สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสกัดน้ำมันงาโดยใช้นอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย

SESAME OIL EXTRACTION BY NORMAL HEXANE SOLVENT

T055684

NADDA CHIEWPRAKOPKIT
นัดดา เชี่ยวประกอบกิจ
PICHUDA POLSINGHA
พิชชุดา พลสิงหะ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่
เลขทะเบียน 55684
วัน,เดือน,ปี 24 พ.ค. 2548
b.
i.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสกัดน้ำมันงาโดยใช้นอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย

นัดดา เชี่ยวประกอบกิจ
พิชชุดา พลสิงหะ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sesame Oil Extraction by Normal Hexane Solvent

Nadda Chiewprakopkit

Pichuda Polsingha

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
2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ สกัดน้ำมันงาโดยใช้นอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย
โดย นางสาวนัดดา เชี่ยวประกอบกิจ รหัสประจำตัว 43010664
นางสาวพิชชุดา พลสิงหะ รหัสประจำตัว 43010712
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ
ปริญญานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการสกัดน้ำมันงาในเครื่องเขย่าโดยใช้นอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของการเขย่าเป็น 50 รอบต่อนาที และแอมปลิจูดของการเขย่าเท่ากับ 3 เซนติเมตร เป็นเวลา 60 นาที ข้อมูลปริมาณน้ำมันงาที่สกัดได้เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวนำมาหาสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในเมล็ดงาได้เท่ากับ 1.5×10^{-3} เซนติเมตร^2/วินาที และหาความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้หน่วย เลขเชอร์วูด (Sh), เรย์โนลด์ (Re) และชมิดท์ (Sc) ตามลำดับ คือ $Sh = aRe^{b}Sc^{c}$ จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น ได้สมการแสดงความสัมพันธ์ที่มีค่า a, b และ c เป็น 0.012, 0.207 และ 0.035 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การสกัดน้ำมันงาโดยใช้นอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย

โดย นางสาว นัดดา เชี่ยวประกอบกิจ รหัสประจำตัว 43010664

นางสาว พิชชุดา พลสิงหะ รหัสประจำตัว 43010712

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์นี้ได้รับการอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมตรวจสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานคณะกรรมการ

(รศ.ดร.ประกอบ กิจไชยา)

.....กรรมการ

(อาจารย์รื่นฤดี เบญจางคประเสริฐ)

.....กรรมการ

(ดร.บงกช งามสม)

.....กรรมการ

(ดร.พรสวรรค์ กาญจนวณิชย์กุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title	Sesame Oil Extraction by Normal Hexane Solvent	
By	Miss Nadda Chiewprakopkit	ID. 43010664
	Miss Pichuda Polsingha	ID. 43010712
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Prakob Kitchaiya	
Co-Advisor	Mrs. Ruenrudee Benjangkaprasert	
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 by using normal hexane solvent. Sesame seeds were extracted in a shaker under the following conditions. Temperature, shaker speed and amplitude of shaking were 30 °C, 50 rpm and 3cm, respectively. Each experimental run took 60 minutes. The experimental data were used to find the diffusion coefficient of sesame oil in the seed to be 1.5×10^{-8} cm^2/sec and to develop the convection mass transfer coefficient correlation in terms of dimensionless numbers, namely Sherwood (Sh), Reynolds (Re) and Schmidt numbers (Sc) in the form of $Sh = aRe^bSc^c$. Nonlinear regression was applied and it was found that a, b and c for the correlation equal to 0.012, 0.207 and 0.035, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคลากรหลายฝ่าย คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ

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

คุณพิสันต์ ผลโพธิ์ และ คุณธีระโชติ ศรีธีระวิโรจน์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมีที่ให้ความช่วยเหลือในการเบิกใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลอง และให้คำปรึกษา

นายปิยะวัฒน์ ศุภศรีรุ่งเจริญ เพื่อนร่วมภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่คอยช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณบุพการี รุ่นพี่ และเพื่อนทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจให้

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VI

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....1

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....1

บทที่ 2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำมันงา.....2

2.1 น้ำมันงา.....2

2.2 สารกันหืนธรรมชาติในงา.....2

บทที่ 3 ความรู้เกี่ยวกับการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมัน.....4

3.1 กระบวนการผลิตน้ำมันพืช.....4

3.1.1 กรรมวิธีการผลิต.....4

3.2 ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมัน.....5

3.3 การสกัดน้ำมันงา.....6

บทที่ 4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและวิธีการคำนวณ.....7

4.1 กระบวนการสกัดของแข็งด้วยตัวทำละลาย.....7

4.2 การเตรียมวัสดุสำหรับกระบวนการสกัด.....7

4.3 วิธีการดำเนินกระบวนการสกัด.....8

4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดโดยตัวทำละลาย.....8

4.5 การใช้แผนภูมิความเข้มข้น-เวลาสำหรับการแพร่.....9

ในรูปทรงเรขาคณิตแบบง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 5 การดำเนินการทดลอง.....12
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....12
5.2 วิธีการทดลอง.....12
5.2.1 การศึกษาผลของอัตราส่วนเมล็ดงาต่อนอร์มอลเฮกเซนต่อการสกัดน้ำมันงา.....12
5.2.2 การศึกษาผลของเวลาในการสกัดน้ำมันงา.....13
5.2.3 การศึกษาผลของความเร็วรอบในการเขย่าสารละลายที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันงา.....14
5.2.4 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดน้ำมันงา.....14
5.2.5 การหาความสัมพันธ์ของการพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้หน่วย.....15

บทที่ 6 ผลการทดลองและการวิเคราะห์.....16
6.1 ผลการทดลอง.....16
6.1.1 ผลการทดลองตอนที่ 1.....16
6.1.2 ผลการทดลองตอนที่ 2.....17
6.1.3 ผลการทดลองตอนที่ 3.....18
6.1.4 ผลการทดลองตอนที่ 4.....19
6.1.5 ผลการทดลองตอนที่ 5.....20
6.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....22

บทที่ 7 สรุปและข้อเสนอแนะ.....24
7.1 สรุปผลการทดลอง.....24
7.2 ข้อเสนอแนะ.....25

เอกสารอ้างอิง.....26
ภาคผนวก.....27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

6.1 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายจากการสกัด.....16
ในแต่ละอัตราส่วน

6.2 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายจากการสกัดในแต่ละรอบ.....17
ที่เวลา 1 ชั่วโมง 1 วัน และ 2 วัน

6.3 แสดงการเปรียบเทียบน้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายจากการสกัดน้ำมันงา.....18
โดยใช้เวลาในการเขย่าสารละลายต่างกัน ที่ความเร็วรอบ 0 รอบ/นาที 50 รอบ/นาที
และ 100 รอบ/นาที

6.4 แสดงผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายจากการสกัดที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....19

6.5 แสดงข้อมูลเพื่อใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในเมล็ดงา.....20

6.6 แสดงข้อมูลเพื่อใช้ในการหาค่าตัวเลขไบออท.....21

6.7 ข้อมูลเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ของการพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้หน่วย.....22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา [1]

งา (Sesame) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Sesamum indicum L.* งา เป็นพืชล้มลุกมีเมล็ดเล็ก สีขาว สีดำ หรือสีแดง ใช้ปรุงอาหารหรือสกัดน้ำมัน มีการใช้เมล็ดและน้ำมันงาอย่างแพร่หลายในประเทศไทยใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น สี เครื่องสำอาง และน้ำมันหล่อลื่น จึงเห็นได้ว่างาเป็นพืชที่มีคุณค่าและน่าสนใจที่จะศึกษาอย่างยิ่ง ในปัจจุบันน้ำมันงาเข้ามามีบทบาทอย่างมากในทางการแพทย์ทั้งแพทย์แผนปัจจุบันและแพทย์แผนโบราณ อย่างไรก็ดีงานวิจัยในการสกัดน้ำมันงาให้ได้ประสิทธิภาพสูงมีรายงานไว้ค่อนข้างจำกัดโดยเฉพาะการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์สกัดน้ำมันจากเมล็ดงาเพื่อให้ได้ผลผลิต (Yield) ที่สูง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1) ศึกษาผลของปริมาณนอร์มอลเฮกเซน ความเร็วรอบที่ใช้ในการเขย่า และอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณสกัดน้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดงา

2) ศึกษาผลของวิธีการและเวลาที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดงาโดยใช้นอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย

3) หาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในเมล็ดงา

4) หาความสัมพันธ์ของการพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้หน่วย($Sh = aRe^{b}Sc^{c}$) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันงาโดยใช้นอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลายซึ่งปัจจัยที่ทำการศึกษาคือ เวลาที่ใช้ในการสกัด (60 นาที) รอบของการเขย่าสารละลาย (50 รอบต่อนาที) และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (30 องศาเซลเซียส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำมันงา

2.1 น้ำมันงา [1]

เมล็ดงามีขนาดเล็กมีรสหวานเล็กน้อย มีผิวมัน เมล็ดงามีน้ำมันสูงประมาณ 35-60 เปอร์เซ็นต์ น้ำมันที่สกัดจากเมล็ดงาเป็นน้ำมันพืชที่มีคุณภาพสูง มีความคงทนต่อการเหม็นหืน เนื่องจากน้ำมันงามีสารเซซามิน (Sesamin) และเซซาโมลิน (Sesamolin) อยู่ตามธรรมชาติ ประมาณ 0.5 ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ และ 0.3 ถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สารทั้งสองชนิดเป็นสารกันหืนธรรมชาติ ทำให้มีความต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) นอกจากนี้น้ำมันงายังประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว (Saturated fatty acid) ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acid) ประมาณ 42 ถึง 48 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาคผนวก ก การมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นปริมาณมากโดยเฉพาะกรดลิโนเลอิค จะช่วยลดปริมาณโคเลสเตอรอลในเลือดซึ่งเป็นโรคที่เป็นสาเหตุของการเสียชีวิต 1 ใน 10 ของโลกได้ งามีโปรตีนประมาณ 20 ถึง 27 เปอร์เซ็นต์ ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่จำเป็น (Essential amino acid) เช่น เมไธโอนีน (Methyonine) ประมาณ 3.3 เปอร์เซ็นต์ ไลซีน (Lysine) ประมาณ 2.9 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าโปรตีนจากธัญพืชและถั่วต่าง ๆ งามีแร่ธาตุประมาณ 4.1 ถึง 6.5 เปอร์เซ็นต์ เช่น ธาตุเหล็ก ไอโอดีน สังกะสี แคลเซียม ฟอสฟอรัส และวิตามินบีต่าง ๆ เช่น บี1 บี2 บี3 บี6 และบี9

2.2 สารกันหืนธรรมชาติ (Anti-oxidant) ในงา [1]

น้ำมันงาเป็นน้ำมันพืชชนิดเดียวที่มีสารกันหืนตามธรรมชาติ นอกเหนือจากวิตามินอีซึ่งมีในน้ำมันพืชทั่วไปคือ สารเซซามินอล (Sesaminol) เซซามินอลเป็นสารกันหืนธรรมชาติที่มีความคงตัวต่อความร้อนสูง สามารถทนความร้อนที่ 180 องศาเซลเซียสได้เป็นเวลานานถึง 10 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีสารเซซามิน (Sesamin) 0.4 ถึง 1.1 เปอร์เซ็นต์ เซซาโมลิน (Sesamolin) 0.3 ถึง 0.6 เปอร์เซ็นต์ สารเซซามอล (Sesamol) และแกมมา–โทโคฟีรอล (γ- Tocopherol) ซึ่งทำให้น้ำมันงามีความคงตัวไม่หืนง่ายเหมือนน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ

การที่น้ำมันงามีความคงตัวกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นไม่หืนง่ายเป็นผลมาจากการมีสารกันหืนธรรมชาติหลายชนิดที่ส่งเสริมกันทำให้ทนทานต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องใส่สารเคมีกันหืน เช่น TBHQ BHT หรือ BHA ลงในน้ำมันงาหลังจากผ่านกรรมวิธีการกลั่นใสเหมือนเช่นในน้ำมันพืชชนิดอื่น ๆ และสามารถเก็บรักษาน้ำมันงาไว้ได้นานกว่าปกติโดยไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหม็นหืนเป็นการป้องกันมิให้เกิดอนุมูลอิสระตามธรรมชาติในบางประเทศมีการห้ามใส่สารกันหืนซึ่งอาจเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งขึ้นได้

ในทางการแพทย์มีการใช้สารเซซามินเป็นส่วนประกอบของยา เพื่อใช้รักษาอาการต่าง ๆ เช่น ช่วยลดความดันโลหิต ชะลอความชรา และลดการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง ส่วนสารเซซา-โมลิน ถูกนำไปใช้อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และขณะนี้นักวิทยาศาสตร์ของประเทศญี่ปุ่นกำลังทำงานวิจัยเพื่อศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาของสารกันหืนธรรมชาติในงาเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ความรู้เกี่ยวกับการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมัน

3.1 กระบวนการผลิตน้ำมันพืช [3,5]

เมล็ดพืชที่นำมาสกัดเป็นน้ำมันพืชที่ใช้บริโภคและการอุตสาหกรรมมีประมาณ 13 ชนิด ได้แก่ ถั่วเหลือง เมล็ดนุ่น ถั่วลิสง งา มะพร้าว เมล็ดปอ เมล็ดปาล์ม เมล็ดละหุ่ง รำข้าว เมล็ดทานตะวัน ดอกคำฝอย เป็นต้น หลังจากการสกัดน้ำมันออกแล้วกากที่เหลือใช้เป็นอาหารสัตว์และทำปุ๋ยได้ด้วย

น้ำมันพืชแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1.น้ำมันพืชสำหรับใช้บริโภค ได้แก่ น้ำมันพืชที่ได้จากเมล็ดถั่วเหลือง ถั่วลิสง เมล็ดนุ่น เมล็ดฝ้าย เมล็ดงา รำข้าว เมล็ดทานตะวัน เมล็ดดอกคำฝอย ข้าวโพด เป็นต้น

2.น้ำมันพืชสำหรับใช้ทั้งการบริโภคและการอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม เป็นต้น

3.น้ำมันพืชที่ใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำมันละหุ่ง เป็นต้น

3.1.1 กรรมวิธีการผลิต

การผลิตน้ำมันพืชแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ

1. การเตรียมวัตถุดิบ

ทำความสะอาดวัตถุดิบที่จะนำไปสกัดน้ำมัน แยกเปลือกหรือผิวชั้นนอกออกแล้วนำไปบดหรือบีบให้แตก หลังจากนั้นนำไปผ่านความร้อนภายใต้อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมเพื่อปรับความชื้นแก่วัตถุดิบช่วยให้การสกัดน้ำมันง่ายและได้ปริมาณมาก

2. การสกัดน้ำมันดิบ

แบ่งออกได้เป็น 3 วิธีด้วยกันคือ

- การบีบอัด (Mechanical pressing)
- การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent extraction) เช่น เฮกเซน
- การสกัดโดยใช้เครื่องบีบและตัวทำละลาย (Expeller-solvent extract)

3. การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์

คือการกลั่นน้ำมันดิบโดยวิธีการทางเคมีเพื่อปรับสภาพน้ำมันให้มีสี กลิ่น รส ที่เหมาะสมแก่การบริโภค ขั้นตอนที่สำคัญคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การทำให้เป็นกลาง (Neutralization) ด้วยโซดาไฟ (Caustic soda) ซึ่งจะแยกน้ำมัน ที่ปราศจากกรดไขมันอิสระออกอีกส่วนหนึ่งได้เป็นสบู่ส่วนที่เป็นสบู่จะมีสิ่งสกปรกหรือสารบางอย่างที่เจือปนในน้ำมันดิบมาก่อนปะปนออกมาด้วย น้ำมันที่เหลือจะสะอาดไม่มีกรด

- การฟอกสี (Bleaching) ใช้ผงฟอกสี (Fuller's earth) และผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นตัวฟอกแล้วกรองด้วยเครื่องกรองให้หมดสี

- การกำจัดกลิ่น (Deodorization) นำไปกลั่นด้วยไอน้ำภายใต้สูญญากาศ อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ถึง 230 องศาเซลเซียส เวลา 5 ถึง 12 ชั่วโมง จะได้น้ำมันบริสุทธิ์แล้วนำมาบรรจุเพื่อจำหน่ายต่อไป

3.2 ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมัน [1,3]

ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Solvents)

ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่ใช้คือ เฮกเซน (Hexane) มี 2 ชนิด คือ นอร์มอลเฮกเซน และ เฮกเซนเกรดการค้า (Commercial grade) เฮกเซนเกรดที่ใช้สกัดไม่ใช่เฮกเซนบริสุทธิ์ แต่จะมีปริมาณนอร์มอลเฮกเซนผสมอยู่ตั้งแต่ 48ถึง 98 เปอร์เซ็นต์เนื่องจากมีการผสมด้วยไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด ดังนั้นเฮกเซนเกรดการค้าต่าง ๆ จึงมีช่วงของการกลั่นตั้งแต่ 1 ถึง 5 องศาเซลเซียส (2 ถึง 9 องศาฟาเรนไฮต์) ซึ่งเกรดที่มีช่วงแคบกว่าจะใช้ได้ดีกว่า เฮกเซนที่ผลิตจากประเทศอเมริกาจะปราศจากไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัวซึ่งมีความคงตัวเพียงพอสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

การใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย (Water as a solvent)

การที่น้ำไม่สามารถติดไฟได้และไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำมันพืชจึงได้มีการวิจัยการใช้น้ำในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดฝ้าย ถั่วลิสง ดอกทานตะวัน และมะพร้าว การสกัดโดยใช้น้ำมีขั้นตอนดังนี้ การบด การสกัดด้วยสารละลายของน้ำ การแยกส่วน การอบแห้ง น้ำที่ใช้ต้องปรับค่า pH หรืออาจเติมสารเคมีบางอย่างขึ้นกับผลผลิตที่ต้องการ ถึงแม้ว่าสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการสกัดน้ำมันปาล์ม และมะพร้าวแต่กระบวนการนี้ก็ไม่เป็นที่ยอมรับในเชิงพาณิชย์ในการสกัดถั่วเหลืองหรือเมล็ดฝ้ายเพราะยังมีน้ำมันเหลือในกากประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และใช้พลังงานมากในการแยกน้ำมันและการอบแห้ง

เอนไซม์ช่วยในการสกัด (Enzyme Aqueous Extraction)

เอนไซม์เป็นตัวเสริมที่สำคัญในการสกัดด้วยน้ำ เอนไซม์ในระบบที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบสามารถเพิ่มความสามารถในการสกัดน้ำมันพืช เนื่องจากเอนไซม์สามารถย่อยโครงสร้างที่ซับซ้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของผนังเซลล์พืชดังนั้นจึงช่วยปรับปรุงการสกัดน้ำมันได้ การย่อยนี้จะเกิดกับองค์ประกอบทุกส่วนของเซลล์คือ โปรตีน น้ำมัน และน้ำตาลโมเลกุลรวม ในสภาวะของเหลวสารแต่ละอย่างที่ถูกย่อยจะสามารถแยกออกจากกันได้

3.3 การสกัดน้ำมันงา [1]

ในการสกัดน้ำมันงานั้นอาจมีการใช้ความร้อนเข้าช่วยเล็กน้อย อย่างไรก็ดีที่อุณหภูมิสูง ๆ (มากกว่า 300 องศาฟาเรนไฮต์) จะทำให้โปรตีน วิตามินอี และสารอาหารอื่น ๆ ในน้ำมันถูกทำลายลง ที่อุณหภูมิไม่สูงมาก (120 ถึง 160 องศาฟาเรนไฮต์) องค์ประกอบต่าง ๆ ที่สำคัญในน้ำมันงาจะไม่ถูกทำลายไปแต่จะสกัดน้ำมันได้น้อย ดังนั้นในการผลิตน้ำมันที่มีคุณภาพดีจะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าเล็กน้อย ในการสกัดน้ำมันจะต้องให้วิตามินอีคงเหลืออยู่ในน้ำมันเนื่องจากวิตามินอีมีคุณสมบัติเป็นสารกันหืนตามธรรมชาติและช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันได้

การสกัดน้ำมันงาโดยใช้ตัวทำละลาย

น้ำมันจะถูกสกัดออกจากพืชโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์ หรืออะซีโตน เมื่อเวลาผ่านไปมากพอน้ำมันจากพืชจะละลายเข้ามาในตัวทำละลาย จากนั้นจะนำไปผ่านการให้ความร้อนเพื่อกำจัดตัวทำละลายออกไปหลังจากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปกำจัด สี กลิ่น และรสชาติที่ไม่ต้องการออกไป

ข้อเสียในการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายคือ อาจมีปริมาณตัวทำละลายหลงเหลืออยู่บ้างเล็กน้อยและปริมาณวิตามินอีจะลดลงไปมากดังนั้นจึงต้องมีการเติมสารกันหืนธรรมชาติลงไป เช่น BHA (Butylated Hydroxyanisole) หรือ BHA (Butylated Hydroxytoluene)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและวิธีการคำนวณ

4.1 กระบวนการสกัดของแข็งด้วยตัวทำละลาย (Leaching) [2,4]

กระบวนการสกัดของแข็งด้วยตัวทำละลาย เป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อสกัดเอาสารที่อยู่ในของแข็งออกมาโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยตัวทำละลายกับวัสดุจะสัมผัสกันอย่างใกล้ชิด และตัวถูกละลายจะละลายออกมาจากวัสดุที่ถูกสกัด

ในอุตสาหกรรมเกษตรหรืออุตสาหกรรมอาหาร ผลิตภัณฑ์หลายชนิดจะได้มาจากการสกัดสารออกจากโครงสร้างธรรมชาติของมัน โดยใช้กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

การผลิตน้ำมันพืชจะมีพืชหลายชนิดที่สามารถให้น้ำมันได้มากเช่น ถั่วลิสง ถั่วเหลือง เมล็ดฝ้าย เมล็ดละหุ่ง เมล็ดดอกทานตะวัน และเมล็ดงา ซึ่งจะทำการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์จำพวก เฮกเซน อะซีโตน และอีเทอร์

กระบวนการสกัดจะประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1) การส่งผ่านของตัวทำละลายจากในกลุ่มก้อนของสารละลาย (Bulk solution) เข้าไปยังผิวของวัสดุ

2) การที่ตัวทำละลายแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไปในเซลล์

3) ตัวทำละลายละลายสารที่ต้องการ

4) การแพร่ผ่านของสารละลายผ่านออกจากผนังเซลล์

5) สารละลายแพร่ออกมารวมกับกลุ่มก้อนของสารละลายส่วนใหญ่ภายนอกเซลล์

โดยปกติแล้วกระบวนการที่เกิดขึ้นข้างต้นจะเกิดได้รวดเร็วยกเว้นในขั้นตอนที่แพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่อัตราการแพร่ยังไม่ทราบแน่นอน ว่าเร็วหรือช้าเพราะขึ้นกับกลไกในการแพร่ผ่าน โครงสร้างของพืช ความพรุนของเมล็ดพืช เป็นต้น

4.2 การเตรียมวัสดุสำหรับกระบวนการสกัด [1]

โครงสร้างของพืชจะเป็นเซลล์ ภายในเซลล์มีสารที่ต้องการสกัดอยู่ ดังนั้นการสกัดจะทำได้ยากเพราะผนังเซลล์เป็นเยื่อเลือกผ่าน ซึ่งตัวทำละลายอินทรีย์จะแพร่ผ่านได้ยากอาจต้องอาศัยการอบแห้งก่อนทำการสกัดเพื่อเป็นการทำลายผนังเซลล์ให้แตกออก ทำให้ตัวทำละลายเข้าไปสัมผัสกับตัวถูกละลายได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วิธีการดำเนินกระบวนการสกัด [4,6]

กระบวนการแบบกะ (Batch process) ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือ In - place leaching ลักษณะคือการทำให้ตัวทำละลายไหลวนผ่านวัสดุที่เป็นวัฏภาคนิ่ง (Stationary phase) ทำการสกัดไปเรื่อย ๆ จนได้ปริมาณสารเพียงพอ แล้วจึงเปลี่ยนวัสดุใหม่มาแทน

กระบวนการต่อเนื่อง (Continuous process) มีจำนวนครั้งของการสกัด (stage) เพียงหนึ่งครั้งหรือมากกว่า กระบวนการนี้จะมีถังที่ใช้ทำการสกัดซึ่งจะมีการป้อนวัสดุและตัวทำละลายเข้ามาอย่างต่อเนื่องและมีการปั่นกวนให้เกิดการสกัดได้ดีขึ้นก่อนที่กระแสของสารสกัดจะไหลออกจากถังทางด้านบน ส่วนวัสดุที่ผ่านการสกัดแล้วจะออกทางก้นถังเพื่อนำไปทำการสกัดต่อในอีกถังหนึ่ง

4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการสกัดโดยตัวทำละลาย [1]

1. ปริมาณตัวทำละลาย การใช้ปริมาณตัวทำละลายมากทำให้สามารถสกัดน้ำมันออกมาได้มากขึ้นแต่การใช้ปริมาณตัวทำละลายมากเกินไป เป็นการสิ้นเปลืองตัวทำละลาย เวลา และพลังงาน รวมทั้งต้องใช้เครื่องมือขนาดใหญ่ในการแยกน้ำมันดิบออกจากตัวทำละลาย

2. ชนิดของตัวทำละลาย ตัวทำละลายที่นิยมใช้กันในปัจจุบันมีหลายชนิดโดยมีลักษณะที่แตกต่างกัน แต่คุณสมบัติที่เหมือนกันคือ

- สามารถละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี
- ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันที่สกัด
- ไม่ละลายสิ่งเจือปนหรือสารที่ไม่ต้องการ
- มีจุดเดือดต่ำสามารถแยกออกจากน้ำมันดิบได้ง่าย
- ไม่เป็นพิษและไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อน
- มีราคาถูก สามารถหาซื้อได้ง่าย

3. อุณหภูมิขณะสกัด การเพิ่มอุณหภูมิของตัวทำละลายทำให้สามารถละลายน้ำมันได้ดีขึ้น อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เหมาะกับการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชเกือบทุกชนิด เนื่องจากสัมประสิทธิ์การแพร่จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแต่ตัวทำละลายที่ใช้โดยทั่วไปมีจุดเดือดที่ประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส ดังนั้นการสกัดที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส จะทำให้ตัวทำละลายระเหยกลายเป็นไอในระหว่างเกิดกระบวนการสกัด

4. เวลาในการสกัด ต้องใช้เวลาในการสกัดที่เหมาะสม ถ้าน้อยเกินไปผลผลิตที่ได้จะต่ำ และถ้าใช้เวลามากเกินไปจะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การใช้แผนภูมิความเข้มข้น-เวลาสำหรับการแพร่ในรูปทรงเรขาคณิตแบบง่าย (Concentration-time charts for simple geometric shapes)

สมการความต่อเนื่องเมื่อไม่มีปฏิกิริยาเคมี ของสาร A คือ

$$\nabla . n_A + \frac{\partial c_A}{\partial t} = 0$$

เมื่อ n_A คือ จำนวนโมลของ A, โมล

C_A คือ ความเข้มข้นเชิงโมลของ A, โมลต่อลูกบาศก์เมตร

t คือ เวลา, วินาที

และเมื่อพิจารณาสำหรับการแพร่ของโมเลกุลในทิศทางเดียว ตัวกลางไม่มีการไหล (V= 0) กฎการแพร่ข้อที่สองของฟิค (Fick's second law of diffusion) คือ

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

เช่น การแพร่ในของแข็งที่สภาวะไม่คงตัวซึ่งในที่นี้คือ การสกัดน้ำมันพืชในเมล็ดด้วยตัวทำละลาย การแก้สมการของฟิคมีวิธีมาตรฐานจำกัดเฉพาะรูปทรงเรขาคณิตและภาวะขอบเขตหนึ่งๆ เท่านั้น

ในการใช้คำตอบเชิงวิเคราะห์ในการหาโปรไฟล์ความเข้มข้นโดยการกำหนดตัวแปรความเข้มข้นไร้หน่วย, Y และเวลาไร้หน่วย, X_D ดังนี้

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

เมื่อ Bi คือ ตัวเลขไบออท

k_c คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล, เมตรต่อวินาที

m คือ ความต้านทานสัมพัทธ์

สมการการแพร่ข้อที่สองของฟิค จะเขียนได้เป็น

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

โดยมีสมการขอบเขตเป็น

$\nabla Y = 0$ ที่จุดศูนย์กลางของของแข็ง, $X_D = 0$ $Y = 1$

$\nabla Y = BiY$ ที่ผิวรอยต่อระหว่างของแข็งและของเหลว

ได้มีผู้หาคำตอบให้อยู่ในรูปของแผนภูมิสำหรับการแพร่ของโมเลกุลในรูปทรงเรขาคณิตต่างๆ ในรูปของแผนภูมิ "Gurney-Lurie" โดยให้คำตอบสำหรับรูปทรงเรขาคณิตแผ่นราบทรงกลมและทรงกระบอกซึ่งในที่นี้จะสมมติให้เมล็ดงามีรูปทรงเป็นทรงกลมในการแก้ปัญหาสมการอนุพันธ์ นี้นอกจากใช้แผนภูมิ Gurney-Lurie ยังสามารถหาคำตอบได้ในกรณีที่ค่า Bi มีค่าอนันต์

สมมติฐานที่ใช้ในสมการขอบเขตเป็นดังนี้

1. เมื่อเวลาเริ่มต้น ความเข้มข้นของน้ำมันมีค่าเท่ากันในทุกๆ ส่วนของเมล็ด

2. เมื่อเวลาใด ๆ เกรเดียนท์ของความเข้มข้นของน้ำมันงาในเมล็ดงาที่ตรงกลางเมล็ดมีค่าเป็นศูนย์

3. หลังจากเวลาเริ่มต้น ความเข้มข้นของน้ำมันงาที่ผิวของเมล็ดงาซึ่งอยู่ในสมดุลกับความเข้มข้นของน้ำมันงาในสารละลายรอบๆ เมล็ดงา (Bulk fluid) ที่พื้นผิวของเมล็ด และความเข้มข้นน้ำมันงาที่ผิวนี้มีค่าน้อยมาก ให้มีค่าเป็นศูนย์

จากสมการอนุพันธ์และสมการขอบเขตข้างต้นจะได้คำตอบในรูปเชิงวิเคราะห์ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปของผลรวมอนุกรมอนันต์ (Infinite series summation) ดังนี้

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

เมื่อ Y คือ อัตราส่วนปริมาณน้ำมันที่เหลืออยู่ต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D_{AB} คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันในเมล็ดงา, ตารางเซนติเมตรต่อวินาที

t คือ เวลาในการเขย่าสารละลาย, วินาที

จากคำตอบเชิงวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในเมล็ดงา เมื่อทำการสกัดน้ำมันงาในสภาวะที่ไม่ถูกจำกัดด้วยการถ่ายเทมวลภายนอกเมล็ดงา หรือค่า Bi มีค่าเป็นอนันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การดำเนินการทดลอง

5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เมล็ดงาดิบ
2. นอร์มอลเฮกเซน
3. ขวดรูปชมพู่และบีกเกอร์
4. เครื่องเขย่า
5. เครื่องให้ความร้อนเพื่อใช้ในการระเหยตัวทำละลาย
6. เครื่องบีบงา
7. ชุดอุปกรณ์สกัด
8. ชุดอุปกรณ์การกลั่น

หมายเหตุ : รูปอุปกรณ์แสดงในภาคผนวก ข

5.2 วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การศึกษาผลของอัตราส่วนเมล็ดงาต่อนอร์มอลเฮกเซนต่อการสกัดน้ำมันงา

ในการทดลองทำการสกัดโดยใช้อัตราส่วนโดยมวลของน้ำหนักงาต่อตัวทำละลายดังนี้คือ 1:3 1:4 1:5 และ 1:6 ก่อนที่จะหาเวลาสกัดที่เหมาะสมในการทดลองตอนต่อไป มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมเมล็ดงาที่จะใช้ในการสกัดโดยการนำเมล็ดงาไปบีบด้วยเครื่องบีบงา
2. ชั่งเมล็ดงาที่เตรียมไว้ประมาณ 20 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ทั้งหมด 4 ขวด
3. เตรียมนอร์มอลเฮกเซนสำหรับแต่ละอัตราส่วนโดยมีปริมาณดังนี้

   อัตราส่วน 1:3 ใช้นอร์มอลเฮกเซน 60 กรัม

   อัตราส่วน 1:4 ใช้นอร์มอลเฮกเซน 80 กรัม

   อัตราส่วน 1:5 ใช้นอร์มอลเฮกเซน 100 กรัม

   อัตราส่วน 1:6 ใช้นอร์มอลเฮกเซน 120 กรัม

4. นำสารละลายที่ได้ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน
5. เมื่อถึงเวลา 1 วัน เก็บตัวอย่างสารละลายที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันที่มีในสารละลาย บันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันงา

นำสารละลายที่ได้ไประเหยตัวทำละลายออกที่อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 15-20 นาที แล้วนำไปอบเพื่อให้ตัวทำละลายที่เหลือระเหยจนหมดจากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก จะได้ปริมาณน้ำมันที่ต้องการ

ข้อมูลของนอร์มอลเฮกเซน : จุดเดือดคือ 68.7 องศาเซลเซียส

ตอนที่ 2 การศึกษาผลของเวลาในการสกัดน้ำมันงา

ในการทดลองสกัดน้ำมันงาจะทำการสกัดโดยใช้นอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลายและใช้หลักการสกัดแบบไหลสวนทางกันหลายขั้น (Counter current mulitstage leaching) ซึ่งจะทำการสกัด 16 รอบ ดังนี้

1. เตรียมเมล็ดงาที่จะใช้ในการสกัดโดยการนำเมล็ดงาไปบีบด้วยเครื่องบีบงา
2. ชั่งเมล็ดงาที่เตรียมไว้ประมาณ 20 กรัมใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ทั้งหมด 4 ขวด
3. ในรอบที่ 1 เติมตัวทำละลายนอร์มอลเฮกเซน 60 กรัม ใส่ลงในขวดที่ 1
4. ในรอบที่ 2 เทส่วนของเหลวจากขวดที่ 1 ลงในขวดที่ 2 จากนั้นเติมตัวทำละลายใหม่ลงในขวดที่ 1
5. ในรอบที่ 3 เทส่วนของเหลวจากขวดที่ 2 ลงในขวดที่ 3 เทส่วนของเหลวจากขวดที่ 1 ลงในขวดที่ 2 และเติมตัวทำละลายใหม่ลงในขวดที่ 1
6. ในรอบที่ 4 เทส่วนของเหลวจากขวดที่ 3 ลงในขวดที่ 4 เทส่วนของเหลวจากขวดที่ 2 ลงในขวดที่ 3 เทส่วนของเหลวจากขวดที่ 1 ลงในขวดที่ 2 และเติมตัวทำละลายใหม่ลงในขวดที่ 1
7. ในรอบที่ 5
   - เทส่วนของเหลวจากขวดที่ 4 นำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในสารละลาย
   - เทส่วนของเหลวจากขวดที่ 3 ใส่ลงในขวดที่ 4 และเทส่วนของเหลวจากขวดที่ 2 ใส่ลงขวดที่ 3
   - แยกสารทั้งสองวัฏภาคของขวดที่ 1 ออกจากกัน นำส่วนของเหลวใส่ลงไปผสมกับงาใหม่ที่เตรียมไว้ 20 กรัม ในขวดรูปชมพู่ขวดใหม่และถ่ายส่วนกากงาที่เหลือออกไป
8. ในรอบที่ 6 ถึง 16 มีวิธีการเช่นเดียวกับรอบที่ 5 โดยจะทำการเวียนส่วนของเหลวไปเรื่อย ๆ และมีการทำการถ่ายส่วนของเหลวที่ใช้ในการสกัดมาครบ 4 ครั้งแล้วไปวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันงา รวมทั้งมีการถ่ายกากงาที่เหลือจากการสกัดครบ 4 ครั้งแล้วออกไป ตามลำดับ โดยนำสารละลายที่ได้ในแต่ละรอบไปทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วตั้งสารละลายทิ้งไว้เป็นเวลา ดังนี้ คือ 1 ชั่วโมง 1 วัน และ 2 วัน ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 การศึกษาผลของความเร็วรอบในการเขย่าสารละลายที่มีต่อการสกัดน้ำมันงา

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในสารละลายจากการสกัดโดยใช้เวลาในการสกัดต่างกัน ในการทดลองได้ทำการสกัดโดยใช้เวลาในการสกัดต่าง ๆ กัน คือ 0-8 ชั่วโมง ดังนี้

1. เตรียมเมล็ดงาที่จะใช้ในการสกัดโดยการนำเมล็ดงาไปบีบด้วยเครื่องบีบงา

2. ชั่งเมล็ดงาที่เตรียมไว้ประมาณ 20 กรัมใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ทั้งหมด 10 ขวด

3. เติมสารละลายนอร์มอลเฮกเซนลงในขวดรูปชมพู่ทั้ง 10 ขวด ขวดละ 60 กรัม

4. นำสารละลายที่ได้ทั้ง 10 ขวดไปตั้งทิ้งไว้ โดยแต่ละขวดจะได้รับการตั้งทิ้งไว้เป็นเวลาที่แตกต่างกันดังที่ระบุไว้แล้ว

5. ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันงาในสารละลายจากการเขย่าที่เวลาต่าง ๆ

6. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 4 และ 5 โดยนำสารละลายที่ได้ทั้ง 10 ขวดไปทำการเขย่าด้วยเครื่องเขย่าที่ความเร็วรอบ 50 และ 100 รอบ/นาที โดยเขย่าด้วยเวลาที่แตกต่างกัน

ตอนที่ 4 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดน้ำมันงา

ในการทดลองได้ทำการสกัดโดยใช้อุณหภูมิในการสกัดต่าง ๆ กันดังนี้ คือ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยมีวิธีการดังนี้ คือ

1. เตรียมเมล็ดงาที่จะใช้ในการสกัดโดยการนำเมล็ดงาไปบีบด้วยเครื่องบีบงา

2. ชั่งเมล็ดงาที่เตรียมไว้ประมาณ 20 กรัมใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ทั้งหมด 4 ขวด

3. เติมสารละลายนอร์มอลเฮกเซนลงในขวดรูปชมพู่ทั้ง 4 ขวด ขวดละ 60 กรัม

4. นำสารละลายที่ได้ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ด้วยความเร็วรอบในการเขย่า 50 รอบ/นาที จากนั้นตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน โดยเขย่าที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันดังที่ระบุไว้แล้ว

5. ทำการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายจากการสกัดที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 5 การหาความสัมพันธ์ของการพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้หน่วย ($Sh=aRe^bSc^c$)

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันในสารละลายจากการสกัดโดยใช้เวลาในการเขย่าต่าง ๆ กัน ที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ในการทดลองได้ทำการสกัดโดยใช้เวลาในการสกัดต่าง ๆ ดังนี้คือ 2.5-30 นาที โดยมีวิธีการดังนี้

1. เตรียมเมล็ดงาที่จะใช้ในการสกัดโดยการนำเมล็ดงาไปบีบด้วยเครื่องบีบงา

2. ชั่งเมล็ดงาที่เตรียมไว้ประมาณ 20 กรัมใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ทั้งหมด 7 ขวด

3. เติมนอร์มอลเฮกเซนลงในขวดรูปชมพู่ทั้ง 7 ขวด ในปริมาณขวดละ 60 กรัม

4. นำสารละลายที่ได้ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที โดยใช้เวลาในการเขย่าที่แตกต่างกัน คือ 2.5, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที ตามลำดับ

5. ทำการวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันในสารละลายจากการสกัดที่เวลาต่าง ๆ กัน

6. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 4 และ 5 โดยนำสารละลายที่ได้ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าด้วยความเร็วรอบ 10, 25 และ 40 รอบ/นาที โดยแต่ละขวดจะได้รับการเขย่าด้วยเวลาที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

6.1 ผลการทดลอง

6.1.1 ผลการทดลองตอนที่ 1

ตารางที่ 6.1 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายจากการสกัดในแต่ละอัตราส่วน

อัตราส่วนเมล็ดงา : นอร์มอลเฮกเซน (โดยน้ำหนัก (กรัม))	น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายที่วิเคราะห์ได้ (กรัม)
1:3	9.80
1:4	10.28
1:5	11.30
1:6	11.42

จากตารางที่ 6-1 น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายที่วิเคราะห์ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย เมื่อมีการใช้อัตราส่วนเมล็ดงาต่อนอร์มอลเฮกเซนค่าต่าง ๆ เนื่องจากการสกัดเข้าสู่สมดุล ดังนั้นจะใช้อัตราส่วนเมล็ดงาต่อนอร์มอลเฮกเซนสำหรับการสกัดน้ำมันงาคือ 1:3 สำหรับการทดลองตอนที่ 2 ถึงตอนที่ 5 เนื่องจากใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อยกว่าในขณะที่ได้น้ำหนักน้ำมันงาใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

6.1.2 ผลการทดลองตอนที่ 2

ตารางที่ 6-2 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายจากการสกัดในแต่ละรอบที่เวลา 1 ชั่วโมง, 1 วัน และ 2 วัน

จำนวนรอบที่ทำการเก็บตัวอย่าง	น้ำมันในสารละลายที่วิเคราะห์ได้ที่เวลาต่าง ๆ (กรัม)		
	1 ชั่วโมง	1 วัน	2 วัน
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	12.16	16.39	16.42
6	10.04	15.68	15.77
7	10.69	15.33	15.65
8	10.04	15.65	15.69
9	8.09	13.52	14.00
10	8.51	14.89	14.99
11	11.67	17.45	16.02
12	9.78	16.44	16.47
13	10.64	15.20	15.24
14	8.70	16.70	16.74
15	11.10	16.91	16.93
16	10.90	14.20	14.23
เฉลี่ย	10.19	15.36	15.68

ในการทดลองต้องการวิเคราะห์หาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันงา จากตารางที่ 6-2 น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายที่วิเคราะห์ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย เนื่องจากการสกัดเริ่มเข้าสู่สมดุลเมื่อใช้เวลาในการสกัด 1 วันขึ้นไป ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันงาคือ 1 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

55684

6.1.3 ผลการทดลองตอนที่ 3

ตารางที่ 6-3 ตารางเปรียบเทียบน้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายจากการสกัดน้ำมันงาโดยใช้เวลาในการเขย่าสารละลายต่าง ๆ กัน ที่ความเร็วรอบ 0 รอบ/นาที (ตั้งสารละลายทิ้งไว้โดยไม่เขย่า), 50 รอบ/นาที และ 100 รอบ/นาที

เวลาที่ใช้ในการเขย่า (ชั่วโมง)	น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายที่ความเร็วรอบ 0 รอบ/นาที (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายที่ความเร็วรอบ 50 รอบ/นาที (กรัม)	น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายที่ความเร็วรอบ 100 รอบ/นาที (กรัม)
0	0.0019	0.0027	0.0035
0.5	2.9167	4.2246	5.7210
1	6.5532	8.0497	8.6365
2	7.3899	9.0024	9.4223
3	8.2988	9.5673	10.4038
4	9.0326	10.5838	11.0625
5	9.3122	10.8632	11.3125
6	9.3225	10.9459	11.3877
7	9.3200	10.9786	11.4571
8	9.3203	11.0000	11.4421

ในการทดลองต้องการวิเคราะห์หาความเร็วรอบในการเขย่าสารละลายที่เหมาะสม ซึ่งจากตารางที่ 6-3 น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายที่วิเคราะห์ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย เมื่อใช้ความเร็วรอบในการเขย่าสารละลาย 50 รอบ/นาทีขึ้นไป เนื่องจากการสกัดเริ่มจะเข้าสู่สมดุลแล้ว ดังนั้นความเร็วรอบที่เหมาะสมในการเขย่าสารละลายคือ 50 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.4 ผลการทดลองตอนที่ 4

ตารางที่ 6-4 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายจากการสกัดที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิที่ใช้ในการตั้งสารละลายทิ้งไว้ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลายที่วิเคราะห์ได้ (กรัม)
30	9.43
40	9.50
50	9.55
60	9.78

ในการทดลองนี้ต้องการศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดน้ำมันงา ซึ่งจากตารางที่ 6-4 อุณหภูมิให้ผลไม่แตกต่างกันนักในการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.1.5 ผลการทดลองตอนที่ 5

ตารางที่ 6-5 ข้อมูลเพื่อใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในเมล็ดงา (D_{AB})

เวลาที่ใช้ในการเขย่า (วินาที)	น้ำหนักน้ำมันในสารละลาย (กรัม)	ความเข้มข้นน้ำมันในเมล็ดงาที่เหลืออยู่ในเมล็ดหลังสกัด (กรัม/กรัมเมล็ด)	อัตราส่วนปริมาณน้ำมันในเมล็ดงาต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา (Y)
150	2.3941	0.541	0.9313
300	2.6582	0.537	0.9238
600	2.8404	0.534	0.9186
900	2.9100	0.532	0.9165
1200	2.9978	0.531	0.9141
1500	3.2654	0.527	0.9064
1800	3.6167	0.521	0.8962

ผลค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในเมล็ดงา

จากการใช้โปรแกรมเอ็กเซล (Excel) จะได้ (D_{AB})

สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในเมล็ดงา (D_{AB}) = $1.5X10^{-8}$ เซนติเมตร^2/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6-6 ข้อมูลเพื่อใช้ในการหาค่าไบออทนัมเบอร์ (Bi)

เวลาในการเขย่า (วินาที)	ความเร็วรอบในการเขย่า 10 รอบ/นาที		ความเร็วรอบในการเขย่า 25 รอบ/นาที		ความเร็วรอบในการเขย่า 40 รอบ/นาที	
	อัตราส่วนปริมาณน้ำมันที่เหลือต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา (Y)	เวลาสัมพัทธ์ (X_D)	อัตราส่วนปริมาณน้ำมันที่เหลือต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา (Y)	เวลาสัมพัทธ์ (X_D)	อัตราส่วนปริมาณน้ำมันที่เหลือต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา (Y)	เวลาสัมพัทธ์ (X_D)
150	0.957	0.0001	0.947	0.0001	0.936	0.0001
300	0.940	0.0002	0.936	0.0002	0.931	0.0002
600	0.936	0.0004	0.928	0.0004	0.916	0.0004
900	0.928	0.0006	0.914	0.0006	0.909	0.0006
1200	0.917	0.0008	0.910	0.0008	0.892	0.0008
1500	0.902	0.0010	0.898	0.0010	0.886	0.0010
1800	0.898	0.0012	0.888	0.0012	0.881	0.0012

ผลค่าไบออทนัมเบอร์ (Bi)

จากแผนภูมิ Gurney-Lurie ในภาคผนวก ง จะได้

ค่าไบออทนัมเบอร์ (Bi) ที่ความเร็วรอบ 10 รอบ/นาที เท่ากับ 1.5

ค่าไบออทนัมเบอร์ (Bi) ที่ความเร็วรอบ 25 รอบ/นาที เท่ากับ 1.75

ค่าไบออทนัมเบอร์ (Bi) ที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที เท่ากับ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6-7 ข้อมูลเพื่อใช้ในการหาความสัมพันธ์ของการพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้หน่วย ($Sh = aRe^b Sc^c$)

ความเร็วรอบที่ใช้ในการเขย่า (รอบ/นาที)	สัมประสิทธิ์ของการพามวล, k_c (เซนติเมตร/วินาที)	เชอร์วูดนัมเบอร์ (Sh)	เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re)	ชมิดท์นัมเบอร์ (Sc)
10	$1.5X10^{-7}$	0.045	330	500
25	$1.75X10^{-7}$	0.053	825	500
40	$2X10^{-7}$	0.060	1320	500

ผลความสัมพันธ์ของการพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้หน่วย ($Sh = aRe^b Sc^c$) จากการใช้โปรแกรมโพลิแมท (Polymath) ได้ผลการทดลองดังนี้

a = 0.012

b = 0.207

c = 0.035

ดังนั้นความสัมพันธ์ของการพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้หน่วย คือ

$$Sh = 0.012Re^{0.207}Sc^{0.035}$$

6.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

6.2.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์การพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้หน่วย

จากความสัมพันธ์ของการพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้หน่วย

$$Sh = 0.012Re^{0.207}Sc^{0.035}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ b มีค่ามากถึง 0.207 จึงสรุปได้ว่าค่าตัวเลขเรย์โนลด์มีผลต่อการพามวลของน้ำมันงาออกจากเมล็ดเข้าสู่สารละลาย เนื่องจากความเร็วรอบของการเขย่าสารละลายมีผลอย่างมากต่อการสกัดน้ำมันงา

ค่าสัมประสิทธิ์ c มีค่าน้อยเพียง 0.035 จึงสรุปได้ว่าค่าตัวเลขชมิดท์ มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการพามวลของน้ำมันงาออกจากเมล็ดเข้าสู่สารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากค่าตัวเลขชมิดท์ขึ้นอยู่กับ ความหนืดไคเนเมติกของสารละลายเฮกเซน และสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในสารละลายเฮกเซนซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้ค่าตัวเลขชมิดท์มีผลต่อการสกัดน้ำมันงาน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
สรุปและข้อเสนอแนะการทดลอง

7.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองในการหาปริมาณนอร์มอลเฮกเซนที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันงา ทำให้ทราบอัตราส่วนเมล็ดงาต่อนอร์มอลเฮกเซนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วน 1:4 ซึ่งน้ำหนักน้ำมันงาที่ได้ที่ อัตราส่วน 1:4 มีค่าใกล้เคียงกันกับการใช้อัตราส่วน 1:3 และ 1:5 จึงเลือกใช้อัตราส่วน 1:3 ใน การสกัดน้ำมันงา เนื่องจากปริมาณตัวทำละลายที่ใช้น้อยกว่าในขณะที่สกัดได้น้ำหนักน้ำมันงาใกล้เคียงกัน

2. จากการทดลองในการหาเวลาที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันงา สรุปได้ว่าการใช้เวลาในการตั้งทิ้งไว้ 2 วัน จะได้ปริมาณน้ำมันงามากกว่าการใช้เวลาในการตั้งทิ้งไว้ 1 วัน เพียงเล็กน้อย การใช้เวลาในการตั้งทิ้งไว้ 1 วัน จะได้ปริมาณน้ำมันงามากกว่าการใช้เวลาตั้งทิ้งไว้เพียง 1 ชั่วโมงแสดงว่าเวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณน้ำมันงาที่สกัดได้ คือ ถ้าใช้เวลาในการสกัดน้อยเกินไปผลผลิตที่ได้จะต่ำแต่ถ้าใช้เวลาในการสกัดมากเกินไปก็จะเป็นการสิ้นเปลือง เนื่องจากการสกัดเริ่มเข้าสู่สมดุล ซึ่งจะทำให้อัตราการสกัดลดลงมากหรือไม่มีการสกัดอีกต่อไป

3. จากการทดลองในการหาความเร็วรอบที่เหมาะสมในการเขย่าสารละลายในการสกัดน้ำมันงาสรุปได้ว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบในการเขย่าสารละลายมากขึ้นจะได้ปริมาณน้ำมันงาที่วิเคราะห์ได้มากขึ้นจนถึงจุดสูงสุด คือ 50 รอบ/นาที และจากนั้นปริมาณของน้ำมันงาที่สกัดได้เริ่มคงที่เนื่องจากการสกัดเริ่มเข้าสู่สมดุล

4. จากการทดลองในการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันงาสรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการสกัดมากขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำมันงาที่วิเคราะห์ได้มากขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสซึ่งถือเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันงาเนื่องจากตัวทำละลายเฮกเซนที่ใช้สกัดมีจุดเดือดประมาณ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นการสกัดที่อุณหภูมิมากกว่า 60 องศาเซลเซียส อาจทำให้เฮกเซนระเหยกลายเป็นไอก่อนที่จะเกิดกระบวนการสกัด

5. จากการหาความสัมพันธ์ของการพามวลแบบบังคับในรูปตัวแปรไร้หน่วย ($Sh = aRe^{b}Sc^{c}$) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$Sh = 0.012Re^{0.207}Sc^{0.035}$$

ซึ่งจากสมการความสัมพันธ์ที่ได้นี้สามารถนำไปใช้เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของการพามวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 ข้อเสนอแนะ

1. เฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดสารอินทรีย์แต่เนื่องจากคุณสมบัติบางประการของเฮกเซนจึงมีข้อควรระวังในการทดลองดังนี้

- จุดเดือดต่ำ (65 องศาเซลเซียส) จึงสามารถระเหยได้เองที่อุณหภูมิห้องดังนั้นการทดลองจึงต้องระมัดระวัง และใช้ความรวดเร็วในการบันทึกผลเพราะหากปล่อยทิ้งไว้นานเฮกเซนจะระเหยไปทำให้ข้อมูลที่ได้คลาดเคลื่อน

- เฮกเซนสามารถซึมเข้าสู่ผิวหนังได้รวดเร็วดังนั้นเวลาถ่ายสารไปในแต่ละขวดจึงควรทำในตู้ดูดควัน

2. ในขั้นตอนการบีบเมล็ดงาอาจมีน้ำมันตกค้างอยู่ตามผิวของเมล็ดทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน ดังนั้นต้องทำการเลือกเมล็ดในส่วนที่ไม่มีน้ำมันงาตกค้างอยู่ตามผิวของเมล็ดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] อรสา สุริยาพันธ์ และวิชิต ปัญญาทิพย์สกุล. "การสกัดน้ำมันจากเมล็ดงา." ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2527.

[2] Seader, J.D. and Ernest, J. Henley. *Separation Process Principles.* New York : John Wiley & Sons. 1993.

[3] Swern, D. and Thomas H. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products.* New York : John Wiley & sons. 1979-1985.

[4] Cristies, J.G. *Transport Processes Unit Operation.* 3rd Edition. New Jersey : Prentice Hall, Inc. 1993.

[5] ธีระพล จตุรกุลเทวัญ และปิยนาถ ศุภนาม."การหาข้อมูลสมดุลของการสกัดน้ำมันงาโดยใช้นอร์มอลเฮกเซนเป็นตัวทำละลาย." ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.

[6] McCabe, Warren L., Julian, C. Smith. and Harriott, Peter. *Unit Operation of Chemical Engineering.* 6th Edition. New York : Mcgraw-Hill. 2001.

[7] Middleman, Stanley. *An Introduction to Mass and Heat Transfer.* John Wiley & Sons.

[8] Plastic Technology Laboratories, Inc. *"Extractions."* [Online]. Available : http:// www.ptli.com/testopedia/sub/extractions.htm. 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก-1 คุณค่าทางอาหารเป็นร้อยละของพืชน้ำมันแต่ละชนิด [5]

พืช\คุณค่าทางอาหาร	โปรตีน	ไขมัน	ไขมันไม่อิ่มตัว	ไขมันอิ่มตัว
ถั่วเหลือง	35-50	12-20	85	-
ถั่วลิสง	25-35	44-56	80	-
งา	18-25	44-50	80	-
ทานตะวัน	30-40	-	90	-
คำฝอย	-	-	90	-
รำข้าว	-	10-12	85	-
ปาล์ม	-	-	-	52

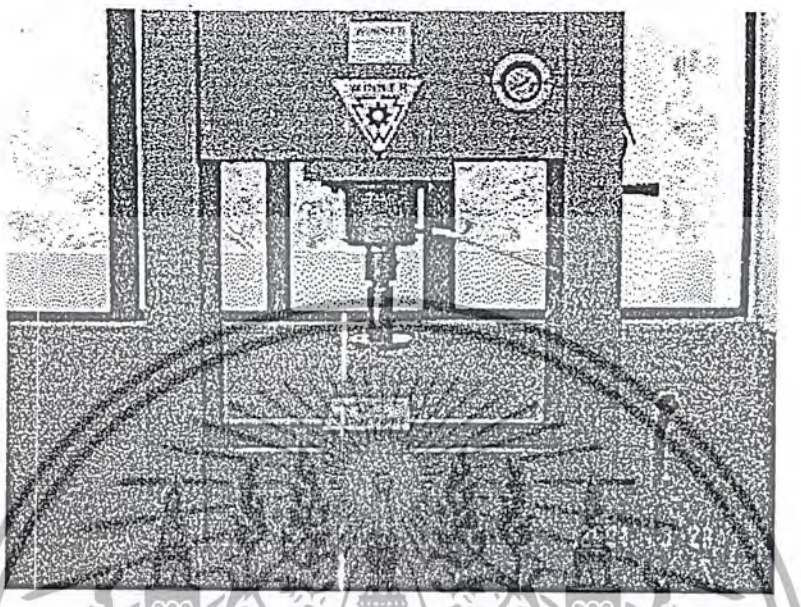
ตารางที่ ก-2 ปริมาณกรดไขมันในน้ำมันพืชที่สำคัญ [5]

รายการ	กรดไขมันไม่อิ่มตัว (กรัมต่อไขมัน 100 กรัม)	กรดไขมันอิ่มตัว (กรัมต่อไขมัน 100 กรัม)	กรดลิโนเลอิค (กรัมต่อไขมัน 100 กรัม)
น้ำมันดอกคำฝอย	87	8	72
น้ำมันข้าวโพด	84	10	53
น้ำมันเมล็ดทานตะวัน	83	12	63
น้ำมันถั่วเหลือง	80	15	52
น้ำมันรำข้าว	80	16	37
น้ำมันงา	80	14	42
น้ำมันเมล็ดฝ้าย (นุ่น)	50	71	25
น้ำมันถั่วลิสง	76	18	29
น้ำมันปาล์ม	49	45	8
น้ำมันมะกอก	84	11	7
น้ำมันมะพร้าว	8	82	น้อยมาก

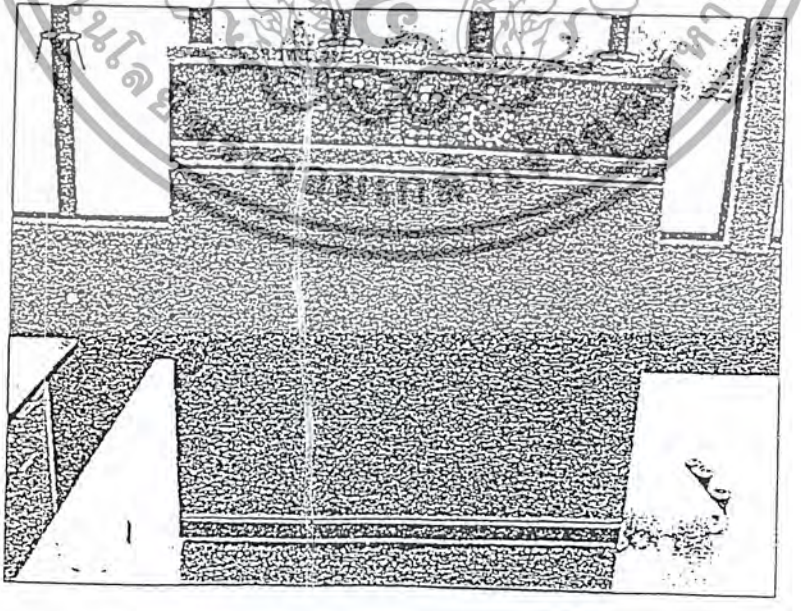
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

รูปอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

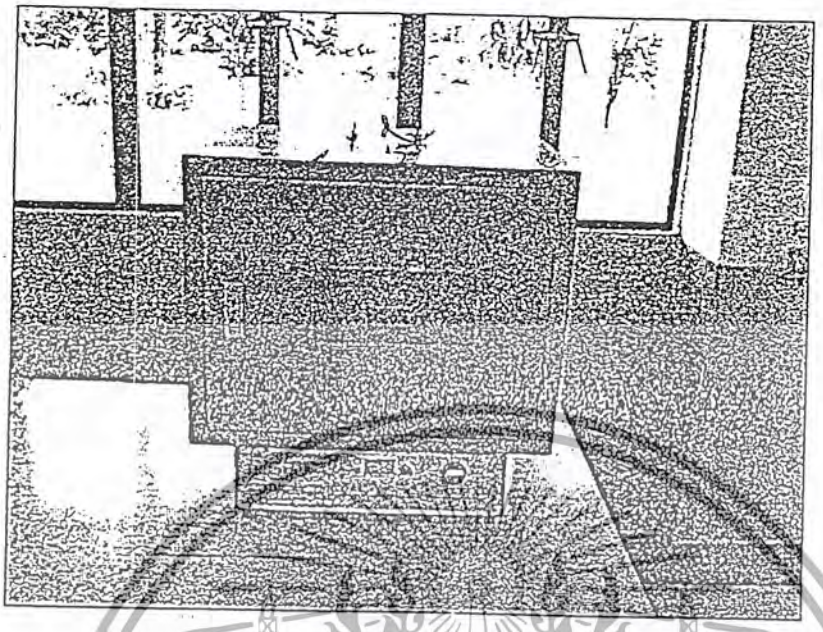


รูปที่ ข-1 เครื่องบีบงา

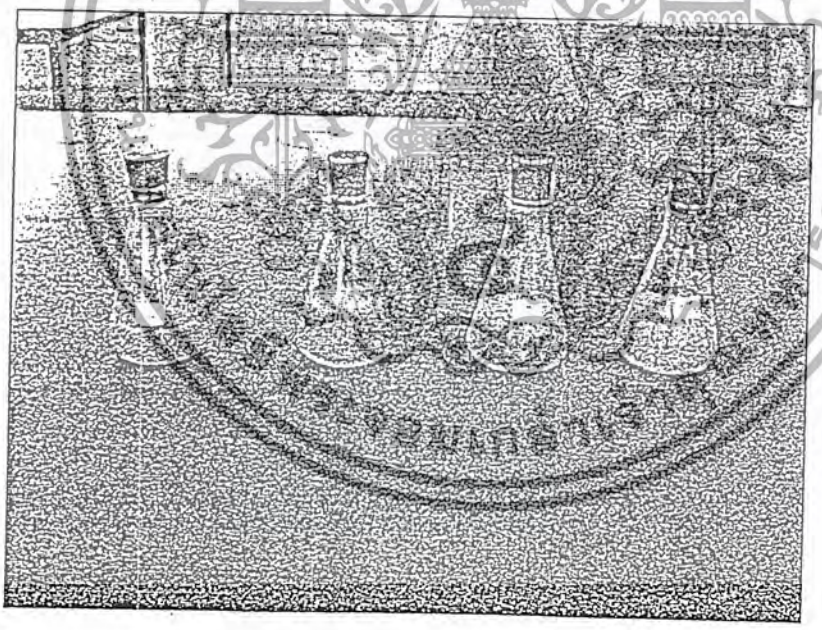


รูปที่ ข-2 ตู้อบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

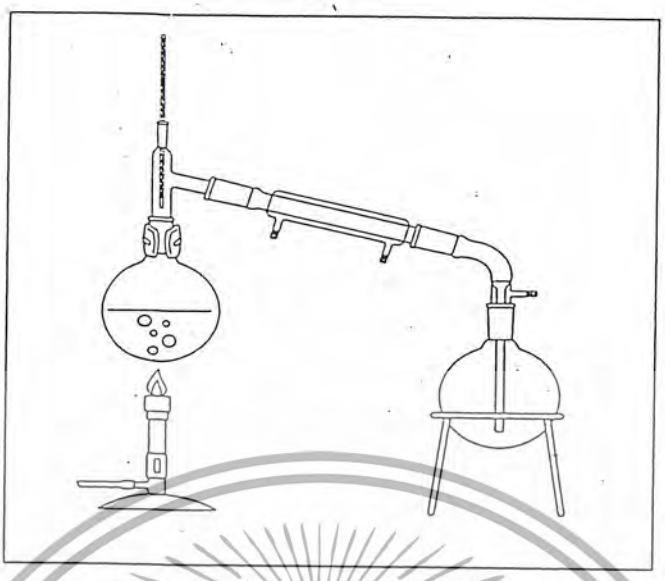


รูปที่ ข-3 เครื่องเขย่า

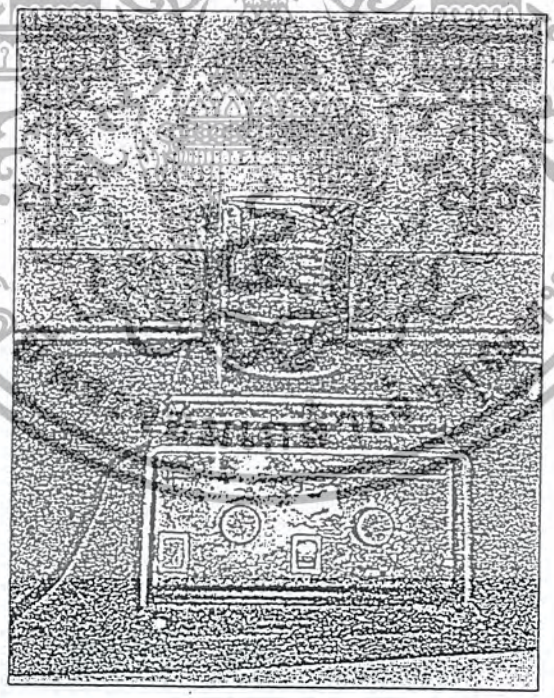


รูปที่ ข-4 ขวดรูปชมพู่ที่ใช้ทำการสกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

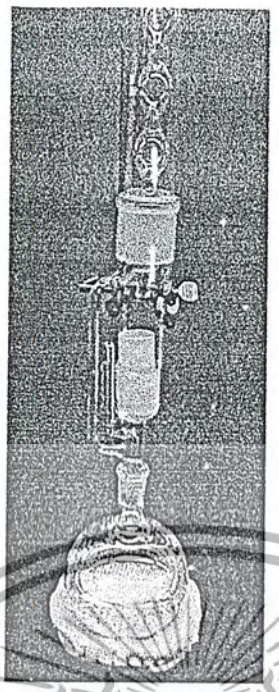


รูปที่ ข-5 ชุดอุปกรณ์กลั่น



รูปที่ ข-6 การระเหยตัวทำละลายในขั้นตอนการหาปริมาณน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-7 ชุดอุปกรณ์สกัด(Soxhlet) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลน้ำหนักและความเข้มข้นต่าง ๆ ของน้ำมันงาที่ได้จากการวิเคราะห์ จากการเขย่าที่ความเร็วรอบ 10 รอบ/นาที (การทดลองตอนที่ 5 ชุดทดลองที่ 2)

เวลาที่ใช้ในการเขย่า (นาที)	น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลาย (กรัม)	ความเข้มข้นของน้ำมันงาที่เหลืออยู่ในเมล็ดหลังสกัด (กรัม/กรัมเมล็ด)
150	1.3467	0.556
300	1.9343	0.546
600	2.0294	0.544
900	2.1507	0.539
1200	2.2533	0.531
1500	2.4933	0.524
1800	2.5810	0.522

ตารางที่ ค-2 ข้อมูลน้ำหนักและความเข้มข้นต่าง ๆ ของน้ำมันงาที่ได้จากการวิเคราะห์ จากการเขย่าที่ความเร็วรอบ 25 รอบ/นาที (การทดลองตอนที่ 5 ชุดทดลองที่ 3)

เวลาที่ใช้ในการเขย่า (นาที)	น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลาย (กรัม)	ความเข้มข้นของน้ำมันงาที่เหลืออยู่ในเมล็ดหลังสกัด (กรัม/กรัมเมล็ด)
150	1.4872	0.533
300	2.0172	0.544
600	2.1867	0.539
900	2.3064	0.531
1200	2.4663	0.529
1500	2.5863	0.522
1800	2.7907	0.516

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค-3 ข้อมูลน้ำหนักและความเข้มข้นต่าง ๆ ของน้ำมันงาที่ได้จากการวิเคราะห์ จากการเขย่าที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที

เวลาที่ใช้ในการเขย่า (นาที)	น้ำหนักน้ำมันงาในสารละลาย (กรัม)	ความเข้มข้นของน้ำมันงาที่เหลืออยู่ในเมล็ดหลังสกัด (กรัม/กรัมเมล็ด)
150	1.6532	0.544
300	2.1000	0.541
600	2.3240	0.532
900	2.4642	0.528
1200	2.6792	0.518
1500	2.8304	0.515
1800	3.0000	0.512

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

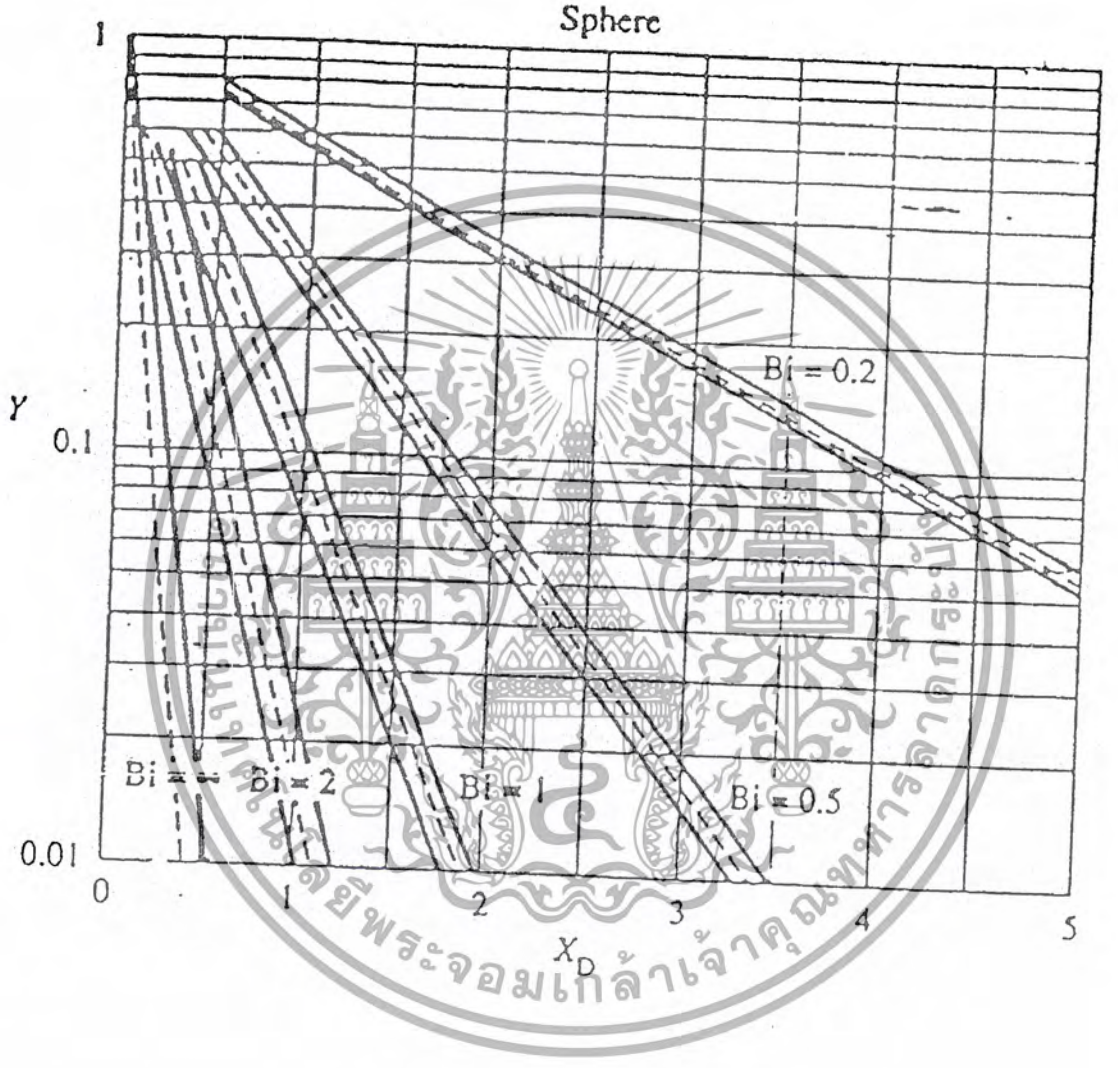
ผลของค่า *a*, *b* และ *c* ในสมการความสัมพันธ์ของการพามวลแบบบังคับในรูปของตัวแปรไร้หน่วย ($Sh=aRe^bSc^c$) จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น

```
POLYMATH Results
03-29-2004

Nonlinear regression (L-M)

 Model: Sh =  a*(Re^b)*(Sc^c)

 Variable      Ini guess      Value     95% confidence
 a             0.5          0.0107669    0
 b             0.1          0.2069161    0
 c             0.1          0.0356789    0

 Nonlinear regression settings
 Max # iterations = 64

 Precision
 R^2          =  0.9882108
 R^2adj       =  0
 Rmsd         =  3.842E-04
 Variance     =  1.0E+99

 General
 Sample size  = 3
 # Model vars  = 3
 # Indep vars  = 2
 # Iterations  = 12
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
แผนภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์

รูปที่ ง-1 แผนภูมิ Gurney-Lurie charts [7]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณหา Y

ความเข้มข้นของน้ำมันงาเริ่มต้นในเมล็ดงา (C_{A0}) = 0.581 กรัม/กรัมเมล็ด

ใช้สูตร
$$Y = \frac{C_A}{C_{A0}}$$

โดย Y = อัตราส่วนปริมาณน้ำมันในเมล็ดงาที่เวลาใด ๆ ต่อปริมาณน้ำมันเริ่มต้นในเมล็ดงา

C_A = ความเข้มข้นของน้ำมันงาที่เหลืออยู่ในเมล็ดหลังสกัด, โมลต่อลูกบาศก์เมตร

C_{A0} = ความเข้มข้นของน้ำมันงาเริ่มต้นภายในเมล็ดงา, โมลต่อลูกบาศก์เมตร

จากการเก็บตัวอย่างการสกัดน้ำมันงาในการสกัดโดยใช้เวลา 150 วินาที

- วิเคราะห์ผลได้ความเข้มข้นของน้ำมันงาที่เหลืออยู่ในเมล็ดหลังสกัด = 0.541 กรัม/กรัมเมล็ด

- หา Y

$$Y = \frac{0.541}{0.581}$$
$$= 0.9313$$

การคำนวณหา D_{AB}

รัศมีเมล็ดงา (R) = 0.15 เซนติเมตร

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

จากการเก็บตัวอย่างการสกัดน้ำมันงาในการสกัดที่เวลา 150 วินาที

- วิเคราะห์ผลได้ $Y = 0.9313$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$0.9313 = \frac{6}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{n^2}\right)\exp\left(\frac{-150D_{AB}n^2\pi^2}{(0.15)^2}\right)$$

และจากการเก็บตัวอย่างการสกัดน้ำมันงาในการสกัดที่เวลา 300, 600, 900, 1200, 1500 และ 1800 วินาที จะได้สมการความสัมพันธ์

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

- หา D_{AB} โดยใช้โปรแกรมเอ็กเซลโดยหาค่า D_{AB} ที่ทำให้ผลรวมของกำลังสองของ $f(D_{AB})$ ทุกเวลาการสกัดมีค่าน้อยที่สุด
จะได้ค่า D_{AB} = 1.5X10^{-8} เซนติเมตร^2/วินาที

ตัวอย่างการคำนวณหา Y, X_D และ Bi

สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในเมล็ดงา (D_{AB}) = 1.5X10^{-8} เซนติเมตร^2/วินาที
รัศมีเมล็ดงา (R) =0.15 เซนติเมตร
ความเข้มข้นของน้ำมันงาเริ่มต้นภายในเมล็ดงา (C_{A0}) = 0.581 กรัม/กรัมเมล็ด
สมมติฐานที่ใช้

ความเข้มข้นของน้ำมันงาที่พื้นผิวของเมล็ดงามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของน้ำมันงาเริ่มต้นและที่เหลืออยู่ในเมล็ดหลังสกัด ดังนั้นค่า C_{AS} มีค่าเข้าใกล้ศูนย์

ใช้สูตร $$Y = \frac{C_A}{C_{A0}}$$

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

จากการเก็บตัวอย่างการสกัดน้ำมันงาในการสกัดโดยใช้เวลา 150 วินาที ที่ความเร็วรอบ10 รอบ/นาที

- วิเคราะห์ผลได้ C_A = 0.556 กรัม/กรัมเมล็ด

- หา Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y = \frac{0.556}{0.581}$$
$$= 0.957$$

- หา X_D

$$X_D = \frac{(1.5 \times 10^{-8})(150)}{(0.15)^2}$$
$$= 0.0001$$

- หา Bi โดยใช้แผนภูมิ Gurney-Lurie ในภาคผนวก ง จะได้

ค่าไบออทนัมเบอร์ (Bi) ที่ความเร็วรอบ 10 รอบ/นาที เท่ากับ 1.5

ค่าไบออทนัมเบอร์ (Bi) ที่ความเร็วรอบ 25 รอบ/นาที เท่ากับ 1.75

ค่าไบออทนัมเบอร์ (Bi) ที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที เท่ากับ 2

ตัวอย่างการคำนวณหา k_c, Sh, Re และ Sc

ค่าไบออทนัมเบอร์ (Bi) ที่ความเร็วรอบ 10 รอบ/นาที เท่ากับ 1.5

ค่าไบออทนัมเบอร์ (Bi) ที่ความเร็วรอบ 25 รอบ/นาที เท่ากับ 1.75

ค่าไบออทนัมเบอร์ (Bi) ที่ความเร็วรอบ 40 รอบ/นาที เท่ากับ 2

สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในเมล็ดงา (D_{AB}) = $1.5X10^{-8}$ เซนติเมตร^2/วินาที

รัศมีเมล็ดงา (R) =0.15 เซนติเมตร

แอมปลิจูดของการเขย่า (D) = 3 เซนติเมตร

สัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำมันงาในสารละลายเฮกเซน (D'_{AB}) = $1X10^{-5}$ เซนติเมตร^2/วินาที

ความหนาแน่นของสารละลายเฮกเซน (ρ) =0.66 กรัม/เซนติเมตร^3

ความหนืดของสารละลายเฮกเซน (μ) = 0.003 กรัม/เซนติเมตร.วินาที

ความหนืดไคเนมาติกของสารละลายเฮกเซน (ν) = 0.005 เซนติเมตร^2/วินาที

ใช้สูตร

$$k_c = \frac{BiD_{AB}}{R}$$

$$Sh = \frac{k_c D}{D'_{AB}}$$

$$Re = \frac{nD^2\rho}{\mu}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Sc = \frac{\nu}{D'_{AB}}$$

โดย k_c = สัมประสิทธิ์ของการพามวล (เซนติเมตร/วินาที)

Sh = เชอร์วูดนัมเบอร์ (Sherwood number)

Re = เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Reynold number)

Sc = ชมิดท์นัมเบอร์ (Schmidt number)

n = ความเร็วรอบ (รอบ/วินาที)

จากการเก็บตัวอย่างการสกัดน้ำมันในการสกัดโดยใช้ความเร็วรอบ 10 รอบ/นาที

- วิเคราะห์ผลได้ค่าไบออทนัมเบอร์ (Bi) = 1.5

- หา k_c

$$k_c = \frac{(1.5)(1.5x10^{-8}\text{เซนติเมตร}^2/\text{วินาที})}{(0.15\text{เซนติเมตร})}$$

$$= 1.5X10^{-7}\ \text{เซนติเมตร/วินาที}$$

- หา Sh

$$Sh = \frac{(1.5x10^{-7}\text{เซนติเมตร/วินาที})(3\text{เซนติเมตร})}{(1x10^{-5}\text{เซนติเมตร}^2/\text{วินาที})}$$

$$= 0.045$$

- หา Re

$$Re = \frac{(10\text{รอบ/นาที})((3\text{เซนติเมตร})^2(0.66\text{กรัม/เซนติเมตร}^3)}{(0.003\text{กรัม})}$$

$$= 330$$

- หา Sc

$$Sc = \frac{(0.005\text{เซนติเมตร}^2/\text{วินาที})}{(1x10^{-5}\text{เซนติเมตร}^2/\text{วินาที})}$$

$$= 500$$

<u>การคำนวณหา *a*, *b* และ *c*</u>

ใช้สมการความสัมพันธ์ $Sh = aRe^b Sc^c$

จากการเก็บตัวอย่างการสกัดน้ำมันงาในการสกัดที่ความเร็วรอบ 10 รอบ/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิเคราะห์ผลได้ Sh = 0.045

Re = 330

Sc = 500

- หาสมการความสัมพันธ์ ($Sh = aRe^{b}Sc^{c}$)

$$0.045 = a(330)^{b}(500)^{c}$$

และจากการเก็บตัวอย่างการสกัดน้ำมันงาในการสกัดที่ความเร็วรอบ 25 และ 50 รอบ/นาที จะได้สมการความสัมพันธ์ ($Sh = aRe^{b}Sc^{c}$) ตามลำดับ ดังนี้

$$0.053 = a(825)^{b}(500)^{c}$$

$$0.060 = a(1320)^{b}(500)^{c}$$

- หา a, b และ c โดยใช้โปรแกรมโพลิแมท

จะได้สมการความสัมพันธ์ ($Sh = aRe^{b}Sc^{c}$) ดังนี้

$$Sh = 0.012Re^{0.207}Sc^{0.035}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้