที่ทนต่อความร้อนและความดันได้สูง มีรูปร่างคล้ายทรงกระบอก หนาและสั้นเพื่อให้ของไหลเหนือวิกฤตผ่านได้ง่ายและรวดเร็ว

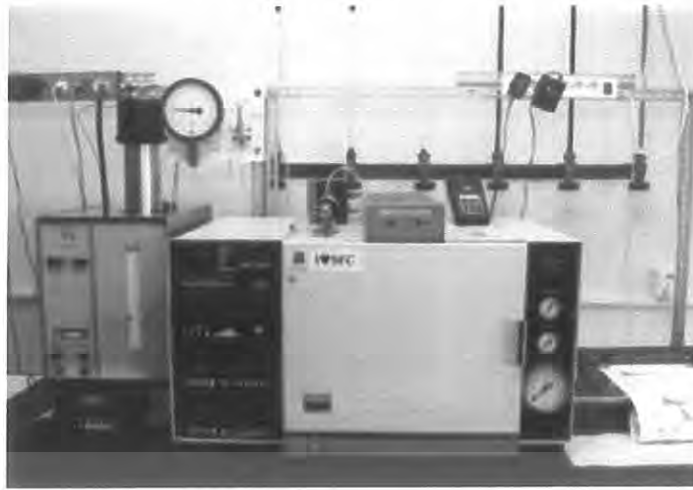


รูปที่ 2.7 แสดงรูปภาพของ Extraction cell ขนาดต่างๆ [7]

### 2.2.2.3 Restrictor

ใช้ปรับเปลี่ยนความดันและอุณหภูมิเพื่อรักษาให้ของคงอยู่ในรูปของไหลเหนือวิกฤต และปรับของไหลเหนือวิกฤตให้กลับมามีอยู่ในสภาพเดิมเพื่อแยกตัว mobile phase ออกจากสารที่เราต้องการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงรูปส่วนของRestrictor [8]

### 2.2.2.4 บี้ม

ใช้บี้มแบบเดียวกับระบบ HPLC เป็นบี้มระบบบี้มความดันสูงเพื่อให้ส่วนเคลื่อนที่ไหลไปได้ บี้มที่ใช้ควรทำให้เกิดความดันได้สูงประมาณ 6000 psi (lbs / in<sup>2</sup>) และมีอัตราการไหลอยู่ในระหว่าง 0.1-10 มิลลิลิตร / นาที บี้มสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. Mechanical pump เป็นบี้มที่ควบคุมให้อัตราการไหลของส่วนเคลื่อนที่มีค่าคงที่
2. Pneumatic pump เป็นบี้มที่ควบคุมให้ความดันการไหลของส่วนเคลื่อนที่มีค่าคงที่

หลักการเลือกระบบบี้ม ควรพิจารณาจากสมบัติต่อไปนี้

1. บี้มและส่วนประกอบควรจะทำด้วยวัสดุที่ทนต่อการสึกกร่อนจากตัวทำละลายต่างๆ ที่ใช้เป็นส่วนเคลื่อนที่ ทั้งนี้รวมทั้งท่อ ข้อต่อ และ flow cell ด้วย เช่น ทำด้วยเหล็กไร้สนิมคุณภาพสูง เช่น polytetrafluoroethylene (PTFE) ruby และ sapphire
2. สามารถบี้มส่วนเคลื่อนที่ปริมาณมากๆ ได้อย่างต่อเนื่อง
3. สามารถให้ความดันได้ถึง 4000-6000 psi เพื่อบี้มให้ส่วนเคลื่อนที่ไหลผ่านคอลัมน์ขนาดเล็ก ยาว 30 เซนติเมตร ซึ่งบรรจุด้วยอนุภาคขนาดเล็กได้ และอย่างน้อยต้องให้ความดันได้ขนาด 500 psi
4. สามารถให้อัตราการไหลของส่วนเคลื่อนที่ได้สูงถึง 3 มิลลิลิตร / นาที เป็นอย่างน้อย และคงที่
5. ความคลาดเคลื่อนของการควบคุมการไหลของส่วนที่เคลื่อนที่ต้องไม่เกิน 1-2 %
6. ควรมีปริมาตรภายในต่ำเพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการเปลี่ยนส่วนเคลื่อนที่
7. ต้องไม่มีพัลส์หรือตัวที่ใช้ลดพัลส์ หรือ ไม่ทำให้เกิด detector noise

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### ข้อควรระวังในการใช้ปั๊ม

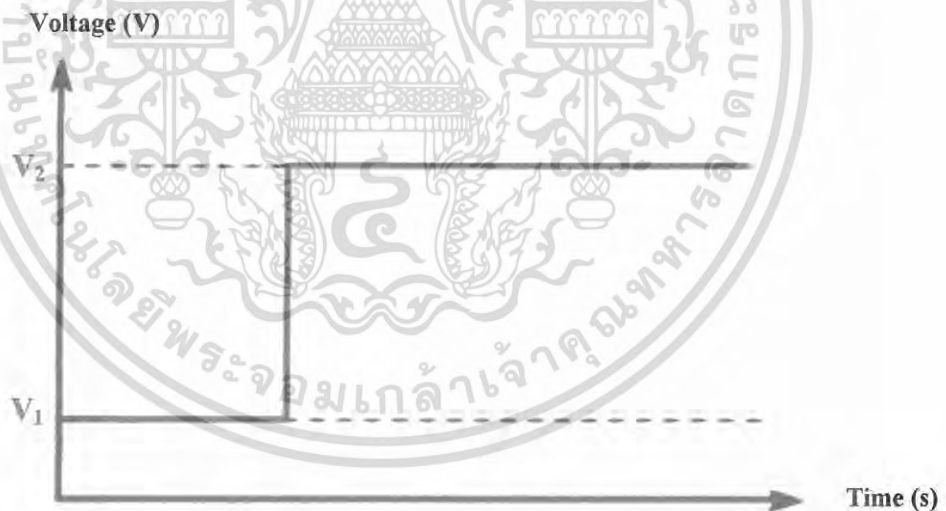
1. หากระหว่างใช้เครื่องพบว่ามีเสียงของวาล์วความดันช่วงกว้างมากหรือไม่มีเสียงของวาล์วที่ อาจเป็นเพราะมีฟองก๊าซเกิดขึ้นในปั๊ม ซึ่งสังเกตได้จากค่าอัตราการไหลที่ 5.0 มิลลิลิตร / นาที เมื่อไม่ได้ต่อกอลัมน์จะเห็นว่าอัตราการไหลของวาล์วที่ออกมาจากท่อไม่สม่ำเสมอต้องปรับปั๊มใหม่

2. กรณีปั๊มรั่ว อาจเกิดจากอายุการใช้งาน ซึ่งทำให้ระบบ seal ต่างๆ เสื่อมสภาพ หรือการใช้วาล์วที่พวกบัพเฟออร์ทุกครั้งจะต้องทำการล้างระบบและคอลลัมน์ โดยล้างด้วยน้ำต่อตัวทำลายอินทรีย์อัตราส่วน 9 ต่อ 1 ก่อน แล้วจึงล้างด้วยตัวทำลายอินทรีย์ 100 % ส่วนปั๊มสามารถล้างด้วยน้ำ 100 % ได้เลย และควรล้างให้นานพอเพื่อให้กำจัดบัพเฟออร์ออกได้หมด แล้วจึงล้างด้วยตัวทำลายอินทรีย์ 100 % ต่อไป และเก็บระบบไว้ในเมทานอล 100%

### 2.3 เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า [2]

#### 2.3.1 Potential step voltammetry

เป็นเทคนิคที่ให้ศักย์ไฟฟ้าแก่วงไฟฟ้าทำงานในระบบสารละลายอยู่นิ่ง โดยให้ศักย์ไฟฟ้าจาก  $V_1$  ถึง  $V_2$  ดังรูปที่ 2.9

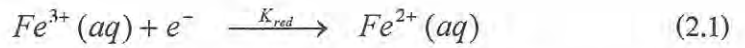


รูปที่ 2.9 การให้ศักย์ไฟฟ้าใน potential step voltammetry

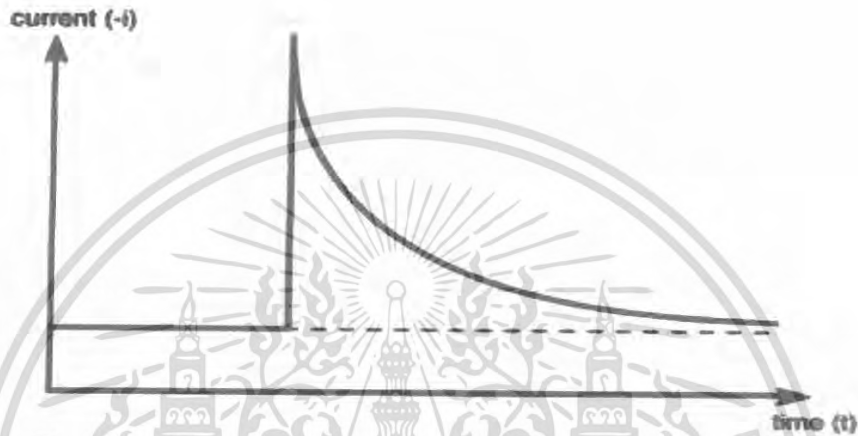
107808

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพิจารณาการเกิดปฏิกิริยาของ  $Fe^{3+}$



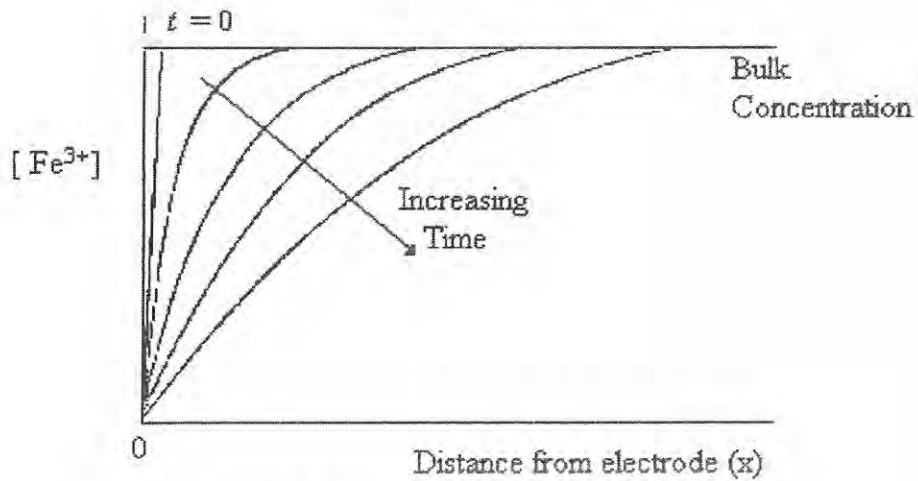
การให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง  $V_1$  ถึง  $V_2$  โดยที่ศักย์ไฟฟ้า  $V_1$  คงที่  $Fe^{3+}$  ไม่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ส่วนศักย์ไฟฟ้า  $V_2$  คงที่ เป็นศักย์ไฟฟ้าที่ทำให้  $Fe^{3+}$  เป็น  $Fe^{2+}$  ซึ่งเกิดปฏิกิริยารีดักชันภายใต้สภาวะนี้ จะเกิดสัญญาณกระแสไฟฟ้าเทียบกับเวลาที่ให้ศักย์ไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้ากับเวลาที่ได้จากการให้ศักย์ไฟฟ้าช่วง  $V_1$  ถึง  $V_2$  ของสารละลาย  $Fe^{3+}$

จะเห็นได้ว่าเมื่อเริ่มให้ศักย์ไฟฟ้าคงที่  $V_2$  จะเกิดสัญญาณกระแสไฟฟ้าขึ้น ซึ่งศักย์ไฟฟ้า  $V_2$  เป็นศักย์ไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาของ  $Fe^{3+}$  เป็น  $Fe^{2+}$  และเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้า  $V_2$  ต่อเนื่องไป  $Fe^{3+}$  ที่บริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้าทำงานจะลดลงทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของ  $Fe^{3+}$  ในชั้นการแพร่ โดยอัตราการแพร่จะถูกควบคุมด้วยความแตกต่างของความเข้มข้นในชั้นการแพร่กับความเข้มข้นของสารละลาย bulk ดังนั้นจะเกิดการแพร่ของ  $Fe^{3+}$  มาสู่ผิวหน้าของขั้วทำงานการแพร่นี้จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับค่า diffusion flux เช่น ที่ระยะเวลาสั้นๆ ค่าของ diffusion flux จะมีค่าสูงทำให้ระยะห่างของชั้นการแพร่กับความเข้มข้นของ bulk มีระยะห่างน้อย ถ้ายังคงให้เกิดปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิส โดยให้ศักย์ไฟฟ้า  $V_2$  ต่อไปจะทำให้ความเข้มข้นที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงานลดลง และส่งผลทำให้กระแสไฟฟ้าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ความเข้มข้นของ  $Fe^{3+}$  ในชั้นการแพร่ที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงาน ณ เวลาต่างๆ

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นในชั้นการแพร่มีการเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงาน ณ เวลาต่างๆ ความเข้มข้นของ  $Fe^{3+}$  ในชั้นการแพร่จะค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งสังเกตจากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ในเวลาต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.10 และใช้สมการที่ (2.2-2.5) ในการอธิบาย

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ  $Fe^{3+}$  เทียบกับเวลา จะสามารถอธิบายได้ว่าความเข้มข้นของ  $Fe^{3+}$  จะแปรผกผันกับเวลาที่เพิ่มขึ้น และแปรผกผันกับระยะห่างในชั้นการแพร่ดังแสดงในสมการที่ (2.2)

$$\frac{\partial [Fe^{3+}]}{\partial t} = D_{Fe^{3+}} \left( \frac{\partial^2 [Fe^{3+}]}{\partial x^2} \right) \quad (2.2)$$

เมื่อ  $x$  คือ ระยะห่างจากผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงาน

เมื่อพิจารณาปริมาณกระแสไฟฟ้าของการเกิดอิเล็กโทรไลซิสในปฏิกิริยารีดักชันแล้วจะเห็นได้ว่ากระแสไฟฟ้าจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของ  $Fe^{3+}$  ดังแสดงในสมการที่ (2.3)

$$i_c = -nFAk_{red} [Fe^{3+}]_{surface} \quad (2.3)$$

เมื่อพิจารณาปริมาณกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของ  $Fe^{3+}$  ในสารละลาย bulk แล้วพบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของ  $Fe^{3+}$  ในสารละลาย bulk โดยเกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลในเทอมของ flux โดยใช้สมการที่ (2.4)

$$|i_c| = nFAk_{red} [Reactant]_{bulk} \left( \frac{D}{\pi t} \right)^{1/2} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

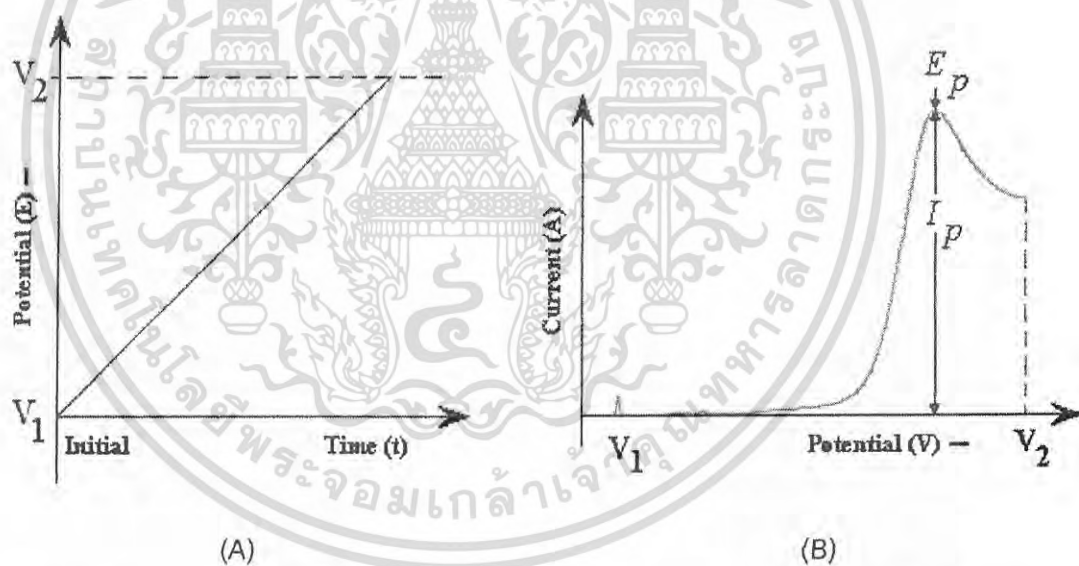
และเมื่อพิจารณาสมการที่ (2.4) พบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จะเป็นฟังก์ชันแปรผกผันกับรากที่สองของเวลา ( $\sqrt{t}$ ) ดังแสดงในสมการที่ (2.5)

$$i \text{ vs } \frac{1}{\sqrt{t}} \quad (2.5)$$

### 2.3.2 Linear sweep voltammetry

เป็นเทคนิคที่กำหนดช่วงศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าทำงาน โดยเพิ่มค่าศักย์ไฟฟ้าจาก  $V_1$  ถึง  $V_2$  ในลักษณะที่เป็นเส้นตรงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่ขั้วไฟฟ้าทำงานจะเพิ่มตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยค่าอัตราศักย์ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตามเวลาเรียกว่าค่า scan rate ซึ่งสามารถคำนวณจากค่าความชันของการให้ศักย์ไฟฟ้า

ในการบันทึกโวลแทมโมแกรมสามารถบอกคุณสมบัติของสารได้คือ (1) อัตราเร็วของการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนในการเกิดปฏิกิริยา (2) ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าและ (3) บอกศักย์ไฟฟ้าที่เกิดปฏิกิริยาเมื่อใช้ scan rate ค่าหนึ่งๆ



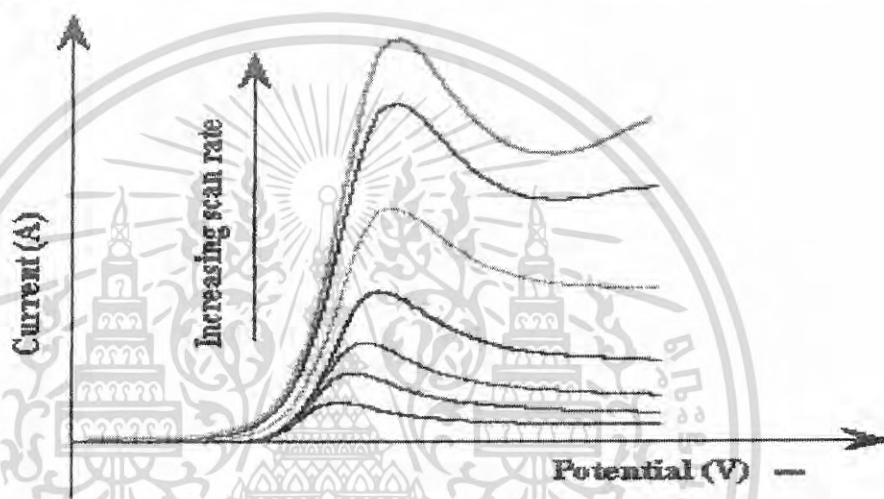
รูปที่ 2.12 รูปแบบการให้ศักย์ไฟฟ้าของ linear sweep voltammetry (A) แสดงศักย์ไฟฟ้าที่เวลาต่างๆ และ (B) แสดง linear sweep voltammogram

การวัดกระแสไฟฟ้าของ linear sweep voltammetry จะเป็นการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าเทียบกับศักย์ไฟฟ้าที่ให้ ยกตัวอย่างเช่น ในการเกิดปฏิกิริยาของ  $\text{Fe}^{3+}$  เป็น  $\text{Fe}^{2+}$  โดยให้ scan rate คงที่ ค่าเดียวตลอดการทดลอง ดังรูปที่ 2.12 (A) และทำการพลอตค่ากระแสไฟฟ้ากับศักย์ไฟฟ้าจากซ้ายไปขวา ค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับศักย์ไฟฟ้า และให้ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดหลังจากนั้นก็ลดลง ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่ให้กระแสไฟฟ้าสูงสุดคือศักย์ไฟฟ้าของการเกิดปฏิกิริยาจาก  $\text{Fe}^{3+}$  เป็น  $\text{Fe}^{2+}$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปเผยแพร่เช่นดานการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าสูงสุดนั้นจะมีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เร็วมากเมื่อเทียบกับค่า voltage sweep rate ดังนั้นบริเวณผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงานจะเกิดสมดุลไดนามิกเกิดขึ้น ซึ่งเราเรียกว่าสมดุลเคมีไฟฟ้า โดยใช้สมการสมดุลของ Nernst ในการอธิบาย ดังแสดงในสมการที่ (2.6)

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \left[ \frac{Fe^{3+}}{Fe^{2+}} \right] \quad (2.6)$$

จากสมการที่ (2.6) สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของความเข้มข้น  $Fe^{3+} / Fe^{2+}$  กับศักย์ไฟฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆ (E) และ  $E^0$  เป็นค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐาน โดยตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าที่สมดุลจะเกิดการเลื่อนไปตาม  $E^0$

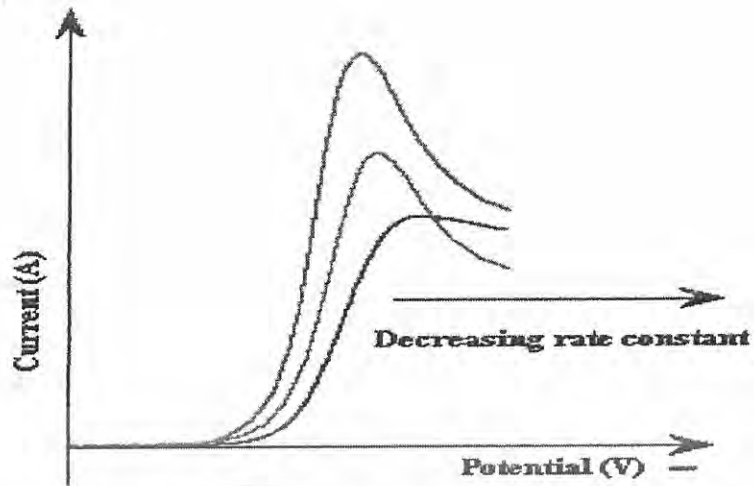


รูปที่ 2.13 linear sweep voltammogram ที่ scan rate ต่างๆ ของสารละลาย  $Fe^{3+}$

รูปที่ 2.13 แสดง linear sweep voltammogram ที่ scan rate ต่างๆ ของสารละลาย  $Fe^{3+}$  พบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามค่า scan rate ที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาขนาดของ diffusion layer ที่บริเวณผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงานแล้วจะเห็นว่า ค่าของ diffusion layer จะแปรผันตรงกับค่า scan rate เมื่อค่า scan rate มีค่ามากขึ้นค่าของ diffusion layer สูงขึ้นตาม เป็นผลทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่ผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าทำงานได้เร็วมากขึ้นส่งผลทำให้มีปริมาณกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น

ในกรณีที่ปฏิกิริยาเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนเร็ว ปฏิกิริยานั้นจะเป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้และในกรณีที่ปฏิกิริยามีการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนช้าจะเกิดปฏิกิริยาแบบกึ่งย้อนกลับ หรือแบบย้อนกลับไม่ได้

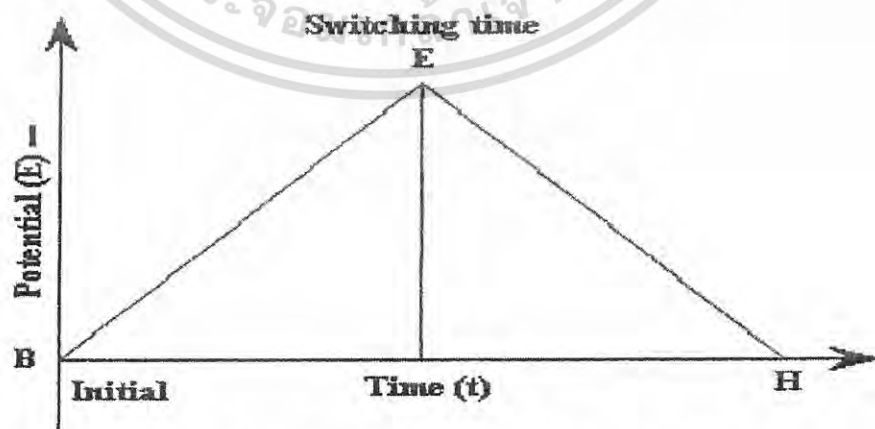
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การบันทึก linear sweep voltammogram โดยใช้ค่า voltage sweep rate ค่าเดียวกัน แต่มีค่าคงที่ของ reduction rate ( $K_{red}$ ) ต่างกัน

### 2.3.3 ไชคลิกโวลแทมโมแกรม

ไชคลิกโวลแทมเมทรีเป็นเทคนิคที่ให้ศักย์ไฟฟ้าในลักษณะสามเหลี่ยมหน้าจั่วแก่ขั้วไฟฟ้าทำงาน ดังแสดงตามรูปที่ 2.15 ซึ่งพัฒนาโดย Nicholson และ Shain เป็นเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างมาก เพื่อใช้ในการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าของสารบริเวณผิวหน้าขั้วไฟฟ้าทำงาน ตลอดจนใช้ในการศึกษาสถานะที่เหมาะสมของการวิเคราะห์โดยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าอื่นๆ ต่อไป การบันทึกกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการให้ศักย์ไฟฟ้าแก่ขั้วไฟฟ้าทำงาน โดยจะทำการพลอตค่ากระแสไฟฟ้ากับศักย์ไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า ไชคลิกโวลแทมโมแกรม (cyclic voltammogram) ดังแสดงในรูปที่ 2.1.5



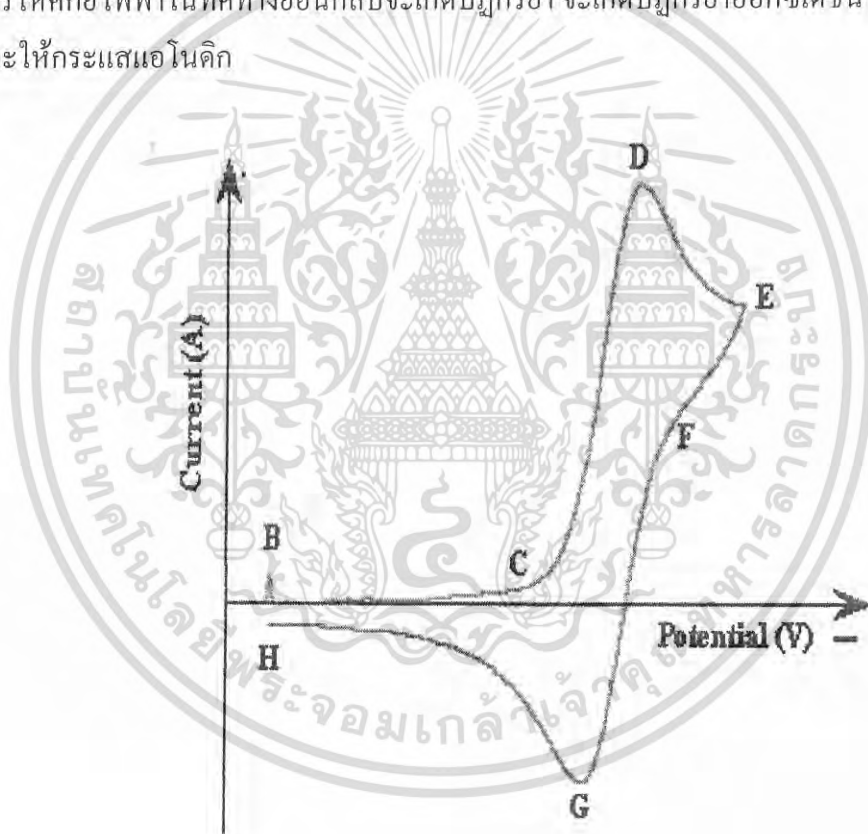
รูปที่ 2.15 การให้ศักย์ไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับเวลาของไชคลิกโวลแทมเมทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การให้ศักย์ไฟฟ้าในไซคลิกโวลแทมเมตรีจะเป็นการให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามด้วย scan rate เมื่อเทียบกับเวลาจนถึงสูงสุดและลดศักย์ไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามด้วย scan rate เดียวกัน ซึ่งสามารถอธิบายสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้แก่วัสดุทำงานกับเวลา ณ จุดต่างๆ ตามความสัมพันธ์ในสมการที่ (2.7)

$$V = \frac{dE}{dt} \quad (2.7)$$

การเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ในเคมีไฟฟ้า เช่นการให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางที่เป็นลบแก่วัสดุทำงาน สารที่อยู่ในรูปของออกซิไดซ์ตอนเริ่มแรกของการให้ศักย์ไฟฟ้ายังไม่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน จนกระทั่งให้ศักย์ไฟฟ้าใกล้จะถึง  $E_0$  จะเริ่มเกิดกระแสแคโทดิกเกิดขึ้น ( $O + e^- \rightarrow R$ ) จนกระทั่งมีการให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางย้อนกลับจะเกิดปฏิกิริยา จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ( $R \rightarrow e^- + O$ ) และให้กระแสแอนอดิก



รูปที่ 2.16 ไซคลิกโวลแทมโมแกรม

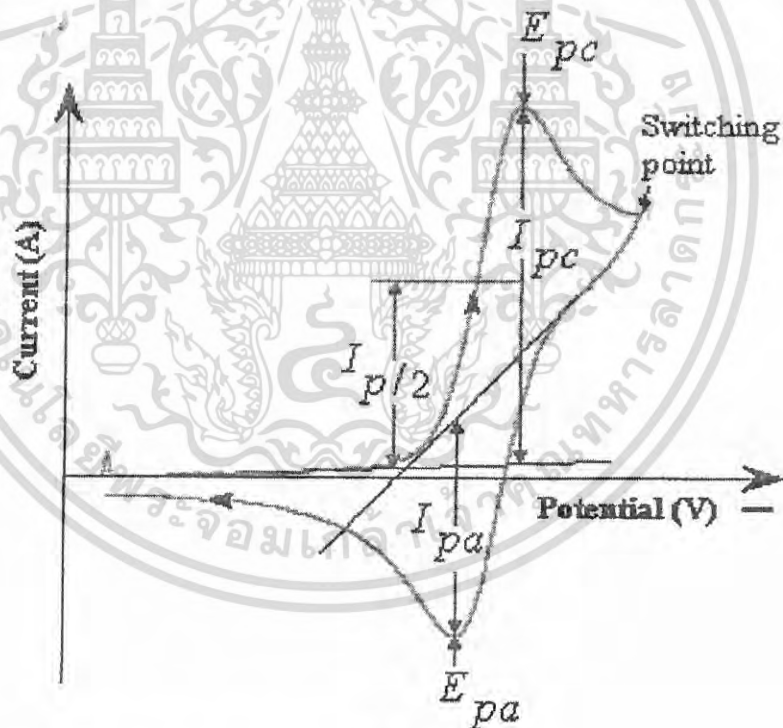
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.16 สามารถแสดงตำแหน่งในไซคลิกโวลแทมโมแกรมของการเกิดปฏิกิริยาที่ตำแหน่งศักย์ไฟฟ้าต่าง

- B เป็นจุดเริ่มต้นการให้ศักย์ไฟฟ้า
- C เป็นจุดที่เริ่มเกิดปฏิกิริยารีดักชัน
- D เป็นพีคแอนอดิก
- E เป็นจุดที่เปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าในทิศทางบวก
- F เป็นจุดที่เริ่มปฏิกิริยาออกซิเดชัน
- G เป็นพีคแคโทดิก
- H เป็นจุดสิ้นสุดการให้ศักย์ไฟฟ้า

### 2.3.3.1 การแปรผลข้อมูล

การแปรผลข้อมูลของไซคลิกโวลแทมโมแกรมจะแปรผลเพื่อหาค่าของศักย์ไฟฟ้าที่ให้จากค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 2.17 ซึ่งพัฒนาโดย Nicholson และ Shain



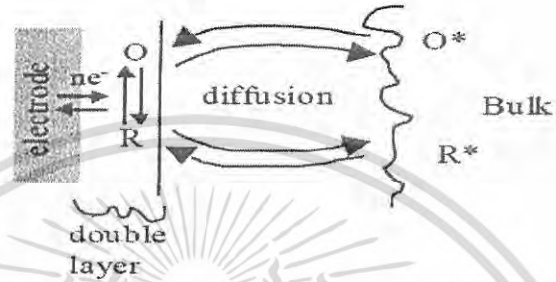
รูปที่ 2.17 การแปรผลข้อมูลของไซคลิกโวลแทมโมแกรม

### 2.3.3.2 ระบบที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับได้

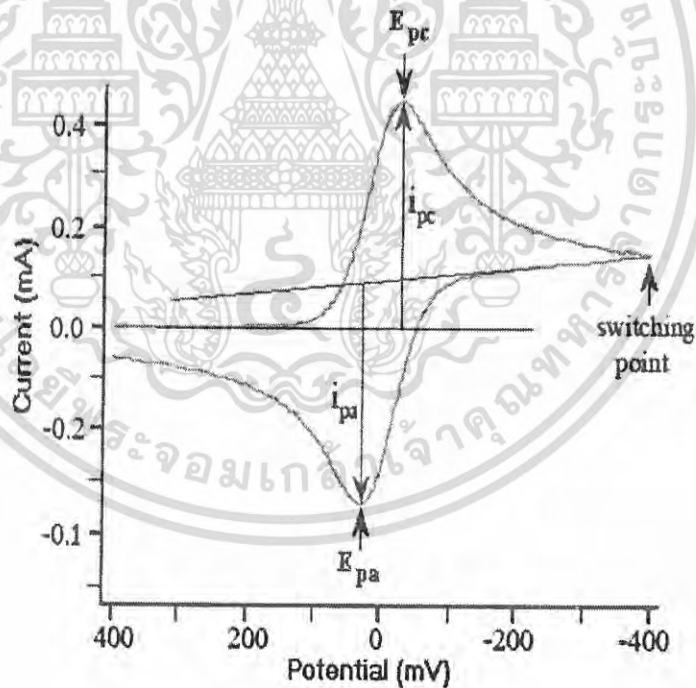
ในระบบที่เป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (reversible reaction) จะต้องเป็นระบบที่มีการเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเมื่อพิจารณาสมการ  $O + ne^- \rightarrow R$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามรูปที่ 2.18 แสดงปฏิกิริยาของสารออกซิไดซ์ที่อยู่ในรูป O รับผิดชอบอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าเปลี่ยนอยู่ในรูป R และเกิดการแพร่ของสารในชั้นการแพร่ของสารละลาย กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการแพร่นี้เรียกว่ากระแสแคโทดิก (cathodic current) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่า ปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) และเมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางตรงข้ามจะเกิดปฏิกิริยาของสารรีดิวซ์ (reduce) ที่อยู่ในรูปของ R ให้ อิเล็กตรอนเปลี่ยนไปเป็น O กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากการแพร่นี้เรียกว่ากระแสแอโนดิก (anodic current) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation)



รูปที่ 2.18 การเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นบนขั้วไฟฟ้าของ Specie



รูปที่ 2.19 รูปลักษณะของไซคลิกโวลแทมโมแกรมสำหรับปฏิกิริยาเคมีของ Nernst

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.19 แสดงไซคลิก โวลแทมโมแกรมของปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ จากการให้ศักย์ไฟฟ้าตามรูปที่ 2.15 ซึ่งสามารถใช้สมการ Randles-Sevcik ในการอธิบายดังแสดงในสมการที่ (2.8)

$$i_p = (2.69 \times 10^5) n^{3/2} A C D^{1/2} v^{1/2} \quad (2.8)$$

- เมื่อ
- n คือ จำนวนอิเล็กตรอน
  - A คือ พื้นที่ของอิเล็กโทรดในการเกิดปฏิกิริยา (cm<sup>2</sup>)
  - C คือ ความเข้มข้นของสารละลาย (mol/cm<sup>3</sup>)
  - D คือ diffusion coefficient (cm<sup>2</sup>/s)
  - V คือ scan rate (V/s)

เงื่อนไขการพิจารณาของการเกิดปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่ผันกลับได้ของ Nernst สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

1. การแยกกันของ  $\Delta E_p = (E_{pa} - E_{pc})$  ต้องมีค่าแตกต่างเป็น  $\Delta E_p = 59/n$  mV ที่ 25 °C
2. ค่าของ  $E_p$  ไม่ขึ้นอยู่กับ scan rate
3.  $i_p$  นั้นจะเป็นฟังก์ชันเส้นตรงกับค่า  $v^{1/2}$
4. อัตราส่วนของพีก  $\frac{i_{pa}}{i_{pc}}$  ต้องมีค่าเท่ากับ 1 ทุก scan rate
5. ค่าของ  $E^0 = \frac{(E_{p,a} + E_{p,c})}{2}$
6. ค่าของ  $E_{p2} = E_{1/2} \pm \frac{0.028}{n} V$

### 2.3.3.3 ระบบที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ และกึ่งผันกลับได้

ในกระบวนการที่เป็นปฏิกิริยาผันกลับไม่ได้ (irreversible reaction) จะมีการแลกเปลี่ยนของอิเล็กตรอนในการเกิดปฏิกิริยาที่ช้า ทำให้เกิดพีกเดี่ยว และเกิดการเลื่อนของศักย์ไฟฟ้า โดยการเลื่อนของศักย์ไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับค่า scan rate ที่ใช้ สามารถใช้สมการที่ (2.9) ในการอธิบาย

$$E_p = E^0 + \left( \frac{RT}{\alpha n_\alpha F} \right) \left[ -0.78 + \ln \left( \frac{k^0}{D^{1/2}} \right) - \frac{1}{2} \ln \left( \frac{\alpha n_\alpha F v}{RT} \right)^{1/2} \right] \quad (2.9)$$

- เมื่อ
- $\alpha$  คือ transfer coefficient
  - $K_0$  คือ ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการเคลื่อนที่อิเล็กตรอน (heterogeneous rate)
  - $n_\alpha$  คือ จำนวนอิเล็กตรอนในขั้นตอนการกำหนดอัตราการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการอิเล็กโทรด (the number of electrons in the rate-determination step of electrode process)
  - $E_p$  คือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่มีกระแสสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าของพีก (peak potential) ( $E_p$ ) และค่าศักย์ไฟฟ้าครึ่งพีก (half-peak potential) ( $E_{p/2}$ ) ที่ 25 °C จะแตกต่างกันเท่ากับ  $|E_p - E_{p/2}| = \frac{1.857RT}{\alpha F} = \frac{47.7}{\alpha}$  mV และปริมาณกระแสไฟฟ้าสามารถใช้สมการที่ (2.9) ในการอธิบาย

$$i_p = (2.99 \times 10^5) n(\alpha n_a)^{1/2} ACD^{1/2} \nu^{1/2} \quad (2.10)$$

ค่าปริมาณกระแสจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย แต่ปริมาณกระแสที่เกิดจากการให้ศักย์ไฟฟ้าในทิศทางย้อนกลับจะลดลง ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า  $\alpha$  เช่น ถ้าค่าของ  $\alpha = 0.5$  อัตราส่วนของกระแสไฟฟ้าในปฏิกิริยาผันกลับได้หารด้วยกระแสไฟฟ้าในปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ (reversible/irreversible) จะมีค่าเท่ากับ 1.27 ซึ่งค่าของกระแสไฟฟ้าในปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้จะมีค่าเป็น 80 % ของกระแสไฟฟ้าในปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ส่วนในกรณีปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ ค่า  $k_0$  จะอยู่ระหว่าง 10<sup>-5</sup>-10<sup>-1</sup> cm/s ปริมาณของกระแสไฟฟ้าจะถูกควบคุมโดยความเร็วในการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอน และการเคลื่อนที่ของมวล รูปร่างของไซคลิกโวลแทมโมแกรมจะเป็นฟังก์ชันของ  $k^0 / (3.141aD)^{1/2}$  (เมื่อ  $a = nFv / RT$ ) เมื่ออัตราส่วนของ  $k^0 / (3.141aD)^{1/2}$  มีค่าเพิ่มขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ถ้าอัตราส่วนมีค่าลดลงจะเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้

#### 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Santo Scalia, Agalia Renda, Giuseppe Ruberto, Francesco Bonina and Enea Menegatti [12] การใช้ supercritical fluid extraction เป็นอีกทางเลือกหนึ่งแทนการสกัดด้วยของเหลว เพื่อการตรวจสอบการแยกของวิตามินเอ พาลมิเตทและวิตามินอี อะซีเตทจากครีมและ โลชันที่เตรียม การตรวจหาปัจจัยควบคุมประสิทธิภาพการสกัดใน supercritical fluid extraction รวมถึงค่า recovery วิตามิน ซึ่งมีความสำคัญต่อการสกัดด้วยความดันและ โดยระดับการกระจายตัวของตัวอย่าง การวิเคราะห์วิตามิน โดยโครมาโทกราฟีชนิดของเหลวสมรรถนะสูง หลังจากสกัดผลิตภัณฑ์ เครื่องสำอางด้วย supercritical fluid carbon dioxide เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40 °C และที่ความดัน 250 atm. เปรียบเทียบกับการสกัดด้วยของเหลวทั่วไป supercritical fluid extraction จะให้ค่า recovery ต่ำกว่า (>91.6%) แต่จะทำให้ส่วนประกอบของเครื่องสำอางบริสุทธิ์ นอกจากนั้น ยังใช้ปริมาณตัวอย่างและสารละลายที่อันตรายน้อย supercritical fluid extraction จะใช้ตัวอย่างและสารละลายที่อันตรายน้อยและสภาวะการสกัดไม่รุนแรง สำหรับวิตามินที่ไม่ทนความร้อน วิตามินอี อะซีเตทและวิตามินเอ พาลมิเตทวิเคราะห์ที่มีขายทั่วไปและสูตร โลชัน ที่ถูกนำเสนอโดยเทคนิค supercritical fluid extraction

Marie Coatanea, Andre Darchen, Didier Hauchard Differential pulse voltammetry [13] ที่ Ultramicroelectrode(UME) ถูกประยุกต์ใช้เพื่อหาปริมาณของวิตามินอีในน้ำมันพืชและไขมันผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยตัวทำละลายที่อุณหภูมิที่ 60 °C การใช้ UME จะใช้อัตราส่วนของตัวทำละลายน้อย ตัวทำละลายที่ใช้คือ N-methyl-pyrrolidone ที่มีความเข้มข้น quaternary ของเกลือ ammonium เพื่อใช้รองรับ electrolyte ต้องมีความเข้มข้นที่น้อยกว่า 0.01 M เพื่อป้องกันการ formation ของสอง non-miscible phases ที่ออกซิเดชันเดียวกันนั้นจะถูกตรวจจับโดยเทคนิค differential pulse voltammetry ฟิคนี่เชื่อว่าเกิดจากการออกซิเดชันของ tocols ซึ่งเป็นองค์ประกอบในวิตามินอี  $\alpha$ -tocopherol ถูกเติมสารมาตรฐานในการหาปริมาณวิตามินอีทั้งหมด ในน้ำมันพืช และไขมันหมู เป็น electroanalysed วิเคราะห์นี้จะทำให้หาปริมาณรวมของวิตามินอีที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับผลจาก chromatographic ปริมาณที่ใช้วัดในน้ำมันอยู่ในช่วงความเข้มข้นที่  $5 \times 10^{-5}$  ถึง  $1 \times 10^{-4}$  M

พจนทิพย์ อิ่มสงวน , รัตน์สุดา บริรักษ์ , อมร รวยทรัพย์ทวี [9] งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัดสารแอลฟาโทโคฟีรอลจากรำข้าว (*Oryza Sativa Linn*) โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติของรำข้าว พบว่ารำข้าวที่มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 297 – 595 ไมโครเมตรจะมีปริมาณมากที่สุด รำข้าวมีความชื้นประมาณ 14.01 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง และมีปริมาณไขมัน/น้ำมัน 19.08 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง ส่วนที่สองเป็นการสกัดโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือวิกฤต ทำการสกัดที่อุณหภูมิ 45 – 65 องศาเซลเซียส ความดัน 38 และ 48 เมกกะปาสกาล อัตราการไหลของคาร์บอนไดออกไซด์ 0.45 มิลลิลิตรต่อนาที จากผลการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอลฟาโทโคฟีรอล คือที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส ความดัน 48 เมกกะปาสกาล ทำการสกัดโดยใช้ static extraction ร่วมกับ dynamic extraction สามารถสกัดสารแอลฟาโทโคฟีรอลได้สูงถึง 127.33 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมรำข้าวแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

##### 3.1.1 สารเคมี

1. วิตามินอีบริสุทธิ์ ( $C_{29}H_{50}O_2$ ) > 98 % HPLC
  - มวลโมเลกุล : 430.27
  - Test No : Lot & Filling code : 448699/1 43204172
  - $d_4^{20}$  0.950 ;  $n_D^{20}$  1.506 ; 1.1 units/mg
2. เครื่องสำอางประเภท ครีมหรือ โลชั่น
3. เมทานอล (methanol,  $CH_3OH$ ) HPLC grade ของบริษัท Fisher
4. กรดซิตริก (Citric Acid,  $C_6H_8O_7 \cdot H_2O$ ) Analytical grade ของบริษัท Fisher
5. เตตระเอทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต (tetraethylammonium tetrafluoroborate,  $C_{14}H_{36}BF_4N$ ) Analytical grade ของบริษัท Fluka
6. เตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต (tetrabutylammonium tetrafluoroborate,  $C_{16}H_{36}BF_4N$ ) Analytical grade ของบริษัท Fluka
7. กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) Analytical grade ของบริษัท Fisher
8. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) Analytical grade ของบริษัท Fisher

##### 3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องสกัด Supercritical Fluid Extraction
2. เครื่องควบคุมศักย์ไฟฟ้า และวัดปริมาณกระแสไฟฟ้า (Autolab Potentiostat) รุ่น PGSTAT20 ของบริษัท Ecochemie
3. ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน (Glassy carbon electrodes) พื้นที่ผิว  $0.07 \text{ cm}^2$  ของ BAS
4. ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง (Reference Electrodes) รุ่น MF-2078 ของ BAS ชนิด Ag/AgCl
5. ขั้วแพลทินัมแผ่นบาง (platinum disk auxiliary electrode)
6. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียดชนิด 4 ตำแหน่ง (analysis balance) Precisa 205A
7. เครื่องวัด pH รุ่น 716 DMS Titrino ของบริษัท Metrohm
8. เครื่องแก้วที่จำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.2.1 การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1.1 การเตรียม stock solution ของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 1000 ppm  
ชั่งวิตามินอีบริสุทธิ์มา 1.0000 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร  
ละลายและปรับปริมาตรด้วยเมทานอล เก็บไว้ในภาชนะที่บดแสงในตู้เย็น

3.2.1.2 การเตรียม stock solution ของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 100 ppm  
ปิเปตสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 1000 ppm มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัด  
ปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ละลาย และปรับปริมาตรด้วยเมทานอล เก็บไว้ในภาชนะที่บดแสงใน  
ตู้เย็น

3.2.1.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 0, 1, 5, 10 และ 25 ppm  
ปิเปตสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 100 ppm มา 0, 0.25, 1.25, 2.5, 4.25 มิลลิลิตร  
ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ละลาย และปรับปริมาตรด้วยเมทานอล เก็บไว้ในภาชนะ  
ที่บดแสงในตู้เย็น

3.2.1.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 50, 75, 100, 125, 150 และ 175  
ppm  
ปิเปตสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 1000 ppm มา 1.25, 1.875, 2.5, 3.125, 3.75,  
4.375 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ละลาย และปรับปริมาตรด้วยเมทานอล  
เก็บไว้ในภาชนะที่บดแสงในตู้เย็น

3.2.1.5 การเตรียมสารละลาย 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียม เตตระฟลูออโร  
โบเรต และ 0.06 กรดซิติริกในเมทานอล ปริมาตร 250 mL

ชั่งสารมาตรฐานเตตระบิวทิลแอมโมเนียม เตตระฟลูออโรโบเรต 4.9392 กรัม  
และ ชั่งสารมาตรฐานกรดซิติริก 3.152 กรัม ผสมและละลายในเมทานอล ปรับปริมาตรด้วยเมทา  
นอลจนถึงปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL

#### 3.2.2 การศึกษาไซคลิกโวลแทมเมตรี

##### 3.2.2.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายบีฟเฟอร์

##### 3.2.2.1.1 การศึกษาหา อัตราส่วนของ citric acid ที่ดีที่สุด

การศึกษ้อัตราส่วนของ citric acid ที่เหมาะสมจะศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้  
จากขั้วไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานวิตามินอีสถานะที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษาหาอัตราส่วนของ Citric acid

สาร	ความเข้มข้น (ppm)	Scan rate (mV/s)	สารละลายบัฟเฟอร์	ความเข้มข้นของ citric acid (M)
วิตามินอี	10	50	0.04 M Tetraethylammonium tetraborate ในเมทานอล	0.005 , 0.01 , 0.02 , 0.04 , 0.06 , 0.08 และ 0.10

### 3.2.2.1.2 การศึกษาหาอัตราส่วนของ Tetraethylammonium tetrafluoroborate

ที่ดีที่สุด

การศึกษหาอัตราส่วนของ Tetraethylammonium tetrafluoroborate ที่เหมาะสมจะศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากขั้วไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานวิตามินอีสภาวะที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษาหาอัตราส่วนของ Tetraethylammonium tetrafluoroborate

สาร	ความเข้มข้น (ppm)	Scan rate (mV/s)	สารละลายบัฟเฟอร์	Tetraethylammonium tetrafluoroborate (M)
วิตามินอี	10	50	0.01 M citric acid ในเมทานอล	0.005 , 0.01 , 0.02 , 0.04 , 0.06 , 0.08 และ 0.10

### 3.2.2.1.3 การศึกษาหาอัตราส่วนของ Tetrabutylammonium tetrafluoroborate

การศึกษหาอัตราส่วนของ Tetrabutylammonium tetrafluoroborate ที่เหมาะสมจะศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากขั้วไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานวิตามินอีสภาวะที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษาหาอัตราส่วนของ Tetrabutylammonium tetrafluoroborate

สาร	ความเข้มข้น (ppm)	Scan rate (mV/s)	สารละลายบัฟเฟอร์	Tetrabutylammonium tetrafluoroborate (M)
วิตามินอี	10	50	0.01 M citric acid ในเมทานอล	0.005 , 0.01 , 0.02 , 0.04 , 0.06 , 0.08 และ 0.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2.2 การศึกษา pH ที่เหมาะสม

การศึกษา pH ที่เหมาะสมจะศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากขั้วไฟฟ้าของสารละลายมาตรฐานวิตามินอีสถานะที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.4 สถานะที่ใช้ในการทดลองศึกษา pH ที่เหมาะสม

สาร	ความเข้มข้น (ppm)	Scan rate (mV/s)	สารละลายบัฟเฟอร์	pH
วิตามินอี	10	50	0.06 M Tetrabutylammonium tetrafluoroborate + 0.06 M citric acid ในเมทานอล	2.5, 2.75, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 และ 5.5

### 3.2.2.3 การศึกษา Scan rate ที่เหมาะสม

การศึกษา Scan rate ที่เหมาะสมจะศึกษาโดยทำการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้ากับ Scan rate สถานะที่ใช้ในการทดลองดังในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 สถานะที่ใช้ศึกษา Scan rate ที่เหมาะสม

สาร	ความเข้มข้น (ppm)	สารละลายบัฟเฟอร์	Scan rate (mV/s)
วิตามินอี	10	0.06 M Tetrabutylammonium tetrafluoroborate + 0.06 M citric acid ในเมทานอล	10, 25, 50, 100, 250, 500 และ 750

### 3.2.2.4 การศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง

การศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงจะศึกษาโดยทำการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของสารละลายวิตามินอี สถานะที่ใช้ในการทดลองดังในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 สถานะที่ใช้ในการทดลองศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง

สาร	ความเข้มข้น (ppm)	สารละลายบัฟเฟอร์	Scan rate (mV/s)
วิตามินอี	10, 25, 50, 75, 100, 125, 150 และ 175	0.06 M Tetrabutylammonium tetrafluoroborate + 0.06 M citric acid ในเมทานอล	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.3 การศึกษาดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์โวลแทมเมตรี

#### 3.2.3.1 การศึกษา step potential ที่เหมาะสม

การศึกษา step potential ที่เหมาะสมจะศึกษาโดยทำการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้า สภาวะที่ใช้ในการทดลองดังในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษา step potential ที่เหมาะสม

สาร	ความเข้มข้น (ppm)	Scan rate (mV/s)	สารละลายบัฟเฟอร์	Step potential (V)
วิตามินอี	10	50	0.06 M Tetrabutylammonium tetrafluoroborate + 0.06 M citric acid ในเมทานอล	0.001, 0.002, 0.003 , 0.004 , 0.005 , 0.006 , 0.007 , 0.008 , 0.009 , 0.010 , 0.012 , 0.014 , 0.016 , 0.018 , 0.020 , 0.022 และ 0.025

#### 3.2.3.2 การศึกษา modulation amplitude ที่เหมาะสม

การศึกษา modulation amplitude ที่เหมาะสมจะศึกษาโดยทำการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้า สภาวะที่ใช้ในการทดลองดังในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษา modulation amplitude ที่เหมาะสม

สาร	ความเข้มข้น (ppm)	Scan rate (mV/s)	สารละลายบัฟเฟอร์	Modulation (V)
วิตามินอี	10	50	0.06 M Tetrabutylammonium tetrafluoroborate + 0.06 M citric acid ในเมทานอล	0.001 , 0.005 , 0.010 , 0.015 , 0.020 , 0.022, 0.024 , 0.025 , 0.026, 0.028 , 0.030 , 0.035, 0.040 , 0.045 , 0.050, 0.055 , 0.060 และ 0.070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

#### 3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

##### 3.3.1.1 การสกัดสารด้วยเทคนิค Supercritical Fluid Extraction

###### 3.3.1.1.1 การเตรียมตัวอย่างครีมหรือโลชันแบบปกติ

1. ชั่งตัวอย่างครีมหรือโลชัน 0.10 – 0.15 g ผสมกับ celite 2.5 g คนให้เข้ากัน
2. บรรจุลงใน extraction cell โดยปิดหัวปิดท้าย extraction cell ด้วยทราย
3. นำ extraction cell บรรจุในเครื่อง Supercritical Fluid
4. ดักจับวิตามินอีที่สกัดได้ด้วยเมทานอล 15 mL
5. ทำการสกัดสาร โดยมีสภาวะเครื่อง Supercritical Fluid ดังนี้

5.1 ความดันที่ 250 atm

5.2 mobile phase คือ CO<sub>2</sub>

5.3 สารที่ใช้ดักจับวิตามินอีที่สกัดได้คือเมทานอลเกรดวิเคราะห์

5.4 อุณหภูมิที่ 25 °C

###### 3.3.1.1.1 การเตรียมตัวอย่างครีมหรือโลชันแบบ spike sample

1. ชั่งตัวอย่างครีมหรือ โลชัน 0.10 – 0.15 g ผสมกับ celite 2.5 g คนให้เข้ากัน
2. spike สารละลายมาตรฐานวิตามินอี ความเข้มข้น 1000 ppm ลงไป 100 µL คนให้เข้ากันกับตัวอย่างผสมกับ celite
3. บรรจุลงใน extraction cell โดยปิดหัวปิดท้าย extraction cell ด้วยทราย
4. นำ extraction cell บรรจุในเครื่อง Supercritical Fluid
5. ดักจับวิตามินอีที่สกัดได้ด้วยเมทานอล 15 mL
6. ทำการสกัดสาร โดยมีสภาวะเครื่อง Supercritical Fluid ดังนี้

6.1 ความดันที่ 250 atm

6.2 mobile phase คือ CO<sub>2</sub>

6.3 สารที่ใช้ดักจับวิตามินอีที่สกัดได้คือเมทานอลเกรดวิเคราะห์

6.4 อุณหภูมิที่ 25 °C

##### 3.3.1.2 การสกัดสารตัวอย่างด้วยเมทานอล

###### 3.3.1.2.1 การเตรียมตัวอย่างครีมหรือโลชันแบบปกติ

1. ชั่งตัวครีมหรือ โลชัน 0.10-0.15 g ใส่ลงไปในบีกเกอร์ 25 mL ที่มีเมทานอล 15 mL
2. ปิดด้วยฟอยล์แล้วนำไปกวนเป็นเวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.2.2 การเตรียมตัวอย่างครีมหรือโลชั่นแบบ spike sample

1. ชั่งตัวครีมหรือโลชั่น 0.10-0.15 g ใส่ลงไปในบีกเกอร์ 25 mL ที่มีเมทานอล 15 mL
2. spike สารละลายมาตรฐานวิตามินอี ความเข้มข้น 1000 ppm 100  $\mu$ L ลงไปผสมกันกับตัวอย่าง
3. ปิดด้วยฟอยล์แล้วนำไปกวนเป็นเวลา 30 นาที

### 3.3.1.2 การวิเคราะห์สารละลายตัวอย่างด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์

#### โวลแทมเมทรี

1. นำสารละลายเมทานอลตัวอย่างผ่านการสกัดด้วยวิธี **Supercritical Fluid Extraction** และสกัดด้วยเมทานอล จากข้อ 3.3.1.1 และ 3.3.1.2 ปริมาตร 1 mL มาละลายและปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 0.06 M citric acid และ 0.06 M tetrabutylammonium tetrafluoroborate เป็น 10 mL ในขวดวัดปริมาตร
2. นำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ โดยใช้ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl และขั้วแพลตตินัมแผ่นบางเป็น counter ion ทำการวิเคราะห์ที่สถานะ Step potential 0.006 V และ Modulation amplitude 0.007 V

### 3.3.2 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี

การศึกษาค้นคว้าช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี โดยทำการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของวิตามินอี สถานะที่ใช้ในการทดลองดังในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 สถานะที่ใช้ในการทดลองศึกษาค้นคว้าช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี

สาร	ความเข้มข้น (ppm)	สารละลายบัฟเฟอร์	Step potential (V)	Modulation amplitude(V)
วิตามินอี	0 , 1 , 5 , 10 , 20, 50 และ 100	0.06 M Tetrabutylammonium tetrafluoroborate + 0.06 M citric acid ในเมทานอล	0.006	0.07005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 ศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอีโดยเทคนิค standard addition

การศึกษการสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอีโดยเทคนิค standard addition โดยทำการพลอตกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของวิตามินอีที่มีตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตรปรับปริมาตรด้วยสารละลาย 0.06 M citric acid และ 0.06 M tetrabutylammonium tetrafluoroborate เป็น 10 mL สภาวะที่ใช้ในการทดลองดังในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอีโดยเทคนิค standard addition

สาร	เติมตัวอย่างที่สกัดได้ (mL)	ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานวิตามินอี (ppm) ที่เติม	สารละลายบัฟเฟอร์	Step potential (V)	Modulation Amplitude (V)
วิตามินอี	1	0, 1 และ 5	0.06 M Tetrabutyl Ammonium tetrafluoroborate + 0.06 M citric acid ในเมทานอล	0.006	0.07005

### 3.3.4 การศึกษาหาความเที่ยง

การศึกษาค่าความเที่ยง (precision) ของการวิเคราะห์สามารถหาค่า Repeatability โดยค่าของ Repeatability ได้โดยทำการทดลองซ้ำที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl และขั้วแพลตตินัมแผ่นบางเป็น counter ion สภาวะที่ Step potential 0.006 V และ Modulation amplitude 0.007 V โดยสารมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm และสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M citric acid และ 0.06 M tetrabutylammonium tetrafluoroborate ปริมาตรสุดท้ายเป็น 10 mL จำนวน 20 ซ้ำ นำค่าที่ได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการผันแปร (%RSD) ของการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.11 สภาวะที่ใช้ในการทดลองศึกษาหาความเที่ยง

สาร	ความเข้มข้น (ppm)	สารละลายบัฟเฟอร์	Step potential (V)	Modulation amplitude(V)
วิตามินอี	10	0.06 M Tetrabutylammonium tetrafluoroborate + 0.06 M citric acid ในเมทานอล	0.006	0.07005



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

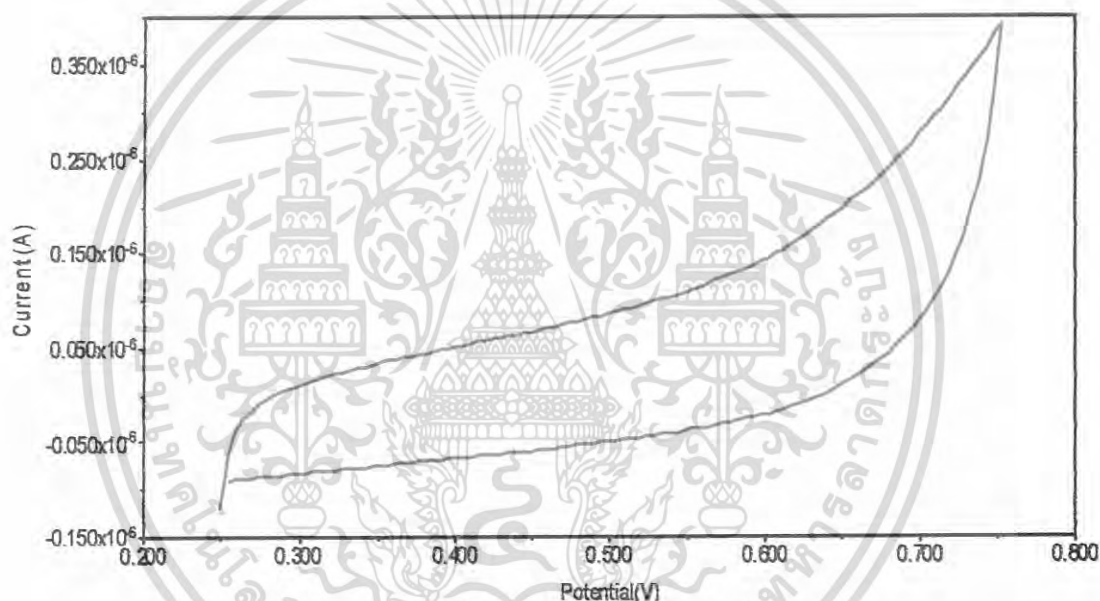
### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์วิตามินอีโดยเทคนิคต่างๆ

##### 4.1.1 เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี

##### 4.1.1.1 การศึกษากระแสพื้น

ผลการทดลองศึกษากระแสพื้นของขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสีคาร์บอนโดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์



รูปที่ 4.1 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์ที่ได้จากขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสีคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง  $\text{Ag}/\text{AgCl}$  และขั้วแพลตตินัมแผ่นบางเป็น counter ion ที่ scan rate 50 mV/s

จากไซคลิกโวลแทมโมแกรมในรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นกระแสพื้นที่วัดจากขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสีคาร์บอนยังมีสัญญาณกระแสพื้นเกิดขึ้นเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1.2 การศึกษาสารละลายบัฟเฟอร์

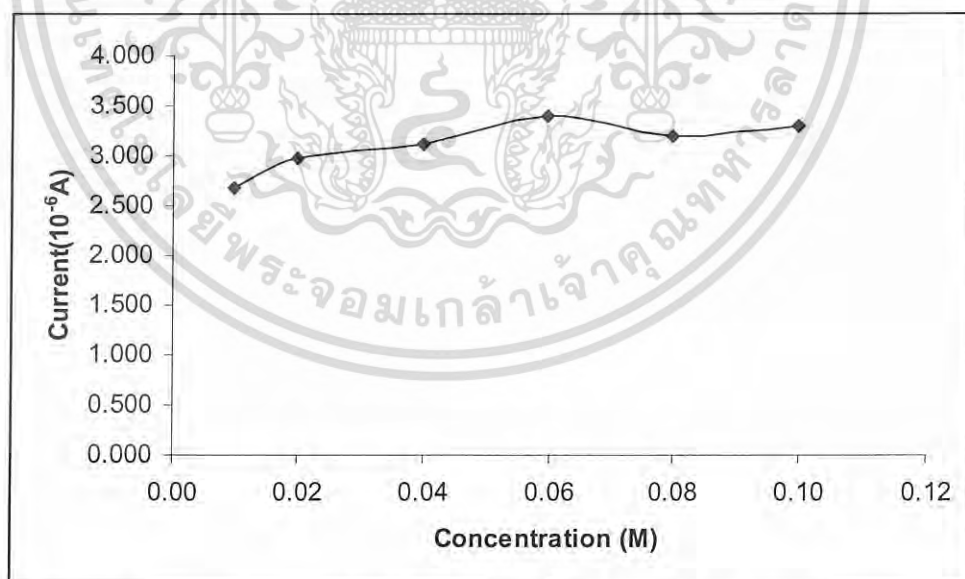
จากผลการทดลองศึกษาสารละลายเล็กโทรไลต์ที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินอีโดยใช้สารละลายเล็กโทรไลต์ 2 ชนิด โดยที่

1. สารละลายจากการละลายกรดซัลฟิวริกกับเตตระเอทิลแอมโมเนียมเตตระโบรไรด์
2. สารละลายจากการละลายกรดซัลฟิวริกกับเตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรไรด์ในเมทานอล

ซึ่งจากการศึกษาสารละลายบัฟเฟอร์ชนิดที่ 1 ทำการศึกษาด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรี ผลของการศึกษาทำให้ทราบว่า สารละลายเล็กโทรไลต์ชนิดที่ 1 สามารถวิเคราะห์หาปริมาณวิตามินอีด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีได้ แต่เนื่องด้วย ปริมาณของเตตระเอทิลแอมโมเนียมเตตระโบรไรด์มีจำกัดและไม่เพียงพอต่อการวิเคราะห์ จึงทำการเปลี่ยนสารจากเตตระเอทิลแอมโมเนียมเตตระโบรไรด์มาเป็นเตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรไรด์ ผลจากการทดลอง ทราบว่าสารชนิดที่ 2 สามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณวิตามินอีได้เช่นกัน จึงเลือกใช้สารเตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรไรด์เป็นสารละลายบัฟเฟอร์

#### 4.1.1.3 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์

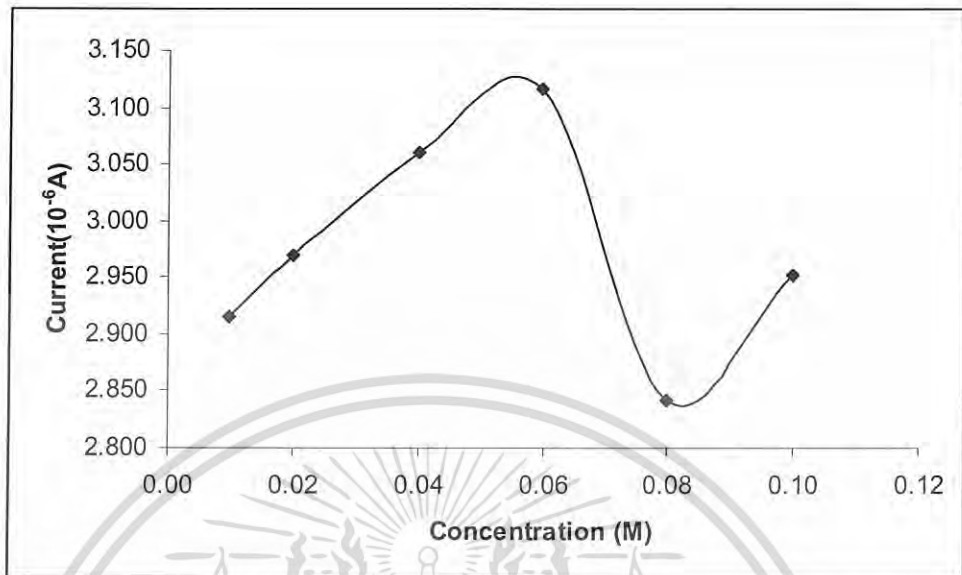
4.1.1.3.1 ศึกษาความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่เหมาะสมที่ความเข้มข้นของเตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรไรด์ คงที่ที่ 0.06 M โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ 4.2 แสดงค่ากระแสกับความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นของเตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรไรด์ คงที่ที่ 0.06 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.3.2 ศึกษาความเข้มข้นของเตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบอเรทที่เหมาะสมกับความเข้มข้นกรดซัลฟิวริกคงที่ที่ 0.06 โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลาย



รูปที่ 4.3 แสดงค่ากระแสกับความเข้มข้นของเตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบอเรท ที่ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก คงที่ที่ 0.06 M

จากการทดลองศึกษาความเข้มข้นของสารละลายบัพเฟอร์ที่เหมาะสมจะเห็นว่า ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริกที่ 0.06 M และความเข้มข้นของเตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบอเรท ที่ 0.06 M จะให้ค่ากระแสที่สูงกว่าความเข้มข้นอื่นๆ

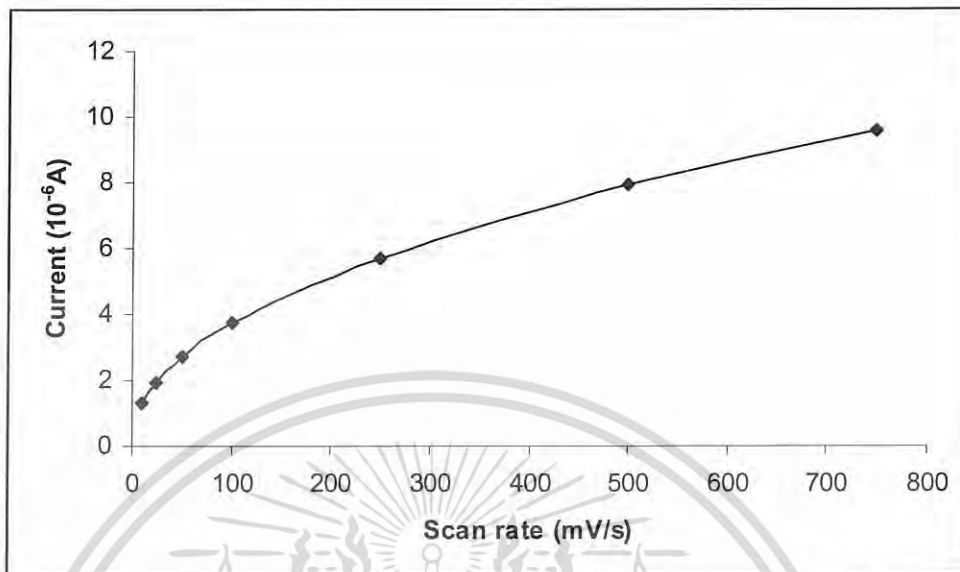
#### 4.1.1.4 การศึกษา scan rate ที่เหมาะสม

ผลการศึกษาช่วง scan rate ที่เหมาะสมของสารละลายมาตรฐานวิตามินอีความเข้มข้น 10 ppm ในสารละลายบัพเฟอร์ 0.06 M กรดซัลฟิวริก และ 0.06 M เตตระเอทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบอเรท ในเมทานอลบริสุทธิ์ และช่วง scan rate ที่ใช้ศึกษา คือ 10 – 750 mV/s แสดงในรูปที่ 4.4 , 4.5 และภาคผนวกที่ ๗

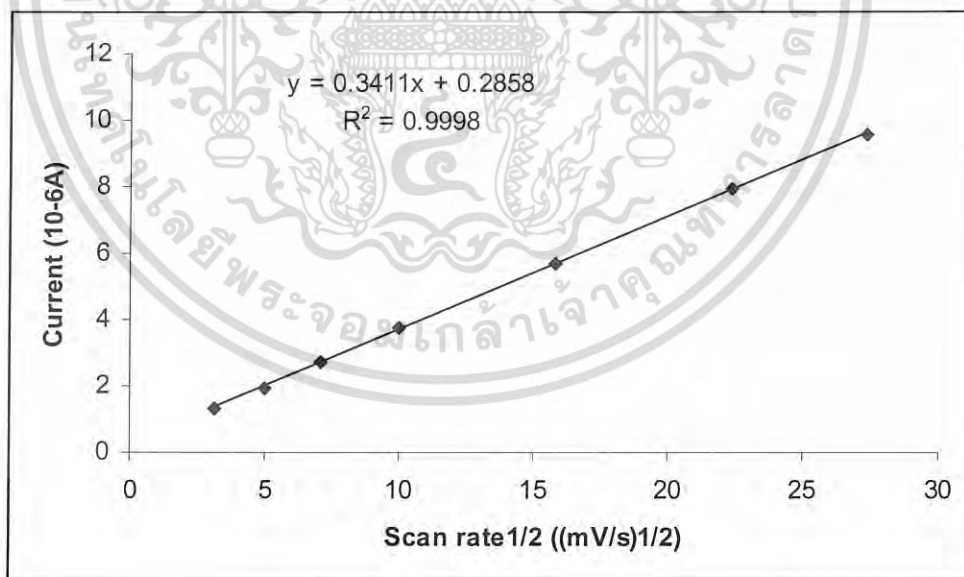
เมื่อนำค่า scan rate ที่ให้แก่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอนมาพลอตกับค่ากระแสไฟฟ้าที่อ่านได้จากไซคลิกโวลแทมโมแกรม ดังแสดงในรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามค่า scan rate ในลักษณะโค้ง [ภาคผนวก ๗] และเมื่อพล็อตค่ากระแสไฟฟ้ากับ  $\text{scan rate}^{1/2}$  ดังแสดงในรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นตามค่า scan rate ในลักษณะเป็นเส้นตรง โดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9998 ของขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับไม่ได้ เมื่อพิจารณาค่า  $R^2$  มีค่าประมาณ 1 สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปได้ว่าการวิเคราะห์วิตามินอีโดยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ไซคลิก โวลแทมเมทรี หรือ differential pulse voltammetry สามารถใช้ค่า scan rate ได้ในช่วง 10 – 750 mV/s



รูปที่ 4.4 พล็อตค่า scan rate (10 – 750 mV/s) กับค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณ ไซคลิก โวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอนในสารละลายวิตามินอีเข้มข้น 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตตระเอทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเรท ในเมทานอลบริสุทธิ์



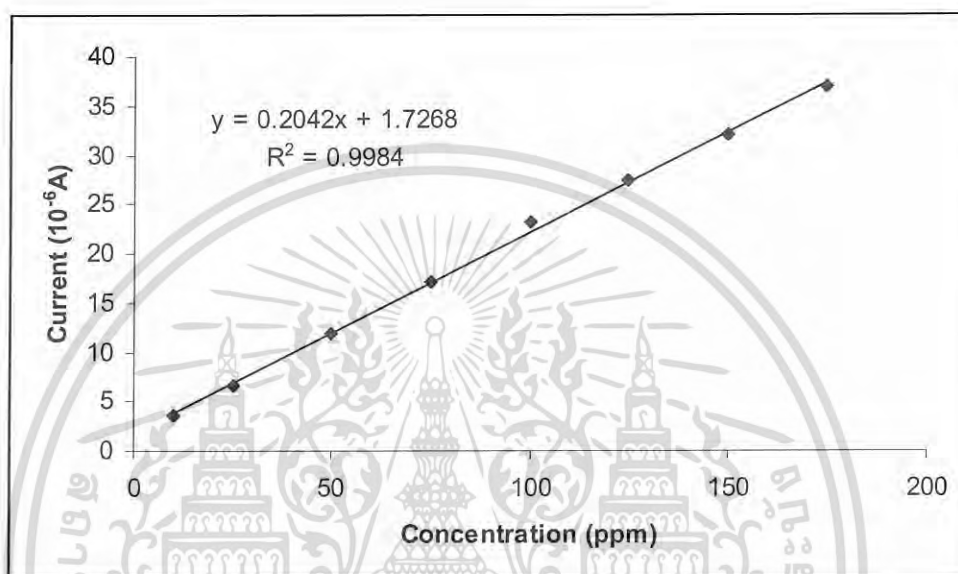
รูปที่ 4.5 พล็อตค่า scan rate<sup>1/2</sup> กับค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณ ไซคลิก โวลแทมโมแกรมของขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอนในสารละลายวิตามินอีเข้มข้น 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตตระเอทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเรท ในเมทานอลบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1.5 การศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง

ผลการศึกษาช่วงความเข้มข้นของวิตามินอีที่เป็นเส้นตรงโดยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรีด้วยขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอนในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์

พบว่าเมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอนมีช่วงความเป็นเส้นตรงคือ 10 - 175 โดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9984 ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 พล็อตค่าความเข้มข้นของวิตามินอี (1-175 ppm) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์ กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณไซคลิกโวลแทมเมตรีของขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน และใช้ scan rate 50 mV/s

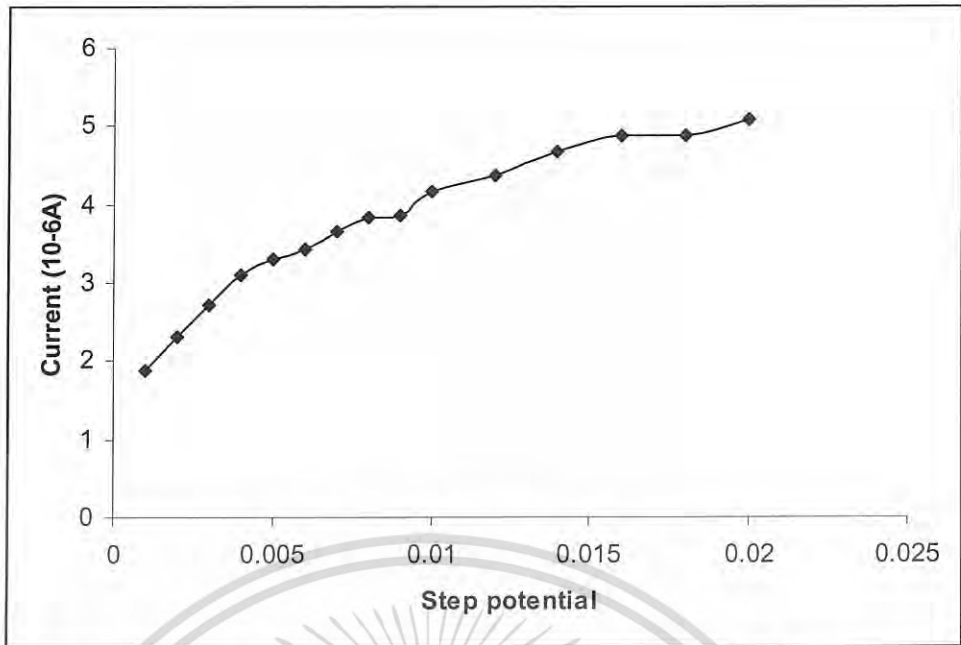
#### 4.1.2 Differential pulse voltammetry

##### 4.1.2.1 ศึกษา step potential ที่ modulation amplitude คงที่ ที่ 0.2505

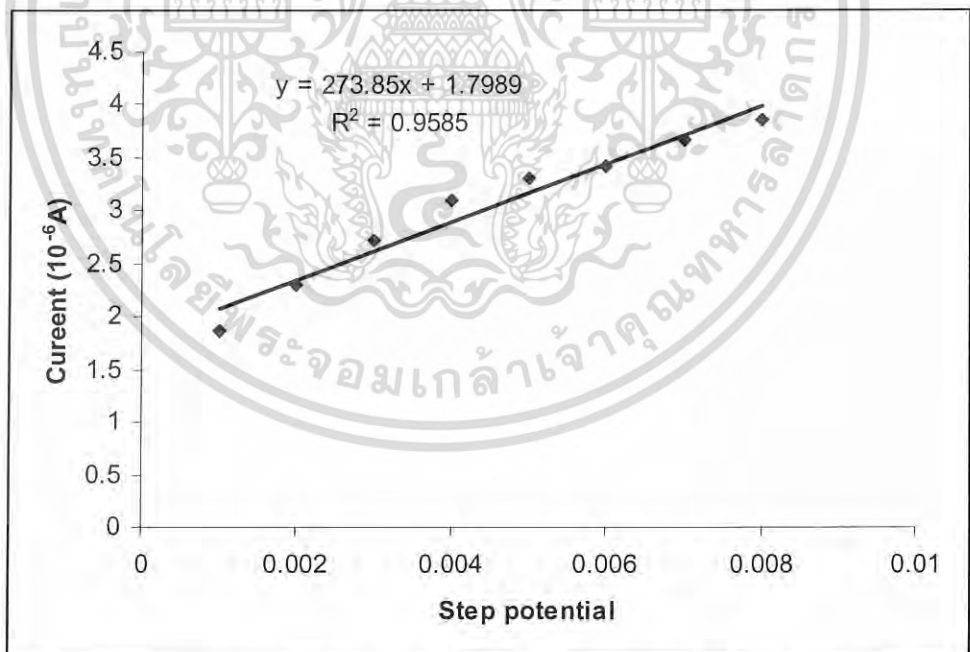
ผลการศึกษา step potential ที่ modulation amplitude คงที่ ที่ 0.2505 โดยเทคนิค differential pulse voltammetry ด้วยขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอนในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์

พบว่าเมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน ผลการศึกษา step potential ที่ศึกษาอยู่ในช่วง 0.001 – 0.02 โดยค่า modulation amplitude คงที่ ที่ 0.2505 ทำการดูค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงสุดที่ลักษณะของกราฟสมมาตร จะเห็นได้ว่า ตั้งแต่ค่าที่ 0.001 – 0.06 ดังแสดงในรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 พล็อตค่า step potential (0.001-0.025) กับค่า กระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสคาร์บอนของสารละลายวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตะระบิวทิลแอมโมเนียมตะระฟลูออโรโบเรท ในเมทานอลบริสุทธิ์



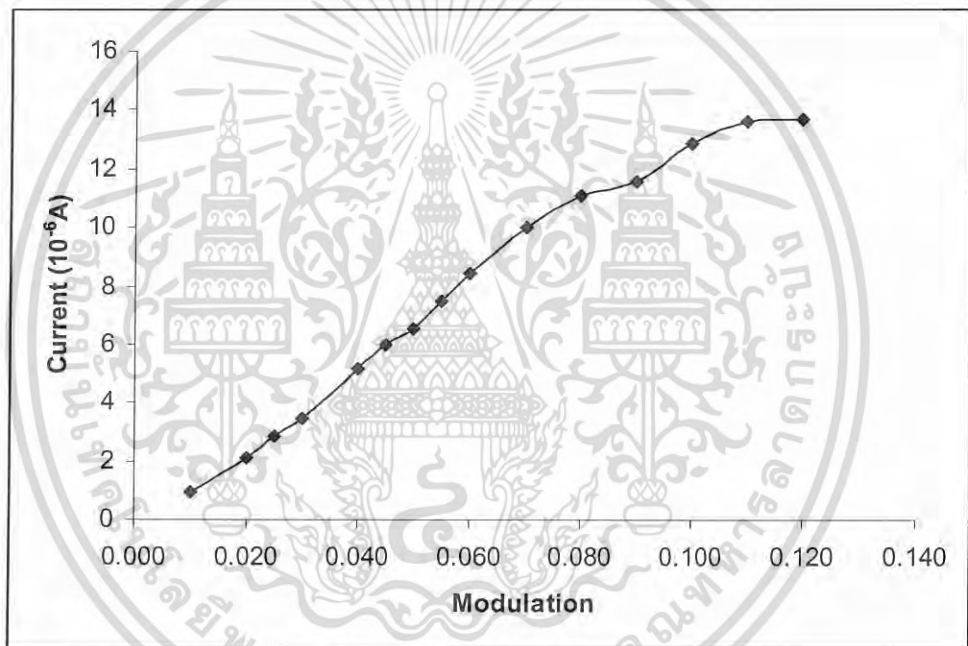
รูปที่ 4.8 พล็อตค่า step potential (0.001-0.008) กับค่า กระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสคาร์บอนของสารละลายวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตะระบิวทิลแอมโมเนียมตะระฟลูออโรโบเรท ในเมทานอลบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2.2 ศึกษา modulation amplitude ที่ step potential คงที่ ที่ 0.006

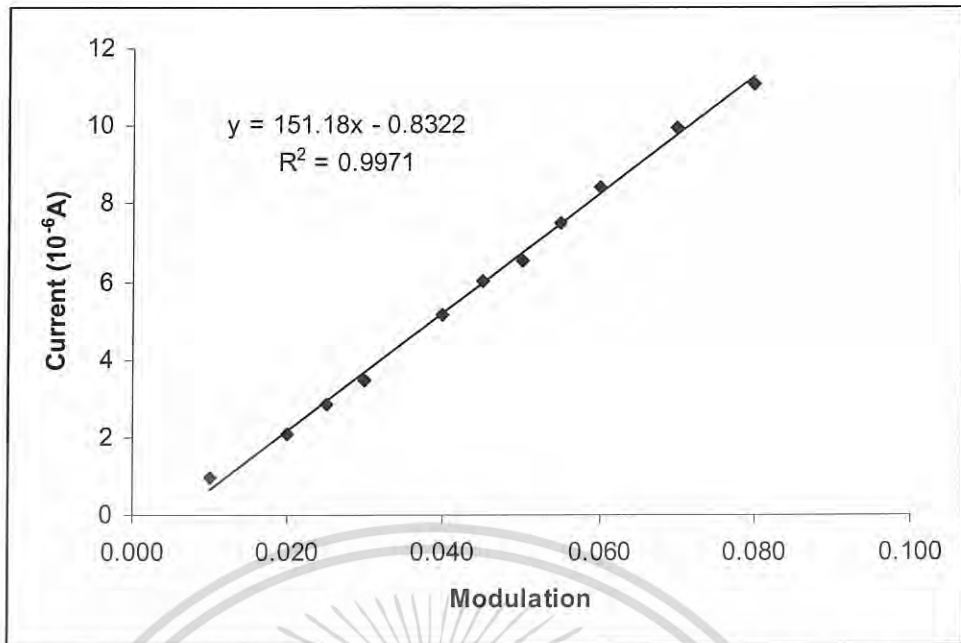
ผลการศึกษา modulation amplitude ที่ step potential คงที่ ที่ 0.006 โดยเทคนิค differential pulse voltammetry ด้วยขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอนในสารละลายบีฟเฟอร์ 0.06 M กรดซัลฟูริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์

พบว่าเมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน ผลการศึกษา modulation amplitude ที่ศึกษาอยู่ในช่วง 0.001 – 0.08 โดยค่า step potential คงที่ ที่ 0.06 ทำการดูค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ลักษณะของกราฟสมมาตร จะเห็นได้ว่า ตั้งแต่ค่าที่ 0.001 – 0.06 ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 พล็อตค่า modulation amplitude (0.01-0.12) กับค่า กระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสคาร์บอนของสารละลายวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบีฟเฟอร์ 0.06 M กรดซัลฟูริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



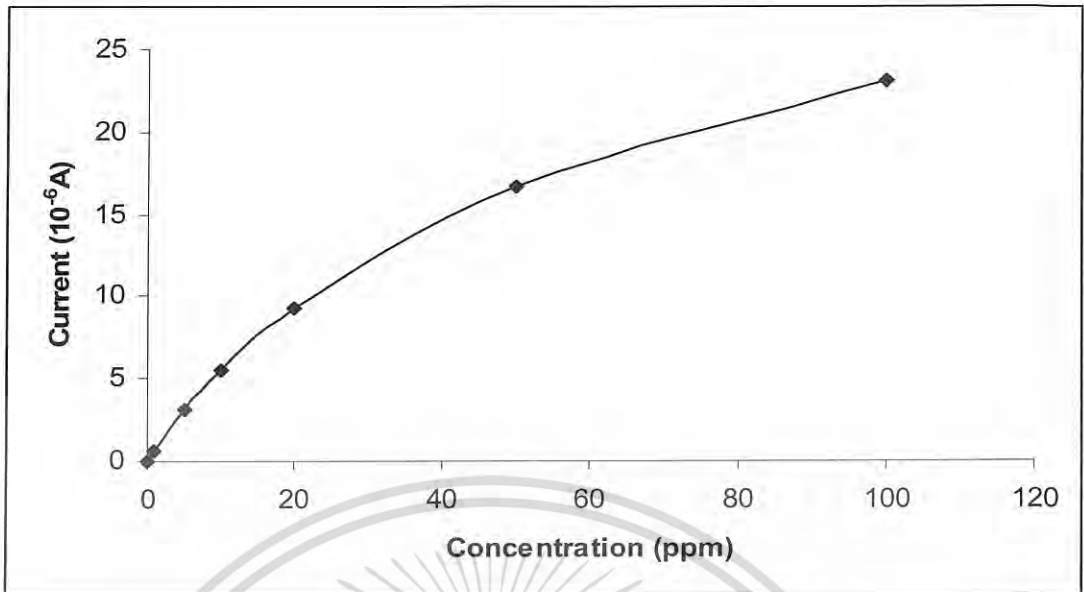
รูปที่ 4.10 พล็อตค่า modulation amplitude (0.01-0.12) กับค่า กระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสติคาร์บอนของสารละลายวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซिटริก และ 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์

#### 4.1.2.3 ศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐาน

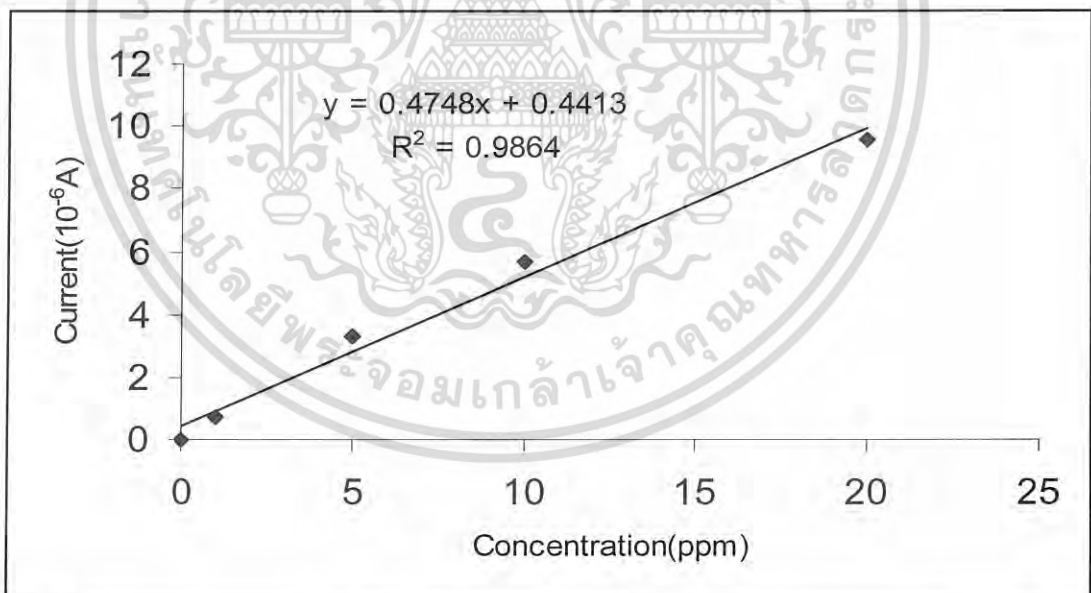
##### วิตามินอี

ผลการศึกษาความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานวิตามินอี โดยทำการทดสอบในช่วงความเข้มข้น 1 – 100 ppm ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และเมื่อทำการพล็อตค่าความเข้มข้นของวิตามินอีกับกระแสไฟฟ้า เลือกช่วงที่มีความเป็นเส้นตรงนำมาคำนวณหาค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9864 ดังแสดงในรูปที่ 4.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 พล็อตค่าความเข้มข้นสารละลายวิตามินอีมาตรฐาน (0-100 ppm) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์ กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสคาร์บอน

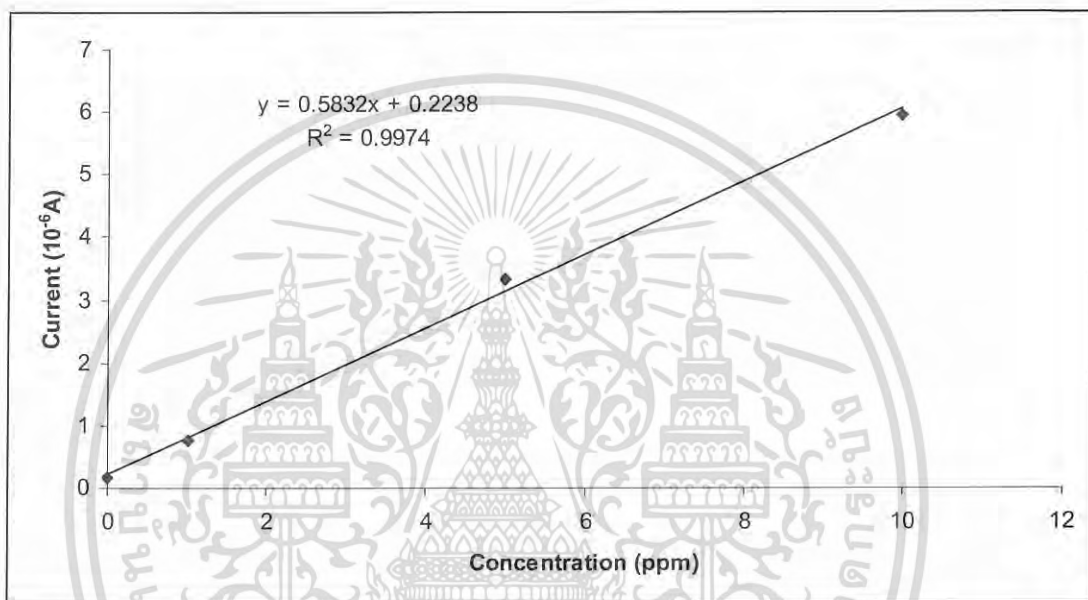


รูปที่ 4.12 พล็อตค่าความเข้มข้นสารละลายวิตามินอีมาตรฐาน (0-20 ppm) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์ กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2.4 ศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี standard addition

ผลการศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี standard addition โดยทำการทดสอบในช่วงความเข้มข้น 1 – 10 ppm ดังแสดงในรูปที่ 4.13 และเมื่อทำการพลอตค่าความเข้มข้นของวิตามินอีกับกระแสไฟฟ้าเลือกช่วงที่มีความเป็นเส้นตรงนำมาคำนวณหาค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.9974



รูปที่ 4.13 พลอตค่าความเข้มข้นสารละลายวิตามินอีมาตรฐาน (0-10 ppm) ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซिटริก และ 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์ กับค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ขั้วทำงานไฟฟ้ากลาสคาร์บอน

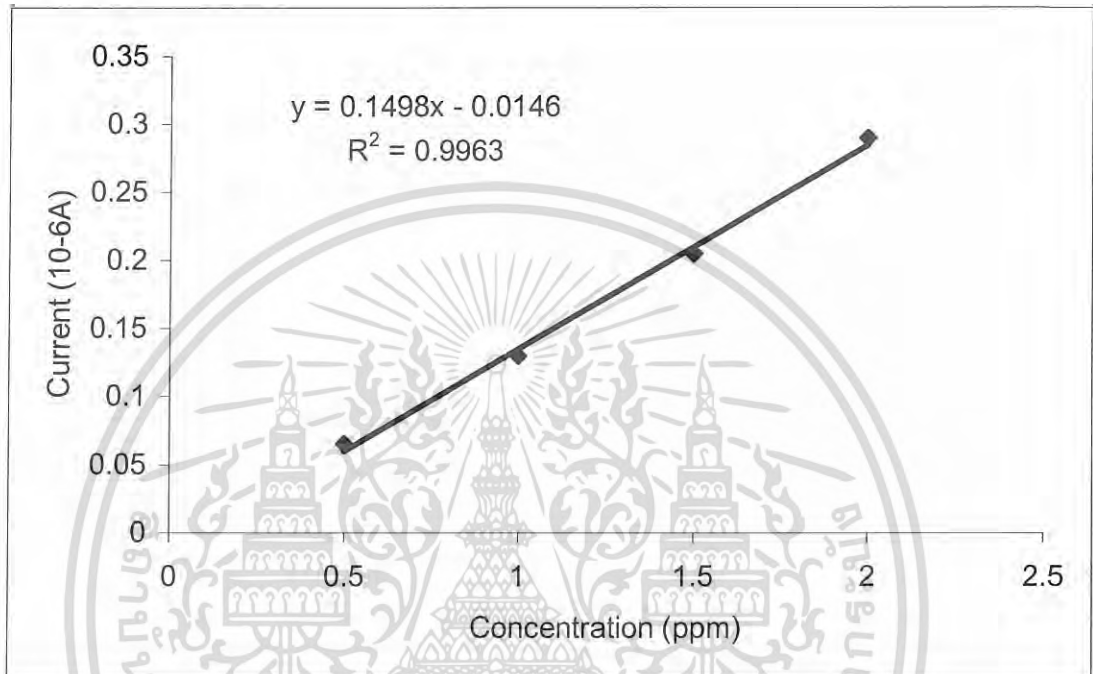
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การวิเคราะห์หาวิตามินอีในผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น

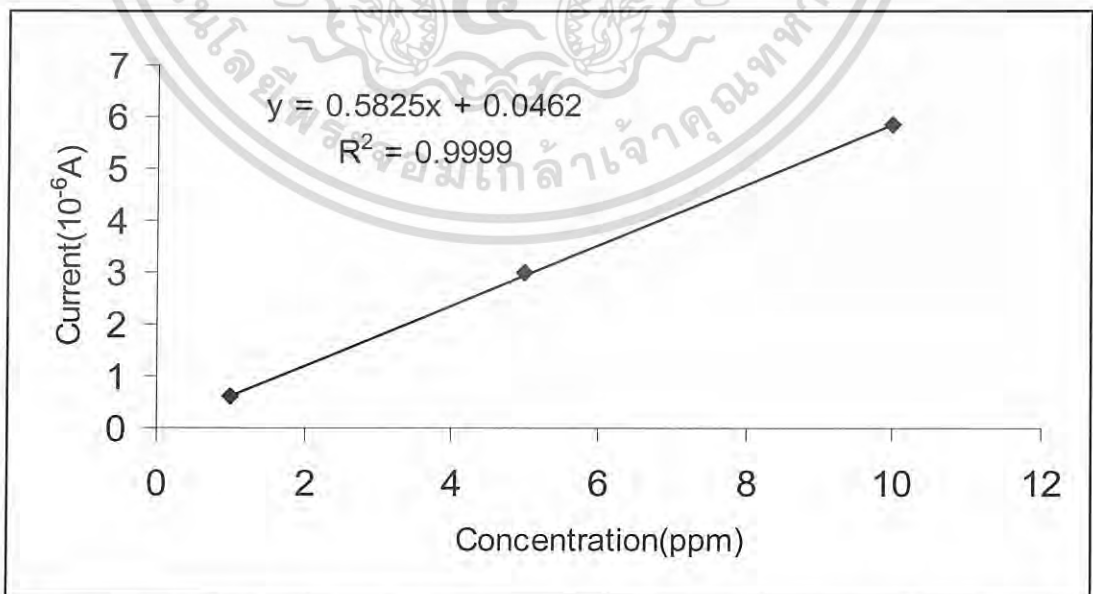
### 4.2.1 สารตัวอย่างที่สกัดด้วยวิธี Supercritical Fluid Extraction

#### 4.2.1.1 กราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี

ผลการตรวจวัดปริมาณวิตามินอีในผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น โดยใช้กราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ซึ่งจากกราฟสามารถหาปริมาณวิตามินอีได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ความเข้มข้น 0-2 ppm



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ความเข้มข้น 1-10 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง ตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์แบ่งเป็นสองชุด คือ  
 ชุดที่ 1 เป็นตัวอย่างที่นำมาสกัดแล้วนำมาทำการวิเคราะห์  
 ชุดที่ 2 เป็นตัวอย่างที่นำมาเติมด้วยสารละลายวิตามินอีมาตรฐาน 100  $\mu\text{L}$  1000 ppm ก่อน  
 ทำการสกัดแล้วนำมาวิเคราะห์

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณวิตามินอีในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น โดยใช้กราฟ  
 มาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี สกัดโดยเทคนิค Supercritical Fluid Extraction

สารตัวอย่าง	ชุดตัวอย่าง	ความเข้มข้นตัวอย่าง mg/g
บูชีลิน	1	1.948
		0.498
	2	0.569
		0.302
ออเรนทอล	1	0.238
		0.254
	2	0.645
		1.611
สมทอ	1	0.487
		0.244
	2	0.639
		0.624

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี standard addition

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณวิตามินอีในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น โดยใช้วิธีการเติมสารละลายมาตรฐานวิตามินอี สกัดโดยเทคนิค Supercritical Fluid Extraction

สารตัวอย่าง	ชุดตัวอย่าง	% Recovery	ความเข้มข้นตัวอย่าง mg/g
ยูซีลิน	1	93.566	0.403
		92.088	0.491
	2	92.668	-0.277
		95.155	-0.270
ออเรนทอล	1	98.650	0.085
		91.703	0.519
	2	81.853	0.934
		85.314	2.046
สมูทตี้	1	97.233	0.172
		98.409	0.125
	2	83.593	0.702
		79.780	0.874

#### 4.2.2 สารตัวอย่างที่สกัดด้วยสารละลายมาตรฐานเมทานอล

##### 4.2.2.1 กราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี

ผลการตรวจวัดปริมาณวิตามินอีในผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น โดยใช้กราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี

จากผลการทดลอง ตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์แบ่งเป็นสองชุด คือ

ชุดที่ 1 เป็นตัวอย่างที่นำมาสกัดแล้วนำมาทำการวิเคราะห์

ชุดที่ 2 เป็นตัวอย่างที่นำมาเติมด้วยสารละลายวิตามินอีมาตรฐาน 100  $\mu$ L 1000 ppm ก่อนทำการสกัดแล้วนำมาวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณวิตามินอีในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น โดยใช้กราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี สกัดโดยตัวทำละลายเมทานอล

สารตัวอย่าง	ชุดตัวอย่าง	ความเข้มข้นตัวอย่าง mg/g
ยูซีทีน	1	0.139
	2	0.958
ออเรนทอล	1	0.087
	2	0.269
สมูทอี	1	0.079
	2	0.991

#### 4.2.2.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี standard addition

ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณวิตามินอีในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่น โดยใช้วิธีการเติมสารละลายมาตรฐานวิตามินอี สกัดโดยตัวทำละลายเมทานอล

สารตัวอย่าง	ชุดตัวอย่าง	% Recovery	ความเข้มข้นตัวอย่าง mg/g
ยูซีทีน	1	108.676	0.012
	2	80.406	0.771
ออเรนทอล	1	98.514	0.174
	2	82.809	0.318
สมูทอี	1	100.644	0.039
	2	84.418	0.892

#### 4.2.3 ค่าการยอมรับได้ของการวิเคราะห์วิตามินอีด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า

การคำนวณค่าการยอมรับได้ของวิธีวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า โดยคำนวณตามสมการของ Horrat ซึ่งค่าที่ยอมรับได้เมื่อทำการคำนวณแล้วต้องมีค่า น้อยกว่าหรือเท่ากับ 2

จากผลการทดลอง ตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์แบ่งเป็นสองชุด คือ

ชุดที่ 1 เป็นตัวอย่างที่นำมาสกัดแล้วนำมาทำการวิเคราะห์

ชุดที่ 2 เป็นตัวอย่างที่นำมาเติมด้วยสารละลายวิตามินอีมาตรฐาน 100  $\mu$ L 1000 ppm ก่อนทำการสกัดแล้วนำมาวิเคราะห์

ซึ่งทั้งสองชุดเมื่อนำมาคำนวณด้วยสมการของ Horrat แล้ว ชุดที่ 2 สองจะอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ ดังแสดงค่าในตารางที่ 4.5 และ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.3.1 สารตัวอย่างที่สกัดด้วยวิธี Supercritical Fluid Extraction

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการยอมรับได้ของการวิเคราะห์วิตามินอีด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้าโดยเทคนิคการสกัดด้วย Supercritical Fluid Extraction

ตัวอย่าง	ชุดตัวอย่าง	ค่า % RSD <sub>experimented</sub>	ค่า % RSD <sub>Predicted</sub>	ค่า Horrat
ยูซีทีน	1	1.5880	19.5	0.081
		16.867	18.9	0.891
	2	7.7340	18.1	0.427
		11.630	17.8	0.652
ออเรน ทอล	1	92.280	24.7	3.741
		43.730	18.7	2.336
	2	21.250	18.7	1.382
		26.770	15.4	1.867
สมูทอ	1	9.6600	14.3	0.436
		78.950	22.2	2.940
	2	15.590	21.9	1.124
		6.3200	13.9	0.409

#### 4.2.3.2 สารตัวอย่างที่สกัดด้วยสารละลายมาตรฐานเมทานอล

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการยอมรับได้ของการวิเคราะห์วิตามินอีด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า สกัดด้วยสารละลายมาตรฐานเมทานอล

ตัวอย่าง	ชุดตัวอย่าง	ค่า % RSD <sub>experimented</sub>	ค่า % RSD <sub>Predicted</sub>	ค่า Horrat
ยูซีทีน	1	23.662	27.9	0.848
	2	4.5190	15.6	0.289
ออเรน ทอล	1	47.157	22.1	2.137
	2	9.9490	16.9	0.589
สมูทอ	1	69.618	27.8	2.508
	2	3.0080	15.5	0.195

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 การศึกษาหาความเที่ยง

การศึกษาหาความเที่ยง (precision) ของการวิเคราะห์สามารถหาค่า Repeatability โดยค่าของ Repeatability ได้โดยทำการทดลองวัดซ้ำ ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสีคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl และขั้วแพลตตินัมแผ่นบางเป็น counter ion สภาวะที่ Step potential 0.006 V และ Modulation amplitude 0.007 V โดยเติมสารมาตรฐานวิตามินอีความเข้มข้น 100 ppm 1 mL และเติมบัฟเฟอร์สารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M citric acid และ 0.06 M tetrabutylammonium tetrafluoroborate ปริมาตรรวม 10 mL จำนวน 21 ซ้ำ นำค่าที่ได้จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์ของการผันแปร (%RSD) ของการวิเคราะห์ ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการผันแปรเท่ากับ 4.242 %

#### 4.2.5 การหาค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection; LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ)

การหาค่าขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection; LOD) และขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ) โดยทำการทดลองที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสีคาร์บอน ขั้วไฟฟ้าอ้างอิง Ag/AgCl และขั้วแพลตตินัมแผ่นบางเป็น counter ion สภาวะที่ Step potential 0.006 V และ Modulation amplitude 0.007 V โดยตรวจวัดสารละลายมาตรฐานวิตามินอีที่ความเข้มข้น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 ppm และเติมบัฟเฟอร์สารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M citric acid และ 0.06 M tetrabutylammonium tetrafluoroborate ปริมาตรรวม 10 mL ได้กราฟเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 4.14 สมการเส้นตรงคือ  $y = 0.1498x - 0.0146$  นำค่าที่ได้จากกราฟ (ค่าจุดตัดบนแกนตั้ง และค่าความชัน) มาคำนวณหาขีดจำกัดการตรวจพบ(LOD) พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.072665 ppm และ ขีดจำกัดวัดเชิงปริมาณ (LOQ) พบว่า มีค่าเท่ากับ 0.239794 ppm

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี เพื่อหาค่า LOD และ LOQ

ความเข้มข้น (xi)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A) ( $y_i$ )	( $\hat{y}_i$ )	( $y_i - \hat{y}_i$ ) <sup>2</sup>
0.5	0.0654	0.0603	2.601E-05
1.0	0.1300	0.1352	2.704E-05
1.5	0.2050	0.2101	2.601E-05
2.0	0.2900	0.2850	0.0000250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์วิตามินอีโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้าที่มีขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน ผลจากการหาสภาวะที่เหมาะสมของการใช้สารละลาย 0.06 M กรดซिटริก และ 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ฟลูออโรโบรเฮทในเมทานอล มาทำการวิเคราะห์หาวิตามินอีนั้นพบว่า มีความเหมาะสมที่ pH 2.5 – 3.0 จะให้กระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุดโดยช่วงความเข้มข้น 10-150 ppm มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับกับปริมาณกระแสไฟฟ้า ที่ค่า Scan rate 50 mV/s

จากการนำสภาวะที่ได้มาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์วิตามินอีในตัวอย่างพบว่าในการสกัดด้วยเทคนิค Supercritical Fluid Extraction มีปริมาณวิตามินอีในผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.2 - 2.0 mg/g เมื่อทำการสกัดด้วยสารละลายมาตรฐานเมทานอล มีปริมาณวิตามินอีในผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.08- 0.99 mg/g และโดยวิธีเติมการสารมาตรฐานในตัวอย่างพบว่าในการสกัดด้วยเทคนิค Supercritical Fluid Extraction จำนวนจากกราฟมาตรฐานมีปริมาณวิตามินอีในผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.01 – 0.17 mg/g และจำนวนจากการการเติมสารมาตรฐานมีปริมาณวิตามินอีในผลิตภัณฑ์อยู่ในช่วง 0.2 – 0.99 mg/g โดยเมื่อทำการหาค่าการยอมรับได้ของ Horwitz equation (Horwitz trumpet) พบว่าค่า Horwitz ที่ได้จากการคำนวณจากตัวอย่างที่วัดซ้ำ พบว่าในการสกัดด้วยเทคนิค Supercritical Fluid Extraction จะมีค่าการยอมรับได้ 0.8-3.7 ซึ่งมีเพียงบางค่าเท่านั้นที่มีค่าเกิน 2 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ และเมื่อทำการสกัดด้วยสารละลายมาตรฐานเมทานอล จะมีค่าการยอมรับได้ 0.1-2.5 ซึ่งจะอยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้มากกว่าการสกัดด้วยเทคนิค Supercritical Fluid Extraction

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์ปริมาณวิตามินอีโดยใช้เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอนมีปัญหาที่สำคัญประการหนึ่ง คือมีสัญญาณรบกวนที่สูงจึงทำให้ไม่สามารถตรวจวัดปริมาณวิตามินอีที่มีความเข้มข้นต่ำมากๆ ในระดับ ppb ได้ ซึ่งสารที่จะนำมาวิเคราะห์ในเทคนิคนี้ได้จำเป็นต้องเป็นสารที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีไฟฟ้าเท่านั้นจึงจะสามารถนำมาวิเคราะห์ได้และการวิเคราะห์นี้ต้องระวังสิ่งปนเปื้อนเป็นพิเศษทั้งจากเครื่องแก้วและสิ่งแวดล้อมเนื่องจากมีผลทำให้สัญญาณรบกวนสูง

## บรรณานุกรม

- [1] พิสิฐ วงศ์วัฒน์, วิตามิน., พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์หมอชาวบ้าน., กรุงเทพฯ, มีนาคม 2547.
- [2] ไพโรจน์ จันทร์หอม,(2548) การวิเคราะห์ทางเคมีไฟฟ้าของยาต้านเชื้อรา Ketoconazole และยาปฏิชีวนะ Enrofloxacin โดยใช้ขั้วไฟฟ้าฟิล์มเพชรบางเจือโบรอนประยุกต์ใช้กับ เซลล์ที่ประดิษฐ์ขึ้น, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [3] รศ.ดร.สุวรรณ ไชยสิทธิ์,2548, เอกสารประกอบการเรียนการสอน supercritical fluid extraction(SFE) และเอกสารประกอบการเรียนการสอน high-performance liquid chromatography (HPLC)
- [4] มณฑนา ภาณุมากรณ์ และ ฤดี เสาวคนธ์,ผลิตภัณฑ์เพื่อการดูแลผิวพรรณ., พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์กรุงเทพเวชสาร., กรุงเทพฯ, 2548.
- [5] [http://www.acclaimimages.com/\\_gallery/\\_pages/0015-0607-2306-2626.html](http://www.acclaimimages.com/_gallery/_pages/0015-0607-2306-2626.html)
- [6] <http://www.andrew.cmu.edu/user/jitkangl/SFE/Supercritical%20Fluid%20Extraction%20of%20Natural%20Product.htm>
- [7] [http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course\\_info/2302548/Wk10.pdf](http://www.chemistry.sc.chula.ac.th/course_info/2302548/Wk10.pdf)
- [8] <http://www.iach.cz/departments/sfe/Default.asp?page=208>
- [9] [http://www.irpus.org/abstract47/abstract\\_pdf/R10039-47.pdf](http://www.irpus.org/abstract47/abstract_pdf/R10039-47.pdf)
- [10] <http://lpi.oregonstate.edu/infocenter/vatamins/VitaminE>
- [11] [http://pharm.swu.ac.th/psi/content/content10\\_1.5.48/vol\\_10\\_no\\_1\\_2005\\_pg083-093\\_Super\\_Critical\\_Fluid.pdf](http://pharm.swu.ac.th/psi/content/content10_1.5.48/vol_10_no_1_2005_pg083-093_Super_Critical_Fluid.pdf)
- [12] [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6TGX-3Y450RT-48&\\_user=10&\\_coverDate=03%2F31%2F1995&\\_alid=564192843&\\_rdoc=3&\\_fmt=summary&\\_orig=search&\\_cdi=5266&\\_sort=d&\\_docanchor=&\\_view=c&\\_ct=4&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=04d9d26755cbb52832a458206416d930](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TGX-3Y450RT-48&_user=10&_coverDate=03%2F31%2F1995&_alid=564192843&_rdoc=3&_fmt=summary&_orig=search&_cdi=5266&_sort=d&_docanchor=&_view=c&_ct=4&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=04d9d26755cbb52832a458206416d930)
- [13] [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6THH-43556PR-32&\\_user=10&\\_coverDate=06%2F01%2F2001&\\_alid=564190255&\\_rdoc=1&\\_fmt=summary&\\_orig=browse&\\_sort=d&\\_view=c&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=f9df25b340408a103d34a080807ca94a](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6THH-43556PR-32&_user=10&_coverDate=06%2F01%2F2001&_alid=564190255&_rdoc=1&_fmt=summary&_orig=browse&_sort=d&_view=c&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=f9df25b340408a103d34a080807ca94a)
- [14] <http://sunny.vemt.bme.hu/sfe/angol/supercritical.html>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ก.1 แสดงสูตรต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณ

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \quad \text{สมการ 1.1}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\Sigma(X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{สมการ 1.2}$$

$$\%recovery = \frac{[Sample_{spiked}] - [Sample_{blank}]}{[Concentration_{add}]} \times 100 \quad \text{สมการ 1.3}$$

$$Horrat = \frac{\%RSD_{experimented}}{\%RSD_{predicted}} \quad \text{สมการ 1.4}$$

$$\%RSD = \frac{SD}{X} \times 100 \quad \text{สมการ 1.5}$$

$$\%RSD_{predicted} = 2^{1-0.5 \log C} \quad \text{สมการ 1.6}$$

$$LOD = \frac{s_{y/x}}{slope} \quad \text{สมการ 1.7}$$

$$LOQ = 3.3LOD \quad \text{สมการ 1.8}$$

$$s_{y/x} = \sqrt{\frac{\Sigma(y_i - \hat{y})^2}{n-2}} \quad \text{สมการ 1.9}$$

หมายเหตุ 1.  $\hat{y} = mx + c$  (จากสมการเส้นตรง)

2. การรายงานค่าเฉลี่ยให้รายงานเป็นค่า  $\bar{X} \pm SD$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 ข้อมูลจากการทดลองศึกษาหาความเข้มข้นของสารละลายบีฟเฟอร์ที่เหมาะสม โดยเติมสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในเมทานอล scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลจากการทดลองศึกษาหาความเข้มข้นของกรดซิตริกที่ผสมกับ เตะระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเฮทเข้มข้น 0.06 M

ความเข้มข้นกรดซิตริก (M)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ยศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)	ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)
0.01	0.514	$0.504 \pm 0.000$	2.563	$2.682 \pm 0.001$
	0.499		2.709	
	0.499		2.774	
0.02	0.499	$0.497 \pm 0.000$	2.960	$2.979 \pm 0.000$
	0.499		2.940	
	0.494		3.038	
0.04	0.499	$0.499 \pm 0.000$	3.214	$3.129 \pm 0.001$
	0.499		3.076	
	0.499		3.098	
0.06	0.499	$0.499 \pm 0.000$	3.440	$3.408 \pm 0.0004$
	0.499		3.424	
	0.499		3.360	
0.08	0.499	$0.499 \pm 0.000$	3.199	$3.193 \pm 0.001$
	0.499		3.108	
	0.499		3.273	
0.10	0.499	$0.499 \pm 0.000$	3.246	$3.296 \pm 0.0006$
	0.499		3.272	
	0.499		3.369	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลจากการทดลองศึกษาหาความเข้มข้นของเตตระบิวทิลแอม โมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเฮทที่ผสมกับกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.06 M

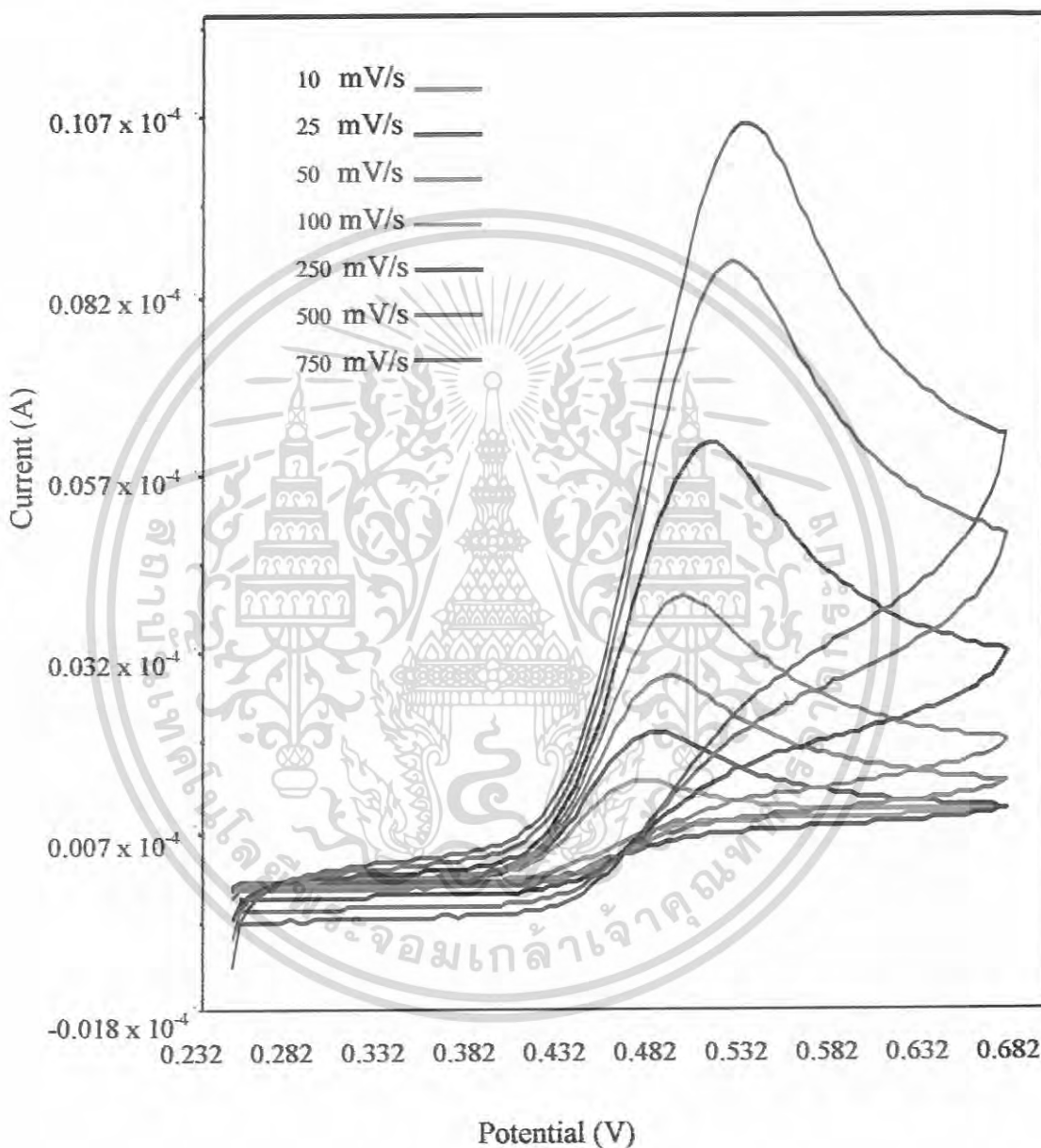
ความเข้มข้นเตตระบิวทิลแอม โมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเฮท (M)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ยศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)	ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)
0.01	0.538	$0.523 \pm 0.000$	2.966	$2.915 \pm 0.001$
	0.518		2.791	
	0.514		2.989	
0.02	0.523	$0.510 \pm 0.000$	2.771	$2.969 \pm 0.002$
	0.504		3.055	
	0.504		3.081	
0.04	0.518	$0.504 \pm 0.000$	2.774	$3.060 \pm 0.003$
	0.499		3.145	
	0.494		3.252	
0.06	0.518	$0.502 \pm 0.000$	2.830	$3.116 \pm 0.002$
	0.494		3.247	
	0.494		3.271	
0.08	0.523	$0.507 \pm 0.000$	2.539	$2.841 \pm 0.003$
	0.499		3.002	
	0.499		2.983	
0.10	0.523	$0.499 \pm 0.000$	2.542	$2.953 \pm 0.004$
	0.499		3.028	
	0.475		3.288	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 ไซคลิกโวลแทมโมแกรม และข้อมูลที่ได้จากการศึกษา scan rate (mV/s) ของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระอะเอทิลแอมโมเนียมเตตระโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate ต่างๆที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน



รูปที่ ก.1 ไซคลอโวลแทมโมแกรมที่ได้จากการศึกษา scan rate (mV/s) ของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระอะเอทิลแอมโมเนียมเตตระโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate ต่างๆที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา scan rate (mV/s) ของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระอะเททิลแอมโมเนียมเตตระโบรมาต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate ต่างๆที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

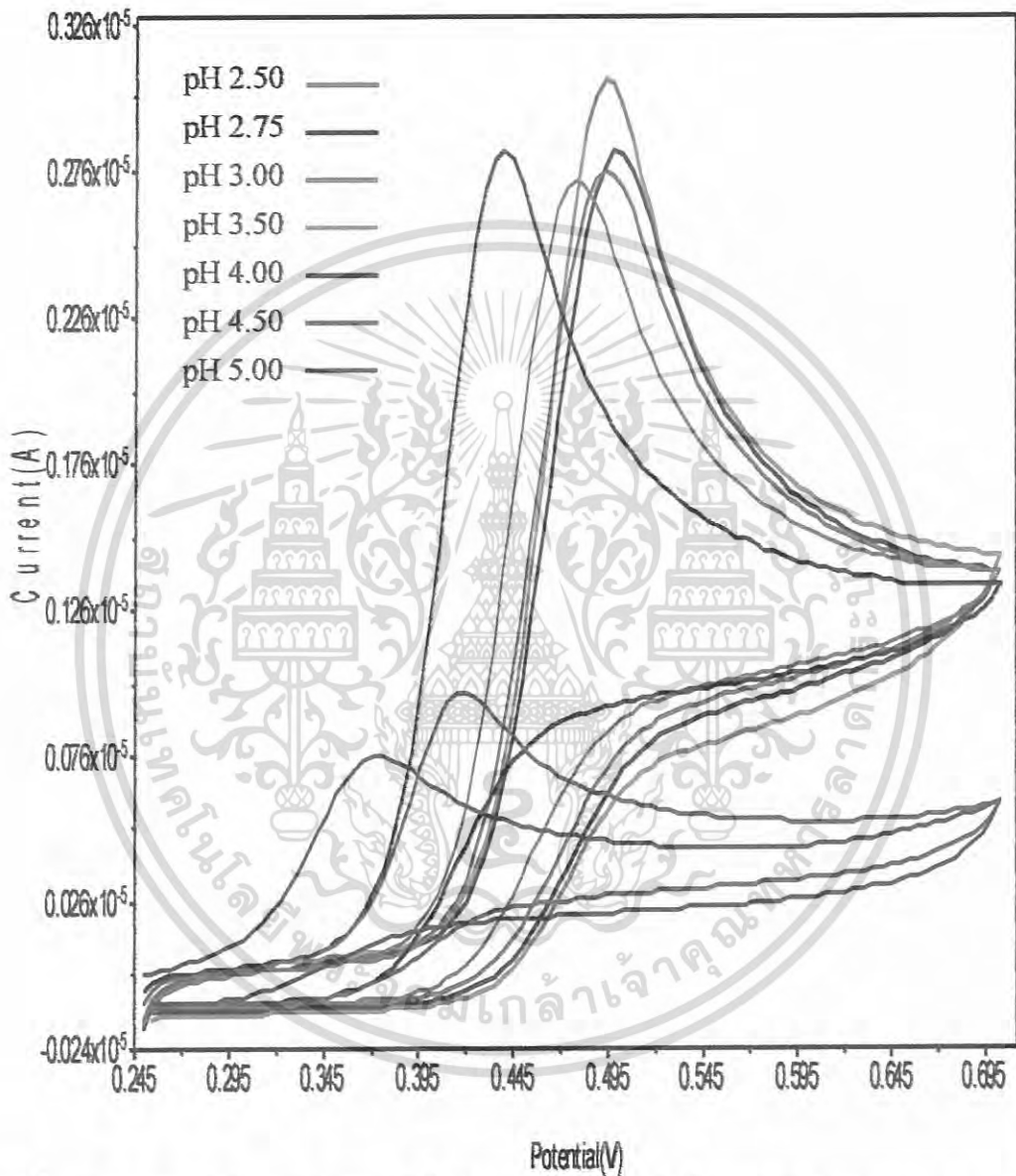
Scan rate (mV/s)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)
10	0.489	1.325
25	0.499	1.96
50	0.504	2.71
100	0.514	3.755
250	0.528	5.707
500	0.543	7.935
750	0.548	9.582

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง.1 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมและข้อมูลที่ได้จากการศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายมาตรฐาน วิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระอะเททิล แอมโมเนียมเตตระโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสสิ คาร์บอน



รูปที่ ง.1 รูปไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่ได้จากการศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายมาตรฐาน วิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระอะเททิล แอมโมเนียมเตตระโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสสิ คาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา pH ที่เหมาะสมของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระอะเอทิลแอมโมเนียมเตตระบอเรท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

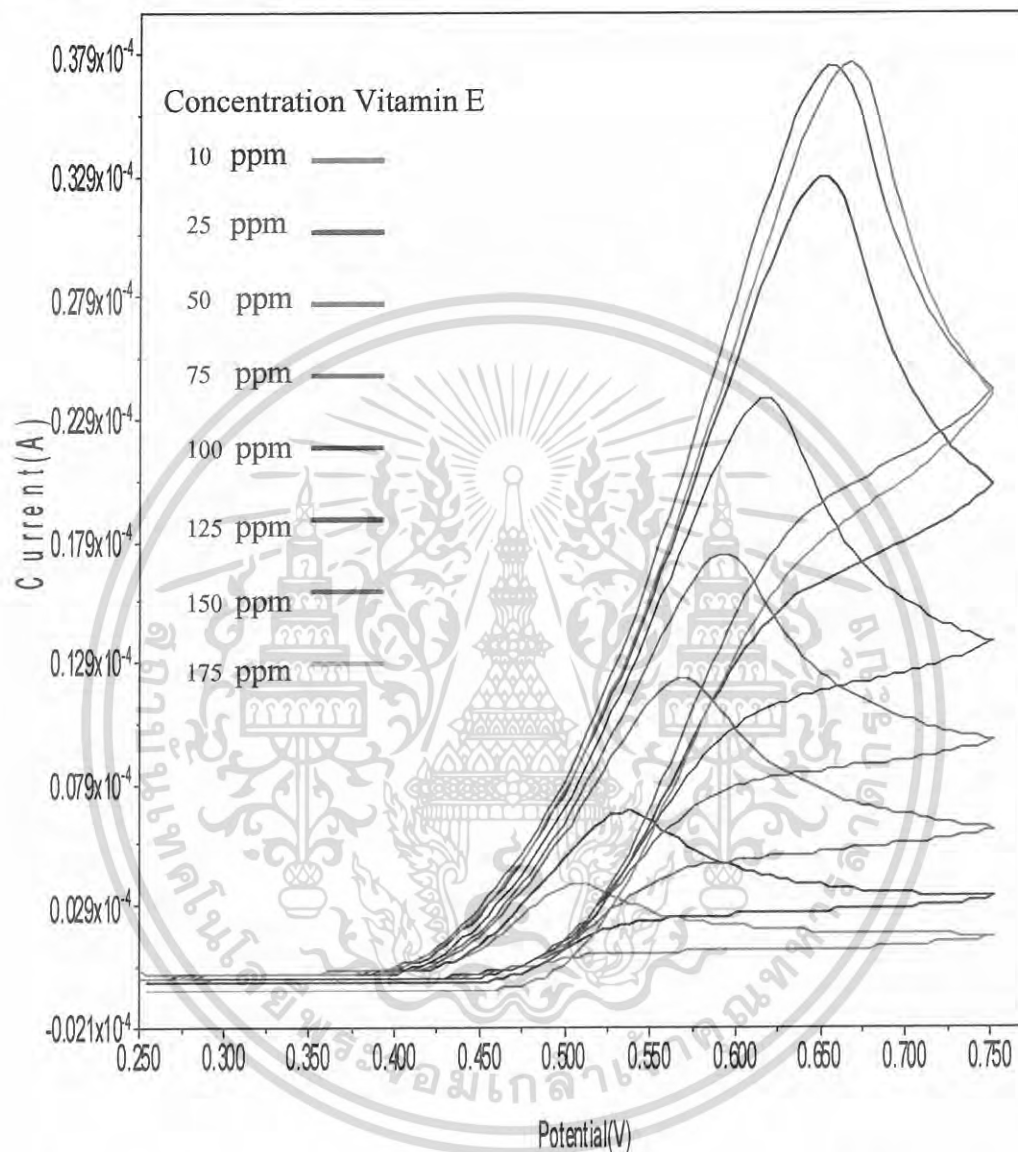
pH	ศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)
2.49	0.494	2.881
2.73	0.499	2.646
3.09	0.494	2.571
3.49	0.479	2.570
4.02	0.460	2.504
4.50	0.440	2.604
5.00	0.416	8.400
5.50	0.372	5.492

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ.1 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมและข้อมูลที่ได้จากการศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน



รูปที่ จ.1 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมที่ได้จากการศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาช่วงของความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐาน วิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาส คีคาร์บอน

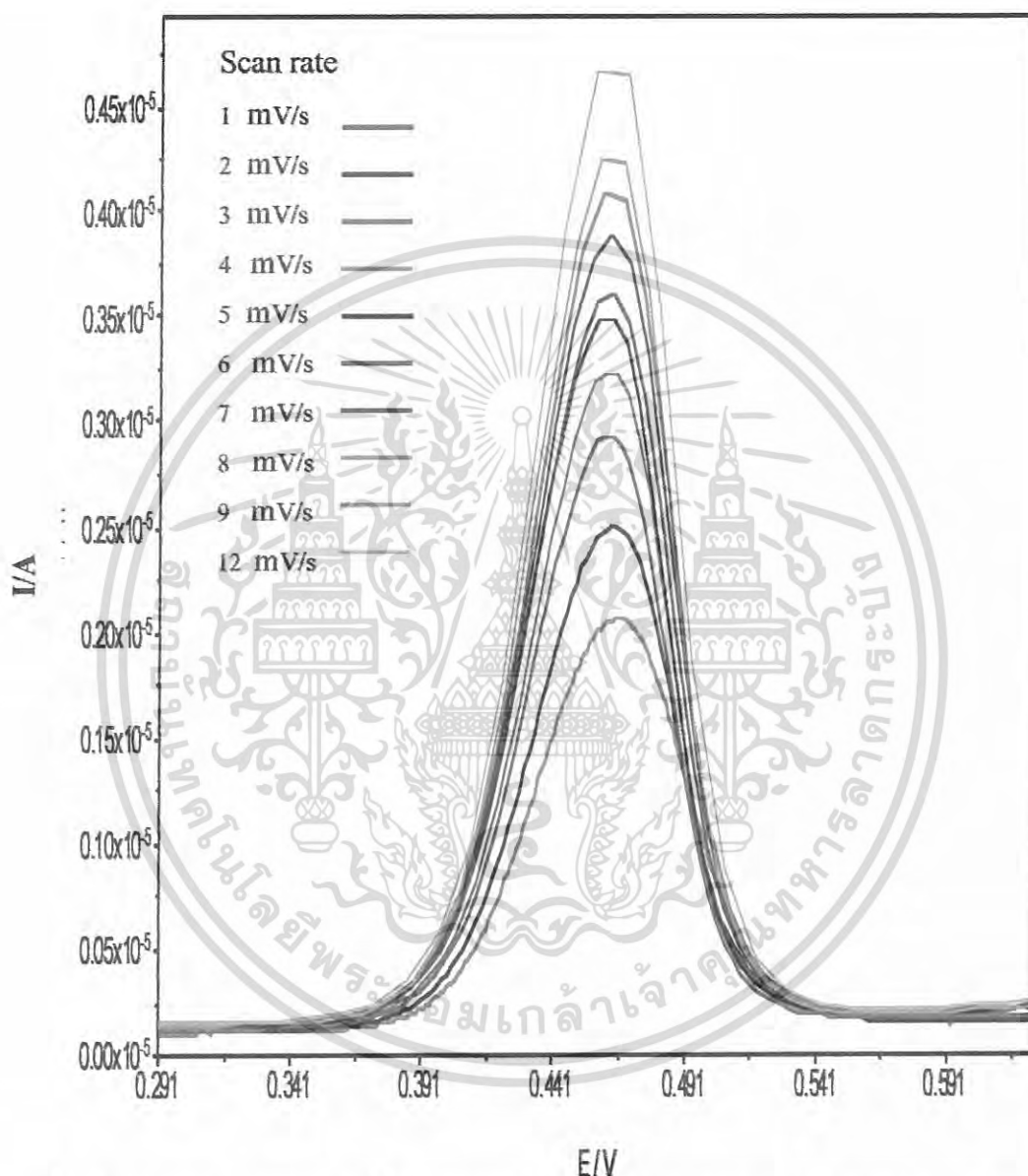
ความเข้มข้น (ppm)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ยศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)	ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)
10	0.514	0.5115 ± 0.000	2.986	3.265 ± 0.004
	0.509		3.544	
25	0.543	0.5405 ± 0.000	6.069	6.322 ± 0.004
	0.538		6.575	
50	0.572	0.572 ± 0.000	11.37	11.600 ± 0.003
	0.572		11.83	
75	0.592	0.5945 ± 0.000	16.31	16.695 ± 0.005
	0.597		17.08	
100	0.621	0.621 ± 0.000	22.28	22.750 ± 0.007
	0.621		23.22	
125	0.655	0.6525 ± 0.000	35.44	36.175 ± 0.010
	0.660		36.91	
150	0.650	0.6525 ± 0.000	31.93	31.980 ± 0.001
	0.655		32.03	
175	0.655	0.6625 ± 0.000	37.1	37.055 ± 0.001
	0.670		37.01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ.1 คัพเฟอร์เรนเจียลพัลส์และข้อมูลที่ได้จากการศึกษา step potential ที่ modulation amplitude คงที่ ที่ 0.2505 สารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์ และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน



รูปที่ ฉ.1 คัพเฟอร์เรนเจียลพัลส์ที่ได้จากการศึกษา step potential ที่ modulation คงที่ ที่ 0.2505 สารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๑.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา step potential

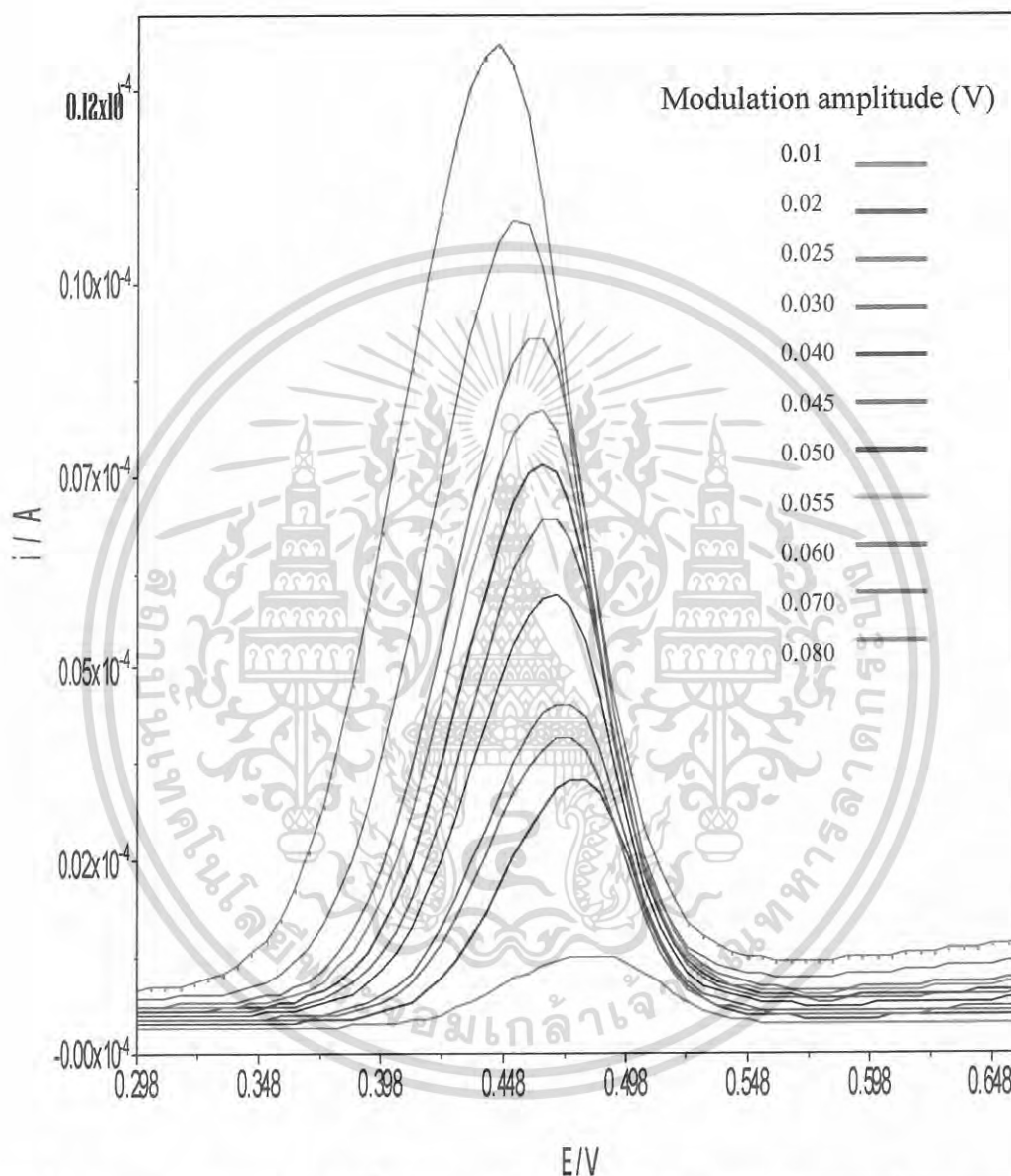
Step potential	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ยศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}A$ )	ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}A$ )
0.001	0.466	$0.466 \pm 0.000$	1.770	$1.870 \pm 0.001$
	0.467		1.880	
	0.467		1.960	
0.002	0.466	$0.464 \pm 0.000$	2.270	$2.303 \pm 0.001$
	0.462		2.250	
	0.464		2.390	
0.003	0.461	$0.462 \pm 0.000$	2.660	$2.726 \pm 0.001$
	0.464		2.690	
	0.461		2.830	
0.004	0.466	$0.4643 \pm 0.000$	2.880	$3.100 \pm 0.002$
	0.461		3.100	
	0.466		3.320	
0.005	0.469	$0.4656 \pm 0.000$	3.280	$3.303 \pm 0.0004$
	0.464		3.360	
	0.464		3.270	
0.006	0.464	$0.464 \pm 0.000$	3.470	$3.423 \pm 0.0005$
	0.464		3.370	
	0.464		3.430	
0.007	0.463	$0.463 \pm 0.000$	3.650	$3.673 \pm 0.0008$
	0.463		3.610	
	0.463		3.760	
0.008	0.468	$0.465 \pm 0.000$	3.730	$3.850 \pm 0.0012$
	0.460		3.970	
	0.468		3.850	
0.009	0.468	$0.465 \pm 0.000$	3.740	$3.860 \pm 0.002$
	0.468		3.750	
	0.459		4.090	
0.01	0.463	$0.463 \pm 0.000$	4.130	$4.170 \pm 0.0004$
	0.463		4.190	
	0.463		4.190	
0.012	0.470	$0.462 \pm 0.000$	4.250	$4.383 \pm 0.0014$
	0.458		4.370	
	0.458		4.530	
0.014	0.458	$0.458 \pm 0.000$	4.740	$4.683 \pm 0.0007$
	0.458		4.700	
	0.458		4.610	
0.016	0.465	$0.465 \pm 0.000$	4.910	$4.886 \pm 0.0007$
	0.465		4.810	
	0.465		4.940	
0.018	0.468	$0.468 \pm 0.000$	4.940	$4.880 \pm 0.0001$
	0.468		4.850	
	0.468		4.850	
0.02	0.460	$0.460 \pm 0.000$	5.190	$5.093 \pm 0.0043$
	0.460		4.620	
	0.460		5.470	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช.1 คัพเพอร์เรนเซียมพัลส์และข้อมูลที่ได้จากการศึกษา modulation ที่ step potential คงที่ ที่ 0.06 สารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน



รูปที่ ช.1 คัพเพอร์เรนเซียมพัลส์ที่ได้จากการศึกษา modulation amplitude ที่ step potential คงที่ ที่ 0.06 สารละลายมาตรฐานวิตามินอี 10 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา modulation amplitude

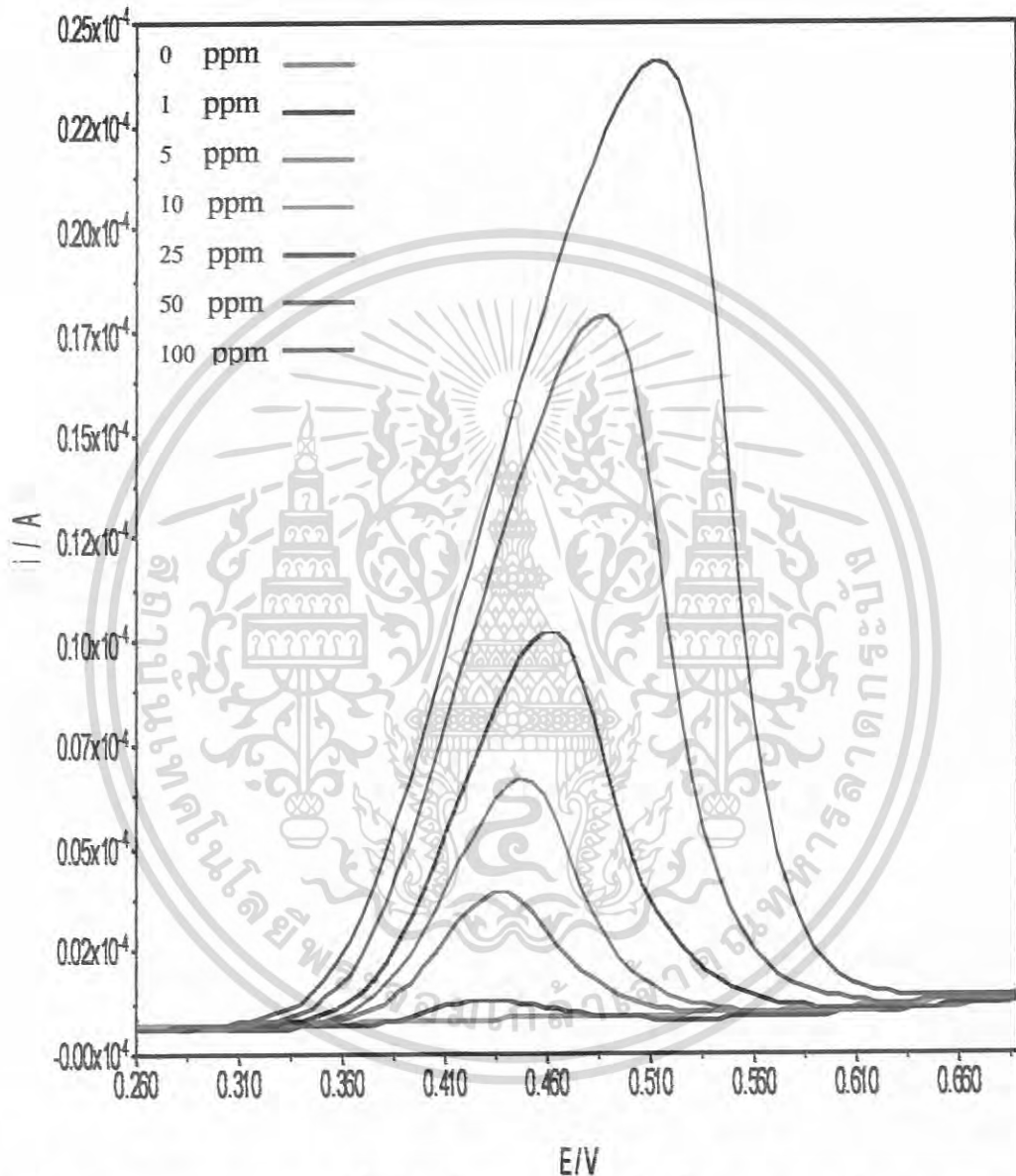
Modulation	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ยศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}A$ )	ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}A$ )
0.01	0.488	$0.486 \pm 0.003$	0.861	$0.897 \pm 0.045$
	0.488		0.882	
	0.482		0.948	
0.02	0.476	$0.476 \pm 0.000$	3.030	$3.063 \pm 0.094$
	0.476		3.170	
	0.476		2.990	
0.025	0.476	$0.476 \pm 0.000$	3.690	$3.470 \pm 0.190$
	0.476		3.350	
	0.476		3.370	
0.03	0.470	$0.470 \pm 0.000$	4.110	$4.060 \pm 0.050$
	0.470		4.060	
	0.470		4.010	
0.04	0.470	$0.470 \pm 0.000$	5.450	$5.423 \pm 0.073$
	0.470		5.340	
	0.470		5.480	
0.045	0.470	$0.468 \pm 0.003$	6.410	$6.300 \pm 0.105$
	0.470		6.200	
	0.464		6.290	
0.05	0.464	$0.464 \pm 0.000$	6.860	$6.963 \pm 0.123$
	0.464		6.930	
	0.464		7.100	
0.055	0.464	$0.464 \pm 0.000$	7.780	$7.636 \pm 0.126$
	0.464		7.590	
	0.464		7.540	
0.06	0.458	$0.460 \pm 0.003$	8.420	$8.640 \pm 0.215$
	0.464		8.850	
	0.458		8.650	
0.07	0.452	$0.454 \pm 0.003$	9.980	$9.950 \pm 0.167$
	0.452		10.10	
	0.458		9.770	
0.08	0.446	$0.450 \pm 0.003$	11.200	$11.066 \pm 0.152$
	0.452		10.900	
	0.452		11.100	
0.09	0.446	$0.446 \pm 0.000$	12.000	$11.966 \pm 0.351$
	0.446		11.600	
	0.446		12.300	
0.1	0.440	$0.438 \pm 0.003$	12.700	$12.733 \pm 0.057$
	0.440		12.800	
	0.434		12.700	
0.11	0.428	$0.428 \pm 0.000$	12.900	$13.166 \pm 0.230$
	0.428		13.300	
	0.428		13.300	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



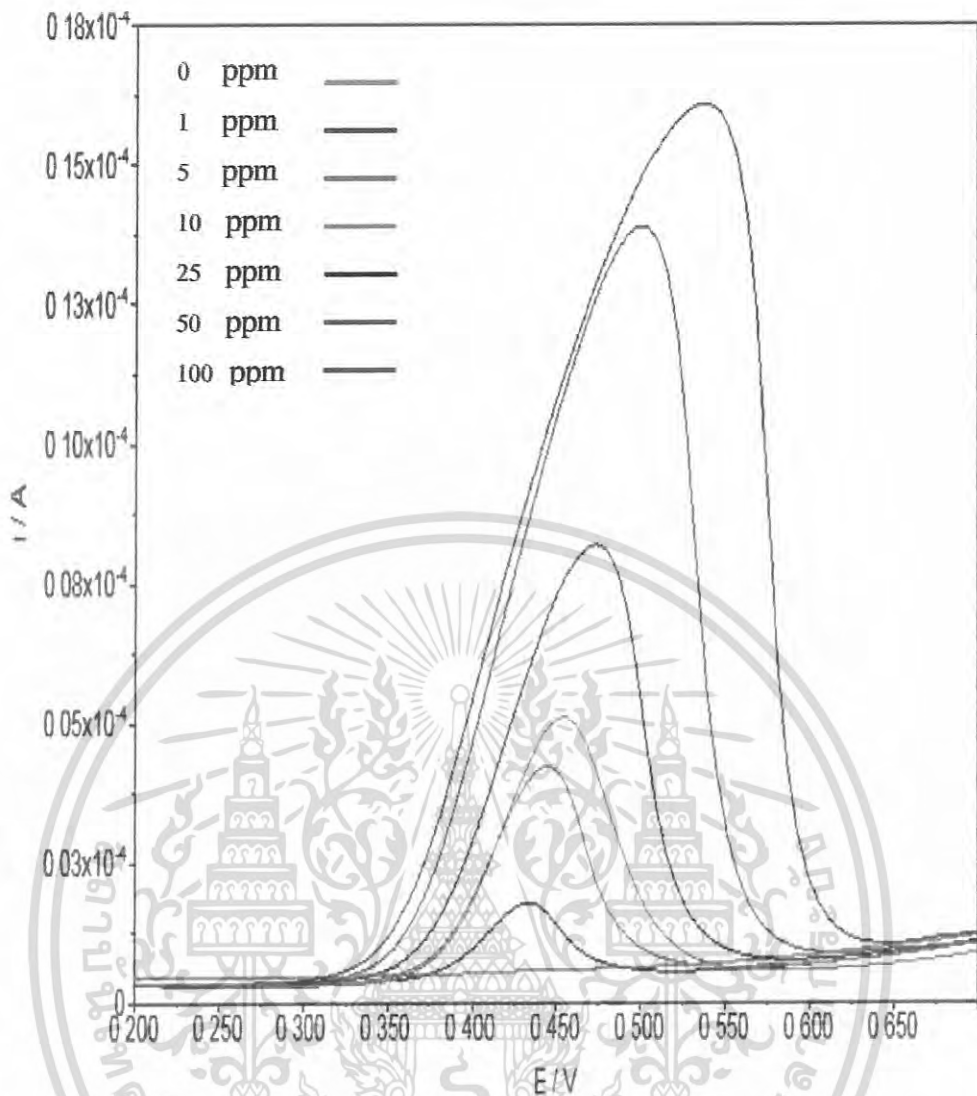
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซ.1 คิฟเฟอร์เรนเจียลพัลส์และข้อมูลที่ได้จากการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ที่ใช้ในการเทียบตัวอย่างต่างๆ ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระอะบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสลิคาร์บอน



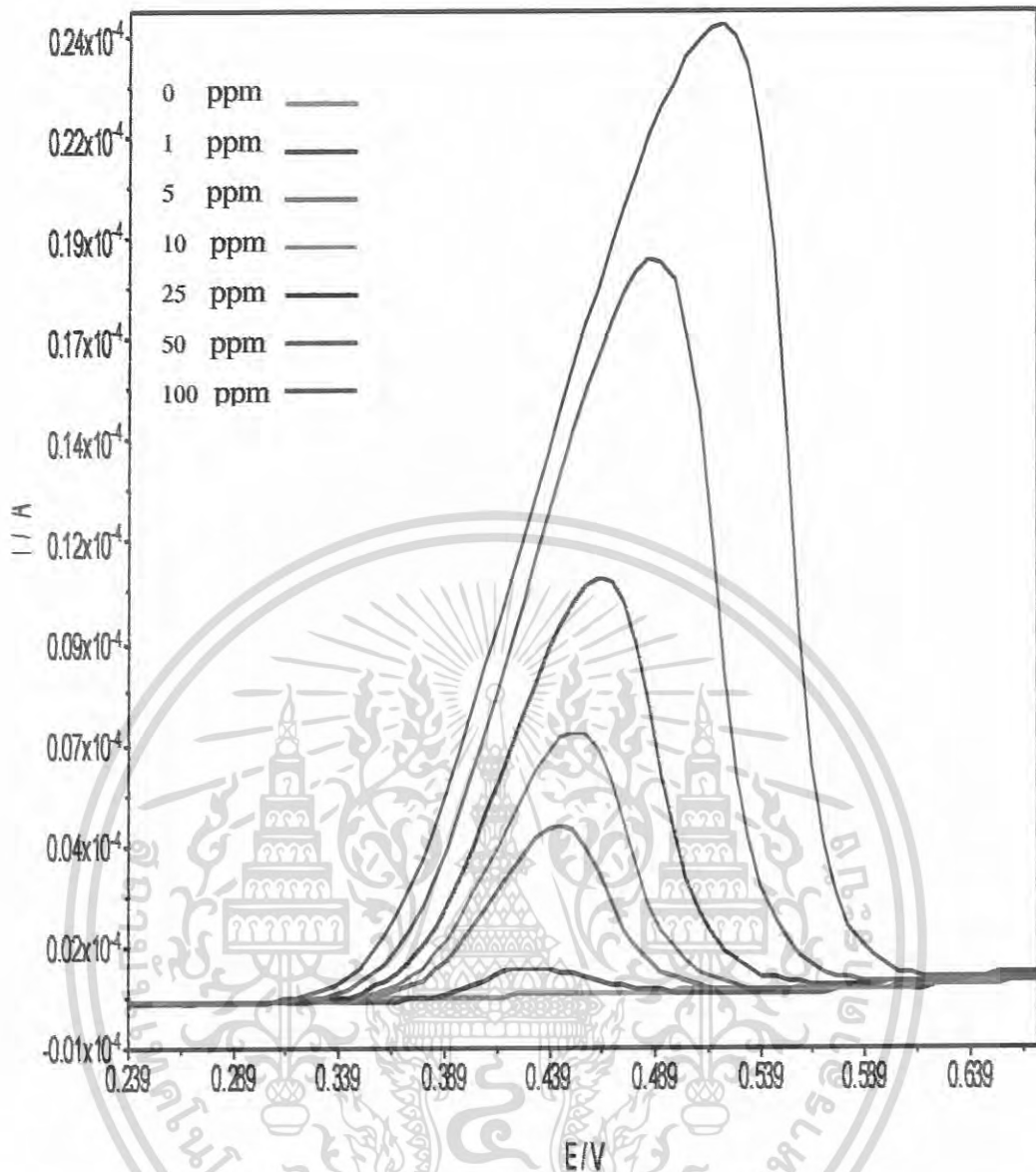
รูปที่ ซ.1 คิฟเฟอร์เรนเจียลพัลส์ที่ได้จากการศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ที่ใช้ในการเทียบตัวอย่างยูซีลินในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตระอะบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสลิคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๒.2 คัพเพอร์เร็นเจียลพลัสที่ได้จากศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน สารละลายมาตรฐานวิตามินบี 12 ที่ใช้ในการเทียบตัวอย่างออร์โธดอล ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซिटริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอม โมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิและ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.3 ลิฟเฟอร์เรนเจียลพลัสที่ได้จากศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอีที่ใช้ในการเทียบตัวอย่าง Smooth E ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซिटริก และ 0.06 M เตตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบอเรท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๗.1 ข้อมูลที่ได้จากศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ที่ใช้ในการเทียบตัวอย่างยูซีลิน

ความเข้มข้น วิตามินอี มาตรฐาน (ppm)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ย ศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}A$ )	ค่าเฉลี่ย กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}A$ )
0	0	$0.000 \pm 0.000$	0	$0.000 \pm 0.000$
	0		0	
	0		0	
1	0.434	$0.432 \pm 0.000$	0.598	$0.652 \pm 0.001$
	0.434		0.619	
	0.428		0.74	
5	0.440	$0.438 \pm 0.000$	2.88	$3.096 \pm 0.002$
	0.440		3.11	
	0.434		3.30	
10	0.446	$0.448 \pm 0.000$	6.03	$5.540 \pm 0.006$
	0.446		5.68	
	0.452		4.91	
20	0.464	$0.460 \pm 0.000$	8.75	$9.240 \pm 0.004$
	0.458		9.58	
	0.458		9.39	
50	0.488	$0.488 \pm 0.000$	16.10	$16.766 \pm 0.006$
	0.488		16.90	
	0.488		17.30	
100	0.518	$0.516 \pm 0.000$	23.2	$23.133 \pm 0.003$
	0.518		22.8	
	0.512		23.4	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๗.2 ข้อมูลที่ได้จากศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐาน วิตามินอี ที่ใช้ในการเทียบตัวอย่างออร์ลทอล

ความเข้มข้น วิตามินอี มาตรฐาน (ppm)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ย ศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}A$ )	ค่าเฉลี่ย กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}A$ )
0	0	$0.000 \pm 0.000$	0	$0.000 \pm 0.000$
	0		0	
	0		0	
1	0.438	$0.436 \pm 0.000$	3.48	$2.110 \pm 0.012$
	0.438		1.40	
	0.432		1.45	
5	0.450	$0.446 \pm 0.000$	5.47	$4.290 \pm 0.010$
	0.444		3.48	
	0.444		3.92	
10	0.450	$0.454 \pm 0.000$	8.03	$6.026 \pm 0.017$
	0.456		5.24	
	0.456		4.81	
20	0.474	$0.472 \pm 0.000$	13.20	$9.840 \pm 0.029$
	0.468		8.48	
	0.474		7.84	
50	0.504	$0.500 \pm 0.000$	14.80	$14.466 \pm 0.001$
	0.498		15.10	
	0.498		13.50	
100	0.539	$0.539 \pm 0.000$	20.00	$16.766 \pm 0.005$
	0.539		14.60	
	0.539		15.70	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลที่ได้จากศึกษาช่วงความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานสารละลายมาตรฐานวิตามินอี ที่ใช้ในการเทียบตัวอย่าง Smooth E

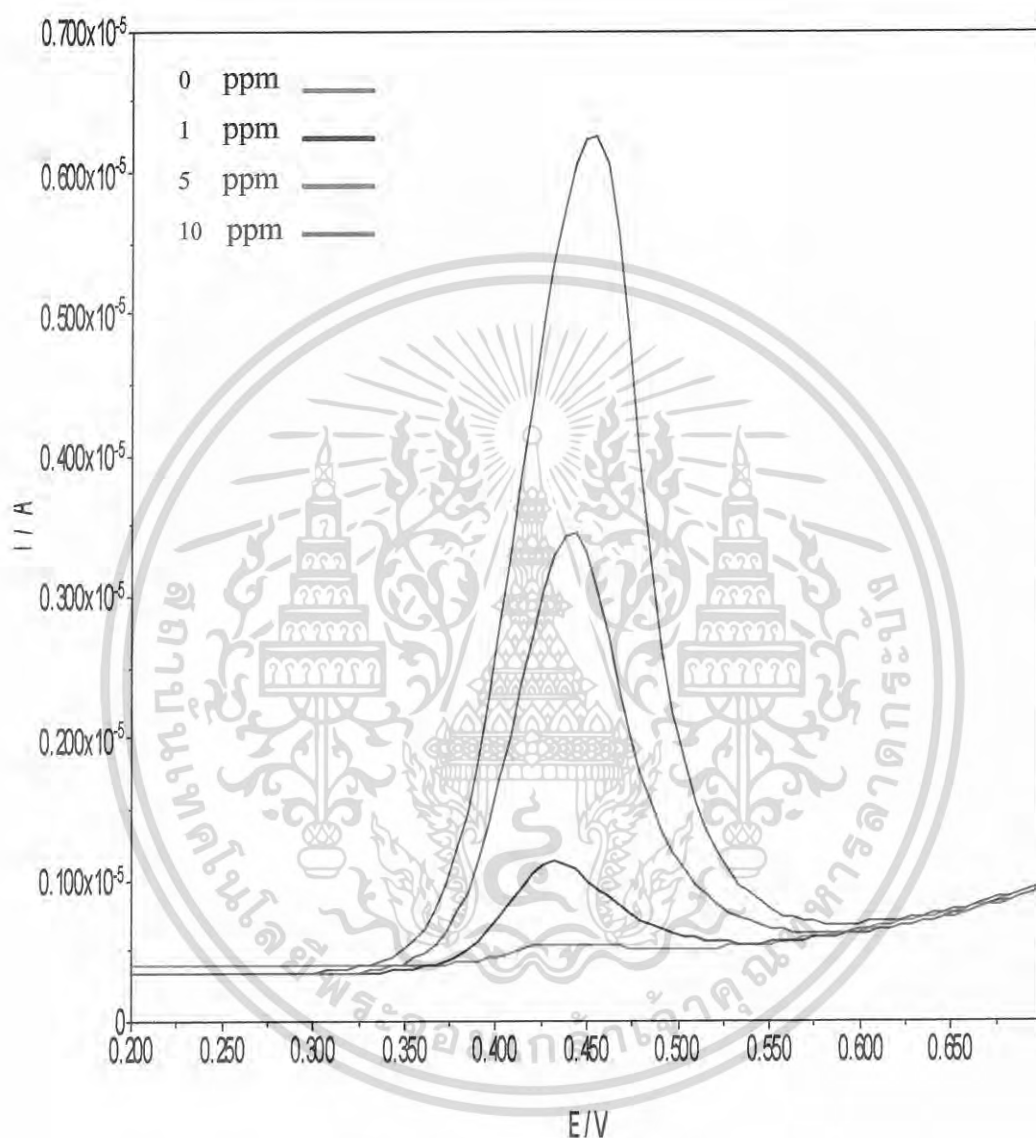
ความเข้มข้น วิตามินอี มาตรฐาน (ppm)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ยศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)	ค่าเฉลี่ย กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)
0	0	0.000 ± 0.000	0	0.000 ± 0.000
	0		0	
	0		0	
1	0.432	0.432 ± 0.000	1.01	0.968 ± 0.000
	0.432		0.917	
	0.432		0.977	
5	0.444	0.444 ± 0.000	4.03	4.240 ± 0.000
	0.444		4.35	
	0.444		4.34	
10	0.450	0.450 ± 0.000	6.25	6.526 ± 0.000
	0.450		6.74	
	0.450		6.59	
20	0.468	0.464 ± 0.000	10.60	10.533 ± 0.000
	0.462		10.50	
	0.462		10.50	
50	0.486	0.486 ± 0.000	18.40	18.333 ± 0.000
	0.486		18.30	
	0.486		18.30	
100	0.521	0.521 ± 0.000	23.90	24.300 ± 0.001
	0.521		24.10	
	0.521		24.90	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



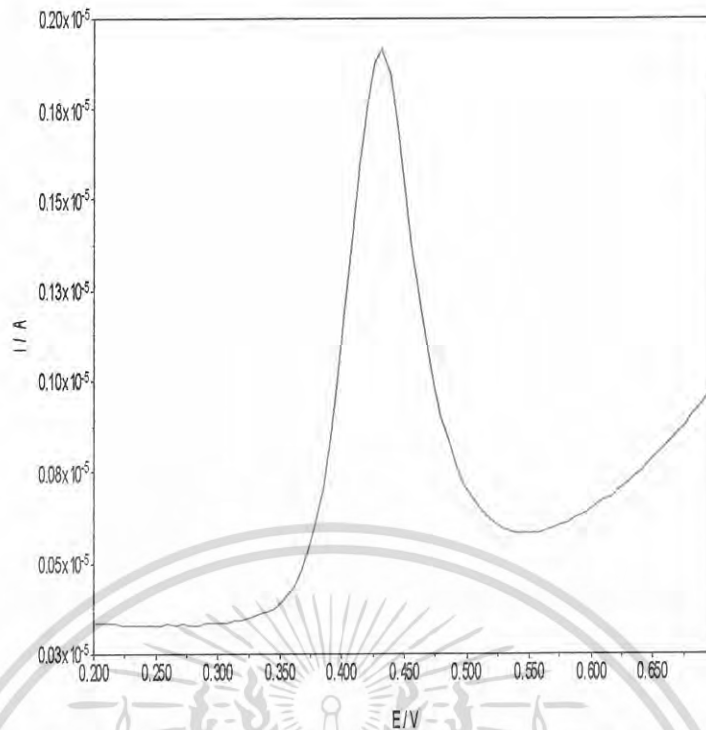
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ณ.1 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์และข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี standard addition ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน



รูปที่ ณ.1 ดิฟเฟอเรนเชียลพัลส์ที่ได้จากการศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี standard addition ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรต ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓.๒ คิวฟเฟออร์เรนเชียลพลัสที่ได้จากการศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี standard addition ที่เป็นสารละลายมาตรฐานวิตามินอีความเข้มข้น 2 ppm ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตะตระบิวทิลแอม โมเนียเมตะระฟลูออโรบอเรท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

ตารางที่ ๓.๑ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานวิตามินอี standard addition

ความเข้มข้น วิตามินอี มาตรฐาน (ppm)	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ย ศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)	ค่าเฉลี่ย กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)
0	0.444	$0.440 \pm 0.000$	0.157	$0.157 \pm 0.000$
	0.438		0.158	
	0.438		0.158	
1	0.438	$0.434 \pm 0.000$	0.645	$0.731 \pm 0.001$
	0.432		0.779	
	0.432		0.769	
5	0.444	$0.444 \pm 0.000$	2.900	$3.12 \pm 0.002$
	0.444		3.120	
	0.444		3.340	
10	0.456	$0.456 \pm 0.000$	5.820	$5.896 \pm 0.001$
	0.456		5.910	
	0.456		5.960	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



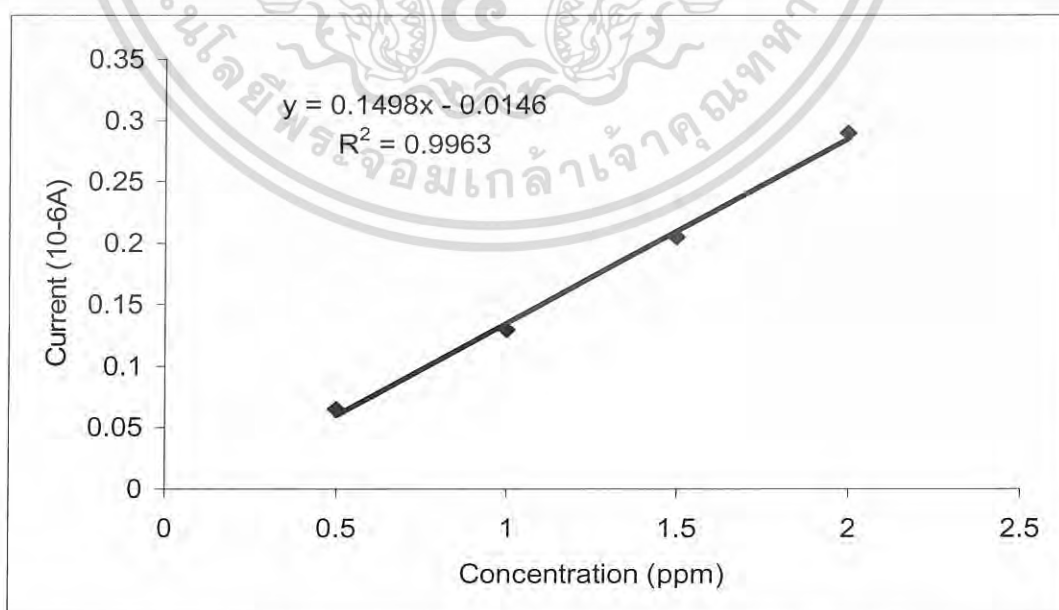
ภาคผนวก ๓  
การวิเคราะห์หาวิตามินอีในผลิตภัณฑ์ประเภทครีมและโลชั่นโดยวิธีการสกัด  
ด้วยเทคนิค **Supercritical Fluid Extraction**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ญ.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองตัวอย่างที่สกัดได้ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตะระบิวทิลแอมโมเนียมตะระฟลูออโรโบเรท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

ตารางที่ ญ.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองตัวอย่างที่สกัดได้

ชนิดตัวอย่าง	หลอดที่	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ยศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}A$ )	ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}A$ )
ยูซีลิน	1	0.458	$0.450 \pm 0.000$	0.224	$0.186 \pm 0.049$
		0.452		0.203	
		0.440		0.130	
	2	0.440	$0.440 \pm 0.000$	0.018	$0.028 \pm 0.008$
		0.440		0.033	
		0.440		0.032	
ออเนทอล	1	0.432	$0.432 \pm 0.000$	0.008	$0.007 \pm 0.002$
		0.432		0.006	
		0.432		0.005	
	2	0.438	$0.430 \pm 0.000$	0.167	$0.088 \pm 0.128$
		0.426		0.011	
		0.426		0.009	
สมูทธี	1	0.432	$0.286 \pm 0.002$	0.034	$0.012 \pm 0.018$
		0		0.000	
		0.426		0.003	
	2	0.444	$0.294 \pm 0.003$	0.158	$0.056 \pm 0.088$
		0.438		0.009	
		0		0.000	



รูปที่ ญ.1 แสดงกราฟสารละลายมาตรฐานวิตามินอีช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง 0-2 ppm

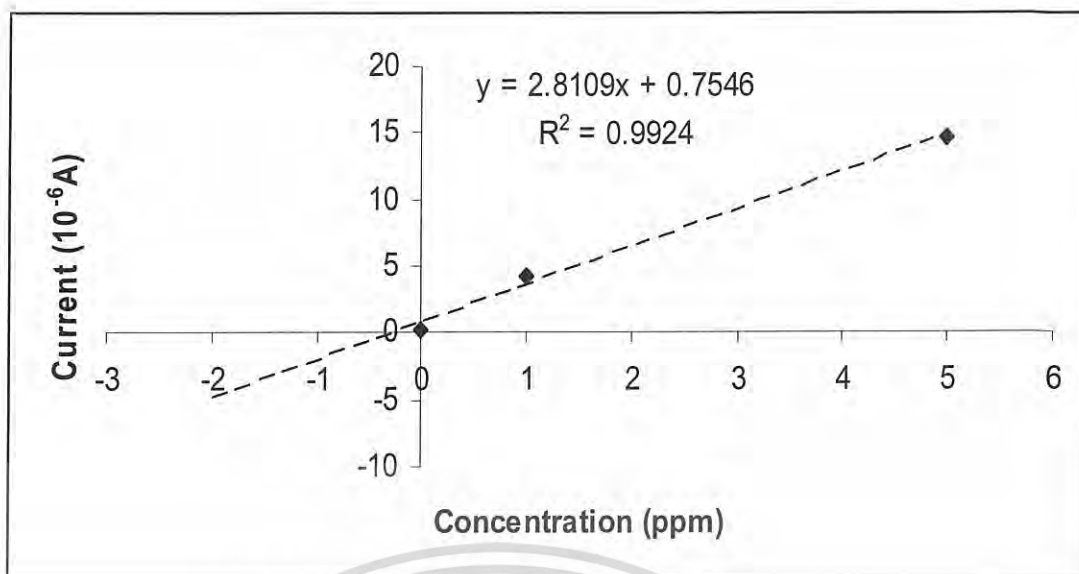
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ญ.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองตัวอย่างโดยเติมสารละลายมาตรฐานวิตามินอี(standard addition)ในขั้นตอนการสกัด 100 ไมโครลิตร 1000 ppmในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบเรท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

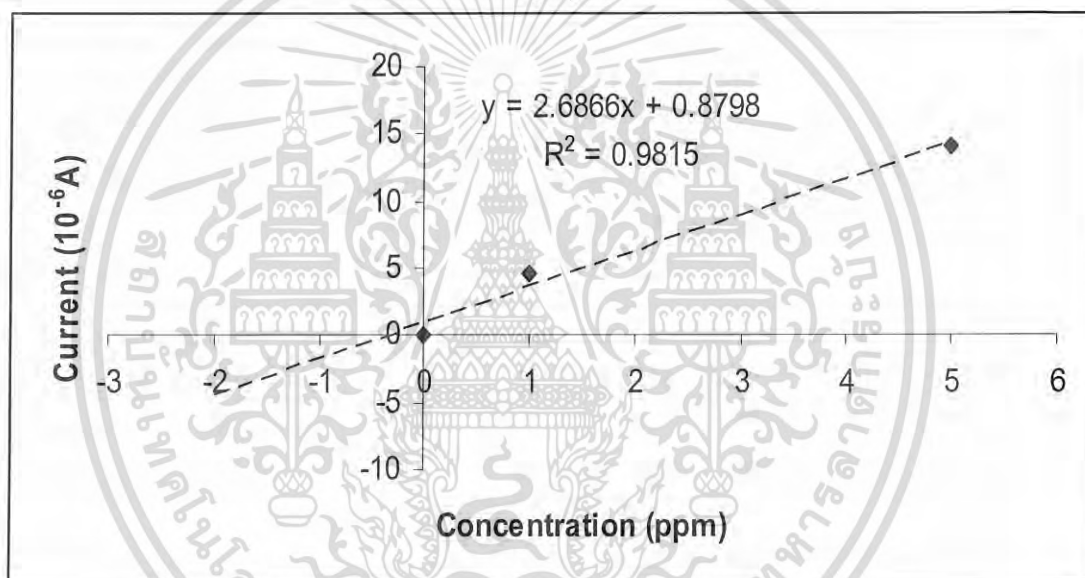
ตารางที่ ญ.2 แสดงข้อมูลจากการทดลองตัวอย่างที่เติมสารละลายมาตรฐานวิตามินอีที่สกัดได้ (Standard addition)

ชนิดตัวอย่าง	หลอดที่	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ย ศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)	ค่าเฉลี่ย กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)
ยูซิลิน	1	0.440	0.440 ± 0.00	0.611	0.656 ± 0.001
		0.440		0.694	
		0.440		0.662	
	2	0.452	0.448 ± 0.000	0.492	0.552 ± 0.001
		0.446		0.616	
		0.446		0.548	
ออเนทอล	1	0.432	0.428 ± 0.000	0.914	0.685 ± 0.002
		0.426		0.608	
		0.426		0.533	
	2	0.438	0.434 ± 0.000	1.05	1.060 ± 0.001
		0.432		1.12	
		0.432		1.02	
สมูทลี	1	0.438	0.434 ± 0.000	0.702	0.683 ± 0.0001
		0.432		0.665	
		0.432		0.682	
	2	0.444	0.440 ± 0.000	0.708	0.677 ± 0.0003
		0.438		0.650	
		0.438		0.673	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)

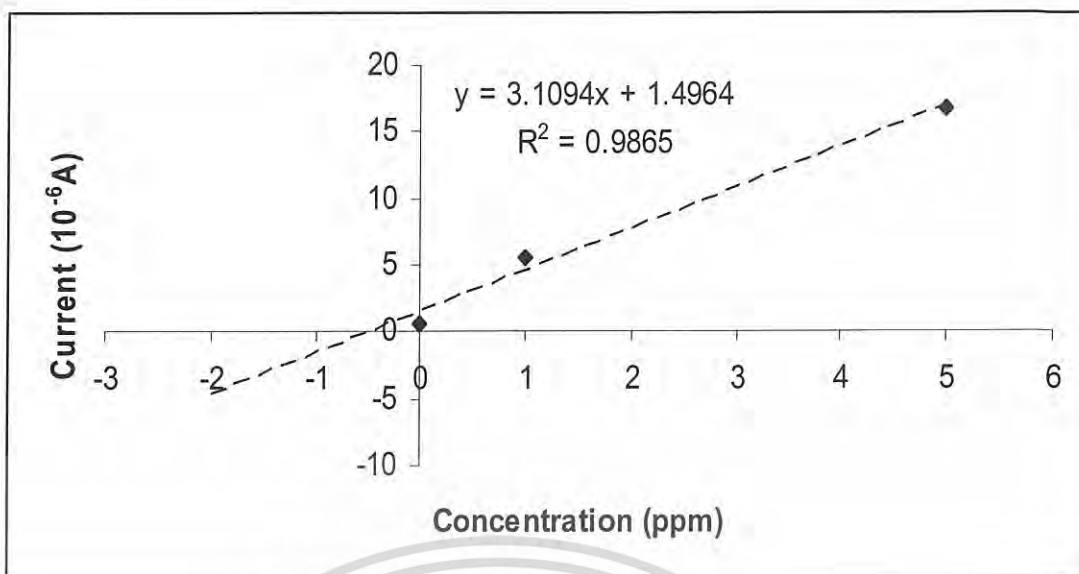


(B)

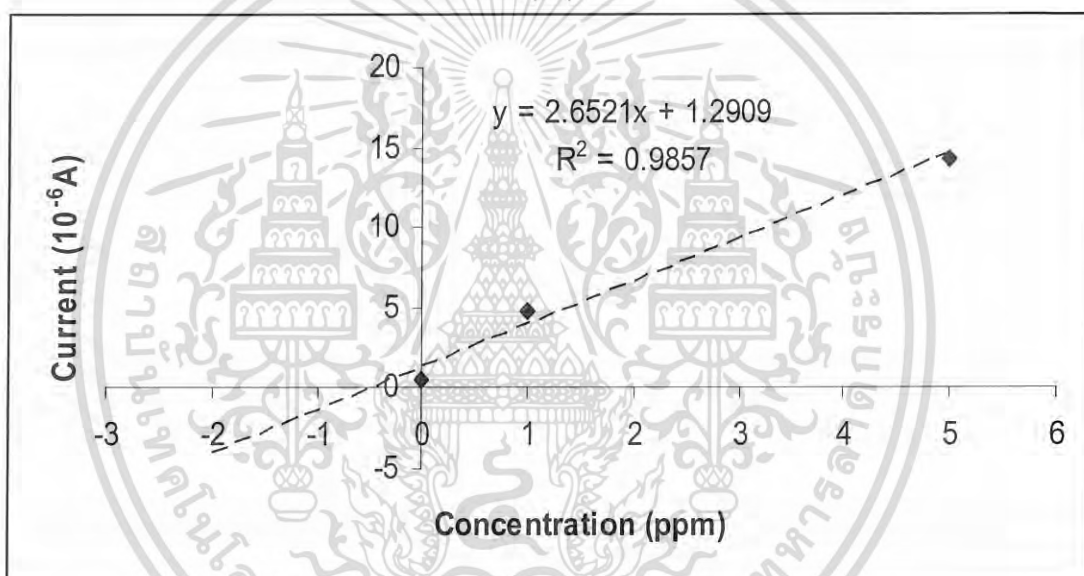
รูปที่ ๓.๒ แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของยูซีทีน 0.1 กรัม (A) ตัวอย่างยูซีทีนหลอดที่ 1 (B) ตัวอย่างยูซีทีนหลอดที่ 2

A		B	
X (ความเข้มข้น)	Y (กระแสไฟฟ้า)	X (ความเข้มข้น)	Y (กระแสไฟฟ้า)
0	0.186	0	0.029
1	4.277	1	4.630
5	14.667	5	14.100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)

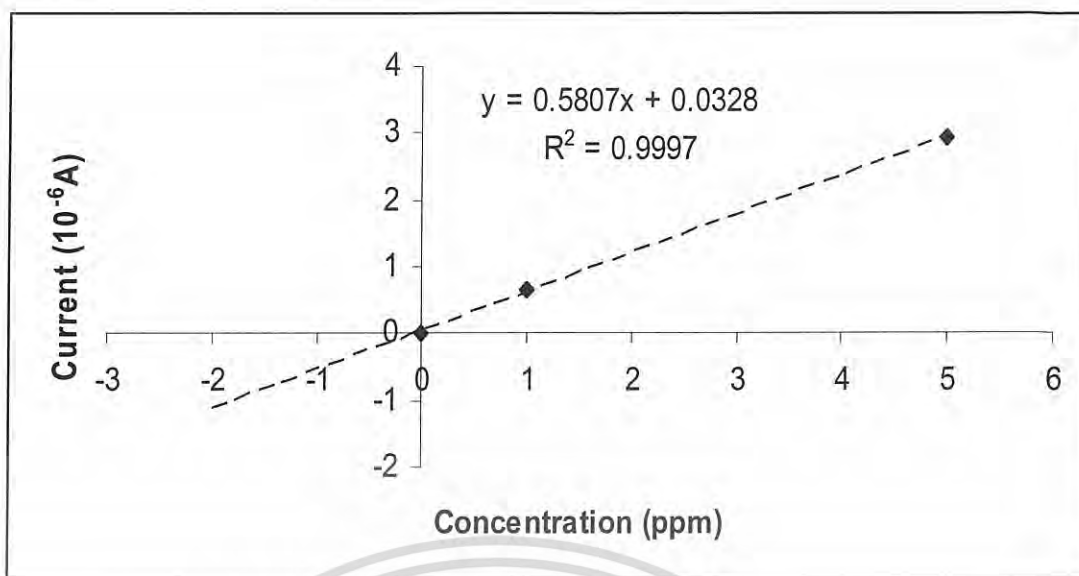


(B)

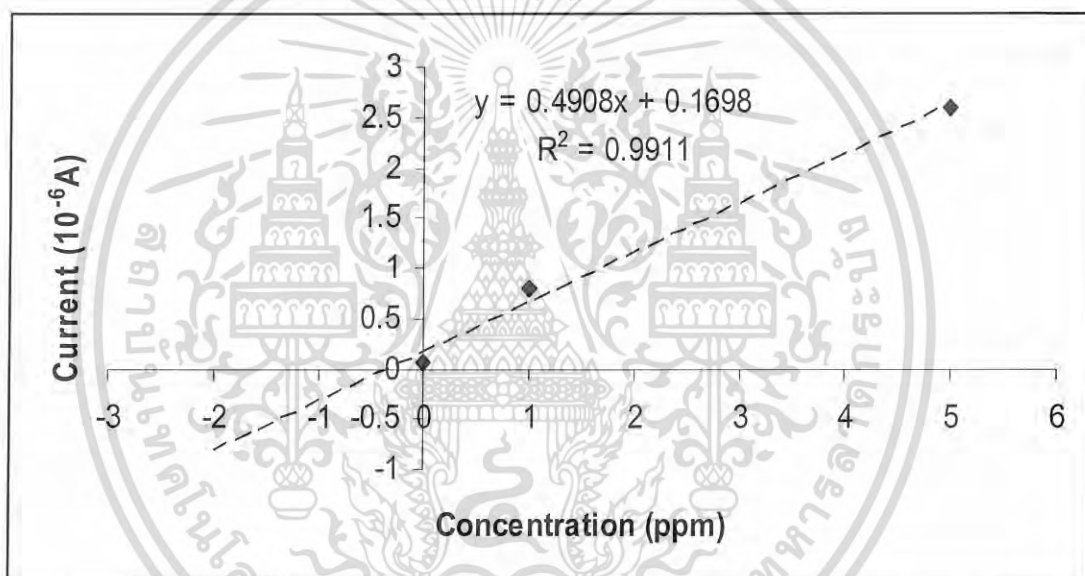
รูปที่ ๓.๓ แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของยูซีทีน 0.1 กรัม เติมด้วยสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 100 ไมโครลิตร 1000 ppm (A) ตัวอย่างยูซีทีนหลอดที่ 1 (B) ตัวอย่างยูซีทีนหลอดที่ 2

A		B	
X (ความเข้มข้น)	Y (กระแสไฟฟ้า)	X (ความเข้มข้น)	Y (กระแสไฟฟ้า)
0	0.656	0	0.552
1	5.657	1	4.867
5	16.833	5	14.367

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)

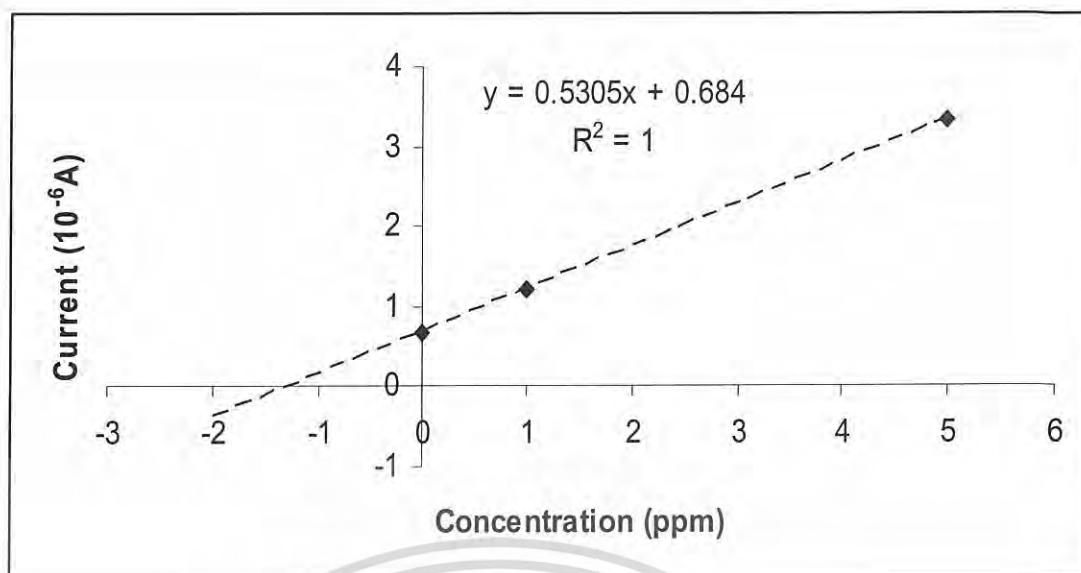


(B)

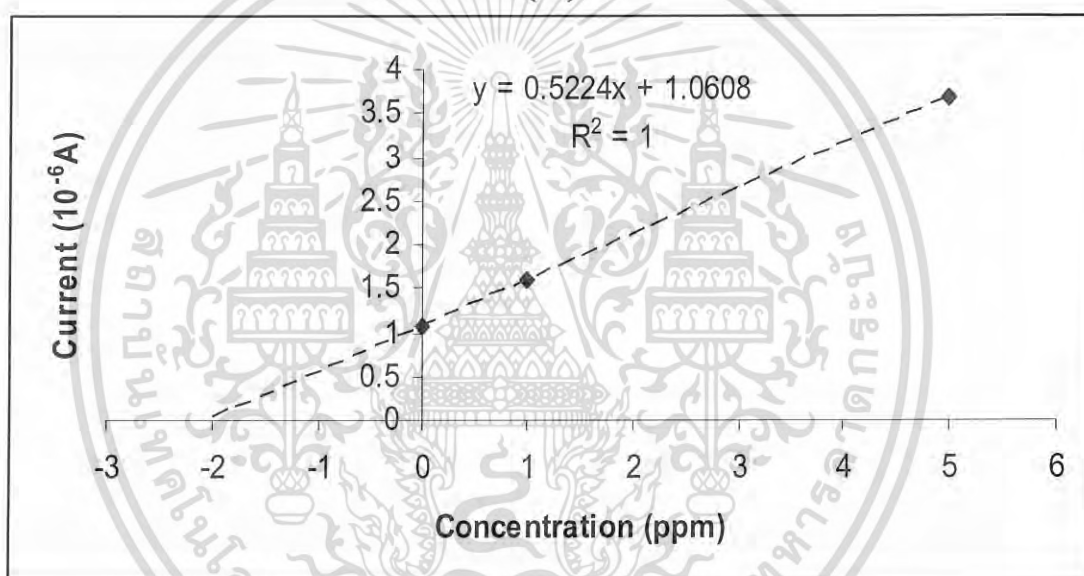
รูปที่ ๔.๔ แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของออเรนทอล 0.1 กรัม (A) ตัวอย่างออเรนทอลหลอดที่ 1 (B) ตัวอย่างออเรนทอลหลอดที่ 2

A		B	
X (ความเข้มข้น)	Y (กระแสไฟฟ้า)	X (ความเข้มข้น)	Y (กระแสไฟฟ้า)
0	0.0078	0	0.062
1	0.645	1	0.795
5	2.930	5	2.597

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)

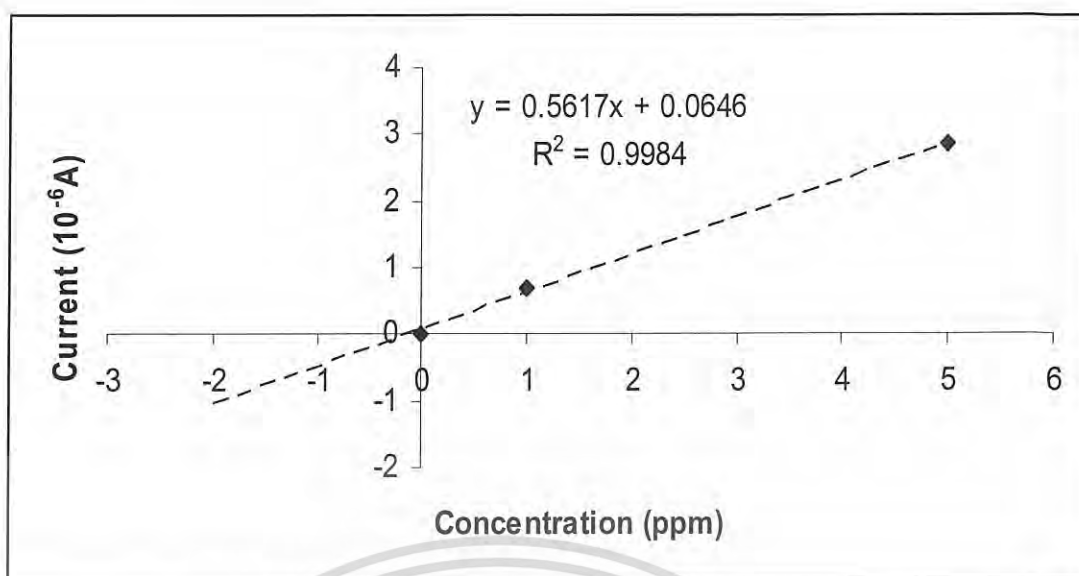


(B)

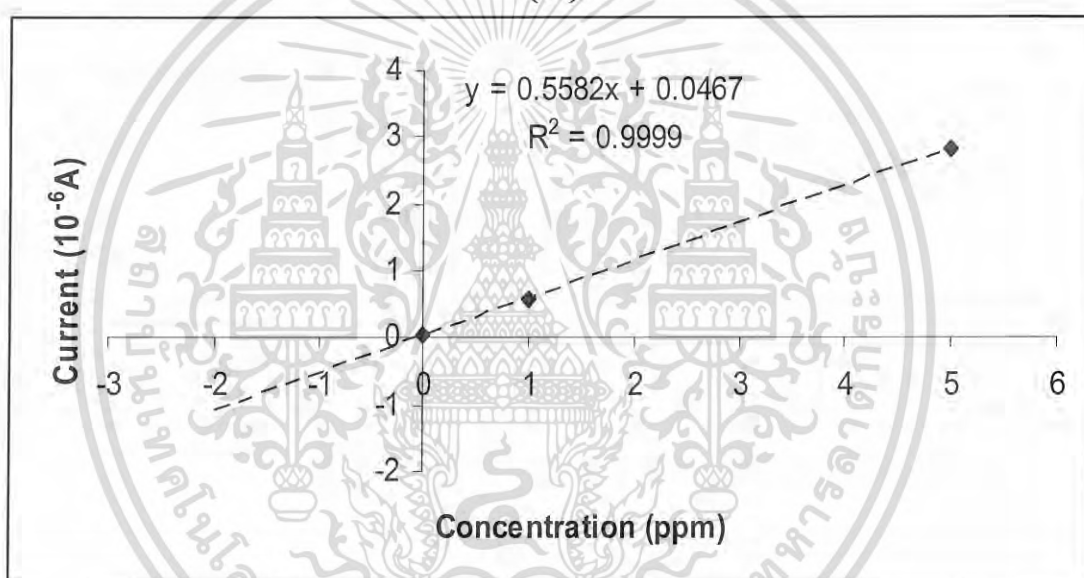
รูปที่ ๕.๕ แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของออเรนทอล 0.1 กรัม เติมด้วยสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 100 ไมโครลิตร 1000 ppm (A) ตัวอย่างออเรนทอลหลอดที่ 1 (B) ตัวอย่างออเรนทอลหลอดที่ 2

A		B	
X (ความเข้มข้น)	Y (กระแสไฟฟ้า)	X (ความเข้มข้น)	Y (กระแสไฟฟ้า)
0	0.685	0	1.063
1	1.213	1	1.580
5	3.337	5	3.673

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)

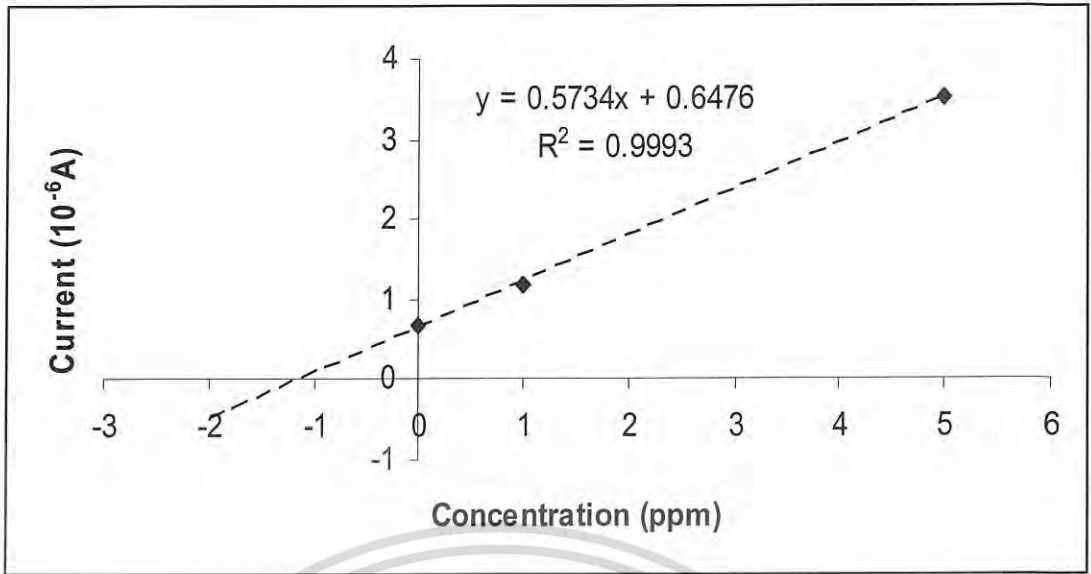


(B)

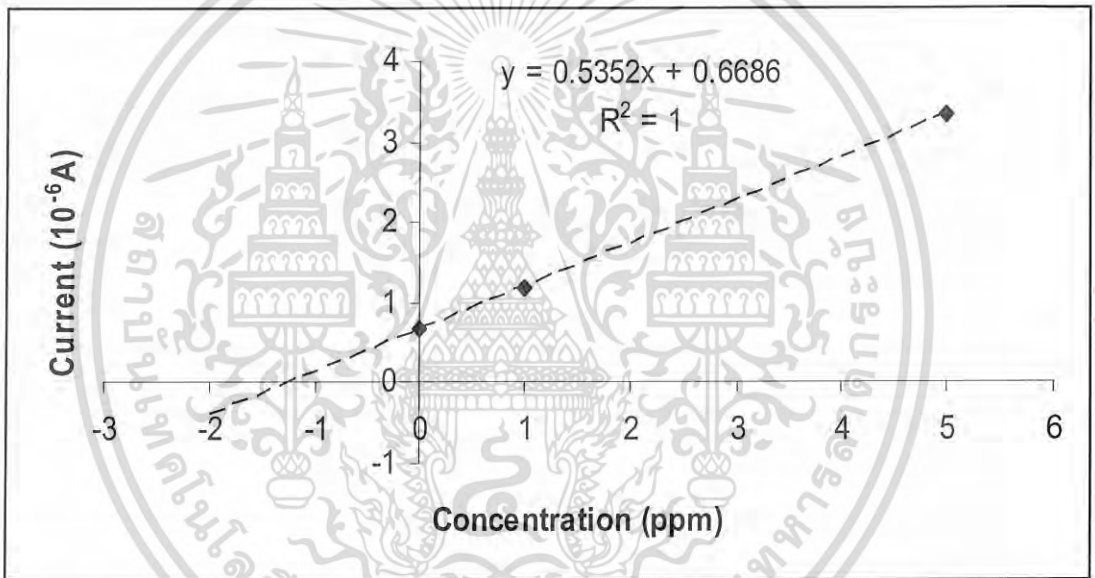
รูปที่ ๖.6 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของสมุทอิ 0.1 กรัม (A) ตัวอย่างสมุทอิหลอดที่ 1 (B) ตัวอย่างสมุทอิหลอดที่ 2

A		B	
X (ความเข้มข้น)	Y (กระแสไฟฟ้า)	X (ความเข้มข้น)	Y (กระแสไฟฟ้า)
0	0.012	0	0.056
1	0.692	1	0.593
5	2.860	5	2.840

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(A)



(B)

รูปที่ ๗.7 แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของสมูทอี 0.1 กรัม เติมด้วยสารละลายมาตรฐานวิตามินอี 100 ไมโครลิตร 1000 ppm (A) ตัวอย่างสมูทอีหลอดที่ 1 (B) ตัวอย่างสมูทอีหลอดที่ 2

A		B	
X (ความเข้มข้น)	Y (กระแสไฟฟ้า)	X (ความเข้มข้น)	Y (กระแสไฟฟ้า)
0	0.683	0	0.677
1	1.177	1	1.193
5	3.523	5	3.347

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

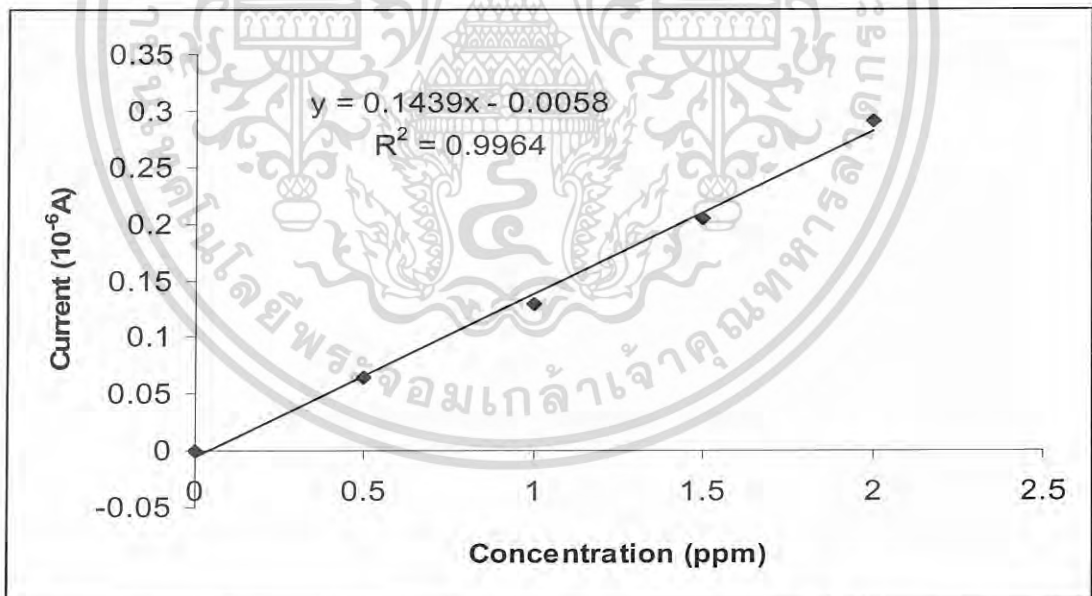


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฎ.1 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองตัวอย่างที่สกัดได้ในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซิตริก และ 0.06 M เตะระบิวทิลแอมโมเนียมตะระฟลูออโรบอเรท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

ตารางที่ ฎ.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองตัวอย่างที่สกัดได้

ชนิดตัวอย่าง	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ยศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}$ A)	ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า( $10^{-6}$ A)
ยูซิลิน	0.462	$0.446 \pm 0.0035$	0.001770	$0.0009125 \pm 0.00074$
	0.468		0.000458	
	0.468		0.000510	
ออเรนทอล	0.468	$0.446 \pm 0.0035$	0.002790	$0.0025700 \pm 0.00023$
	0.468		0.002590	
	0.462		0.002330	
สมุนไพร	0.468	$0.468 \pm 0.0000$	0.001900	$0.0018600 \pm 0.000055$
	0.468		0.001890	
	0.468		0.001800	



รูปที่ ฎ.1 แสดงกราฟสารละลายมาตรฐานวิตามินอีช่วงความเข้มข้นที่เป็นเส้นตรง 0-2 ppm

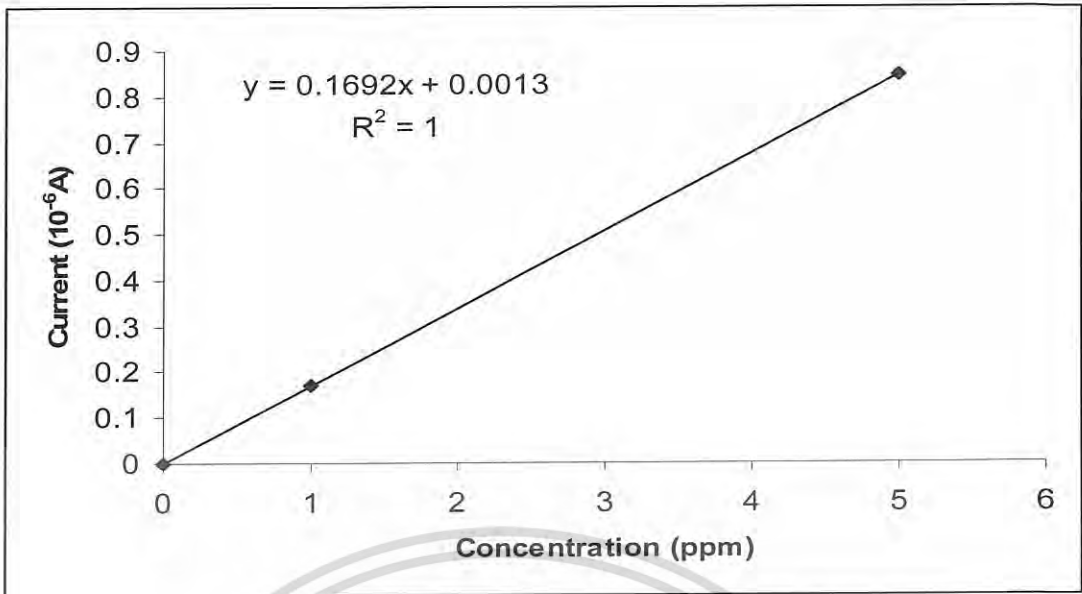
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎ.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองตัวอย่างโดยเติมสารละลายมาตรฐานวิตามินอี(standard addition)ในขั้นตอนการสกัด 100 ไมโครลิตร 1000 ppmในสารละลายบัฟเฟอร์ 0.06 M กรดซिटริก และ 0.06 M เติตระบิวทิลแอมโมเนียมเตตระฟลูออโรโบรเอท ในเมทานอลบริสุทธิ์และ scan rate 50 mV/s ที่ขั้วไฟฟ้าทำงานกลาสคาร์บอน

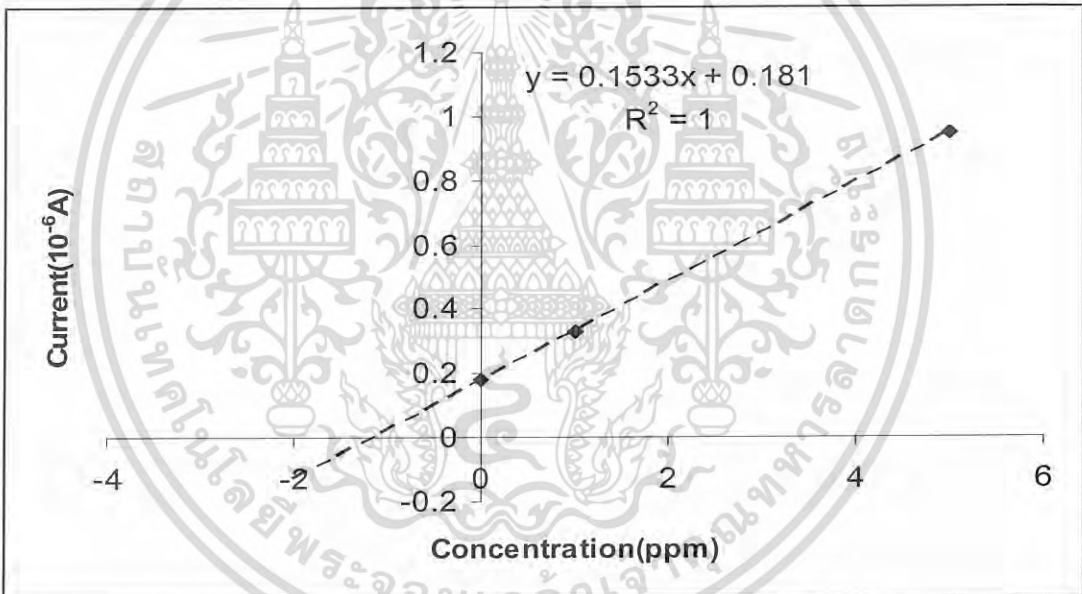
ตารางที่ กฎ.2 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดลองตัวอย่างที่สกัดได้

ชนิดตัวอย่าง	ศักย์ไฟฟ้า (V)	ค่าเฉลี่ยศักย์ไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}A$ )	ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้า ( $10^{-6}A$ )
ยูซีติน	0.462	$0.446 \pm 0.0035$	0.185	$0.182 \pm 0.0038$
	0.468		0.184	
	0.468		0.178	
ออเรนทอล	0.468	$0.468 \pm 0.000$	0.104	$0.110 \pm 0.0085$
	0.468		0.120	
	0.468		0.107	
สมูทอ	0.468	$0.470 \pm 0.0035$	0.136	$0.133 \pm 0.0089$
	0.474		0.123	
	0.468		0.140	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

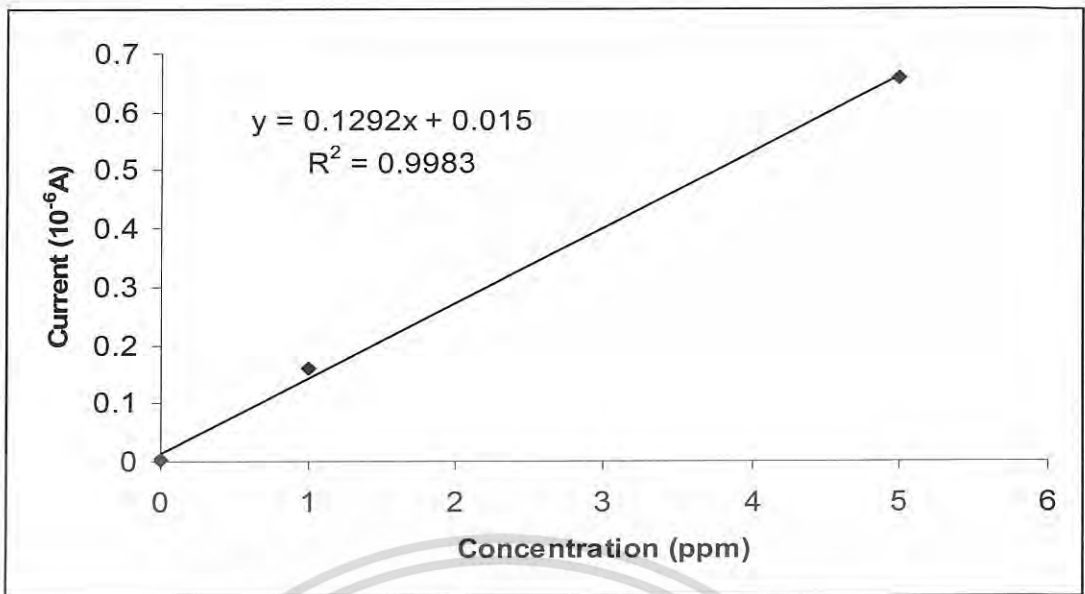


รูปที่ ๓.๒ แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของยูซีดีน 0.1 กรัม

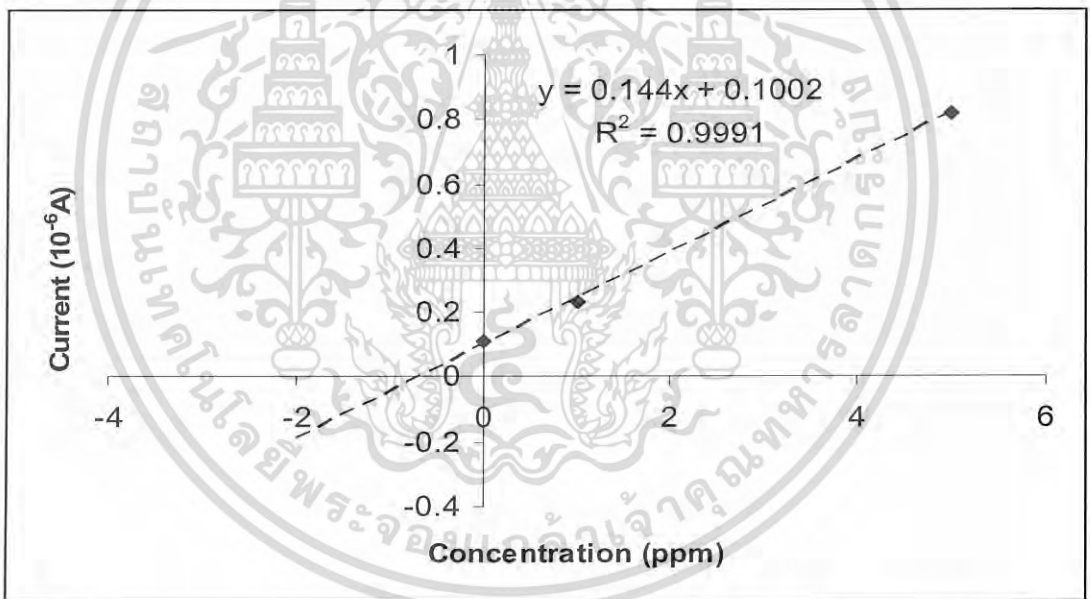


รูปที่ ๓.๓ แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของยูซีดีน 0.1 กรัม เติมด้วยสารละลายมาตรฐานวิตามินบี 100 ไมโครลิตร 1000 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

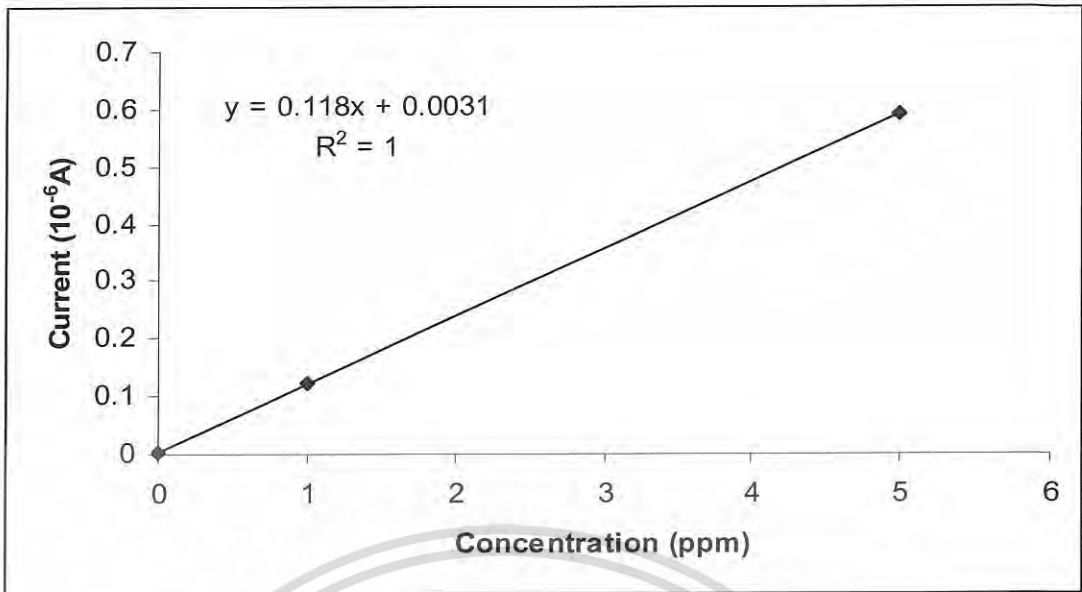


รูปที่ ๓.๔ แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของอเรนทอล 0.1 กรัม

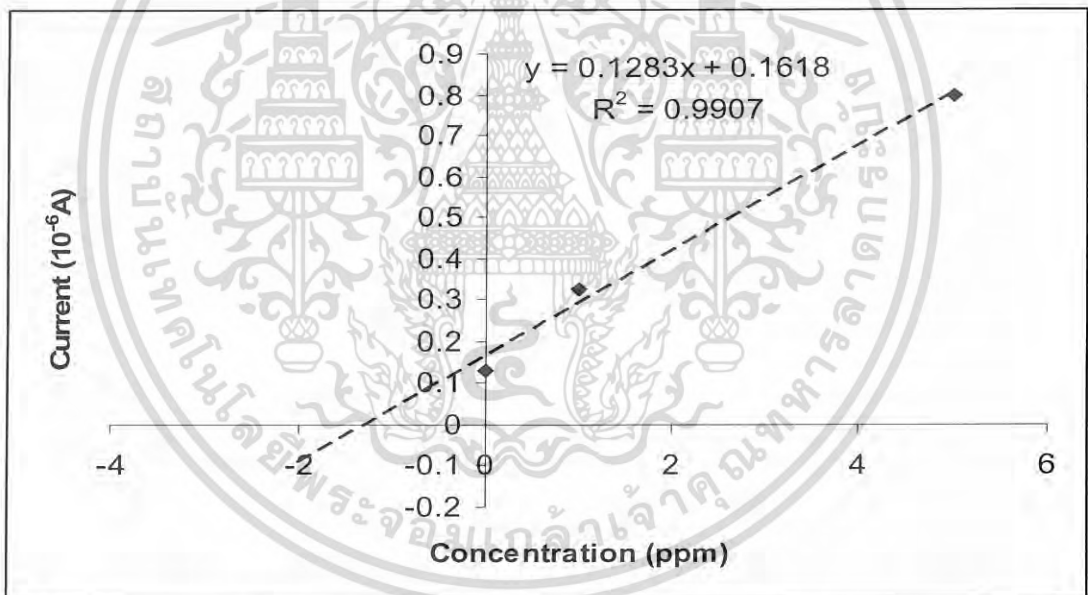


รูปที่ ๓.๕ แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของอเรนทอล 0.1 กรัม เติมด้วยสารละลายมาตรฐานวิตามินซี 100 ไมโครลิตร 1000 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๖.๖ แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของสมมุติ 0.1 กรัม



รูปที่ ๖.๗ แสดงกราฟการทดลองศึกษาทำ standard addition ของสมมุติ 0.1 กรัม เติมด้วยสารละลายมาตรฐานวิตามินบี 100 ไมโครลิตร 1000 ppm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้