

รายงานฉบับสมบูรณ์
โครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้
ประจำปี 2554

เรื่อง

การดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลด้วยตัวดูดซับซิลิกาที่
เตรียมจากเถ้าแกลบ

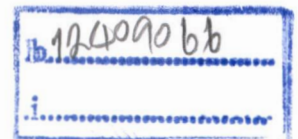
ดร. พรสวรรค์ อัครแสงรัตน์

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

RCH
GP
752
IF35

พ.284ก ค.1 เสนอ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....121213
วัน, เดือน, ปี 26 ส.ย. 2555



คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ชื่อโครงการวิจัย

(ภาษาไทย) การดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลด้วยตัวดูดซับซิลิกาที่เตรียมจากเถ้าแกลบ
(ภาษาอังกฤษ) ADSORPTION OF α -TOCOPHEROL ON SILICA FROM RICE HUSK

2. ผู้รับผิดชอบโครงการ

หัวหน้าโครงการวิจัย ดร. พรสวรรค์ อัครแสงรัตน์

3. วัตถุประสงค์โครงการวิจัย

ศึกษาการดูดซับและการคายซับของแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกาที่เตรียมจากเถ้าแกลบ

4. ชิ้นงานที่ต้องส่งมอบคณะฯ เมื่อสิ้นสุดโครงการ

บทความทางวิชาการ และ ตัวดูดซับซิลิกาที่เตรียมได้จากเถ้าแกลบ

5. จำนวนเงินวิจัยที่ได้รับอนุมัติ

64,900 บาท

6. สถานที่ทำการวิจัย

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ลงชื่อ

หัวหน้าโครงการวิจัย

(ดร. พรสวรรค์ อัครแสงรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลด้วยตัวดูดซับซิลิกาที่เตรียมจากเถ้าแกลบ
ชื่อนักวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย ดร. พรสวรรค์ อัครแสงรัตน์
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาสมมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการดูดซับของวิตามินอีบนตัวดูดซับซิลิกา จากการตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับซิลิกาโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ พบว่าประกอบด้วยซิลิกา 91.48 เปอร์เซ็นต์ และการตรวจวัดพื้นที่และปริมาตรของรูพรุนด้วยวิธีบีที พบว่าพื้นที่ผิวของตัวดูดซับซิลิกาเท่ากับ 152.84 ตารางเมตรต่อกรัม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนเท่ากับ 14.62 นาโนเมตร การทดลองการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล ที่ความเข้มข้น 500 – 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในตัวทำละลายเฮกเซนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าตัวดูดซับซิลิกาสามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนได้ดีที่สุดที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 6,731 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ปริมาณ 64.75 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมตัวดูดซับซิลิกา และใช้เวลาในการเข้าสู่สมมูลการดูดซับ 9 ชั่วโมง วิเคราะห์ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับโดยใช้เครื่อง HPLC ที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร จากผลการศึกษาสมมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir และ Freundlich ได้สมการคือ $q_e = \frac{0.0701C_e}{1 + 0.0019C_e}$ และ $q_e = 0.7086C_e^{0.4806}$ ตามลำดับ และมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ของสมการไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich คือ 0.9187 และ 0.8842 ตามลำดับ ซึ่งสมการของ Langmuir เหมาะสมที่จะใช้อธิบายสมมูลของการดูดซับมากกว่าสมการของ Freundlich และแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับซิลิกาปริมาณ 30.24 มิลลิกรัม หรือคิดเป็นประสิทธิภาพการดูดซับ 33.87 เปอร์เซ็นต์ ไอโซโพรพานอลสามารถคายซับได้ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการเข้าสู่สมมูลการคายซับ 2.5 ชั่วโมง คิดเป็นปริมาณการคายซับ 13.58 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอล ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การคายซับ 44.91 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 วิตามินอี.....	3
2.1.1 สูตรโครงสร้างวิตามินอี.....	3
2.1.2 แหล่งที่พบวิตามินอี.....	3
2.1.3 ประโยชน์ของวิตามินอี.....	4
2.2 ซิลิกา (Silica).....	4
2.3 ทฤษฎีการดูดซับ.....	4
2.3.1 กลไกการดูดซับ.....	5
2.3.2 ประเภทของการดูดซับ.....	5
2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	7
2.4 สมดุลของการดูดซับ.....	7
2.4.1 แบบจำลองสมดุลการดูดซับ.....	9
2.4.2 แบบจำลอง Langmuir.....	9
2.4.3 แบบจำลอง Freundlich.....	11
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	11
บทที่ 3 การดำเนินการทดลอง.....	13
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	13
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้การทดลอง.....	13
3.3 การเตรียมสารเคมีสำหรับการทดลอง.....	14
3.4 วิธีการทดลอง.....	14
3.4.1 การเตรียมตัวดูดซับซิลิกาจากเถ้าแกลบที่ผ่านการต้มกรด.....	14
3.4.2 การทำกราฟมาตรฐานสารละลายแอลฟาโทเฟอร์อลสำหรับการดูดซับ....	15
3.4.3 การทำกราฟมาตรฐานสารละลายแอลฟาโทเฟอร์อลสำหรับการคายซับ...	15
3.4.4 ศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอร์อล.....	16
3.4.5 ศึกษาการคายซับแอลฟาโทโคเฟอร์อลจากตัวดูดซับซิลิกา.....	16
3.4.6 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ.....	16
3.4.7 การวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอร์อลโดยใช้เครื่อง HPLC.....	17
3.4.8 การวิเคราะห์คุณสมบัติและคุณสมบัติของตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด.....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง.....	18
4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของตัวดูดซับซิติกาจากถั่วแกลบ.....	18
4.1.1 ผลการตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับโดยวิธีการ เรืองแสงของรังสีเอ็กซ์.....	18
4.1.2 ผลการตรวจวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนด้วยวิธีบีอีที.....	19
4.2 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล.....	19
4.3 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ.....	20
4.3.1 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ.....	20
4.3.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ.....	21
4.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich.....	22
4.4 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอล.....	24
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	25
เอกสารอ้างอิง.....	26
ภาคผนวก ก เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	29
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลอง.....	31
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ.....	36
บทความทางวิชาการ.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญของประเทศไทย ซึ่งมีการเพาะปลูกเป็นจำนวนมาก โดยอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ได้สนใจในด้านการแปรรูปน้ำมันปาล์มเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มทั้งในสินค้าอุปโภคและบริโภค โดยน้ำมันปาล์มดิบจะมีวิตามินอี (โทโคเฟอรอลและโทโคไตรอีนอล) เป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 600 – 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นถ้าสามารถแยกวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มได้ ก็นับว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำมันปาล์มได้เป็นอย่างดี เพราะวิตามินอีเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีราคาสูง

วิตามินอีจัดอยู่ในกลุ่มวิตามินชนิดละลายในไขมันโดยประกอบด้วยสาร 2 กลุ่มใหญ่ คือ โทโคเฟอรอล (Tocopherols) และโทโคไตรอีนอล [1] มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ ซึ่งช่วยทำให้การทำหน้าที่ของระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น โดยขัดขวางปฏิกิริยาออกซิเดชันในร่างกาย เนื่องจากวิตามินอีเป็นสารที่ไวต่อการถูกออกซิไดซ์มาก จึงถูกออกซิไดซ์แทนสารอื่นในร่างกาย ส่งผลให้เป็นสารที่ป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidation) ของไขมันไม่อิ่มตัว (Lipid peroxides) ที่อาจรวมตัวกับออกซิเจนในร่างกายก่อให้เกิดอนุมูลอิสระ นอกจากนี้วิตามินอียังเป็นสารต้านการแข็งตัวของเลือด ช่วยเพิ่มการทำงานของอินซูลิน ทำให้ระบบประสาทดีขึ้น รักษาอาการเป็นหมัน และเชื่อว่าสามารถทำให้สารก่อมะเร็งไม่รบกวนในการก่อโรคได้ [2] โดยวิตามินอีที่พบส่วนใหญ่ในธรรมชาติเป็นหมู่ฟังก์ชันแอลฟาโทโคเฟอรอล (α -Tocopherol) จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้วิตามินอีเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมยา อาหาร และเครื่องสำอางเป็นอย่างมาก ซึ่งการแยกวิตามินอีโดยการดูดซับจึงเป็นทางเลือกหนึ่ง เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก และใช้พลังงานต่ำ เหมาะสำหรับการแยกสารที่มีปริมาณน้อยๆ ออกจากสารส่วนใหญ่

ถ้าแก่กลบเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าวคิดเป็น 15-20 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของปริมาณข้าวเปลือก โดยปริมาณถ้าแก่กลบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี เฉพาะปี 2550 ประเทศไทยผลิตข้าวเปลือกได้ประมาณ 32 ล้านตัน [3] นั่นคือมีปริมาณถ้าแก่กลบจากการสีข้าวเปลือกประมาณ 6 ล้านตัน ถ้าแก่กลบทั่วไปมีซิลิกาผสมอยู่ประมาณ 13-29 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก [4] ส่วนที่เหลือเป็นสารประกอบออกไซด์และไฮโดรคาร์บอน สารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้เมื่อได้รับความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 350 - 400 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และสารประกอบออกไซด์ ส่งผลให้ความเข้มข้นของซิลิกาในถ้าแก่กลบมีปริมาณสูงขึ้น ซึ่งซิลิกาที่ได้มีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูง เป็นตัวดูดซับที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ไม่มีรส ไม่มีพิษ กำจัดความชื้นได้ง่าย จึงมีการประยุกต์ใช้ซิลิกามาดูดซับสารที่มีประโยชน์โดยเฉพาะวิตามินอี จากการศึกษาพบว่าซิลิกาเป็นตัวดูดซับที่สามารถดูดซับสารที่มีขั้วและไม่ขั้วได้ และเนื่องจากวิตามินอีเป็นสารที่มีขั้วและไม่ขั้วอยู่ด้วยกัน จึงมีความเป็นไปได้ที่ตัวดูดซับซิลิกาสามารถดูดซับวิตามินอี โดยทำการศึกษาการดูดซับและการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันหนึ่งของวิตามินอี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ศึกษาการดูดซับและการคายซับของแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกาที่เตรียมจากเถ้าแกลบ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาวิธีการสกัดตัวดูดซับซิลิกาจากเถ้าแกลบ
2. ศึกษาคุณลักษณะและคุณสมบัติของตัวดูดซับซิลิกาจากเถ้าแกลบ
3. ศึกษาการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา
4. ศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล
5. ศึกษาการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลจากตัวดูดซับซิลิกา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เผยแพร่ในวารสารวิชาการเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในระดับโรงงานต้นแบบได้
2. แนวทางการแยกวิตามินอีออกจากน้ำมันปาล์มดิบโดยการดูดซับด้วยตัวดูดซับซิลิกา เพื่อเพิ่มมูลค่าของน้ำมันปาล์มดิบ เพิ่มมูลค่าเถ้าแกลบและลดภาระการฝังกลบเถ้าแกลบ
3. สามารถใช้ไอโซเทอมในการอธิบายรูปแบบกระบวนการดูดซับด้วยตัวดูดซับซิลิกา
4. ผลิตสารดูดซับสำหรับกระบวนการแยกวิตามินอีให้บริสุทธิ์สำหรับอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

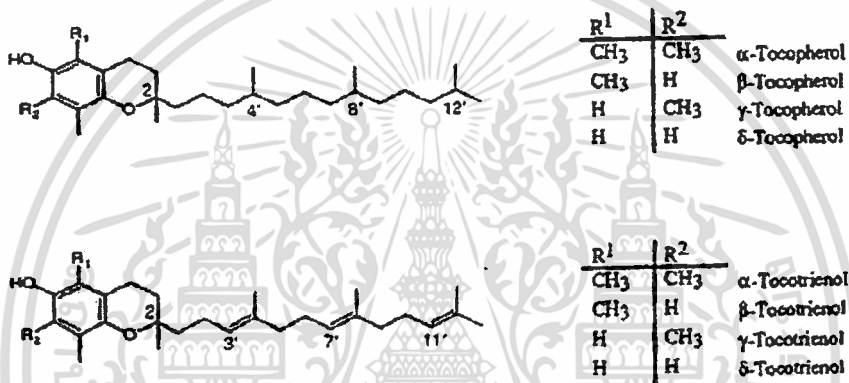
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิตามินอี (Vitamin E)

2.1.1 สูตรโครงสร้างของวิตามินอี [5]

วิตามินอีที่พบโดยธรรมชาติมี 8 ชนิด คือ แอลฟา บีตา แกมมา และเดลตา โทโคเฟอร์อล (α , β , γ , and δ - Tocopherols) และแอลฟา บีตา แกมมา และเดลตาโทโคไตรีนอล (α , β , γ , and δ -Tocotrienols) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันที่จำนวนและตำแหน่งของหมู่เมทิล ดังรูปที่ 2.1 โดยแอลฟาโทโคเฟอร์อล (α - Tocopherols) เป็นชนิดที่พบมากที่สุดโดยธรรมชาติ



วิตามินอีมีลักษณะเป็นน้ำมันชั้นหนืด สีเหลือง ละลายได้ดีในไขมัน แต่ไม่ละลายในน้ำ ในสภาวะปกติวิตามินอี สามารถทนความร้อนได้เพียง 35 องศาเซลเซียส แต่ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนสามารถทนความร้อนได้ถึง 200 องศาเซลเซียส มีความทนต่อกรดและสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนแต่ไม่ทนต่อด่างและรังสีอัลตราไวโอเล็ต รวมทั้งถูกทำลายเมื่อสัมผัสกับน้ำมันที่เหม็นหืน ตะกั่วและเหล็ก

2.1.2 แหล่งที่พบวิตามินอี [6]

วิตามินอีมีมากในพืชแต่พบน้อยมากในสัตว์ อาหารที่ให้วิตามินอี ได้แก่ อาหารจำพวกผักและถั่วต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง ดอกคำฝอย ข้าวบาเลย์ ข้าวโพด เมล็ดทานตะวัน นอกจากนี้ยังพบในผักใบเขียวและพบน้อยลงในเนื้อ ปลา ผลไม้ เป็นต้น

2.1.3 ประโยชน์ของวิตามินอี [7-9]

1. เพิ่มภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายเนื่องจากเมื่ออายุมากขึ้นประสิทธิภาพของระบบคุ้มกัน ในร่างกายจะลดลงทำให้เกิดโรคได้ง่าย เช่น โรคหวัด มีรายงานการวิจัยว่าคนแก่ทั้งผู้หญิงและผู้ชาย ที่รับประทานวิตามินอี 60, 200 และ 800 มิลลิกรัมต่อวัน เป็นเวลา 235 วัน หลังจากนั้น 4 เดือน ตรวจเช็คระบบภูมิคุ้มกัน พบว่าผู้ที่รับประทานวิตามินอีมีภูมิคุ้มกันมากกว่าผู้ที่ไม่ได้รับวิตามินอี
2. ลดการเกิดโรคหัวใจ โดยวิตามินอีจะไปยับยั้ง Oxidation ของ LDL (Low-density lipoprotein) หรือคอเลสเตอรอลที่ร่างกายไม่ต้องการ ดังนั้นจึงสามารถลดการสะสมไขมัน ในหลอดเลือด รวมทั้งวิตามินอีจะไปยับยั้งการสร้างเซลล์ที่ผลิตไขมัน
3. ลดการเกิดโรคความจำเสื่อม (Alzheimer) นักวิจัยที่มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย รายงานว่า ภายใต้อัลลอยด์ของอะไมลอยด์ (amyloid) หรือสารที่สะสมในสมองของผู้ที่เป็น โรคความจำเสื่อมลงบนเซลล์ประสาทนิวโรน พบว่าเซลล์จะแตกและสลายตัว
4. เป็นตัวควบคุมการเกิดโรคเบาหวาน โดยพบว่าผู้ที่รับวิตามินอีในปริมาณที่มาก เป็นโรคเบาหวานน้อยกว่าผู้ที่รับวิตามินอีในระดับต่ำกว่าประมาณ 88 เปอร์เซ็นต์
5. เป็นสารต้านมะเร็ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะเร็งผิวหนัง มะเร็งต่อมลูกหมาก ผู้ที่รับวิตามินอี จะเป็นมะเร็งต่อมลูกหมากน้อยกว่าผู้ที่ไม่รับวิตามินอี 32 เปอร์เซ็นต์
6. ช่วยบรรเทาอาการเจ็บปวด จากการอักเสบของข้อ (Rheumatoidarthritis) และอาการ สะบัดร้อนสะบัดหนาวในผู้หญิงวัยใกล้หมดประจำเดือน
7. ช่วยบรรเทาแผลเป็น ดังนั้นจึงนิยมใส่วิตามินอีในเครื่องสำอาง

2.2 ซิลิกา (Silica) [10]

ซิลิกาเป็นสารประกอบชนิดหนึ่ง สูตรเคมีคือ SiO_2 จุดหลอมเหลว 1,700 องศาเซลเซียส จุดเดือด 2,230 องศาเซลเซียส มีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐานและมีรูพรุนจำนวนมาก ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ กำจัดความชื้นได้ง่าย มีพื้นที่ผิวกว้างและมีความแข็งแรง ในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของทราย ควอตซ์และหินบางชนิด

2.3 ทฤษฎีการดูดซับ [11,12]

การดูดซับ (Adsorption) คือกระบวนการที่เกิดขึ้นที่พื้นผิวสัมผัสระหว่าง 2 เฟส โดยอะตอมหรือโมเลกุลของสารหนึ่งยึดติดอยู่กับผิวของอีกสารหนึ่ง โดยสารที่พื้นผิวเกิดการดูดซับขึ้น เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนสารที่ยึดติดอยู่ที่ผิวหน้า เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) สมดุลการดูดซับเป็นความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลระหว่างความเข้มข้นของ ตัวถูกดูดซับในเฟสของไหลและความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในอนุภาคของตัวดูดซับ ณ อุณหภูมิหนึ่ง สำหรับก๊าซความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับจะแสดงในรูปเปอร์เซ็นต์โดยมวลหรือความดันย่อย สำหรับของเหลวความเข้มข้นจะแสดงในหน่วยมวล เช่น มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับของแข็งมักแสดงในรูปมวลที่ถูกดูดซับไว้ต่อหน่วยมวลของตัวดูดซับ

องค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลายหรือก๊าซมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซับได้ต่างกัน ดังนั้นปรากฏการณ์และปริมาณการดูดซับจึงขึ้นกับลักษณะโครงสร้างของสารนั้นเอง สารที่โครงสร้างหรือที่การเรียงตัวของโมเลกุลแตกต่างกัน เมื่ออยู่ในที่เดียวกันจะมีประจุแตกต่างกัน การค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ จำนวนชั้นของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ บนพื้นผิว และรูพรุน ของตัวดูดซับ ทำให้ความสามารถในการแยกองค์ประกอบ ที่ต้องการออกจากสารละลายหรือก๊าซ จะขึ้นอยู่กับทางเลือกตัวดูดซับให้เหมาะสมกับองค์ประกอบ

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

2.3.1 กลไกการดูดซับ [13]

การดูดซับเป็นการถ่ายเทมวลจากของเหลวหรือก๊าซมายังของแข็ง โดยการดูดติดผิว จะเกิดขึ้นเป็น 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่มายังบริเวณรอบนอกของแข็ง

ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะแพร่ (Diffusion) เข้าไปในรูพรุนของของแข็ง

ขั้นตอนที่ 3 เกิดการดูดซับของตัวถูกดูดซับที่พื้นผิวภายในของแข็ง ซึ่งอาจติดผิวด้วย แรงทางกายภาพ แรงทางเคมีหรือแรงทั้งสองชนิดรวมกัน

2.3.2 ประเภทของการดูดซับ [14-17]

การดูดซับแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของ ตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) หรือ ฟิซิชอพซัน (Physisorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) หรือ เคมิซอพซัน (Chemisorption)

การดูดซับทางกายภาพ

การดูดซับทางกายภาพ เป็นการดูดซับที่อ่อนและไม่มีการเกิดพันธะเคมีเกิดขึ้น แรงดึงดูดระหว่าง อะตอมของผิวหน้าตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง การดูดซับทางกายภาพเป็นกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ ที่เกิดขึ้นได้เอง โดยการดูดซับอาจจะเกิดซ้อนกันแบบหลายชั้น (Multilayer) องค์ประกอบหลักของ การดูดซับทางกายภาพ คือ ธรรมชาติของสาร แรงระหว่างผิวสัมผัส และความสามารถ ในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวดูดซับที่ถูกดูดซับ

การดูดซับทางกายภาพเป็นปฏิกิริยาผันกลับได้ และเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic) อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะถูกจำกัดโดยอัตราการแพร่ของมวลตัวถูกดูดซับมายังผิวหน้า ของตัวดูดซับ

การดูดซับทางเคมี

เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับผิวของตัวถูกดูดซับ มีพันธะเคมีเป็นแรงในการดูดซับ โดยมีค่ามากกว่าแรงในการดูดซับทางกายภาพ ส่งผลให้มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอม หรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมใหม่เป็นสารประกอบใหม่ขึ้นมาโดยเกิดปฏิกิริยา เคมีขึ้นระหว่างการดูดซับและมีพันธะระหว่างอะตอมที่แข็งแรง โดยมักเกิดการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)

การดูดซับทางเคมีสามารถเกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ

1) การดูดซับทางเคมีที่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น (Activated chemisorptions) การดูดซับ

ลักษณะนี้อัตราเร็วในการดูดซับจะขึ้นกับอุณหภูมิตามสมการของอาร์เรเนียส ($k = k_0 e^{-E/RT}$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การดูดซับทางเคมีที่ไม่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น (Nonactivated chemisorptions) การดูดซับลักษณะนี้ อัตราเร็วการดูดซับจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ค่าพลังงานกระตุ้นต่ำ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการเกิดการดูดซับทางเคมีในช่วงแรกต้น มักจะเป็นการดูดซับที่ไม่ต้องอาศัยพลังงานกระตุ้น หลังจากนั้นกระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นกับอัตราที่ช้าลงและมีผลของอุณหภูมิเข้ามาเกี่ยวข้อง

ข้อแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่างการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี [18]

ลักษณะ	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1. แรงที่กระทำ	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมีเรียกว่า แรงกระตุ้นในการดูดซับ (Activated adsorption)
2. การดูดซับแบบอิมิตัว	แบบหลายชั้น	แบบชั้นเดียว
3. พลังงานกระตุ้น	ไม่มีพลังงานกระตุ้น	อาจจะมีหรือไม่มีพลังงานกระตุ้น
4. ช่วงของอุณหภูมิ	การดูดซับโดยมากจะเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเดือดของตัวดูดซับ	การดูดซับสามารถทำได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของตัวถูกดูดซับได้
5. ความร้อนในการดูดซับ	1 กิโลแคลอรีต่อโมล	50-100 กิโลแคลอรีต่อโมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [18-20]

1. ลักษณะของตัวดูดซับ

คุณสมบัติของตัวดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับ ประกอบด้วย พื้นที่ผิวสัมผัสและโครงสร้างของรูพรุน โดยความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้นถ้าพื้นที่ผิวสัมผัสการดูดซับมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การคำนึงถึงพื้นที่ผิวสัมผัสอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะทำให้การดูดซับมีประสิทธิภาพ โครงสร้างของรูพรุนของตัวดูดซับก็มีส่วนช่วยในการดูดซับ เพราะถ้าหากขนาดของโมเลกุลไม่สามารถถูกดูดซับเข้าไปในรูพรุนได้ ประสิทธิภาพของการดูดซับก็จะต่ำลง ดังนั้นความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ และสำหรับตัวดูดซับที่ไม่มีรูพรุนจะมีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้นถ้ามีขนาดเล็กลง อัตราการดูดซับจึงแปรผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ แต่สำหรับตัวดูดซับที่มีรูพรุนมากๆ การดูดซับจะขึ้นกับรูพรุนมากกว่าขนาด

2. ลักษณะของตัวถูกดูดซับ

คุณสมบัติของตัวถูกดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับ คือ ความสามารถในการละลาย ความมีขั้วของโมเลกุล น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล

2.1 ความสามารถในการละลาย เมื่อความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น ความสามารถในการดูดซับจะลดลง เนื่องจากการดูดซับจำเป็นต้องให้ตัวถูกละลายแยกตัวออกจากตัวทำละลายแล้วไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น หากใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย สารที่ละลายน้ำได้ดีย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับน้ำสูง จึงเป็นการยากต่อการดูดซับ แต่หากเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย จะสามารถเกาะติดบนผิวตัวดูดซับได้ดี

2.2 ความมีขั้วของโมเลกุล ความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่อสภาพขั้ว (Polarity) เพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มสภาพขั้วเป็นการเพิ่มความสามารถในการละลาย

2.3 น้ำหนักและขนาดของโมเลกุล เกี่ยวข้องกับความสามารถในการละลาย เพราะเมื่อน้ำหนักและขนาดของโมเลกุลเพิ่มขึ้น ความสามารถในการละลายจะลดลง

3. อุณหภูมิ

การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มอัตราเร็วของการดูดซับ แต่อย่างไรก็ตามการดูดซับส่วนใหญ่เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจะเป็นการลดการดูดซับลง

4. เวลา

เวลาเป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ สำหรับการบำบัดน้ำเสีย ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดจะต้องนานเพียงพอที่จะทำให้ตัวดูดซับทำงานได้ดีและมีประสิทธิภาพมากที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวดูดซับ และตัวถูกดูดซับ ซึ่งระยะเวลาที่เหมาะสมต้องมีการทำการศึกษาก่อนในระดับปฏิบัติการจริง

2.4 สมดุลของการดูดซับ [21]

สมดุลของการดูดซับเป็นความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในวัฏภาคของของไหลและความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับในอนุภาคของตัวดูดซับ ณ อุณหภูมิหนึ่ง สำหรับก๊าซความเข้มข้นในวัฏภาคของของไหลจะแสดงในรูปร้อยละโดยมวลหรือความดันย่อย สำหรับของเหลวความเข้มข้นจะแสดงในรูปหน่วยมวล เช่น มิลลิกรัมต่อลิตรหรือไมโครกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับบนของแข็งมักแสดงในรูปมวลที่ถูกดูดซับไว้ต่อหน่วยมวลของตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาสมดุลและจลนศาสตร์ของการดูดซับ (Adsorption) และการคายซับ (Desorption) เป็นสิ่งที่ช่วยให้เข้าใจกระบวนการแยกได้ดียิ่งขึ้น และสามารถแยกสารได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกนำมาอธิบายสมดุลในการดูดซับในงานวิจัยต่างๆ

การทดลองหาไอโซเทอมการดูดซับนั้น มีประโยชน์สำหรับการหาค่าความจุของการดูดซับเพื่อความสะดวกในการประเมินค่าการดำเนินงานของกระบวนการ สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้การเลือกตัวดูดซับที่เหมาะสม และการกำหนดปริมาณตัวดูดซับที่ต้องการในเบื้องต้น นอกจากนี้ ไอโซเทอมการดูดซับยังมีบทบาทในการทำนายกระบวนการจำลองสำหรับวิเคราะห์และออกแบบระบบดูดซับ และไอโซเทอมการดูดซับยังใช้สำหรับการประเมินทางทฤษฎีและการอธิบายปัจจัยทางเทอร์โมไดนามิกส์ เช่น ค่าความร้อนของการดูดซับ ซึ่งแบบจำลองสมดุลต่างๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการอธิบายไอโซเทอมการดูดซับ

ไอโซเทอมของการดูดซับทางกายภาพมีความหลายหลาย ขึ้นกับชนิดของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับ ในปี ค.ศ. 1945 Brunauer ได้จำแนกชนิดของไอโซเทอมออกเป็น 6 ชนิด แสดงดังรูปที่ 2.2 ซึ่งมีชื่อที่เรียกเป็นไปตามระบบ IUPAC [15]

ชนิดที่ 1 เรียกว่าไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm) สำหรับการดูดซับที่ถือว่าเป็นชั้นเดียว ตามสมการของแลงเมียร์ (Langmuir Equation) ที่มีพื้นที่ผิวของการดูดซับมีความเป็นเนื้อเดียวกัน และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกดูดซับ ไอโซเทอมแบบนี้มักจะพบในวัสดุที่มีความพรุนแต่ผิวหน้ามีพื้นที่ต่ำ เช่น ซีโอไลต์ หรือ ถ่านกัมมันต์บางชนิด ทำให้การดูดซับเกิดขึ้นเร็วในตอนต้น และเกิดการอิ่มตัวอย่างรวดเร็วทำให้ค่าการดูดซับคงที่ กรณีเช่นนี้ ปริมาตรของรูพรุนจะมีค่ามากกว่าปริมาตรที่ทำให้เกิดการดูดซับชั้นเดียวมาก การดูดซับแบบนี้จะพบในการดูดซับที่ย้อนกลับได้

ชนิดที่ 2 บางครั้งจะเรียกว่า Sigmoid หรือไอโซเทอมรูปตัวเอส (S-Shaped Isotherm) มักจะเกิดกับวัสดุที่ไม่มีความพรุน หรือมีรูพรุนขนาดใหญ่หรือมาโครพอร์ส (Macroporous) ตำแหน่ง B เป็นตำแหน่งที่ผิวหน้าถูกคลุมแบบชั้นเดียวแล้ว หลังจากนั้นจึงเริ่มการดูดซับแบบหลายชั้น ดังนั้นปริมาณการดูดซับที่จุด B จะสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาพื้นที่ผิวได้ การดูดซับแบบนี้ย้อนกลับได้

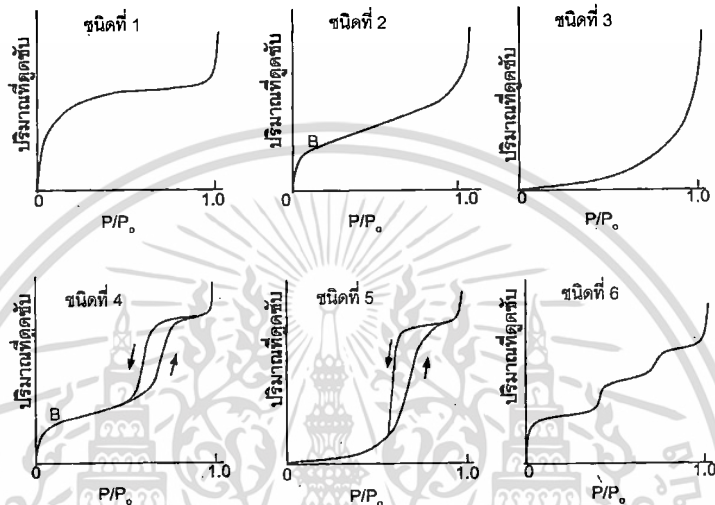
ชนิดที่ 3 มีรูปร่างเหมือนกระจกเว้า ไอโซเทอมแบบนี้ไม่ค่อยพบบ่อย จะเกิดกับการดูดซับที่อ่อน เกิดเนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับมีค่าต่ำ เช่นการดูดซับของสารที่มีขั้วบนวัสดุที่ไม่มีขั้ว หลังจากผิวหน้าถูกคลุมหมดแล้ว การดูดซับจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว แสดงถึงแรงดูดซับระหว่างตัวถูกดูดซับกับเองมีสูง ตัวอย่างการดูดซับแบบนี้ได้แก่การดูดซับของไอน้ำบนแกรไฟต์

ชนิดที่ 4 มักจะพบในวัสดุที่มีรูพรุนแบบมีโซพอร์ส (Mesopore) คือมีขนาดของรูพรุนขนาดเล็กระหว่าง 2 ถึง 50 นาโนเมตร การดูดซับในช่วงแรกซึ่งมีค่า P/P_0 ต่ำจะเหมือนกับไอโซเทอมชนิดที่ 2 แต่หลังจากนั้นค่าการดูดซับจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อค่า P/P_0 มาก ซึ่งเกิดจากการควบแน่นในรูขนาดเล็กแบบคาปิลารี ซึ่งทำให้เกิดฮิสเทอรีซิส ซึ่งเกิดจากเส้นกราฟของการดูดซับและเส้นกราฟของการคายซับไม่ทับกัน เพราะการคายซับเกิดได้ยากกว่า เพราะต้องเอาชนะแรงคาปิลารี ขนาดของการควบแน่นในรูขนาดเล็กสามารถนำมาคำนวณหาการกระจายของขนาดของรูพรุน (Pore-size distribution) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดที่ 5 เหมือนกับชนิดที่ 4 ต่างกันเพียงการควมแน่นในรูพรุนในกรณีนี้เกิดขึ้นเมื่อค่า P/P_0 สูงกว่า เนื่องจากอันตรกิริยาระหว่างตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับมีค่าต่ำ ส่วนอิทธิพลที่สังเกตจากการดูดซับและการคายซับ ก็เกิดจากการเอาชนะแรงคาปิลารีในการดึงตัวถูกดูดซับออกมา ไอโซเทอมชนิดนี้พบไม่บ่อยนัก

ชนิดที่ 6 เรียกว่าเป็นไอโซเทอมแบบขั้นบันได (Stepped isotherm) ซึ่งพบได้ไม่บ่อยนัก เกิดจากการดูดซับที่ละชั้นบนผิวหน้าที่มีหลายชั้นและความเป็นระเบียบสูง ความชันของเส้นกราฟ จะขึ้นกับอุณหภูมิ



รูปที่ 2.2 ไอโซเทอมทั้ง 6 ชนิด ตามการจำแนกของ IUPAC

2.4.1 แบบจำลองสมการการดูดซับ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถูกนำมาใช้อธิบายสมการการดูดซับ โดยแบบจำลองที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับโครงการนี้คือ Langmuir และ Freundlich ซึ่งเป็นสมการที่ได้รับการยอมรับการใช้งานโดยทั่วไป โดยจะนำแบบจำลองทั้งสองนี้มาทำการทดสอบความเหมาะสมสำหรับเส้นโค้งสมมูลในแต่ละตัวอย่าง

2.4.2 แบบจำลองของ Langmuir [22,23]

สมการไอโซเทอมของ Langmuir เป็นสมการแรกๆ ในการพัฒนาไอโซเทอมการดูดซับต่อมา จึงมีการนำเสนอสมการอื่นขึ้นมาภายหลังเพื่ออธิบายผลของการทดลองในช่วงที่สมการ Langmuir ไม่สามารถอธิบายได้ โดยพัฒนามาจากแนวคิดของไอโซเทอมแบบ Langmuir ดังนั้นสมการ Langmuir จึงมีความสำคัญต่อการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี โดยสมการที่ได้จะพิจารณาจากเทอร์โมไดนามิกส์และอธิบายโดยใช้หลักการทางจลนพลศาสตร์

หลักการดูดซับแบบ Langmuir มาจากสมมติฐานดังต่อไปนี้

- การดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว
- โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับบนพื้นผิวแบบหนึ่งต่อหนึ่ง
- พลังงานในการดูดซับในแต่ละตำแหน่งบนพื้นผิวมีค่าเท่าๆกัน และไม่มีอันตรกิริยาระหว่างตำแหน่งตัวถูกดูดซับด้วยกัน
- มีสมมูลเกิดขึ้นระหว่างการดูดซับและการคายซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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; อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊สเข้าไปบนพื้นผิวของของแข็งและควบแน่นในตำแหน่งว่างเท่ากับอัตราการระเหยของโมเลกุลจากตำแหน่งที่ถูกปกคลุม เพราะฉะนั้นอัตราในการดูดซับจะเท่ากับอัตราในการคายซับ

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

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

โดย 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 ค่าคงที่อัตราของเอนโทรปีสำหรับระบบที่เป็นของแข็ง-ของเหลว

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

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

โดย q_e คือ ปริมาณของตัวที่ถูกดูดซับต่อหน่วยกรัมของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัม)

q_m คือ ปริมาณตัวที่ถูกดูดซับที่เกิดจากปกคลุมพื้นผิวแบบชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์ (monolayer capacity) (มิลลิกรัมต่อกรัม)

C_e คือ ความเข้มข้นของตัวที่ถูกดูดซับที่เหลืออยู่ในวัฏภาคของไหลในสภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากสมการที่ 2.8 สามารถเขียนเป็นสมการเส้นตรงได้หลายรูปแบบดังสมการต่อไปนี้

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

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

2.4.3 แบบจำลองของ Freundlich

สมการการดูดซับแบบ Freundlich อธิบายการดูดซับที่มีพื้นที่ผิวแบบ Non-uniformity โดยหลักการเกิดการดูดซับมาจากสมมติฐานดังต่อไปนี้

- โมเลกุลของตัวดูดซับแต่ละโมเลกุลที่ตำแหน่งต่างๆ บนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะไม่มีผลกระทบต่อกัน
- การดูดซับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะเกิดขึ้นแบบหลายชั้นโดยสมการของ Freundlich แสดงดังสมการ

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

เมื่อจัดรูปให้อยู่ในสมการเส้นตรงจะได้ว่า

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

โดย K_F คือ ค่าคงที่สมดุลของสมการ Freundlich
 n_F คือ ค่าคงที่ไร้หน่วย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

J. Jame และ R.S. Rao [24] ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบแกลบ พบว่าแกลบประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 5 ส่วน คือ แกลบ 20 เปอร์เซ็นต์ เซลลูโลส (Cellulose) 38 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน (Lignin) 22 เปอร์เซ็นต์ เพนโทส (Pentose) 18 เปอร์เซ็นต์ และสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ 2 เปอร์เซ็นต์

F. Adam [25] ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของแกลบที่ได้จากการเผาแกลบ พบว่าแกลบมีองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิกาออกไซด์ (Silica oxide, SiO₂) มากกว่า 94 เปอร์เซ็นต์

Proctor และ Shultz [26] ได้ศึกษากระบวนการสกัดซิลิกาบริสุทธิ์จากแกลบ โดยสามารถสกัดซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์ถึง 93 เปอร์เซ็นต์ และความชื้น 2.6 เปอร์เซ็นต์

B.S. Chu และคณะ [27] ทำการศึกษาการแยกวิตามินอีจากกรดไขมันที่ได้จากการกลั่น โดยใช้ตัวดูดซับซิลิกาในระบบการดูดซับแบบกะที่มีการเขย่า สมดุลของกระบวนการดูดซับ

ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในการดูดซับ อัตราเร็วในการเขย่าและน้ำหนักของตัวดูดซับซิลิกา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า การดูดซับเป็นแบบคายความร้อน ความจุของการดูดซับเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบในการเขย่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่น้ำหนักของตัวดูดซับซิลิกา น้อยๆ จะทำให้มีความหนาแน่นของการดูดซับสูง จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโดยใช้แบบจำลอง ไอโซเทอมของ Langmuir, Freundlich และ Redlich-Peterson พบว่าแบบจำลองของ Redlich-Peterson จะดีที่สุดในการทำนายสมดุลการดูดซับของวิตามินอี แต่การศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองของ Langmuir ต่อไป เพราะมีความคลาดเคลื่อนน้อย และจากการศึกษาค่าตัวแปรของการดูดซับทางจลนพลศาสตร์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการดูดซับเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน ซึ่งจะได้ค่าความร้อนของ เอนทาลปี เอนโทรปี และค่าพลังงานอิสระ (Gibbs Free Energy) มีค่าเป็นลบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้น

B.S. Chu และคณะ [28] ทำการทดลอง Batch desorption ของวิตามินอีจากตัวดูดซับซิลิกาเป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา และอัตราการกวน ที่มีต่อจลนพลศาสตร์การคายซับ และสมดุลการคายซับ พบว่าวิตามินอีถูกดูดซับอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มแรกและจะช้าลงมากในช่วงถัดมา โดยค่าคงที่อัตราการคายซับเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงขึ้น ทำให้ทราบว่า การคายซับวิตามินอีออกจากตัวดูดซับซิลิกาเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน และอัตราการดูดซับเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการกวนสูงขึ้น

Martin Hartmann และคณะ [29] ทำการศึกษาการดูดซับวิตามินอีโดยใช้ตัวดูดซับคาร์บอนที่มีรูพรุนขนาดกลาง CMK-1 และ CMK-3 จากสารละลายวิตามินอีที่ใช้ตัวทำละลายต่างชนิดกัน คือ ตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว (*n*-heptane) และตัวทำละลายที่มีขั้ว (*n*-butanol) ที่ความเข้มข้นต่างกัน จากนั้นนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับ การดูดซับโดยใช้ตัวดูดซับคาร์บอนกัมมันต์ซึ่งมีรูพรุนขนาดเล็ก (activated carbon) ปริมาณวิตามินอีที่ดูดซับได้จากการใช้ชนิดตัวดูดซับที่ต่างกันนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดตัวทำละลาย ปริมาตรรูพรุนขนาดกลาง และพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ จากการศึกษาพบว่า การใช้ตัวทำละลายไม่มีขั้ว (*n*-heptane) จะเกิดการดูดซับวิตามินอีได้มากกว่า และตัวดูดซับชนิด CMK-3 สามารถดูดซับวิตามินอีได้มากที่สุด เนื่องจาก CMK-3 มีปริมาตรรูพรุนจำเพาะขนาดกลางมากกว่า

บทที่ 3

การดำเนินการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. กรดไฮโดรคลอริก
2. โซเดียมไฮดรอกไซด์
3. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน
4. แอลฟาโทโคเฟอรอล 95 เปอร์เซ็นต์
5. เฮกเซน 99 เปอร์เซ็นต์
6. ไอโซโพรพานอล
7. แก๊สไนโตรเจน 99.5 เปอร์เซ็นต์
8. เมทานอล เกรด HPLC
9. อะซิโตนไนโตร เกรด HPLC

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่งอย่างละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. บีกเกอร์
3. เครื่องกรองสุญญากาศ
4. ตู้อบ
5. เตาเผา
6. เครื่องให้ความร้อนและกวนสารด้วยแม่เหล็ก
7. กระจกกรอง
8. แท่งแก้วคนสาร
9. ชามระเหย
10. ตะแกรงขนาดรู 125 ไมโครเมตร
11. ไมโครปิเปต
12. หลอดหยด
13. บีกเกอร์ขนาด 250, 500 และ 1000 มิลลิลิตร
14. ขวดวัดปริมาตรขนาด 10, 100 และ 1000 มิลลิลิตร
15. ขวดสีชาขนาด 5, 10 และ 100 มิลลิลิตร
16. เครื่องเหวี่ยงแยก
17. ซ้อนตักสาร
18. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
19. เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมสารเคมีสำหรับการทดลอง

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3.0 โมลาร์

ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 เปอร์เซ็นต์ โดยมวลต่อปริมาตร 257 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดบอกปริมาตร

- สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1.0 โมลาร์

ปิเปตสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ 33.3 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดบอกปริมาตร

- สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0 โมลาร์

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40.00 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ถ่ายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดบอกปริมาตร

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การเตรียมตัวดูดซับซิลิกาจากเถ้าแกลบที่ผ่านการต้มกรด

1. ชั่งแกลบประมาณ 100 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
2. เทกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลต่อลิตร 750 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ที่มีแกลบ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
3. ล้างแกลบที่ผ่านการต้มกรดด้วยน้ำกลั่นจนมีค่า pH เท่ากับ 7
4. นำแกลบที่ผ่านการล้างกรดแล้วไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. ชั่งแกลบที่ผ่านการอบ 22 กรัม ใส่ชามระเหย นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
6. นำเถ้าจากการเผามาบด และร่อนผ่านตะแกรงขนาดรู 125 ไมโครเมตร
7. นำเถ้าแกลบ 10 กรัม ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ 60 มิลลิลิตร
8. ให้ความร้อนจนเดือดพร้อมปั่นกวน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
9. กรองเอาตะกอนออก พร้อมล้างตะกอนด้วยน้ำร้อน 100 มิลลิลิตร
10. นำสารละลายที่ได้จากการกรองทั้งหมดทิ้งไว้ให้เย็น
11. ปรับ pH ของสารละลายดังกล่าวให้มีค่าเป็น 7 โดยใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ และใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์
12. ปล่อยให้เกิดเจลเป็นเวลา 18 ชั่วโมง
13. เติมน้ำลงไป 100 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนบดเจลให้แตกตัว
14. นำไปเหวี่ยงแยกเจลออกที่ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
15. นำของเหลวที่ได้จากการเหวี่ยงแยกทิ้งไป ผสมน้ำลงไปใหม่แล้วเหวี่ยงแยกอีก ทำซ้ำ 2 ครั้ง
16. นำเจลที่ผ่านการล้างแล้วไปอบในเครื่องอบแห้ง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
17. นำซิลิกาที่ผ่านการอบ มาบดและร่อนตะแกรงขนาดรู 125 ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การทำกราฟมาตรฐานสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล สำหรับการดูดซับ

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอลเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 0.1 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเฮกเซนให้ถึงขีดบอกปริมาตร เขย่าสารละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอลเข้มข้น 500, 1,000, 2,000, 5,000, 8,000 และ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 0.8 และ 1 กรัม ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเฮกเซนให้ถึงขีดบอกปริมาตร เขย่าสารละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน
3. นำสารละลายที่ได้ในแต่ละขวด ไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC
4. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่พีคที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC กับค่าความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล

3.4.3 การทำกราฟมาตรฐานสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล สำหรับการคายซับ

1. เตรียมสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอลเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 0.1 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยไอโซโพรพานอลให้ถึงขีดบอกปริมาตร เขย่าสารละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอลเข้มข้น 500, 1,000, 2,000, 5,000, 8,000 และ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 0.8 และ 1 กรัม ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเฮกเซนให้ถึงขีดบอกปริมาตร เขย่าสารละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน
3. นำสารละลายที่ได้ในแต่ละขวด ไปวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง HPLC
4. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่พีคที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC กับค่าความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล

3.4.4 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา

1. ชั่งตัวดูดซับซิลิกา 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดสีชาขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เตรียมสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. เติมสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เตรียมไว้ ใส่ลงในขวดสีชาขนาด 10 กรัม
4. ไล่อากาศด้านบนขวดด้วยก๊าซไนโตรเจนและปิดฝาขวดป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
5. นำไปเขย่าด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0, 1, 2, 4, 6, 12, 17, 20 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
6. แยกสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลจากตัวดูดซับซิลิกา
7. นำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เหลืออยู่ โดยใช้เครื่อง HPLC

3.4.5 การศึกษาการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลจากตัวดูดซับซิลิกา

1. นำตัวดูดซับซิลิกาที่ผ่านการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5,631 มิลลิกรัมต่อลิตรจนถึงสภาวะสมดุลมาล้างด้วยเฮกเซน จำนวน 3 ครั้ง

2. นำไปวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอล โดยใช้เครื่อง HPLC

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เติมไอโซโพรพานอล 10 กรัมต่อตัวดูดซับซิลิกาในข้อ 1 ปริมาณ 0.5 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 10 และ 13 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
4. แยกสารละลายที่คายซับจากตัวดูดซับซิลิกา
5. นำไปวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอล โดยใช้เครื่อง HPLC
6. นำผลการทดลองที่ได้คำนวณหาปริมาณการคายซับ โดยคำนวณจากสมการ 3.1 และหาเปอร์เซ็นต์การคายซับได้จากสมการ 3.2

$$\text{ปริมาณที่คายซับ (mg)} = \frac{\text{ความเข้มข้นสารละลายจากการคายซับ (mg/l)} \times \text{ปริมาณตัวทำละลาย (g)}}{1000 \times \text{ความหนาแน่นตัวทำละลาย (g/ml)}} \quad (3.1)$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์การคายซับ (\%)} = \frac{\text{ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลจากการคายซับ (mg)}}{\text{ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลในตัวดูดซับซิลิกา (mg)}} \times 100 \quad (3.2)$$

3.4.6 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ

1. เตรียมสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนที่ความเข้มข้น 500, 1,000, 2,000, 5,000, 7,000, 8,000 และ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
2. ชั่งตัวดูดซับซิลิกา 0.5 กรัม ใส่ลงในขวดสี่ขาขนาด 100 มิลลิลิตร
3. เติมสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เตรียมไว้ที่ความเข้มข้นต่างๆ ใส่ลงในขวดสี่ขาขนาด 10 กรัม
4. ใส่อากาศด้านบนขวดด้วยก๊าซไนโตรเจนและปิดฝาขวดป้องกันการเกิดออกซิเดชัน
5. นำไปเขย่าด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส
6. แยกสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลจากตัวดูดซับซิลิกา
7. นำสารตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เหลืออยู่ โดยใช้เครื่อง HPLC
8. นำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับโดยคำนวณจากสมการที่ 3.3 และ 3.4 ตามลำดับ

$$q_e (\text{mg/g silica}) = \left[\frac{(C_0 - C_e)}{m \times d \times 1000} \right] \times m_{sol} \quad (3.3)$$

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} = \left[\frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \right] \times 100 \quad (3.4)$$

โดย	q_e	คือ ปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับซิลิกาที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับซิลิกา)
	C_0	คือ ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	C_e	คือ ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	m	คือ น้ำหนักของตัวดูดซับซิลิกา (กรัม)
	m_{sol}	คือ น้ำหนักของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ใช้ในการดูดซับ (กรัม)
	d	คือ ความหนาแน่นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล (กรัมต่อมิลลิลิตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรมการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 การวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลโดยใช้เครื่อง HPLC

1. กรองสารที่ต้องการวิเคราะห์ด้วย Nylon Syringe Filters ที่มีขนาดรูเท่ากับ 0.45 ไมโครเมตร
2. นำสารที่ผ่านการกรองวิเคราะห์ด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์

คอลัมน์: Phenomenex

เครื่องตรวจวัด: UV-Visible ที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร

อัตราการไหลของสารตัวพา: 1 มิลลิลิตรต่อนาที

ปริมาณสารที่ใช้ในการวิเคราะห์: 60 ไมโครลิตร

3.4.8 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

1. การตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRFs)

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอ็กซ์ฟลูออเรสเซนซ์ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง

2. การตรวจวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนโดยใช้วิธีบีอีที (BET, Brunauer-Emmett-Teller Method)

การตรวจวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนด้วยวิธีบีอีที (BET, Brunauer-Emmett-Teller Method) โดยอาศัยการดูดซับของก๊าซไนโตรเจนบนตัวดูดซับ

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของตัวดูดซับซิลิกาจากเถ้าแกลบ

4.1.1 ผลการตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับซิลิกาโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRFs)

การตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับซิลิกาจากเถ้าแกลบ โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-Ray Fluorescence หรือ XRFs) แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับซิลิกาโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ ในรูปออกไซด์

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ซิลิกา (SiO ₂)	91.48
อะลูมินา (Al ₂ O ₃)	0.05
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	0.02
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	1.78
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.19
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.02
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO ₂)	0.01
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.01
ฟอสฟอรัสเพนตะออกไซด์ (P ₂ O ₅)	0.01
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO ₃)	0.02
แมงกานีสออกไซด์ (MnO)	0.01
คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO)	0.01
น้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผาที่ 1,000 องศาเซลเซียส	6.38

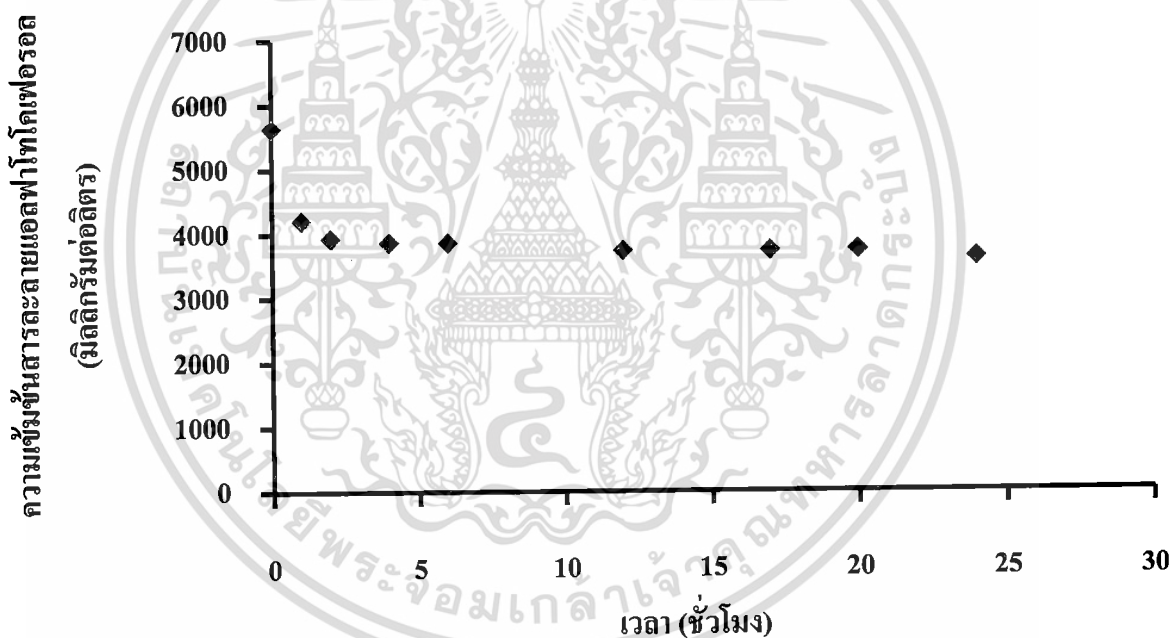
จากตารางที่ 4.1 พบว่าตัวดูดซับซิลิกาจากเถ้าแกลบมีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) เป็นองค์ประกอบอยู่ 91.48 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

4.1.2 ผลการตรวจวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนด้วยวิธีบีอีที (BET, Brunauer-Emmett-Teller Method)

จากการตรวจวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนด้วยวิธีบีอีทีของตัวดูดซับซิลิกา พบว่าตัวดูดซับซิลิกามีพื้นที่ผิว (Surface Area) เท่ากับ 152.84 ตารางเมตรต่อกรัม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุน (Average Pore Diameter) เท่ากับ 14.62 นาโนเมตร

4.2 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล

ศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา โดยใช้ตัวดูดซับซิลิกา 0.5 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนความเข้มข้นเริ่มต้น 5,631 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 10 กรัม เขย่าด้วยความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 1, 2, 4, 6, 12, 17, 20 และ 24 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1 พบว่าสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลมีความเข้มข้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นจะลดลงและเริ่มคงที่ที่เวลา 9 ชั่วโมง

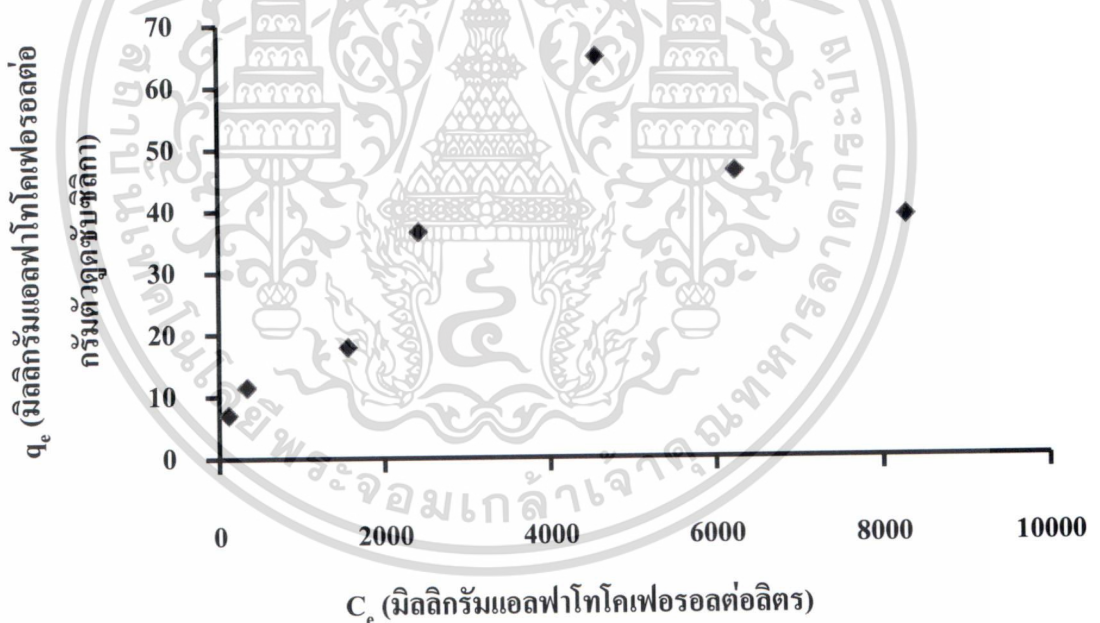


รูปที่ 4.1 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา

4.3 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ

4.3.1 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

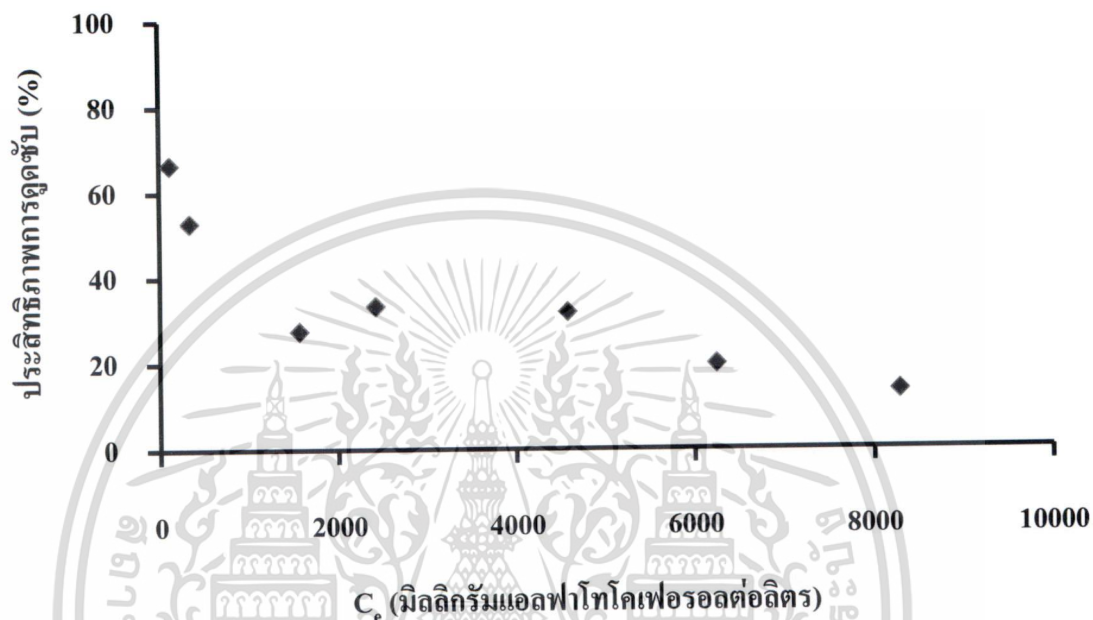
การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา โดยใช้ตัวดูดซับซิลิกา 0.5 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนความเข้มข้นเริ่มต้น 348, 718, 2,158, 3,639, 6,731, 7,791 และ 9,592 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 10 กรัม เขย่าด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมตัวดูดซับซิลิกาจะเพิ่มสูงขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้นมากกว่า 6,731 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าตัวดูดซับซิลิกาสามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ลดลง เนื่องจาก ที่ความเข้มข้นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลสูง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแอลฟาโทโคเฟอรอลมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแอลฟาโทโคเฟอรอลกับโมเลกุลตัวดูดซับซิลิกา จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกามีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าตัวดูดซับซิลิกาสามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล (q_e) ได้มากที่สุดที่ปริมาณ 64.75 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมตัวดูดซับซิลิกา โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น 6,731 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ไอโซเทอมการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา

4.3.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกากับความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่สภาวะสมดุล ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 พบว่า การดูดซับมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูง การดูดซับได้เข้าสู่การดูดซับที่อิ่มตัวแบบมากเกินไปที่ตัวดูดซับจะดูดซับได้ จึงทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซับต่ำ



รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา

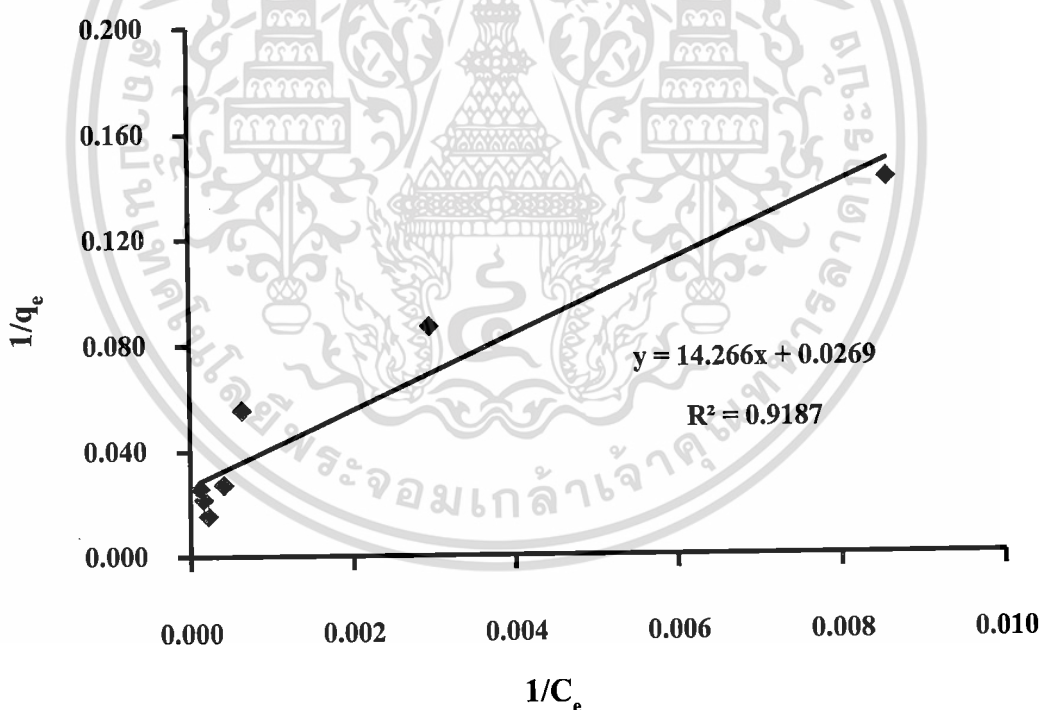
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich

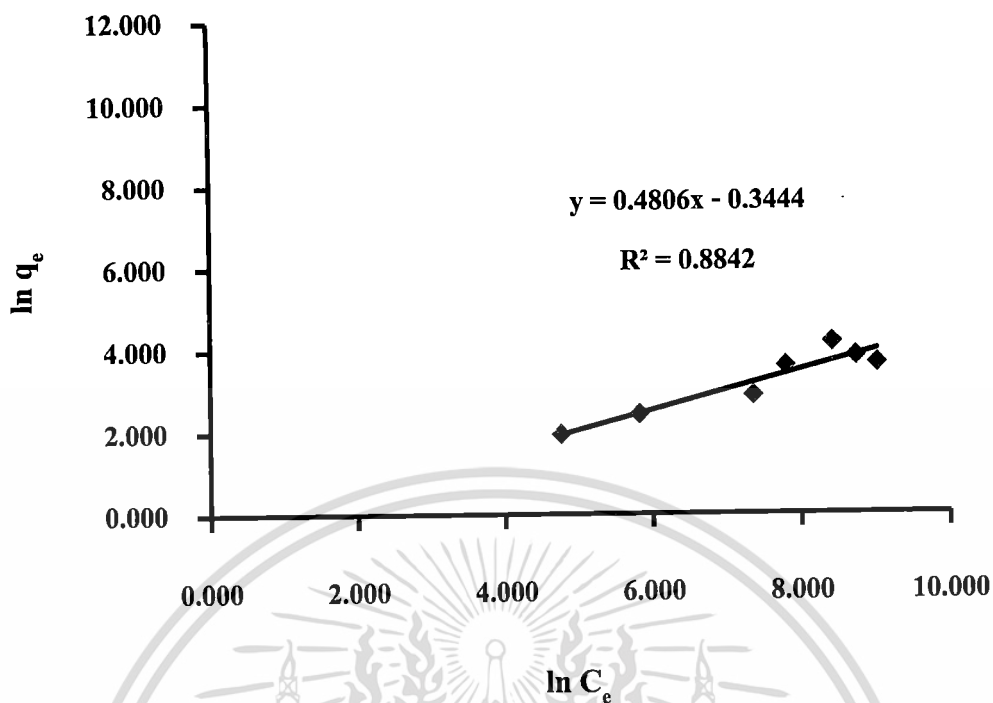
การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ด้วยสมการของ Langmuir และ Freundlich แสดงดังรูปที่ 4.4-4.5 จากกราฟหาค่าความชันและจุดตัดแกน เพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนักของตัวถูกดูดซับ ต่อ น้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวเกือบสมบูรณ์ (q_m) และค่าคงที่ (b) ของสมการ Langmuir รวมทั้งค่าคงที่การดูดซับ (K_F) และค่าคงที่ (n_F) ของสมการ Freundlich แสดงดังตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 พบว่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) จากสมการของ Langmuir เท่ากับ 0.9187 และสมการของ Freundlich เท่ากับ 0.8842 ซึ่งกล่าวได้ว่าสมการของ Langmuir เหมาะสมที่จะใช้อธิบายสมดุลการดูดซับมากกว่าสมการของ Freundlich เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) เข้าใกล้ 1 มากกว่า ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ B.S. Chu และคณะ [26] ที่ศึกษาการแยกวิตามินอีจากกรดไขมันที่ได้จากการกลั่นโดยใช้ตัวดูดซับซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับ และศึกษาไอโซเทอมการดูดซับพบว่า สมการของ Langmuir สามารถอธิบายสมดุลการดูดซับได้ดีกว่าสมการของ Freundlich

จากข้อมูลข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่า ตัวดูดซับซิลิกาอาจเป็นตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สำหรับค่า q_m มีค่าเท่ากับ 37.1747 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าคงที่ b มีค่าเท่ากับ 0.0019 และค่าคงที่การดูดซับ (K_F) มีค่าเท่ากับ 4.4486 และค่าคงที่ (n_F) เท่ากับ 0.5436



รูปที่ 4.4 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir



รูปที่ 4.5 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Freundlich

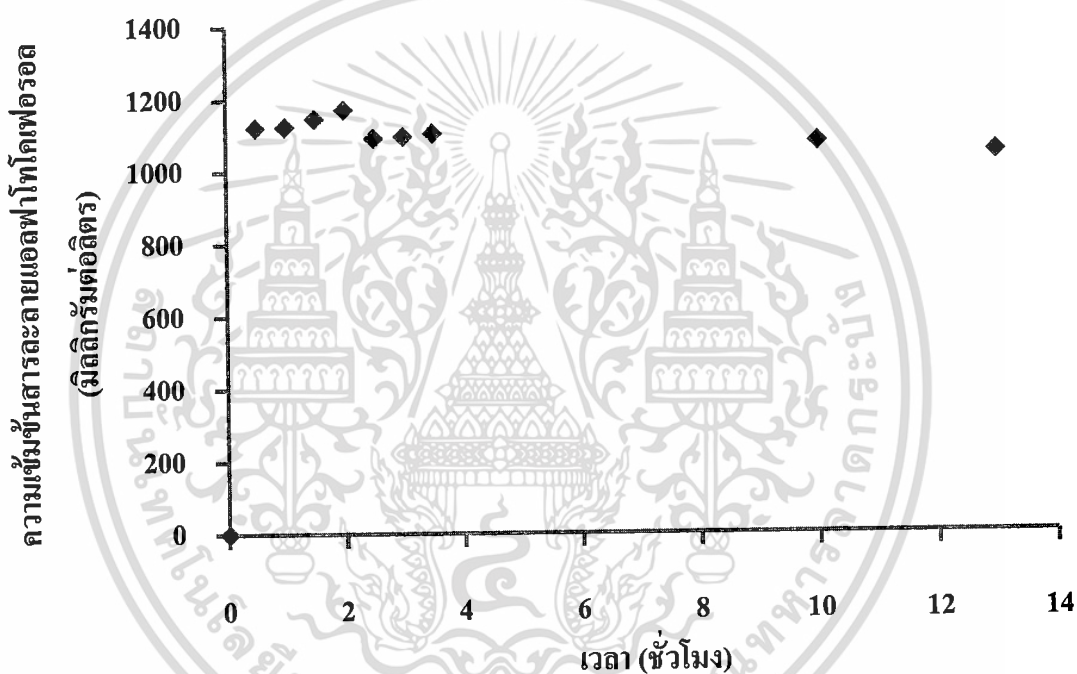
ตารางที่ 4.2 ค่าตัวแปรที่ได้จากการคำนวณสมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich

Langmuir			Freundlich		
q_m	b	R^2	K_F	n_F	R^2
37.1747	0.0019	0.9187	0.7086	2.0807	0.8842

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการคายซับอลฟาโทโคเฟอรอล

การศึกษาการคายซับอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา โดยใช้ตัวดูดซับซิลิกา ที่ผ่านการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5,631 มิลลิกรัมต่อลิตรจนถึงสภาวะสมดุล ซึ่งมีปริมาณการดูดซับ 30.24 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอล ทำการทดลองโดยใช้ตัวดูดซับซิลิกาปริมาณ 0.5 กรัม มาทำการคายซับด้วยตัวทำละลายไอโซโพรพานอล 10 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 10 และ 13 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่าความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลมีแนวโน้มคงที่ที่เวลา 2.5 ชั่วโมงจนถึง 13 ชั่วโมง โดยไอโซโพรพานอลสามารถคายซับอลฟาโทโคเฟอรอลได้ 13.58 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอล ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การคายซับ 44.91 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.6 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการคายซับอลฟาโทโคเฟอรอล

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกาพบว่า ในช่วงเวลาชั่วโมงแรก การดูดซับเกิดขึ้นได้ดี หลังจากนั้นจะลดลงเรื่อยๆจนคงที่ โดยเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของตัวดูดซับซิลิกาคือ 9 ชั่วโมง และพบว่าตัวดูดซับซิลิกาสามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล (q_e) ได้มากที่สุดที่ปริมาณ 64.75 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอล ต่อกรัมตัวดูดซับซิลิกา โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น 6,731 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยกรัมของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล(q_e) และ

ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือที่สภาวะสมดุล(C_e) คือ $q_e = \frac{0.0701C_e}{1 + 0.0019C_e}$ และ

$q_e = 0.7086C_e^{0.4806}$ ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) จากสมการของ Langmuir และ Freundlich คือ 0.9187 และ 0.8842 ตามลำดับ จะเห็นว่าสมการของ Langmuir จะสามารถทำนายการดูดซับได้ดีกว่าสมการของ Freundlich ดังนั้นการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกาจึงเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

จากการศึกษาการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลด้วยตัวทำละลายไอโซโพรพานอล พบว่า เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลการคายซับคือ 2.5 ชั่วโมง และจากแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับซิลิกาในปริมาณ 30.24 มิลลิกรัม ไอโซโพรพานอลสามารถคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ 13.58 มิลลิกรัม ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การคายซับ 44.91 เปอร์เซ็นต์

เอกสารอ้างอิง

- [1] B.S. Chu, S.Y. Quek and B.S. Baharn. 2002. "Optimisation of enzymatic for concentration of vitamin E in palm fatty acid distillate." Journal of Food Chemistry. Vol. 80 : 295-302.
- [2] Vitamin E [Online]. Available : <http://www.gocities.com/vitamin/tocopherol.htm>
- [3] กรมวิชาการเกษตร [Online]. Available : <http://www.doa.go.th>
- [4] สันติ รัตนวีรนนท์ 2547. "เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเตรียมซีลีจากซีไธ้าแกลบ". วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : คณะวิทยาศาสตร์ สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [5] Ronald Eitenmiller, Junsoo lee. 2004. Vitamin E Food Chemistry, Composition, and Analysis. New York and Basel: Marcel Dekker. Inc. : 2.
- [6] นว 8ว สุนทรี เปรื่องการ. "วิตามินอี (Tocopherol)." [Online]. Available : http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/bsp_2_2544_tocopherol.pdf
- [7] Y.H Hui. Bailey's industrial oil and fat product. Technology and Commerce. International. 5th ed. John Wiley.
- [8] [Online]. Available: http://www.britanniafood.com/English/invitro_02/htm#characteristics.
- [9] [Online]. Available: <http://www.doa.go.th/th/ShowArticles>.
- [10] ตัวดูดซับซีลีกา [Online]. Available : www.vcharkarn.com/include/vcafe/showkratoo.php?Pid
- [11] McCabe, Warren L., Smith, Julian C. and Harriott. 1985. Unit Operation of Chemical Engineering. Fourth Edition. Singapore : McGraw-Hill. : 686-687.
- [12] กระบวนการดูดซับ (Adsorption) [Online]. Available : <http://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/>
- [13] Samuel D.F. and Osman M.A. 1987. Adsorption Process for Water Treatment. Stoneham : Butteerworth Publishers. : 14-23.
- [14] Frank L. Slejko. 1985. Adsorption Technology: A Step-by-Step Approach to process Evaluation and Applications. New York : Marcel Dekker.
- [15] จตุพร วิทยาคุณ และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์. 2547. การเร่งปฏิกิริยา พื้นฐานและการประยุกต์. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [16] รศ.ดร. วิทยา เรืองพรวิสุทธิ. 2547. ปฏิกิริยาเร่ง เคมีเกี่ยวกับผิวและปิโตรเคมี. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [17] Charles, N. and Satterfield. 1991. Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice. 2nd ed: New York : McGraw-Hill Book Company. : 31-50.

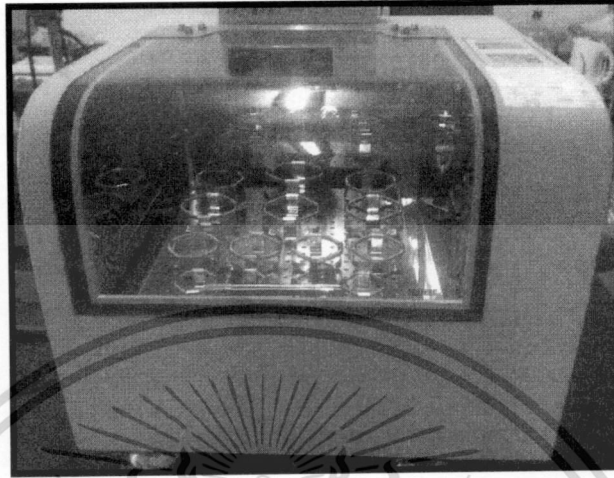
- [18] Vasanth Kumer., Subanandam , Ramamurthi and Sivanesan. 2004. Solid Liquid Adsorption for Wastewater Treatment [Online]. Available : <http://www.eco-web.com/cgi-local/index.html>
- [19] Oscik, J. Adsorption. New York : John Wiley & Sons. : 157-193.
- [20] Noll, K.E., Gounarous, V. and Hou, W. 1992. Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control. Michigan : Lewis. : 199-216.
- [21] McCabe, Warren L., Smith, Julian C. and Harriott, Peter. 2005. Unit Operation of Chemical Engineering. 7th Ed. Singapore : McGraw-Hill.
- [22] Frank L., Slejko. 1985. Adsorption Technology : A Step-by-step Approach to Process Evaluation and Application. New York : Tall Oaks Publishing. : 9-40.
- [23] Roop Chand Bansal and Meenakshi Goyal. 2005. Activated carbon Adsorption. New York : Taylor & Francis. : 3-10, 78-82, 145-148.
- [24] J. James, M.S. Rao, Am. Ceram. Soc. Bull. 65 (1986) 1177.
- [25] F. Adam. 1991. " The preparation and Adsorption Studies on Silica from Rice Husk Ash." MS thesis : Universiti Sains Malaysia Penang Malaysia.
- [26] Kalapathy, U., Proctor, A. and Shultz, J. 2000. "A simple method for production of pure silica from rice hull ash." Bioresource Technology 73 : 257-262.
- [27] B.S. Chu, S.Y. Baharin, Y.B. Che Man and S.Y. Quek. 2003. "Separation of vitamin E from palm fatty acid distillate using silica: I Equilibrium of batch adsorption." Journal of Food Engineering. Vol. 62. : 97-103.
- [28] B.S. Chu, S.Y. Baharin, Y.B. Che Man and S.Y. Quek. 2003 "Separation of vitamin E from palm fatty acid distillate using silica: III Batch desorption study." Journal of Food Engineering.
- [29] Martin Hartmann, A. Vinu, and G. Chandrasekar. 2004. "Adsorption of Vitamin E on Mesoporous Carbon Molecular Sieves." Chemical Technology : Kaiserslautern Germany.

ภาคผนวก

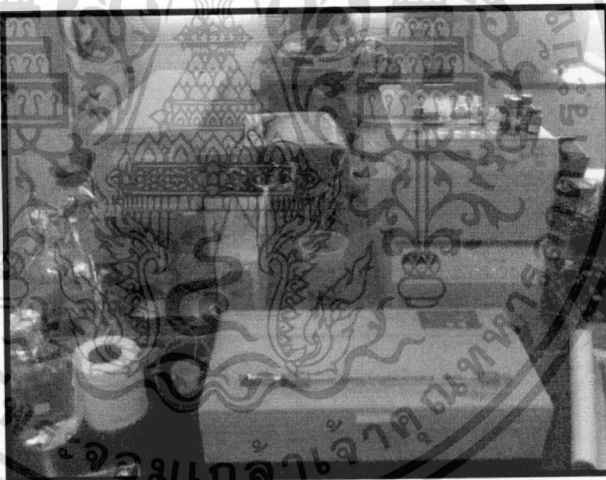


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ ก.1 เครื่องเขย่า ZHICHENG รุ่น ZHWY - 100B



รูปที่ ก.2 เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยใช้เครื่องตรวจวัด UV

Visible (Lab Alliance Model 201)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 เครื่องปั่นเหวี่ยงแยกสาร GEMMY รุ่น PLC - 012



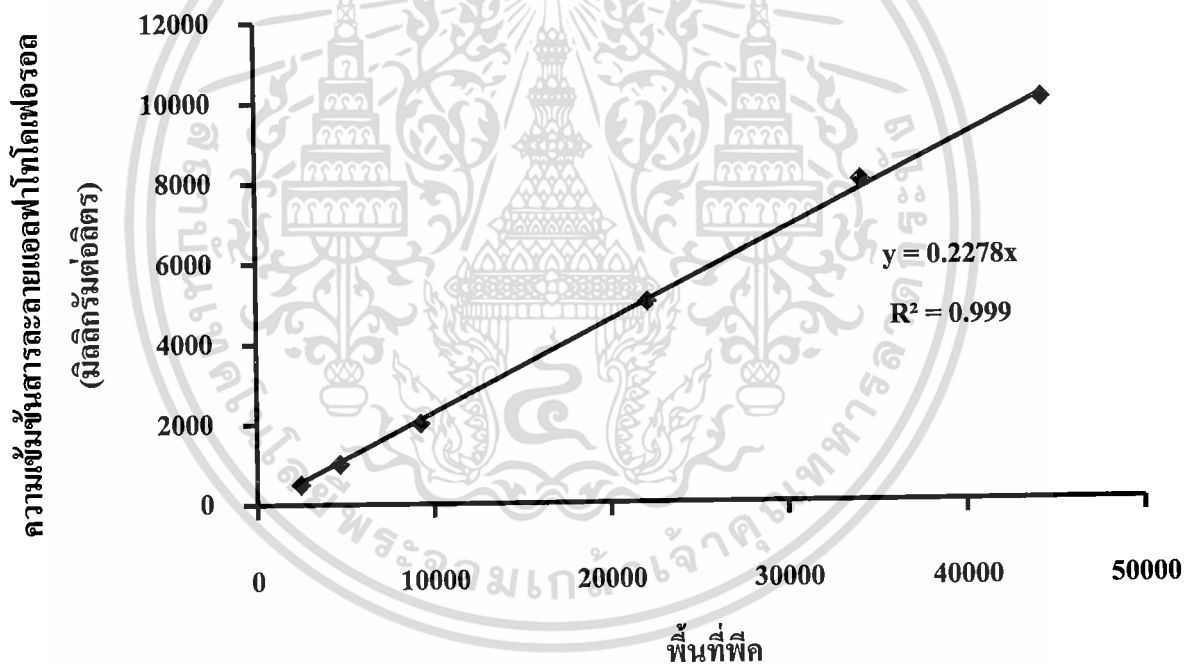
รูปที่ ก.4 ถังก๊าซไนโตรเจน 99.5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 พื้นที่ปลูกของสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซน
ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแอลฟา โทโคเฟอรอลในเฮกเซน(มิลลิกรัมต่อลิตร)	พื้นที่ปลูก
500	2,457.510
1,000	4,698.130
2,000	9,256.799
5,000	22,133.666
8,000	34,203.452
1,0000	44,359.194



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ

เวลา (ชั่วโมง)	พื้นที่พืค	ความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0	24,720.304	5,631.285
1	18,481.324	4,210.046
2	17,238.478	3,926.925
4	16,959.258	3,863.319
6	16,940.032	3,858.939
12	16,362.536	3,727.386
17	16,338.159	3,721.833
20	16,377.82	3,730.867
24	15,852.769	3,611.261

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลไอโซเทอมการดูดซับ

Q_e (มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อ กรัมตัวดูดซับซิลิกา)	ความเข้มข้นสารละลายแอลฟา โทโคเฟอรอลที่สภาวะสมดุล (C_e , มิลลิกรัมต่อลิตร)
116.67	7.020
338.006	11.520
1,564.883	17.960
2,424.531	36.592
4,578.627	64.749
6,248.327	46.199
8,287.773	38.865

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลประสิทธิภาพการดูดซับ

ความเข้มข้นสารละลายแอลฟา โทโคเฟอรอลเริ่มต้น (C_0 , มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นสารละลายแอลฟา โทโคเฟอรอลที่สภาวะสมดุล (C_e , มิลลิกรัมต่อลิตร)	ประสิทธิภาพการดูดซับ (เปอร์เซ็นต์)
348.323	116.670	66.505
718.173	338.006	52.935
2,158.468	1,564.883	27.500
3,639.404	2,424.531	33.280
6,731.957	4,578.627	31.884
7,791.546	6,248.327	19.685
9,592.506	8,287.773	13.471

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลการดูดซับสำหรับสมการของ Langmuir

$1/C_e$	$1/q_e$
0.0086	0.1425
0.0030	0.0868
0.0006	0.0557
0.0004	0.0273
0.0002	0.0154
0.0002	0.0216
0.0001	0.0257

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

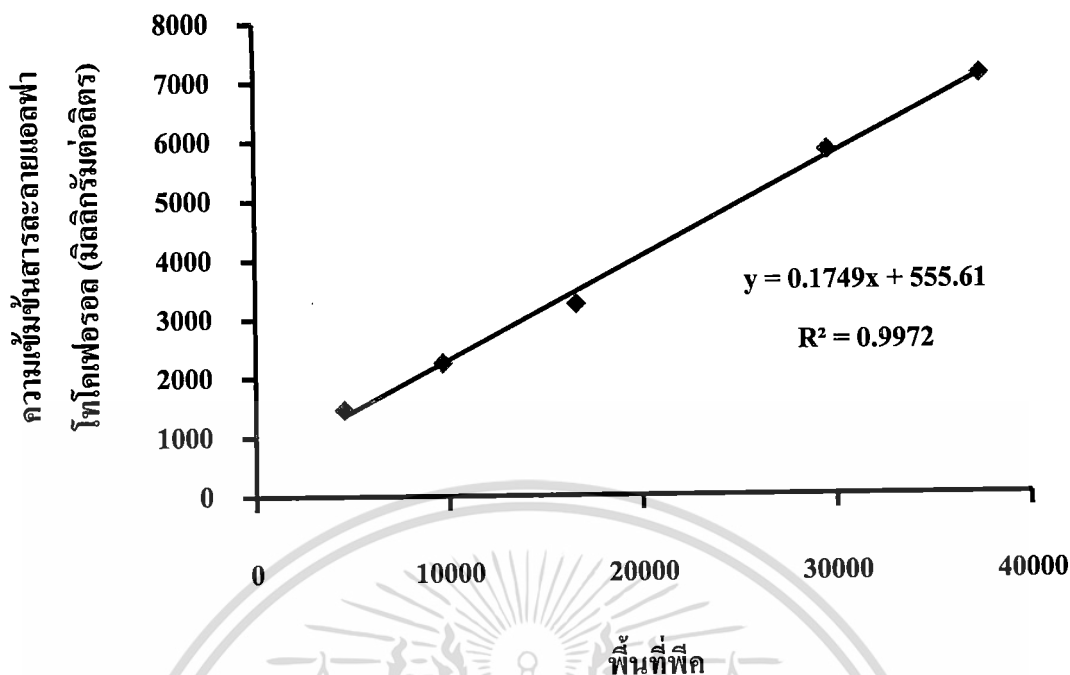
ตารางที่ ข.6 ข้อมูลการดูดซับสำหรับสมการของ Freundlich

$\ln C_e$	$\ln q_e$
4.759	1.949
5.823	2.444
7.356	2.888
7.793	3.600
8.429	4.171
8.740	3.833
9.023	3.660

ตารางที่ ข.7 พื้นที่ฟีดของสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอลในไอโซโพรพานอล ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐาน แอลฟาโทโคเฟอรอลในไอโซโพรพานอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	พื้นที่ฟีด
1,464	4,579.270
2,250	9,687.421
3,254	16,612.639
5,832	29,600.353
7,101	37,423.270

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 กราฟสารละลายมาตรฐานแอลฟาโทโคเฟอรอลในไอโซโพรพานอล

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลเวลาในการเข้าสู่สมดุลการคายซับ

เวลา (ชั่วโมง)	พื้นที่ขั้ว	ความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่สถานะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ปริมาณการคายซับ (มิลลิกรัม)	เปอร์เซ็นต์การคายซับ (เปอร์เซ็นต์)
0	0	0	0	0
0.5	3,263.892	1,123.517	13.967	46.188
1	3,277.377	1,125.864	13.996	46.284
1.5	3,398.002	1,146.852	14.257	47.147
2	3,541.927	1,171.895	14.569	48.176
2.5	3,084.861	1,092.366	13.580	44.907
3	3,117.943	1,098.122	13.651	45.144
3.5	3,167.370	1,106.722	13.758	45.497
10	3,002.640	1,078.059	13.402	44.319
13	2,834.857	1,048.865	13.039	43.119

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ค.1 การคำนวณความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซน

วิธีการคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซน สามารถทำได้จากกราฟมาตรฐานแสดงดังรูปที่ ข.1 สมการเส้นตรงคือ

$$y(\text{mg/l}) = 0.2278x$$

เมื่อ y คือ ความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซน (มิลลิกรัมต่อลิตร)

x คือ พื้นที่พีคสารละลายจากการวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลโดยใช้เครื่อง HPLC

ตัวอย่างที่ 1

จากตารางที่ ข.2 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ ผลการตรวจวัดพื้นที่พีคของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนโดยใช้เครื่อง HPLC หลังจากผ่านการเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงพื้นที่พีคเท่ากับ 18,481.324 เพราะฉะนั้นคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนเท่ากับ

$$y(\text{mg/l}) = 0.2278 \times 18,481.324 = 4,210.046$$

ค.2 การคำนวณปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับซิลิกาที่สภาวะสมดุล (q_e)

วิธีการคำนวณหาปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับซิลิกาที่สภาวะสมดุลได้จากสมการ

$$q_e(\text{mg/g silica}) = \left[\frac{(C_0 - C_e)}{m \times d \times 1000} \right] \times m_{sol}$$

โดย q_e คือ ปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับซิลิกาที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับซิลิกา)

C_0 คือ ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_e คือ ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

m คือ น้ำหนักของตัวดูดซับซิลิกา (กรัม)

m_{sol} คือ น้ำหนักของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ใช้ในการดูดซับ (กรัม)

d คือ ความหนาแน่นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล (กรัมต่อมิลลิลิตร)

ตัวอย่างที่ 2

จากตารางที่ ข.3 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา โดยใช้ตัวดูดซับซิลิกา 0.5 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) 348.323 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 10 กรัม ความหนาแน่น 0.660 กรัมต่อมิลลิตร เขย่าด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสหลังจากการเขย่าเป็นเวลา 9 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนเข้มข้น (C_e) 116.67 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะฉะนั้นคำนวณหาปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของตัวดูดซับซิลิกาที่สภาวะสมดุลเท่ากับ

$$q_e(\text{mg/g silica}) = \left[\frac{(348.323 - 116.67)}{0.5 \times 0.660 \times 1000} \right] \times 10 = 7.020$$

ค.3 การคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ

วิธีการคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับ หาได้จากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} = \left[\frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \right] \times 100$$

โดย C_0 คือ ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_e คือ ความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ตัวอย่างที่ 3

จากตารางที่ ข.4 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา ที่สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) 348.323 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากการเขย่าเป็นเวลา 9 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนเข้มข้น (C_e) 116.67 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะฉะนั้นคำนวณหาประสิทธิภาพการดูดซับ

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} = \left[\frac{(348.323 - 116.67)}{348.323} \right] \times 100 = 66.505$$

ค.4 การคำนวณความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในไอโซโพรพานอล

วิธีการคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในไอโซโพรพานอล สามารถทำได้จากกราฟมาตรฐานแสดงดังรูปที่ ข.2 สมการเส้นตรงคือ

$$y(\text{mg/l}) = 0.1749x + 555.61$$

เมื่อ y คือ ความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในไอโซโพรพานอล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

x คือ พื้นที่พีคสารละลายจากการวิเคราะห์หาปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอล โดยใช้เครื่อง HPLC

ตัวอย่างที่ 4

จากตารางที่ ข.8 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการคายซับ ผลการตรวจวัดพื้นที่พีคของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในไอโซโพรพานอลโดยใช้เครื่อง HPLC หลังจากผ่านการเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แสดงพื้นที่พีคเท่ากับ 3,277.377 เพราะฉะนั้นคำนวณหาความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในไอโซโพรพานอลเท่ากับ

$$y(\text{mg/l}) = (0.1749 \times 3,277.377) + 555.61 = 1,125.864$$

ค.5 การคำนวณปริมาณการคายซับ

วิธีการคำนวณหาปริมาณการคายซับ หาได้จากสมการ

$$\text{ปริมาณที่คายซับ (mg)} = \frac{\text{ความเข้มข้นสารละลายจากการคายซับ } \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}}\right) \times \text{ปริมาณตัวทำละลาย (g)}}{1000 \times \text{ความหนาแน่นตัวทำละลาย } \left(\frac{\text{g}}{\text{ml}}\right)}$$

ตัวอย่างที่ 5

จากตารางที่ ข.8 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการคายซับ โดยใช้ตัวดูดซับซิลิกาที่ผ่านการดูดซับจนถึงสภาวะสมดุล ปริมาณ 0.5 กรัม มาทำการคายซับด้วยตัวทำละลายไอโซโพรพานอล 10 กรัม ความหนาแน่น 0.8044 กรัมต่อมิลลิลิตร หลังจากการเขย่าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในไอโซโพรพานอลเข้มข้น 116.67 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะฉะนั้นคำนวณหาปริมาณการคายซับเท่ากับ

$$\text{ปริมาณที่คายซับ (mg)} = \frac{116.67 \times 10}{1000 \times 0.8044} = 13.996$$

ค.6 การคำนวณเปอร์เซ็นต์การคายซั้

วิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์การคายซั้ หาได้จากสมการ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การคายซั้(\%)} = \frac{\text{ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลจากการคายซั้(mg)}}{\text{ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลในตัวดูดซั้ซึลิกา(mg)}} \times 100$$

ตัวอย่างที่ 6

จากตารางที่ ข.8 การศึกษาการคายซั้แอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซั้ซึลิกา โดยใช้ตัวดูดซั้ซึลิกาที่ผ่านการดูดซั้จนถึงสภาวะสมดุล คิดเป็นปริมาณการดูดซั้ 30.24 มิลลิกรัม แอลฟาโทโคเฟอรอล มาทำการคายซั้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าไอโซโพรพานอลสามารถคายซั้แอลฟาโทโคเฟอรอลได้ 13.996 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอล เพราะฉะนั้นคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การคายซั้เท่ากับ

$$\text{เปอร์เซ็นต์การคายซั้(\%)} = \frac{13.996}{30.24} \times 100 = 46.28$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสผลงาน: sp007

การดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลด้วยตัวดูดซับซิลิกาจากถั่วแกลบ

ขวัญปวีณ์ สิทธิเขตรกรณ์¹, วีระวัฒน์ คลอวุฒิมันตร์¹, ชวงค์ ชัยสุข², พรสวรรค์ อัครแสงรัตน์^{*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระเจ้าเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

² ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร อ. เมือง จ. นครปฐม 73000

*e-mail: kkporns@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมมูลดูดซับของแอลฟาโทโคเฟอรอลซึ่งเป็นรูปแบบของการดูดซับวิตามินอีบนตัวดูดซับซิลิกาที่เตรียมจากถั่วแกลบ ด้วยวิธีการสกัดด้วยเบส จากการตรวจวัดปริมาณธาตุองค์ประกอบของตัวดูดซับซิลิกาโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ พบว่าประกอบด้วยซิลิกา 91.48 เปอร์เซ็นต์ และจากการตรวจวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนด้วยวิธีบีอีที พบว่าพื้นที่ผิวของซิลิกาเท่ากับ 152.48 ตารางเมตรต่อกรัม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 14.62 นาโนเมตร จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยกรัมของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (q_e) และความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือที่สภาวะสมดุล (C_e) คือ $q_e = \frac{0.0701C_e}{1+0.0019C_e}$ และ $q_e = 0.7086C_e^{0.4806}$ ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) จากสมการของ Langmuir และ Freundlich คือ 0.9187 และ 0.8842 ตามลำดับ จะเห็นว่าสมการของ Langmuir จะสามารถทำนายการดูดซับได้ดีกว่าสมการของ Freundlich ดังนั้นการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกาจึงเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

คำหลัก: การดูดซับ, แอลฟาโทโคเฟอรอล, วิตามินอี, ซิลิกา, ถั่วแกลบ

1. บทนำ

วิตามินอีจัดอยู่ในกลุ่มวิตามินชนิดละลายในไขมัน มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งช่วยทำให้ระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นสารต้านการแข็งตัวของเลือด และรักษาอาการเป็นหมัน[1-2] โดยวิตามินอีที่พบในธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นวิตามินอีที่หมู่ฟังก์ชันเป็นแอลฟาโทโคเฟอรอล (α - Tocopherol) [3] ซึ่งเป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมยา อาหาร และเครื่องสำอาง โดยวิตามินอีที่หมู่ฟังก์ชันแอลฟาโทโคเฟอรอลนี้สามารถพบได้ในน้ำมันปาล์มดิบ โดยปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอลในน้ำมันปาล์มดิบนั้นมีอยู่ประมาณ 600 – 1000 ppm ซึ่งน้ำมันปาล์มดิบเหล่านี้จะถูกนำไปผลิตไบโอดีเซล และทำให้แอลฟาโทโคเฟอรอลถูกทำลายไป ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีเป้าหมายที่จะแยกวิตามินอีออกจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ตัวดูดซับซิลิกาที่สกัดจากถั่วแกลบซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการ

ผลิตทางการเกษตรด้วยเทคนิคแบบ Xerogel [4-5] และคายตัววิตามินอีในไอโซโพรพานอล เพื่อเป็นทางเลือกของการแยกแอลฟาโทโคเฟอรอลที่เป็นสารที่มีมูลค่าออกจากน้ำมันปาล์มดิบ เนื่องจากถั่วแกลบเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสีข้าวซึ่งมีซิลิกาผสมอยู่ประมาณ 13-29 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนที่เหลือเป็นสารประกอบออกไซด์และไฮโดรคาร์บอน ซึ่งซิลิกาที่ได้มีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่าง ๆ ได้ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูง เป็นตัวดูดซับที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีพิษ กำจัดความชื้นได้ง่าย จึงมีการประยุกต์ใช้ซิลิกามาดูดซับสารที่มีประโยชน์โดยเฉพาะวิตามินอี จากการศึกษาพบว่าซิลิกาเป็นตัวดูดซับที่สามารถดูดซับสารที่มีขั้วและไม่มีขั้วได้ และเนื่องจากวิตามินอีเป็นสารที่มีขั้วและไม่มีขั้วอยู่ด้วยกัน จึงมีความเป็นไปได้ที่ตัวดูดซับซิลิกาสามารถดูดซับวิตามินอี

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวดูดซับซิลิกาจากแกลบ

นำแกลบ 100 กรัม แครกไฮโดรคลอริกเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 1 ลิตร ที่อุณหภูมิ 80 °C ล้างแกลบที่ผ่านการแครกด้วยน้ำ กลั่นจนกระทั่ง pH เท่ากับ 7 นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำแกลบที่อบแห้งมา 22 กรัม เผาที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งได้แกลบ 10 กรัม ละลายในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ 60 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 80 °C พร้อมปั่นจนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองสารละลายด้วยชุดกรอง สูญญากาศ ล้างแกลบที่เหลือด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ปรับ pH ของ สารละลายที่ได้ให้เท่ากับ 7 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ทิ้งให้เกิดเป็นเจลเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ล้างเจลด้วยน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บดและ ร้อนตะแกรงให้มีขนาดเล็กกว่า 125 ไมโครเมตร

2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของตัวดูดซับซิลิกา

การตรวจวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนโดยวิธีของบีอีที (Brunauer-Emmett-Teller หรือ BET) และการตรวจวัดปริมาณธาตุ องค์ประกอบโดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence หรือ XRF)

2.3 การทดลองดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอล

2.3.1 การตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอล

การตรวจวัดแอลฟาโทโคเฟอรอลด้วยเครื่อง HPLC โดยสภาวะที่ใช้ คอลัมน์ คือ Phenimenex เครื่องตรวจวัด คือ UV-Visible ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร อัตราการไหลของสารพา คือ 1 มิลลิลิตรต่อ นาที และปริมาณสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ 60 ไมโครลิตร

การวิเคราะห์ปริมาณของแอลฟาโทโคเฟอรอล วิเคราะห์โดยการเทียบกราฟมาตรฐาน ซึ่งเตรียมจากการวิเคราะห์ปริมาณแอลฟาโทโคเฟอรอลจากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้นระหว่าง 500 – 10000 ppm

2.3.2 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา

ชั่งตัวดูดซับ 0.5 กรัม และสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลใน เฮกเซนเข้มข้น 5000 ppm ใส่ขวดสีชา ใส่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน เขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 40 °C เก็บตัวอย่างที่เวลา 1, 2, 4, 6, 12, 17, 20 และ 24 ชั่วโมง แยกตัวดูดซับออกโดยเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที วัดปริมาณแอลฟาโทโคโรลที่เหลือด้วยเครื่อง HPLC

2.3.3 การศึกษาสมดุลดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา

ชั่งตัวดูดซับ 0.5 กรัม และสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลใน เฮกเซนเข้มข้น 500 - 10000 ppm ใส่ขวดสีชา ใส่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน เขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 40 °C เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 9 ชั่วโมง แยกตัวดูดซับออกโดยเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5 นาที วัดปริมาณแอลฟาโทโคโรลที่เหลือด้วยเครื่อง HPLC

นำความสามารถในการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลของตัวดูดซับซิลิกา และความเข้มข้นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ สภาวะสมดุลมาสร้างกราฟ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ ความสามารถในการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา และความเข้มข้นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลด้วยสมดุลดูดซับ

2.3.4 การศึกษาการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลจากตัวดูดซับซิลิกา

การศึกษาการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกาโดยใช้ตัวดูดซับซิลิกาที่ผ่านการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคโรลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5.631 มิลลิกรัมต่อลิตรจนถึงสภาวะสมดุลซึ่งมีปริมาณ การดูดซับ 30.24 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมตัวดูดซับซิลิกา ทำการทดลองโดยใช้ตัวดูดซับซิลิกาปริมาณ 0.5 กรัม มาทำการคายซับด้วยตัวทำละลายไอโซโพรพานอล 10 กรัม เขย่าที่ ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เก็บ ตัวอย่างที่เวลา 0.0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 10 และ 13 ชั่วโมง

3. ผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของตัวดูดซับซิลิกาที่สกัดจากแกลบ

3.1. ผลการตรวจวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนด้วยวิธีบีอีที (Brunauer-Emmett-Teller Method หรือ BET)

จากผลการตรวจวัดพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนด้วยวิธีบีอีที ของตัวดูดซับซิลิกา พบว่าตัวดูดซับซิลิกามีพื้นที่ผิวเท่ากับ 152.48 ตารางเมตรต่อกรัม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุน เท่ากับ 14.62 นาโนเมตร

3.2. ผลการตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับโดยการเรืองแสงของรังสีเอกซ์

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับซิลิกา แสดงดังตารางที่ 1

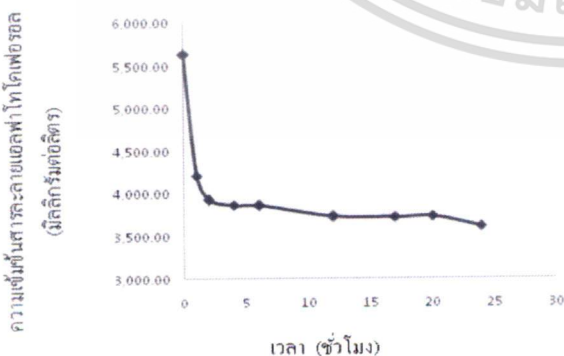
ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของตัวดูดซับซิลิกา

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
SiO ₂	91.48
Al ₂ O ₃	0.05
Fe ₂ O ₃	0.02
Na ₂ O	1.78
K ₂ O	0.19
CaO	0.02
TiO ₂	0.01
MgO	0.01
P ₂ O ₅	0.01
SO ₃	0.02
MnO	0.01
CuO	0.01
น้ำหนักที่สูญเสียหลังการเผาที่ 1000 °C	6.38

จากตารางที่ 1 พบว่าตัวดูดซับซิลิกาจากเถ้าแกลบมีซิลิคอนออกไซด์ (SiO₂) เป็นองค์ประกอบหลักถึง 91.48 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.3 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล

ศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา โดยใช้ตัวดูดซับซิลิกา 0.5 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนความเข้มข้นเริ่มต้น 5.631 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 10 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 1, 2, 4, 6, 12, 17, 20 และ 24 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 1 พบว่าสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลมีความเข้มข้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 1 ชั่วโมงแรก



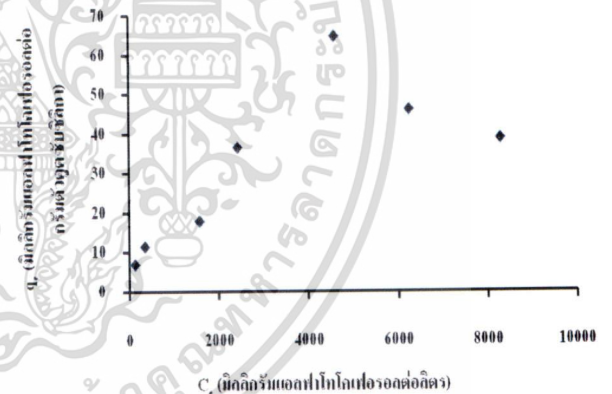
หลังจากนั้นจะลดลงและเริ่มคงที่ที่เวลา 9 ชั่วโมง

รูปที่ 1 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5,631 มิลลิกรัมต่อลิตร

4. การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ

4.1 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

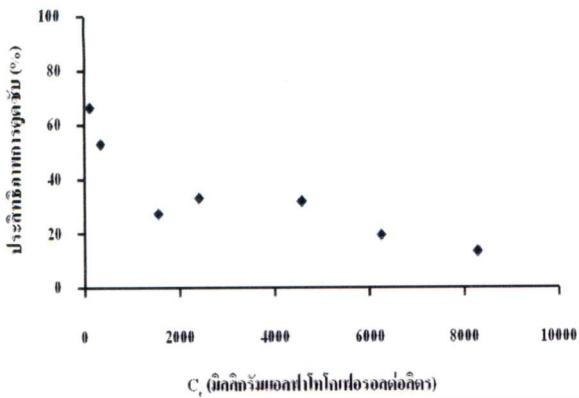
การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา โดยใช้ตัวดูดซับซิลิกา 0.5 กรัม สารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลในเฮกเซนความเข้มข้นเริ่มต้น 348, 718, 2,158, 3,639, 6,731, 7,791 และ 9,592 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 10 กรัม เขย่าด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 9 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ปริมาณการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมตัวดูดซับซิลิกาจะเพิ่มขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้นมากกว่า 6,731 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าตัวดูดซับซิลิกาสามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ลดลง เนื่องจากที่ความเข้มข้นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลสูง แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแอลฟาโทโคเฟอรอลมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลแอลฟาโทโคเฟอรอลกับตัวดูดซับซิลิกา จึงทำให้ความสามารถในการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกามีแนวโน้มลดลง โดยพบว่าตัวดูดซับซิลิกาสามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล (q_e) ได้มากที่สุดที่ปริมาณ 64.75 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมตัวดูดซับซิลิกา โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น 6,731 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 2



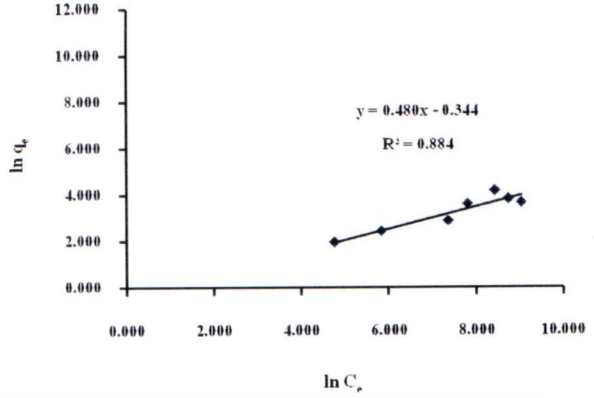
รูปที่ 2 ไอโซเทอมการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา

4.2 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ

การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกากับความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลที่สภาวะสมดุล ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3 พบว่า การดูดซับมีประสิทธิภาพลดลงเมื่อความเข้มข้นของแอลฟาโทโคเฟอรอลเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่ความเข้มข้นสูง การดูดซับได้เข้าสู่การดูดซับที่อิ่มตัวแบบมากเกินพอที่ตัวดูดซับจะดูดซับได้ จึงทำให้มีประสิทธิภาพการดูดซับต่ำ



รูปที่ 3 ประสิทธิภาพการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา



รูปที่ 5 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Freundlich

ตารางที่ 2 ค่าตัวแปรที่ได้จากการคำนวณสมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich

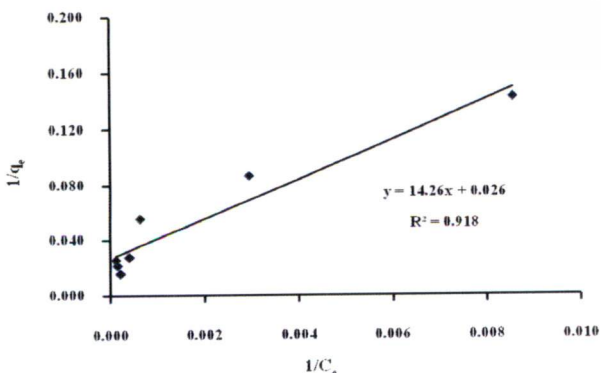
Langmuir			Freundlich		
q _m	b	R ²	K _F	n _F	R ²
37.1747	0.0019	0.9187	0.7086	2.0807	0.8842

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich

การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ ด้วยสมการของ Langmuir และ Freundlich แสดงดังรูปที่ 4-5 จากกราฟค่าความเข้มข้นและจุดตัดแกน เพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนักของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวเกือบสมบูรณ์ (q_m) และค่าคงที่ (b) ของสมการ Langmuir รวมทั้งค่าคงที่การดูดซับ (K_F) และค่าคงที่ (n_F) ของสมการ Freundlich แสดงดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 พบว่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R²) จากสมการของ Langmuir เท่ากับ 0.9187 และสมการของ Freundlich เท่ากับ 0.8842 ซึ่งกล่าวได้ว่าสมการของ Langmuir เหมาะสมที่จะใช้อธิบายสมดุลการดูดซับมากกว่าสมการของ Freundlich เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R²) เข้าใกล้ 1 มากกว่า และศึกษาไอโซเทอมการดูดซับพบว่า สมการของ Langmuir สามารถอธิบายสมดุลการดูดซับได้ดีกว่าสมการของ Freundlich

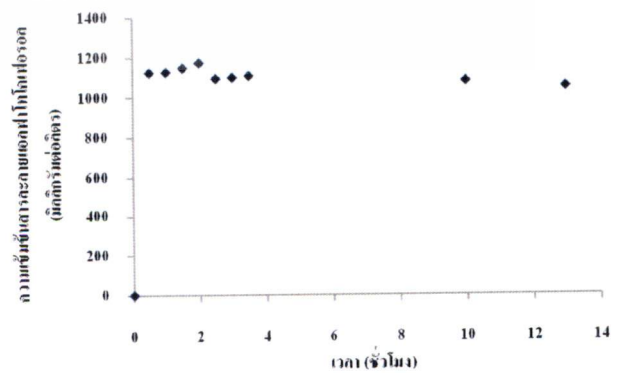
จากข้อมูลข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่า ตัวดูดซับซิลิกาอาจเป็นตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สำหรับค่า q_m มีค่าเท่ากับ 37.1747 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าคงที่ b มีค่าเท่ากับ 0.0019 และค่าคงที่การดูดซับ (K_F) มีค่าเท่ากับ 4.4486 และค่าคงที่ (n_F) เท่ากับ 0.5436



รูปที่ 4 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir

4.4 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอล

การศึกษาการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกา โดยใช้ตัวดูดซับซิลิกาที่ผ่านการดูดซับสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 5.631 มิลลิกรัมต่อลิตรจนถึงสภาวะสมดุล ซึ่งมีปริมาณการดูดซับ 30.24 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอล ทำการทดลอง โดยใช้ตัวดูดซับซิลิกาปริมาณ 0.5 กรัม มาทำการคายซับด้วยตัวทำละลายไอโซโพรพานอล 10 กรัม เขย่าด้วยความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 10 และ 13 ชั่วโมง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 6 พบว่าความเข้มข้นสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลมีแนวโน้มคงที่ที่เวลา 2.5 ชั่วโมงจนถึง 13 ชั่วโมง โดยไอโซโพรพานอลสามารถคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ 13.58 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอล ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การคายซับ 44.91 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 6 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอล

5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกาพบว่า ในช่วงเวลาชั่วโมงแรก การดูดซับเกิดขึ้นได้ดี หลังจากนั้นจะลดลงเรื่อยๆจนคงที่ โดยเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของตัวดูดซับซิลิกาคือ 9 ชั่วโมง และพบว่าตัวดูดซับซิลิกาสามารถดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอล (q_e) ได้มากที่สุดที่ปริมาณ 64.75 มิลลิกรัมแอลฟาโทโคเฟอรอลต่อกรัมตัวดูดซับซิลิกา โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายแอลฟาโทโคเฟอรอลเริ่มต้น 6.731 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยกรัมของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (q_e) และความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือที่สภาวะสมดุล (C_e) คือ

$$q_e = \frac{0.0701C_e}{1+0.0019C_e} \quad \text{และ} \quad q_e = 0.7086C_e^{0.4806}$$

ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) จากสมการของ Langmuir และ Freundlich คือ 0.9187 และ 0.8842 ตามลำดับ จะเห็นว่าสมการของ Langmuir จะสามารถทำนายการดูดซับได้ดีกว่าสมการของ Freundlich ดังนั้นการดูดซับแอลฟาโทโคเฟอรอลบนตัวดูดซับซิลิกาจึงเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

จากการศึกษาการคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลด้วยตัวทำละลายไอโซโพรพานอล พบว่า เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลการคายซับคือ 2.5 ชั่วโมง และจากแอลฟาโทโคเฟอรอลที่ถูกดูดซับบนตัวดูดซับซิลิกาในปริมาณ 30.24 มิลลิกรัม ไอโซโพรพานอลสามารถคายซับแอลฟาโทโคเฟอรอลได้ 13.58 มิลลิกรัม ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การคายซับ 44.91 เปอร์เซ็นต์

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Vitamin E [Online]. Available: <http://www.geocities.com/vitamin/tocopherol.html>
- [2] Y.H. Hui. **Bailey's industrial oil and fat product. Technology and Commerce.** 5th ed. John Wiley & Sons.
- [3] B.S. Chu, S.Y. Quek, B.S. Baham,. **Optimisation of enzymatic for concentration of vitamin E in palm fatty acid distillate.** Journal of Food Chemistry 2002, Vol. 80 : 295 – 302
- [4] Kalapathy, U., Proctor, A., & Shultz, J., **A simple method for production of pure silica from rice hull ash.** Bioresource Technology 73 (2000) 257-262

- [5] Kalapathy, U., Proctor, A., & Shultz, J., **A improve method for production of silica from rice hull ash,** Biosource Technology 85 (2002) 285-289.