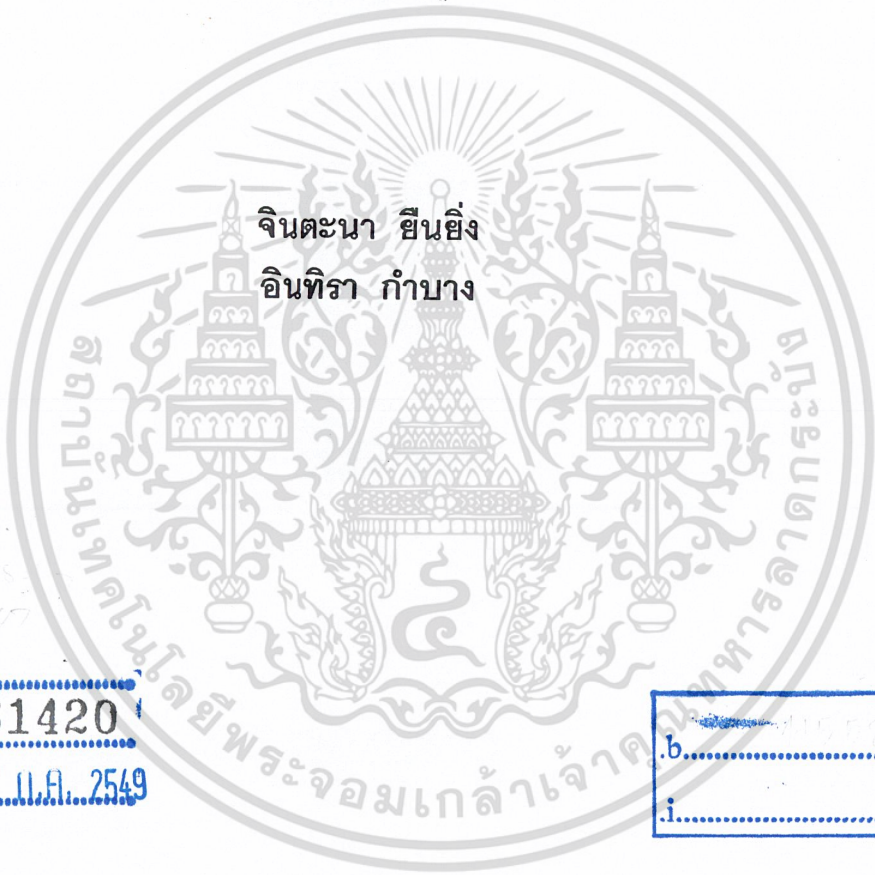


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสกัดน้ำมันงาโดยใช้ตัวทำละลายในถังกวนผสม



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 61420  
วัน,เดือน,ปี..1.7.11.ศ. 2549

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

ปฏิญญานี้นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเคมี  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## SESAME OIL EXTRACTION IN A MIXING TANK



A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements For the  
Degree of Bachelor of Chemical Engineering, Faculty of Engineering  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การสกัดน้ำมันงาโดยใช้ตัวทำละลายในถังกวนผสม  
โดย นางสาวจินตะนา ยืนยิ่ง รหัสประจำตัว 45015697  
นางสาวอินทิรา กำบาง รหัสประจำตัว 45015715  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ธีรณฤดี เบญจางคประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์ได้รับการอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรม  
ศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



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

.....กรรมการ  
(อาจารย์ธีรณฤดี เบญจางคประเสริฐ)

.....กรรมการ

(ดร. ดวงกมล ณ ระนอง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การสกัดน้ำมันงาโดยใช้ตัวทำละลายในถังกวนผสม  
โดย นางสาวจินตะนา ยืนยิ่ง รหัสประจำตัว 45015697  
นางสาวอินทิรา กำบาง รหัสประจำตัว 45015715  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ธีรณฤดี เบญจางคประเสริฐ  
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี  
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการสกัดน้ำมันงาในระบบที่เป็นถังกวนผสม ตัวทำละลายสองชนิดที่ใช้ในการสกัดน้ำมันงาคือ นอร์มอลเฮกเซนและเอทานอล พบว่านอร์มอลเฮกเซนให้ผลในการสกัดที่ดีกว่าจึงเลือกมาใช้ศึกษาโดยมีตัวแปรคือ อุณหภูมิและความเร็วรอบของการกวน การสกัดใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาขาวที่บีบให้แตกและผ่านการอบต่อนอร์มอลเฮกเซนเป็น 1: 2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) อุณหภูมิที่ศึกษาคือ 30 40 50 60 องศาเซลเซียสและใช้ความเร็วรอบ 40 90 150 170 รอบต่อนาที พบว่าอุณหภูมิที่สกัดน้ำมันได้มากที่สุดคือ 60 องศาเซลเซียส ที่ระยะเวลาการสกัด 6 ชั่วโมง ส่วนความเร็วรอบไม่มีผลต่อการสกัด ในการสกัดได้วิเคราะห์ปริมาณน้ำมันงาจากวัฏภาคของแข็ง(ภายในเมล็ดงา)และวัฏภาคของเหลว(ในสารละลายที่สกัดได้)ซึ่งให้ผลสอดคล้องกันเป็นอย่างดี และเมื่อคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงาได้  $D_{AB}$  มีค่าเท่ากับ  $9.4 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$  เมื่อนำค่า  $D_{AB}$  ไปหาค่าไบออตนัมเบอร์จาก Gurney-Lurie Chart ของอนุภาคทรงกลมพบว่ามีย่านันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title    Sesame Oil Extraction In A Mixing Tank

By                Ms. Jintana    Yuenying                ID.45015697  
                      Ms. Intira        Kambang                ID.45015715

Advisor         Assoc.Prof.Dr.Prakob    Kitchaiya

Co-Advisor     Ruenrudee    Benjangkprasert

Report for       Bachelor Degree of Chemical Engineering  
                      Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering  
                      King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### Abstract

This project is an extraction of sesame oil in a mixing tank. Normal hexane and ethanol were used as solvents for the extraction, and it was found that hexane could extract more oil. Hexane was chosen as the solvent to study the effects of temperatures and rotating speeds of the turbine impeller to the amount of extracted oil. Pressed sesame seeds were dried in an oven and they were extracted by normal hexane at the ratio of 1:2 (by weight of seed per volume solvent). Temperatures and mixing speeds in this study were 30, 40, 50, 60 °C and 40, 90, 150, 170 rpm, respectively. At the temperature of 60 °C and the extraction time of 6 hours, the amount of extracted oil was largest, and the mixing speed did not have any effect. The experimental data from the liquid phase (extract) and the solid phase (seed residue) showed the promising mass balance, and they were used to find the diffusion coefficient of sesame oil in sesame seed and found to be  $9.4 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ . The diffusion coefficient and experimental results were used to determine the Biot number by using Gurney-Lurie Chart of the spherical shape, and the number was calculated to be infinite.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคลากรหลายฝ่าย

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา และอาจารย์ รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และตรวจแก้ไขโครงงาน ทำให้โครงงานนี้เสร็จสมบูรณ์ได้

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือในการเบิกอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและให้คำปรึกษาต่างๆ

นางสาวชัชวี ไทยสุชาติ รุ่นพี่นักศึกษานิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุพการี รุ่นพี่ และเพื่อนทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจให้ และให้คำปรึกษามาโดยตลอด หากมีข้อผิดพลาดประการใดผู้จัดทำขออภัยและขออภัยไว้ ณ ที่นี้

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	IV
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	V
กิตติกรรมประกาศ.....	VI
สารบัญ.....	VII
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	XII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำมันงา และความรู้เกี่ยวกับการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมัน.....	3
2.1 น้ำมันงา.....	3
2.2 วิตามินและแร่ธาตุในงา.....	3
2.3 สารกันหืนตามธรรมชาติ.....	3
2.4 กระบวนการผลิตน้ำมันพืช.....	4
2.5 ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมัน.....	4
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและวิธีการคำนวณ.....	6
3.1 กระบวนการสกัดของแข็งด้วยตัวทำละลาย.....	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ VII การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.2 การเตรียมวัสดุสำหรับกระบวนการสกัด.....	6
3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดโดยตัวทำละลาย.....	7
3.4 การแพร่ของโมเลกุลแบบสภาวะไม่คงตัว.....	7
3.5 คำตอบเชิงวิเคราะห์.....	8
3.6 การใช้แผนภูมิความเข้มข้น-เวลาสำหรับการแพร่ในรูปทรงเรขาคณิตแบบง่าย.....	9
3.7 การกวนและการผสม.....	11
บทที่ 4 การดำเนินการทดลอง.....	14
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	14
4.2 วิธีการทดลอง.....	14
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....	19
5.1 ผลการทดลอง.....	19
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	22
บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อควรระวัง.....	23
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	23
6.2 ข้อควรระวัง.....	24
เอกสารอ้างอิง.....	25
ภาคผนวก.....	26
ภาคผนวก ก ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายและอัตราส่วน ปริมาณน้ำมันในเมล็ดงาต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา $Y (C_A/C_{AO})$ .....	27
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ.....	36
ภาคผนวก ค รูปอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	41
ภาคผนวก ง แผนภูมิ Gurney-Lurie.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน VIII การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 เปอร์เซนต์ความชื้นของเมล็ดงา.....	19
ก-1 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายนอร์มอลเฮกเซนกับเอทานอล และอัตราส่วนปริมาณน้ำมันในเมล็ดต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา $Y (C_A/C_{AO})$ โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ $30\pm 3$ องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที.....	27
ก-2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายนอร์มอลเฮกเซน โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ $30\pm 3$ องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	28
ก-3 อัตราส่วนปริมาณน้ำมันในเมล็ดงาต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา $Y (C_A/C_{AO})$ โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อนอร์มอลเฮกเซนเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ $30\pm 3$ องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ.....	29
ก-4 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายนอร์มอลเฮกเซน และอัตราส่วนปริมาณน้ำมันในเมล็ดต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา $Y (C_A/C_{AO})$ โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ $30\pm 3$ องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 70 และ 180 รอบ/นาที.....	30
ก-5 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายนอร์มอลเฮกเซน และอัตราส่วนปริมาณน้ำมันในเมล็ดต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา $Y (C_A/C_{AO})$ โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 และ 1:3(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ $30\pm 3$ องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที.....	31
ก-6 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายนอร์มอลเฮกเซน และอัตราส่วนปริมาณน้ำมันในเมล็ดต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา $Y (C_A/C_{AO})$ โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ $30\pm 3$ องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที โดยเปรียบเทียบระหว่าง (1) การกวนผสมตลอดเวลา กับ (2) การตั้งไว้ 1 วัน แล้วนำมากวนเป็นเวลา 30 วินาที จึงเก็บสารตัวอย่าง.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ IX การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก-7 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายนอร์มอลเฮกเซน โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 30±3 องศาเซลเซียส 40±3 องศาเซลเซียส 50±3 องศาเซลเซียส และ 60±3 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที.....	33
ก-8 อัตราส่วนปริมาณน้ำมันในเมล็ดงาต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา Y (C <sub>A</sub> /C <sub>A0</sub> ) โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อนอร์มอลเฮกเซนเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 30±3 องศาเซลเซียส 40±3 องศาเซลเซียส 50±3 องศาเซลเซียส และ 60±3 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที.....	34



# สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
3.1 แสดงใบกวนสำหรับผสม(a) three-blade marine propeller, (b) simple straight-blade turbine, (c) disk turbine, (d) concave-blade CD-6 impeller (e) pitched-blade turbine.....	11
3.2 แสดงการวางแกนหมุนที่อยู่นอกเส้นกลางถึงและเอียงของใบกวนเป็นpropeller.....	12
3.3 รูปแบบของถังกวนผสมติดตั้ง Baffles และทำการกวนด้วยTurbineมีอัตราส่วนมาตรฐานของถังกวน.....	13
4.1 ขั้นตอนการห่อตัวอย่างของแข็งด้วยกระดาษกรองเพื่อจะนำไปสกัดหาปริมาณน้ำมันในตัวอย่าง.....	16
5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลาของการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนกับเอทานอลในถังกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 30±3 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40รอบ/นาที.....	20
5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลาของการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนในถังกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 30±3 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 90 150 และ 170 รอบ/นาที.....	21
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลาของการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนในถังกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 30±3 องศาเซลเซียส 40±3 องศาเซลเซียส 50±3 องศาเซลเซียส และ 60±3 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที.....	22
ก-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลาของการสกัดน้ำมันงาด้วยเอทานอลในถังกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 30±3 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 70 และ 90 รอบต่อนาที.....	35

## สารบัญญภาพ(ต่อ)

กราฟที่	หน้า
ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงากับผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนในถึงกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ $30\pm 3$ องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที.....	37
ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงากับผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนในถึงกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ $40\pm 3$ องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที.....	38
ข-3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงากับผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนในถึงกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ $50\pm 3$ องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที.....	38
ข-4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงากับผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนในถึงกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ $60\pm 3$ องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที.....	39
ข-5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงากับผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของการสกัดน้ำมันงาด้วยเอทานอลในถึงกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ $30\pm 3$ องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที.....	40

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา[1]

งา (Sesame) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Sesamum indicum* L. งาเป็นพืชไร่ให้น้ำมันซึ่งมีเมล็ดเล็ก มีหลายสีได้แก่ สีขาว สีดำ หรือสีแดง งาเป็นอาหารเพื่อสุขภาพเนื่องจากเมล็ดงามีคุณค่าทางโภชนาการสูง มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว 85 เปอร์เซ็นต์ มีโปรตีน 17-18 เปอร์เซ็นต์ มีสารต้านทานอนุมูลอิสระในปริมาณสูง ไม่หืนง่าย นอกจากนี้ยังเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้แก่ ทางด้านอาหาร ยารักษาโรค และเครื่องสำอาง จึงเห็นได้ว่างาเป็นพืชที่มีคุณค่าและน่าสนใจที่จะศึกษาอย่างยิ่ง

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

- 1) ศึกษาเปรียบเทียบชนิดของตัวทำละลายที่ใช้สกัดน้ำมันงา ระหว่างตัวทำละลายนอร์มอลเฮกเซนและเอทานอล
- 2) ศึกษาผลของความเร็วยก อุณหภูมิในระบบและเวลาที่มีผลต่อปริมาณน้ำมันงาที่สกัดได้จากเมล็ดงา
- 3) หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงา
- 4) ความสัมพันธ์ในรูปตัวแปรไร้หน่วย

### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันงาโดยใช้ตัวทำละลาย ปัจจัยแรกที่ทำการศึกษาคือชนิดของตัวทำละลายซึ่งในที่นี้ใช้นอร์มอลเฮกเซนและเอทานอล และปัจจัยอื่นคือ ความเร็วยกของการกวน เวลาที่ใช้ในการกวน และอุณหภูมิที่ใช้ในการกวน

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. รวบรวมข้อมูลและศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. คำนวณและออกแบบถังกวนผลมตามระบบมาตรฐานของถังกวนผลม
3. ทำการทดลองและวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันงาที่ได้จากการสกัด
4. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เนื่องจากการทดลองเป็นการศึกษาผลของความเร็วยรอบ เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการกวนที่มีต่อการสกัดน้ำมันงาโดยใช้เทอร์โมลเฮกเซนและเอทานอล ดังนั้นประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือ ชนิดของตัวทำละลาย ความเร็วยรอบ เวลา และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกวนสำหรับการสกัดน้ำมันงา เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบและใช้งานถังกวนสำหรับการสกัดน้ำมันงาด้วยตัวทำละลายให้เหมาะกับอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำมันงา

### 2.1 น้ำมันงา[1,2]

เมล็ดงามีขนาดเล็ก ผิวมัน น้ำมันที่สกัดจากเมล็ดงามีปริมาณสูงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นน้ำมันพืชที่มีคุณภาพดีมีความคงทนต่อการเหม็นหืน เนื่องจากน้ำมันงามีสารเซซามิน(sesamin) และสารเซซาโมลิน(sesamolol) อยู่ตามธรรมชาติ ซึ่งสารทั้งสองชนิดเป็นสารกันหืนตามธรรมชาติ ทำให้มีการต้านทานการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน(oxidation reaction) น้ำมันงาถูกนำมาใช้เพื่อปรุงอาหารหรือเป็นส่วนประกอบของน้ำสลัดและน้ำจิ้มต่างๆเป็นส่วนผสมของยา เครื่องสำอาง สบู่ น้ำหอม นอกจากนี้ยังใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะเพื่อใช้จุดตะเกียงตามโบสถ์และในอุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์ สี และน้ำมันหล่อลื่น

### 2.2 วิตามินและแร่ธาตุในงา[2,3]

งาเป็นพืชอาหารที่อุดมด้วยแร่ธาตุ มีแร่ธาตุประมาณ 4.1-6.5 เปอร์เซ็นต์ สารอาหารที่สำคัญได้แก่ ธาตุเหล็ก ไอโอดีน สังกะสี ฟอสฟอรัสและวิตามินบีต่างๆเช่น บี1 บี2 บี3 บี6และบี9

งามีแคลเซียมมากกว่าพืชทั่วไปถึง 40 เท่า มีฟอสฟอรัสมากกว่าพืชทั่วไป 20 เท่า ธาตุทั้งสองนี้เป็นธาตุที่มีความสำคัญในการเสริมสร้างกระดูกของเด็กในวัยเจริญเติบโตและสตรีในวัยหมดประจำเดือน ทำให้มีการดึงแคลเซียมออกจากกระดูกและมีโอกาสเป็นโรคกระดูกเสื่อมได้สูงจึงควรบริโภคงาเพื่อป้องกันโรคดังกล่าว

### 2.3 สารกันหืนตามธรรมชาติ(Anti-oxidant)ในงา[1,2]

น้ำมันงาเป็นน้ำมันพืชชนิดเดียวที่มีสารกันหืนตามธรรมชาติ นอกเหนือจากวิตามินอีซึ่งมีในน้ำมันพืชทั่วไปคือมีสารเซซามิน(sesamin)และสารเซซาโมลิน (sesamolol)เป็นสารกันหืนตามธรรมชาติที่มีความคงตัวต่อความร้อนสูง สามารถทนความร้อนที่108 องศาเซลเซียสได้เป็นเวลาถึง 10 ชั่วโมงนอกจากนี้ยังมี สารเซซามิน(sesamin) 0.5 - 1.0 เปอร์เซ็นต์และสารเซซาโมลิน (sesamolol) 0.3 - 0.6 เปอร์เซ็นต์ สารเซซามอลและแกมมา-โทโคฟีรอลจะทำให้น้ำมันงามีความคงตัวไม่หืนง่ายเหมือนน้ำมันชนิดอื่นๆ การที่น้ำมันงามีความคงตัวกว่าน้ำมันชนิดอื่น ไม่หืนง่ายเป็นผลมาจากการมีสารกันหืนตามธรรมชาติหลายชนิดที่ส่งเสริมกันทำให้ทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใส่สารเคมีกันหืน เช่น TBHQ BHTหรือ BHA ลงในน้ำมันงาหลังจากผ่านกรรมวิธีกลั่นใสเหมือนเช่นในน้ำมันพืชชนิดอื่นๆ และสามารถเก็บ

รักษาน้ำมันงาไว้ได้นานกว่าปกติโดยไม่เหม็นหืนเป็นการป้องกันมิให้เกิดอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ ในบางประเทศมีการห้ามใส่สารกันหืนซึ่งอาจเป็นการก่อให้เกิดมะเร็งขึ้นได้

ในทางการแพทย์มีการใช้สารเซซามินเป็นส่วนประกอบของยา เพื่อใช้รักษาอาการต่างๆ เช่น ช่วยลดความดันโลหิต ชะลอความชราและลดการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง ส่วนสารเซซาโมลิน ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และขณะนี้นักวิทยาศาสตร์ของประเทศญี่ปุ่นกำลังทำงานวิจัยเพื่อศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาของสารกันหืนธรรมชาติในงาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์และอุตสาหกรรมอื่นๆ ต่อไป

## 2.4 กระบวนการผลิตน้ำมันพืช[2,3]

การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันจากวัสดุต่างๆ และเป็นวิธีที่เป็นประโยชน์ในการสกัดวัสดุที่มีน้ำมันน้อย เมล็ดพืชที่นิยมนำมาสกัดเป็นน้ำมันพืชที่ใช้บริโภคและอุตสาหกรรมได้แก่ ถั่วเหลือง เมล็ดงา ถั่วลิสง มะพร้าว เมล็ดปาล์ม รำข้าว ดอกคำฝอย เมล็ดทานตะวัน เป็นต้น ในการสกัดด้วยตัวทำละลายอาจมีการบีบในขั้นแรกหากน้ำมันในเมล็ดมีปริมาณสูง เช่น มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ด้วยเครื่องบีบแบบเกลียว (screw press) หรือเครื่องบีบอัด (extruder) เพื่อแยกน้ำมันบางส่วนออกก่อนจะสกัดด้วยตัวทำละลาย หลังจากการสกัดน้ำมันออกแล้วกากที่เหลืออาจใช้เป็นอาหารสัตว์และปุ๋ยได้

## 2.4 ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมัน[1,2]

### ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Solvents)

ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่ใช้คือ เฮกเซนมี 2 ชนิด คือ นอร์มอลเฮกเซน (Hexane) และเฮกเซนเกรดการค้า (Commercial grade) เฮกเซนเกรดที่ใช้สกัดไม่ใช่เฮกเซนบริสุทธิ์ แต่จะมีปริมาณนอร์มอลเฮกเซนผสมอยู่ตั้งแต่ 48 ถึง 49 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีการผสมด้วยไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด ดังนั้นเฮกเซนเกรดการค้าต่างๆ จึงมีช่วงของอุณหภูมิการกลั่นตั้งแต่ 1 ถึง 5 องศาเซลเซียส (2 ถึง 9 องศาฟาเรนไฮต์) ซึ่งเกรดที่มีช่วงแคบกว่าจะใช้ได้ดีกว่า

โดยทั่วไปในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชจะใช้เนฟธาชนิดเฮกเซนซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางแต่เฮปเทน (heptane) และเพนเทน (pentane) ก็สามารถใช้ได้ เฮปเทนเกรดการค้ามีจุดเดือดที่ 88 ถึง 99 องศาเซลเซียส (190 ถึง 210 องศาฟาเรนไฮต์) แสดงว่าต้องให้เครื่องระเหยและเครื่องแยกตัวทำละลายที่อุณหภูมิสูงและใช้พลังงานมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตัวทำละลายฮาโลเจน(Halogenated Solvents)

ตัวทำละลายชนิดแวนพาหรือไฮโดรคาร์บอนมีข้อเสียคือ สามารถติดไฟได้จึงมีข้อควรระวังในการใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดไฟลุกหรือการระเบิดในโรงงาน ดังนั้นจึงอาจใช้ตัวทำละลายที่ไม่สามารถติดไฟได้โดยที่ใช้ทั่วไป คือ ไตรคลอโรเอทิลีน( Trichloethylene )

### ตัวทำละลายแอลกอฮอล์(Alcohol Solvents)

เนื่องจากการตระหนักถึงสิ่งแวดล้อมเมื่อใช้นอร์มอลเฮกเซน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาการสกัดน้ำมันจากเมล็ดฝ้ายโดยใช้เอทานอลและไอโซโพรพานอล( Ethanol and Isopropanol )

### การใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย(Water as a solvent)

การที่น้ำไม่สามารถติดไฟได้และไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำมันพืชจึงได้มีการวิจัยการใช้ น้ำในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย ถึงลิสง ดอกทานตะวัน และมะพร้าว การสกัดโดยใช้น้ำมีขั้นตอนดังนี้ การบด การสกัดด้วยสารละลายของน้ำ การแยกส่วน การอบแห้ง น้ำที่ใช้ต้องปรับค่า pH หรืออาจเติมสารเคมีบางอย่างขึ้นกับผลผลิตที่ต้องการ

### เอนไซม์ช่วยในการสกัด(Enzyme-Assisted Aqueous Extraction)

เอนไซม์เป็นตัวเสริมที่สำคัญในการสกัดด้วยน้ำ เอนไซม์ในระบบที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบสามารถเพิ่มความสามารถในการสกัดน้ำมันพืชและในอุตสาหกรรมที่ดำเนินการสกัดน้ำมันมะกอกและน้ำมันมะพร้าว ประสิทธิภาพในการสกัดขึ้นกับการทำลายผนังเซลล์ซึ่งอาจใช้วิธีการบดเป็นเกล็ดหรือบีบอัด( Flaking, Extrusion ) เนื่องจากเอนไซม์สามารถย่อยโครงสร้างที่ซับซ้อนของผนังเซลล์ดังนั้นจึงช่วยปรับปรุงการสกัดน้ำมันได้โดยการย่อยจะเกิดขึ้นกับองค์ประกอบทุกส่วนของเซลล์ คือ โปรตีน น้ำมัน และน้ำตาลโมเลกุลรวม ในสถานะของเหลวสารแต่ละอย่างที่ถูกย่อยจะสามารถแยกออกจากกันได้

### บทที่ 3

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและวิธีการคำนวณ

### 3.1 กระบวนการสกัดของแข็งด้วยตัวทำละลาย[6,7]

กระบวนการสกัดของแข็งด้วยตัวทำละลาย เป็นกระบวนการที่สกัดเอาสารที่อยู่ในของแข็งออกมาโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยตัวทำละลายกับวัสดุจะสัมผัสกันอย่างใกล้ชิดกันและตัวถูกละลายจะละลายสารที่ต้องการสกัดออกมาจากวัสดุที่ถูกละลาย

ผลิตภัณฑ์หลายชนิดจะใช้วิธีการสกัดสารออกจากโครงสร้างธรรมชาติของมันโดยกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย เช่น การการผลิตน้ำมันพืช ซึ่งจะทำการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์จำพวก เฮกเซน เอทานอล อะซีโตน และอีเทอร์

กระบวนการสกัดจะประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- 1) การส่งผ่านของตัวทำละลายจากในกลุ่มก้อนของสารละลายเข้าไปยังผิวของวัสดุ
- 2) การที่ตัวทำละลายแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์
- 3) ตัวทำละลายละลายสารที่ต้องการ
- 4) การแพร่ผ่านของสารละลายผ่านออกจากผนังเซลล์
- 5) สารละลายแพร่ออกมารวมกับกลุ่มก้อนของสารละลายส่วนใหญ่ภายนอกเซลล์

โดยปกติแล้วกระบวนการที่เกิดขึ้นข้างต้นจะเกิดได้รวดเร็วยกเว้นในขั้นตอนการแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เป็นขั้นตอนที่อัตราการแพร่มักจะเกิดช้าและขึ้นกับกลไกในการแพร่ผ่านโครงสร้างของพืช ความพรุนของเมล็ดพืช เป็นต้น

### 3.2 การเตรียมวัสดุสำหรับกระบวนการสกัด[6,7]

โครงสร้างของพืชมีลักษณะเป็นเซลล์ ภายในเซลล์มีสารที่ต้องการสกัดอยู่ ดังนั้นการสกัดจะทำได้ยากเพราะผนังเซลล์เป็นเยื่อเลือกผ่านซึ่งตัวทำละลายอินทรีย์จะแพร่ผ่านได้ยากจึงต้องอาศัยการอบแห้งก่อนทำการสกัดหรือนำไปทำการบีบอัดให้แตกเพื่อทำลายโครงสร้างผนังเซลล์บางส่วนทำให้ตัวทำละลายเข้าไปสัมผัสกับตัวถูกละลายได้โดยตรง

### 3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดโดยตัวทำละลาย[6,7]

1. ปริมาณตัวทำละลาย การใช้ปริมาณตัวทำละลายมากทำให้สามารถสกัดน้ำมันออกมาได้มากขึ้นแต่การใช้ปริมาณตัวทำละลายมากเกินไป เป็นการสิ้นเปลืองตัวทำละลาย เวลา และพลังงานรวมทั้งต้องใช้เครื่องมือขนาดใหญ่ในการแยกน้ำมันที่สกัดได้ออกจากตัวทำละลาย

2. ชนิดของตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีหลายชนิดโดยมีลักษณะที่แตกต่างกันแต่คุณสมบัติที่เหมือนกันคือ

- สามารถสกัดสารที่ต้องการสกัดได้ดี
- ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่สกัด
- ไม่ละลายสิ่งเจือปนหรือสารที่ไม่ต้องการ
- มีจุดเดือดต่ำสามารถแยกออกจากน้ำมันดิบได้ง่าย
- ไม่เป็นพิษและไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อน
- มีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย

3. อุณหภูมิขณะสกัด การเพิ่มอุณหภูมิของตัวทำละลายทำให้สามารถละลายน้ำมันได้ดีขึ้น อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เหมาะสำหรับการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชเกือบทุกชนิดเนื่องจากสัมประสิทธิ์การแพร่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแต่ตัวทำละลายที่ใช้โดยทั่วไปมีจุดเดือดประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส ดังนั้นการสกัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส จะทำให้ตัวทำละลายระเหยกลายเป็นไอในระหว่างเกิดกระบวนการสกัด

4. เวลาในการสกัด ต้องใช้เวลาในการสกัดที่เหมาะสม ถ้าน้อยเกินไปผลผลิตที่ได้จะต่ำ และถ้าใช้เวลามากเกินไปจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและเวลา

### 3.4 การแพร่ของโมเลกุลแบบสภาวะไม่คงตัว (Unsteady state molecular diffusion)[7,8]

กระบวนการถ่ายเทมวลซึ่งความเข้มข้นที่จุดหนึ่งๆเปลี่ยนแปลงไปกับเวลาเรียกว่า กระบวนการสภาวะไม่คงตัวหรือ กระบวนการซึ่งขึ้นอยู่กับเวลา พลิกซ์ซึ่งไม่คงที่ เนื่องมาจากความเข้มข้นซึ่งไม่คงที่ กระบวนการประเภทนี้อาจพบได้ในช่วงเริ่มต้นของกระบวนการต่างๆไปก่อนจะเข้าสู่สภาวะคงตัวหรือกระบวนการแบบแบทช์

การวิเคราะห์ปัญหาการแพร่แบบสภาวะไม่คงตัว สามารถเขียนได้สมการความต่อเนื่อง ดังนี้

$$\nabla \cdot n_A + \frac{\partial \rho}{\partial t} - r_A = 0$$

$$\nabla \cdot N_A + \frac{\partial c_A}{\partial t} - R_A = 0$$

การแก้สมการเชิงอนุพันธ์ซึ่งประกอบด้วยเทอม  $\frac{\partial \rho_A}{\partial t}$  และ  $\frac{\partial c_A}{\partial t}$  ก่อนข้างจะซับซ้อน ต้องใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ยุ่งยาก ดังนั้นการแก้ปัญหาการแพร่ที่สภาวะไม่คงตัวแบบไม่มีปฏิกิริยาเคมี อาจเลือกวิธีการใช้แผนภูมิและวิธีเชิงตัวเลข ตามลำดับ

### 3.5 คำตอบเชิงวิเคราะห์ (Analytical solution) [7,8]

สำหรับการแพร่ของโมเลกุลในทิศทางเดียว เมื่อไม่มีปฏิกิริยาเคมี ตามกฎข้อที่สองของฟิค(Fick's second law of diffusion)

$$\frac{\partial c_A}{\partial t} = D_{AB} \nabla^2 c_A$$

นอกจากนี้สมการยังใช้เป็นกรณีที่ตัวกลาง(ของไหล) ไม่มีการเคลื่อนที่  $v = 0$  เช่นการแพร่ในของเหลวอยู่นิ่ง การแพร่ในของแข็ง คล้ายคลึงกับสมการซึ่ง คือ กฎข้อที่สองของฟูเรียร์ของการนำความร้อน

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T$$

การแก้สมการมีวิธีมาตรฐานแต่จะจำกัดเฉพาะ รูปทรงเรขาคณิตและสภาวะขอบเขตหนึ่งๆ เท่านั้น

การแพร่แบบสภาวะไม่คงตัวเมื่อไม่มีความต้านทานที่พื้นผิวโดยถ้าวัตถุมีความเข้มข้นค่าหนึ่งถูกนำมาอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่ทำให้ความเข้มข้นที่พื้นผิวเป็น  $C_{AS}$  อยู่เสมอที่ขณะใดๆ ย่อมหมายความว่าไม่มีความต้านทาน การถ่ายเทมวลระหว่างผิวกับสิ่งแวดล้อมการถ่ายเทมวลจากภายในวัตถุไปยังพื้นผิวและจากพื้นผิวไปยังสิ่งแวดล้อมทำให้เกิดโปรไฟล์ความเข้มข้นซึ่งเปลี่ยนไปตามเวลาและตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 การใช้แผนภูมิความเข้มข้น-เวลาสำหรับการแพร่ในรูปทรงเรขาคณิตแบบง่าย (Concentration-time charts for simple geometric shapes)[7,8]

จากสมการความต่อเนื่องเมื่อไม่มีปฏิกิริยาเคมี ของสาร A และเมื่อพิจารณาการแพร่ของโมเลกุลในทิศทางเดียว ตัวกลางไม่มีการไหล ( $V=0$ ) กฎการแพร่ข้อที่สองฟิค (Fick's second law of diffusion) คือ

$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = D_{AB} \nabla^2 \cdot C_A$$

เช่นการแพร่ในของแข็งที่สภาวะไม่คงตัวซึ่งในที่นี้คือ การสกัดน้ำมันพืชในเมล็ดด้วยตัวทำละลาย การแก้สมการของฟิคที่จำกัดเฉพาะรูปทรงเรขาคณิตและภาวะขอบเขตหนึ่ง ๆ อาจใช้แผนภูมิความเข้มข้น-เวลา

การหาคำตอบเชิงวิเคราะห์ในการหาโปรไฟล์ความเข้มข้นโดยการกำหนดตัวแปรความเข้มข้นไร้หน่วย,  $Y$  และเวลาไร้หน่วย,  $X_D$

$$Y = \frac{C_A - C_{AS}}{C_{AO} - C_{AS}}$$

เมื่อ  $C_A$  คือ ความเข้มข้นของ A ที่เวลาใดๆ (โมลต่อลูกบาศก์เมตร)

$C_{AS}$  คือ ความเข้มข้นของ A ที่พื้นผิว (โมลต่อลูกบาศก์เมตร)

$C_{AO}$  คือ ความเข้มข้นของ A ที่เวลาเริ่มต้น (โมลต่อลูกบาศก์เมตร)

$$X_D = \frac{D_{AB} t}{x_1^2}$$

เมื่อ  $x_1$  คือ ระยะที่วัดจากจุดกึ่งกลางไปยังตำแหน่งที่ต้องการทราบความเข้มข้น (เซนติเมตร)

$$Bi = \frac{k_c x_1}{D_{AB}} = \frac{1}{m}$$

เมื่อ  $Bi$  คือ เลขไบออต

$k_c$  คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล ( เมตรต่อวินาที )

$m$  คือ ความต้านทานสัมพัทธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมมติฐานที่ใช้ในสมการขอบเขตเป็นดังนี้

1. เมื่อเวลาเริ่มต้น ความเข้มข้นของน้ำมันงามีค่าเท่ากันในทุกๆ ส่วนของเมล็ดงา
2. เมื่อเวลาใดๆ เกรเดียนท์ของความเข้มข้นของน้ำมันงาในเมล็ดงาที่ตรงกลางเมล็ดมีค่าเป็นศูนย์
3. หลังจากเวลาเริ่มต้น ความเข้มข้นของน้ำมันงาที่ผิวของเมล็ดงาซึ่งอยู่ในสมดุลกับความเข้มข้นของน้ำมันงาในสารละลายรอบๆ เมล็ดงา ( Bulk solution ) ที่พื้นผิวของเมล็ด และความเข้มข้นของน้ำมันงาที่พื้นผิวนี้มีค่าน้อยมาก ให้มีค่าเป็นศูนย์

สมการการแพร่ข้อที่สองของฟิคจะเขียนได้ในรูปไร้หน่วยเป็น

$$\frac{\partial Y}{\partial X_D} = \nabla^2 Y$$

โดยมีสมการขอบเขตเป็น

$$X_D = 0, Y = 1 \quad \text{ที่เวลาเริ่มต้น}$$

$$\nabla Y = 0 \quad \text{ที่จุดศูนย์กลางของของแข็ง}$$

$$\nabla Y = BiY \quad \text{ที่ผิวรอยต่อระหว่างของแข็งและของเหลว}$$

ได้มีผู้หาคำตอบให้อยู่ในรูปของแผนภูมิการแพร่ของโมเลกุลในรูปทรงเรขาคณิตต่าง ๆ ในรูปของแผนภูมิ "Gurney-Lurie" โดยให้คำตอบสำหรับรูปทรงเรขาคณิตแผ่นราบ ทรงกลม และทรงกระบอกดังรูปที่ 4.1 ซึ่งในที่นี้จะสมมติให้เมล็ดงามีรูปทรงเป็นทรงกลม ในการแก้ปัญหาสมการอนุพันธ์อาจใช้แผนภูมิ Gurney-Lurieหาคำตอบได้ในกรณีที่มีตัวเลขไบออต ( Bi ) มีค่านันต์

จากสมการอนุพันธ์และสมการขอบเขตข้างต้น จะได้คำตอบในรูปเชิงวิเคราะห์ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปผลรวมของอนุกรมอนันต์ ( Infinite series summation ) ดังนี้

$$Y = \left( \frac{6}{\pi^2} \right) \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{1}{n} \right) \exp \left( \frac{-D_{AB} n^2 \pi^2 t}{R^2} \right)$$

เมื่อ Y คือ อัตราส่วนปริมาณน้ำมันงาที่เหลืออยู่ต่อปริมาณน้ำมันงาเริ่มต้นในเมล็ดงา

$D_{AB}$  คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในเมล็ดงา ( ตารางเซนติเมตรต่อวินาที )

t คือ เวลาในการกวนสารละลาย ( วินาที )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคำตอบเชิงวิเคราะห์ดังกล่าว ทำให้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในเมล็ดงา เมื่อทำการสกัดน้ำมันงาในสภาวะที่ไม่ถูกจำกัดด้วยการถ่ายเทมวลภายนอกเมล็ดงา หรือตัวเลขไบออต (Bi) มีค่าเป็นอนันต์

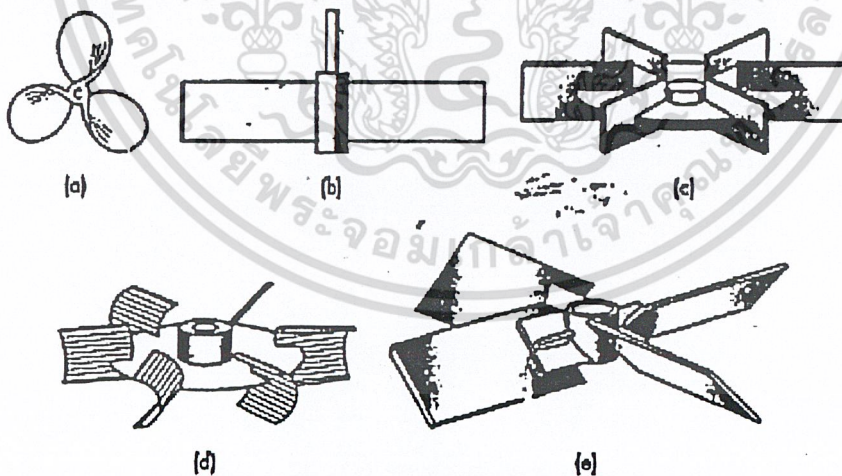
### 3.7 การกวนและการผสม(Agitation and Mixing)[7]

การกวนเป็นการทำให้เนื้อวัสดุเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่แน่นอน ส่วนการผสมเป็นการทำให้น้ำวัสดุเคลื่อนที่กระจัดกระจายเข้าสู่อีกเนื้อวัสดุหนึ่ง เช่น การนำของเหลว 2 ชนิดเข้ามาผสมกัน เช่น การนำทราย กรวด ซีเมนต์และน้ำมาผสมกัน เป็นต้น

เครื่องมือในการกวนผสมประกอบด้วย

1. ถัง (tank) ส่วนใหญ่จะเป็นทรงกระบอกวางในแนวตั้งได้ตั้งอาจทำให้มันเพื่อกำจัดบริเวณที่ของไหลวนไปไม่ได้
2. ไบกวน (impeller) ซึ่งจะต่อกับแกนหมุนขับให้หมุนโดยมอเตอร์แบ่งออกเป็น 2 แบบ
  - 2.1 ไบกวนให้ของไหลไหลในแนวแกน (axial-flow impeller) เป็นแบบให้กระแสไหลของของเหลวขนานกับแกนของไบกวน
  - 2.2 ไบกวนให้ของไหลไหลในแนวรัศมี (radial-flow impeller) จะก่อให้เกิดกระแสไหลในแนวสัมผัสและแนวรัศมี

ไบกวนที่นิยมใช้กันมากได้แก่ propeller , paddle และ turbine ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงไบกวนสำหรับผสม(a) three-blade marine propeller, (b) simple straight-blade turbine, (c) disk turbine, (d) concave-blade CD-6 impeller (e) pitched-blade turbine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

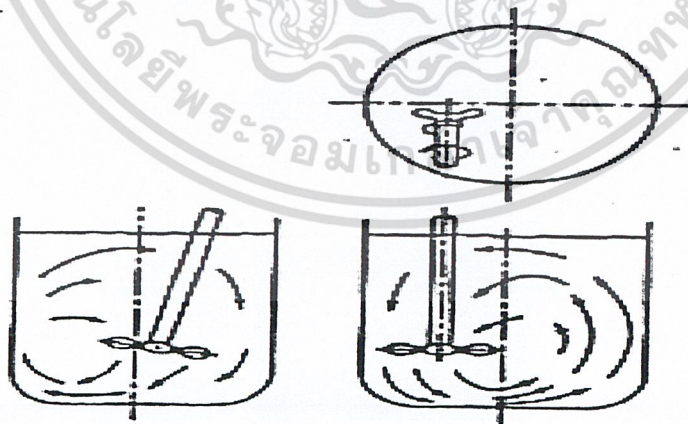
Propeller จะทำให้เกิดการไหลไหลไปในทางแกน(axial-flow) ความเร็วรอบสูงเหมาะกับของเหลวที่มีความหนืดต่ำ กระแสการไหลจะเป็นคอลัมน์หมุนวนปั่นป่วนหรือเกลียวออกจากใบพัดในกรณีในถังเล็ก ๆ อาจใช้ propeller หลายตัวในแกนเดียว

Paddle ประกอบด้วยใบพัดเป็นแผ่นแบนวางในแนวตั้ง ส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็น two-bladed และ four-bladed บางครั้งใบพัดของ paddle อาจทำเอียง จะหมุนด้วยความเร็วต่ำ ของเหลวจะเคลื่อนในแนวรัศมีและแนวสัมผัสไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ยกเว้นในการกวนพวกที่ทำให้ใบพัดเอียงในถังเล็ก ๆ จะใช้ paddle หลายตัวติดในแกนหมุนเดียวกัน

Turbine มีลักษณะคล้ายกับ paddle แต่มีหลายใบพัดมีขนาดสั้นกว่า หมุนด้วยความเร็วสูง

ใบพัดอาจตรงหรือโค้งก็ได้ จะให้กระแสในแนวรัศมีและแนวสัมผัส ใช้ได้ดีกับของเหลวที่มีความหนืดช่วงกว้าง ๆ เนื่องจากการไหลในแนวสัมผัสจะก่อให้เกิดการไหลวนที่ผิวและหมุนวนซึ่งแก้ไขได้โดยการติด baffles หรือ diffuser ring

3. รูปแบบการไหลในถังกวน ลักษณะการไหลจะขึ้นกับ ชนิดของใบกวน ลักษณะจำเพาะของของเหลว ขนาดและสัดส่วนระหว่างถังกวนและใบกวน ความเร็วของการกวน
4. การป้องกันการหมุนวนมี 3 วิธีด้วยกัน
  - 4.1 ถ้าเป็นถังเล็ก จะติดตั้งใบกวน(impeller)เบนออกจากแกนของถังแกนหมุนจะอยู่นอกเส้นกลางถังและเอียงดังแสดงในรูปที่ 3.2

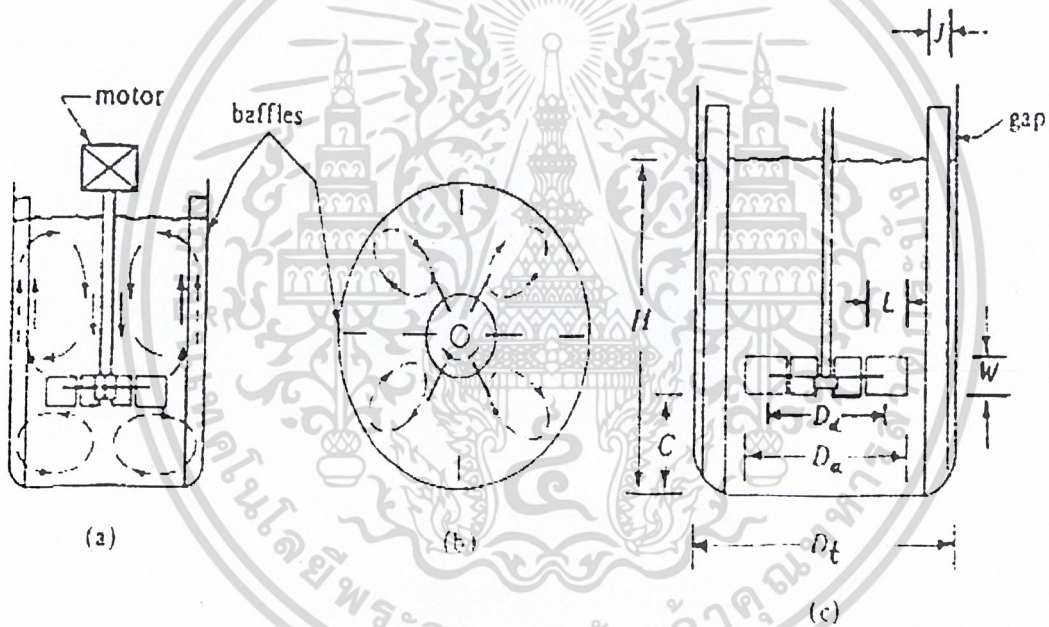


รูปที่ 3.2 แสดงการวางแกนหมุนที่อยู่นอกเส้นกลางถังและเอียงของใบกวนเป็น propeller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4.2 กรณีถังใหญ่ อาจให้เครื่องกวนติดด้านข้างของถังคือให้แกนหมุนอยู่ในแนวระดับ และเอียงทำมุมกับรัศมี
- 4.3 สำหรับถังใหญ่ขึ้น วิธีที่นิยมคือการติดตั้ง baffles ซึ่งจะกำจัดการไหลในแนวสัมผัส

Baffles คือแผ่นตั้งในแนวตั้งติดให้ตั้งฉากกับผนังของถังส่วนใหญ่ใช้ 4 baffles ก็เพียงพอ ความกว้างของ baffles กรณีของ Turbine จะกว้างไม่เกิน  $1/12$  เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของถัง ส่วนกรณี Propeller ความกว้างจะไม่มากกว่า  $1/8$  เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของถังรูปแบบของถังกวนที่ติดตั้ง Baffles แล้วกวนด้วย Turbine มีอัตราส่วนของวิธีตามมาตรฐานแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 รูปแบบของถังกวนผสมติดตั้ง Baffles และทำการกวนด้วย Turbine มีอัตราส่วนมาตรฐานของถังกวนดังนี้  $D_o/D_i = 1/3$  ,  $E/D_i = 1/3$  ,  $L/D_o = 1/4$  ,  $H/D_i = 1$  ,  $W/D_o = 1/5$  ,  $J/D_i = 1/12$

## บทที่ 4

### การดำเนินการทดลอง

#### 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เมล็ดงาดิบ(งาขาว)
2. กระจกตวง
3. นอร์มอลเฮกเซน
4. เอทานอล 95.5 %
5. ขวดรูปชมพู่
6. บีกเกอร์
7. ถังกวนขนาด 2 ลิตร
8. ใบพัด(disk turbine)
9. เครื่องบีบ
10. ชุดอุปกรณ์การสกัด
11. เดซิเคเตอร์

#### 4.2 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการเตรียมเมล็ดงาและหาความชื้นของเมล็ดงา

1. นำเมล็ดงาไปบีบด้วยเครื่องบีบงา
2. นำงาที่บีบแล้วไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด 5 กรัม ใส่ในกระจกนาฟิกา บันทึกผล
3. นำกระจกนาฟิกาที่ใส่ลงไปอบที่อุณหภูมิ  $105 \pm 3$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
4. นำกระจกนาฟิกาใส่ในเดซิเคเตอร์ จนกระทั่งอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด บันทึกผล แล้วนำไปคำนวณหาความชื้น
5. หาความชื้นของงาดังตัวอย่าง

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น} = \frac{\text{น้ำหนักงาหลังก่อนอบ} - \text{น้ำหนักงาหลังอบ}}{\text{น้ำหนักงาก่อนอบ}} \times 100$$

### ตอนที่ 1 การศึกษานิตของตัวทำละลายที่มีต่อการสกัดน้ำมันงา

ในการทดลองทำการสกัดน้ำมันงาด้วยตัวทำละลายนอร์มอลเฮกเซนและเอทานอลในอัตราส่วนโดยมวลของน้ำหนักเมล็ดงาต่อตัวทำละลายคือ 1:2 1:3 ขั้นตอนการทดลองสกัดน้ำมันงา

1. นำเมล็ดงาที่บดด้วยเครื่องบดแล้วไปอบที่อุณหภูมิ  $105 \pm 3$  องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
2. ชั่งเมล็ดงาที่เตรียมไว้ประมาณ 200 กรัม ใส่ลงในถังกวน
3. เตรียมนอร์มอลเฮกเซนสำหรับอัตราส่วนโดยมวลที่ต้องการ
4. นำของผสมที่ได้ไปกวนในถังกวนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส
5. เก็บตัวอย่างสารละลายทุกๆ ชั่วโมง เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันที่มีในสารละลาย บันทึกผล

### วิธีการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันงา

ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันงาจะต้องวิเคราะห์ทั้งในส่วนของวิฎภาคของเหลวและวิฎภาคของแข็งมีขั้นตอนดังนี้

#### การหาปริมาณน้ำมันในวิฎภาคของเหลว

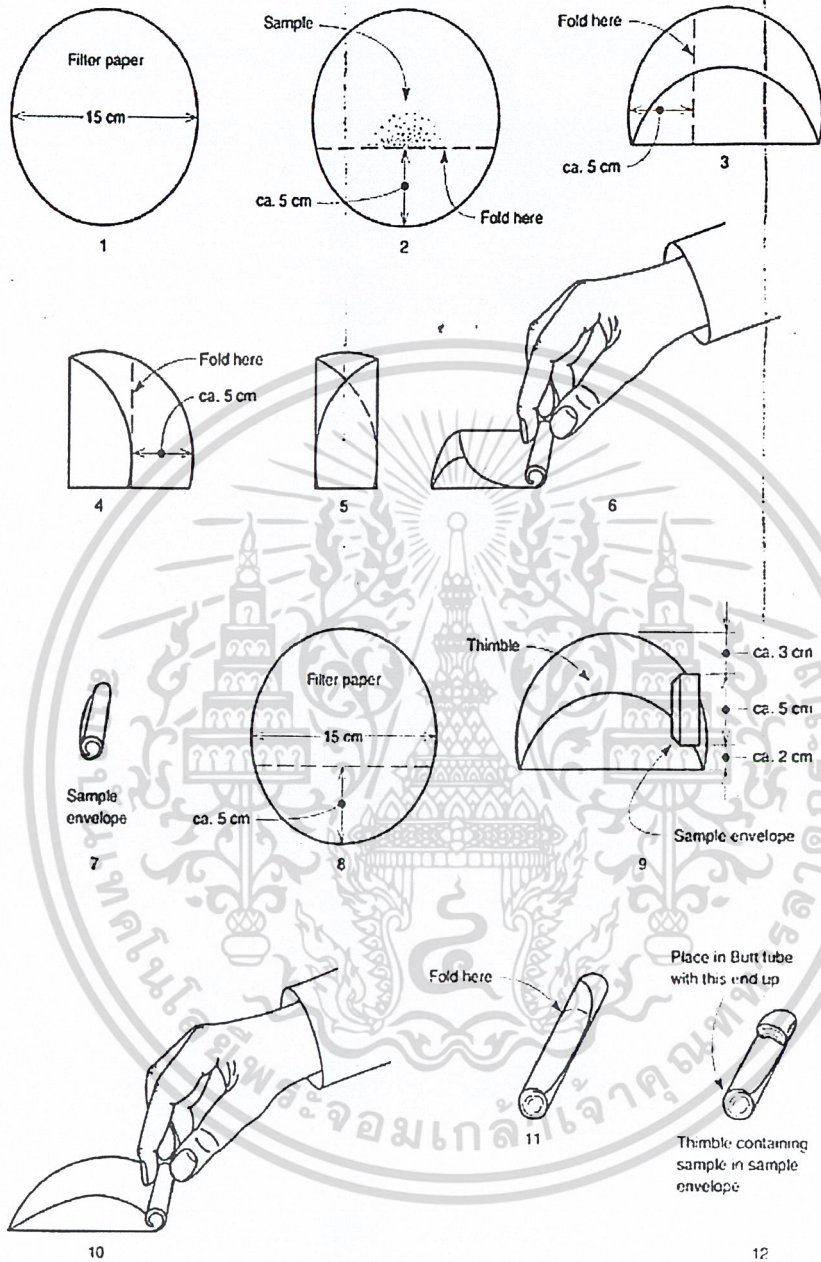
1. นำสารละลายที่เก็บทุกๆ ชั่วโมง มา 10 มิลลิลิตร
2. ให้ความร้อนแก่สารละลายนี้ที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายระเหยออกไปหมด
3. นำไปชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดจะสามารถหาปริมาณน้ำมัน บันทึกผล

#### การหาปริมาณน้ำมันในวิฎภาคของแข็งตามวิธี AOCS Official Method Aa 4-38

Reaporoved 1997 Revised 2001

1. นำงาประมาณ 4-5 กรัม มาชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด บันทึกผล
2. นำงาไปห่อด้วยกระดาษกรอง ตามวิธีดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการห่อตัวอย่างของแข็งด้วยกระดาษกรองเพื่อจะนำไปสกัดหาปริมาณน้ำมันในตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. บรรจุกะดาษกรองที่ห่องาใน Thimble และใส่ Thimble ลงใน Solvent Extractor
4. ติดตั้งชุดสกัด Soxhlet แล้วทำการสกัดด้วยนอร์มอลเฮกเซนใช้ประมาณ 225 มิลลิลิตร
5. เปิดเครื่องให้ความร้อนกับสารละลายโดยใช้ electric hot plate จนกระทั่งสารละลายมีอัตราการหยดใน Thimble อย่างน้อย 150 หยด/นาที
6. ทำการสกัดอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง
7. ปิดเครื่องให้ความร้อน นำสารละลายที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในส่วนของเมล็ดงา
8. ทำการระเหยตัวทำละลายโดยใช้ water bath แล้วนำมาหาปริมาณน้ำมันงาโดยชั่งน้ำหนักอย่างละเอียดและบันทึกผล

ข้อมูลของนอร์มอลเฮกเซน : จุดเดือดคือ 68.7 องศาเซลเซียส

ข้อมูลของเอทานอล : จุดเดือดคือ 78.3 องศาเซลเซียส

## ตอนที่ 2 การศึกษาผลของความเร็วยรอบในการกวนสารละลายที่มีต่อการสกัดน้ำมันงา

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในสารละลายจากการสกัดโดยใช้เวลาในการสกัดต่างกัน ในการทดลองได้ทำการสกัดโดยใช้เวลาในการสกัดตามวิธี AOCS Official Method Aa 4-38

1. นำเมล็ดงาไปบีบด้วยเครื่องบีบงา
2. เตรียมเมล็ดงาที่บีบแล้วใช้ ในการสกัดโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ  $105 \pm 3$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. ชั่งเมล็ดงาที่เตรียมไว้ประมาณ 200 กรัม ใส่ลงในถังกวน
4. เติมสารละลายนอร์มอลเฮกเซน 400 กรัมโดยใช้ความเร็วยรอบในการกวน 40 รอบต่อ

นาที

5. เก็บตัวอย่างสารละลายทุกๆ ชั่วโมงเพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันงา
6. ทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันงาในสารละลายจากการกวนที่ความเร็วยรอบต่างๆ
7. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 4 และ 5 โดยใช้ความเร็วยรอบในการกวน 90 150 170 รอบต่อ

นาที

### ตอนที่ 3 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดน้ำมันงา

ในการทดลองทำการสกัดโดยใช้อุณหภูมิในการสกัดต่างๆ กันดังนี้ คือ 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยมีวิธีการดังนี้คือ

1. นำเมล็ดงาไปบีบด้วยเครื่องบีบงา
2. เตรียมเมล็ดงาที่บีบแล้วใช้ ในการสกัดโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ  $105 \pm 3$  องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
3. ชั่งเมล็ดงาที่เตรียมไว้ประมาณ 200 กรัม ใส่ลงในถังกวน
4. เติมสารละลายนอร์มอลเฮกเซน 400 กรัม
5. นำสารละลายที่ได้ไปกวนในถังกวนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ด้วยความเร็วรอบในการกวน 40 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างสารละลายทุกๆ ชั่วโมง
6. ทำการวิเคราะห์ห้หาน้ำมันงาในสารละลายจากการสกัดที่อุณหภูมิต่างๆ

### ตอนที่ 4 การหาความสัมพันธ์ของการพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้

หน่วย ( $Sh = aRe^b Sc^c$ )

จากการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในสารละลายจากการสกัดโดยใช้เวลาในการกวนต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิและความเร็วรอบต่าง ๆ จะนำมาคำนวณหาเลขเรย์โนลด์ เลขชมิดซ์และเลขเชอร์วูดได้ ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลของน้ำมันงาในเมล็ดงาจะคำนวณได้จากเลขไบออตซึ่งอาจประมาณค่านี้ได้จากแผนภูมิของ Gurney-Lurie

## บทที่ 5

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์

#### 5.1 ผลการทดลอง

##### การหาความชื้นในเมล็ดงา

การหาความชื้นในเมล็ดงาเพื่อนำไปทำการทดลองตอนที่ 2 และตอนที่ 3 นั้นต้องนำเมล็ดงาไปปิ้งให้แตก แล้วนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ  $105 \pm 3$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่ามีความชื้นประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 5.1

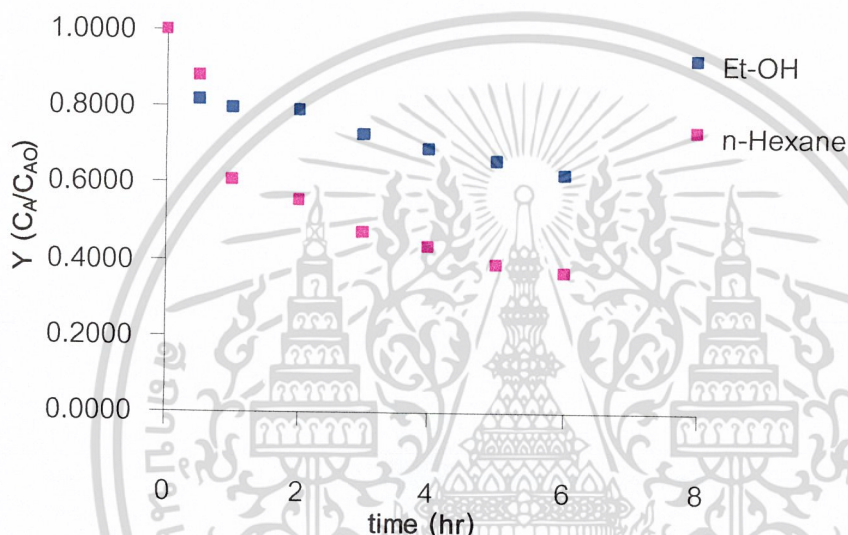
ตารางที่ 5.1 เปอร์เซ็นต์ความชื้นของเมล็ดงา

น้ำหนักเมล็ดงาก่อนอบ (กรัม)	น้ำหนักเมล็ดงาหลังอบ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ความชื้นใน เมล็ดงา
5.0026	4.7493	5.06
5.0035	4.7558	4.95
5.0029	4.7568	4.92
5.0167	4.7615	5.09
5.0084	4.7587	4.99
5.0178	4.7724	4.89
5.0059	4.7564	4.98
5.0404	4.8433	3.91
5.0106	4.8088	4.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการทดลองตอนที่ 1

การสกัดน้ำมันงาโดยใช้ตัวทำละลายนอร์มอลเฮกเซนกับเอทานอลในถังกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $30\pm 3$  องศาเซลเซียส ความเร็วรอบ 40 rpm จากการทดลองพบว่า การสกัดน้ำมันงาโดยใช้นอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย จะได้น้ำมันงาในสารละลายมากกว่าการใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย และเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นปริมาณน้ำมันงาที่สกัดได้มีค่ามากขึ้นดังกราฟที่ 5.1 ดังนั้นจึงเลือกใช้นอร์มอลเฮกเซนในการสกัดน้ำมันงาในการทดลองขั้นตอนต่อไป

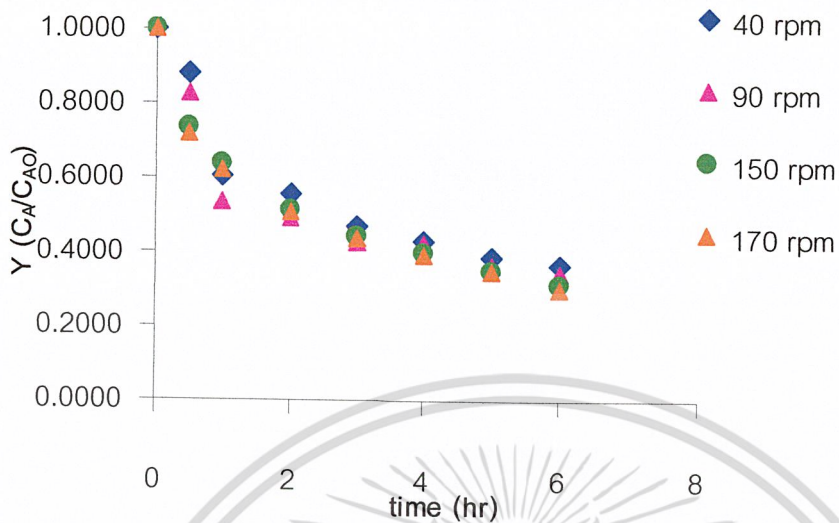


กราฟที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับความเข้มข้นกับเวลาของการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนกับเอทานอลในถังกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $30\pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที

## ผลการทดลองตอนที่ 2

จากการทดลองศึกษาความเร็วรอบที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนในถังกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $30\pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 90 150 170 รอบต่อนาที ซึ่งพบว่าที่เวลา 30 นาที การกวนด้วยความเร็วรอบ 170 รอบต่อนาที จะได้ปริมาณน้ำมันงามากที่สุด เมื่อเวลาการสกัดเพิ่มขึ้นพบว่า การกวนด้วยความเร็วรอบต่าง ๆ นั้น น้ำมันงาในสารละลายที่สกัดได้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นการกวนจึงไม่มีผลต่อการสกัดน้ำมันงาดังกราฟที่ 5.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลาของการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนในถังกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 90 150 และ 170 รอบ/นาที

### ผลการทดลองตอนที่ 3

จากการศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนในถังกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 30 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าที่เวลา 30 นาที อุณหภูมิในถังกวนผสมเป็น  $60 \pm 3$  องศาเซลเซียสจะได้ปริมาณน้ำมันงาในสารละลายมีค่ามากที่สุด เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มีค่าใกล้เคียงกันดังนั้น เมื่อเพิ่มความร้อนให้กับระบบการกวนในถังกวนผสม จะได้ปริมาณน้ำมันงาเพิ่มขึ้นและพบว่า การสกัดน้ำมันงาที่อุณหภูมิ  $60 \pm 3$  องศาเซลเซียส จะได้ปริมาณน้ำมันงาในสารละลายมากที่สุด ข้อมูลที่ได้แสดงดังกราฟที่ 5.3



**กราฟที่ 5.3** ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลาของการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนในถึงกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส  $40 \pm 3$  องศาเซลเซียส  $50 \pm 3$  องศาเซลเซียส และ  $60 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที

**ผลการทดลองตอนที่ 4** ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ของการพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้หน่วยได้ เนื่องจากผลที่ได้จากการทดลองพบว่าการกวนไม่มีผลต่อการสกัดน้ำมันงา

## 5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองได้ทำการบีบงาด้วย hydraulic press และอบที่อุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมงเพื่อทำให้ผนังเซลล์แตกและให้ตัวทำละลายสามารถละลายผ่านเข้าไปยังสารที่ต้องการสกัดได้ง่ายขึ้นในที่นี้คือน้ำมันงา จากการทดลองใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายพบว่า ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับนอร์มอลเฮกเซนอาจเนื่องมาจากเอทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีขั้ว ดังนั้นจึงไม่สามารถละลายตัวถูกละลายซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีขั้วออกมาได้หรือสามารถละลายออกมาได้ในปริมาณที่น้อย ขณะที่นอร์มอลเฮกเซนสามารถละลายเอาน้ำมันออกมาได้ในปริมาณที่มากกว่า เนื่องจากนอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วจึงสามารถละลายในสารประเภทเดียวกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการทดลองและข้อควรระวัง

### สรุปผลการทดลอง จากการศึกษาพบว่า

1. ความชื้นในเมล็ดงามีค่าประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์
2. นอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมแก่การสกัดน้ำมันงามากกว่าเอทานอล
3. อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อนอร์มอลเฮกเซน(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)ที่เหมาะสม คือ อัตราส่วน 1:2
4. การกวนเมล็ดงากับตัวทำละลายในถังกวนผสมไม่มีผลต่อการแพร่ของน้ำมันงาภายในเมล็ดงา เนื่องจากปริมาณน้ำมันงาที่สกัดได้ที่ความเร็วรอบต่างๆมีค่าใกล้เคียงกัน
5. อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันงาด้วยตัวทำละลายนอร์มอลเฮกเซนคือ 60 องศาเซลเซียส
6. สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงามีค่าเท่ากับ  $9.4 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$
7. ไบออกซิเจนเปอร์ออกไซด์

## ข้อควรระวัง

นอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารอินทรีย์แต่เนื่องจากคุณสมบัติบางประการจึงควรระวังในการทดลองดังนี้

- จุดเดือดต่ำ (65 องศาเซลเซียส) จึงสามารถระเหยได้เองที่อุณหภูมิห้องดังนั้นในการทดลองจึงควรระมัดระวังและใช้ความรวดเร็วในการบันทึกผล
- นอร์มอลเฮกเซนสามารถซึมเข้าสู่ผิวหนังได้อย่างรวดเร็วหากได้รับในปริมาณมากๆ จะทำให้เป็นหมันได้ ดังนั้นการถ่ายสารในแต่ละครั้งควรทำด้วยความระมัดระวังและควรทำในตู้ดูดควัน

### ข้อเสนอแนะในการทดลอง

จากการสกัดน้ำมันงาโดยใช้ตัวทำละลายนอร์มอลเฮกเซนในถังกวนผสม โดยนำเมล็ดงาที่ผ่านการบีบและอบแล้วพบว่าความชื้นในเมล็ดงามีค่าประมาณ 4-5 เปอร์เซ็นต์ นำมาทำการทดลองจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงามีค่าเท่ากับ  $9.4 \times 10^{-8}$  เซนติเมตร<sup>2</sup>/วินาที ถ้าต้องการให้โครงสร้างของผนังเซลล์เหมือนเดิม(ก่อนนำไปบีบและอบ)ควรอบด้วย freeze dryer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] นัลดดา เขียวประกอบกิจ และพิชชุตดา พลสิงหะ, " การสกัดน้ำมันงาโดยใช้เทอร์โมลเฮกเซนเป็นทำละลาย " .ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.
- [2] วีระพล จตุรกุลเทวีญ และปิยนาด ศุภนาม, ." การหาข้อมูลของการสกัดน้ำมันงาโดยใช้เทอร์โมล เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย "ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี,สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [3] เฉลียว ปิยะชน. อายุรเวช วิธีสู่สุขภาพตามธรรมชาติ.กรุงเทพฯ: บริษัทพิมพ์ดี จำกัด, 2539.
- [4] พัชร กวนใจ. " น้ำมันงา ภูมิปัญญาดั้งเดิมของชาวไทย " ในหมู่บ้านไท. ปีที่ 1 ฉบับที่ 6 เดือนสิงหาคม
- [5] หยาดฝน. " อีตงา การสกัดน้ำมันงาแบบพื้นบ้าน " ในกรีนเนท. ปีที่ 3 ฉบับที่ 9 เดือน ตุลาคม 2543.
- [6] McCabe, Warren L., Julian, C. Smith, And Harriott, Peter. *Unit Operation of Chemical Engineering*. 6<sup>th</sup> Edition. New York : Mcgraw-Hill. 2001.
- [7] Middleman, Stanley. *An Introduction to Mass and Heat Transfer*. John Wiley & Sons.
- [8] Cristies, J.G. *Transport Process Unit Operation*. 3<sup>rd</sup> Edition. New Jersey : Prentice Hawll, Lnc. 1993.
- [9] J.D. Seader, Ernest J. Henley *Separation Process Principles*, New York : John Wiley, 1998.
- [10] <http://www.school.net/th/library/snet4/june22/sesame.htm> 26/1/2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายและอัตราส่วน ปริมาณน้ำมันในเมล็ดงาต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา  $Y (C_A/C_{A0})$

ตารางที่ ก-1 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายนอร์มอลเฮกเซนกับเอทานอล และอัตราส่วนปริมาณน้ำมันในเมล็ดต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา  $Y (C_A/C_{A0})$  โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อ ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที

เวลาที่ เก็บ ตัวอย่าง (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำมันงาใน สารละลาย(กรัม)		$Y (C_A/C_{A0})$ (กรัม/กรัมเมล็ด)	
	นอร์มอลเฮกเซน	เอทานอล	นอร์มอลเฮกเซน	เอทานอล
0.5	10.7610	4.0888	0.8804	0.8175
1	35.4266	4.5296	0.6062	0.7978
2	40.0395	4.6740	0.5548	0.7913
3	47.5213	6.0648	0.4716	0.7293
4	50.9887	6.9160	0.4330	0.6913
5	54.9856	7.5772	0.3887	0.6617
6	56.9899	8.3980	0.3667	0.6251

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายนอร์มอลเฮกเซน โดยใช้ อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบต่างๆ

เวลาที่ เก็บ ตัวอย่าง (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลาย (กรัม)			
	40 รอบ/นาที	90 รอบ/นาที	150 รอบ/นาที	170 รอบ/นาที
0.5	10.7610	15.4420	23.6305	25.1480
1	35.4266	41.8600	32.5473	33.8281
2	40.0395	45.7348	43.9225	44.4748
3	47.5213	50.4203	50.0957	50.7391
4	50.9887	51.7608	54.0047	54.5935
5	54.9856	57.0458	58.2962	58.4480
6	56.9899	58.9275	61.7561	62.6909

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-3 อัตราส่วนปริมาณน้ำมันในเมล็ดงาต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา  $Y$  ( $C_A/C_{A0}$ ) โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่ออนุกรมอลเฮกเซนเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบต่างๆ

เวลาที่เก็บตัวอย่าง (ชั่วโมง)	$Y$ ( $C_A/C_{A0}$ ) (กรัม/กรัมเมล็ด)			
	40 รอบ/นาที	90 รอบ/นาที	150 รอบ/นาที	170 รอบ/นาที
0.5	0.8804	0.8283	0.7374	0.7205
1	0.6062	0.5340	0.6382	0.6240
2	0.5548	0.4914	0.5117	0.5057
3	0.4716	0.4283	0.4432	0.4361
4	0.4330	0.4245	0.3996	0.3932
5	0.3887	0.3658	0.3520	0.3502
6	0.3667	0.3449	0.3135	0.3031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-4 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายนอร์มอลเฮกเซน และอัตราส่วน ปริมาณน้ำมันในเมล็ดต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา  $Y (C_A/C_{A0})$  โดยใช้ อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 70 และ 180 รอบ/นาที

เวลาที่ เก็บ ตัวอย่าง (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำมันงาใน สารละลาย(กรัม)		$Y (C_A/C_{A0})$ (กรัม/กรัมเมล็ด)	
	70 rpm	180 rpm	70 rpm	180 rpm
0.5	13.1210	29.0085	0.8575	0.6776
1	37.5385	37.3062	0.5720	0.5853
2	43.2308	46.0955	0.5298	0.4877
3	48.5968	52.4023	0.4602	0.4174
4	51.0912	57.5375	0.4289	0.3605
5	55.9896	59.6438	0.3747	0.3369
6	57.8697	64.7244	0.3512	0.2804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-5 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายนอร์มอลเฮกเซน และอัตราส่วน ปริมาณน้ำมันในเมล็ดต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา  $Y (C_A/C_{A0})$  โดยใช้ อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 และ 1:3 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที

เวลาที่ เก็บ ตัวอย่าง (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำมันงาใน สารละลาย(กรัม)		$Y (C_A/C_{A0})$ (กรัม/กรัมเมล็ด)	
	1:2	1:3	1:2	1:3
0.5	10.7610	17.0432	0.8804	0.8785
1	35.4266	52.1798	0.6062	0.5928
2	40.0395	59.8593	0.5548	0.5498
3	47.5213	71.3905	0.4716	0.4650
4	50.9887	75.8635	0.4330	0.4206
5	54.9856	82.4874	0.3887	0.3724
6	56.9899	85.5846	0.3667	0.3602

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-6 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายนอร์มอลเฮกเซน และอัตราส่วน ปริมาณน้ำมันในเมล็ดต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา  $Y (C_A/C_{A0})$  โดยใช้ อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)ที่ อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที โดยเปรียบเทียบ ระหว่าง (1) การกวนผสมตลอดเวลา กับ (2) การตั้งไว้ 1 วัน แล้วนำมากวนเป็น เวลา 30 วินาที จึงเก็บสารตัวอย่าง

เวลาที่ เก็บ ตัวอย่าง (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำมันงาใน สารละลาย(กรัม)		$Y (C_A/C_{A0})$ (กรัม/กรัมเมล็ด)	
	1	2	1	2
0.5	21.4210	55.1641	0.7508	0.3867
1	30.2832	57.4889	0.6536	0.3609
2	43.3094	62.9216	0.5419	0.3004
3	49.5497	63.9717	0.4527	0.2886
4	52.7725	64.4269	0.4144	0.2837
5	59.2538	65.7016	0.3705	0.2696
6	61.2705	67.1281	0.3180	0.2583

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-7 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายนอร์มอลเฮกเซน โดยใช้ อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ อุณหภูมิ 30±3 องศาเซลเซียส 40±3 องศาเซลเซียส 50±3 องศาเซลเซียส และ 60±3 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที

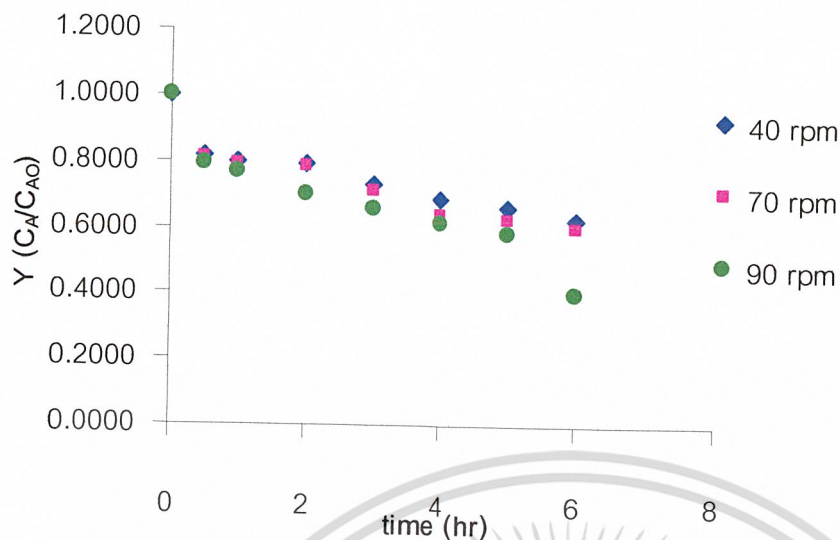
เวลาที่ เก็บ ตัวอย่าง (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลาย (กรัม)			
	30±3 °C	40±3 °C	50±3 °C	60±3 °C
0.5	10.7610	19.4543	36.7902	41.8830
1	35.4266	32.4441	40.4686	43.7404
2	40.0395	44.7480	46.6418	47.1578
3	47.5213	51.8195	51.5950	54.8363
4	50.9887	56.0443	56.6634	59.3463
5	54.9856	59.7530	60.2508	68.6820
6	56.9899	63.8503	68.3632	81.6597

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก-8 อัตราส่วนปริมาณน้ำมันในเมล็ดงาต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา  $Y$  ( $C_A/C_{A0}$ ) โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่ออนุกรมอลเฮกเซนเป็น 1:2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส  $40 \pm 3$  องศาเซลเซียส  $50 \pm 3$  องศาเซลเซียส และ  $60 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที

เวลาที่เก็บตัวอย่าง (ชั่วโมง)	$Y$ ( $C_A/C_{A0}$ ) (กรัม/กรัมเมล็ด)			
	$30 \pm 3$ °C	$40 \pm 3$ °C	$50 \pm 3$ °C	$60 \pm 3$ °C
0.5	0.8804	0.8617	0.8283	0.7585
1	0.6062	0.5908	0.5346	0.6557
2	0.5548	0.5328	0.4914	0.5285
3	0.4716	0.4579	0.4283	0.4591
4	0.4330	0.4276	0.4245	0.4130
5	0.3887	0.3749	0.3658	0.3560
6	0.3667	0.3578	0.3449	0.3175

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ ก-1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลาของการสกัดน้ำมันงาด้วยเอทานอลในถังกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 70 และ 90 รอบต่อนาที

## ภาคผนวก ข

## ตัวอย่างการคำนวณ

1. ตัวอย่างการคำนวณหา  $Y$ 

จากการเก็บตัวอย่างการสกัดน้ำมันงาด้วยตัวทำละลายนอร์มอลเฮกเซนโดยใช้เวลา 1800 วินาที ความเร็วรอบของการกวน 40 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของน้ำมันงาเริ่มต้นในเมล็ด ( $C_{A0}$ ) = 0.4497 กรัม/กรัมเมล็ด ความเข้มข้นของน้ำมันงาที่เหลืออยู่ในเมล็ดหลังสกัด ( $C_A$ ) = 0.3955 กรัม/กรัมเมล็ด - การคำนวณค่า  $Y$

$$Y = \frac{C_A}{C_{A0}}$$

เมื่อ  $Y$  คือ อัตราส่วนปริมาณน้ำมันงาในเมล็ดงาที่เวลาใดๆ ต่อปริมาณน้ำมันงาเริ่มต้นในเมล็ดงา

$C_A$  คือ ความเข้มข้นของน้ำมันงาที่เหลืออยู่ในเมล็ดงาหลังสกัด (กรัม/กรัมเมล็ด)

$C_{A0}$  คือ ความเข้มข้นของน้ำมันงาเริ่มต้นภายในเมล็ดงา (กรัม/กรัมเมล็ด)

จากการวิเคราะห์ได้

$$Y = \frac{0.3955}{0.4497}$$

$$Y = 0.8804$$

2. การหาคำนวณหา  $D_{AB}$ 

รัศมีของเมล็ดงา ( $R$ ) = 0.15 เซนติเมตร

สมการที่ใช้คำนวณค่า  $D_{AB}$  คือ

$$Y = \left(\frac{6}{\pi^2}\right) \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n}\right) \exp\left(\frac{-D_{AB} n^2 \pi^2 t}{R^2}\right)$$

นำค่า  $Y$  และข้อมูลข้างต้นมาแทนค่าลงในสมการจะได้

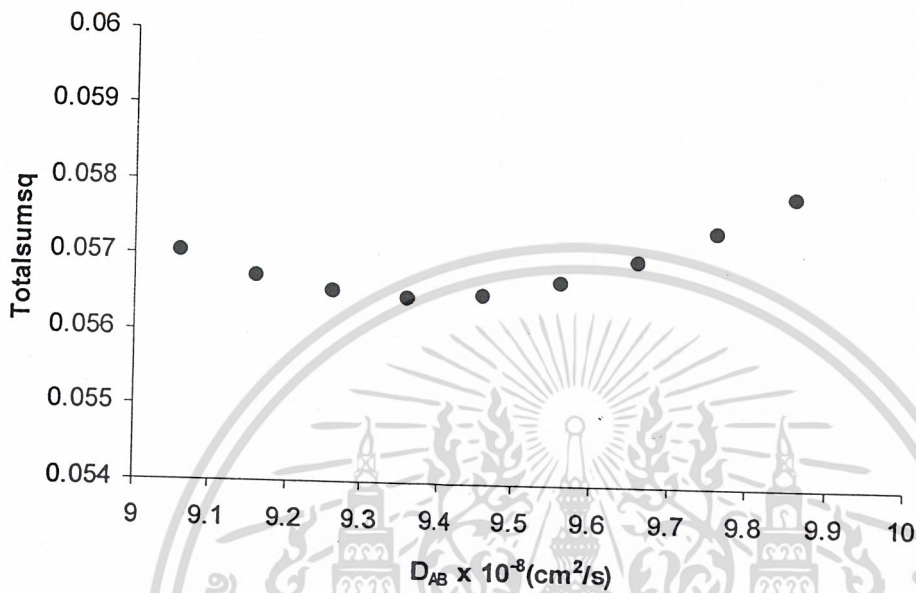
$$0.8804 = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n}\right) \exp\left(\frac{-1800 D_{AB} n^2 \pi^2}{(0.15)^2}\right)$$

นอกจากนี้การเก็บตัวอย่างการสกัดน้ำมันงาที่เวลาอื่นๆคือ 3600 7200 10800 14400 18000 และ 21600 วินาที จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ทั่วไปดังนี้

$$f(D_{AB}) = Y - \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{n}\right) \exp\left(\frac{-D_{AB} n^2 \pi^2 t}{R^2}\right)$$

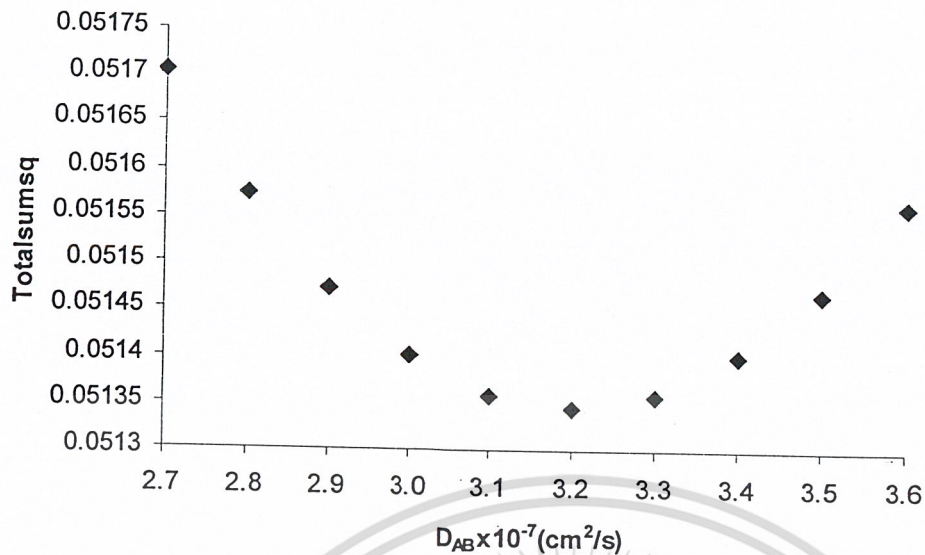
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หา  $D_{AB}$  ด้วยโปรแกรมเอ็กซ์เซลโดยหาค่า  $D_{AB}$  ที่ทำให้ผลรวมยกกำลังสองของ  $f(D_{AB})$  ทุกเวลาการสกัดมีค่าน้อยที่สุด ดังกราฟที่ ข-1

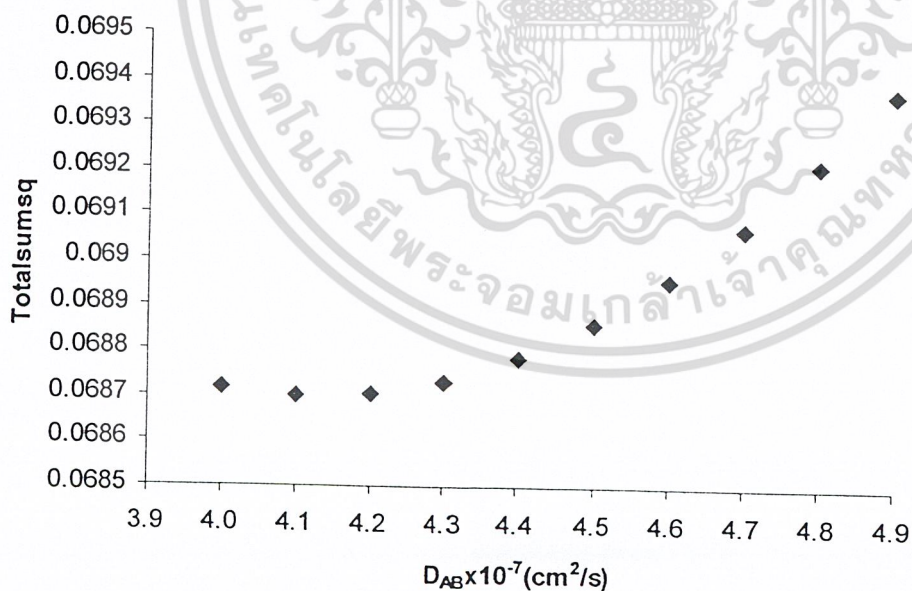


กราฟที่ ข-1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงา กับผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของการสกัดน้ำมันงาด่วนนอร์มอลเฮกเซนในถังกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

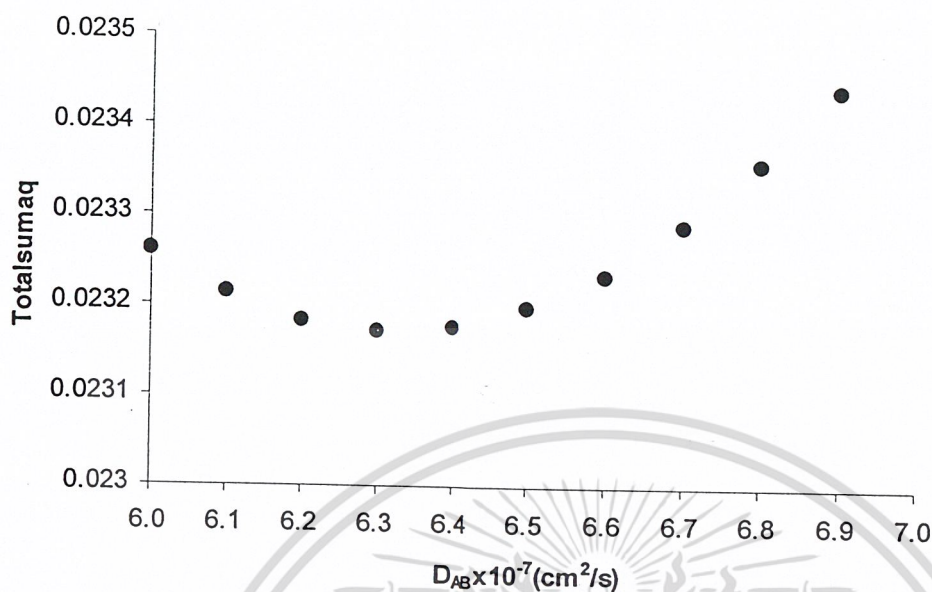


กราฟที่ ข-2 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงากับผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนในถึงกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $40 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที



กราฟที่ ข-3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงากับผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของการสกัดน้ำมันงาด้วยนอร์มอลเฮกเซนในถึงกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2(โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $50 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กราฟที่ ข-4 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงากับผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของการสกัดน้ำมันงาด้วยเอทานอลในถังกวนผสม โดยใช้ อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ อุณหภูมิ  $60 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที

จากกราฟที่ ข-1 ได้ค่า  $D_{AB} = 9.4 \times 10^{-8}$  เซนติเมตร<sup>2</sup>/วินาที

จากกราฟที่ ข-2 ได้ค่า  $D_{AB} = 3.2 \times 10^{-7}$  เซนติเมตร<sup>2</sup>/วินาที

จากกราฟที่ ข-3 ได้ค่า  $D_{AB} = 4.1 \times 10^{-7}$  เซนติเมตร<sup>2</sup>/วินาที

จากกราฟที่ ข-4 ได้ค่า  $D_{AB} = 6.3 \times 10^{-7}$  เซนติเมตร<sup>2</sup>/วินาที ซึ่งจะนำไปหาค่าไบออต

นัมเบอร์ในลำดับต่อไป

### 3. การคำนวณหา $X_D$ และ Bi

นำข้อมูลสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงา ( $D_{AB} = 9.4 \times 10^{-8}$  เซนติเมตร<sup>2</sup>/วินาที) มาใช้

หา  $X_D$  จากสมการ

$$X_D = \frac{D_{AB} t}{R^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

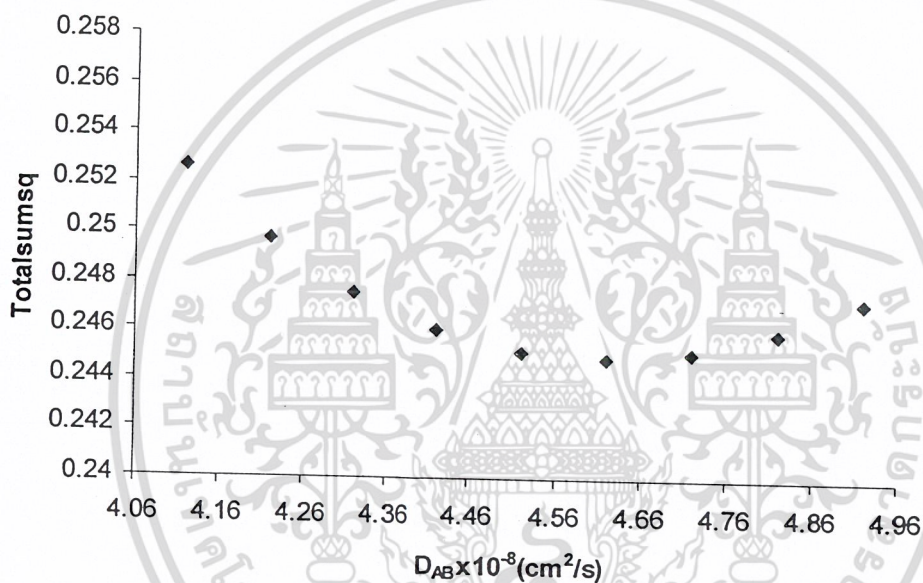
- วิเคราะห์ผลได้

$$X_D = \frac{(9.4 \times 10^{-8})(1800)}{(0.15)^2}$$

$$X_D = 0.0075$$

- หา Bi โดยใช้แผนภูมิ Gurney-Lurie ในภาคผนวก ง พบว่าค่าไบโอทนมเบอร์ (Bi) มีค่าอนันต์

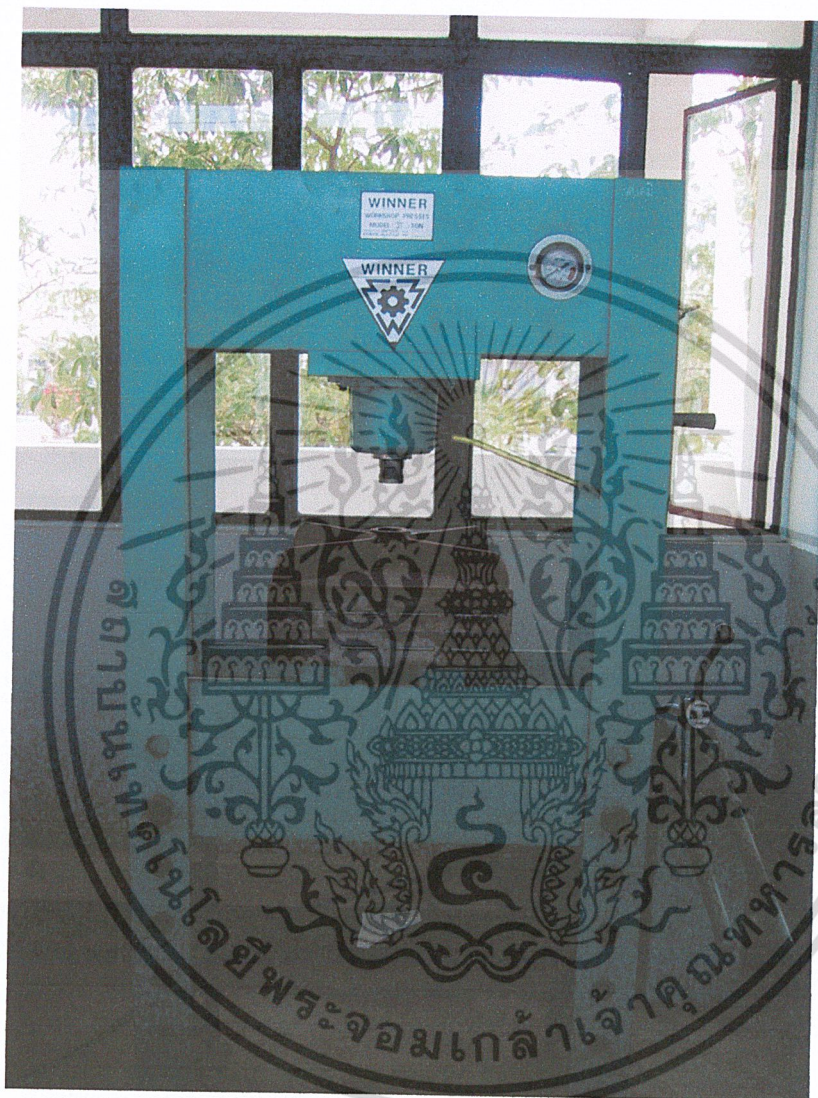
และจากการทดลองการสกัดน้ำมันงาด้วยเอทานอล พบว่าค่า  $D_{AB}$  เท่ากับ  $4.6 \times 10^{-8}$  เซนติเมตร<sup>2</sup>/วินาที ดังกราฟที่ ข-5



กราฟที่ ข-5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงากับผลรวมของผลต่างยกกำลังสองของการสกัดน้ำมันงาด้วยเอทานอลในถึงกวนผสม โดยใช้อัตราส่วนของเมล็ดงาต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ  $30 \pm 3$  องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที

## ภาคผนวก ค

## รูปอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



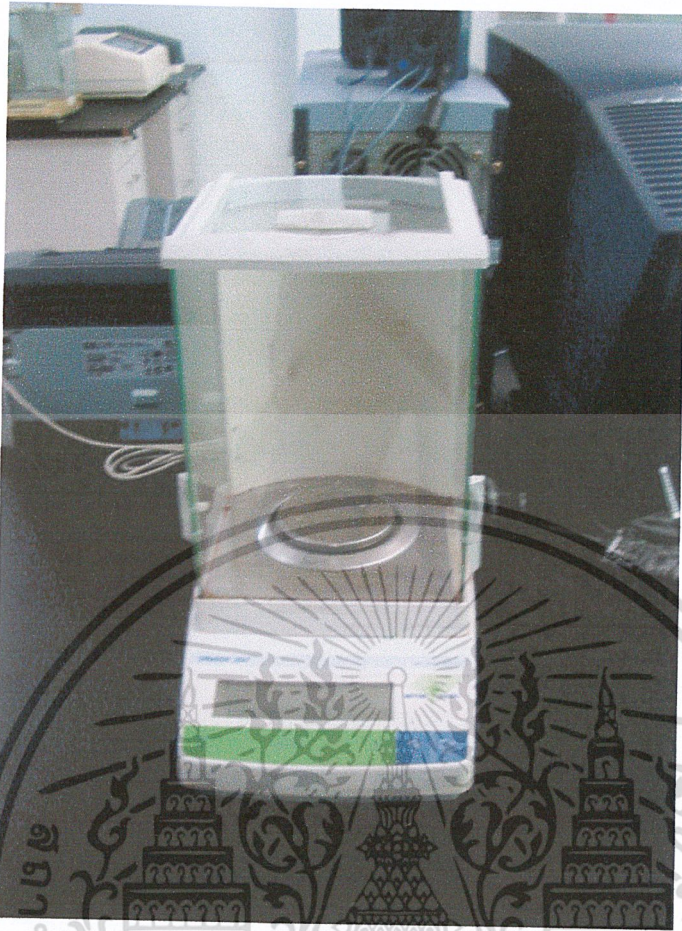
รูปที่ ค-1 เครื่องบีบ(Hydraulic press)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



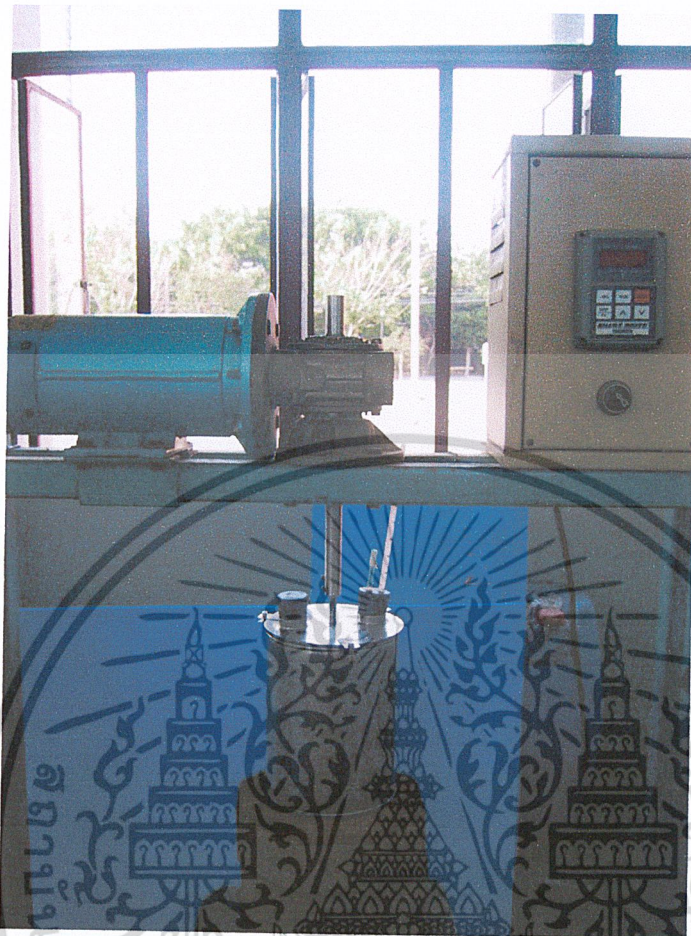
รูปที่ ค-2 ตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-3 เครื่องชั่งละเอียด(4 ตำแหน่ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

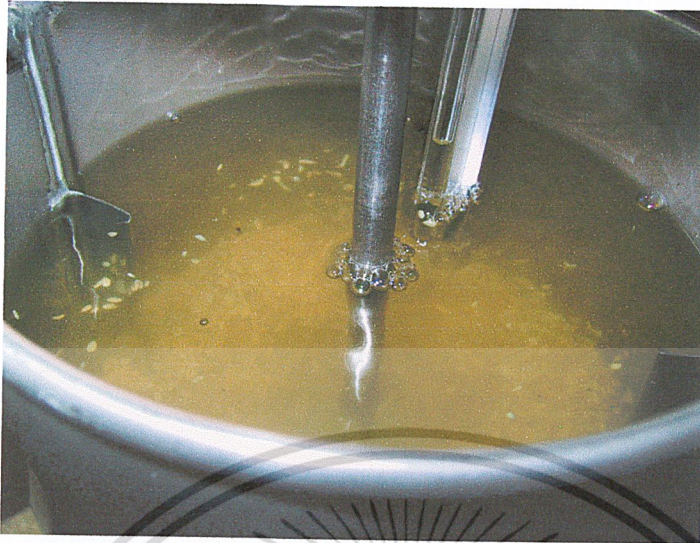


รูปที่ ค-4 การติดตั้งถึงกวนผสม



รูปที่ ค-5 ลักษณะของเมล็ดงาก่อนกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



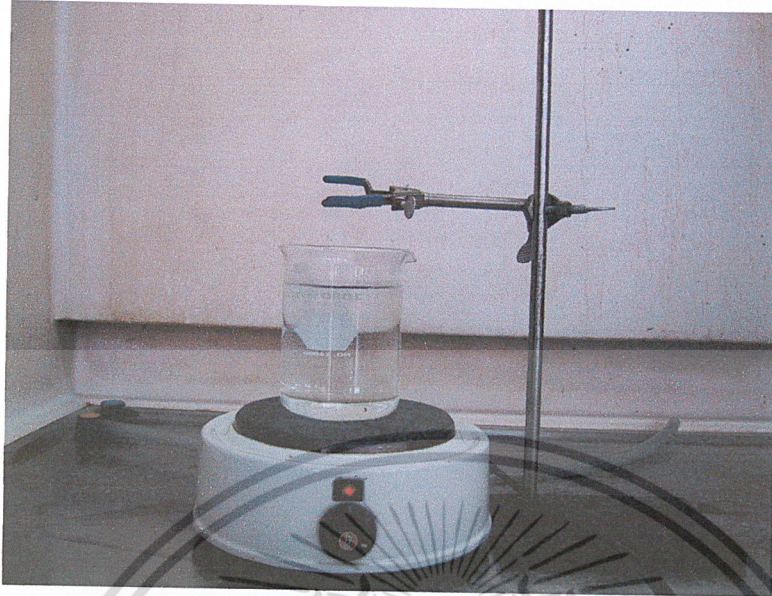
a. ความเร็วรอบ 150 rpm



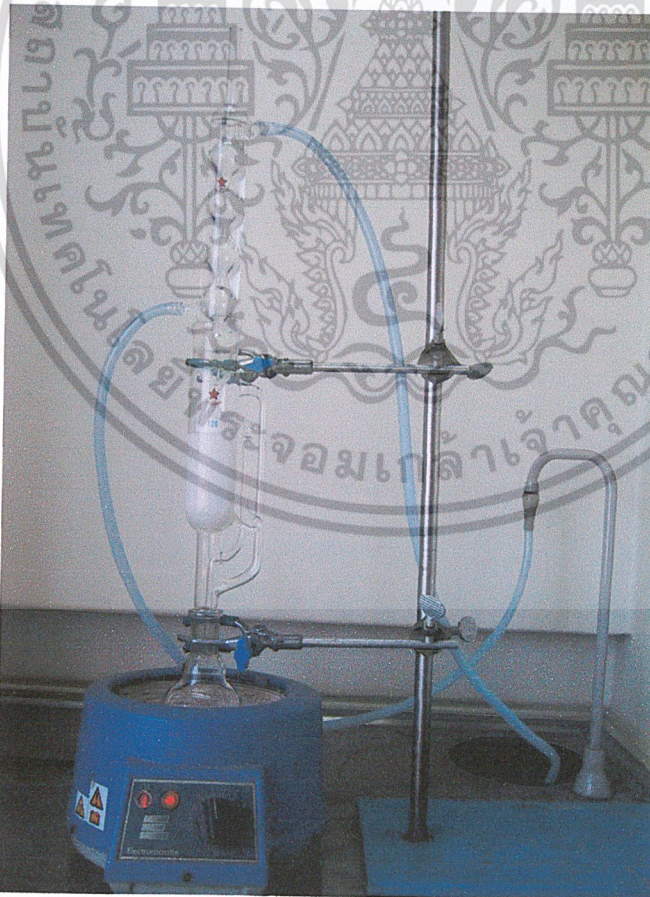
b. ความเร็วรอบ 180 rpm

**รูปที่ ค-6** ลักษณะของการกวนในถังกวนผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค-7 การระเหยตัวทำละลาย



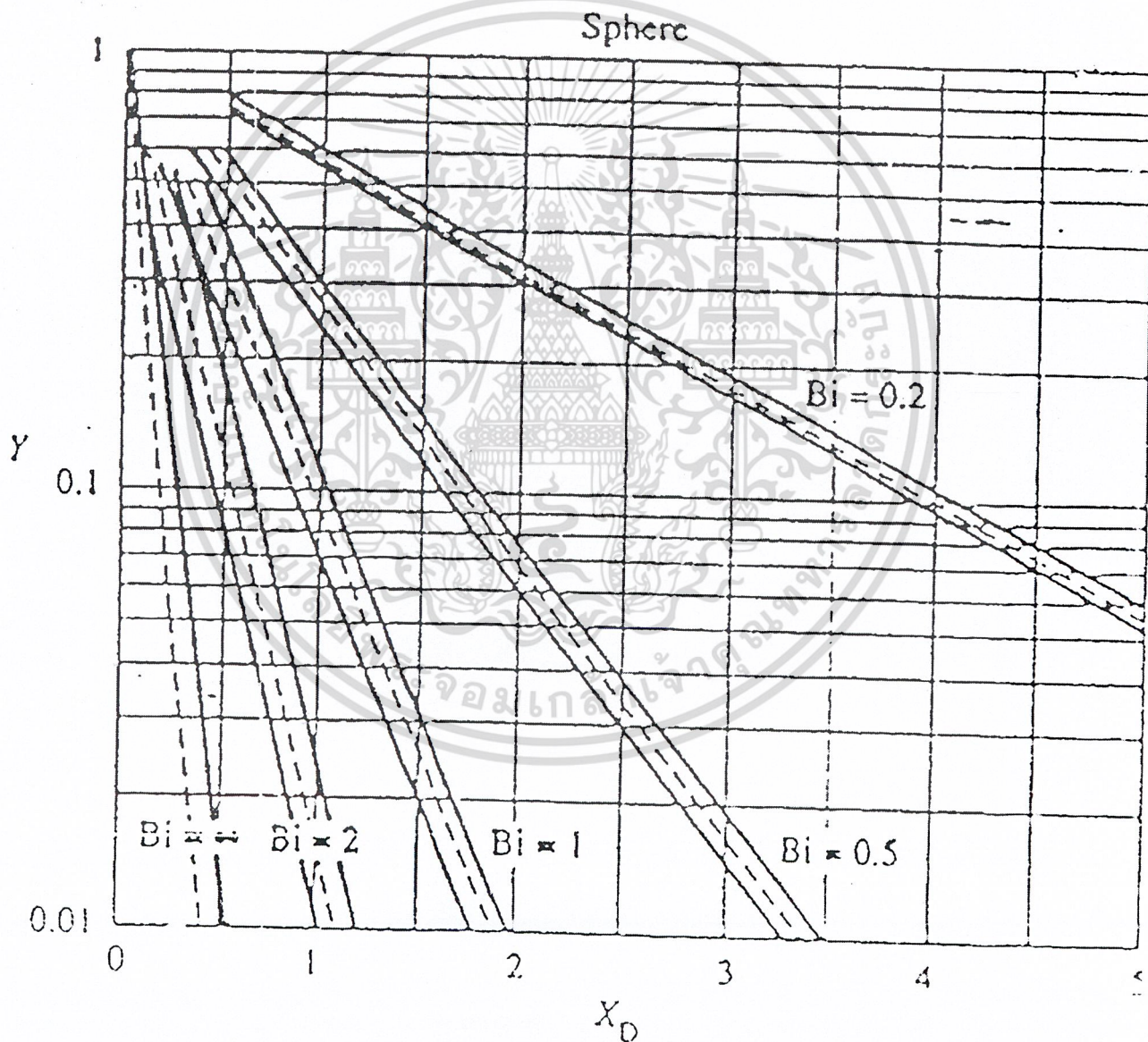
รูปที่ ค-8 Soxhlet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ง

## แผนภูมิที่ใช้ในการคำนวณค่าไบออตน์มเบอร์

- เมื่อ สัญลักษณ์เส้นประ(---)แทนค่าไบออตน์มเบอร์เฉลี่ยของทั้งเม็ด  
 สัญลักษณ์เส้นทึบ(เส้นบน)แทนค่าไบออตน์มเบอร์ที่ตรงผิวของเม็ด  
 สัญลักษณ์เส้นทึบ(เส้นล่าง)แทนค่าไบออตน์มเบอร์ที่ตรงกลางของเม็ด



รูปที่ ง-1 แผนภูมิ Gurney-Lurie [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้