

# การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับวิตามินอี ในน้ำมันปาล์มโอเลอินล์ โดยใช้ตัวดูดซับ MCM - 41

## The Study of Optimum Condition for Adsorption of Vitamin E in Palm Olein Using MCM - 41 Adsorbent

ขวัญปวีณ์ สิทธิเขตรกรณ์ พรสวรรค์ อัสวแสงรัตน์

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปาล์มโอเลอินล์ โดยใช้ MCM - 41 เป็นตัวดูดซับ โดยศึกษาเวลาในการดูดซับ ปริมาณตัวดูดซับ และอุณหภูมิในการดูดซับ จากการตรวจวัดปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบในตัวดูดซับ MCM-41 โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ พบว่าตัวดูดซับ MCM - 41 ที่สังเคราะห์ได้มีองค์ประกอบเป็นซิลิกา 99.73 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่า ระยะเวลาที่เข้าสู่สมดุลการดูดซับคือ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 3 กรัม สามารถดูดซับวิตามินอีได้ปริมาณมากที่สุด คือ 8.96 มิลลิกรัม วิตามินอีต่อกรัมตัวดูดซับ และผลการศึกษาสมการไอโซเทอมของการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ได้สมการเป็น  $q_e = \frac{0.00912C_e}{1+0.228C_e}$  และ  $q_e = 0.3162C_e^{0.5}$  ตามลำดับ และมีค่า  $R^2$  จากสมการของ Langmuir และ Freundlich คือ 0.989 และ 0.929 ตามลำดับ ซึ่งสมการของการดูดซับแบบ Langmuir เหมาะสมที่จะอธิบายการดูดซับได้ดีกว่าสมการของ Freundlich ซึ่งอธิบายว่ากลไกการดูดซับเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว และพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นปัจจัยการดูดซับที่สำคัญ คำสำคัญ : การดูดซับ , วิตามินอี , MCM-41

### Abstract

This research studied optimum condition for adsorption of vitamin E in Palm Olein using MCM-41 adsorbent. The operating variables that affected adsorption performance were adsorption time , adsorbent dosage and adsorption temperature. Test of MCM-41 by using x-ray fluorescence technique , presented 99.73% of silica. From this study , the experimental takes 24 hours to reach the equilibrium of the adsorption , At 50 °C by using adsorbent 3 g , vitamin E adsorption on the MCM-41 was 8.96 mg/g. Langmuir and Freundlich isotherms were tested and could provide equations of  $q_e = \frac{0.00912C_e}{1+0.228C_e}$  and  $q_e = 0.3162C_e^{0.5}$  , respectively. The  $R^2$  of Langmuir and Freundlich isotherms were 0.989 and 0.929 , respectively. In conclusion Langmuir isotherm better described the equilibrium adsorption. The assumption of this isotherm indicates that the adsorbate is adsorbed in the form of monolayer on the surface of adsorbent.

**Key words** : absorption , vitamin E , MCM-41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. บทนำ

น้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารเป็นองค์ประกอบหนึ่งซึ่งมีความสำคัญและมีผลต่อสุขภาพ ปัจจุบันผู้บริโภคจึงให้ความสำคัญต่อน้ำมันที่ใช้ปรุงอาหารกันมากขึ้น ซึ่งสารอาหารและวิตามินในน้ำมันที่ใช้ทอดมีความคงทนต่อความร้อนได้ไม่เท่ากัน น้ำมันพืชแต่ละชนิดมีปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน สารต้านอนุมูลอิสระมีผลต่อคุณภาพของอาหารทั้งในด้านความคงตัวของอาหาร การเกิดกลิ่นหืนได้เร็วหรือช้า และยังมีผลต่อสุขภาพของผู้บริโภค สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในน้ำมันพืช ได้แก่ วิตามินอี สารประกอบโพลีฟีนอล (polyphenol) ซึ่งพบในน้ำมันมะกอก สารไฟโตสเตอรอล (phytosterol) ที่พบบ้างแต่ไม่มากนักในน้ำมันถั่วเหลือง แต่พบมากที่สุดคือน้ำมันรำข้าว[1]

วิตามินอีจัดอยู่ในกลุ่มวิตามินชนิดละลายในไขมันโดยประกอบด้วยสาร 2 กลุ่มใหญ่คือ โทโคเฟอร์รอล (Tocopherols) และ โทโคไตรอีนอล (Tocotrienols) [2] มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติ ซึ่งช่วยทำให้การทำหน้าที่ของระบบภูมิคุ้มกันดี นอกจากนี้วิตามินอียังเป็นสารต้านการแข็งตัวของเลือด ช่วยเพิ่มการทำงานของอินซูลิน ทำให้ระบบประสาทดีขึ้น [3] โดยวิตามินอีที่พบส่วนใหญ่ในธรรมชาติเป็นหมู่ฟังก์ชันแอลฟาโทโคเฟอรอล ( $\alpha$ -Tocopherol) จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้วิตามินอีเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมยา อาหาร และเครื่องสำอางเป็นอย่างมาก ซึ่งการแยกวิตามินอีโดยการดูดซับจึงเป็นทางเลือกหนึ่ง เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก และใช้พลังงานต่ำ เหมาะสำหรับการแยกสารที่มีปริมาณน้อยๆ ออกจากสารส่วนใหญ่

วัสดุนาโน MCM-41 (Mobil Composition of matter) เป็นวัสดุรูพรุนประเภท Mesoporous Molecular Sieve มีโครงสร้างหลักเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ค้นพบโดยคณะวิจัยของบริษัท Mobil Oil Corporation. MCM-41 สังเคราะห์ได้จากสารละลายโซเดียมซิลิเกต ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) และ สารละลาย Hexadecyltrimethyl ammonium bromide (CTAB) โดยสารละลาย CTAB ทำ

หน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว มีโครงสร้างประจุบวก เพื่อให้ซิลิกาซึ่งมีประจุลบมาจับที่ผิว จากนั้นจึงเผาที่อุณหภูมิสูง (calcination) เพื่อให้เกิดโครงสร้างรูพรุน ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนประมาณ 2-3 นาโนเมตร มีพื้นที่ผิวเฉลี่ย 700-1,500 ตารางเมตรต่อกรัม มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นหกเหลี่ยมสม่ำเสมอ และมีสมบัติทนต่อความร้อนได้ดี [4]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันพืช ปาล์มโอเลอินส์ โดยใช้ตัวดูดซับ MCM-41

## 2. การทดลอง

### 2.1 การเตรียมตัวดูดซับ MCM-41

ซึ่ง Hexadecyltrimethyl ammonium bromide จำนวน 4.5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 90 มิลลิลิตร พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต 17.5 มิลลิลิตร ปรับค่า pH ประมาณ 11 ด้วยกรดซัลฟิวริก พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำสารละลายที่ปรับ pH ใส่ใน autoclave นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายมากรองและล้างจนค่า pH เท่ากับ 7 อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

### 2.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของตัวดูดซับ MCM-41

วิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับ โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Fluorescence หรือ XRF) วิเคราะห์ความเป็นผลึกของตัวดูดซับ MCM-41 ใช้เทคนิคเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction หรือ XRD) , วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ MCM-41 โดยการวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Fourier transform infrared spectroscopy หรือ FT-IR) และวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของตัวดูดซับด้วยวิธี BET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การทดลองดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปาล์มโอเลอิน

### 2.3.1 การวัดปริมาณของวิตามินอี

ตรวจวัดปริมาณวิตามินอีด้วยเครื่อง HPLC ที่ใช้คอลัมน์ คือ Spherclone 5 $\mu$  ODS เครื่องตรวจวัด คือ UV-Visible ที่ความยาวคลื่น 295 นาโนเมตร อัตราการไหลของสารพา (Acetonitrile : Methanol : Dichloromethane 60 : 35 : 5) คือ 1 มิลลิลิตรต่อนาที และปริมาณสารที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ 20 ไมโครลิตร

### 2.3.2 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปาล์มโอเลอินส์ บนตัวดูดซับ MCM-41

ชั่งตัวดูดซับ 3 กรัม ใส่ลงในขวดสีชา และเติมสารละลายน้ำมันปาล์มโอเลอินส์ 50 กรัม ปรับปริมาตรด้วยนอร์มัลเฮปเทนให้ปริมาตรรวมเท่ากับ 100 มิลลิลิตร ไล่อากาศด้วยก๊าซไนโตรเจน เขย่าด้วยเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 180 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างที่เวลา 0 , 1 , 2 , 4 , 6 , 12 , 17 , 20 และ 24 ชั่วโมง แยกตัวดูดซับออกโดยใช้เครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วรอบ 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที วัดปริมาณวิตามินอีที่เหลือด้วยเครื่อง HPLC

### 2.3.3 การศึกษาผลของปริมาณ MCM-41 ที่มีต่อการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปาล์มโอเลอินส์

ทำการทดลองเหมือนหัวข้อ 2.3.2 แต่ใช้ตัวดูดซับปริมาณ 0.5 , 1 , 1.5 , 2 , 2.5 และ 3 กรัม และเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

### 2.3.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปาล์มโอเลอินส์

ทำการทดลองเหมือนหัวข้อ 2.3.2 แต่ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 , 40 และ 50 องศาเซลเซียส และเขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

### 2.3.6 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

ชั่งตัวดูดซับ 3 กรัม ใส่ลงในขวดสีชา และเติมสารละลายน้ำมันปาล์มโอเลอินส์ 10 , 30 , 50 , และ 70

กรัม ปรับปริมาตรด้วยนอร์มัลเฮปเทนให้ปริมาตรรวมเท่ากับ 100 มิลลิลิตร ปริมาณ 60 กรัม เขย่าด้วยอัตราเร็ว 180 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

## 3. ผลการทดลอง

### 3.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะและคุณสมบัติของตัวดูดซับ MCM-41

#### 3.1.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบของตัวดูดซับ โดยวิธีการเรืองแสงของรังสีเอกซ์ (X-ray Fluorescence หรือ XRF)

ผลการวิเคราะห์ XRF แสดงดังตารางที่ 1 จากตารางที่ 1 พบว่าตัวดูดซับ MCM-41 มีซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>) เป็นองค์ประกอบหลักถึง 99.73 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบของตัวดูดซับ MCM-41

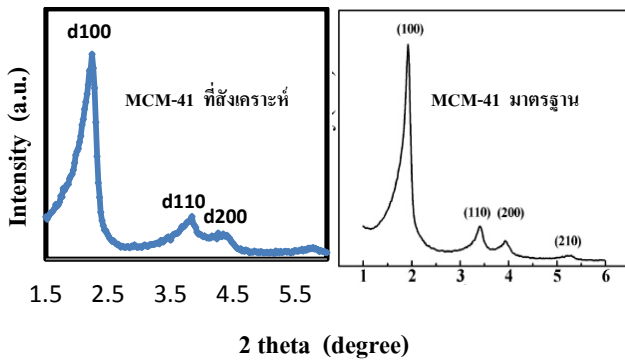
องค์ประกอบ	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO
เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	99.73	0.16	0.04	0.03	0.01

#### 3.1.2 ผลการวิเคราะห์ความเป็นผลึกของตัวดูดซับ

#### จากเทคนิคเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction หรือ XRD)

ผลการวิเคราะห์ XRD แสดงดังรูปที่ 1 พบว่าพีคหลักปรากฏที่ มุม  $2\theta$  เท่ากับ 2.3 ซึ่งตรงกับตำแหน่งของหน้าผลึก d100 ซึ่งมีลักษณะเป็นยอดแหลม แสดงถึงการจัดเรียงตัวของผลึกอย่างเป็นระเบียบภายในตัวดูดซับ และกราฟขนาดเล็ที่มุม  $2\theta$  เท่ากับ 3.8 และ 4.4 องศา ซึ่งตรงกับตำแหน่งของหน้าผลึก d110 และ d200 ตามลำดับ โดยลักษณะการจัดเรียงตัวของผลึกดังกล่าวเป็นลักษณะเฉพาะของ MCM-41 ดังนั้นจากการวิเคราะห์ด้วย XRD สามารถยืนยันได้ว่าตัวดูดซับที่สังเคราะห์ขึ้นมาเป็น MCM-41 [5]

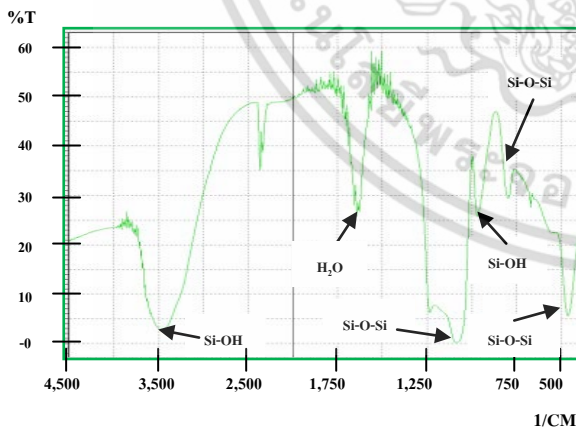
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1 กราฟ XRD ของตัวดูดซับ MCM-41 ที่สังเคราะห์ได้ กับ MCM-41 มาตรฐาน [6]

**3.1.3 ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวดูดซับ โดยการวิเคราะห์การดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Fourier Transform infrared spectroscopy หรือ FT-IR)**

จากรูปที่ 2 FTIR ในช่วงแสงคลื่น (Wave numbers) 400 ถึง 4000  $\text{cm}^{-1}$  ของตัวดูดซับ MCM-41 ที่สังเคราะห์ได้ พบว่า มีหมู่ฟังก์ชันที่ประมาณ 3,422 และ 963  $\text{cm}^{-1}$  เป็นฟิสิกของ silinol (Si-OH) ซึ่งมีขั้ว, ที่ประมาณ 1,097, 790 และ 469  $\text{cm}^{-1}$  เป็นฟิสิกของ siloxane (Si-O-Si) ซึ่งไม่มีขั้ว และที่ประมาณ 1,631  $\text{cm}^{-1}$  เป็นฟิสิกของ  $\text{H}_2\text{O}$  [7] ซึ่ง MCM-41 เป็นตัวดูดซับทั้งที่มีขั้วและไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ไม่มีขั้วของวิตามินอีกับ โมเลกุลที่ไม่มีขั้วของ MCM-41 ทำให้เกิดการดูดซับขึ้น



รูปที่ 2 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของตัวดูดซับ MCM-41

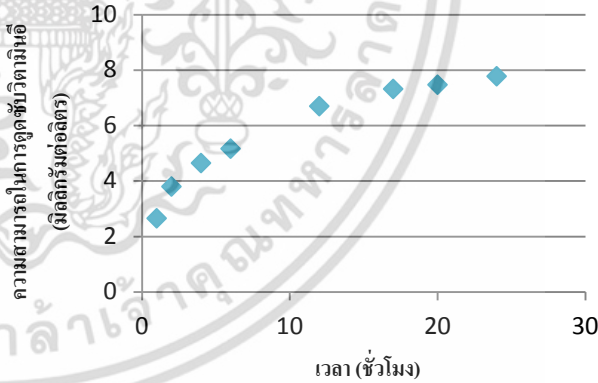
**3.1.4 ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิว ขนาดรูพรุน และปริมาตรรูพรุนของตัวดูดซับด้วยวิธี (Brunauer-Emmett-Teller หรือ BET)**

จากการวิเคราะห์ BET พบว่า MCM-41 มีพื้นที่ผิว 1,218  $\text{m}^2/\text{g}$  และมีขนาดเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนและปริมาตรของรูพรุนแบบเมโซพอร์สเท่ากับ 36.85 Å และ 1.123  $\text{cm}^3/\text{g}$  ตามลำดับ

**3.2 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปาล์มโอเลอินส์**

**3.2.1 การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปาล์มโอเลอินส์ บนตัวดูดซับ MCM-41**

การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของ MCM-41 แสดงในรูปที่ 3 พบว่า ความสามารถในการดูดซับวิตามินอี ในช่วง 1 ชั่วโมงแรกเป็นไปอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มคงที่ที่เวลา 24 ชั่วโมงที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากในระยะแรก พื้นที่ผิวของตัวดูดซับมีมาก ทำให้การดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อเวลาผ่านไปอนุภาคของวิตามินอีจะเข้าไปยึดเกาะ บนพื้นที่ผิวของ MCM-41 ทำให้การดูดซับที่จะเกิดขึ้นใหม่เป็นไปโดยยากและจะเกิดแรงผลักระหว่างวิตามินอีที่จะเข้าไปยึดเกาะใหม่กับวิตามินอีที่ถูกดูดซับไว้เดิมทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเริ่มคงที่ หรือเริ่มเข้าสู่สมดุลการดูดซับ



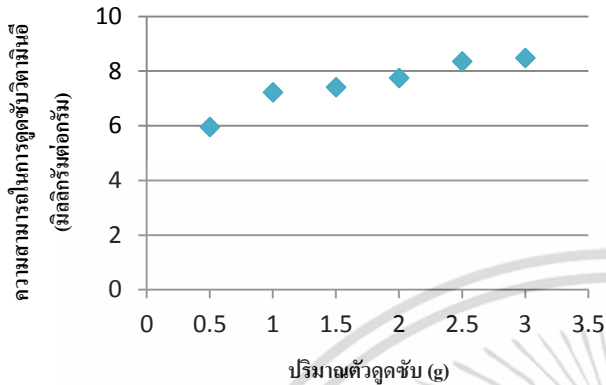
รูปที่ 3 ความสามารถในการดูดซับวิตามินอีของตัวดูดซับ MCM-41 ที่เวลาในการดูดซับต่างๆ

**3.2.2 การศึกษาผลของปริมาณ MCM-41 ที่มีต่อการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปาล์มโอเลอินส์**

การศึกษาผลของปริมาณ MCM-41 ที่มีต่อการดูดซับวิตามินอี แสดงในรูปที่ 4 พบว่า ความสามารถในการดูดซับวิตามินอีจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเริ่มคงที่เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับจะทำให้พื้นที่ผิวสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

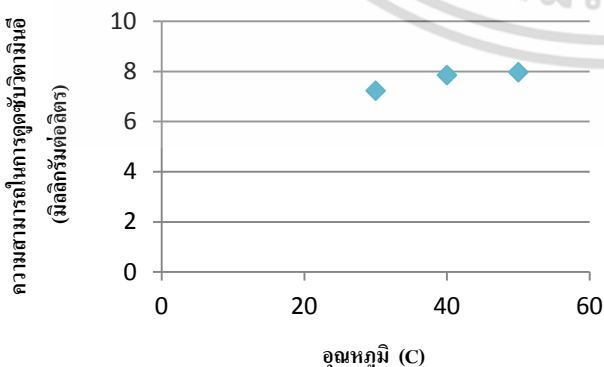
ระหว่างตัวดูดซับกับวิตามินอีมีค่าเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับเป็น 3 กรัม พบว่ามีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนเกือบคงที่ เนื่องจากการดูดซับระหว่างวิตามินอีกับ MCM-41 ถึงจุดสมดุลแล้ว



รูปที่ 4 ความสามารถในการดูดซับวิตามินอีของตัวดูดซับ MCM-41 เมื่อใช้ปริมาณตัวดูดซับต่างกัน

### 3.2.3 การศึกษาผลของอุณหภูมิ ที่มีต่อการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปลาดีโอเลอินส์

การศึกษาผลของอุณหภูมิ ที่มีต่อการดูดซับวิตามินอี แสดงในรูปที่ 5 กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการคายพลังงานความร้อน (exothermic) [8] ดังนั้นความสามารถในการดูดซับจึงลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ในการทดลองนี้ พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น ปริมาณวิตามินอีที่หายไป อาจไม่ได้หายไป เนื่องจากการดูดซับของตัวดูดซับ MCM-41 แต่อาจหายไปเนื่องจากวิตามินอีเกิดการสลายตัวได้บ้าง เมื่อได้รับความร้อน

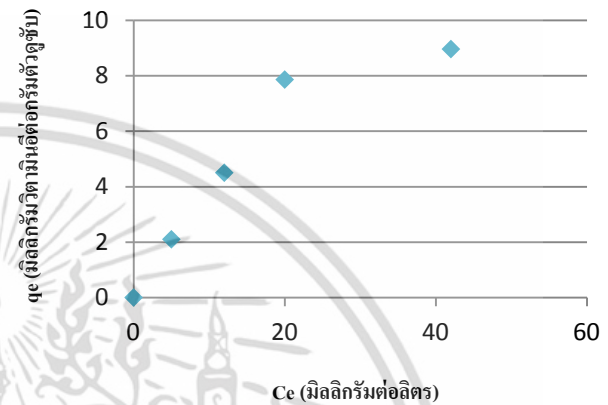


รูปที่ 5 ความสามารถในการดูดซับวิตามินอีของตัวดูดซับ MCM-41 ที่อุณหภูมิในการดูดซับต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ

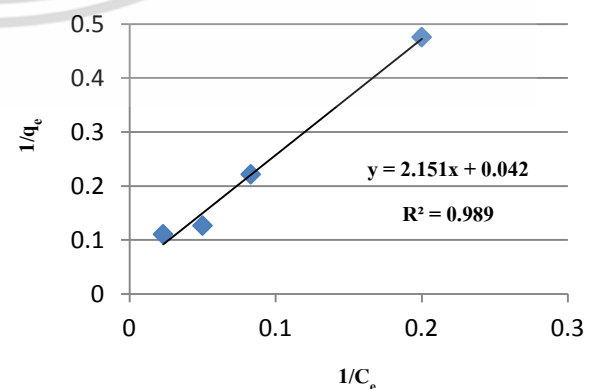
การศึกษาไอโซเทอมการดูดซับของ MCM-41 แสดงดังรูปที่ 6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อหน่วยกรัมของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล ( $q_e$ ) (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ) และความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่เหลือที่สภาวะสมดุล ( $C_e$ ) (มิลลิกรัมต่อลิตร)



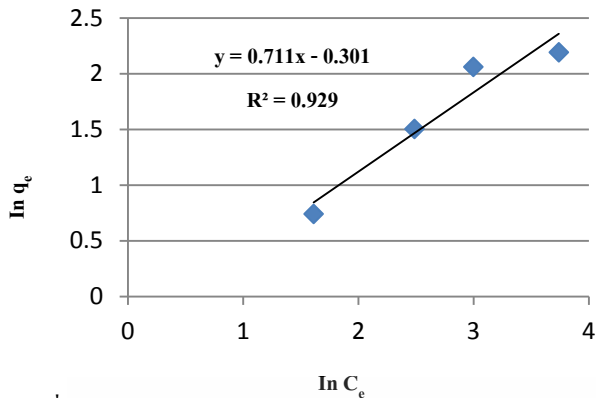
รูปที่ 6 ไอโซเทอมการดูดซับของ MCM-41

จากรูปที่ 6 พบว่า เมื่อความเข้มข้นวิตามินอีในสารละลายในช่วง 0 – 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณการดูดซับวิตามินอีต่อกรัมตัวดูดซับ MCM-41 จะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นของวิตามินอีในสารละลายเพิ่มขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับเพิ่มขึ้นด้วย หลังจากนั้นจะเริ่มคงที่และเข้าสู่สมดุลการดูดซับ โดยพบว่าตัวดูดซับ MCM-41 สามารถดูดซับวิตามินอีได้มากที่สุดที่ปริมาณ 8.96 มิลลิกรัมวิตามินอีต่อกรัมตัวดูดซับ

การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างๆ แสดงดังรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ



รูปที่ 7 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir



รูปที่ 8 กราฟวิเคราะห์ห้ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Freundlich

จากรูปที่ 7 และ 8 พบว่า การดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปาล์มโอเลอินส์ โดยใช้ MCM-41 มีไอโซเทอมการดูดซับแบบ Langmuir และ Freundlich ได้สมการเป็น  $q_e = \frac{0.00912C_e}{1 + 0.228C_e}$  และ  $q_e = 0.3162C_e^{0.5}$  ตามลำดับ และมีค่า  $R^2$  จากสมการของ Langmuir และ Freundlich คือ 0.989 และ 0.929 ตามลำดับ ซึ่งสมการไอโซเทอมแบบ Langmuir เหมาะสมที่จะอธิบายการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปาล์มโอเลอินส์ได้ดีกว่าสมการของ Freundlich ดังนั้นการดูดซับวิตามินอีจึงเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว ความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

#### 4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันพีปาล์มโอเลอิน โดยใช้ MCM-41 เป็นตัวดูดซับ พบว่า เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับวิตามินอีของตัวดูดซับ MCM-41 คือ 24 ชั่วโมง ด้วยปริมาณตัวดูดซับ 3 กรัม ซึ่งที่สถานะที่เหมาะสมนี้สามารถดูดซับวิตามินอีได้ปริมาณ 8.96 มิลลิกรัมวิตามินอีต่อกรัมตัวดูดซับ และจากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ Freundlich ได้สมการคือ  $q_e = \frac{0.00912C_e}{1 + 0.228C_e}$  และ  $q_e = 0.3162C_e^{0.5}$  ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) จากสมการของ Langmuir และ Freundlich คือ 0.989 และ 0.929 ตามลำดับ ซึ่งสมการไอโซเทอมแบบ Langmuir เหมาะสมที่จะอธิบายการดูดซับวิตามินอีในน้ำมันปาล์มโอเลอินส์ได้ดีกว่าสมการของ Freundlich

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Santiwattana, "Vitamin E and gamma – Oryzanol in potato chips and fried food oil before and after frying.", Available : <http://www.Nutritionthailand.or.th>
- [2] 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 , pp. 295-302.
- [3] Vitamin E [Online]. Available : <http://www.gocities.com/vitamin/tocopherol.htm>
- [4] Beck , J.S. , Vartulli , C. , Roth , W.J. and Kresge , C.T. (1992), " Family of mesoporous molecular sieves prepared with liquid crystal templates ", *J. Am. Chem. Soc.* 114 , pp. 10834-10843.
- [5] Kumar , D. , Schmacher , K. , du Fresne von Hohenesche , C. Grun , M. and Unger , K.K. (2001) , "MCM- 41 , MCM - 48 and related mesoporous adsorbents the synthesis and characterization", *Colloids and Surfaces A : Physicochem. Eng. Aspects* 187-188 , Matter 15 , No. 20 , pp. 109-116.
- [6] J L Shen , Y C Lee , Y L Lui , P W Cheng and C F Cheng. "Blue - green photoluminescence in MCM-41 mesoporous nanotubes" pp. 297-304.
- [7] Nurul Izza Taib , Salasiah Endud , Md. Nasir Katun "Functionalization of Mesoporous Si-MCM-41 by Grafting with Trimethylchlorosilane" *International Journal of Chemistry*. Vol. 3 , No. 3 ; August 2011.
- [8] D. Chatsiriwe. " Adsorption Processes ". Chulalongkorn University Press. , 2552.