

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สมมูลของการดูดซับวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มด้วยซิลิกาเจล

EQUILIBRIUM ADSORPTION OF VITAMIN E FROM  
PALM OIL BY SILICA GEL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**EQUILIBRIUM ADSORPTION OF VITAMIN E FROM  
PALM OIL BY SILICA GEL**

**PORNPIMOL RODCHAROEN  
WALAPORN WONGSAKHON**

**A REPORT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR IN CHEMICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2006**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง สมดุลของการดูดซับวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มด้วยซิลิกาเจล  
จัดทำโดย นางสาวพรพิมล รอดเจริญ เลขประจำตัว 47015542  
นางสาววลาพร วงศ์สาคร เลขประจำตัว 47015548  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ  
(อ. รุ่งฤดี เบญจางคประเสริฐ)

.....กรรมการ  
(อ. ศิริพันธ์ มุรธาชัยลักษณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง สมดุลของการดูดซับวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มด้วยซิลิกาเจล  
จัดทำโดย นางสาวพรพิมล รอดเจริญ เลขประจำตัว 47015542  
นางสาววลาพร วงศ์สาคร เลขประจำตัว 47015548  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา  
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาสมดุลของการดูดซับวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มด้วยซิลิกาเจลและศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับของวิตามินอีที่ความเข้มข้นต่างๆ ซึ่งจากการทดลอง พบว่าการดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนเข้าสู่สมดุลการดูดซับที่เวลาประมาณ 120 นาที และการดูดซับที่ความเข้มข้นของวิตามินอีเพิ่มขึ้นมีประสิทธิภาพลดลง โดยที่ความเข้มข้น 2 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับ 36.3% และ 12 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพ 19.9% จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich พบว่าสมการของ Langmuir สามารถอธิบายข้อมูลการดูดซับได้เหมาะสมกว่าสมการของ Freundlich

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title                    Equilibrium adsorption of vitamin E from palm oil by silica gel

By                                    Miss Pornpimol Rodcharoen                    ID.NO. 47015542

   Miss Walaporn Wongsakhon                    ID.NO. 47015548

Advisor                            Assoc. Prof. Dr. Prakob Kitchaiya

Report for                         Bachelor Degree of Chemical Engineering

   Department of Chemical Engineering

   Faculty of Engineering

   King Mingkut's Institute of Technology Ladkrabang

### **Abstract**

This project proposes a study of equilibrium adsorption of vitamin E from palm oil by silica gel adsorbent. Vitamin E at various concentrations were used in this study at room temperature. The experimental results show that the adsorption rapidly occurred at initial time and then proceeded gradually to equilibrium in about 120 minutes. It was found that adsorption of vitamin E at high concentration had low efficiency. Equilibrium concentration of vitamin E at 2 and 12  $\mu\text{g/ml}$ . had efficiency of 36.3 and 19.9%, respectively. Langmuir and Freundlich equations were used to fit the experimental data. It was found that Langmuir isotherm better describe the equilibrium adsorption.

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี ด้วยความช่วยเหลือจากอาจารย์และบุคคลหลายท่าน จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือดังนี้ คือ

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์การทดลอง

คุณจุฑารัตน์ อินนา ที่ให้คำปรึกษาในการทำปริญญาบัตรครั้งนี้

บุพการี อันเป็นที่รักซึ่งเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ประกอบ กิจไชยา อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรที่ดูแลเอาใจใส่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำ ตลอดจนความรู้และประสบการณ์ที่ดีในการทำงาน

พรพิมล รอดเจริญ

วลาพร วงศ์สาคร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
III  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
สัญลักษณ์	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 วิตามินอี	3
2.1.1 ประวัติการค้นพบวิตามินอี	3
2.1.2 สูตร โครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมี	3
2.1.3 แหล่งที่พบวิตามินอี	4
2.1.4 ประโยชน์ของวิตามินอี	4
2.2 น้ำมันปาล์ม	5
2.2.1 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม	5
2.3 การดูดซับ	5
2.3.1 ประเภทการดูดซับ	7
2.3.2 กลไกการดูดซับ	8
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ	8
2.5 ไอโซเทอมของการดูดซับ	9

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับ	10
2.6.1 Langmuir equation	10
2.6.2 Freundlich equation	11
2.7 ตัวทำละลาย	12
2.8 ซิลิกาเจล	14
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
<b>บทที่ 3 การทดลอง</b>	<b>18</b>
3.1 การทดสอบการดูดซับวิตามินอี	18
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	18
3.1.2 สารเคมีที่ใช้	18
3.1.3 วิธีการทดลอง	18
3.1.3.1 การทำกราฟมาตรฐานการดูดซับวิตามินอี	18
3.1.3.2 ศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ	19
3.1.3.3 ไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ	19
3.1.3.4 วิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และ สมการของ Freundlich	20
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล</b>	<b>21</b>
4.1 การทดสอบการดูดซับสารละลายวิตามินอี	21
4.1.1 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ	21
4.1.2 ไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ	21
4.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich	23

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	25
5.1 สรุปผลการทดลอง	25
5.2 ข้อเสนอแนะ	25
เอกสารอ้างอิง	26
ภาคผนวก	28
ภาคผนวก ก เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	29
ภาคผนวก ข ข้อมูลการผลิตและราคาขายของปาล์มน้ำมัน	31
ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการทดลอง	35
ภาคผนวก ง วิธีการคำนวณ	38



# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม	6
2.2 องค์ประกอบของวิตามินอีชนิดต่างๆ ในเมล็ดปาล์ม	6
2.3 สมบัติของตัวทำละลายบางชนิดที่ใช้ในการสกัดตัวถูกละลาย	12
2.4 คุณสมบัติของตัวทำละลายทั่วไป (Properties table of common solvents)	13
2.5 คุณสมบัติทางเคมีของซิลิกาเจล	14
2.6 ส่วนประกอบของซิลิกาเจล	15
4.1 ข้อมูลการดูดซับวิตามินอีของซิลิกาเจล	22
4.2 ค่าตัวแปรที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich	24
ข.1 รายงานภาวะการผลิตการเกษตรเปรียบเทียบรายปี พืชปาล์มน้ำมัน ปีเพาะปลูก ปี พ.ศ. 2549 ทั้งประเทศช่วงเวลาอ้างอิงการเพาะปลูก ตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม	31
ข.2 เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ราคาและมูลค่าของผลผลิตตามราคา ที่เกษตรกรขายได้ ปี 2539-2548	34
ค.1 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของ สารละลายวิตามินอี	35
ค.2 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ	36
ค.3 ข้อมูลประสิทธิภาพการดูดซับสารละลายวิตามินอี	36
ค.4 ข้อมูลการดูดซับสำหรับสมการของ Langmuir	37
ค.5 ข้อมูลการดูดซับสำหรับสมการของ Freundlich	37
ง.1 ปริมาณวิตามินอีเริ่มต้นที่ความเข้มข้นต่างๆ ของน้ำมันปาล์ม	38

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของวิตามินอี	4
2.2 รูปแบบของไอโซโทมการดูดซับบางประเภท	9
2.3 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir	11
2.4 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Freundlich	12
2.5 โครงสร้างแบบอสมมาตรของซิลิกาเจล	14
4.1 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของวิตามินอีที่ความเข้มข้น 12 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง	21
4.2 ไอโซโทมของการดูดซับวิตามินอี	22
4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับวิตามินอี	23
4.4 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir	24
4.5 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Freundlich	24
ก.1 เครื่องเขย่า JANKE & KUNKEL รุ่น HS 500	29
ก.2 เครื่องยวี่-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์	29
ก.3 เครื่องชั่ง Mettler Toledo รุ่น AX 205	30
ก.4 ถังก๊าซไนโตรเจน 99.5 %	30
ค.1 กราฟมาตรฐานของการดูดซับวิตามินอี	35

## สัญลักษณ์

$b$	ค่าคงที่ของสมการ Langmuir
$b_0$	ค่าคงที่
$C_0$	ความเข้มข้นของสารละลายวิตามินอีเริ่มต้น ( $\mu\text{g/ml}$ )
$C$	ความเข้มข้นของสารละลายวิตามินอีหลังการดูดซับ ( $\mu\text{g/ml}$ )
$C_s$	ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล ( $\mu\text{g/ml}$ )
$\Delta H$	ค่าความร้อนของการดูดซับ (kcal/mol)
$K$	ค่าคงที่การดูดซับ
$m$	น้ำหนักของสารดูดซับ (g)
$n$	ค่าคงที่ของสมการ Freundlich
$q$	น้ำหนักของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล ( $\mu\text{g/g}$ )
$q_0$	น้ำหนักของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์ ( $\mu\text{g/g}$ )
$R$	ค่าคงที่ของก๊าซอุดมคติ (cal/K-mol)
$R^2$	สัมประสิทธิ์ตัวกำหนด
$T$	อุณหภูมิของการดูดซับ (K)
$V$	ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ (ml)

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปาล์มเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทยและยังเป็นพืชน้ำมันที่มีศักยภาพในการแข่งขันสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น ทั้งด้านการผลิตและด้านการอุปโภค เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตและราคาต่ำกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของวิตามินและแร่ธาตุ รวมทั้งน้ำมันปาล์มยังเป็นน้ำมันพืชที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ทั้งในสินค้าอุปโภคและบริโภค

จากข้อมูลการศึกษา พบว่าพื้นที่เพาะปลูกปาล์มในประเทศไทยมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว โดยในปี 2520 มีพื้นที่เพาะปลูก 69,625 ไร่ และเพิ่มขึ้นเป็น 2.61 ล้านไร่ ในปี 2548 ซึ่งราคาขายเฉลี่ยต่อกิโลกรัม คือ 2.76 บาท [1] จึงทำให้อุตสาหกรรมส่วนใหญ่สนใจการแปรรูปน้ำมันปาล์มให้เป็นผลผลิตต่างๆ มากขึ้น เช่น น้ำมันพืช สบู่ น้ำมันไบโอดีเซล เป็นต้น

วิตามินอีจัดอยู่ในกลุ่มวิตามินชนิดละลายในไขมันที่มีคุณสมบัติเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidation) ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว [2] และมีผู้ประเมินภาวะโภชนาการของวิตามินอีว่าอาจช่วยให้การทำหน้าที่ของระบบภูมิคุ้มกันดีขึ้น [3] โดยวิตามินอีพบมากในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นพืชที่หาได้ง่ายในประเทศ จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้วิตามินอีเป็นที่ต้องการของอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อาหารและยา เป็นต้น

เนื่องจากวิตามินอีสามารถพบได้ในน้ำมันปาล์มและราคาของปาล์มก็ไม่สูงมาก ถ้าสามารถแยกวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มได้ ก็นับว่าเป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำมันปาล์มได้เป็นอย่างดี เพราะวิตามินอีที่แยกได้นั้นมีราคาแพง ทำให้อุตสาหกรรมเล็งเห็นความสำคัญของการแยกวิตามินอีจากน้ำมันปาล์ม ดังนั้นการแยกวิตามินอีโดยการดูดซับด้วยตัวดูดซับจึงเป็นทางเลือกหนึ่ง ซึ่งต้องการข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับสมมูลของการดูดซับดังกล่าว

ปริญญานิพนธ์นี้ศึกษาสมมูลของการดูดซับวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มด้วยซิลิกาเจล ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาข้อมูลสมมูลการดูดซับของวิตามินอีจากน้ำมันปาล์ม

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ศึกษาสมมูลของการดูดซับวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มบนตัวดูดซับซิลิกาเจล

### 1.3 ขอบเขตของปริณญาณิพนธ์

- 1.3.1 ทดสอบการดูดซับวิตามินอี
- 1.3.2 ศึกษาข้อมูลและวิธีการแยกปริมาณวิตามินอีจากน้ำมันปาล์ม
- 1.3.3 ทดลองดูดซับปริมาณวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มด้วยตัวดูดซับซิลิกาเจล

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบข้อมูลสมมูลการดูดซับวิตามินอีจากน้ำมันปาล์มด้วยตัวดูดซับซิลิกาเจล
- 1.4.2 เป็นข้อมูลพื้นฐานในการแยกวิตามินอีจากน้ำมันปาล์ม
- 1.4.3 เป็นแนวทางในการแยกวิตามินชนิดอื่นๆ จากน้ำมันพืช



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎี

### 2.1 วิตามินอี

#### 2.1.1 ประวัติการค้นพบวิตามินอี [4- 5]

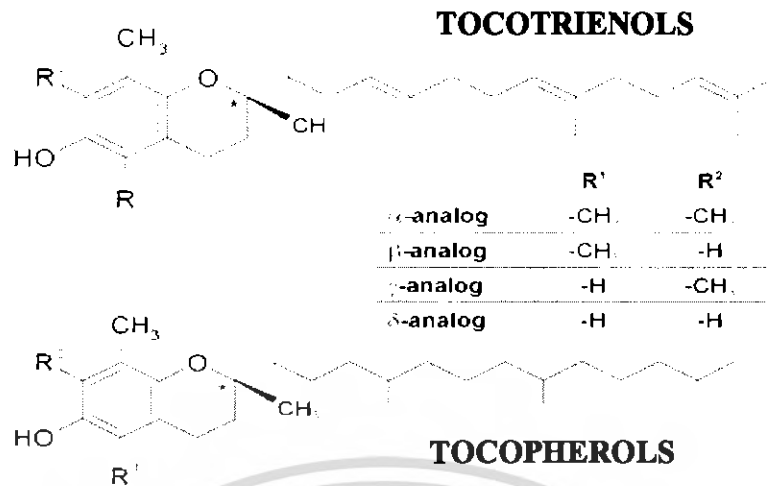
มีการค้นพบวิตามินอีเป็นครั้งแรก โดย Evans and Bishop (1922) ได้ทดลองเลี้ยงหนูตัวเมีย ด้วยอาหารที่ไม่มีวิตามินและเกลือแร่ใดๆ พบว่าหนูไม่มีโอกาสมีลูกแต่เมื่อเราสกัดสารจากน้ำมันพืช จมูกข้าวสาลี ถั่วลิสงและข้าวโพดให้หนูตัวนั้น พบว่าหนูสามารถตั้งท้องและมีลูกได้ตามปกติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการขาดสารนี้อาจทำให้เกิดอาการแท้งลูกและตัวอ่อนที่อยู่ในครรภ์ตาย (Fetus dies and resorbed) ต่อมา Sure (1924) ได้ตั้งชื่อสารที่สกัดจากน้ำมันพืชนี้ว่า วิตามินอี หรือวิตามินต้านทานการเป็นหมัน (Antisterility vitamin)

Evan and Emerson (1936) ได้แยกวิตามินอีจากจมูกข้าวสาลี (Wheat germ oil) ที่มีอยู่ในธรรมชาติ เนื่องจากวิตามินอีมีคุณสมบัติเป็นแอลกอฮอล์ จึงตั้งชื่อว่า โทโคเฟอรอล (Tocopherols) ซึ่งมีรากศัพท์มาจากภาษากรีก โดยโทโค (Tokos) แปลว่า ลูกหลานและเฟอโร (Phero) แปลว่า คลอดลูก ต่อมา Fernholz ได้หาสูตรโครงสร้างของแอลฟาโทโคเฟอรอล ในปี 1938 และในปีเดียวกัน Karrer สามารถสังเคราะห์วิตามินอีได้

#### 2.1.2 สูตรโครงสร้างและคุณสมบัติทางเคมี [6-9]

วิตามินอีที่พบในธรรมชาติมี 8 ชนิด คือ แอลฟา- บีตา- แกมมา- และเดลตา-โทโคเฟอรอล ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - and  $\delta$ - tocopherols) และแอลฟา- บีตา- แกมมา- และเดลตา-โทโคไตรอินอล ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - and  $\delta$ - tocotrienols) ซึ่งแต่ละชนิดจะมีลักษณะแตกต่างกันที่จำนวนและตำแหน่งของหมู่เมทิล ดังรูปที่ 2.1

โดยโทโคเฟอรอลชนิดที่มีประสิทธิภาพทางชีวเคมีมากที่สุด คือ แอลฟา ( $\alpha$ -Tocopherol) เป็นชนิดที่พบมากที่สุด ในธรรมชาติ และยังมีคุณค่าทางชีวภาพมากกว่าตัวอื่นๆ ( $\alpha > \beta > \gamma > \delta$ ) นักโภชนาศาสตร์ จึงได้เสนอให้ใช้หน่วยของวิตามินอีรวมเป็นมิลลิกรัมของ  $\alpha$ -Tocopherol equivalent แทนหน่วยสากล (International Unit หรือ IU) ซึ่งคำนวณได้จากปริมาณ (มก.) ของ  $\alpha$ -Tocopherol โดยที่ 1 IU = 1 มก. dl-alpha-tocopheryl acetate = 0.6 มก. dl-alpha-tocopherol [10]



### รูปที่ 2.1 โครงสร้างของวิตามินอี

วิตามินอีมีลักษณะเป็นน้ำมันข้นหนืด สีเหลือง ละลายได้ดีในไขมัน แต่ไม่ละลายในน้ำ จุดหลอมเหลวของแอลฟา-โทโคเฟอรอลในธรรมชาติ ( $\alpha$ -Tocopherol) อยู่ในช่วงประมาณ 2.5-3.5 องศาเซลเซียส ในสภาวะปกติวิตามินอี สามารถทนความร้อนได้เพียง 35 องศาเซลเซียส แต่ในสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนสามารถทนความร้อนได้ถึง 200 องศาเซลเซียส มีความทนทานต่อกรดและสภาวะที่ปราศจากออกซิเจนแต่จะไม่ทนต่อด่าง แสงอัลตราไวโอเลตและออกซิเจน รวมทั้งถูกทำลายเมื่อสัมผัสกับน้ำมันที่เหม็นหืน ตะกั่วและเหล็ก

#### 2.1.3 แหล่งที่พบวิตามินอี [13]

วิตามินอีมีมากในพืชแต่พบน้อยมากในสัตว์ อาหารที่ให้วิตามิน ได้แก่ อาหารจำพวกผักและถั่วต่างๆ เช่น ถั่วเหลือง ดอกคำฝอย ข้าวบาเลย์ ข้าวโพด เมล็ดทานตะวัน เมล็ดพืชไม่ขัดสี น้ำมันมะกอก น้ำมันคาโนลา และอัลมอนด์ เป็นต้น

#### 2.1.4 ประโยชน์ของวิตามินอี [11-13]

1. เพิ่มภูมิคุ้มกันให้กับร่างกายเมื่อเรามีอายุมากขึ้น ประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกันในร่างกายจะลดลงทำให้เกิดโรคได้ง่าย เช่น โรคหวัด มีรายงานการวิจัยว่าคนแก่ทั้งผู้หญิงและผู้ชายที่รับประทานวิตามินอี 60, 200 และ 800 มิลลิกรัม หรือ 90, 300 และ 1,200 IU (International Unit)/วัน เป็นเวลา 235 วัน หลังจากนั้น 4 เดือน ตรวจเช็คระบบภูมิคุ้มกัน พบว่าผู้ที่รับวิตามินอีมีภูมิคุ้มกันมากกว่าผู้ที่ไม่ได้รับวิตามินอี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ลดการเกิดโรคหัวใจ โดยวิตามินอีจะไปยับยั้ง Oxidation ของ LDL (Low-density lipoprotein) หรือคอเลสเตอรอลที่ร่างกายไม่ต้องการ ดังนั้นจึงสามารถลดการสะสมของไขมันในหลอดเลือด รวมทั้งวิตามินอีจะไปยับยั้งการสร้างเซลล์ที่ผลิตไขมัน

3. ลดการเกิดโรคความจำเสื่อม (Alzheimer) นักวิจัยที่มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย รายงานว่าภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เมื่อเคมเบต้า อะมายลอยด์ (amyloid) หรือสารที่สะสมในสมองของผู้ที่เป็นโรคความจำเสื่อม ลงบนเซลล์ประสาทนิวโรน พบว่าเซลล์จะแตกและสลายตัว

4. เป็นตัวควบคุมการเกิดเบาหวาน โดยพบว่าผู้ที่รับวิตามินอีในปริมาณที่มากเป็นโรคเบาหวานน้อยกว่าผู้ที่รับวิตามินอีในระดับต่ำกว่าประมาณ 88%

5. เป็นสารต้านมะเร็ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งมะเร็งผิวหนัง มะเร็งปากมดลูก มะเร็งต่อมลูกหมาก ผู้ที่รับวิตามินอีเป็นมะเร็งต่อมลูกหมากน้อยกว่าผู้ที่ไม่รับ 32%

6. บรรเทาอาการเจ็บปวด จากการอักเสบของข้อ (Rheumatoidarthritis) อาการสะบัดรื้อนสะบัดหนาวในผู้หญิงวัยใกล้หมดประจำเดือน

7. ช่วยลดรอยแผลเป็น ดังนั้นจึงนิยมใส่วิตามินอีในเครื่องสำอาง

## 2.2 น้ำมันปลา [14]

### 2.2.1 องค์ประกอบของน้ำมันปลา

น้ำมันปลาประกอบด้วยกลีเซอไรด์เป็นส่วนใหญ่ พบว่ามีไตรกลีเซอไรด์เป็นหลักและไดกลีเซอไรด์รวมทั้งโมโนกลีเซอไรด์เพียงเล็กน้อย โดยน้ำมันปลายังมีส่วนประกอบอื่นๆ อีก เช่น กรดไขมัน วิตามิน และความชื้น เป็นต้น

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลา 50% เป็นไขมันอิ่มตัว 40% เป็นไขมันไม่อิ่มตัวโมเลกุลเดี่ยวและ 10% เป็นไขมันไม่อิ่มตัวโมเลกุลคู่ โดยกรดไขมันที่จำเป็น คือ ลิโนเลอิก C18:2 ดังตารางที่ 2.1 และในน้ำมันปลามีวิตามินอีประมาณ 600-1,000 ส่วนในล้านส่วน โดยแสดงองค์ประกอบของวิตามินอีในน้ำมันปลา ดังตารางที่ 2.2

## 2.3 การดูดซับ [15]

การดูดซับเป็นกระบวนการแยกตัวถูกละลายออกจากก๊าซหรือของเหลว (adsorbate) ด้วยการดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับที่เป็นของแข็ง (adsorbent) กระบวนการดูดซับที่ใช้ในอุตสาหกรรมนิยมใช้ตัวดูดซับที่มีขนาดอนุภาคเล็กบรรจุในหอบรรจุและให้ของไหลไหลผ่านเบดของตัวดูดซับนั้น โดยตัวถูกละลายจะถูกดูดซับไว้ที่ผิวของตัวดูดซับ เมื่อเบดใกล้จะอิ่มตัวแล้วจะหยุดการทำงานของเบดนั้น ด้วยการหยุดป้อนของไหลเข้าไปในระบบและทำให้ตัวดูดซับคงสภาพด้วย

กระบวนการให้ความร้อนหรือใช้ตัวทำละลายอื่น เพื่อทำให้เกิดการคายซั้บ (desorption) เมื่อทำการคืนสภาพแล้ว ตัวดูดซั้บสามารถนำมาใช้งานซ้ำได้อีกครั้ง

**ตารางที่ 2.1** องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปาล์ม [14]

ชื่อของกรดไขมัน	ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณที่พบ (%)	
		อยู่ในช่วง	ค่าเฉลี่ย
กรดลอริก	C 12:0	0.1-1.0	0.2
กรดไมริสติก	C14:0	0.9-1.5	1.1
กรดปาล์มิติก	C16:0	41.8-46.8	44.0
กรดปาล์มิโตเลอิก	C16 :1	0.1-0.3	0.1
กรดสเตียริก	C18:0	4.2-5.1	4.5
กรดโอเลอิก	C18 :1	37.3-40.8	39.2
กรดลิโนเลอิก	C18 :2	9.1-11.0	10.1
กรดลิโนเลนิก	C18 :3	0.0-0.6	0.4
กรดอาราคิก	C 20:0	0.2-0.7	0.4

**ตารางที่ 2.2** องค์ประกอบของวิตามินอีชนิดต่างๆ ในเมล็ดปาล์ม [14]

ชนิดของวิตามินอี	ร้อยละ
$\alpha$ - Tocopherol	21.5
$\beta$ - Tocopherol	3.7
$\gamma$ - Tocopherol	3.2
$\delta$ - Tocopherol	1.6
$\alpha$ - Tocotrienol	7.3
$\beta$ - Tocotrienol	7.3
$\gamma$ - Tocotrienol	43.7
$\delta$ - Tocotrienol	11.7

โดยองค์ประกอบแต่ละชนิดในสารละลายหรือก๊าซนั้นจะมีความสามารถในการกระจายบนผิวและเกิดแรงดึงดูดกับตัวดูดซั้บได้ต่างกัน ปรากฏการณ์การดูดซั้บขึ้นกับลักษณะโครงสร้างของตัวดูดซั้บ คุณสมบัติทางเคมีของตัวดูดซั้บและตัวถูกดูดซั้บ จำนวนชั้นของโมเลกุลของตัวถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดซับบนพื้นผิวและรูพรุนของตัวดูดซับ ดังนั้นความสามารถในการแยกองค์ประกอบที่ต้องการออกจากสารละลายหรือก๊าซ จึงขึ้นอยู่กับทางเลือกตัวดูดซับให้เหมาะสมกับองค์ประกอบนั้น

โดยทั่วไปตัวดูดซับที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ซิลิกาเจล อะลูมินา ออกไซด์ (Activated alumina) และซีโอไลต์ ซึ่งตัวดูดซับจะมีลักษณะเฉพาะทางเคมี คือ มีพื้นที่ผิวมาก มีการกระจายตัวของขนาดรูพรุนและขนาดของอนุภาค ซึ่งลักษณะที่สำคัญของตัวดูดซับคือ ความมีขั้วของผิว (surface polarity) ของตัวดูดซับ

### 2.3.1 ประเภทของการดูดซับ

แบ่งการดูดซับได้สองประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) และการดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

#### 1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption)

การยึดติดโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับ โมเลกุลผิวหน้าของตัวดูดซับ จะเป็นแรงอ่อนกว่าแรงได้แก่ แรงวานเดอร์วาลส์ (Van der waals forces) แรงไดโพล-ไดโพล (dipole-dipole forces) โดยโมเลกุลตัวดูดซับจะเหมือนเดิม

ลักษณะการเกาะจับด้วยแรงทางกายภาพ

1. เกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่มีประจุตรงกันข้าม
2. เกิดจากโมเลกุลไม่มีขั้ว
3. เกิดจากโมเลกุลมีขั้วเข้ามาใกล้ที่ไม่มีขั้ว แล้วเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิด

ประจุตรงกันข้ามเกิดการดึงดูดกัน

#### 2. การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

เกี่ยวข้องกับแรงหรือพันธะเคมีของตัวถูกดูดซับกับพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การเกาะของตัวดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับจะเหมือนกับแรงที่ใช้ในการยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมภายในโมเลกุล การดูดซับทางเคมีต้องอาศัยพลังงานเข้าร่วมด้วย

ข้อแตกต่างของการดูดซับทางกายภาพและการดูดซับทางเคมี

1. การดูดซับทางกายภาพ ไม่มีการถ่ายเทหรือการใช้อิเล็กตรอนร่วมกัน สามารถผันกลับได้ที่อุณหภูมิเดียวกัน

2. การดูดซับทางกายภาพนี้สามารถเกิดได้ทั่วไป บนผิวตัวดูดซับที่ไม่มีบริเวณจำเพาะภายใต้สภาวะความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสม อาจเกิดการดูดซับได้หลายชั้นซึ่งการดูดซับทางเคมีจะเกิดในบริเวณจำเพาะเท่านั้น

3. ความร้อนที่ได้จากการดูดซับทางกายภาพน้อยกว่าทางเคมี

### 2.3.2 กลไกการดูดซับ

กลไกการดูดซับที่เกิดขึ้น เนื่องจากการดูดซับนั้นเป็นการถ่ายเทมวลจากของเหลวหรือก๊าซมายังของแข็ง โดยการดูดซับจะเกิดขึ้นเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 โมเลกุลของตัวถูกละลายเคลื่อนที่บริเวณรอบนอกของของแข็ง

ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกละลายจะแพร่ (Diffusion) เข้าไปในรูพรุนของของแข็ง

ขั้นตอนที่ 3 เกิดการดูดซับของตัวถูกละลายที่พื้นผิวภายในของของแข็ง ซึ่งอาจดูดซับด้วยแรงทางกายภาพ แรงทางเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน

## 2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ [14]

อัตราเร็วและความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

### 1. ขนาดอนุภาคและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ

คุณสมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับที่สำคัญ คือ ขนาดของอนุภาคและปริมาณพื้นที่ผิว ซึ่งขนาดอนุภาคของตัวดูดซับมีอิทธิพลต่ออัตราเร็วของการดูดซับ กล่าวคือ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดอนุภาคของตัวดูดซับและปริมาณพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถในการดูดซับ ดังนั้นตัวดูดซับที่มีปริมาณพื้นที่ผิวมากจึงดูดซับโมเลกุลได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย เนื่องจากปริมาณพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ได้มาจากช่องว่างหรือรูพรุนภายในตัวดูดซับ

### 2. ขนาดของตัวถูกละลาย

ขนาดของสารหรือโมเลกุลของตัวถูกละลาย มีความสำคัญต่อการดูดซับซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นภายในรูพรุนของตัวดูดซับ โดยพบว่า การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุด เมื่อโมเลกุลของตัวถูกละลายมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของตัวดูดซับ โดยโมเลกุลขนาดเล็กจะถูกละลายเข้าไปในรูพรุนก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่จะถูกติดตามเข้าไป

### 3. อุณหภูมิ

ถ้าเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเพิ่มขึ้น เนื่องจากการลดความหนืดของตัวถูกละลาย อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สามารถเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพได้ แต่ส่วนใหญ่มีผลค่อนข้างน้อยทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบเป็นสำคัญ

### 4. เวลา

ถ้าเพิ่มเวลาในการดูดซับ อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น

### 5. ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ส่วนใหญ่ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับแต่ละระบบ เช่น การดูดซับสีค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม คือ ต่ำกว่า 7 จะมีผลต่อการดูดซับสีได้ดี

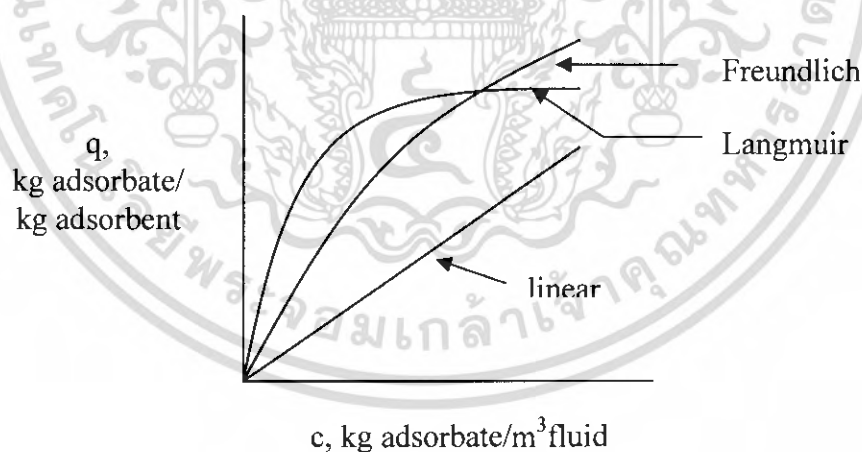
## 2.5 ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) [16-17]

การดูดซับ คือ สภาพที่ตัวถูกละลายเคลื่อนที่ออกจากสารละลายเข้าสู่ผิวหน้าของของแข็งและเพิ่มความเข้มข้นที่ผิวหน้าของของแข็งจนกระทั่ง ในเวลานั้นจะเป็นสภาวะสมดุลพลศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นของตัวถูกละลายในสารละลายกับความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่ผิวหน้าของของแข็ง โดยกำหนดให้การดูดซับของตัวถูกละลายเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก หรือน้ำหนักของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับไว้บนตัวดูดซับ 1 หน่วยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งอาจแสดงไว้ด้วยกราฟระหว่างความเข้มข้นหรือปริมาตรของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับเทียบกับความดันย่อยหรือความเข้มข้นของตัวถูกละลายในวัฏภาคของก๊าซหรือของเหลวที่อุณหภูมิคงที่ ซึ่งเรียกว่า ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption Isotherm) ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักของตัวถูกละลายต่อน้ำหนักของตัวดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายเพิ่มขึ้นแต่อาจจะไม่แปรผันเป็นเส้นตรงก็ได้

โดยแบบจำลองการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ (Models for adsorption isotherm) สามารถใช้ได้ทั้งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมี แต่มีข้อกำหนดดังนี้

1. ต้องมีสมดุลที่แท้จริง
2. การดูดซับสามารถผันกลับได้ โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในตัวถูกละลายที่เกิดขึ้น

เมื่อทำการดูดซับและการคายซับหลายๆ ครั้ง



รูปที่ 2.2 รูปแบบของไอโซเทอมการดูดซับบางประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับ

สมการที่ใช้อธิบายไอโซเทอมของการดูดซับได้แก่

**2.6.1 Langmuir equation** ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว ซึ่งมีสมมติฐานดังนี้

1. โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดูดซับที่ตำแหน่งต่างๆ บนพื้นผิวของตัวดูดซับ
2. ตำแหน่งแต่ละตำแหน่งจะสามารถดูดซับได้เพียงโมเลกุลเดียวเท่านั้น
3. การดูดซับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับจะเกิดเป็นชั้นเดียว
4. พลังงานการดูดซับที่ทุกตำแหน่งบนตัวดูดซับจะมีค่าเท่ากัน

โดยสมการของ Langmuir มีดังนี้

$$q = \frac{(q_0 b C_e)}{(1 + b C_e)} \quad (2.1)$$

จัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$1/q = (1/q_0) + (1/bq_0)(1/C_e) \quad (2.2)$$

เมื่อ  $b$  คือ

$$b = b_0 e^{-\Delta H/RT} \quad (2.3)$$

โดยที่  $q$  = น้ำหนักของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (ไมโครกรัม/กรัม)

$q_0$  = น้ำหนักของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ เมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวชั้นเดียวเกือบสมบูรณ์ (ไมโครกรัม/กรัม)

$b, b_0$  = ค่าคงที่

$C_e$  = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

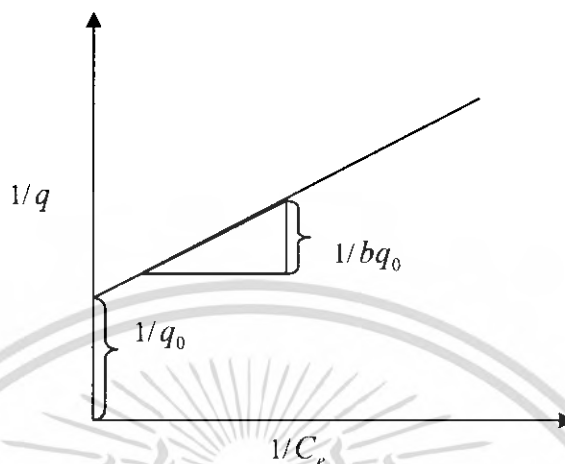
$\Delta \bar{H}$  = ค่าความร้อนของการดูดซับ (กิโลแคลอรี/โมล)

$R$  = ค่าคงที่ของก๊าซ (แคลอรี/เคลวิน โมล)

$T$  = อุณหภูมิของการดูดซับ (เคลวิน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $1/q$  และ  $1/C_e$  ดังรูปที่ 2.3 จะได้ความชัน คือ  $1/bq_0$  และจุดตัดแกน y คือ  $1/q_0$  ซึ่งค่าคงที่  $b$  จะแปรผันตามอุณหภูมิในการดูดซับดังสมการที่ (2.3)



รูปที่ 2.3 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir

### 2.6.2 Freundlich equation มีสมมติฐานดังนี้

1. โมเลกุลของตัวถูกดูดซับแต่ละ โมเลกุลที่ตำแหน่งต่างๆ บนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับ จะไม่มีผลกระทบท่อกัน
2. การดูดซับโมเลกุลของตัวถูกดูดซับบนตัวดูดซับจะเกิดแบบหลายชั้น

โดยสมการของ Freundlich มีดังนี้

$$q = KC_e^{1/n} \quad (2.4)$$

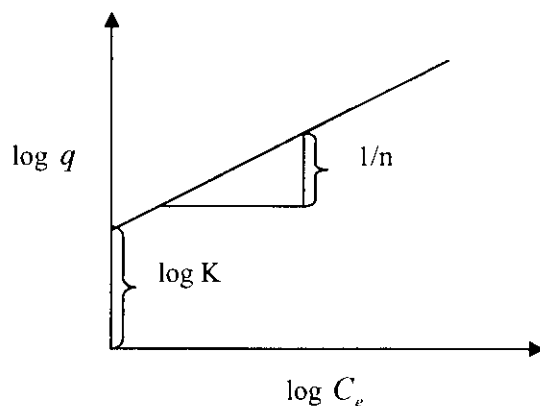
จัดรูปสมการได้ใหม่เป็น

$$\log q = \log K + [(1/n)\log C_e] \quad (2.6)$$

โดยที่  $K, n$  = ค่าคงที่

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $\log q$  กับ  $\log C_e$  ดังรูปที่ 2.4 จะได้ความชัน คือ  $1/n$  ซึ่งจุดตัดแกน y คือ  $\log K$  โดยค่าคงที่การดูดซับ  $K$  และค่าคงที่  $n$  จะขึ้นกับอุณหภูมิการดูดซับ เช่น ค่าคงที่ จะลดลงเมื่ออุณหภูมิการดูดซับเพิ่มขึ้น แต่ค่าคงที่  $n$  จะเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 2.4** กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Freundlich

## 2.7 ตัวทำละลาย (Solvent) [18]

เป็นของเหลวที่สามารถละลายตัวถูกละลายที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซได้เป็นสารละลาย ตัวทำละลายที่คุ้นเคยมากที่สุดและใช้ในชีวิตประจำวันคือ น้ำ สำหรับกำจัดความที่อ้างถึง ตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) จะหมายถึงตัวทำละลายอีกชนิดที่เป็นสารประกอบอินทรีย์ (organic compound) และมีคาร์บอนอะตอมอยู่ด้วย ดังตารางที่ 2.3 โดยปกติตัวทำละลายจะมีจุดเดือดต่ำและระเหยง่ายหรือสามารถกำจัดโดยการกลั่นได้ โดยทั่วไปแล้วตัวทำละลายไม่ควรทำปฏิกิริยากับตัวถูกละลาย คือ จะต้องมีความสมบัติเฉื่อยทางเคมี ตัวทำละลายสามารถใช้สกัด (extract) สารประกอบที่ละลายในตัวทำละลายจากของผสมได้ ปกติตัวทำละลายจะเป็นของเหลวใส ไม่มีสีและส่วนใหญ่จะมีกลิ่นเฉพาะตัว ความเข้มข้นของสารละลาย คือ ปริมาณสารประกอบที่ละลายในตัวทำละลายในปริมาตรที่กำหนด การละลาย (solubility) คือ ปริมาณสูงสุดของสารประกอบที่ละลายได้ในตัวทำละลาย ตามปริมาตรที่กำหนดที่อุณหภูมิเฉพาะ

**ตารางที่ 2.3** สมบัติของตัวทำละลายบางชนิดที่ใช้ในการสกัดสารละลาย

ตัวทำละลาย	สมบัติ
ไดเอทิลอีเทอร์	เป็นสารละลายที่ดี สามารถดูดน้ำได้ 1.5% และเกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ได้ง่าย
เมทิลินคลอไรด์	เกิดเป็นอิมัลชัน แต่สามารถทำให้แห้งได้ง่าย
ปิโตรเลียมอีเทอร์	เป็นตัวทำละลายที่ดี สำหรับสารที่ไม่มีขั้ว ทำให้แห้งได้ง่าย
คลอโรฟอร์ม	เกิดเป็นอิมัลชัน แต่สามารถทำให้แห้งได้ง่าย
เอทิลินไดคลอไรด์	เป็นตัวทำละลายที่ดี สำหรับสารที่มีโมเลกุลมีขั้ว ดูดน้ำได้ดี
2-บิวทานอล	เป็นตัวทำละลายที่ดี สำหรับสารที่มีโมเลกุลมีขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตัวทำละลายจะมีคุณสมบัติเฉพาะ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นกลุ่มต่างๆ ดังตารางที่ 2.4

**ตารางที่ 2.4** คุณสมบัติของตัวทำละลายทั่วไป (Properties table of common solvents) [17]

ตัวทำละลาย	สูตรเคมี	จุดเดือด	ความ มีขั้ว	ความหนาแน่น
Non-Polar Solvent				
เฮกเซน	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	69 °C	2.0	0.655
เบนซีน	$\text{C}_6\text{H}_6$	80 °C	2.3	0.879
โทลูอิน	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$	111 °C	2.4	0.867
ไดเอทิลอีเทอร์	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$	35 °C	4.3	0.713
คลอโรฟอร์ม	$\text{CHCl}_3$	61 °C	4.8	1.498
เอทิลอะซิเตท	$\text{CH}_3\text{-C(=O)-O-CH}_2\text{-CH}_3$	77 °C	6.0	0.894
เมทิลีนคลอไรด์	$\text{CH}_2\text{Cl}_2$	40 °C	9.1	1.326
Polar Aprotic Solvents				
Acetone	$\text{CH}_3\text{-C(=O)-CH}_3$	56 °C	21	0.786
Acetonitrile	$\text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{N}$	82 °C	37	0.786
Dimethylformamide	$\text{H-C(=O)N(CH}_3)_2$	153 °C	38	0.944
Dimethyl sulfoxide	$\text{CH}_3\text{-S(=O)-CH}_3$	189 °C	47	1.092
Polar protic Solvents				
n-Acetic acid	$\text{CH}_3\text{-C(=O)OH}$	118 °C	6.2	1.049
Butanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	118 °C	18	0.810
Isopropanol	$\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_3$	82 °C	18	0.785
n-Propanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	97 °C	20	0.803

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 ซิลิกาเจล (Silica Gel) [18]

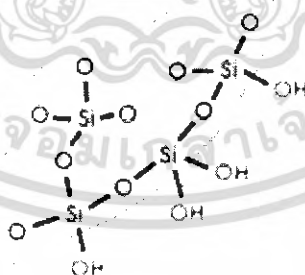
### 2.7.1 คุณสมบัติทางเคมีของซิลิกาเจล ดังแสดงตามตารางที่ 2.5

**ตารางที่ 2.5** คุณสมบัติทางเคมีของซิลิกาเจล

Trade name/ Synonym	Silica gel
Molecular weight	60.08
Boiling point	2230 °C
Melting point	1610 °C

### 2.7.2 โครงสร้างและส่วนประกอบ

ซิลิกาเจลมีโครงสร้างเป็นแบบอสัณฐาน ดังรูปที่ 2.5 และมีรูพรุนจำนวนมาก ซึ่งซิลิกาเจล มีส่วนประกอบมาจาก  $\text{SiO}_2$  เป็นส่วนใหญ่ ดังตารางที่ 2.6 โดยโครงสร้างภายในจะมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ตามลักษณะแหล่งที่มาของซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลัก โดยซิลิกาเจล (Silica Gel) ประกอบด้วยเครือข่ายจำนวนมากเชื่อมต่อกัน มีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ถ้าเปรียบเทียบกับระหว่างซีโอไลต์กับซิลิกาเจล (Silica Gel) พบว่าซิลิกาเจลมีรูพรุนกับระยะกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าซีโอไลต์โดยอยู่ระหว่าง 5 ถึง 3000 Å



### รูปที่ 2.5 โครงสร้างแบบอสัณฐานของซิลิกาเจล

ซึ่งจะแบ่งซิลิกาเจลออกเป็น 2 ประเภท คือ Synthetically silica gel เกิดจากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่าง โซเดียมซิลิเกต และกรดกำมะถัน ซึ่งมีขนาดรูพรุน 20 Å โดยทั่วไปซิลิกาเจลจะมีขนาดของรูพรุน 110 Å

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิกาเจล (Silica Gel) มีคุณสมบัติทางเคมีที่มีเสถียรภาพสูง เป็นตัวดูดซับที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่มีพิษ มีความจุสูง กำจัดความชื้นได้ง่าย มีพื้นที่ผิวกว้างและมีความแข็งแรง จึงใช้ซิลิกาเจล (Silica Gel) สำหรับการห่ออาหาร สิ้นค้า และเภสัชกรรม

**ตารางที่ 2.6** ส่วนประกอบของซิลิกาเจล [19]

องค์ประกอบ	ร้อยละ (%)
SiO <sub>2</sub>	99.71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.10
TiO <sub>2</sub>	0.09
CaO	0.01
ZrO <sub>2</sub>	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.02
Lg.loss	0.02

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

B.S. Chu, B.S. Baharin, Y.B. Che Man and S.Y. Quek [20] ได้ศึกษาการแยกวิตามินอีจาก PFAD ด้วยวิธีการดูดซับด้วยซิลิกาเจล โดยอุปกรณ์ Orbital shaker จากการทดลอง สมดุลของกระบวนการดูดซับเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ อัตราการกวนและน้ำหนักของซิลิกาเจล โดยที่อุณหภูมิต่ำจะสามารถแยกวิตามินอีได้ดีกว่าที่อุณหภูมิสูง โดยการดูดซับนี้เป็นกระบวนการคายความร้อน โดยค่าความจุของการดูดซับขึ้นกับอัตราการเขย่าแต่ไม่ขึ้นกับน้ำหนักของซิลิกาเจล จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลแบบ non-linear regression พบว่าการดูดซับจะใช้สมการของ Langmuir และคณะ อธิบายสมดุลการดูดซับได้ดีกว่าสมการของ Freundlich สำหรับตัวแปรทางเทอร์โมไดนามิกส์เป็นตัวบ่งชี้ว่า การดูดซับนี้เป็นกระบวนการคายความร้อน ซึ่งจะได้ค่าความร้อนของเอนทาลปี เอนโทรปี และค่าพลังงานอิสระ (GIBBS FREE ENERGY) มีค่าเป็นลบ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองข้างต้น

จากการทดลอง พบว่าตัวแปรที่ต้องการศึกษาในการดูดซับครั้งนี้ คือ เวลาที่อนุภาคของแข็งและของเหลวสัมผัสกัน สารที่ถูกดูดซับเข้าไปและสถานะที่เลือกใช้ในการทดลอง โดยเตรียมความเข้มข้นเริ่มต้นของวิตามินอีเท่ากับ  $5.7 \times 10^{-2}$  มิลลิกรัม/มิลลิลิตร และใช้ซิลิกาเจลเป็นตัวดูดซับ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าวิตามินอีจะเข้าสู่สมดุลที่เวลาประมาณ 5 นาที ซึ่งอัตราการดูด

ซั้ววิตามินอีค่อนข้างเร็ว ด้วยเหตุนี้จึงเลือกใช้เวลาในการกวนประมาณ 30 นาที เพียงพอที่จะทำให้ การดูดซับเข้าสู่สมดุล

B.S. Chu, B.S. Baharin, Y.B. Chc Man and S.Y. Quek [21] คณะวิจัยชาวมาเลเซียได้ ทำการศึกษาการเลือกตัวดูดซับปริมาณวิตามินอีในปาล์มน้ำมัน โดยศึกษาตัวดูดซับ 4 ชนิด คือ ซิลิกาเจล (Silica Gel: SG) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminum Oxide: AO) โบรมิเนทโพลีอะโรเมติกส์ (Synthetic brominated polyaromatic: SP) และโพลีอะโรเมติกส์โคเวก ออพทิพอ (Polyaromatic Dowex Optipore L-285: DO)

เพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบในการดูดซับวิตามินอีใน Palm Fatty Acid Distillated โดย วิตามินที่ได้จากการทำ Pre-concentration อยู่ในรูปของสารละลายเฮกเซน โดยใช้วิธีการดูดซับ แบบกะ (Batch Adsorption) เกิดแรงปฏิกิริยาระหว่างสารละลายที่มีวิตามินอีละลายอยู่กับตัวดูดซับ ใช้วิธีการแยกในออร์บิทัล เซกเกอร์ (orbital shaker) ภายใต้สภาวะการควบคุม พบว่าในช่วงแรก ปริมาณความเข้มข้นของวิตามินอีที่ถูกดูดซับเพิ่มขึ้น ซึ่งนิยมนวัดการดูดซับจากค่าความจุของตัว ดูดซับ (Adsorption capacity) ผลที่ได้จากการกระบวนการดูดซับเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน (Exothermic Reaction) หลังจากนั้นนำมาทำการคายซับด้วยไอโซโพรพานอล (Isopropanol) ซึ่ง สามารถละลายวิตามินอีออกจากตัวดูดซับได้ พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา (Reaction Temperature) ได้ปริมาณวิตามินอีมากขึ้น ดังนั้นซิลิกาเจลจึงเป็นตัวดูดซับที่เหมาะสมที่จะใช้แยก วิตามินอีเพราะว่าสามารถดูดซับวิตามินอีได้ปริมาณมาก รวมทั้งสามารถนำกลับมาใช้ (Regenerated) ในการดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับแบบอื่นๆ ภายใต้สภาวะการทดลองเดียวกัน

Xin Li, Zhong Li, Qibin Xia and Hongxia Xi [22] นักวิจัยชาวจีนได้ศึกษาขนาดของ รูพรุนของซิลิกาเจลที่มีผลต่อพลังงานที่ใช้ในการคายซับและการดูดซับของไอน้ำ โดยศึกษาเส้น ผ่านศูนย์กลางของซิลิกาเจล 3 ขนาด คือ 2, 5.28 และ 10.65 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยใช้เทคนิค TPD ในการอธิบาย ได้ผลดังนี้ ไอโซเทอมการดูดซับของซิลิกาเจล ชนิด A ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าน ศูนย์กลาง 2 นาโนเมตร สามารถอธิบายได้ด้วยสมการของ Langmuir ส่วนไอโซเทอมของชนิด B และชนิด C เป็นซิลิกาเจลแบบ mesoporous

ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการคายซับของซิลิกาเจลชนิด A, B และ C คือ 35.54 , 31.41 และ 26.16 กิโลจูล/โมล ตามลำดับ จากข้อมูลนี้ทำให้ทราบว่า พลังงานในการคายซับของซิลิกาเจลเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดรูพรุนของซิลิกาเจลลดลง

M.H Choo, Y.M. Ma An, C.H. Chuah and M.A. Hashim [23] คณะวิจัยชาวมาเลเซียได้ศึกษาการแยกวิตามินอีในน้ำมันปาล์ม เดิมวิตามินอีในน้ำมันปาล์มประกอบด้วยไอโซเมอร์ของโทโคฟีรอล (tocopherol) และโทโคไตรเอนอล (tocotrienol) [ $\alpha$ -tocopherol,  $\alpha$ -tocotrienol,  $\gamma$ -tocopherol,  $\gamma$ -tocotrienol and  $\delta$ -tocotrienol] จากนั้นวิเคราะห์โดยใช้ซิลิกาคอลัมน์แยกใน HPLC และใช้ฟลูออเรสเซนซ์ดีเทกเตอร์

HPLC-fluorescence method ชนิด C-30 silica stationary phase ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้วิเคราะห์วิตามินอีในน้ำมันปาล์ม ซึ่งประกอบด้วย  $\alpha$ -T1  $\approx$  3-4% ( $40 \pm 5$  ppm) ของปริมาณวิตามินอีในน้ำมันปาล์มดิบ และพบว่ามี Phytonutrient  $350 \pm 10\%$  นอกจากส่วนที่เป็นน้ำมันปาล์มแล้ว ยังพบเส้นใยปาล์มน้ำมันประมาณ 11% ( $430 \pm 6$  ppm) ซึ่งน้อยมากที่จะพบวิตามินอีเพียงอย่างเดียว



72251

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การดำเนินการทดลอง

#### 3.1 การทดสอบการดูดซับวิตามินอี

##### 3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. ปิเปตขนาด 2 และ 10 มิลลิลิตร
3. แท่งแก้วคนสาร
4. หลอดทดลอง
5. ขวดสีขนาด 100 มิลลิลิตร
6. หลอดหยดสาร
7. เครื่องชั่ง Mettler Toledo รุ่น AX 205 ที่มีความแม่นยำ  $\pm 0.0001$  กรัม
8. เครื่องเขย่า JANKE & KUNKEL รุ่น HS 500
9. เครื่องยวี่-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
10. ตะแกรงลวดขนาดเมช 120
11. ขวดน้ำกลั่น

##### 3.1.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ซิลิกาเจลชนิดทราย จากบริษัท คูคตี คอทคอม
2. น้ำมันปาล์มดิบที่มีวิตามินอีประมาณ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร
3. น้ำมันปาล์มโพลีน ซึ่งพบว่ามีวิตามินอีประมาณ 1 มิลลิกรัม/ลิตร
4. ก๊าซไนโตรเจน 99.5 %

##### 3.1.3 วิธีการทดลอง

###### 3.1.3.1 การทำกราฟมาตรฐานการดูดซับวิตามินอี

1. นำน้ำมันปาล์มดิบเตรียมเป็นสารละลายที่มีความเข้มข้น 10%, 20%, 30%, 40%, 50% และ 60% ของน้ำมันปาล์มดิบด้วยน้ำมันปาล์มโพลีน
2. เจือจางให้มีความเข้มข้น 2% ของน้ำมันปาล์มดิบด้วยน้ำมันปาล์มโพลีน
3. นำสารละลายที่ได้ในแต่ละขวด ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 292 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยวี่-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นของสารละลายวิตามินอี ดังภาคผนวก ค รูปที่ ค.1

### 3.1.3.2 ศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ

1. เตรียมสารละลายให้ความเข้มข้น 60% ของน้ำมันปาล์มดิบด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน จำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดสีชาที่ปราศจากออกซิเจน จำนวน 11 ขวด
2. ชั่งชิลิกาเจล 1 กรัม ใส่ขวดสีชาในข้อ 1 ปิดฝาขวดให้สนิท
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้อง ความเร็ว 180 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 5, 10, 20, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 และ 240 นาที
4. เก็บตัวอย่างที่เวลาต่างๆ นำมากรองด้วยตะแกรงลวดเมช 120
5. นำสารละลายที่กรองได้มาเจือจางให้มีความเข้มข้น 2 % ของน้ำมันปาล์มดิบด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน
6. จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 292 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณหาความเข้มข้นของวิตามินอีที่เหลือในสารละลายจากกราฟมาตรฐาน ดังภาคผนวก ค รูปที่ ค.1

### 3.1.3.3 ไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ

1. เตรียมสารละลายให้ความเข้มข้นวิตามินอี 10%, 20%, 30%, 40%, 50% และ 60% ของน้ำมันปาล์มดิบด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน จำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดสีชาที่ปราศจากออกซิเจน
2. ชั่งชิลิกาเจล 1 กรัม ใส่ขวดสีชาในข้อ 1 ปิดฝาขวดให้สนิท
3. นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้อง ความเร็ว 180 รอบต่อนาทีเป็นเวลาสมดุล
4. เก็บตัวอย่างนำมากรองด้วยตะแกรงลวดเมช 120
5. นำสารละลายที่กรองได้มาเจือจางให้มีความเข้มข้น 2 % ของน้ำมันปาล์มดิบด้วยน้ำมันปาล์มโอเลอิน
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 292 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และคำนวณหาความเข้มข้นของวิตามินอีที่เหลือในสารละลายจากกราฟมาตรฐาน
7. นำผลการทดลองที่ได้ไปคำนวณหาไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ

$$\text{ประสิทธิภาพการดูดซับ (\%)} = \left[ \frac{(C_0 - C)}{C_0} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ  $C_0$  = ความเข้มข้นของสารละลายวิตามินอีเริ่มต้น (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

$C$  = ความเข้มข้นของสารละลายวิตามินอีหลังการดูดซับ (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

$$q = \left[ \frac{(C_0 - C_e)}{m} \right] \times V \quad (3.2)$$

เมื่อ  $q$  = น้ำหนักของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (ไมโครกรัม/กรัม)

$C_e$  = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สภาวะสมดุล (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)

$m$  = น้ำหนักของสารดูดซับ (กรัม)

$V$  = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ (มิลลิลิตร)

### 3.1.3.4 วิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และสมการของ

#### Freundlich

นำผลการทดลองที่ได้จาก 3.1.3.4 ไปวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich เพื่อหาค่าคงที่ต่างๆ

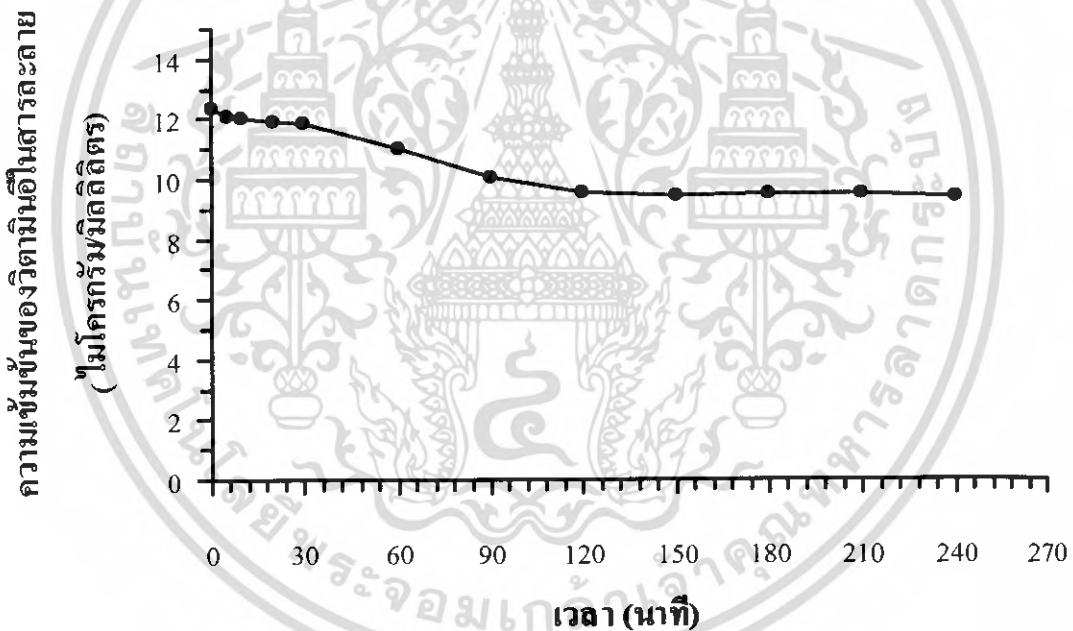
## บทที่ 4

# ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

### 4.1 การทดสอบการดูดซับสารละลายวิตามินอี

#### 4.1.1 เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ

การศึกษาเวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของซิติกาเจตที่ความเข้มข้นของวิตามินอี 12 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร จากรูปที่ 4.1 และข้อมูลการทดลองที่แสดงดังภาคผนวก ค ตารางที่ ค.2 พบว่าอัตราการดูดซับวิตามินอีในช่วง 5 นาทีแรกเป็นไปอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งเวลา 120 นาทีไปจนถึงเวลา 240 นาที ซึ่งแสดงว่าเวลาในการเข้าสู่สมดุลของการดูดซับวิตามินอี คือ 120 นาที



**รูปที่ 4.1** เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของวิตามินอีที่อุณหภูมิห้องความเข้มข้น 12 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

#### 4.1.2 ไอโซเทอมการดูดซับและประสิทธิภาพการดูดซับ

จากข้อมูลการดูดซับวิตามินอี ( $q$ ) ดังตารางที่ 4.1 สามารถหาไอโซเทอมการดูดซับ แสดงดังรูปที่ 4.2 จากกราฟแสดงว่า ที่ความเข้มข้นของของวิตามินอีค่าการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีและเมื่อเข้าสู่สมดุลการดูดซับจะคงที่ จากข้อมูลการทดลองที่แสดงในภาคผนวก ค ตารางที่ ค.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

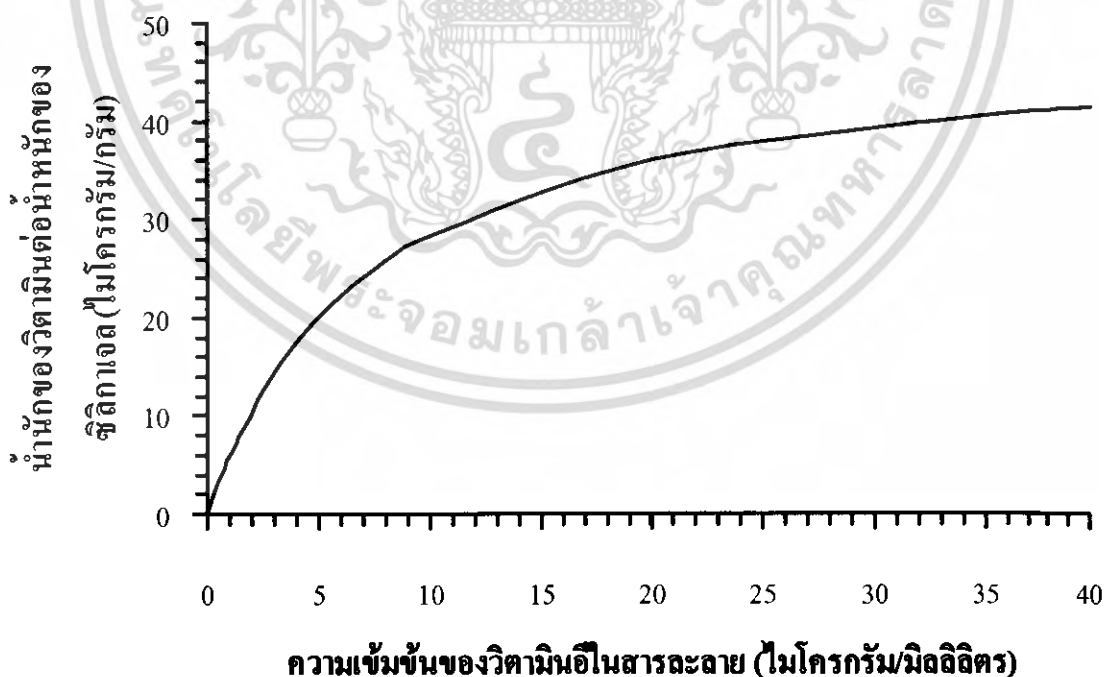
สามารถหาประสิทธิภาพการดูดซับได้ดังรูปที่ 4.3 พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับวิตามินอีที่ความเข้มข้น 2 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพ 36.2 % และที่ความเข้มข้น 12 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร มีประสิทธิภาพ คือ 19.9 %

**ตารางที่ 4.1** ข้อมูลการดูดซับวิตามินของซีลีกาเจล

$C_e$ ( $\mu\text{g/ml}$ )	$q$ ( $\mu\text{g/g}$ )
1.2744	7.256
2.639	13.61
4.0333	18.777
5.6353	23.647
7.5339	23.771
9.6105	23.895

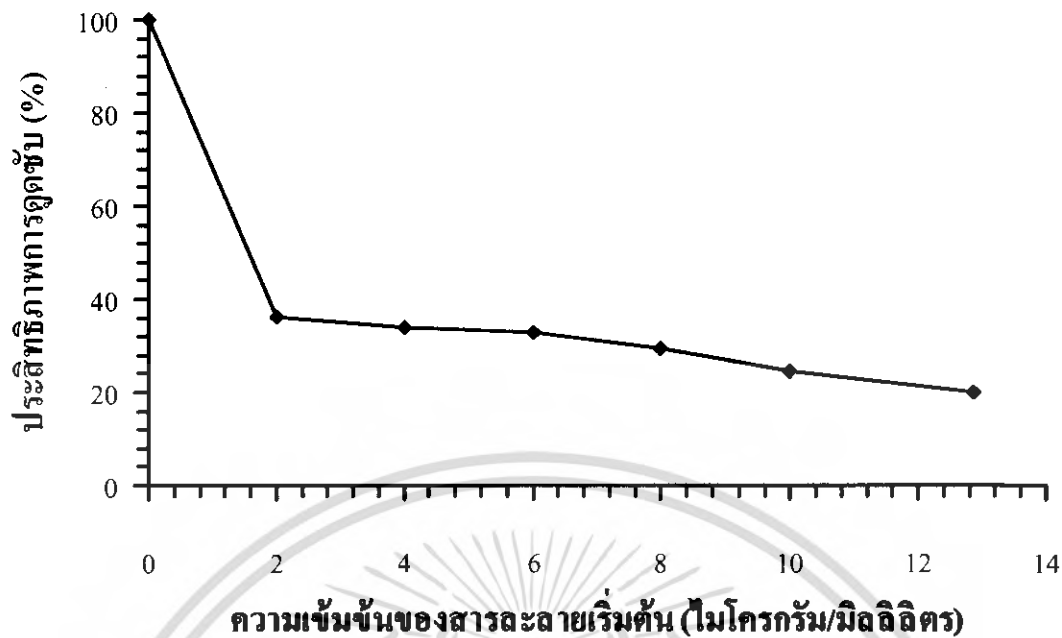
เมื่อ  $q$  = น้ำหนักของวิตามินอีต่อน้ำหนักของซีลีกาเจลที่สมดุล ( $\mu\text{g/g}$ )

$C_e$  = ความเข้มข้นของวิตามินอีที่อยู่ในสมดุลหลังการดูดซับ ( $\mu\text{g/ml}$ )



**รูปที่ 4.2** ไอโซเทอมของการดูดซับวิตามินอี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

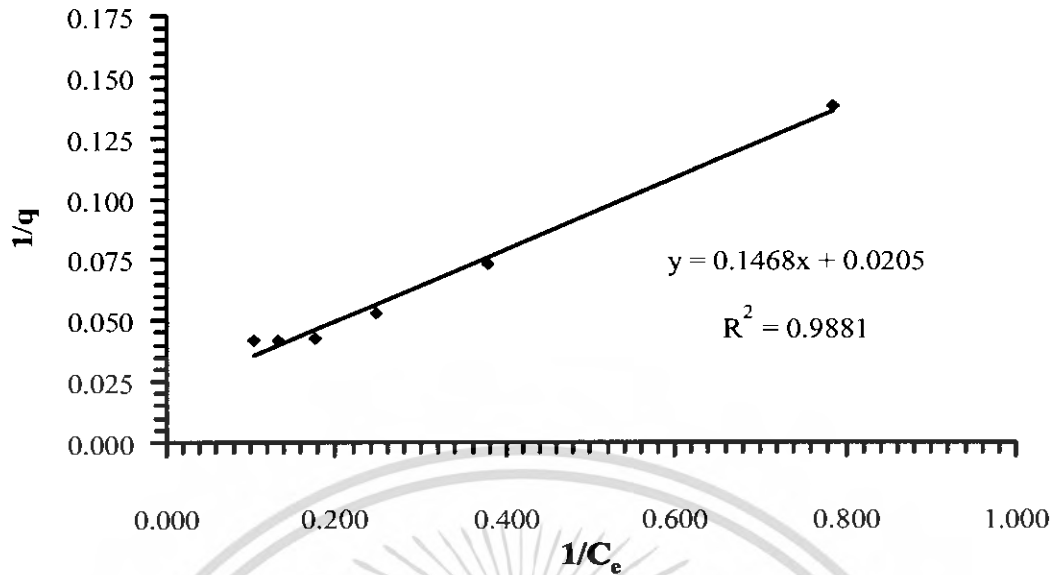


รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับวิตามินซี

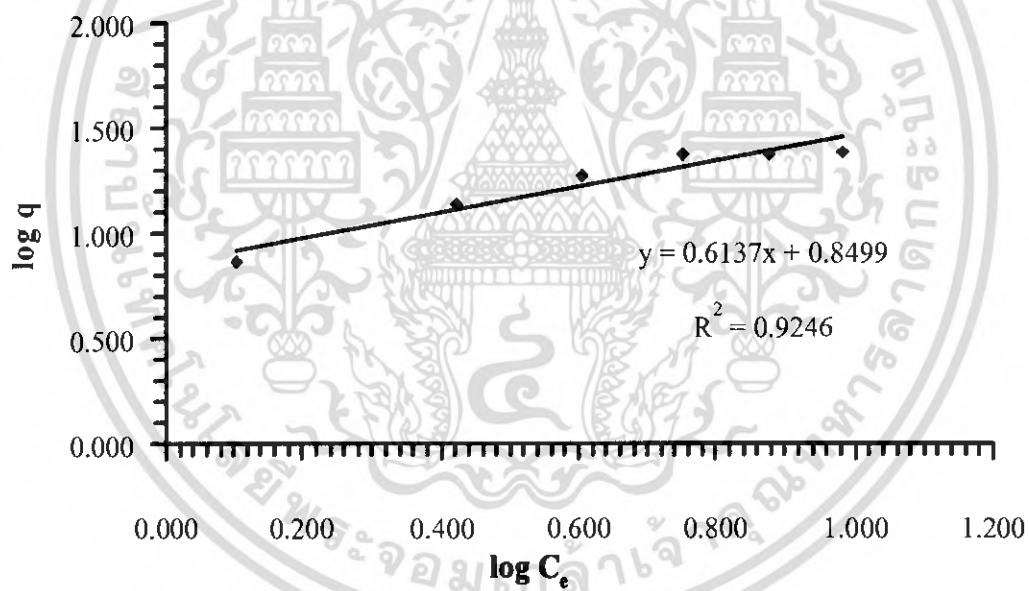
#### 4.1.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับโดยใช้สมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich

การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับวิตามินซีที่ความเข้มข้นต่างๆ ด้วยสมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich ดังภาคผนวก ค ตารางที่ ค.5-ค.6 ดังรูปที่ 4.4-4.5 สามารถหาค่าความชันและจุดตัดแกน เพื่อใช้ในการคำนวณน้ำหนักของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ ( $\mu\text{g/g}$ ) เมื่อเกิดการดูดซับบนพื้นผิวเกือบสมบูรณ์ ( $q_0$ ) และค่าคงที่ (b) ของสมการ Langmuir รวมทั้งค่าคงที่การดูดซับ (K) และ ค่าคงที่ (n) ของสมการ Freundlich ดังแสดงดังตารางที่ 4.2

จากตารางที่ 4.2 พบว่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ ) ของซีลิกาเจลจากสมการของ Langmuir เท่ากับ 0.9881 และสมการของ Freundlich เท่ากับ 0.9246 ซึ่งอาจอนุมานได้ว่าสมการของ Langmuir เหมาะสมที่จะใช้อธิบายสมดุลการดูดซับมากกว่าสมการของ Freundlich เพราะมีค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดเข้าใกล้ 1 มากกว่า จากข้อมูลข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่า ซีลิกาเจลอาจเป็นตัวดูดซับแบบชั้นเดียว สำหรับค่า  $q_0$  มีค่าเท่ากับ 48.78 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร ส่วนค่าคงที่ b และค่าคงที่การดูดซับ (K) เป็นค่าที่ขึ้นกับอุณหภูมิ ซึ่งปฏิกิริยานี้ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้องจึงไม่สามารถวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการดูดซับได้ ส่วนค่าคงที่ (n) เท่ากับ 1.6295 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าที่สภาวะสมดุลปริมาณการดูดซับของซีลิกาเจลจะลดลงที่ความเข้มข้นของวิตามินซีต่ำ



รูปที่ 4.4 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir



รูปที่ 4.5 กราฟวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Freundlich

ตารางที่ 4.2 ค่าตัวแปรที่ได้จากการคำนวณสมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich

ชนิดกาเจล	Langmuir			Freundlich		
	$q_0$ ( $\mu\text{g/g}$ )	$b$	$R^2$	$K$	$n$	$R^2$
	48.78	0.1396	0.9881	2.339	1.6295	0.9246

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาเวลาในการดูดซับวิตามินอีพบว่าในช่วงเวลาเริ่มต้นการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดี จากนั้นจะลดลงเรื่อยๆ จนคงที่ โดยเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับของซีลีกาเจล คือ 120 นาที และพบว่าประสิทธิภาพของการดูดซับวิตามินอีที่ความเข้มข้น 2 และ 12 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร เป็น 36.2% และ 19.9% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการดูดซับจะลดลง

การวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับด้วยสมการของ Langmuir และสมการของ Freundlich พบว่าการดูดซับที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการของ Langmuir ซึ่งอนุมานได้ว่าซีลีกาเจลเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว

ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ B.S. Chu, B.S. Baharin, Y.B. Che Man and S.Y. Quek ที่ศึกษาการแยกวิตามินอีจาก PFAD โดยใช้ซีลีกาเจลเป็นตัวดูดซับและศึกษาไอโซเทอมการดูดซับ พบว่าสมการของ Langmuir และคณะ สามารถอธิบายข้อมูลสมดุลการดูดซับได้ดีกว่าสมการของ Freundlich เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด ( $R^2$ )

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการเปลี่ยนอุณหภูมิ เพราะจะได้อธิบายว่าค่าคงที่  $b$  และค่าคงที่การดูดซับ ( $K$ ) ซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นกับอุณหภูมิ จะได้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองได้อย่างละเอียด
2. เนื่องจากวิตามินอีเป็นวิตามินที่ไวต่อแสงและออกซิเจน ดังนั้นในการทดลองควรหลีกเลี่ยงปัจจัยทั้งสองเพื่อรักษาวิตามินอีไว้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กองสถิติ กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- [2] [Online]. Available: [http:// webdb.dmsc.moph.go.th/ife\\_cosmetic](http://webdb.dmsc.moph.go.th/ife_cosmetic).
- [3] [Online]. Available: [http:// webdb.dmsc.moph.go.th/ife\\_cosmetic](http://webdb.dmsc.moph.go.th/ife_cosmetic).
- [4] ลักษณ์ อินทร์ถัด. **โภชนศาสตร์เชิงชีวเคมี วิตามิน กลีโอะร่า น้ำและใยอาหาร**. กรุงเทพฯ: มีเดียการพิมพ์., 2543.
- [5] สมทรง เลขะกุล. **ชีวเคมีของวิตามิน**. กรุงเทพฯ: ศูภวนิขการพิมพ์., 2543.
- [6] นิธิยา รัตนานาปนท. **เคมีอาหาร**. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร., 2545.
- [7] สุนทรี เปรื่องการ. **วิตามินอี**. กองวิทยาศาสตร์ชีวภาพ กระทรวงวิทยาศาสตร์.
- [8] สรรเสริญ ทรัพย์โตษก. **โภชนาการเชิงชีวเคมี**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย., 2537.
- [9] M. Marsin Sanagi, H.H. See, Wan Aini Wan Ibrahim and Ahmedy Abu Naim. **Determination of carotene, tocopherols and tocotrienols in residue oil from palm pressed fiber using pressurized liquid extraction-normal phase liquid chromatography**. University Technology Malaysia., 2005.
- [9] [Online]. Available: [http://www.wikipedia.org/wiki/vitamin E/](http://www.wikipedia.org/wiki/vitamin_E/).
- [10] [Online]. Available: <http://www.unu.edu/unupress/food/8F152e/8F152E05.htm>.
- [11] Y.H Hui. **Balley's industrial oil and fat product**. Technology and Commerce. International. 5<sup>th</sup> ed. John Wiley.
- [12] [Online]. Available: [http:// www.britanniafood.com/English/invit\\_02.htm#characteristics](http://www.britanniafood.com/English/invit_02.htm#characteristics).
- [13] [Online]. Available: <http://www.doa.go.th/th/ShowArticles>.
- [14] [Online]. Available: [http:// www.wikipedia.org/wiki](http://www.wikipedia.org/wiki).
- [15] ชวัชชัย ศรีวิบูลย์. **เคมีวิเคราะห์ 2**. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งมหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2541.
- [16] D.S Samuel and M.A Osman. **Adsorption Process for Water treatment**. Stoncham., Dutteworts Publishers., 1987.
- [17] J.G Seader and E.J Henley. **Separation Process**. New York: John Wiley & Sons., 1998.
- [18] [Online]. Available: [http:// www.dcchem.co.kr/English/index.asp](http://www.dcchem.co.kr/English/index.asp)
- [19] [Online]. Available: <http://www.dud-d.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [20] B.S. Chu, B.S. Baharin, Y.B. Che Man and S.Y. Quek. **Separation of vitamin E from palm fatty acid distillate using silica :I Equilibrium of batch adsorption.** University of Putra., 2003.
- [21] B.S. Chu, B.S. Baharin, Y.B. Che Man and S.Y. Quek. **Comparison of selected adsorbent for adsorption and desorption of from palm fatty acid distillate.** University of Putra., 2005.
- [22] Xin Li, Zhong Li Qibin Xia and Hongxia Xi. **Effects of pore sizes of porous silica gels on desorption activation energy of water vapour.** Chemical Engineering, South China University of Technology., 2006.
- [23] M.H Choo, Y.M. Ma An, C.H. Chuah and M.A. Hashim **Separation of vitamin E (tocopherol, tocotrienol and tococomonoenol) in palm oil.** Food Technology., 2004.
- [24] [Online]. Available: <http://production.doae.go.th>:



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

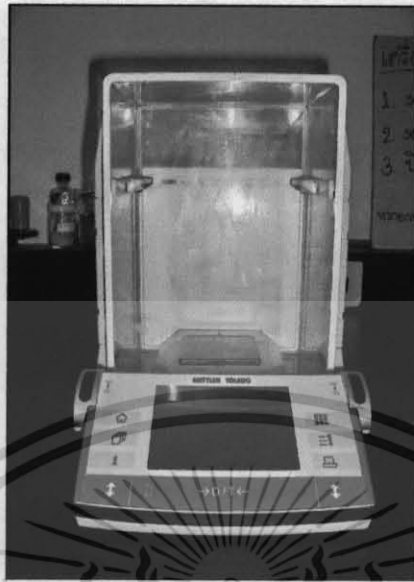


รูปที่ ก.1 เครื่องเย้า JANKE & KUNKEL รุ่น HS 500



รูปที่ ก.2 เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 เครื่องชั่ง Metter Toledo รุ่น AX 205



รูปที่ ก.4 ถังก๊าซไนโตรเจน 99.5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการผลิตและราคาขายของปาล์มน้ำมัน

ตารางที่ ข.1 รายงานภาวะการผลิตการเกษตรเปรียบเทียบรายปีของปาล์มน้ำมัน ปีเพาะปลูกปี พ.ศ. 2549 ทั้งประเทศ ช่วงเวลาอ้างอิงการเพาะปลูกตั้งแต่ มกราคม ถึง ธันวาคม [24]

ระดับข้อมูล	เนื้อที่ขึ้นต้น (ไร่)	เนื้อที่ปลูกใหม่ (ไร่)	เนื้อที่เสียหาย (ไร่)	เนื้อที่ให้ผล (ไร่)	ผลผลิตรวม (ตัน)	ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่)
จังหวัดสระบุรี	70.00	14.00	0.00	0.00	0.00	-
จังหวัดชลบุรี	27,024.00	1,747.00	5.00	25,224.00	57,039.33	2,261.31
จังหวัดระยอง	8,946.00	3,393.00	20.00	4,574.00	10,778.80	2,356.54
จังหวัดจันทบุรี	2,856.00	1,740.00	0.00	1,081.00	2,174.00	2,011.10
จังหวัดตราด	1,009.00	60.00	0.00	700.00	1,400.00	2,000.00
จังหวัดฉะเชิงเทรา	2,710.00	165.00	0.00	1,050.00	13,910.50	13,248.10
จังหวัดสระแก้ว	3,407.00	666.00	0.00	2,654.00	4,809.00	1,811.98
จังหวัดอุบลราชธานี	376.00	2,226.00	35.00	0.00	0.00	-
จังหวัดอำนาจเจริญ	324.00	624.00	0.00	0.00	0.00	-
จังหวัดหนองบัวลำภู	58.00	300.00	300.00	0.00	0.00	-
จังหวัดอุดรธานี	0.00	150.00	0.00	0.00	0.00	-

**ตารางที่ ข.1** รายงานภาวะการผลิตการเกษตรเปรียบเทียบรายปีพืชปาล์มน้ำมัน ปีเพาะปลูกปี พ.ศ. 2549 ทั้งประเทศ ช่วงเวลาอ้างอิงการเพาะปลูกตั้งแต่ มกราคม

ถึง ธันวาคม (ต่อ) [24]

ระดับข้อมูล	เนื้อที่ขึ้นต้น (ไร่)	เนื้อที่ปลูกใหม่ (ไร่)	เนื้อที่เสียหาย (ไร่)	เนื้อที่ให้ผล (ไร่)	ผลผลิตรวม (ตัน)	ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่)
ทั้งหมด	2549	2549	2549	2549	2549	2549
จังหวัดลพบุรี	0.00	378.00	0.00	0.00	0.00	-
จังหวัดมหาสารคาม	9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
จังหวัดกาฬสินธุ์	148.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
จังหวัดสกลนคร	0.00	43.00	0.00	0.00	0.00	-
จังหวัดกาฬสินธุ์	148.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-
จังหวัดสกลนคร	0.00	43.00	0.00	0.00	0.00	-
จังหวัดมุกดาหาร	-	-	-	-	-	-
จังหวัดอุทัยธานี	325.00	42.00	0.00	0.00	0.00	-
จังหวัดราชบุรี	-	-	-	-	-	-
จังหวัดกาญจนบุรี	1,943.00	794.00	0.00	340.00	750.00	2,205.88
จังหวัดเพชรบุรี	460.00	0.00	0.00	300.00	2,700.00	9,000.00
จังหวัดประจวบคีรีขันธ์	2,351.00	0.00	0.00	1,005.00	805.75	801.74
จังหวัดนครศรีธรรมราช	52,183.00	26,453.00	7,543.00	33,612.00	333,463.64	9,920.97
จังหวัดกระบี่	1,113,284.00	4,591.00	30.00	694,625.20	2,303,280.47	3,315.86
จังหวัดพังงา	-	-	-	-	-	-
จังหวัดภูเก็ต	-	-	-	-	-	-

**ตารางที่ ข.1** รายงานภาวะการผลิตการเกษตรเปรียบเทียบรายปีพืชปาล์มน้ำมัน ปีเพาะปลูกปี พ.ศ. 2549 ทั้งประเทศ ช่วงเวลาอ้างอิงการเพาะปลูกตั้งแต่ มกราคม

ถึง ธันวาคม (ต่อ) [24]

ระดับข้อมูล	เนื้อที่ขึ้นต้น (ไร่) 2549	เนื้อที่ปลูกใหม่ (ไร่) 2549	เนื้อที่เสียหาย (ไร่) 2549	เนื้อที่ให้ผล (ไร่) 2549	ผลผลิตรวม (ตัน) 2549	ผลผลิตเฉลี่ย (กิโลกรัม/ไร่) 2549
จังหวัดสุราษฎร์ธานี	759,721.00	34,830.00	2,182.00	519,705.00	1,340,360.75	2,579.08
จังหวัดระนอง	16,740.00	32.00	0.00	9,239.00	53,160.37	5,753.91
จังหวัดชุมพร	504,362.00	135,151.00	2,213.00	380,450.00	3,925,178.23	10,317.20
จังหวัดพังงา	4,088.00	2,959.00	60.00	911.00	8,346.28	9,161.67
จังหวัดปัตตานี	420.00	1,063.00	0.00	120.00	415.00	3,458.33
จังหวัดนราธิวาส	4,841.00	0.00	0.00	1,337.00	0.00	0.00
รวมทั้งประเทศ	2,615,076.00	225,631.50	12,690.00	1,753,090.20	8,463,310.31	4,827.65

**ตารางที่ ข.2** เนื้อที่ให้ผล ผลผลิต ผลผลิตต่อไร่ ราคาและมูลค่าของผลผลิตตามราคาที่ยกขายนายได้ปี 2539-2548 ปาล์มน้ำมัน [24]

ปี	เนื้อที่ให้ผล (1,000 ไร่)	ผลผลิต (1,000 ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กก.)	ราคาที่ยกขายนาย ได้ (บาท/กก.)	มูลค่าของผลผลิตตาม ราคาที่ยกขายนายได้ (ล้านบาท)	Year
2539	1,043	2,611	2,503	2.02	5,275	1996
2540	1,109	2,578	2,323	2.17	5,593	1997
2541	1,284	2,523	1,964	3.37	8,502	1998
2542	1,345	3,413	2,537	2.20	7,509	1999
2543	1,438	3,343	2,325	1.66	5,549	2000
2544	1,518	4,097	2,699	1.19	4,875	2001
2545	1,644	4,001	2,434	2.30	9,203	2002
2546	1,799	4,903	2,725	2.33	11,423	2003
2547	1,932	5,182	2,682	3.11	16,115	2004
2548	2,026	5,003	2,469	2.76	13,807	2005

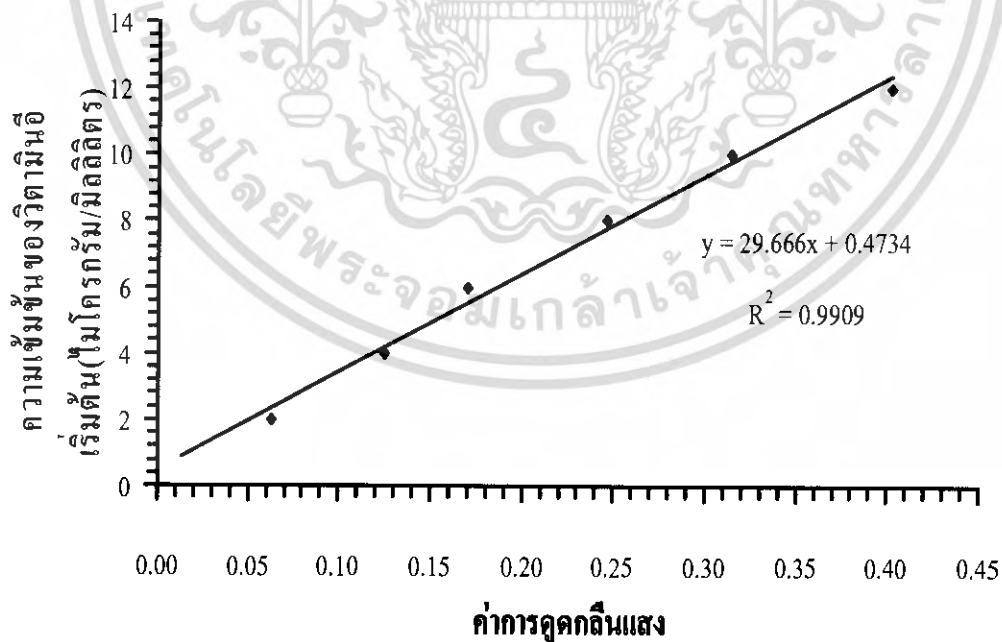
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### ข้อมูลผลการทดลอง

**ตารางที่ ค.1** ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับค่าความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายวิตามินอี

ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของวิตามินอี (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)
0.063	2
0.125	4
0.170	6
0.246	8
0.314	10
0.402	12



**รูปที่ ค.1** กราฟมาตรฐานของการดูดซับวิตามินอี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค.2** เวลาในการเข้าสู่สมดุลการดูดซับ

เวลา (นาที)	ค่าการดูดกลืนแสง	ความเข้มข้นของวิตามินอีใน สารละลายที่สภาวะสมดุล (ไมโครกรัม/มิลลิลิตร)
0	0.402	12.399
5	0.394	12.162
10	0.391	12.073
20	0.388	11.984
30	0.985	11.895
60	0.368	11.520
90	0.347	10.768
120	0.308	9.611
150	0.305	9.522
180	0.307	9.581
210	0.306	9.642
240	0.303	9.462

**ตารางที่ ค.3** ข้อมูลประสิทธิภาพการดูดซับ

$C_0$ ( $\mu\text{g/ml}$ )	$C_e$ ( $\mu\text{g/ml}$ )	ประสิทธิภาพ (%)
2	1.27	36.30
4	2.64	34.00
6	4.03	32.77
8	5.63	29.56
10	7.53	24.66
12	9.61	19.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ ค.4** ข้อมูลการดูดซับสำหรับสมการของ Langmuir

$1/C_e$ (ml/ $\mu$ g)	$1/q$ (g/ $\mu$ g)
0.7840	0.1378
0.3789	0.0735
0.2479	0.0533
0.1775	0.0423
0.1327	0.0421
0.1041	0.0418

**ตารางที่ ค.5** ข้อมูลการดูดซับสำหรับสมการของ Freundlich

$\log C_e$	$\log q$
0.1053	0.8607
0.4214	1.1339
0.6057	1.2736
0.7509	1.3738
0.8770	1.3760
0.9827	1.3783

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

### วิธีการคำนวณ

#### - การหาปริมาณวิตามินอีที่ความเข้มข้นต่างๆ ของน้ำมันปลา

$$\begin{aligned} \text{โดยน้ำมันปลาคีบมีปริมาณวิตามินอี } 1000 \text{ mg/l} &= 1000 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot \frac{10^{-3} \text{ l}}{\text{ml}} \\ &= 1 \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \end{aligned}$$

ดังนั้น น้ำมันปลาคีบ 1 มิลลิลิตร มีปริมาณวิตามินอี 1 มิลลิกรัม

#### ตัวอย่างการคำนวณ

พิจารณาที่ 10% ของน้ำมันปลาคีบ

โดย 10% ของน้ำมันปลาคีบในน้ำมันปลาโอเลอิน คิดเป็น  $0.1 \frac{\text{mg}}{\text{ml}}$

จากนั้นนำสารละลายที่ได้มาเจือจางให้มีความเข้มข้น 2% ของสารละลายในน้ำมันโอเลอิน

10 ml

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของวิตามินอีที่ 10\%} &= 0.1 \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \cdot \frac{0.2}{10 \text{ ml}} \\ &= 0.002 \frac{\text{mg}}{\text{ml}} \\ &= 2 \frac{\mu\text{g}}{\text{ml}} \end{aligned}$$

ดังนั้น น้ำมันปลาคีบ 1 มิลลิลิตร มีปริมาณวิตามินอี 2 ไมโครกรัม

จากนั้น คำนวณปริมาณวิตามินอีเริ่มต้นที่ความเข้มข้นต่างๆ ของน้ำมันปลา ได้ดังตารางที่ ง.1

#### ตารางที่ ง.1 ปริมาณวิตามินอีเริ่มต้นที่ความเข้มข้นต่างๆ ของน้ำมันปลา

ความเข้มข้นของน้ำมันปลา (%)	ความเข้มข้นของวิตามินอี ( $\mu\text{g/ml}$ )
10	2
20	4
30	6
40	8
50	10
60	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้