

สมดุลการดูดซับของอะดอร์เบตในโพลิเมอร์ของอนุภาคที่ดูดซับ

Adsorption Equilibrium of alpha-Terthopheral on Adsorbents

สุจิตรา กระจงิน

SUJITRA KRACHIN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่สนับสนุนโดยมูลนิธิส่งเสริมศิลปวัฒนธรรมแห่งศิลปกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

คณะศิลปกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMUTT-2009-41-N-233-045

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สมดุลการดูดซับของแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับ

Adsorption Equilibrium of α -Tocopherol on Adsorbents



T105299

สุจิตรา กรมธิน

SUJITRA KROMTIN

คท.
เลขที่
2552

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 105299
วัน,เดือน,ปี 18 พ.ย. 2552

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2552

KMITL-2009-EN-M-220-045

**ADSORPTION EQUILIBRIUM OF α -TOCOPHEROL ON
ADSORBENTS**

SUJITRA KROMTIN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2009

KMITL-2009-EN-M-220-045

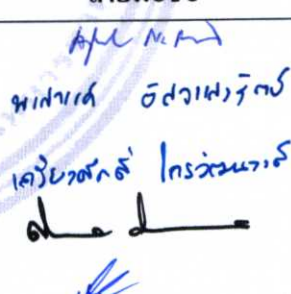
COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สมดุลการดูดซับของแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับ
Thesis Title Adsorption Equilibrium of α -Tocopherol on Adsorbents
นักศึกษา นางสาวสุจิตรา กรมถิ่น
รหัสประจำตัว 50061103
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-220-045

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ดวงกมล	ณ ระนอง	 นายวิชาญ อัสวาฬารักษ์ เควินศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ ดร.ดร.สมหมาย รศ.ดร.ประกอบ
ดร.พรสวรรค์	อัสวแสงรัตน์	
ดร.เกรียงศักดิ์	ไกรวัฒนวงศ์	
ผศ.ดร.สมหมาย	ผิวสอาด	
รศ.ดร.ประกอบ	กิจไชยา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2552 เวลา 14.00 – 16.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมมูลการดูดซับของแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับ
นักศึกษา	นางสาวสุจิตรา กรมถิน
รหัสประจำตัว	50061103
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของวิตามินอีบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส ในสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลเข้มข้น 0 – 35 กรัมต่อลิตร โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 สามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนได้ดี และใช้เวลาในการเข้าสู่สมมูลการดูดซับ 24 ชั่วโมง การดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยสามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ปริมาณ 279 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ ที่อยู่ในสมมูลกับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 25.9 กรัมต่อลิตร วิเคราะห์ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับโดยใช้เครื่อง HPLC ที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร เมื่อนำคาร์บอนกัมมันต์ที่ดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลจนถึงสมมูลที่ถูกดูดซับมาวิเคราะห์เพื่อยืนยันการดูดซับบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 โดยใช้การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน TGA และการหาเลขไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ภายหลังการดูดซับ พบว่าเกิดการดูดซับจริงบนพื้นผิวคาร์บอนกัมมันต์และคาร์บอนกัมมันต์ที่ดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลจะมีเลขไอโอดีนลดลง จากผลการทดลองสมมูลการดูดซับเมื่อนำมาหาแบบจำลองการดูดซับด้วยสมการ Langmuir และ Freundlich ด้วยวิธี non-linear regression พบว่าไอโซเทอร์มของการดูดซับสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองของ Freundlich และแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับบนคาร์บอนกัมมันต์สามารถคายซับได้ด้วยตัวทำละลายโทลูอีน โดยสามารถคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลออกมาได้ร้อยละ 1 ของปริมาณที่ถูกดูดซับ

Thesis Title	Adsorption equilibrium of α -tocopherol on adsorbents
Student	Miss Sujitra Kromtin
Student ID.	50061103
Degree	Master of Engineering
Program	Chemical Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr.Prakob Kitchaiya
Co-Thesis Advisor	Dr. Kriangsak Kraiwattanawong

ABSTRACT

This research aims to study an adsorption equilibrium of α -tocopherol, a tocol form of vitamin E, on an activated carbon namely Ac 1150, at 30, 40 and 50 °C. These was good adsorption of α -tocopherol at concentration of 0 – 35 g/dm³ in hexane solvent on activated carbon Ac1150. Adsorption equilibrium was reached with in 24 hours. The amount of α -tocopherol adsorbed increased with temperature. At 50 °C, α -tocopherol adsorption on the activated carbon was 279 mg α -tocopherol/g activated carbon in equilibrate with α -tocopherol solution of 25.9 g/dm³. Amount of adsorbed α -tocopherol was analyzed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) at 295 nm, and further confirmed the adsorption phenomena by TGA and I₂ number. Langmuir and Freundlich equations were used to represent the experimental data. Non - linear regression showed that Freundlich isotherm better described the equilibrium adsorption. α -tocopherol were desorbed from activated carbon by solvents and toluene could desorb α -tocopherol. The desorbed amount of α -tocopherol from Ac1150 in toluene was found to be 1 % from the amount being adsorbed.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา และ ดร.เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้ และประสบการณ์ที่ดี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์และของกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะ ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) และบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมัน ปาล์มเป็นอย่างสูงที่ให้เงินทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ ดูแลเอาใจใส่ และให้การสนับสนุนตลอดมา

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

คุณค่าและประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน หากมีสิ่งผิดพลาดประการใดในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอน้อมรับและขอภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

สุจิตรา กรมดิน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วิตามินอี (Vitamin E).....	4
2.1.1 สูตรโครงสร้างของวิตามินอี.....	4
2.1.2 แหล่งที่พบวิตามินอี.....	5
2.1.3 ประโยชน์ของวิตามินอี.....	5
2.2 ทฤษฎีการดูดซับ.....	5
2.2.1 กลไกการดูดซับ.....	6
2.2.2 ประเภทของการดูดซับ.....	6
2.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ.....	8
2.3 คาร์บอนกัมมันต์.....	8
2.3.1 โครงสร้างรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์.....	9
2.3.2 การดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์.....	10
2.4 การดูดซับในสารละลาย.....	10
2.4.1 สมดุลของการดูดซับ.....	11
2.4.2 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption Isotherm).....	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 แบบจำลองสมดุลการดูดซับ.....	13
2.4.3.1 แบบจำลองของ Langmuir.....	13
2.4.3.2 แบบจำลองของ Freundlich.....	15
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 อุปกรณ์และการดำเนินงานวิจัย.....	18
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	18
3.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	18
3.3 สารเคมี.....	19
3.4 วิธีการทดลอง.....	19
3.4.1 การศึกษาตัวดูดซับที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับสารละลาย แอลฟาโท โคเฟอรอล.....	19
3.4.2 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ.....	19
3.4.3 การศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสม.....	20
3.4.4 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ.....	20
3.3.5 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของคาร์บอนกัมมันต์ภายหลังการดูด ซับแอลฟาโทโคเฟอรอล.....	21
3.3.5.1 วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน TGA.....	21
3.3.5.2 วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการหาเลขไอโอดีน.....	21
3.3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้แบบจำลองสมดุลการดูดซับแบบ ต่างๆ.....	22
3.3.7 การศึกษาการคายซับ.....	22
3.3.8 การทำกราฟมาตรฐานสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล.....	23
3.3.9 การวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลโดยใช้เครื่อง HPLC.....	23
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	24
4.1 การศึกษาตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล (วิตามินอี)...	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุล.....	26
4.3 การศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสม.....	27
4.4 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ.....	28
4.4.1 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ.....	28
4.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ.....	29
4.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของคาร์บอนกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล.....	29
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการแบบจำลองของ Langmuir และ Freundlich.....	31
4.6 การศึกษาการคายซับ.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	38
เอกสารอ้างอิง.....	39
ภาคผนวก ก พื้นที่พืดและกราฟของสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	43
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลองการหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150.....	45
ภาคผนวก ค ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150.....	48
ภาคผนวก ง ข้อมูลประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์.....	52
ภาคผนวก จ เทอร์โมแกรมของ TGA.....	56
ภาคผนวก ฉ ผลงานทางวิชาการ.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	67

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี.....	7
4.1 ปริมาณการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์.....	25
4.2 ปริมาณการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับเรซิน.....	25
4.3 ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 องศาเซลเซียสจาก เทคนิค TGA.....	30
4.4 ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 องศาเซลเซียสจาก เทคนิคการหาเลขไอโอดีน.....	30
4.5 ผลการวิเคราะห์ non-linear regression ในแบบจำลองของ Langmuir.....	34
4.6 ผลการวิเคราะห์ non-linear regression ในแบบจำลองของ Freundlich.....	34
4.7 ตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์.	35
4.8 ปริมาณการคายซับโดยวิธีการคายซับโดยใช้เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศา เซลเซียส.....	36
4.9 แสดงปริมาณการคายซับโดยวิธีการคายซับโดยการ reflux ที่อุณหภูมิจุดเดือดของสาร...	37
ก. พื้นที่ผิวของสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ.....	44
ข. ข้อมูลการทดลองการหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบน คาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส.....	46
ค. ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	49
ง. ข้อมูลประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่ อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส.....	53

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของวิตามินอี.....	4
2.2 ลักษณะของรูพรุนในคาร์บอนกัมมันต์.....	9
2.3 ประเภทของไอโซเทอร์มการดูดซับ (a) และ (b) สำหรับของเหลวที่ละลายเข้ากันได้ดี (c) และ (d) สารละลายที่มีตัวถูกละลายเป็นของแข็ง.....	12
4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลในสารละลายที่ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น 1,000, 5,000, 10,000, 20,000, 30,000 และ 40,000 มิลลิกรัมต่อลิตรบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150 กับเวลา.....	26
4.2 การดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลในตัวทำละลายเฮกเซนและไอโซโพรพานอลคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150.....	27
4.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150....	28
4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150.....	29
4.5 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสด้วยสมการแบบจำลองแบบ Langmuir, Freundlich โดยใช้การวิเคราะห์แบบ non-linear regression.....	31
4.6 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสด้วยสมการแบบจำลองแบบ Langmuir, Freundlich โดยใช้การวิเคราะห์แบบ non-linear regression.....	32
4.7 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสด้วยสมการแบบจำลองแบบ Langmuir, Freundlich โดยใช้การวิเคราะห์แบบ non-linear regression.....	32
ก. กราฟสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอล.....	42
จ.1 เทอร์โมแกรม TGA ของแอลฟาโทโคเฟอรอลใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที..	57
จ.2 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที...	57
จ.3 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่ดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที	58
จ.4 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่ดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิ - 30 องศาเซลเซียสใช้อัตราการให้ความร้อน 5 °C ต่อนาที	58

จ.5 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่ดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที.....	59
จ.6 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่ดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการให้ความร้อน 5 °C ต่อนาที.....	59
จ.7 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่ดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที.....	60
จ.8 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่ดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการให้ความร้อน 5 °C ต่อนาที.....	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของวิทยานิพนธ์

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันจำนวนมากและน้ำมันปาล์มมีราคาค่อนข้างถูก อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ได้ให้ความสนใจการแปรรูปน้ำมันปาล์มให้เป็นผลผลิตต่างๆที่มีมูลค่าเพิ่ม โดยพบว่าในน้ำมันปาล์มดิบจะมีวิตามินอี (โทโคเฟอรอลและโทโคไตรอีนอล) เป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 600 – 1,000 ppm ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์จะมีขั้นตอนของการกลั่นน้ำมันปาล์มดิบ ทำให้สูญเสียวิตามินอีส่วนหนึ่งไปกับผลิตภัณฑ์ Palm Fatty Acid Distillate (PFAD) นอกจากนี้การใช้อุณหภูมิสูง อาจทำให้เกิดการสูญเสียวิตามินอีเนื่องจากความร้อน [1] ดังนั้นถ้ามีวิธีการแยกวิตามินอีที่มีประโยชน์จากน้ำมันปาล์มเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ก็นับว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตน้ำมันปาล์มดิบและ PFAD ได้อย่างมาก เพราะนอกจากจะได้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์แล้วยังได้ผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูง คือ วิตามินอี

วิตามินอีประกอบด้วยสาร 2 กลุ่มใหญ่ คือ โทโคเฟอรอล (Tocopherols) และโทโคไตรอีนอล (Tocotrienols) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติที่มีความสำคัญอย่างมาก ละลายได้ดีในไขมัน [2] วิตามินอีจะช่วยปกป้องเซลล์ในร่างกายจากสารอนุมูลอิสระ โดยไปขัดขวางปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารในร่างกายเพราะวิตามินอีมีคุณสมบัติที่เป็นสารที่ไวต่อการถูกออกซิไดส์มาก จึงเป็นสารที่ถูกออกซิไดส์เองแทนสารอื่นๆในร่างกายที่มีความไวต่อการถูกออกซิไดส์ได้น้อยกว่า วิตามินอีป้องกันไขมันไม่อิ่มตัวที่บริโภคเข้าไปพร้อมกับออกซิเจนซึ่งจะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ นอกจากนี้วิตามินอีเป็นสารต้านไม่ให้หลอดเลือดแข็งตัว และป้องกันการเกาะตัวของเกร็ดเลือดที่ผนังหลอดเลือดจึงช่วยลดการอุดตันของหลอดเลือด วิตามินอีช่วยให้ร่างกายมีการนำพาออกซิเจนได้อย่างสะดวกส่งผลให้ร่างกายใช้ออกซิเจนได้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มการทำงานของอินซูลิน ทำให้ระบบประสาทดีขึ้นสามารถทำงานได้ตามปกติ และช่วยทำให้ระบบสืบพันธุ์เป็นปกติ รักษาอาการเป็นหมัน และยังสามารถทำให้สารก่อมะเร็งไม่ก่อตัวในการก่อโรคร้ายได้ [3] จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงทำให้วิตามินอีเป็นสารที่ได้รับความสนใจและเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมยา อาหาร และเครื่องสำอางเป็นอย่างมาก โดยวิตามินอีที่พบมากที่สุด ในธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นแอลฟาโทโคเฟอรอล (α -Tocopherol)

การแยกวิตามินอีโดยการดูดซับเป็นวิธีที่มีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย การกลั่น โมเลกุล ซึ่งพบว่าวิธีการดูดซับเป็นวิธีที่สะดวก และใช้พลังงานต่ำ เหมาะสำหรับการแยกสารที่มีปริมาณน้อย ๆ ออกจากสารส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงทำการศึกษาการดูดซับ

วิตามินอีโดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ ซึ่งพบว่าสามารถแยกวิตามินอีที่มีปริมาณน้อยออกจากสารส่วนใหญ่ได้ ซึ่งกระบวนการดูดซับได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย การแยกโลหะหนักและเบาออกจากน้ำทิ้ง นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มยังมีการใช้วิธีการดูดซับในการฟอกสีหรือบำบัดสีในน้ำมัน โดยการใช้ clay เป็นตัวดูดซับ

คาร์บอนกัมมันต์มีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้ดี เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูง จึงมีการนำคาร์บอนกัมมันต์มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมาย เช่น ในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมีการใช้คาร์บอนกัมมันต์กำจัดความขุ่น สี กลิ่น ทำให้น้ำมีความบริสุทธิ์มากขึ้น ในระบบกำจัดน้ำเสียจะใช้คาร์บอนกัมมันต์ในการดูดซับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ การประยุกต์ใช้คาร์บอนกัมมันต์มาดูดซับสารที่มีประโยชน์โดยเฉพาะวิตามินอีก่อนที่จะนำไปแปรรูปจึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เพราะวิตามินอีเป็นสารที่มีประโยชน์และมีราคาแพง นอกจากนั้นตัวดูดซับที่ใช้งานแล้วอาจสามารถปรับปรุงและนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ซึ่งถ้าสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์มจะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับน้ำมันปาล์มด้วย ในการดูดซับวิตามินอีด้วยคาร์บอนกัมมันต์ เมื่อพิจารณาถึงความมีขั้วของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ พบว่าคาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวดูดซับที่สามารถดูดซับสารที่มีขั้วและไม่มีขั้วได้ และวิตามินอีก็มีทั้งส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้วอยู่ด้วย จึงเป็นไปได้ที่จะนำคาร์บอนกัมมันต์มาทำการดูดซับวิตามินอี แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลสมมูลการดูดซับ และจลนพลศาสตร์ของการดูดซับวิตามินอี ยังไม่ค่อยมีการรายงานถึงกันมากนัก

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการดูดซับและการคายซับแอลฟาโท โคเฟอรอลซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของวิตามินอีซึ่งมีความสำคัญเพราะนอกจากจะสามารถดูดซับวิตามินอีได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว ควรที่จะนำวิตามินอีที่ถูกดูดซับไว้กลับมาใช้ประโยชน์ได้ และสามารถปรับปรุงและนำตัวดูดซับกลับมาใช้ใหม่ได้อีก ซึ่งงานวิจัยนี้จะป็นข้อมูลเบื้องต้นในการศึกษาการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปาล์มต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์
2. ศึกษาสมมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิต่างๆ
3. ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการอธิบายรูปแบบของกระบวนการดูดซับ
4. ศึกษาการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลจากตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลโดยใช้ตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์
2. ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อสมมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์
3. ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการอธิบายรูปแบบของกระบวนการดูดซับ
4. ศึกษาการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลจากตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แนวทางการแยกวิตามินอีโดยการดูดซับเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการแยกวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มดิบ
2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีการดูดซับและกระบวนการดูดซับด้วยตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์
3. สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการอธิบายรูปแบบของกระบวนการการดูดซับด้วยคาร์บอนกัมมันต์ได้

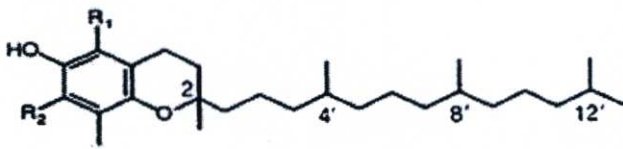
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

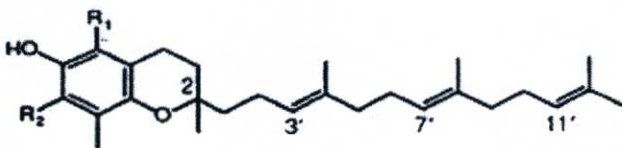
2.1 วิตามินอี (Vitamin E)

2.1.1 สูตรโครงสร้างของวิตามินอี [4]

วิตามินอีที่พบในธรรมชาติมี 8 ชนิด คือ แอลฟา บีตา แกมมา และเดลตา โทโคเฟอร์อล (α, β, γ and δ -Tocopherols) และแอลฟา บีตา แกมมา และเดลตาโทโคไตรอินอล (α, β, γ and δ Tocotrienols) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ซึ่งแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันที่จำนวนและตำแหน่งของหมู่เมทิล โดยแอลฟาโทโคเฟอร์อล (α -Tocopherol) เป็นชนิดที่พบมากที่สุด ในธรรมชาติ และยังมีคุณค่าทางชีวภาพมากกว่าอนุพันธ์อื่นๆ ($\alpha > \beta > \gamma > \delta$) นักโภชนาศาสตร์ ได้เสนอให้ใช้หน่วยของวิตามินอีรวมเป็นมิลลิกรัมของ α -Tocopherol equivalent แทนหน่วยสากล (International Unit หรือ IU) ซึ่งคำนวณได้จากปริมาณ (มก.) ของ α -Tocopherol โดยที่ 1 IU = 1 มิลลิกรัม dl-alpha-Tocopheryl acetate = 0.6 มิลลิกรัม dl-alpha-Tocopherol



R ¹	R ²	
CH ₃	CH ₃	α -Tocopherol
CH ₃	H	β -Tocopherol
H	CH ₃	γ -Tocopherol
H	H	δ -Tocopherol



R ¹	R ²	
CH ₃	CH ₃	α -Tocotrienol
CH ₃	H	β -Tocotrienol
H	CH ₃	γ -Tocotrienol
H	H	δ -Tocotrienol

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของวิตามินอี [5]

วิตามินอีมีลักษณะเป็นน้ำมันชั้นหนืด สีเหลือง ละลายได้ดีในไขมัน แต่ไม่ละลายในน้ำ จุดหลอมเหลวของแอลฟาโทโคเฟอร์อลในธรรมชาติ (α -Tocopherol) อยู่ในช่วงประมาณ 2.5-3.5 องศาเซลเซียส ในสภาวะปกติวิตามินอี สามารถทนความร้อนได้เพียง 35 องศาเซลเซียส แต่ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนสามารถทนความร้อนได้ถึง 200 องศาเซลเซียส มีความทนทานต่อกรด

และสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนแต่จะไม่ทนต่อค่าแสงอัลตราไวโอเลตและออกซิเจน รวมทั้งถูกทำลายเมื่อสัมผัสกับน้ำมันที่เหม็นหืน ตะกั่วและเหล็ก

2.1.2 แหล่งที่พบวิตามินอี [6]

วิตามินอีมีมากในพืชแต่พบน้อยมากในสัตว์ เช่นจากถั่วเหลือง ข้าวโพด และดอกคำฝอย น้ำมันจมูกข้าวสาลี น้ำมันตับปลา น้ำมันมะกอก น้ำมันเมล็ดทานตะวัน นอกจากนี้ยังพบในผักใบเขียว และพบน้อยลงใน เนื้อ ปลา ผลไม้ เป็นต้น

2.1.3 ประโยชน์ของวิตามินอี [7]

1. ลดการเกิดโรคหัวใจ โดยวิตามินอีจะไปยับยั้ง Oxidation ของ LDL (Low-density lipoprotein) หรือคอเลสเตอรอลที่ร่างกายไม่ต้องการ ดังนั้นจึงสามารถลดการสะสมของไขมันในหลอดเลือดได้
2. เป็นสารช่วยไขกระดูกในการสร้างเลือด ช่วยขยายเส้นเลือด ด้านการแข็งตัวของเลือด ลดความสามารถในการจับตัวเป็นลิ่มเลือด และลดอัตราเสี่ยงของโรคที่เกี่ยวกับหลอดเลือดสมองและหัวใจ
3. บำรุงตับซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับเลือด
4. ช่วยในระบบสืบพันธุ์ เซลล์ประสาท และกล้ามเนื้อให้ทำงานได้ตามปกติ
5. ช่วยให้ผิวพรรณสดใส และช่วยสมานแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวกให้หายเร็วขึ้น
6. ช่วยให้ปอดทำงานดีขึ้นและไม่อ่อนเพลียง่าย

2.2 ทฤษฎีการดูดซับ [8, 9]

การดูดซับ (Adsorption) คือกระบวนการที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวสัมผัสระหว่างเฟส 2 เฟส โดยอะตอมหรือโมเลกุลของสารหนึ่งยึดติดอยู่กับผิวของอีกสารหนึ่ง โดยสารที่พื้นผิวเกิดการดูดซับขึ้นเรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนสารที่ยึดติดอยู่ที่ผิวหน้า เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) สมดุลการดูดซับเป็นความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในเฟสของไหลและความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในอนุภาคของตัวดูดซับ ณ อุณหภูมิหนึ่ง สำหรับก๊าซความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับจะแสดงในรูปร้อยละ โดยมวลหรือความดันย่อย สำหรับของเหลวความเข้มข้นจะแสดงในรูปหน่วยมวล เช่น มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับของแข็งมักแสดงในรูปมวลที่ถูกดูดซับไว้ต่อหน่วยมวลของตัวดูดซับ

องค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลายหรือก๊าซจะมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน ดังนั้นปรากฏการณ์และปริมาณการดูดซับจึงขึ้นกับลักษณะ

โครงสร้างของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ จำนวนชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวและรูพรุนของตัวดูดซับ ทำให้ความสามารถในการแยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายหรือก๊าซ จะขึ้นอยู่กับทางเลือกตัวดูดซับให้เหมาะสมกับองค์ประกอบนั้น

โดยทั่วไปตัวดูดซับที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ซิลิกาเจล อะลูมินาออกไซด์ (Activated alumina) และซีโอไลต์ ซึ่งตัวดูดซับจะมีลักษณะเฉพาะทางเคมี คือ มีพื้นที่ผิวมาก มีการกระจายตัวของขนาดรูพรุนและขนาดของอนุภาค ซึ่งลักษณะที่สำคัญของตัวดูดซับ คือ ความมีขั้วของผิว (Surface polarity) ของตัวดูดซับ

2.2.1 กลไกการดูดซับ [10]

การดูดซับเป็นการถ่ายเทมวลจากของเหลวหรือก๊าซมายังของแข็ง โดยการดูดติดผิวจะเกิดขึ้นเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่มายังบริเวณรอบนอกของของแข็ง

ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแพร่ (Diffusion) เข้าไปในรูพรุนของของแข็ง

ขั้นตอนที่ 3 เกิดการดูดซับของตัวถูกดูดซับที่พื้นผิวภายในของของแข็ง ซึ่งอาจดูดติดผิวด้วยแรงทางกายภาพ แรงทางเคมีหรือแรงทั้งสองชนิดรวมกัน

2.2.2 ประเภทของการดูดซับ [11]

การระบุถึงชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) โดยสามารถแบ่งประเภทของการดูดซับได้ 2 ประเภท คือ

2.2.2.1 การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

การดูดซับทางกายภาพเป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) เนื่องจากการดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี คือ สามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่าย โดยตัวถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของตัวดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) ซึ่งจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายใน

สารละลาย โดยลักษณะการเกาะจับด้วยแรงทางกายภาพ มีดังนี้

1. เกิดจากแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับและสารดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลมีขั้วทั้งคู่

2. เกิดจากแรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว สามารถเปลี่ยนเป็น ไดโพล โมเลกุลได้ ถ้า อิเล็กตรอนเคลื่อนที่มาอยู่ด้านใดด้านหนึ่งมาก และเมื่อมี โมเลกุลที่ไม่มีขั้วที่มีลักษณะแบบเดียวกัน เข้ามาจะเกิดแรงดึงดูดกัน แรงที่เกิดขึ้นจะเป็นแรงอ่อนๆ ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของสารดูดซับและตัวถูกดูดซับต่างก็เป็น โมเลกุลที่ไม่มีขั้วทั้งคู่

3. เกิดจาก โมเลกุลที่มีขั้วเข้ามาใกล้ โมเลกุลที่ไม่มีขั้ว แล้วเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดประจุตรงกันข้ามแล้วเกิดการดึงดูดกัน ลักษณะการดูดซับแบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเป็น โมเลกุลมีขั้วและ โมเลกุลของสารดูดซับเป็น โมเลกุลไม่มีขั้ว

2.2.2.2 การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม โดยมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมี เพราะฉะนั้นการแยกตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก เนื่องจากไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว(Monolayer) เท่านั้น ในตารางที่ 2.1 จะแสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของการดูดซับทางเคมีและกายภาพ

ตารางที่ 2.1 ข้อแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี [11]

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50-400 กิโลจูลต่อ โมล
2. อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3. แรงดึงดูดระหว่าง โมเลกุล	แรงแวนเดอวาลส์	พันธะเคมี
4. การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5. การดูดซับบนแก๊ส-ของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดเฉพาะบางระบบ
6. พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7. รูปแบบชั้นของการดูดซับ	Monolayer และ multilayer	monolayer

2.2.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ [8, 9]

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราเร็วและความสามารถในการดูดซับมีดังนี้

1. ขนาดอนุภาคและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

คุณสมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับที่สำคัญ คือ ขนาดของอนุภาคและปริมาณพื้นที่ผิว ซึ่งขนาดอนุภาคของตัวดูดซับมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับ โดยอัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดอนุภาคของตัวดูดซับ ส่วนปริมาณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ ดังนั้นตัวดูดซับที่มีปริมาณพื้นที่ผิวมากจึงดูดซับ โมเลกุล ได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย โดยปริมาณพื้นที่ผิวส่วนใหญ่มาจากช่องว่างหรือรูพรุนภายในตัวดูดซับ

2. ขนาดของตัวถูกดูดซับ

ขนาดของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ มีความสำคัญต่อการดูดซับที่ผิวซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของตัวดูดซับ โดยพบว่า การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อโมเลกุลของตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของตัวดูดซับ โดยโมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในรูพรุนก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่จะถูกดูดตามเข้าไป

3. อุณหภูมิ

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากการลดความหนืดของตัวถูกดูดซับ แต่ปริมาณที่เกิดการดูดซับอาจลดลง เพราะฉะนั้น สมดุลการดูดซับมักเป็นแบบคายความร้อน (Exothermic Reaction)

4. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ส่วนใหญ่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับแต่ละระบบ

2.3 คาร์บอนกัมมันต์ [12, 13]

คาร์บอนกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ของคาร์บอน ซึ่งเป็นตัวดูดซับชนิดหนึ่ง มีลักษณะเป็นของแข็งสีดำ อาจอยู่ในรูปผงหรือเม็ด มีสมบัติในการดูดซับสูง เนื่องจากมีรูพรุนขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก มีพื้นที่ผิวในการดูดซับสูง และขนาดรูพรุนมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตและวัตถุประสงค์ในการใช้งาน

คาร์บอนกัมมันต์เป็นรูปอสัณฐานของถ่าน มีรูปร่างไม่แน่นอน ถูกสังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อให้มีพื้นที่ผิวมาก โดยทำให้มีรูพรุนในเนื้อของคาร์บอน ซึ่งพื้นที่ผิวจะอยู่ระหว่าง 500 – 2,000 ตารางเมตรต่อกรัม ปริมาตรรูพรุนอยู่ระหว่าง 0.5 – 1.5 มิลลิลิตรต่อกรัม ขนาดรูพรุนตั้งแต่ 20 – 200 อังสตรอม โดยในอุตสาหกรรมนิยมใช้คาร์บอนกัมมันต์เป็นตัวดูดซับสารทั้งที่อยู่ในสถานะแก๊สและของเหลว โดยแบ่งการใช้งานตามลักษณะรูปร่างของคาร์บอนกัมมันต์

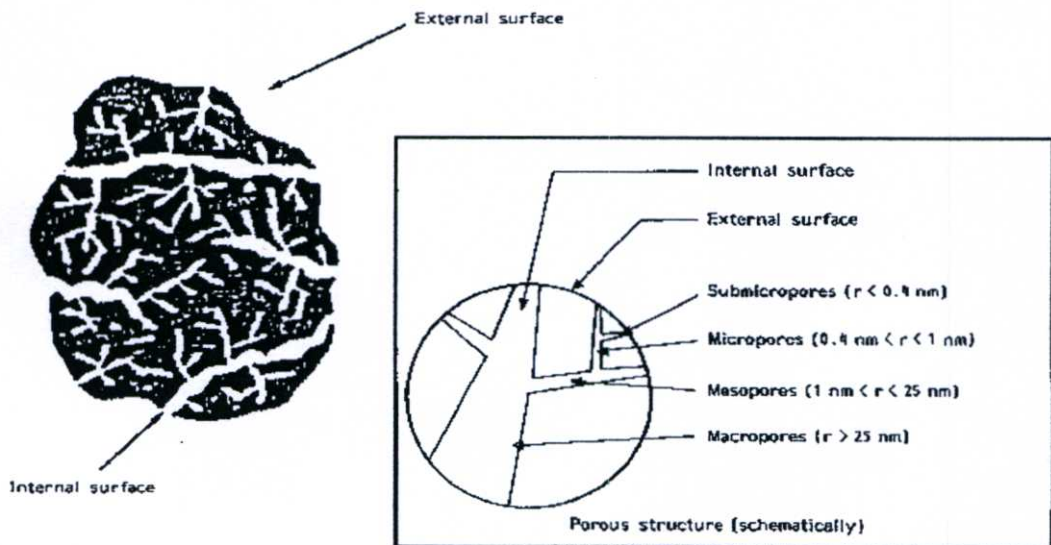
2.3.1 โครงสร้างรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์ [14, 15]

เมื่อพิจารณาลักษณะของคาร์บอนกัมมันต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 พบว่ามีรูพรุนจำนวนมาก ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน โดยรูพรุนเหล่านี้จะเกิดขึ้นในเนื้อของคาร์บอนกัมมันต์อย่างไม่เป็นระเบียบและความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของรูพรุนเหล่านี้เปรียบได้กับหลอดแก้วขนาดเล็ก (Capillary tube) ที่เสียบเข้าไปในเนื้อของคาร์บอนกัมมันต์ จากลักษณะและขนาดของรูพรุนสามารถแบ่งรูพรุนออกเป็น 3 ขนาด

1. รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropores) รัศมีของรูพรุนมากกว่าหรือเท่ากับ 50 นาโนเมตร ปริมาตรรูพรุนระหว่าง 0.2 – 0.4 มิลลิลิตรต่อกรัม พื้นที่ผิวไม่เกิน 0.5 ตารางเมตรต่อกรัม ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับรูพรุนประเภทอื่น ดังนั้นรูพรุนขนาดใหญ่จึงไม่ค่อยมีความสำคัญในการดูดซับ แต่เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคเข้าไปในรูที่เล็กกว่า

2. รูพรุนขนาดกลาง (Mesopores) รัศมีของรูพรุนอยู่ระหว่าง 2 – 50 นาโนเมตร ปริมาตรรูพรุนระหว่าง 0.1 – 0.2 มิลลิลิตรต่อกรัม พื้นที่ผิว 20 – 100 ตารางเมตรต่อกรัม ใช้ในการดูดซับของเหลวหรือสารที่มีขนาดใหญ่ เช่น การฟอกสี

3. รูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) รัศมีรูพรุนน้อยกว่า 2 นาโนเมตร ปริมาตรรูพรุนระหว่าง 0.15 – 0.7 มิลลิลิตรต่อกรัม มีพื้นที่ผิวจำเพาะมาก บางครั้งมากถึง 1,500 ตารางเมตรต่อกรัม รูพรุนขนาดเล็กมีความสำคัญที่สุดในการดูดซับ เนื่องจากมีพื้นที่การดูดซับและพลังงานดูดซับ (Adsorption energy) มากที่สุดทำให้การดูดซับเพิ่มมากขึ้นที่อุณหภูมิต่ำๆ รูพรุนขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ เป็นที่เข้าใจกันทั่วไปว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาด หรือการกระจายขนาดของรูพรุน (Pore size distribution) จะขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่ใช้และกรรมวิธีในการกระตุ้น



รูปที่ 2.2 ลักษณะของรูพรุนในคาร์บอนกัมมันต์ [16]

2.3.2 การดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ [17]

ความจุของการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์ (Adsorption capacity) จะขึ้นกับ

1. พื้นที่ผิวทั้งหมด (Total surface area)
2. โครงสร้างรูพรุนในเนื้อคาร์บอนกัมมันต์
3. หมู่ฟังก์ชันนัล (Functional group) บนผิวรูพรุนของคาร์บอนกัมมันต์

ขนาดรูพรุนบริเวณผิวเป็นสิ่งที่กำหนดความจุในการดูดซับ ซึ่ง โครงสร้างทางเคมีของผิว คาร์บอนกัมมันต์จะมีผลต่อสารที่ถูกดูดซับในกรณีที่มีขั้วหรือไม่มีขั้ว นอกจากนั้นตำแหน่งที่ว่องไวของผิวถ่านจะเป็นตัวกำหนดชนิดของปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นในการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์จึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวอย่างเดียว

บริเวณผิวและขอบของคาร์บอนกัมมันต์จะมีอะตอมของคาร์บอนอยู่ โดยจะมีตำแหน่งวาเลนซ์ที่เหลืออยู่จึงทำให้บริเวณดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ว่องไว เห็นได้จากการดูดซับทางเคมีที่บริเวณผิวของคาร์บอนกัมมันต์ ธาตุที่ถูกดูดซับเข้ามาอาจเป็นออกซิเจน ไนโตรเจน ไฮโดรเจน คลอรีน โบรมีน ไอโอดีน และซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นการดูดซับแบบจับซ้อนที่บริเวณผิวจึงไม่สามารถเขียนกลไกการดูดซับออกมาในรูปของสมการเคมีได้ และเมื่อพิจารณาหมู่ฟังก์ชันที่บริเวณผิวของคาร์บอนกัมมันต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบมีความสำคัญมากที่สุด เมื่อตรวจสอบที่บริเวณผิวของคาร์บอนกัมมันต์โดยใช้เอ็กซ์เรย์ พบว่าอะตอมของออกซิเจนจะสร้างพันธะกับอะตอมของคาร์บอน โดยจะมีจำนวนมากบริเวณขอบของโมเลกุลคาร์บอนที่เกาะตัวเป็นอะโรมาติก (aromatic) โดยพันธะระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจนจะมีอิทธิพลมากที่สุดต่อลักษณะพื้นผิวของคาร์บอนกัมมันต์ การแลกเปลี่ยนไอออนบวก รวมถึงการดูดซับแก๊สและไอที่มีขั้วและไม่มีขั้ว

2.4 การดูดซับในสารละลาย [21]

การดูดซับในวัฏภาคของเหลวจะเกิดขึ้นที่พื้นผิวสัมผัสระหว่าง ของเหลว-ของแข็ง, ของเหลว-ของเหลว, ของเหลว-แก๊ส ในกรณีนี้จะพิจารณาที่พื้นผิวของแข็ง-ของเหลว เช่นการใช้คาร์บอนกัมมันต์ในการทำของเหลวให้บริสุทธิ์ การกำจัดสี และการกำจัดสิ่งเจือปนต่าง ๆ เนื่องจากคาร์บอนกัมมันต์เป็นที่นิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมเคมี และอาหาร

การศึกษาการดูดซับสารละลายโดยใช้คาร์บอนกัมมันต์ จะพิจารณาไอโซเทอร์มการดูดซับของตัวถูกละลาย โดยไอโซเทอร์มสามารถให้ข้อมูลพื้นที่ผิวและการกระจายตัวของไมโครพอร์สของคาร์บอนกัมมันต์ได้ การวัดการดูดซับในของเหลวสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว ไม่ต้องทำในระบบสุญญากาศ ซึ่งจำเป็นสำหรับการดูดซับของแก๊ส สามารถหาพื้นที่ผิวได้จากสมการไอโซเทอร์มการดูดซับ และการกระจายตัวของรูพรุนหาได้จากการใช้เครื่องตรวจโมเลกุล ซึ่งใช้หลักการของความแตกต่างของขนาดโมเลกุลตัวถูกละลาย

กรณีของคาร์บอนที่มีรูพรุนขนาดไมโครพอร์ส (microporous) จะมีความจำเพาะเจาะจงของพื้นผิว เพราะขนาดโมเลกุลของตัวถูกละลายสัมพันธ์กับพื้นผิวของคาร์บอน จากข้อมูลไอโซเทอร์มการดูดซับในสารละลายโดยใช้ตัวดูดซับของแข็ง สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณที่ถูกดูดซับกับความเข้มข้นของตัวถูกละลายและตัวทำละลายในสารละลายได้ ดังนั้นไอโซเทอร์มอาจจะไม่ได้แสดงถึงการดูดซับของตัวถูกละลายเท่านั้น

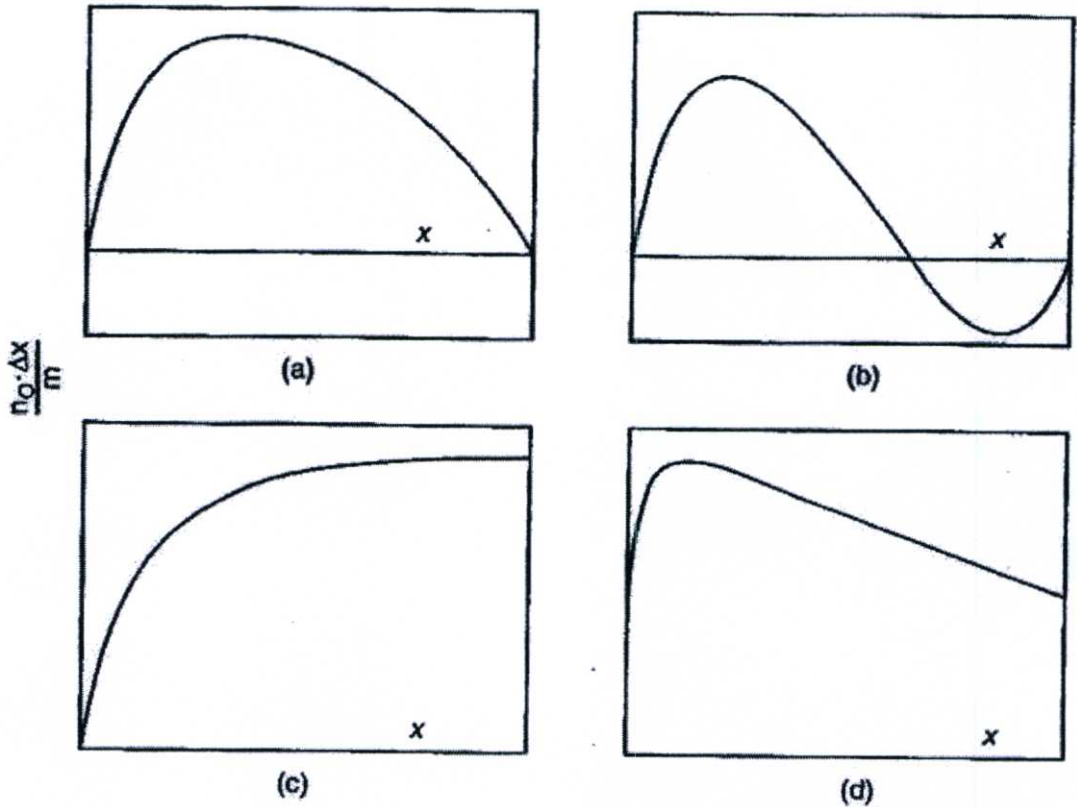
2.4.1 สมดุลของการดูดซับ

การศึกษาสมดุลและจลนพลศาสตร์ของการดูดซับและการคายซับ เป็นสิ่งที่ช่วยให้เข้าใจกระบวนการแยกสารได้ดียิ่งขึ้น ทำให้สามารถแยกสารได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการทดลองเพื่อหาไอโซเทอร์มของการดูดซับ ทำให้สะดวกในการประเมินค่าการดำเนินงานของกระบวนการในการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม และการกำหนดปริมาณตัวดูดซับที่ต้องการในเบื้องต้น นอกจากนั้น ไอโซเทอร์มยังมีบทบาทในการทำนายกระบวนการจำลองเพื่อวิเคราะห์และออกแบบระบบการดูดซับ และใช้ประเมินค่าทางทฤษฎี อธิบายปัจจัยทางเทอร์โมไดนามิกส์ เช่น ค่าความร้อนของการดูดซับ ซึ่งแบบจำลองที่สภาวะสมดุลต่างๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้อธิบายไอโซเทอร์มของการดูดซับ

2.4.2 ไอโซเทอร์มของการดูดซับ(Adsorption Isotherm) [21]

ไอโซเทอร์มการดูดซับของคาร์บอนที่มีรูพรุนขนาดเล็กระดับไมโคร แสดงดังรูป 2.3 จากรูปพบว่า ไอโซเทอร์ม (c) สามารถใช้สมการไอโซเทอร์มของ Freundlich อธิบายได้ โดยลักษณะดังกล่าวแสดงถึงการดูดซับของเหลวที่มีค่าการละลายจำกัด ส่วนไอโซเทอร์ม (a), (b) และ (d) ไม่สามารถใช้สมการของ Freundlich อธิบายได้

ไอโซเทอร์มการดูดซับของตัวถูกละลายที่เป็นของแข็ง การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายจะเป็นผลเนื่องมาจากการดูดซับของตัวถูกละลายบนพื้นผิวดูดซับ โดยจะพิจารณาความเข้มข้นที่เปลี่ยนแปลงไปในสารละลาย โดยตั้งสมมติฐานให้ตัวทำละลายไม่มีผลต่อกระบวนการดูดซับในสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยๆ ส่วนไอโซเทอร์มการดูดซับของเหลวที่ละลายเข้ากันได้ดี เช่น เอทิลแอลกอฮอล์กับน้ำ จะเกิดการดูดซับทั้ง 2 องค์ประกอบบนพื้นผิวของตัวดูดซับ



รูปที่ 2.3 ประเภทของไอโซเทอร์มการดูดซับ (a) และ (b) สำหรับของเหลวที่ละลายเข้ากันได้ดี (c) และ (d) สารละลายที่มีตัวถูกละลายเป็นของแข็ง [21]

รูปไอโซเทอร์ม (a), (b) และ (d) พบว่าที่ความเข้มข้นต่ำๆ ในช่วงแรกๆ ของไอโซเทอร์ม ตัวดูดซับจะสามารถดูดซับองค์ประกอบที่ 1 ได้ดี หมายความว่าที่สมมูลปริมาณขององค์ประกอบที่ 1 บนพื้นผิวของตัวดูดซับจะมากกว่าในสารละลาย ไอโซเทอร์ม (b) ที่ความเข้มข้นสูงๆ ตัวดูดซับจะดูดซับองค์ประกอบที่ 2 ด้วย สำหรับรูปไอโซเทอร์ม (a), (b) และ (d) เป็นรูปแบบของการดูดซับที่ซับซ้อน จึงต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ร่วมด้วย

ไอโซเทอร์มของ Freundlich ถึงแม้ว่าจะใช้อธิบายข้อมูลการดูดซับในสารละลายได้ แต่ยังมีข้อจำกัดคือยังไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมที่ความเข้มข้นต่ำและสูงได้ ซึ่งสมการของ Freundlich ยังต้องอาศัยปัจจัยของเทอร์โมไดนามิกส์ที่ความเข้มข้นสูงและต่ำอยู่ นอกจากนั้นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเนื่องมาจากความร้อนในวัฏภาคของเหลวและแรงกระทำระหว่างโมเลกุลเป็นเรื่องที่เข้าใจได้ยาก เพราะฉะนั้นจึงยังยากที่จะเข้าใจธรรมชาติของการดูดซับได้อย่างถูกต้องว่าเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวหรือการดูดซับแบบหลายชั้น โดยทั่วไปแล้วธรรมชาติของการดูดซับอาจพิจารณาได้จากธรรมชาติของคาร์บอนต่อองค์ประกอบในสารละลาย ความเข้มข้นของสารละลาย และการละลายขององค์ประกอบซึ่งกันและกัน เช่น ตัวถูกละลายไม่มีขั้วจะถูกดูดซับในตัวดูดซับไม่มีขั้ว

เช่นคาร์บอนกัมมันต์ ซึ่งการดูดซับจะมีการแข่งขันกันระหว่างตัวถูกละลายกับตัวทำละลาย โดยธรรมชาติแล้วในกรณีข้างต้นที่ตัวทำละลายมีขั้วดังนั้นตัวถูกละลายจึงจะถูกดูดซับได้ดี อย่างไรก็ตามความแตกต่างของความมีขั้วของตัวทำละลายและตัวถูกละลายต้องคำนึงถึงการละลายเข้ากันของสารทั้งสองด้วย เนื่องจากความแตกต่างของความมีขั้วจะทำให้ตัวทำละลายและตัวถูกละลายไม่ละลายซึ่งกันและกันเป็นผลให้การดูดซับเกิดได้ไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ปัจจัยอื่นที่จะพิจารณาถึงการดูดซับในสารละลายคือ การจัดเรียงตัวและโครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลตัวถูกละลาย เช่น คาร์บอนกัมมันต์มีโครงสร้างรูพรุนขนาดไมโครพอร์ส (microporous) โมเลกุลของตัวดูดซับขนาดใหญ่จะไม่สามารถเกิดการดูดซับได้

2.4.3 แบบจำลองสมดุลการดูดซับ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกนำมาใช้อธิบายสมดุลของการดูดซับ โดยแบบจำลองที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับงานวิจัยนี้คือ Langmuir และ Freundlich ซึ่งเป็นสมการที่ได้รับการยอมรับการใช้งานโดยทั่วไป โดยจะนำแบบจำลองทั้งสองนี้มาทำการทดสอบความเหมาะสมสำหรับเส้นโค้งสมดุลในแต่ละตัวอย่าง

2.4.3.1 แบบจำลองของ Langmuir [20, 21]

สมการไอโซเทอร์มของ Langmuir เป็นสมการแรกๆ ในการพัฒนาไอโซเทอร์มการดูดซับ ต่อมาจึงมีการเสนอสมการอื่นขึ้นมาภายหลังเพื่ออธิบายผลของการทดลองในช่วงที่สมการ Langmuir ไม่สามารถอธิบายได้ โดยพัฒนามาจากแนวคิดของไอโซเทอร์มแบบ Langmuir ดังนั้นสมการ Langmuir จึงมีความสำคัญต่อการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี โดยสมการที่ได้จะพิจารณาจากเทอร์โมไดนามิกส์และอธิบายโดยใช้หลักทางจลนพลศาสตร์

หลักการเกิดการดูดซับแบบ Langmuir มาจากสมมติฐานดังต่อไปนี้

- การดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว
- โมเลกุลของตัวถูกละลายจะถูกดูดซับบนพื้นผิวแบบหนึ่งต่อหนึ่ง (สารหนึ่งตัวดูดซับหนึ่งตำแหน่ง)
- พลังงานในการดูดซับในแต่ละตำแหน่งบนพื้นผิวมีค่าเท่าๆกัน และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างตำแหน่งตัวถูกละลายด้วยกัน
- มีสมดุลเกิดขึ้นระหว่างการดูดซับและการคายซับ

พิจารณาจลนพลศาสตร์ โดยกำหนดให้ θ เป็นตำแหน่งที่ถูกปกคลุม และ θ_0 เป็นตำแหน่งที่ว่าง ดังนั้น $(\theta + \theta_0 = 1)$ อัตราการดูดซับและคายซับจะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$r_{ad} = k_a P \theta_0 = k_a P (1 - \theta) \quad (2.1)$$

$$r_{de} = k_d \theta \quad (2.2)$$

ที่สมดุล ; อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊สเข้าไปบนพื้นผิวของของแข็งและความแน่นในตำแหน่งว่างเท่ากับอัตราการระเหยของโมเลกุลจากตำแหน่งที่ถูกปกคลุม เพราะฉะนั้นอัตราในการดูดซับจะเท่ากับอัตราในการคายซับ

$$r_{ad} = r_{de}$$

$$k_a \theta = k_d P (1 - \theta) \quad (2.3)$$

เมื่อ P คือ ความดันสมบูรณ์ของแก๊ส
 k_a คือ ค่าคงที่ของการควบแน่น
 k_d คือ ค่าคงที่ของการระเหย

ดังนั้น
$$\frac{\theta}{1 - \theta} = \frac{k_a P}{k_d} = bP \quad (2.4)$$

$$\theta = \frac{bP}{1 + bP} \quad (2.5)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการดูดซับ $b = k_a / k_d$ สัมพันธ์กับเอนทัลปีของการดูดซับ (ΔH) ดังนี้

$$b = b_0 e^{-\Delta H / RT} \quad (2.6)$$

โดย b_0 คือ ค่าคงที่อัตราของเอนโทรปี
 สำหรับระบบที่เป็นของแข็ง - ของเหลว

$$\frac{q_e}{q_m} = \frac{bC_e}{1 + bC_e} \quad (2.7)$$

$$q_e = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e} \quad (2.8)$$

- เมื่อ q_e คือ ปริมาณของตัวที่ถูกดูดซับต่อหน่วยกรัมของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 q_m คือ ปริมาณตัวถูกดูดซับที่เกิดจากปกคลุมพื้นผิวแบบชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์ (monolayer capacity) (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในวัฏภาคของไหลในสถานะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

และจากสมการที่ 2.6 สามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงได้หลายรูปแบบดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b q_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2.9)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{b q_m C_e} \quad (2.10)$$

2.4.3.2 แบบจำลองของ Freundlich

สมการการดูดซับแบบ Freundlich อธิบายการดูดซับที่มีพื้นผิวแบบ Non-uniformity โดยหลักการเกิดการดูดซับมาจากสมมติฐานดังต่อไปนี้

- โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแต่ละโมเลกุลที่ตำแหน่งต่างๆ บนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับ จะไม่มีผลกระทบต่อกัน
- การดูดซับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับจะเกิดแบบหลายชั้น

โดยสมการของ Freundlich แสดงดังสมการ

$$q_e = K_F C_e^{\left(\frac{1}{n_F}\right)} \quad (2.11)$$

เมื่อจัดรูปให้อยู่ในสมการเส้นตรงจะได้ว่า

$$\log q_e = \log K_F + (1/n_F) \log C_e \quad (2.12)$$

- เมื่อ K_F คือค่าคงที่สมดุลของสมการ Freundlich
 n_F คือค่าคงที่ไร้หน่วย

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยหลายท่านได้ให้ความสนใจในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยเกี่ยวกับการดูดซับวิตามินอี (แอลฟาโทโคเฟอรอล) บนตัวดูดซับต่างๆ ตัวอย่างงานวิจัยมีดังนี้

B.S. Chu และคณะ [22] ทำการเปรียบเทียบเพื่อเลือกชนิดตัวดูดซับและสายซับวิตามินอีจากกรดไขมันปาล์มที่ได้จากการกลั่น วิตามินอีจากกรดไขมันที่ได้จากการกลั่นจะถูกทำให้เข้มข้นขึ้น หลังจากนั้นนำวิตามินอีที่ได้มาละลายด้วยเฮกเซน เพื่อศึกษาการดูดซับวิตามินอีโดยใช้ระบบการดูดซับแบบกะ เขย่าภายในสภาวะที่มีการควบคุม เปรียบเทียบปริมาณการดูดซับ โดยใช้ตัวดูดซับ ซิลิกาเจล, SG; อะลูมิเนียมออกไซด์, AO; แมกนีเซียมซิลิเกต; โบรมิเนต โพลีโรมาติก SP 207, SP; โพลีโรมาติก Dowex Optipore L-285, DO ซึ่งเป็นตัวดูดซับมีขั้ว จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของวิตามินอีเพิ่มขึ้นจะทำให้ความจุของการดูดซับเพิ่มมากขึ้น และเมื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการดูดซับของตัวดูดซับทั้ง 4 ชนิด พบว่าความจุของการดูดซับและร้อยละของการดูดซับวิตามินอีของตัวดูดซับจะลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ทำการทดลองเพิ่มมากขึ้น แสดงว่าการดูดซับวิตามินอีเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน เมื่อศึกษาการคายซับวิตามินอีโดยใช้ไอโซโพรพานอล พบว่าที่อุณหภูมิสูงเปอร์เซ็นต์การนำกลับของวิตามินอีจะเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับวิตามินอี ซึ่งสามารถดูดซับได้ปริมาณ 2.65 มิลลิกรัมต่อกรัมของซิลิกาเจล และสามารถคายซับออกมาได้ร้อยละ 89.5

B.S. Chu และคณะ [23] ทำการศึกษาการแยกวิตามินอีจากกรดไขมันที่ได้จากการกลั่นโดยใช้ซิลิกาในระบบการดูดซับแบบกะที่มีการเขย่า สมดุลของกระบวนการดูดซับขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่า และน้ำหนักของซิลิกา จากผลการทดลองพบว่า การดูดซับเป็นแบบคายความร้อน ความจุของการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบในการเขย่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่น้ำหนักของซิลิกาน้อยๆ จะทำให้มีความหนาแน่นของการดูดซับสูง จากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับโดยใช้แบบจำลองไอโซเทอร์มของ Langmuir, Freundlich และ Redlich-Peterson พบว่าแบบจำลองของ Redlich-Peterson จะดีที่สุดในการทำนายสมดุลการดูดซับของวิตามินอี แต่การศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองของ Langmuir ต่อไป เพราะมีความคลาดเคลื่อนน้อย การศึกษาค่าตัวแปรของการดูดซับทางจลนพลศาสตร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ซึ่งจะได้ค่าความร้อนของ เอนทัลปี เอนโทรปี และค่าพลังงานอิสระ (Gibbs Free Energy) มีค่าเป็นลบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้น

Awang Bono และคณะ [24] ทำการศึกษาการดูดซับในวัฏภาคของเหลวของแอลฟาโทโคเฟอรอลโดยใช้ตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์และใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย ศึกษาสมมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลในระบบการดูดซับแบบกะ วิเคราะห์ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลโดยใช้ LCMS และใช้ทฤษฎีการดูดซับแบบชั้นเดียวของ Langmuir ในการวิเคราะห์ไอโซเทอร์ม ซึ่งพบว่าการดูดซับที่ความเข้มข้นต่ำมีลักษณะเป็นเส้นตรง breakthrough curve ในการผลิตใช้ model โดยมีสมมติฐานให้ระบบมีอุณหภูมิคงที่ และความเข้มข้นของวิตามินอีที่ผิวและภายในเม็ดที่สมดุลไม่ต่างกัน

Yuen May และคณะ [25] ทำการศึกษาวิธีในการสกัดและแยกส่วนที่มีอยู่น้อย เช่น สควอลีน (Squalene) ; แครโรทีน (Carotenes) ; โทคอล (Tocols) ; สเตอรอล (Sterol) ในน้ำมันพืช โดยการทำให้ปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันน้ำมันพืชกับแอลกอฮอล์ ซึ่งจะได้อินทรีย์ของกลีเซอรอลที่มีสารที่มีอยู่น้อย (minor component) ปนอยู่ จากนั้นกลั่นชั้นของเอสเทอร์ที่ได้ จากอุณหภูมิห้องถึง 200 °C ภายใต้อุณหภูมิ 0 – 50 มิลลิลิตร นำส่วนที่เหลือจากการกลั่นมาเจือจางด้วยเฮกเซนกับไอโซโพรพานอลในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อทำการดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับ เช่น normal phase ซิลิกาเจล, reversed phase ซิลิกาเจล (โดยเฉพาะ C18), อลูมินาที่เป็นกลาง, พอลิเอทิลีนไกลคอล และพอลิอะคริเลต พอลิแอลกอฮอล์ จากนั้นทำการคายซับด้วยตัวทำละลายโดยดำเนินการในสภาวะเดียวกัน ใช้ความดันระหว่าง 0.2 – 0.5 บาร์ โดยพบว่าสามารถสกัดโทคอลไอโซเมอร์ในน้ำมันปาล์มออกมาได้

จิรา สิงขรรัตน์ [26] และคณะทำการศึกษาการแยกวิตามินอีจากน้ำมันที่เหลือจากการกลั่นของน้ำมันถั่วเหลือง ทำการดูดซับด้วยตัวดูดซับซิลิกา จากการทดลองพบว่าจากวิธีดั้งเดิมที่มีการสกัดด้วยเฮกเซนนั้นพบความเข้มข้นของวิตามินอี 2.26 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (9.03%) และสควอลีน 0.42 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (1.66%) แต่เมื่อใช้วิธีการแยกด้วยตัวดูดซับมาแยกวิตามินอีและสควอลีน โดยนำมาผ่านการเขย่าที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ และวิเคราะห์ปริมาณด้วย HPLC ได้ความเข้มข้นเฉลี่ยของวิตามินอีที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้นเป็น 21.6% และสควอลีนเป็น 8.8%

บทที่ 3

อุปกรณ์และการดำเนินงานวิจัย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ทำการทดลองศึกษาตัวดูดซับที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล
2. ทำการทดลองศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ
3. ทำการทดลองศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลเพื่อใช้ในการศึกษาการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลด้วยตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์
4. ทำการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลด้วยตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์
5. ทำการศึกษาการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลออกจากตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

1. ขวดแก้วขนาด 10, 50 และ 100 มิลลิลิตร
2. ขวดปริมาตรขนาด 10, 25, 50 และ 100 มิลลิลิตร
3. บีเปต
4. ขวดสองคอขนาด 100 มิลลิลิตร
5. ชุดควบแน่น
6. เทอร์โมมิเตอร์ขนาด 200 องศาเซลเซียส
7. เครื่องให้ความร้อน
8. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
9. แผ่นพาราฟิล์ม
10. เครื่องชั่ง Mettler Toledo รุ่น AX 205 ที่มีความแม่นยำ ± 0.0001 กรัม
11. เครื่องเขย่า JANKE & KUNKEL รุ่น HS 500
12. เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (Thermo Electron Corporation) โดยใช้เครื่องตรวจวัด UV-Visible (Lab Alliance Model 500)

3.3 สารเคมี

1. แอลฟาโทโคเฟอรอล 95% จากบริษัท Sigma – Aldrich Co., Ltd.
2. คาร์บอนกัมมันต์ 3 ชนิดคือ (I₂ 900), (I₂ 1095) จากบริษัท สยามน้ำมันพืช จำกัด
(I₂ 1150) จากบริษัท คาร์โบกาญจน์ จำกัด
3. เรซิน Amberlyst A26OH, Lewatit s 6368, Lewatit S 4228, Lewatit GF 505, Lewatit S 4328, Lewatit VP OC 1600
4. เฮกเซน, เฮปเทน, ไซโคลเฮกเซน, โทลูอิน, ไซลีน, เบนซีน, ไดเอทิลอีเทอร์, ไดไอโซโพรพิลอีเทอร์, ปีโตรเลียมอีเทอร์, เอทิลอะซิเตต, n-บิวทิลอะซิเตต, เอทานอล, n-โพรพานอล, ไอโซโพรพานอล, กรดซัลฟูริกเข้มข้น, โซเดียมไฮดรอกไซด์เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท Labscan Asia Co.,Ltd.
5. เมทานอล, อะซิโตไนไตร กรด HPLC จากบริษัท Labscan Asia Co.,Ltd.,
6. แก๊สไนโตรเจน 99.5% จากบริษัท Praxair Thailand Co., Ltd.
7. น้ำมันพาราฟิน จากบริษัท Union chemical 1986 Co., Ltd.

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การศึกษาตัวดูดซับที่เหมาะสมสำหรับการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล

1. ชั่งตัวดูดซับ 1 กรัม ใส่ลงในขวดสีชาขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้น 1,000 ppm
3. เติมสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เตรียมได้ ลงในขวดสีชา 10 กรัม
4. ใส่อากาศด้านบนขวดด้วยไนโตรเจนและปิดฝาขวดป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
5. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
6. แยกสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลออกจากตัวดูดซับ
7. นำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เหลืออยู่ โดยใช้เครื่อง HPLC
8. ทำการทดลองซ้ำเหมือนข้างต้น โดยเปลี่ยนชนิดของตัวดูดซับเป็นคาร์บอนกัมมันต์ (I₂ 900), คาร์บอนกัมมันต์ (I₂ 1095), คาร์บอนกัมมันต์ (I₂ 1150), เรซิน Amberlyst A26OH, Lewatit s 6368, Lewatit s 4228, Lewatit s 4328, Lewatit GF 505, Lewatit VP OC 1600

3.4.2 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ

1. ชั่งคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150 1 g ใส่ลงในขวดสีชาขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้น 1,000, 5,000, 10,000, 20,000, 30,000, 40,000 ppm

3. เตรียมสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ใส่ลงในขวดสีชา 20 กรัม
4. ไล่อากาศด้านบนขวดด้วยไนโตรเจนและปิดด้วยฝาขวดป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
5. นำไปเขย่าด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1, 8, 15, 20, 24 และ 30 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
6. แยกสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลออกจากคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150
7. นำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เหลืออยู่ โดยใช้เครื่อง HPLC

3.4.3 การศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสม

ทำการทดลองซ้ำเหมือนข้อ 3.4.2 โดยเปลี่ยนชนิดของตัวทำละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลจากเฮกเซนเป็นไอโซโพรพานอลและเตรียมความเข้มข้นแอลฟาโทโคเฟอรอลเป็น 1,000, 2,000, 3,000, 4,000, 5,000 ppm ทำการเขย่า 24 ชั่วโมง

3.4.4 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ

1. เตรียมสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้น 2,000, 3,000, 4,000, 5,000, 7,000, 9,000, 15,000, 25,000, 35,000 ppm
2. ชั่งคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150 1 กรัม ใส่ลงในขวดสีชานขนาด 100 มิลลิลิตร
3. เตรียมสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ใส่ลงในขวดสีชา 20 กรัม
4. ไล่อากาศด้านบนขวดด้วยไนโตรเจนและปิดด้วยฝาขวดป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
5. นำไปเขย่าด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 องศาเซลเซียส
6. แยกสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลออกจากคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150
7. นำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เหลืออยู่ โดยใช้เครื่อง HPLC
8. นำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ โดยคำนวณจากสมการที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

$$q_A = \left[\frac{(C_{A0} - C_{Ae})}{m \times d \times 1000} \right] \times m_{sol} \quad 3.1$$

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักแอลฟาโทโคเฟอรอล ที่ถูกดูดซับ (mg)} \times 100}{\text{น้ำหนักแอลฟาโทโคเฟอรอลในสารละลายเริ่มต้น (mg)}}$$

$$= \left[\frac{q_A \times m}{\left(\frac{C_{A0} \times m_{sol}}{d \times 1000} \right)} \right] \times 100 \quad 3.2$$

โดยที่	q_A	= ปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์ที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/กรัมคาร์บอนกัมมันต์)
	C_{A0}	= ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
	C_{Ac}	= ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร)
	m	= น้ำหนักของคาร์บอนกัมมันต์ (กรัม)
	m_{sol}	= น้ำหนักของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ใช้ในการดูดซับ (กรัม)
	d	= ความหนาแน่นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล (กรัม/มิลลิลิตร)

3.3.5 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของคาร์บอนกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล

3.3.5.1 วิเคราะห์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน TGA

1. นำเม็ดคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150 ที่ผ่านการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิต่างๆ มาล้างด้วยเฮกเซน
2. นำไประเหยเฮกเซนออกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำเม็ดคาร์บอนที่เตรียมไว้ซึ่งใส่ที่ใส่สารตัวอย่าง (Sample holder) ปริมาณ 10-25 มิลลิกรัม ทำการวิเคราะห์ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน ใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที ในช่วงอุณหภูมิ 30-800 °C

3.3.5.2 วิเคราะห์โดยใช้เทคนิคการหาเลขไอโอดีน

1. นำเม็ดคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150 ที่ผ่านการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิต่างๆ มาล้างด้วยเฮกเซน
2. แล้วนำไประเหยเฮกเซนออกที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะสุญญากาศ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำเม็ดคาร์บอนที่เตรียมไว้ส่งวิเคราะห์เพื่อหาเลขไอโอดีน

3.3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้แบบจำลองสมดุลการดูดซับแบบต่างๆ

นำผลการทดลองที่ได้จาก 3.4.4 ไปวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir และ Freundlich โดยใช้การวิเคราะห์แบบ non-linear regression และหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองทั้งสองโดยใช้โปรแกรม polymath 5.1

3.3.7 การศึกษาการคายซับ

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือการดูดซับและการคายซับ

ขั้นตอนที่ 1 การดูดซับ

1. นำคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150 ที่ผ่านการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลจนถึงจุดสมดุลในขั้นตอนของการดูดซับมาล้างด้วยเฮกเซน 20 มิลลิกรัม จำนวน 3 ครั้ง
2. นำเฮกเซนที่ล้างคาร์บอนกัมมันต์ไปวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลโดยใช้เครื่อง HPLC

ขั้นตอนที่ 2 การคายซับ

การคายซับคาร์บอนกัมมันต์โดยแบ่งวิธีคายซับออกเป็น 2 วิธี คือ

คายซับโดยใช้เครื่องเย้าควบคุมอุณหภูมิ

1. ใช้ตัวทำละลายปริมาณ 20 กรัมต่อคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150 1 กรัม เย้าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
2. นำสารละลายที่คายซับไปวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลโดยใช้เครื่อง HPLC
3. นำผลการทดลองที่ได้คำนวณหาปริมาณการคายซับ โดยคำนวณจากสมการ 3.3

คายซับโดยการ reflux ที่อุณหภูมิจุดเดือดของสาร

1. นำเม็ดคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150 ที่ผ่านการดูดซับ 1 กรัม ตัวทำละลาย 20 กรัม ใส่ในขวดสองคอขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ใส่อากาศด้านบนขวดด้วยไนโตรเจนป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
3. ต่อชุด reflux และตั้ง reflux ที่อุณหภูมิจุดเดือดของตัวทำละลายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำสารละลายที่คายซับไปวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลโดยใช้เครื่อง HPLC
5. นำผลการทดลองที่ได้คำนวณหาปริมาณการคายซับ โดยคำนวณจากสมการ 3.3

$$\text{ปริมาณที่คายซับ (mg)} = \frac{\text{ปริมาณการคายซับ (mg/L)} \times \text{ปริมาณตัวทำละลาย (g)}}{1000 \times \text{ความหนาแน่นตัวทำละลาย}} \quad 3.3$$

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในบทนี้จะอธิบายถึงผลการทดลองต่างๆ ที่ได้กล่าวถึงในบทที่ 3 และจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยการอธิบายผลการทดลองในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้ Ac30 Ac40 และ Ac50 เป็นสัญลักษณ์ เพื่อทดแทนคาร์บอนกัมมันต์ ทำการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 °C ตามลำดับ

4.1 การศึกษาตัวดูดซับที่เหมาะสมในการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล (วิตามินอี)

ในการศึกษาคัดเลือกตัวดูดซับเพื่อใช้ในการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล โดยเลือกตัวดูดซับที่ใช้ในการศึกษาคือ คาร์บอนกัมมันต์ Ac1150, Ac1095, Ac900 และตัวดูดซับเรซิน Amberlyst A26OH, Lewatit S 6368, Lewatit S 4228, Lewatit GF 505, Lewatit S 4328, Lewatit VP OC 1600 เมื่อทำการทดลองโดยใช้ตัวดูดซับ 1 กรัม ดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาณ 10 กรัม อัตราเร็วในการเขย่า 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากผลการดูดซับในตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงค่าการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมตัวดูดซับ พบว่าคาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้มากกว่าตัวดูดซับเรซิน ทั้งนี้เนื่องมาจากเรซินส่วนใหญ่มีรูพรุนขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ซึ่งรูพรุนขนาดใหญ่เป็นเพียงทางส่งผ่านอนุภาคไปยังรูพรุนที่เล็กกว่าเท่านั้น เพราะฉะนั้นการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลอาจขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันนัล (Functional group) เป็นส่วนใหญ่ เมื่อพิจารณาเรซินที่มีโครงสร้างพื้นฐานหลักเป็นแบบ styrene divinyl benzene (SDVB) copolymer พบว่าเรซินแบบมีขั้วชนิดแอนไอออนิก (Anionic resin) ในรูปไฮดรอกไซด์สามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ดีเช่นกันแต่ก็ยังดูดซับได้น้อยกว่าคาร์บอนกัมมันต์ ส่วนเรซินแบบไม่มีขั้วที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชันไม่สามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ ขณะที่คาร์บอนกัมมันต์จะมีอะตอมของคาร์บอนอยู่ที่บริเวณผิวและขอบของคาร์บอนกัมมันต์ โดยจะมีตำแหน่งวาเลนซ์ที่เหลืออยู่จึงทำให้บริเวณดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ว่องไว นอกจากผลึกและ โครงสร้างรูพรุน พื้นผิวของคาร์บอนกัมมันต์ยังมีโครงสร้างทางเคมี ดังนั้นความจุของการดูดซับของคาร์บอนกัมมันต์จึงต้องพิจารณาทั้งสมบัติทางกายภาพหรือโครงสร้างรูพรุนและสมบัติทางเคมีของพื้นผิวของคาร์บอนด้วย [21] จากผลการดูดซับพบว่าคาร์บอนกัมมันต์ชนิด Ac1150 สามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ปริมาณมากที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ในการศึกษาการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลเนื่องจากเป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงเมื่อเปรียบเทียบกับตัวดูดซับทั้งหมดที่กล่าวถึง

ตารางที่ 4.1 ปริมาณการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์

ชนิดของ คาร์บอนกัม มันต์	คุณสมบัติทางกายภาพของคาร์บอนกัมมันต์				ปริมาณการดูด ซับแอลฟาโท โคเฟอรอล (mg/g)
	พื้นที่ผิว (m ² /g)	ปริมาตรรูพรุน (ml/g)		ขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลางรูพรุน (°A)	
		mesopores	micropores		
Ac 1150	991.29	0.51	0.38	19.81	16
Ac 1095	516.08	0.26	0.23	19.72	13
Ac 900	625.97	0.32	0.26	19.75	14

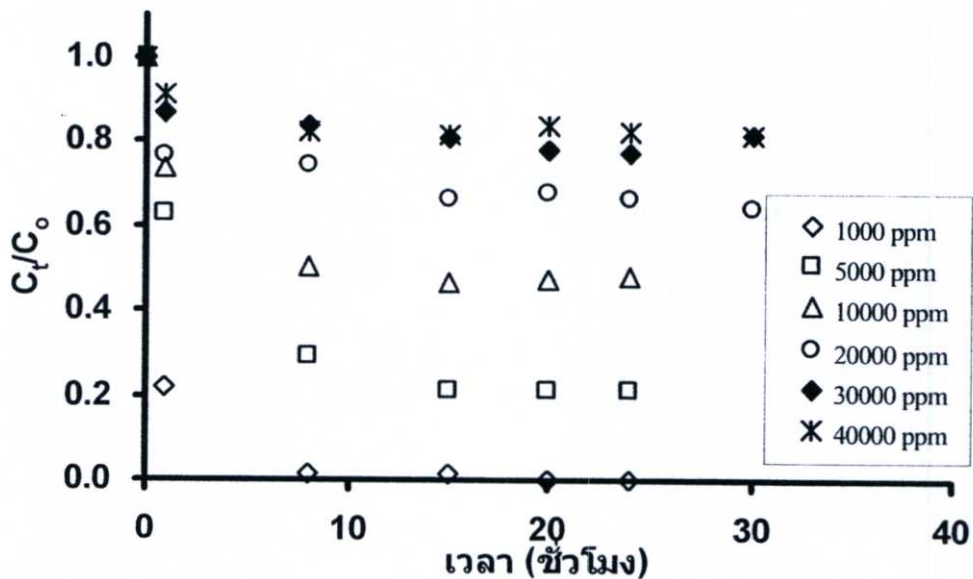
ตารางที่ 4.2 ปริมาณการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับเรซิน

ชนิดของ เรซิน	คุณสมบัติทางกายภาพของเรซิน					ปริมาณการ ดูดซับ แอลฟาโท โคเฟอรอล (mg/g)
	โครงสร้าง	หมู่ฟังก์ชัน	พื้นที่ผิว (m ² /g)	ปริมาตรรู พรุน (ml/g)	ขนาดเส้น ผ่าน ศูนย์กลางรู พรุน (°A)	
Amberlyst A26OH	macroporous	OH quaternary amine	30	0.2	290	12.1
Lewatit S 6368	macroporous	Cl ⁻ quaternary amine	-	-	-	2.4
Lewatit S 4228	macroporous	Tertiary/quaternary amine	-	-	-	1.0
Lewatit GF 505	macroporous	Tertiary/quaternary amine	-	-	-	1.6
Lewatit S 4328	macroporous	Free base/Cl ⁻ Tertiary/quaternary amine	-	-	-	2.2
Lewatit VP OC 1600	macroporous	Neutral none	130	0.5	150	0

หมายเหตุ คุณสมบัติทางกายภาพของเรซิน จากบริษัท LanXess : Energizing Chemistry.

4.2 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุล

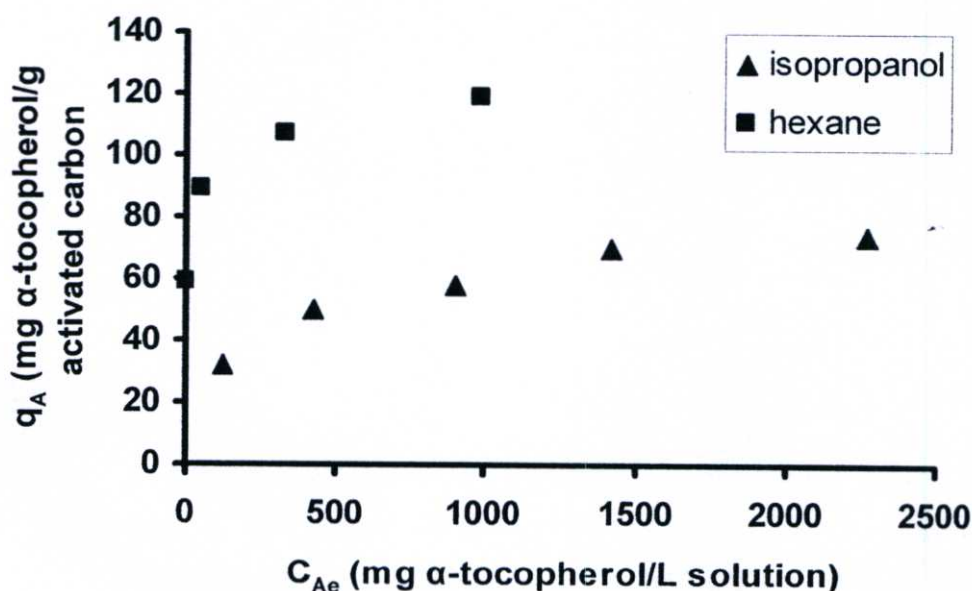
การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 โดยใช้คาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซน 20 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 8, 15, 20, 24 และ 30 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลในสารละลายที่ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น 1,000, 5,000, 10,000, 20,000, 30,000 และ 40,000 มิลลิกรัมต่อลิตรบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150 กับเวลา พบว่าอัตราการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลของคาร์บอนกัมมันต์ที่ความเข้มข้น 1,000, 5,000, 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เริ่มคงที่และเข้าสู่สมดุลเมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง ส่วนที่ความเข้มข้น 20,000, 30,000, 40,000, มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าความชันของกราฟจะเริ่มคงที่และเข้าสู่สมดุลเมื่อเวลาผ่านไป 15 ชั่วโมง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เวลาในการทดลองหาไอโซเทอร์มการดูดซับเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งเป็นเวลาที่เพียงพอที่ทำให้การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลอย่างแท้จริง



รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลในสารละลายที่ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น 1,000, 5,000, 10,000, 20,000, 30,000 และ 40,000 มิลลิกรัมต่อลิตรบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150 กับเวลา

4.3 การศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสม

การศึกษาตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบผลของการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลในตัวทำละลายชนิดมีขั้วและไม่มีขั้ว ทำการทดลองโดยเลือกใช้ตัวทำละลายเฮกเซนและไอโซโพรพานอล ซึ่งตัวทำละลายที่เลือกใช้ทั้ง 2 ชนิด สามารถละลายน้ำมันปลาสดได้ดี โดยใช้คาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในตัวทำละลายต่างชนิดกันที่ความเข้มข้น 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราเร็วในการเขย่า 180 รอบต่อนาที เขย่า 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า คาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนได้ดีกว่าในไอโซโพรพานอล เนื่องจากไอโซโพรพานอลเป็นตัวทำละลายที่อาจเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลของไอโซโพรพานอลกับหมู่ไฮดรอกซิลและอีเทอร์ของแอลฟาโทโคเฟอรอลทำให้ไอโซโพรพานอลกับโมเลกุลของแอลฟาโทโคเฟอรอลมี interaction ระหว่างกันอย่างแข็งแรงมากกว่า interaction ระหว่างพื้นผิวของคาร์บอนกัมมันต์กับโมเลกุลของแอลฟาโทโคเฟอรอล คาร์บอนกัมมันต์จึงดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้น้อย Martin กล่าวว่า [27] เมื่อใช้ตัวทำละลายเฮกเซน ซึ่งเป็นตัวทำละลายแบบไม่มีขั้ว จะไม่มี interaction กับส่วนที่ไม่มีขั้วของวิตามินอีและส่วนที่มีขั้วของพื้นผิวคาร์บอนกัมมันต์ จึงส่งผลให้คาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ปริมาณมากกว่า ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ตัวทำละลายเฮกเซนในการศึกษาการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์

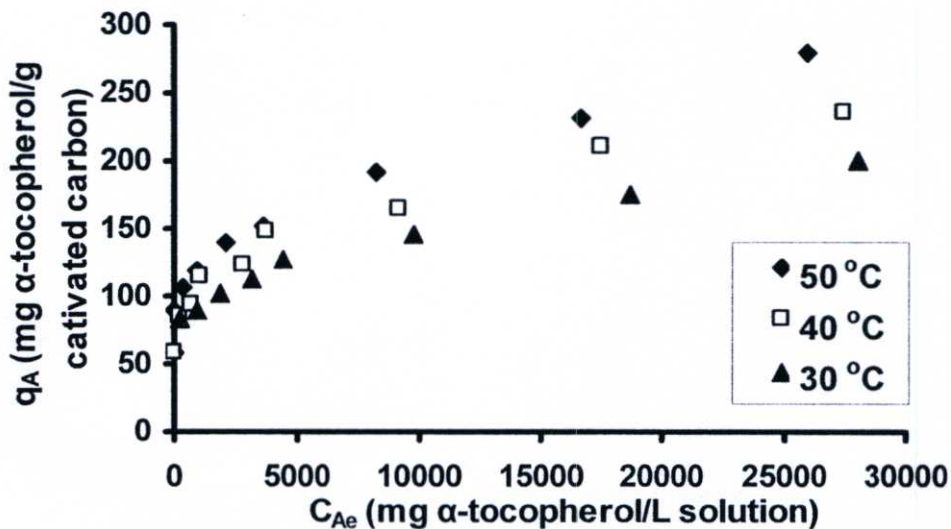


รูปที่ 4.2 การดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลในตัวทำละลายเฮกเซนและไอโซโพรพานอลบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150

4.4 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ

4.4.1 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

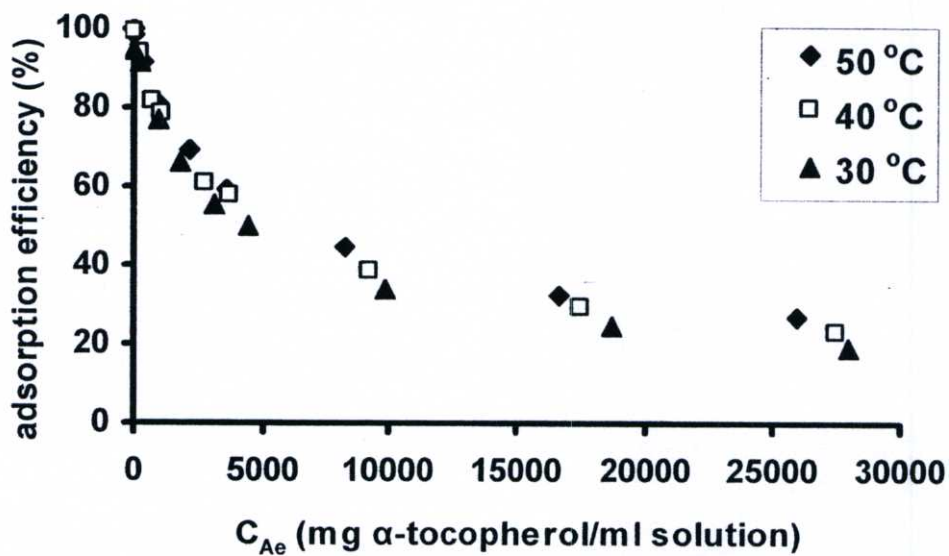
การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ โดยใช้คาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนความเข้มข้น 2,000, 3,000, 4,000, 5,000, 7,000, 9,000, 25,000 และ 35,000 มิลลิกรัมต่อลิตรปริมาณ 20 กรัม เขย่าด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์จะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลบนพื้นผิวคาร์บอนกัมมันต์น้อยแอลฟาโทโคเฟอรอลจะเกาะกันอย่างอิสระบนพื้นผิว แต่เมื่อความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลบนพื้นผิวคาร์บอนกัมมันต์สูงขึ้น โมเลกุลของแอลฟาโทโคเฟอรอลจะมีการจัดเรียงตัวใหม่อย่างเป็นระเบียบทำให้สามารถถูกดูดซับได้มากขึ้น และเมื่อพิจารณาผลของอุณหภูมิในการดูดซับ พบว่าที่อุณหภูมิสูงสามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ดีกว่า โดยผลของการดูดซับที่อุณหภูมิ 50, 40, 30 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ปริมาณ 279, 230, 200 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น 35,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ (4.3) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเป็นการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) การเพิ่มอุณหภูมิจึงทำให้ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับเพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 4.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150

4.4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลสมดุลของการดูดซับที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิต่างๆมาคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับกับความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เหลืออยู่หลังการดูดซับจากกราฟ พบว่าการดูดซับมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงการดูดซับได้เข้าสู่การดูดซับที่อิ่มตัวแบบมากเกินพอที่ตัวดูดซับจะดูดซับได้จึงทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซับต่ำ และที่ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้นมากกว่า 15 กรัมต่อลิตร การดูดซับที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าการดูดซับที่อุณหภูมิ 40 และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150

4.4.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของคาร์บอนกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล

วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของคาร์บอนกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส เพื่อยืนยันการดูดซับบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 โดยใช้การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน Thermogravimetric Analysis (TGA) ซึ่งจะให้ความร้อนแก่วัสดุที่ต้องการทดสอบจนเกิดการสลายตัวของสารต่างๆในเนื้อของวัสดุที่อุณหภูมิใดๆ ภายใต้ระบบของไนโตรเจน ผลการทดลองแสดงในตาราง 4.3 จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการสลายตัวของแอลฟาโทโคเฟอรอลในเม็ดคาร์บอนกัมมันต์ในการดูดซับที่อุณหภูมิต่างๆ มีค่าสูงกว่าอุณหภูมิใน

การสลายตัวของแอลฟาโทโคเฟอรอล ดังนั้นจึงน่าจะยืนยันได้ว่าการดูดซับดังกล่าวเป็นการดูดซับทางเคมี

ตารางที่ 4.3 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของคาร์บอนกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 องศาเซลเซียส จากเทคนิค TGA ใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที

	แอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับบนคาร์บอนกัมมันต์			การสลายตัวของสารในเนื้อคาร์บอนกัมมันต์จากเทคนิค TGA (%wt)	อุณหภูมิสลายตัว (°C)
	ppm	mg/g	%wt		
แอลฟาโทโคเฟอรอล	-	-	-	91.7	341
Ac1150	-	-	-	22.5	580
Ac 30	3555	102.4	15.0	23.9	500
Ac 40	6117	175.5	25.8	28.9	440
Ac 50	7279	210.2	30.8	31.1	520

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของคาร์บอนกัมมันต์ภายหลังการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 องศาเซลเซียส จากเทคนิคการหาเลขไอโอดีน

ตัวอย่าง	เลขไอโอดีน
Ac1150 (บด)	1000
Ac 30 (บด)	655
Ac 40 (บด)	634
Ac 50 (บด)	562
Ac 30 (ไม่บด)	282
Ac 40 (ไม่บด)	269
Ac 50 (ไม่บด)	271

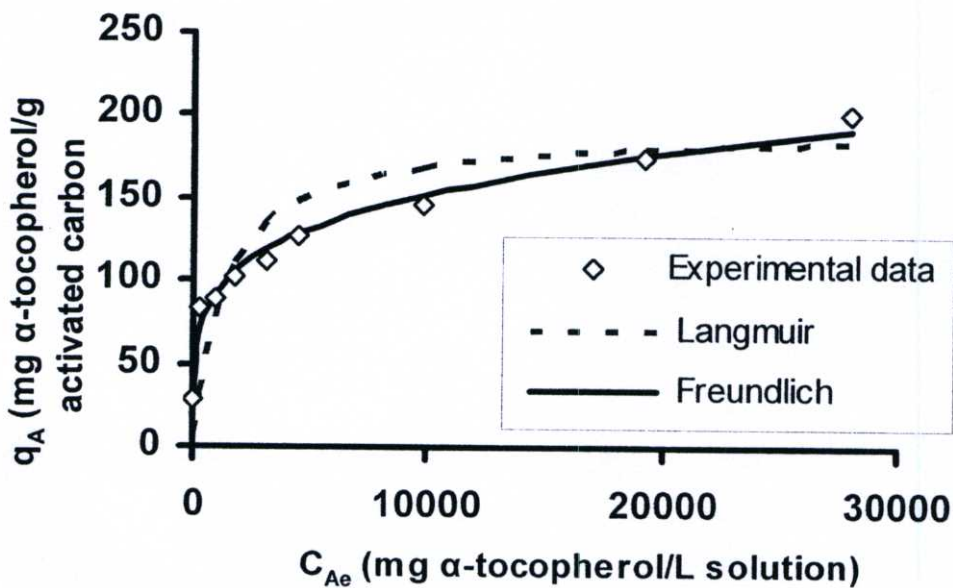
การหาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 องศาเซลเซียส จากเทคนิคการหาเลขไอโอดีน ตารางที่ 4.4 พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล จะมี

เลขไอโอดีนลดลงเมื่อเทียบกับเลขไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ Ac 1150 ที่ไม่ได้ผ่านการดูดซับ เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างคาร์บอนที่ผ่านการบดก่อนทดสอบและคาร์บอนที่ไม่ผ่านการบด พบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการบดก่อนทดสอบมีเลขไอโอดีนมากกว่าคาร์บอนที่ไม่ผ่านการบดก่อนทดสอบ ทั้งนี้เนื่องจากคาร์บอนที่ไม่ผ่านการบดจะมีโครงสร้างของแอลฟาโทโคเฟอรอลขัดขวางการดูดซับไอโอดีนส่งผลให้ไอโอดีนไม่สามารถเข้าไปในบริเวณรูเล็กภายในเนื้อคาร์บอนได้ ส่วนคาร์บอนที่ผ่านการบดก่อนทดสอบ โครงสร้างรูพรุนของคาร์บอนจะถูกทำลายลง ส่งผลให้สามารถดูดซับไอโอดีนภายในรูเล็กได้อย่างทั่วถึง

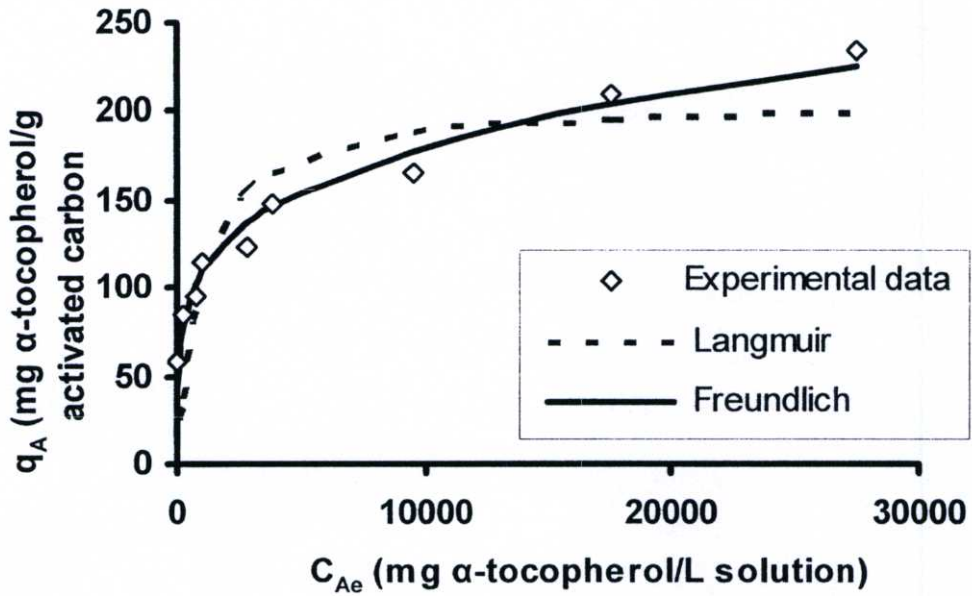
4.5 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการแบบจำลองของ Langmuir และ

Freundlich

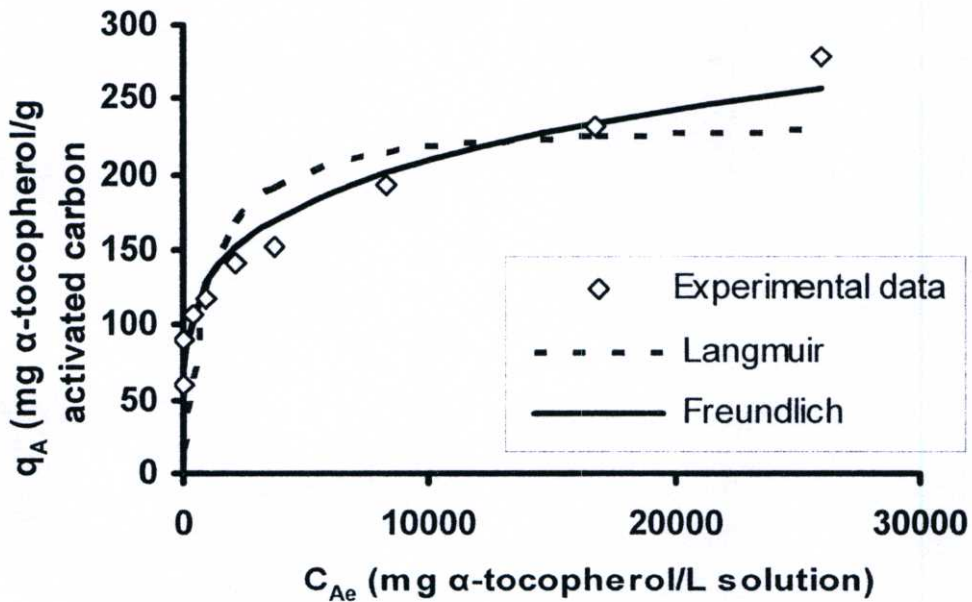
เมื่อนำผลการทดลองการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ มาทดสอบเพื่อหาว่า ปริมาณการดูดซับสอดคล้องกับสมการแบบจำลองใด โดยนำสมการแบบจำลองมาทดสอบ 2 สมการคือ Langmuir และ Freundlich ซึ่งเป็นสมการที่ได้รับการยอมรับการใช้งานโดยทั่วไป และหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในแบบจำลองทั้งสองโดยใช้โปรแกรม polymath 5.1 โดยผลการวิเคราะห์ ดังกล่าวแสดงดังรูป 4.5 - 4.7



รูปที่ 4.5 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสด้วยสมการแบบจำลองแบบ Langmuir, Freundlich โดยใช้การวิเคราะห์แบบ non-linear regression



รูปที่ 4.6 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสด้วยสมการแบบจำลองแบบ Langmuir, Freundlich โดยการใช้การวิเคราะห์แบบ non-linear regression



รูปที่ 4.7 กราฟการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสด้วยสมการแบบจำลองแบบ Langmuir, Freundlich โดยการใช้การวิเคราะห์แบบ non-linear regression

สมการการดูดซับของ Langmuir เหมาะที่จะใช้กับการดูดซับแบบ homogeneous ที่มีพลังงานกระตุ้นของการดูดซับเท่ากัน สมการ Langmuir สำหรับสารละลายเจือจางมีดังสมการที่ 2.8

$$q_e = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e} \quad 2.8$$

กำหนดให้ $K_L = q_m b$;

$$q_e = \frac{K_L C_e}{1 + b C_e} \quad 4.1$$

เมื่อ q_e คือปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับต่อกรัมของคาร์บอนกัมมันต์ ณ จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม) C_e และความเข้มข้นของวิตามินอีในสารละลาย ณ จุดสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร) ค่าคงที่สมดุล (K_L) และ (b) คือค่าคงที่ของสมการ Langmuir และสัดส่วนของ K_L/b_L จะแสดงถึงค่าความจุที่จุดอิ่มตัวของ monolayer ทางทฤษฎี, Q_0 (มิลลิกรัมต่อกรัม) ค่า K_L , a_L และ Q_0 จะถูกคำนวณโดยใช้วิธี non-linear regression และผลวิเคราะห์ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.5 จากผลการคำนวณพบว่าค่า R^2 ที่คำนวณได้จากการใช้สมการของ Langmuir มีค่าน้อย ($R^2 < 0.90$ ในเกือบทุกตัวอย่าง) ส่วนในการใช้สมการของ Freundlich แตกต่างจากการใช้สมการของ Lungmuir คือสมการของ Freundlich จะอธิบายถึงการดูดซับที่มีพื้นผิวแบบ heterogeneous สมการของ Freundlich ได้แสดงไว้ดังสมการ 2.11

$$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n_F}} \quad 2.11$$

เมื่อ k_F และ n_F เป็นค่าคงที่ โดยการใช้การวิเคราะห์แบบ non-linear regression และผลการคำนวณแสดงไว้ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งความสามารถในการดูดซับวิตามินอีจะแสดงในรูปของค่า K_F ในการดูดซับควรจะมีค่า K_F และ n_F ที่สูง ข้อมูลผลการทดลองสามารถอธิบายได้ดีโดยมีค่า R^2 ที่สูงเมื่อใช้สมการของ Freundlich จึงสรุปได้ว่าข้อมูลการทดลองนี้มีความเหมาะสมที่จะใช้แบบจำลองของ Freundlich เพื่อทำนายปริมาณการดูดซับบนพื้นผิวที่มี Adsorb site ที่มีได้หลายรูปแบบบนพื้นผิวของคาร์บอนกัมมันต์

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ non-linear regression ในแบบจำลองของ Langmuir

อุณหภูมิ (°C)	ค่าตัวแปรจากการคำนวณจากสมการ Langmuir			R ²	RSS
	K _L	b	Q ₀		
30	0.14	7.36E-4	190.22	0.801	7.65
40	0.22	0.00108	203.70	0.686	10.32
50	0.27	0.00115	234.78	0.596	14.12

อักษรย่อ: K_L และ a_L คือค่าคงที่ของ Langmuir isotherm; Q₀ = (K_L/b) คือค่า monolayer saturation capacity ; R² คือค่า coefficient of multiple determination; RSS คือค่า residual sum of square

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ non-linear regression ในแบบจำลองของ Freundlich

อุณหภูมิ (°C)	ค่าตัวแปรจากการคำนวณจากสมการ Langmuir		R ²	RSS
	K _F	n _F		
30	15.68	4.01	0.97	3.05
40	24.01	4.56	0.97	3.32
50	30.21	4.75	0.95	4.82

อักษรย่อ: K_F และ n_F คือค่าคงที่ของ Freundlich isotherm. สำหรับค่าอื่นๆใช้เหมือนกับตารางที่ 4.5

ค่าความร้อนของการดูดซับ (ΔH°) ซึ่งเป็นตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสมดุลการดูดซับ สามารถคำนวณได้จากค่าคงที่สมดุลการดูดซับ [23] โดยใช้สมการของ Van't Hoff ซึ่ง (ΔH°), (ΔS°) คือความชันและจุดตัดแกน y ตามลำดับ [28] ดังสมการที่ 4.2

$$\ln K_F = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad 4.2$$

โดยที่

- K_F คือ ค่าคงที่สมดุลของสมการ Freundlich
- R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (8.31 จูลต่อ โมลเคลวิน)
- T คือ อุณหภูมิ (K)
- ΔH° คือ ค่าความร้อนของการดูดซับ (จูลต่อ โมล)
- ΔS° คือ เอนโทรปีของการดูดซับ (จูลต่อ โมลเคลวิน)

ตารางที่ 4.7 ตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์ของการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์

อุณหภูมิ (K)	K_f	ΔH° (kJmol ⁻¹)
303	15.68	26.7
313	24.01	26.7
323	30.21	26.7

จากตารางที่ 4.7 พบว่าค่าความร้อนของการดูดซับ (ΔH°) มีค่ามากกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล แสดงว่าการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์มีแนวโน้มเป็นการดูดซับทางเคมี [11]

4.6 การศึกษาการคายซับ

การศึกษาการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์ โดยนำคาร์บอนกัมมันต์ที่ผ่านการดูดซับจนสมบูรณ์ มาทำการคายซับด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ปริมาณ 20 กรัมต่อน้ำหนักคาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม จากนั้นทำการคายซับโดยแบ่งวิธีการคายซับออกเป็น 2 วิธี วิธีแรกคือการคายซับโดยใช้เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อัตราเร็วในการเขย่า 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิธีที่สองคือคายซับโดยการ reflux ที่อุณหภูมิจุดเดือดของสารเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังตารางที่ 4.7 และ 4.8 แสดงปริมาณการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลของคาร์บอนกัมมันต์โดยวิธีการคายซับโดยใช้เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิ และการคายซับโดยการ reflux ที่อุณหภูมิจุดเดือดของสาร จากตารางพบว่าตัวทำละลายโทลูอีนสามารถคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลในเม็ดคาร์บอนกัมมันต์ได้ร้อยละ 1 ซึ่งพบว่าสามารถคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับตัวทำละลายชนิดอื่นที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4.8 ปริมาณการคายซั้บโดยวิธีการคายซั้บโดยใช้เครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ตัวทำละลายที่ใช้ในการคายซั้บ	ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซั้บ (mg/g)	ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่คายซั้บ (mg)
โทลูอิน	65.6	0.65
เบนซีน	59.3	ไม่เกิดการคายซั้บ
เฮกเซน	59.3	ไม่เกิดการคายซั้บ
เฮปเทน	59.3	ไม่เกิดการคายซั้บ
ไซโคลเฮกเซน	89.3	0.3
ไดเอทิลอีเทอร์	89.3	เปลี่ยนเป็นสารอื่น
ไดไอโซโพรพิลอีเทอร์	89.3	เปลี่ยนเป็นสารอื่น
ปีโตรเลียมอีเทอร์	89.3	ไม่เกิดการคายซั้บ
เอทิลอะซิเตต	60.5	0.18
n-บิวทิลอะซิเตต	60.5	0.19
เอทานอล	89.3	ไม่เกิดการคายซั้บ
n-โพรพานอล	82.6	0.08
ไอโซโพรพานอล	82.6	ไม่เกิดการคายซั้บ
โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5% ในไอโซโพรพานอล	140.6	ไม่เกิดการคายซั้บ
กรดซัลฟูริก 5% ในไอโซโพรพานอล	140.6	ไม่เกิดการคายซั้บ

ตารางที่ 4.8 ปริมาณการคายซั้บโดยวิธีการคายซั้บโดยการ reflux ที่อุณหภูมิจุดเดือดของสารเป็น เวลา 1 ชั่วโมง

ตัวทำละลายที่ใช้ ในการคายซั้บ	จุดเดือดของตัว ทำละลาย (°C)	ปริมาณแอลฟา โทโคเฟอรอลที่ ถูกคูดซั้บ (mg/g)	ปริมาณแอลฟาโท โคเฟอรอลที่คายซั้บ (mg)
ไอโซโพรพานอล	82.2	137.8	0.20
เอทิลอะซีเตต	77.1	137.8	0.41
บิวทิลอะซีเตต	126.1	137.8	0.34
โทลูอิน	110.6	137.8	1.39
โทลูอิน + NP9 2%	110.6	137.8	ไม่เกิดการคายซั้บ
โทลูอิน + glyceryl monostearate 2%	110.6	137.8	ไม่เกิดการคายซั้บ
ไซลีน	138.1	137.8	ไม่เกิดการคายซั้บ
เฮปแทน		57.41	ไม่เกิดการคายซั้บ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับ โดยคัดเลือกตัวดูดซับเพื่อใช้ในการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล และพบว่าคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 สามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนได้ดี เนื่องจากเฮกเซนเป็นตัวทำละลายแบบไม่มีขั้ว จะไม่มี interaction กับส่วนที่ไม่มีขั้วของวิตามินอีและส่วนที่มีขั้วของพื้นผิวคาร์บอน จึงส่งผลให้คาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ปริมาณมากกว่า จากการดูดซับวิตามินอีที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์สามารถเข้าสู่สมดุลได้ภายในเวลา 24 ชั่วโมง

จากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 องศาเซลเซียส พบว่าคาร์บอนกัมมันต์สามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ดีที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อาจเป็นเพราะเป็นการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) การเพิ่มอุณหภูมิจึงทำให้ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับเพิ่มสูงขึ้น โดยพบว่าอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ปริมาณ 279 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์ที่ อยู่ในสมดุลกับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 25.9 กรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถยืนยันผลของการดูดซับด้วยการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน TGA และการหาเลขไอโอดีนของคาร์บอนกัมมันต์ภายหลังการดูดซับพบว่าคาร์บอนกัมมันต์ที่ดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลจะมีเลขไอโอดีนลดลง

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้แบบจำลองการดูดซับ Langmuir และ Freundlich ด้วยวิธี non-linear regression พบว่าข้อมูลการทดลองนี้มีความเหมาะสมที่จะใช้แบบจำลองของ Freundlich เพื่อทำนายปริมาณการดูดซับบนพื้นผิวที่มี Adsorb site ที่มีได้หลายรูปแบบบนพื้นผิวของคาร์บอนกัมมันต์ และแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับบนคาร์บอนกัมมันต์สามารถคายซับได้ที่อุณหภูมิสูงด้วยตัวทำละลาย โดยตัวทำละลายโทลูอีนสามารถคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลในเม็ดคาร์บอนกัมมันต์ได้ร้อยละ 1 ของปริมาณที่ถูกดูดซับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tan BK, Oh FCH. "Malaysia palm oil chemical and physical characteristics.",PORIM Technology, 1981, pp. 3.
- [2] B.S. Chu, S.Y. Quek and B.S. Baharin, "Optimisation of enzymatic for concentration of vitamin E in palm fatty acid distillate.", Journal of Food Chemistry, Vol. 80, 2002, pp. 295-302.
- [3] Vitamin E [Online]. Available : <http://www.geocities.com/vitamin/tocopherol.htm>
- [4] Ronald Eitenmiller, Junsoo lee, "Vitamin E Food Chemistry ,Composition , and Analysis.", New York and Basel, Marcel Dekker, Inc., 2004, pp. 2
- [5] vitamin E [online]. Available : <http://www.cyberlipid.org/vite/vite0001.htm>
- [6] นว ธว สุนทรื เป็รื่องการ, "วิตามินอี (Tocopherol)." [Online]. Available : http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/bsp_2_2544_tocopherol.pdf
- [7] Tocopherol, "ประโยชน์ของวิตามินอี." [Online]. Available : <http://www.geocities.com/vitandmin/TOCOPHEROL.htm>
- [8] McCabe, Warren L., Smith, Julian C. and Harriott, "Unit Operation of Chemical Engineering", Fourth Edition, Singapore, McGraw-Hill, 1985, pp. 686-687.
- [9] กระบวนการดูดซับ (Adsorption) [Online]. Available : <http://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/>
- [10] Samuel D.F. and Osman M.A., "Adsorption Process for Water Treatment.", Stoneham, Butterworth Publishers, 1987, pp. 14-23.
- [11] Douglas M.R., "Encyclopedia of Separation Technology, A Kirk-Other Encyclopedia.", New York, John Wiley & Sons, vol.1, 1997
- [12] ศักดิ์จิตรดา ดันสมบุรณ์, ลัดดา ยาวีร์ชน, ชลธา ไกรวัตนุสรณ์, "การผลิตคาร์บอนกัมมันต์จากชานอ้อย", วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538, หน้า 15-18.
- [13] ประชารัตน์ แต้ก๊กดี, "การแตกตัวพอลิฟอสฟีน พอลิสไตรีน และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวเร่งปฏิกิริยาเหล็กบนถ่านกัมมันต์", วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547, หน้า 27-28
- [14] Johns, Mitchell M., Marshall, Wayne E., Toles, "The Effect of activation Method on The Properties of Pecan Shell Activated carbon.", J Chem.Tech.Biotechnol.,vol.74, 1991

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [15] John T, Cookson Jr, "Adsorption Mechanisms : The Chemistry of Organic Adsorption on Activated carbon.", Carbon adsorption Handbook, Michigan : Ann Arbor Science, 1978, pp. 241-279.
- [16] Schematic activated carbon model, [Online]. Available :
www.activated-carbon.com/images/imgl.gif
- [17] วราวุฒิ ประชาสิริกุล, "การผลิตถ่านกัมมันต์จากกะลาปาล์มน้ำมันโดยการกระตุ้นด้วยพลังงานไมโครเวฟ.", วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.
- [18] Ralph T. Yang, "Adsorbents : Fundamentals and Applications.", United States of America, Wiley interscience, 2003, pp.92-93.
- [19] จตุพร วิทยาคุณ, นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์, "การเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานและการประยุกต์", พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547, 74-76.
- [20] Frank L., Slejko., "Adsorption Technology : A Step-by-Step Approach to Process Evaluation and Application.", New Yoke, Tall Oaks Publishing, 1985, pp. 9-40
- [21] Roop Chand Bansal, Meenakshi Goyal, "Activated carbon Adsorption.", New York, Taylor & Francis, 2005, pp. 3-10, 78-82, 145-148.
- [22] B.S. Chu, B.S. Baharin, Y.B. Che Man, S.Y. Quek, "Comparison of selected adsorption and desorption of vitamin E from palm fatty acid distillate.", Journal of Food Engineering, 2003, pp. 23-33.
- [23] B.S. Chu, S.Y. Baharin, Y.B. Che Man, S.Y. Quek, "Separation of vitamin E from palm fatty acid distillate using silica : I Equilibrium of batch adsorption.", Journal of Food Engineering, Vol. 62, 2003, pp. 97-103.
- [24] Awang Bono, Chu Chi Ming, Murni Sundang, "Liquid Phase Adsorption of α -tocopherol by activated carbon.", Journal of Applied Science, vol. 15, 2007, pp. 2080-2083.
- [25] Yuen may Choo, Mei Han Ng, Ah Ngan Ma, Yusof Basiron, "Method of extracting and isolating minor components from vegetable oil.", U.S. patent no.7161055 B2, Jan 2007.
- [26] จิรดา สิงขรัตน์, ขวัญฤทัย เทียงธรรม, "การศึกษามูลค่าทางเศรษฐกิจของการแยกวิตามินอีจากน้ำมันที่เหลือจากการกลั่นของน้ำมันถั่วเหลือง โดยอาศัยเทคนิคการดูดซับ." คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

- [27] Martin Hartmann, A. Vinu, G. Chandrasekar, "Adsorption of Vitamin E on mesoporous Carbon Molecular Sieves.", *Journal of chemistry*, Vol.17, 2005, pp.829-833.
- [28] Manju G. N., Raji C., Anirudhan T.S., "Evaluation of coconut husk carbon for the remove of arsenic from water., *water research*, Vol. 32, 1998, pp. 3062-3070.

ภาคผนวก

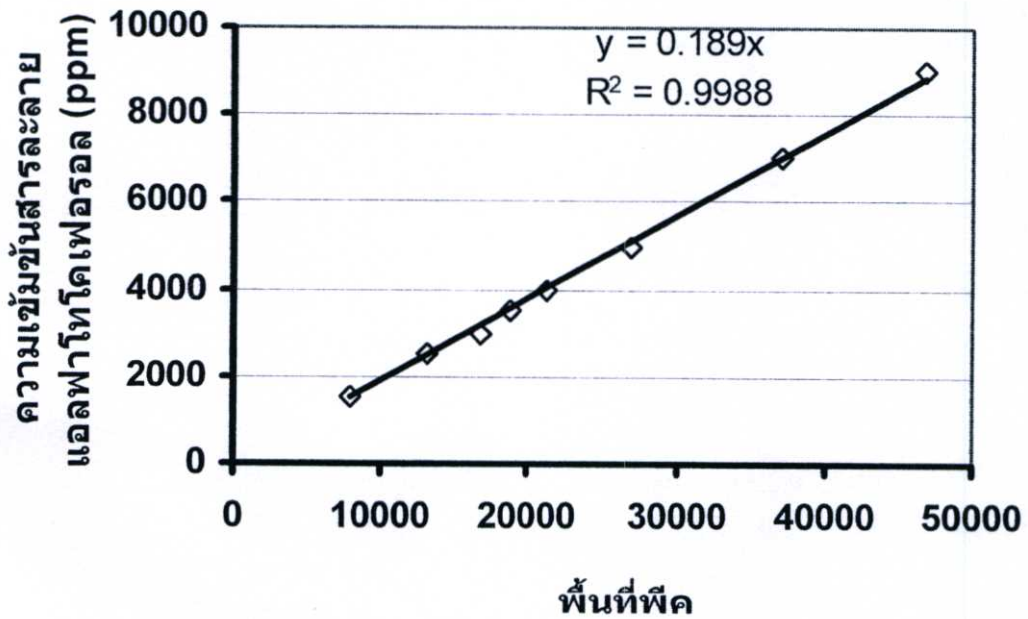
ภาคผนวก ก

พื้นที่พืคและกราฟของสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอล
ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก. พื้นที่พืชของสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	เงืงจาง	พื้นที่พืช
3000	1	16637
4000	1	21280
5000	1	26951
7000	1	36998
9000	1	46913
15000	10	7890
25000	10	13116
35000	10	18856



รูปที่ ก. กราฟสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอล

ภาคผนวก ข

**ข้อมูลการทดลองการหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟา
โทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150**

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข. ข้อมูลการทดลองการหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบน
คาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	C_{A0} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac}/C_{A0}
0	1,219	1,219	1.00
1	1,219	271	0.22
8	1,219	15	0.01
15	1,219	14	0.01
20	1,219	0	0.00
24	1,219	0	0.00
เวลา (ชั่วโมง)	C_{A0} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac}/C_{A0}
0	5,192	5,192	1.00
1	5,192	3,264	0.63
8	5,192	1,511	0.29
15	5,192	1,088	0.21
20	5,192	1,095	0.21
24	5,192	1,099	0.21
เวลา (ชั่วโมง)	C_{A0} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac}/C_{A0}
0	10,212	10,212	1.00
1	10,212	7,524	0.74
8	10,212	5,101	0.50
15	10,212	4,777	0.47
20	10,212	4,814	0.47
24	10,212	4,902	0.47

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง คาร์บอนกัมมันต์AcI 150 ปริมาณ 1 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลใน
เฮกเซนที่ความเข้มข้น 1,000, 5,000, 10,000, 20,000, 30,000, 40,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 20 กรัม เขย่า
180 รอบต่อนาที

ตารางที่ ข. (ต่อ) ข้อมูลการทดลองการหาเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบน
คาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

เวลา (ชั่วโมง)	C_{A0} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac}/C_{A0}
0	20,804	20,804	1.00
1	20,804	15,949	0.77
8	20,804	15,522	0.75
15	20,804	13,802	0.66
20	20,804	14,153	0.68
24	20,804	13,860	0.67
30	20,804	13,345	0.64
เวลา (ชั่วโมง)	C_{A0} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac}/C_{A0}
0	29,788	29,788	1.00
1	29,788	25,911	0.87
8	29,788	24,975	0.84
15	29,788	24,080	0.81
20	29,788	23,147	0.78
24	29,788	23,009	0.77
30	29,788	24,203	0.81
เวลา (ชั่วโมง)	C_{A0} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac}/C_{A0}
0	40,897	40,897	1.00
1	40,897	37,120	0.91
8	40,897	33,685	0.82
15	40,897	33,434	0.82
20	40,897	34,345	0.84
24	40,897	33,576	0.82
30	40,897	33,298	0.81

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง คาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ปริมาณ 1 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลใน
เฮกเซนที่ความเข้มข้น 1,000, 5,000, 10,000, 20,000, 30,000, 40,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 20 กรัม เขย่า
180 รอบต่อนาที

ภาคผนวก ค

ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์

Ac1150

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ค. ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

30 °C			
ความเข้มข้น สารละลายแอลฟา โทโคเฟอรอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{A_0} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{Ac} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	q_A (มิลลิกรัมแอลฟาโท โคเฟอรอลต่อกรัม คาร์บอนกัมมันต์)
1,000	1,070	57	28.95
3,000	3,144	278	82.64
4,000	4,022	919	89.25
5,000	5,377	1,814	102.92
7,000	6,993	3,096	112.35
9,000	8,867	4,441	127.39
15,000	14,912	9,851	145.62
25,000	24,790	18,714	174.94
35,000	35,637	28,014	200.00

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง คาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 20 กรัมความเร็วในการเขย่า 180 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

ตารางที่ ค. (ต่อ) ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

40 °C			
ความเข้มข้น สารละลายแอลฟา โทโคเฟอรอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{A_0} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{A_e} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	q_A (มิลลิกรัมแอลฟาโท โคเฟอรอลต่อกรัม คาร์บอนกัมมันต์)
2,000	2,001	13	57.41
3,000	3,152	201	84.79
4,000	4,020	752	94.45
5,000	5,023	1,071	113.98
7,000	7,014	2,769	122.50
9,000	8,899	3,779	147.64
15,000	14,992	9,266	165.95
25,000	24,790	17,503	209.81
35,000	35,637	27,484	234.63

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง คาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 20 กรัม ความเร็วในการเขย่า 180 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

ตารางที่ ค. (ต่อ) ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

50 °C			
ความเข้มข้น สารละลายแอลฟา โทโคเฟอรอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{A_0} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{A_c} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	q_A (มิลลิกรัมแอลฟาโท โคเฟอรอลต่อกรัม คาร์บอนกัมมันต์)
2,000	2,056	4	59.34
3,000	3,152	56	89.31
4,000	4,020	329	106.72
5,000	5,084	980	118.62
7,000	7,014	2,156	140.62
9,000	8,899	3,646	151.33
15,000	14,992	8,317	192.41
25,000	24,790	16,737	231.87
35,000	35,637	25,942	279.02

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง คาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 20 กรัม ความเร็วในการ
เขย่า 180 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

ภาคผนวก ง

**ข้อมูลประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบน
คาร์บอนกัมมันต์**

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง. ข้อมูลประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส

30 °C			
ความเข้มข้นสารละลาย แอลฟาโทโคเฟอรอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{A0} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	q_A (มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมคาร์บอนกัมมันต์)	ประสิทธิภาพการดูดซับ
1,000	1,070	28.95	0.946
3,000	3,144	82.64	0.911
4,000	4,022	89.25	0.771
5,000	5,377	102.92	0.662
7,000	6,993	112.35	0.557
9,000	8,867	127.39	0.499
15,000	14,912	145.62	0.339
25,000	24,790	174.94	0.245
35,000	35,637	200.00	0.195

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง คาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 20 กรัม ความเร็วในการเขย่า 180 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

ตารางที่ ง. (ต่อ) ข้อมูลประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150
ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส

40 °C			
ความเข้มข้นสารละลาย แอลฟาโทโคเฟอรอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{A_0} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	q_A (มิลลิกรัมแอลฟาโท โคเฟอรอลต่อกรัม คาร์บอนกัมมันต์)	ประสิทธิภาพการดูด ซับ
2,000	2,001	57.41	0.993
3,000	3,152	84.79	0.936
4,000	4,020	94.45	0.813
5,000	5,023	113.98	0.786
7,000	7,014	122.50	0.605
9,000	8,899	147.64	0.575
15,000	14,992	165.95	0.381
25,000	24,790	209.81	0.293
35,000	35,637	234.63	0.228

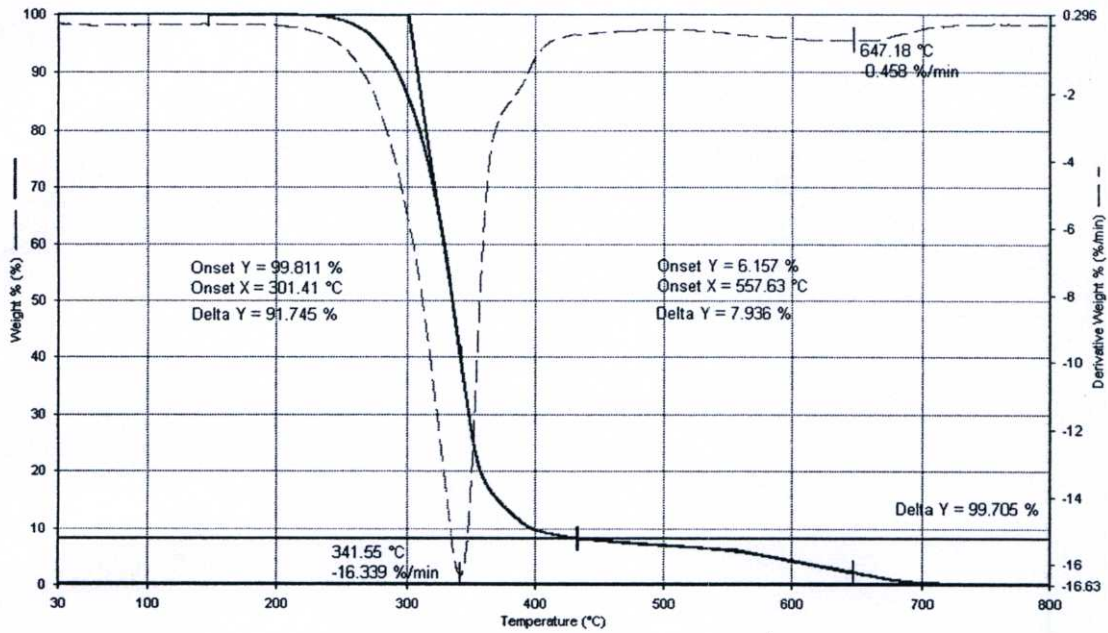
หมายเหตุ สภาวะการทดลอง คาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 20 กรัม ความเร็วในการ
เขย่า 180 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

ตารางที่ ง. (ต่อ) ข้อมูลประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150
ที่อุณหภูมิ 30, 40 และ 50 องศาเซลเซียส

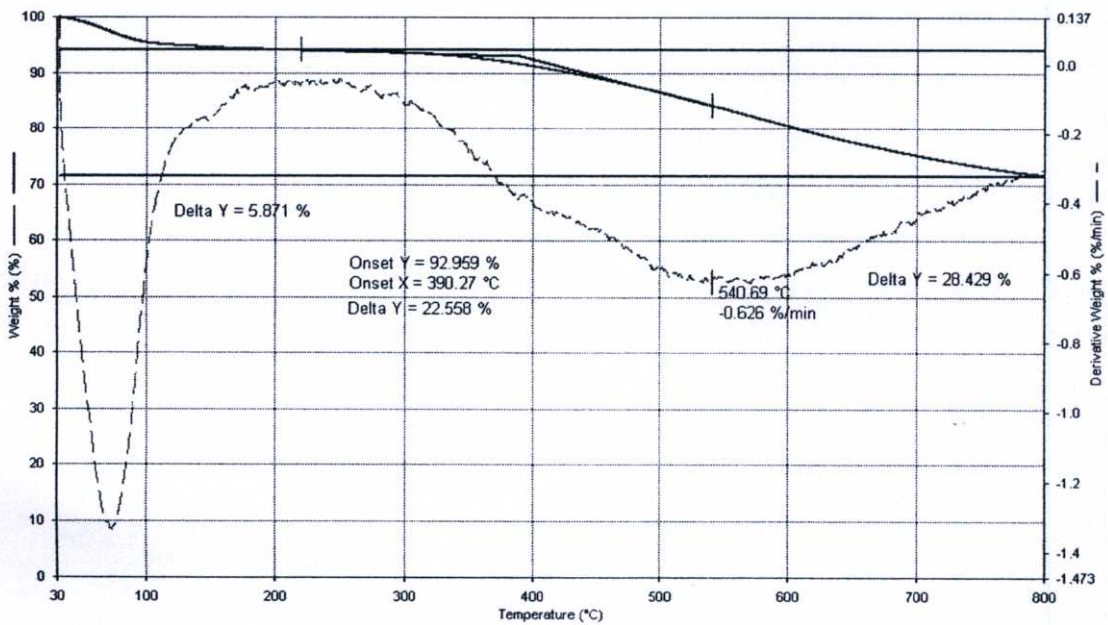
50 °C			
ความเข้มข้นสารละลาย แอลฟาโทโคเฟอรอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	C_{A_0} (มิลลิกรัมต่อลิตร)	q_A (มิลลิกรัมแอลฟาโท โคเฟอรอลต่อกรัม คาร์บอนกัมมันต์)	ประสิทธิภาพการดูด ซับ
2,000	2,056	59.34	0.998
3,000	3,152	89.31	0.982
4,000	4,020	106.72	0.918
5,000	5,084	118.62	0.807
7,000	7,014	140.62	0.692
9,000	8,899	151.33	0.590
15,000	14,992	192.41	0.445
25,000	24,790	231.87	0.324
35,000	35,637	279.02	0.272

หมายเหตุ สภาวะการทดลอง คาร์บอนกัมมันต์ 1 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 20 กรัม ความเร็วในการ
เขย่า 180 รอบต่อนาที เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง

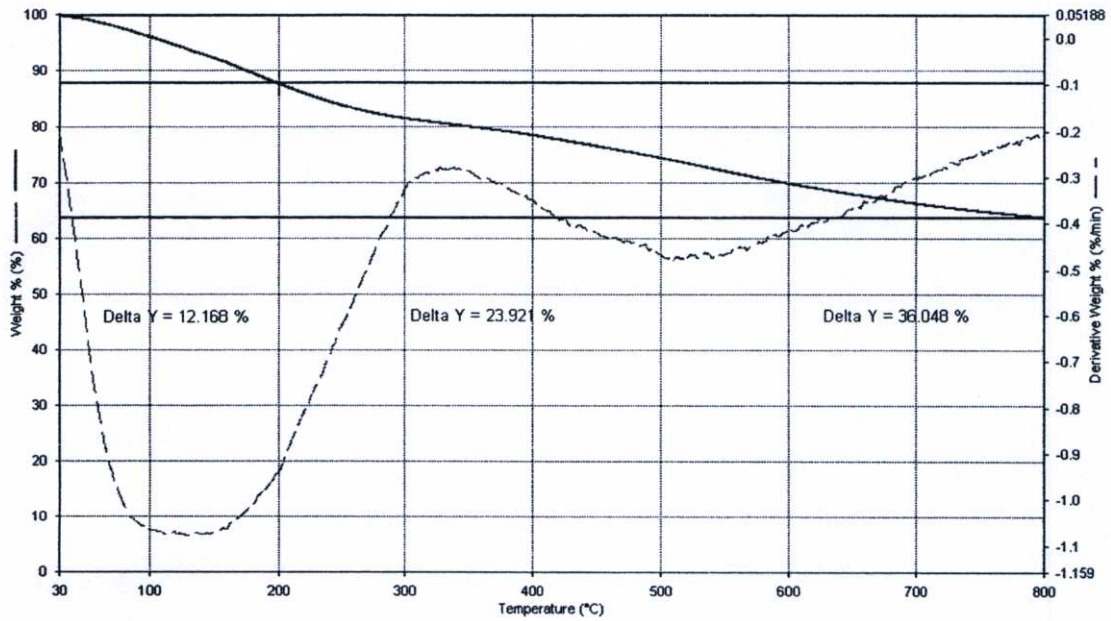
ภาคผนวก จ
เทอร์โมแกรมของ TGA



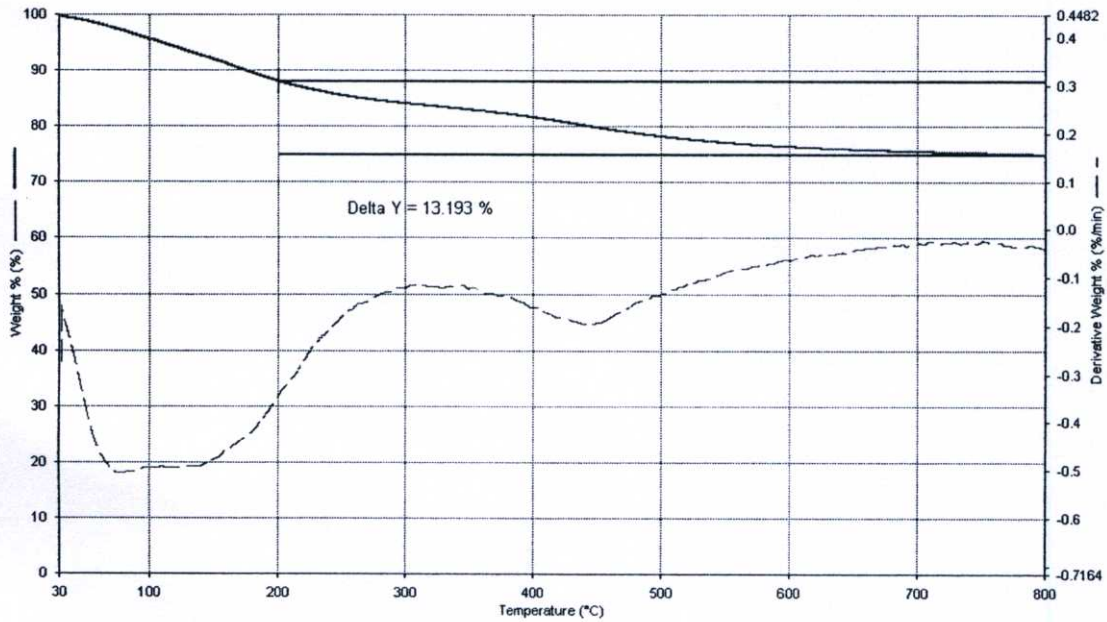
รูปที่ จ.1 เทอร์โมแกรม TGA ของแอลฟาไพโคเฟอรอลใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที



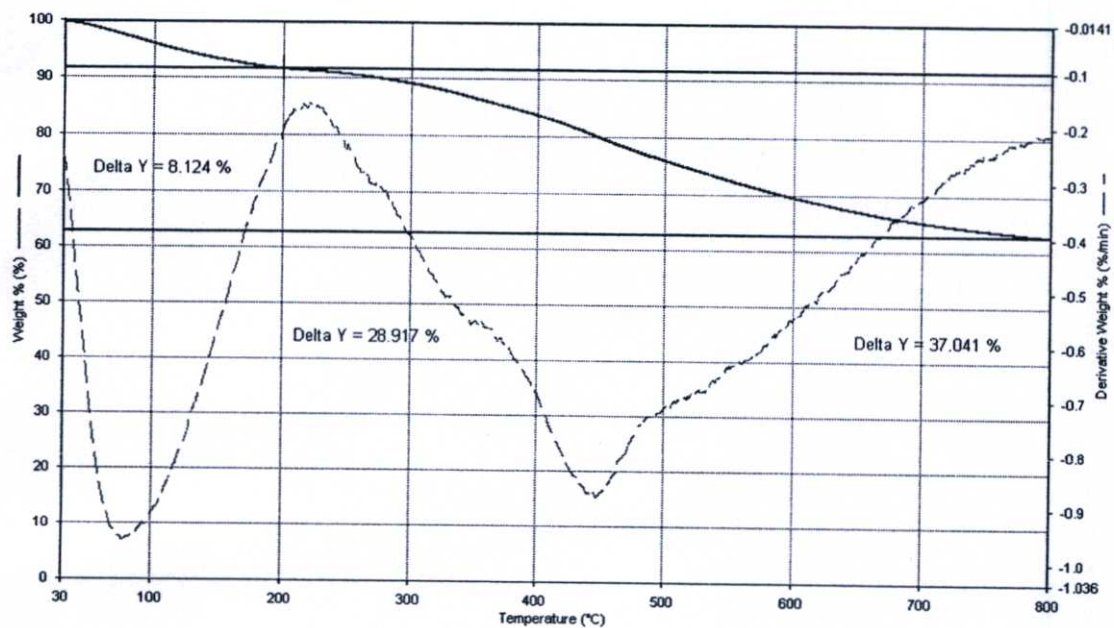
รูปที่ จ.2 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที



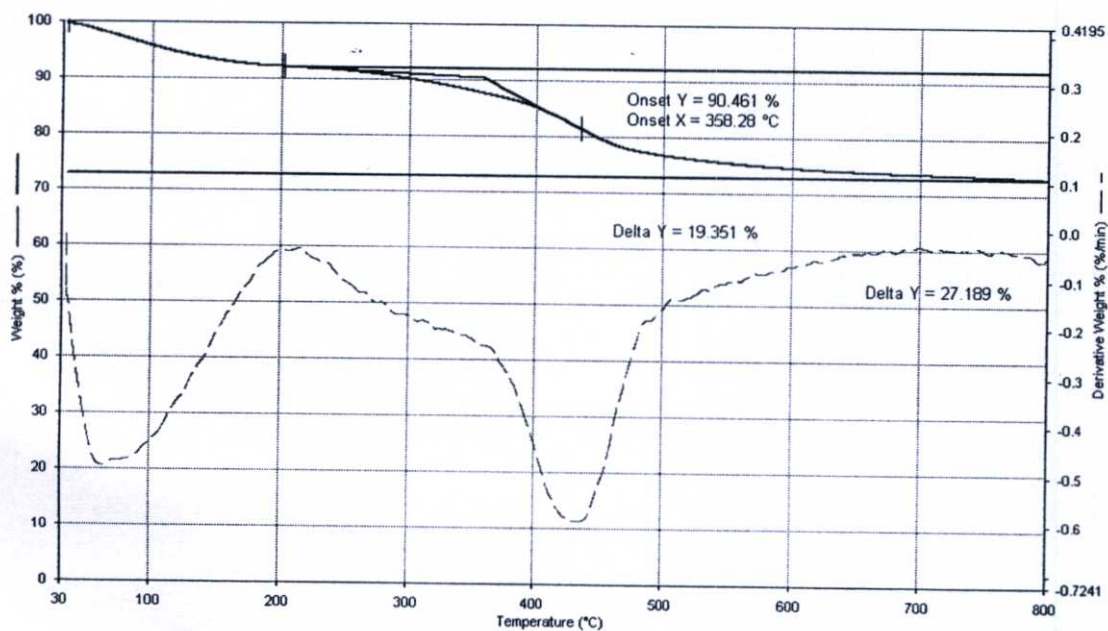
รูปที่ ๓.3 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่จุดซับแอลฟาโทโคเฟอร์อลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที



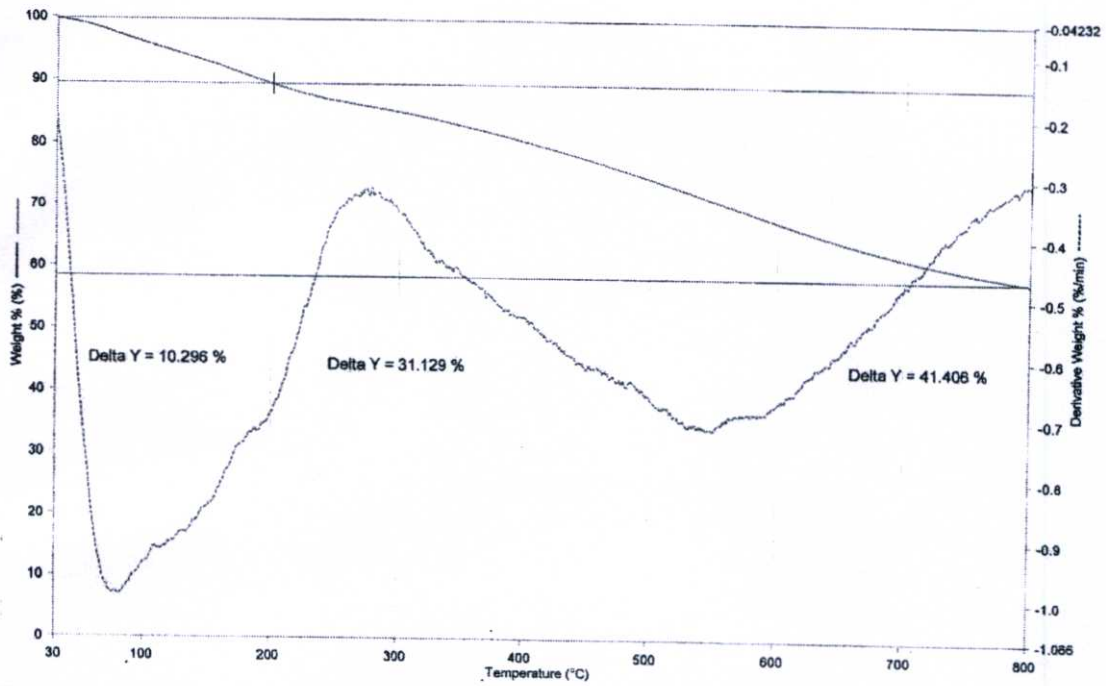
รูปที่ ๓.๔ เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่จุดซับแอลฟาโทโคเฟอร์อลที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสใช้อัตราการให้ความร้อน 5 °C ต่อนาที



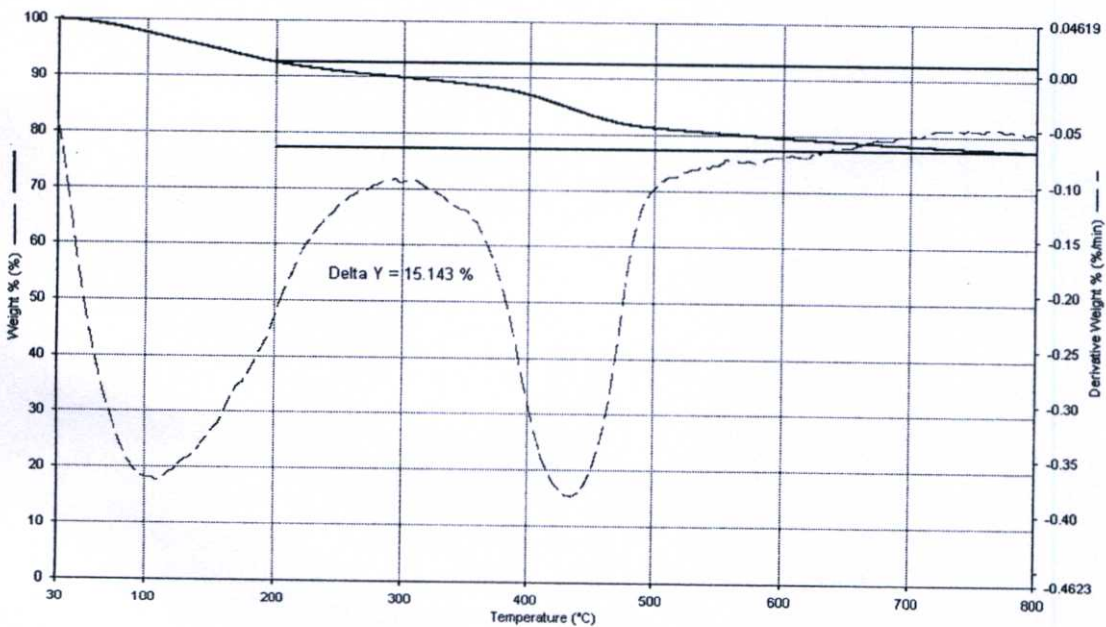
รูปที่ จ.5 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่ดูดซับแอลฟาโท โคลเฟอรอลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที



รูปที่ จ.6 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่ดูดซับแอลฟาโท โคลเฟอรอลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการให้ความร้อน 5 °C ต่อนาที



รูปที่ จ.7 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่ดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที



รูปที่ จ.8 เทอร์โมแกรมของคาร์บอนกัมมันต์ Ac1150 ที่ดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ใช้อัตราการให้ความร้อน 5 °C ต่อนาที

ภาคผนวก ฉ
ผลงานทางวิชาการ

TICHE 18

การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและ
เคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18

วันที่ 20-21 ตุลาคม 2551
ณ โรงแรมจอมเทียนปาล์มบีช พัทยา ชลบุรี

www.eg.mahidol.ac.th
www.tiche.org

สมดุลการดูดซับของแอลฟาโทโคเฟอร์อลบน Amberlyst A26OH เรซิน

Adsorption equilibrium of α -tocopherol by Amberlyst A26OH resin as adsorbent

สุจิตรา กรมกิน, เกรียงศักดิ์ ไกรวัฒนวงศ์ และประกอบ กิจไชยา *

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอร์อล ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของวิตามินอีบน Amberlyst A26OH เรซิน ทำการศึกษาโดยใช้เรซิน 0.2 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอร์อล ในเฮกเซนที่ความเข้มข้น 1,000, 5,000, 10,000, 20,000, 30,000, 40,000, 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 40, 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอร์อลโดยใช้เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) จากการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอร์อลดีกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอร์อลที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 34 และ 200 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอร์อลต่อกรัมเรซิน ที่อยู่ในสมดุลกับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอร์อล 0 และ 44.2 กรัมต่อลิตร จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ พบว่าการดูดซับที่ความเข้มข้นแอลฟาโทโคเฟอร์อลสูงจะมีประสิทธิภาพต่ำ และสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิสูง จากการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการ Langmuir และ Freundlich พบว่าข้อมูลการดูดซับไม่แตกต่างกันมากนัก

1. บทนำ

วิตามินอีประกอบด้วย โทโคเฟอร์อล (tocopherols) และโทโคไตรอีนอล (tocotrienols) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติที่มีความสำคัญอย่างมาก พบมากในกรดไขมันไม่อิ่มตัว [1] วิตามินอีจะช่วยปกป้องเซลล์ในร่างกายจากสารอนุมูลอิสระ โดยไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารในร่างกาย อาศัยคุณสมบัติของมันเองที่เป็นตัวที่ไวต่อการถูกออกซิไดส์มาก จึงเป็นตัวที่ถูกออกซิไดส์ทดแทนสารอื่นๆในร่างกายที่มีความไวต่อการถูกออกซิไดส์ได้น้อยกว่า และสามารถป้องกันไขมันไม่อิ่มตัวที่บริโภคเข้าไปรวมกับออกซิเจนซึ่งจะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ วิตามินอีเป็นสารต้านไม่ให้หลอดเลือดแข็งตัว และป้องกันการเกาะตัวของเกร็ดเลือดที่ผนังหลอดเลือดจึงช่วยลดการอุดตันของหลอดเลือด อีกทั้งตัวมันเองยังมีฤทธิ์ลดคลอเลสเตอรอล ทำให้ร่างกายมีการนำพาออกซิเจนได้อย่างสะดวกส่งผลให้ร่างกายใช้ออกซิเจนได้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มการทำงานของอินซูลิน ทำให้ระบบประสาทดีขึ้นสามารถทำงานได้ตามปกติ ช่วยทำให้ระบบสืบพันธุ์เป็นปกติ รักษาอาการเป็นหมัน และยังเชื่อว่าทำลายฤทธิ์ของสารก่อมะเร็งได้ด้วย [2]

วิตามินอีที่พบในธรรมชาติมี 8 ชนิด คือ แอลฟา บีตา แกมมา และเดลตา โทโคเฟอร์อล (α, β, γ and δ tocopherols) และแอลฟา บีตา แกมมา และเดลตาโทโคไตรอีนอล (α, β, γ and δ tocotrienols) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันที่จำนวนและตำแหน่งของหมู่เมทิล โดยวิตามินอีที่พบมากที่สุดธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นแอลฟาโทโคเฟอร์อล (α -tocopherol)

การแยกวิตามินอีโดยการดูดซับเป็นวิธีที่มีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลาย การกลั่นโมเลกุล ซึ่งพบว่าวิธีการดูดซับเป็นวิธีที่สะดวก และใช้พลังงานต่ำ เหมาะสำหรับในการแยกสารที่มีปริมาณน้อยๆ ออกจากสารส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงจะทำการศึกษการดูดซับวิตามินอีโดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ ซึ่งพบว่าสามารถแยกวิตามินอีที่มีปริมาณน้อยออกจากสารส่วนใหญ่ได้ ซึ่งตัวดูดซับที่ใช้ศึกษา คือ เรซิน Amberlyst A26OH เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูงสามารถดูดซับสารต่างๆได้ดี ประกอบกับเรซินชนิดนี้มีขั้ว วิตามินอีก็มีส่วนที่มีขั้วอยู่ด้วย จากคุณสมบัติเด่นนี้จึงได้มีการนำเรซิน Amberlyst A26OH มาทำการดูดซับวิตามินอี

งานวิจัยนี้ทำการศึกษสมดุลการดูดซับของแอลฟาโทโคเฟอร์อลซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของวิตามินอีที่พบมากที่สุดธรรมชาติบน Amberlyst A26OH เรซิน โดยทำการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับ ประสิทธิภาพของการดูดซับ และการคายซับโดยใช้ตัวทำละลายต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

แอลฟาโทโคเฟอร์อล 95%, เรซิน Amberlyst A26OH, เฮกเซนเกรดวิเคราะห์, ไอโซโพรพานอลเกรดวิเคราะห์, เมทานอลเกรด HPLC, อะซิโตนไคโดเกรด HPLC, แก๊สไนโตรเจน 99.5%, เครื่องชั่ง Mettler Toledo รุ่น AX 205 ที่มีความแม่นยำ ± 0.0001 กรัม, เครื่องเขย่า JANKE & KUNKEL รุ่น HS 500, เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

2.2 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ

ซึ่งเรซิน 0.2 g ใส่ลงในขวดสีชาขนาด 10 มิลลิลิตร เตรียมสารละลายแอลฟาโทโคเฟอร์อลในเฮกเซนที่ความเข้มข้น 1,000, 5,000, 10,000, 20,000, 30,000, 40,000, 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร, เติมสารละลายแอลฟาโทโคเฟอร์อลที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ใส่ลงในขวดสีชา 4 กรัม ใส่ภาภาค้านบนขวดด้วยไนโตรเจนและปิดด้วยฝาขวดป้องกันการเกิดออกซิเดชัน จากนั้นนำไปเขย่าด้วย

*ประกอบ กิจไชยา ; kprakob@hotmail.com

อัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1, 8, 15, 20, 24 และ 30 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นแยกสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลออกจากเรซิน นำสารตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เหลืออยู่ โดยใช้เครื่อง HPLC ที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

2.3 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ

ทำการทดลองทำนองเดียวกับการหาเวลาในการเข้าสู่สมดุล ในการดูดซับ และนำไปขยายด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นแยกสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลออกจากเรซิน นำสารตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เหลืออยู่ โดยใช้เครื่อง HPLC ที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร และนำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับโดยคำนวณจากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$q_A = \left[\frac{(C_{A0} - C_{Ae}) \times m_{sol}}{m \times d \times 1000} \right] \quad (1)$$

กำหนดให้ q_A คือ ปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับเรซินที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/กรัมเรซิน), C_{A0} คือ ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร), C_{Ae} คือ ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัม/ลิตร), m คือ น้ำหนักของเรซิน (กรัม), m_{sol} คือ น้ำหนักของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ใช้ในการดูดซับ (กรัม), d คือ ความหนาแน่นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล (กรัม/มิลลิลิตร)

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} = \left[\frac{(C_{A0} - C_{Ae})}{C_{A0}} \right] \times 100 \quad (2)$$

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้แบบจำลองสมการการดูดซับ

นำผลการทดลองที่ได้จาก 2.1 ไปวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir และ Freundlich โดยสมการของ Langmuir สำหรับสารละลายเจือจางแสดงในสมการ

$$q_e = \frac{K_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad (3)$$

จัดให้อยู่ในรูปสมการเส้นตรง

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{(K_L C_e)} + \frac{a_L}{K_L} \quad (4)$$

กำหนดให้ q_e คือ ปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับต่อหน่วยกรัมของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม), C_e คือ ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลในสารละลายที่สมดุล (มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร), K_L คือ ค่าคงที่สมดุลของสมการ Langmuir (มิลลิลิตรต่อมิลลิกรัม), a_L คือ ปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์ (monolayer capacity) (มิลลิกรัมต่อกรัม) สมการของ Freundlich แสดงดังสมการ

$$q_e = K_F C_e^{\left(\frac{1}{n_F}\right)} \quad (5)$$

จัดรูปให้อยู่ในสมการเส้นตรง

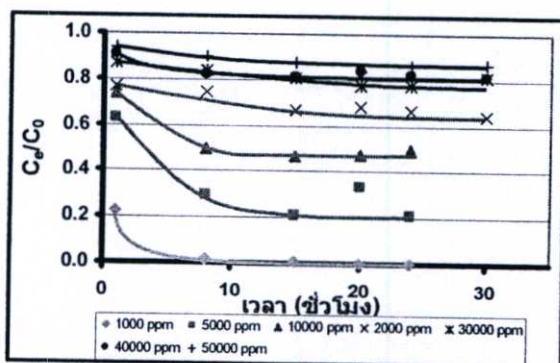
$$\log q_e = \log K_F + (1/n_F) \log C_e \quad (6)$$

กำหนดให้ K_F คือค่าคงที่สมดุลของสมการ Freundlich (มิลลิลิตรต่อมิลลิกรัม), n_F คือ ค่าคงที่ไร้หน่วย

3. ผลการทดลอง

3.1 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุล

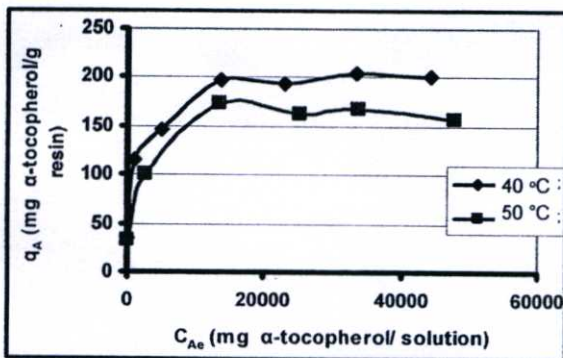
การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของแอลฟาโทโคเฟอรอลบนเรซิน Amberlyst A26OH จากรูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลในสารละลายต่อความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้นกับเวลา พบว่าอัตราการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลของเรซินที่ความเข้มข้น 1,000, 5,000, 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เริ่มคงที่และเข้าสู่สมดุลเมื่อเวลาผ่านไป 10 ชั่วโมง ส่วนที่ความเข้มข้น 20,000, 30,000, 40,000, 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าความชันของกราฟจะเริ่มคงที่และเข้าสู่สมดุลเมื่อเวลาผ่านไป 15 ชั่วโมง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เวลาในการทดลองหาไอโซเทอมการดูดซับเป็นเวลา 24 ชั่วโมงซึ่งเป็นเวลาที่เพียงพอที่ทำให้การดูดซับเข้าสู่สภาวะสมดุลอย่างแท้จริง



รูปที่ 1 เวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับ Amberlyst A26OH เรซิน

3.2 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

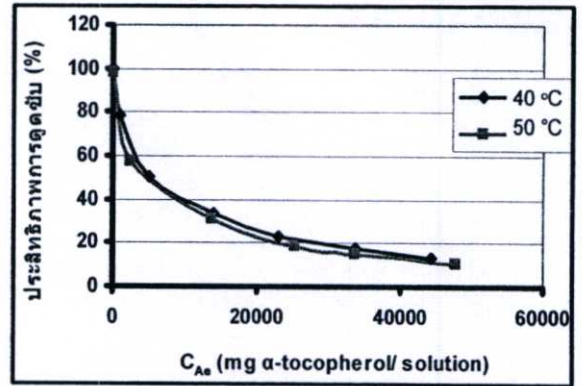
จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนเรซิน Amberlyst A26OH ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าที่ความเข้มข้นแอลฟาโทโคเฟอรอลต่ำการดูดซับจะเกิดได้ดี โดยเมื่อความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่สภาวะสมดุลต่ำกว่า 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนเรซิน Amberlyst A26OH เพิ่มมากขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่สภาวะสมดุลมากกว่า 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนเรซิน Amberlyst A26OH เริ่มคงที่ โดยความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับไม่เพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นเริ่มต้นของแอลฟาโทโคเฟอรอล ในส่วนของรูปร่างไอโซเทอมพบว่ามีลักษณะคล้ายไอโซเทอมแบบ type I ไอโซเทอมแบบนี้มักพบในวัสดุที่มีความพรุนแต่ผิวหน้ามีพื้นที่ผิวภายนอกต่ำ การดูดซับแบบนี้จะพบได้ในการดูดซับที่ย้อนกลับได้



รูปที่ 2 แสดงไอโซเทอมการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส

3.3 ประสิทธิภาพการดูดซับ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนเรซิน Amberlyst A26OH ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยนำข้อมูลสมดุลของการดูดซับที่ความเข้มข้นต่างๆ มาคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับ พบว่าการดูดซับมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเพิ่มขึ้น และจากข้อมูลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส จะมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 3 โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอล 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการดูดซับ 100 % และที่ความเข้มข้นแอลฟาโทโคเฟอรอลเป็น 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการดูดซับเพียง 13.6 % เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูงการดูดซับได้เข้าสู่การดูดซับที่อิ่มตัวแบบมากเกินพอที่ตัวดูดซับจะดูดได้จึงมีประสิทธิภาพการดูดซับต่ำ

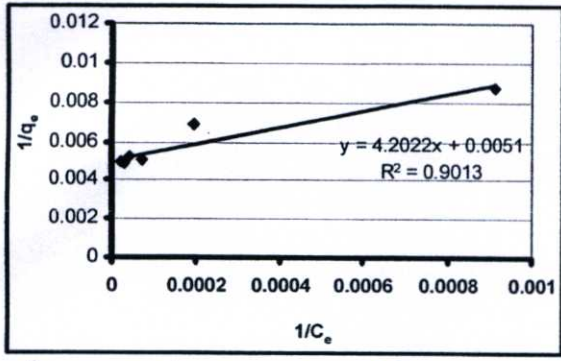


รูปที่ 3 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส

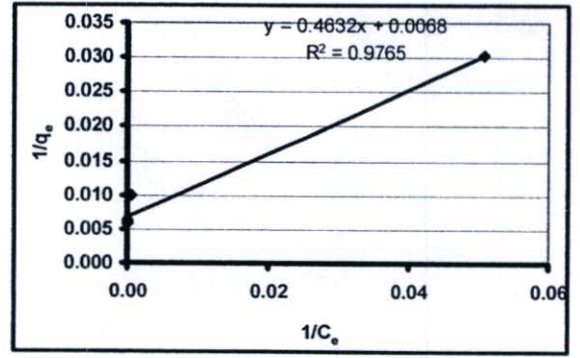
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich

การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิการดูดซับ 40 และ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich แสดงดังรูป 4 - 8 สามารถหาความชันและจุดตัดกราฟเพื่อใช้คำนวณปริมาณตัวดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับเมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวเกือบสมบูรณ์ (saturation capacity) (K_L/a_L) และค่าคงที่ (a_L) ของสมการ Langmuir รวมทั้งค่าคงที่การดูดซับ (K_F) และค่าคงที่ (n_F) ของสมการ Freundlich ดังแสดงในตารางที่ 1

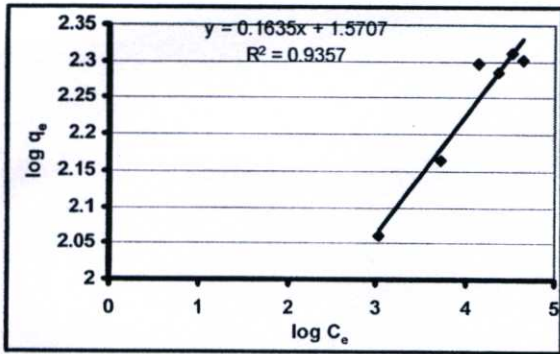
จากตารางที่ 1 พบว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) และผลต่างกำลังสอง (SS) ของปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลบนเรซิน Amberlyst A26OH จากสมการ Langmuir เท่ากับ 0.9013 และ 1934 ตามลำดับ และสมการ Freundlich มีค่าเท่ากับ 0.9357 และ 1781 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) และผลต่างกำลังสอง (SS) ของปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลบนเรซิน Amberlyst A26OH จากสมการ Langmuir เท่ากับ 0.9765 และ 1411 ตามลำดับ และสมการ Freundlich มีค่าเท่ากับ 0.9666 และ 1519 ตามลำดับ ซึ่งอาจอนุมานได้ว่าสมการของ Freundlich เหมาะสมกว่าสมการของ Langmuir เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเข้าใกล้ 1 มากกว่า และมีค่าผลต่างกำลังสอง (SS) น้อยกว่า



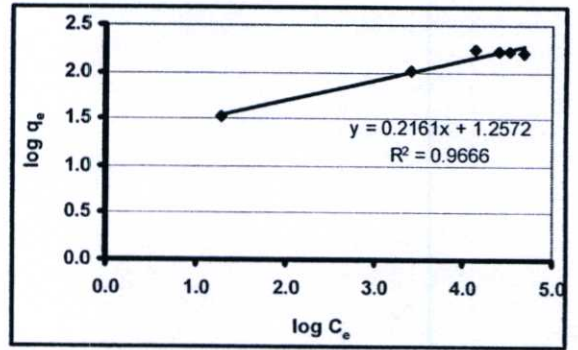
รูปที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ด้วยสมการแบบจำลองแบบ Langmuir ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



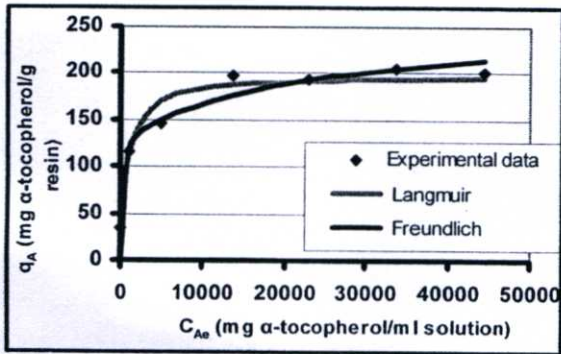
รูปที่ 7 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ด้วยสมการแบบจำลองแบบ Langmuir ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



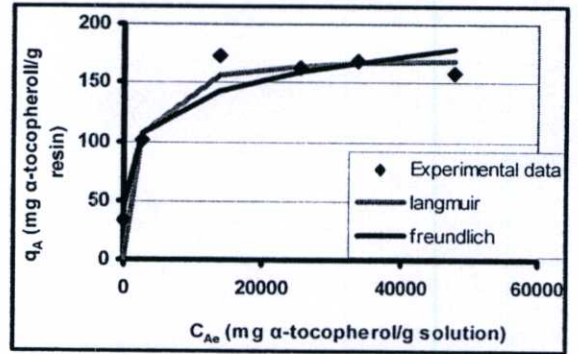
รูปที่ 5 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ด้วยสมการแบบจำลองแบบ Freundlich ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 8 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ด้วยสมการแบบจำลองแบบ Freundlich ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 6 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ด้วยสมการแบบจำลองแบบ Langmuir, Freundlich โดยใช้การวิเคราะห์แบบ non-linear regression ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 9 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนคาร์บอนกัมมันต์ด้วยสมการแบบจำลองแบบ Langmuir, Freundlich โดยใช้การวิเคราะห์แบบ non-linear regression ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Langmuir และ Freundlich

อุณหภูมิ (°C)	Langmuir					Freundlich			
	K_L/a_L	K_L	a_L	R^2	SS	K_F	n_F	R^2	SS
40	203.13	0.195	0.00096	0.9013	1934	41.41	6.55	0.9357	1781
50	173.02	0.109	0.00063	0.9765	1411	26.42	5.64	0.9666	1519

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลโดยใช้เรซิน Amberlyst A26OH 0.2 กรัม ดูดซับที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบในการเขย่า 180 รอบต่อนาที พบว่าการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนเรซิน Amberlyst A26OH ที่ความเข้มข้น 1,000, 5,000, 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่สมดุลที่เวลา 10 ชั่วโมง และที่ความเข้มข้น 20,000, 30,000, 40,000, 50,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เข้าสู่สมดุลที่เวลา 15 ชั่วโมง จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ พบว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลดีกว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลมีค่าเท่ากับ 34 และ 200 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมเรซิน Amberlyst A26OH ที่อยู่ในสมดุลกับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 0 และ 44.2 กรัมต่อลิตร เมื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับที่สมดุล พบว่าที่ความเข้มข้นแอลฟาโทโคเฟอรอลต่ำ การดูดซับจะมีประสิทธิภาพสูง และสภาวะทดลองที่อุณหภูมิต่ำกว่าจะมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงกว่าสภาวะทดลองที่อุณหภูมิสูง และจากการวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการ Langmuir และ Freundlich พบว่าข้อมูลการดูดซับมีค่าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากรูปแบบผลการดูดซับที่ความเข้มข้นโทโคเฟอรอลสูงกว่า 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเข้าสู่ค่าคงที่ ซึ่งสอดคล้องกับสมการของ Langmuir มากกว่า และตัวดูดซับชนิดเรซิน Amberlyst ทั่วไปมักมีลักษณะของสมการสมดุลการดูดซับเป็น Langmuir

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว) และบริษัทสุขสมบูรณ์น้ำมันปาล์ม จำกัด เป็นอย่างสูงที่ให้เงินทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] B.S. Chu, S.Y. Quek and B.S. Baharin, Optimisation of enzymatic for concentration of vitamin E in palm fatty acid distillate, J. Food Chemistry, 80, 2002, 295-302.
- [2] Vitamin E [Online]. Available : <http://www.geocities.com/vitamin/tocopherol.htm>
- [3] Ronald Eitenmiller, Junsoo lee, Vitamin E Food Chemistry ,Composition , and Analysis , New York and Basel, Marcel Dekker, Inc., 2004, p. 2.
- [4] McCabe, Warren L., Smith, Julian C. and Harriott, Unit Operation of Chemical Engineering, Fourth Edition, Singapore, McGraw-Hill, 1985, p. 686-687.
- [5] Samuel D.F. and Osman M.A., Adsorption Process for Water Treatment, Stoneham, Butterworth Publishers, 1987, p. 14-23.

- [6] จตุพร วิทยาคณ, นุรักษ์ กฤษดาบุรุษ, การเร่งปฏิกิริยาพื้นฐานและการประยุกต์, พิมพ์ครั้งที่1, กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547, 74-76.
- [7] B.S. Chu, S.Y. Baharin, Y.B. Che Man, S.Y. Quek, Separation of vitamin E from palm fatty acid distillate using silica : I Equilibrium of batch adsorption, J.Food Engineering, 62, 2003, 97-103.
- [8] A. Proctor and J.F. Toro-Vazquez., The Freundlich isotherm in studying adsorption in oil processing, J. the American Oil Chemists Society, 73, 1627-1633.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นางสาวสุจิตรา กรมถิน
วันเดือนปีเกิด	วันที่ 8 มิถุนายน 2527
ที่อยู่	75 หมู่ 6 ต.หัวไทร อ.บางคล้า จ.ฉะเชิงเทรา 24110 โทร. 084-0963661
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ
ปีที่สำเร็จการศึกษา	2549
ผลงานทางวิชาการ	“สมมูลการดูดซับของแอลฟาโทโคเฟอรอลบน Amberlyte A26OH เรซิน” การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 18, 2551