



ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำมันในกระบวนการรีไฟน์น้ำมันรำข้าว

นางสาวจิราภรณ์ พึ่งธรรม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี
คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2549

ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำมันในกระบวนการรีไฟน์น้ำมันรำข้าว

นางสาวจิราภรณ์ พึ่งธรรม วท.บ. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

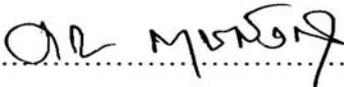
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี
คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2549

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ดร.กর্ণกนก อายสุข)

ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์



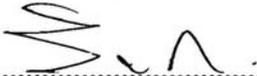
(รศ.ดร.กณิต กฤษณังกูร)

ประธานร่วม



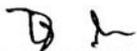
(รศ.นฤมล จียโชค)

กรรมการ



(ผศ.ดร.รัตนชัย ไพรินทร์)

กรรมการ



(ดร.จินดารัตน์ โดกมลธรรม)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บันทึกขอสมุด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำมันในกระบวนการรีไฟน์น้ำมันรำข้าว
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวจิราภรณ์ พึ่งธรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.กรณ์กนก อายุสุข รศ.ดร.คณิต กฤษณังกูร
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีชีวเคมี
สายวิชา	เทคโนโลยีชีวเคมี
คณะ	ทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
พ.ศ.	2549

บทคัดย่อ

ปัญหาของกระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์คือ เกิดการสูญเสียน้ำมันมากกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากัน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำมัน โดยนำน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวันทีผ่านกระบวนการฟอกสีและกำจัดกลิ่นแล้วมาผสมกับกรดไขมันอิสระของน้ำมันรำข้าว 6.8% เพื่อใช้เป็นแบบจำลองน้ำมันรำข้าว พบว่ากรดไขมันอิสระ ไช โอโรซานอล และไขมันแอลกอฮอล์มีผลทำให้สูญเสียน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งปัจจัยที่มีผลมากที่สุดคือ ไขมันแอลกอฮอล์ > ไชรำข้าว > โอโรซานอล \approx กรดไขมันอิสระ ตามลำดับ โดยในแบบจำลองจากน้ำมันปาล์มมีการสูญเสียน้ำมันแตกต่างจากแบบจำลองจากน้ำมันชนิดอื่น เนื่องจากองค์ประกอบในน้ำมันปาล์ม เช่น β -carotene และ tocotrienol อาจมีผลต่อความหนืดและการสูญเสียน้ำมัน งานวิจัยนี้ได้นำวิธีปั่นเหวี่ยงแบบแคพิลลารีมาใช้ในการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำมันควบคู่ไปกับวิธีปั่นเหวี่ยงแบบดั้งเดิม พบว่าวิธีปั่นเหวี่ยงแบบแคพิลลารีให้ผลการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำมันสอดคล้องกับวิธีดั้งเดิม แต่ให้ค่าต่ำกว่า เนื่องจากแรงเหวี่ยงของวิธีแคพิลลารีสูงกว่าวิธีดั้งเดิมถึง 8 เท่า จึงสามารถดึงน้ำมันออกจากชั้นสบู่ได้มาก ส่งผลให้สามารถลดการสูญเสียน้ำมันได้ ข้อดีของวิธีปั่นเหวี่ยงแบบแคพิลลารีคือ รวดเร็ว ง่าย และใช้ปริมาณตัวอย่างเพียงเล็กน้อย จึงอาจนำไปใช้ได้ในห้องปฏิบัติการของโรงงานรีไฟน์น้ำมันรำข้าวได้

คำสำคัญ : กรดไขมันอิสระ / การทำให้เป็นกลาง / การรีไฟน์น้ำมันรำข้าว / การสูญเสียน้ำมัน / ไช / ไขมันแอลกอฮอล์ / โอโรซานอล

Thesis Title	Factors Affecting Refining Losses in Rice Bran Oil Refinery
Thesis Credits	12
Candidate	Miss Jiraporn Puengtham
Thesis Advisors	Dr. Kornkanok Aryusuk Assoc. Prof. Dr. Kanit Krisnangkura
Program	Master of Science
Field of Study	Biochemical Technology
Department	Biochemical Technology
Faculty	School of Bioresources and Technology
B.E.	2549

Abstract

The problem in alkaline refining of high free fatty acid rice bran oil is its high refining losses which is greater than other vegetable oils with similar free fatty acid content. The purpose of this research is to identify factors affecting refining losses by used the refined, bleached and deodorized palm, soybean and sunflower oil incorporated with 6.8% rice bran oil free fatty acid as rice bran oil models. It was found that free fatty acid, wax, oryzanol and fatty alcohol increased the refining losses. The most significant factor is fatty alcohol > rice bran wax > oryzanol \approx free fatty acid, respectively. The refining loss of oil model from palm oil is difference from others because the composition of palm oil such as β -carotene and tocotrienol may affect on the viscosity and the refining loss. In this research, a capillary centrifugation method is invented for determination of refining loss. The newly invented method was carried out in parallel with the conventional centrifugation method. The refining losses determined by the capillary method were in good agreement but the refining losses were slightly lower than those obtained by the classical method. The difference might be due to the centrifugal force of capillary method was 8 times higher than the conventional method. Thus the soap and oil were well separated and resulted in reduction of the refining loss. The advantages of the capillary method are rapid, simple and required very small amount of sample so it is practical in the laboratory of rice bran oil refinery.

Keywords: Fatty Alcohol / Free Fatty Acid / Neutralization / Oryzanol / Refining Loss / Rice Bran Oil Refinery / Wax

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.กรณ์กนก อายุสุข และ รศ.ดร.คณิต กฤษณ์งูร ที่กรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้แนวทางในการวิจัย คำแนะนำ ตลอดจนวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ เพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี และขอขอบพระคุณ รศ.นฤมล จิยโชค ผศ.ดร.รัตนชัย ไพรินทร์ และ ดร.จินดารัตน์ โตกมลธรรม ที่กรุณาให้คำแนะนำ รวมทั้งข้อเสนอแนะ เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องในงานวิจัย ตลอดจนร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ขอขอบคุณบริษัทน้ำมันบริโภคไทยที่ให้ความอนุเคราะห์ใบรื้อข้าวและ โอโรซานอลเพื่อใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีที่ได้มอบทุนการศึกษา เพื่อสนับสนุนด้านค่าใช้จ่ายในการเรียนของผู้วิจัย

ขอขอบคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี รวมทั้งพี่ๆ เพื่อนๆ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี รวมทั้งคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุทุกๆ ท่านที่ได้มีส่วนช่วยเหลือ ซึ่งมีได้กล่าวนามไว้ในที่นี้ ขอขอบคุณครอบครัว ผู้ซึ่งอยู่เบื้องหลังความสำเร็จ คอยให้กำลังใจและเป็นแรงผลักดันให้ผู้วิจัยทำงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ฉ
รายการรูปประกอบ	ฎ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฏ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎี	4
2.1 น้ำมันรำข้าว (Rice bran oil)	4
2.1.1 รำข้าว	4
2.1.2 องค์ประกอบและคุณสมบัติของน้ำมันรำข้าว	5
2.1.3 กรดไขมัน (Fatty acid)	7
2.1.4 โอไรซานอล (Oryzanol)	9
2.1.5 ไไข (Wax)	10
2.1.5.1 ประเภทของไข	11
2.1.5.2 ไไขรำข้าว (Rice bran oil)	14
2.1.6 ไขมันแอลกอฮอล์ (Fatty alcohol)	16
2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันพืชเพื่อการบริโภค (Oil processing)	17
2.2.1 กระบวนการสกัด (Extraction)	18
2.2.2 กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Refining)	19
2.2.2.1 การกำจัดยางเหนียว (Degumming)	20
2.2.2.2 การทำให้เป็นกลาง (Neutralization)	20

2.2.2.3 การกำจัดสี (Bleaching)	21
2.2.2.4 การกำจัดกลิ่น (Deodorization)	21
2.2.2.5 การกำจัดไข (Dewaxing)	22
2.2.3 กระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์	22
2.2.3.1 การรักษาความเสถียรของรำข้าว (Stabilization)	23
2.2.3.2 การสกัดน้ำมันรำข้าว (Extraction)	24
2.2.3.3 การทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ (Rice bran oil refining)	25
2.2.3.4 องค์ประกอบที่มีผลต่อการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์	28
2.3 การสูญเสียน้ำมันในกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (Refining loss)	30
2.3.1 ขั้นตอนที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน	30
2.3.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน	31
2.3.3 การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำมัน	32
2.4 Hematocrit	33
2.4.1 หลักการของ Hematocrit	34
2.4.2 วิธีการวัด Hematocrit	34
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	35
2.5.1 การสูญเสียน้ำมันในกระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์	35
2.5.2 การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำมัน	38
3. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง	40
3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	40
3.1.1 วัสดุอุปกรณ์	40
3.1.2 สารเคมี	41
3.1.3 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง	41
3.2 วิธีการทดลอง	42
3.2.1 การเตรียมแบบจำลองน้ำมัน	43
3.2.1.1 การเตรียมกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว	43
3.2.1.2 การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว	43
3.2.1.3 การเตรียมแบบจำลองน้ำมันรำข้าว	43
3.2.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในแบบจำลองน้ำมัน	44

	หน้า
3.2.2 การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำมัน	44
3.2.2.1 การหาความแรงและปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยา พอดีกับกรดไขมันอิสระในแบบจำลองน้ำมัน	44
3.2.2.2 วิธีวิเคราะห์การสูญเสียน้ำมัน	47
3.2.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำมัน (Refining loss)	49
3.2.3.1 การศึกษาผลของกรดไขมันอิสระต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน	49
3.2.3.2 การศึกษาผลของโซร่าข้าวต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน	49
3.2.3.3 การศึกษาผลของโอโรซานอลต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน	50
3.2.3.4 การศึกษาผลของไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อการเกิด refining loss	50
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	52
4.1 การเตรียมแบบจำลองน้ำมัน	52
4.1.1 การเตรียมกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว	52
4.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในแบบจำลองน้ำมัน	53
4.2 การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำมัน	54
4.2.1 ผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรงต่างๆ ต่อการเกิด refining loss	54
4.2.2 เวลาที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี capillary centrifugation	56
4.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำมัน	56
4.3.1 การศึกษาผลของกรดไขมันอิสระต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน	56
4.3.2 การศึกษาผลของโซร่าข้าวต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน	59
4.3.3 การศึกษาผลของโอโรซานอลต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน	67
4.3.4 การศึกษาผลของไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อการเกิด refining loss	72
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	87
5.1 สรุปผลการทดลอง	87
5.2 ข้อเสนอแนะ	88
เอกสารอ้างอิง	91
ภาคผนวก	99
ก. แสดงตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณและความแรงของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระในแบบจำลองน้ำมัน	99

หน้า

ข. แสดงตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ refining loss ด้วยวิธี conventional centrifugation และ capillary centrifugation	102
ค. แสดงผลการไตเตรตเพื่อหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่จริงในแบบจำลองน้ำมันรำข้าว	105
ง. แสดงรูปผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรงต่างๆ ต่อการเกิดสบู่ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิสระต่างๆ กัน	108
จ. แสดงโครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์ที่สกัดจากไขรำข้าวที่วิเคราะห์ด้วย gas chromatography	112
ประวัติผู้วิจัย	116

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 องค์ประกอบของพีชน้ำมันบางชนิด	5
2.2 องค์ประกอบของน้ำมันรำข้าวดิบ (crude rice bran oil)	5
2.3 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันพีชบางชนิด	6
2.4 สัดส่วนของกรดไขมันประเภทต่างๆ ที่พบในน้ำมันพีช	8
2.5 องค์ประกอบรอง (minor components) ของน้ำมันรำข้าว	9
2.6 องค์ประกอบของไขบางชนิด	12
2.7 ลักษณะทั่วไปของไขประเภทต่างๆ	13
2.8 คุณสมบัติของไขรำข้าว	14
2.9 คุณสมบัติของไขรำข้าวดิบที่ผ่านกรรมวิธีที่ต่างกันเทียบกับไขคาร์นูบา	14
2.10 องค์ประกอบของโพลีโคซานอลที่ได้จากแหล่งต่างๆ	16
2.11 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพีชดิบและน้ำมันพีชที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์	22
2.12 องค์ประกอบของไขสบู่น้ำมันรำข้าว	26
2.13 ผลของโอโรซานอลและไขต่อการสูญเสียไขมัน	37
3.1 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เกินพอสำหรับน้ำมันประเภทต่างๆ	45
3.2 ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แท้จริงที่องศา Baume ต่างๆ	45
4.1 ปริมาณกรดไขมันอิสระที่แท้จริงในแบบจำลองน้ำมันรำข้าว	54
4.2 ค่ากรด (acid value) ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าว	54
4.3 ผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรง (strength) ต่างๆ ต่อการเกิด refining loss	55
4.4 ผลของเวลาต่อการเกิด refining loss ของแบบจำลองน้ำมันจากปาล์มที่ปั่นเหวี่ยงด้วยวิธี capillary centrifugation ที่ 9,000 rpm	56
4.5 ผลของกรดไขมันอิสระที่ปริมาณต่างๆ ต่อ refining loss ของน้ำมัน	57
4.6 ผลของไขรำข้าวต่อการเกิด refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าว	61
4.7 Refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันจากน้ำมันปาล์มที่เติมไข 1% ปั่นเหวี่ยงที่ 9,000 rpm โดยใช้ระยะเวลาต่างๆ กัน	65
4.8 ผลของโอโรซานอลต่อการเกิด refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าว	69
4.9 ไขมันแอลกอฮอล์ที่สกัดจากไขรำข้าว	77
4.10 ผลของไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อการเกิด refining loss ของแบบจำลองน้ำมัน	79

ตาราง	หน้า
4.11 Refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากปาล์มที่เติมไขมันแอลกอฮอล์สายยาว 3% ปั่นเหวี่ยง 9,000 rpm ณ เวลาต่างๆ	81
4.12 ผลของปัจจัยแต่ละชนิดต่อการเกิดการสูญเสียไขมันในแบบจำลองน้ำมันรำข้าววิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation	82
4.13 ผลของปัจจัยแต่ละชนิดต่อการเกิดการสูญเสียไขมันในแบบจำลองน้ำมันรำข้าววิเคราะห์ด้วยวิธี conventional centrifugation	83
ก.1 ปริมาณกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรงและที่เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระต่างๆ ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มหนัก 5 กรัม	100
ก.2 ปริมาณกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรงและที่เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระต่างๆ ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันถั่วเหลืองหนัก 5 กรัม	101
ก.3 ปริมาณกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรงและที่เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระต่างๆ ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันทานตะวันหนัก 5 กรัม	101
ค.1 การไตเตรตเพื่อหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่แท้จริงในแบบจำลองน้ำมันรำข้าว	106
จ.1 ไขมันแอลกอฮอล์จากใบรำข้าวที่สกัดด้วยโทลูอิน เมื่อวิเคราะห์ด้วย gas chromatography โดยใช้คอลัมน์ ZB-5	113
จ.2 ไขมันแอลกอฮอล์จากใบรำข้าวที่สกัดซ้ำและละลายในไอโซออกเทน เมื่อวิเคราะห์ด้วย gas chromatography โดยใช้คอลัมน์ ZB-5	114
จ.3 ไขมันแอลกอฮอล์จากใบรำข้าวที่สกัดซ้ำด้วยไอโซออกเทนและตกตะกอนเมื่อทิ้งไว้ข้ามคืนเมื่อวิเคราะห์ด้วย gas chromatography โดยใช้คอลัมน์ ZB-5	115

รายการรูปประกอบ

รูป	หน้า
2.1 องค์ประกอบของเมล็ดข้าว	4
2.2 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์	7
2.3 โครงสร้างของกรดโอเลอิก (C18:1)	7
2.4 โครงสร้างของโอโรซานอลชนิด cycloarteryl ferulate	9
2.5 โครงสร้างพื้นฐานของไข (wax ester)	10
2.6 โครงสร้างทั่วไปของไขบางชนิด	10
2.7 ขั้นตอนการทำน้ำมันบริโภคให้บริสุทธิ์	19
2.8 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยตัวทำละลาย	24
2.9 ลักษณะของเครื่อง Hematocrit	33
2.10 การแยกตัวของเม็ดเลือดในหลอดแคพิลลารี	34
3.1 ขั้นตอนการทดลอง	42
3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี conventional และ capillary centrifugation	47
4.1 แสดงแถบของกรดไขมันอิสระที่แยกออกจากรำข้าว	52
4.2 โครมาโตแกรมของกรดไขมันอิสระที่สกัดจากรำข้าว	53
4.3 แสดงลักษณะการแยกชั้นของสบู่กับน้ำมันในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8% (w/w)	55
4.4 กราฟแสดงผลของกรดไขมันอิสระที่ปริมาณต่างๆ ต่อ refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation	58
4.5 แสดงความบริสุทธิ์ของไขรำข้าวที่ผ่านการกำจัดน้ำมันออก	59
4.6 ผลของไขรำข้าวที่ปริมาณ 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 และ 3% ต่อการเกิด refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี conventional centrifugation และ capillary centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าว	60
4.7 กราฟเปรียบเทียบผลของไขรำข้าวต่อ refining loss ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน	62
4.8 กราฟเปรียบเทียบผลของไขรำข้าวต่อ refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation กับ conventional centrifugation	64

รูป	หน้า
4.9 การแยกชั้นของน้ำมัน ไข และสบู่ในหลอดทดลองที่วิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี conventional centrifugation	65
4.10 กราฟแสดงผลของ refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่เติมไข 1% ปั่นเหวี่ยงที่ 9,000 rpm ด้วยระยะเวลาต่างๆ กัน	66
4.11 ผลของโอโรซานอลที่ปริมาณ 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 และ 3% ต่อการเกิด refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี conventional centrifugation และ capillary centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าว	68
4.12 กราฟเปรียบเทียบผลของโอโรซานอลที่มีต่อ refining loss ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน	70
4.13 กราฟเปรียบเทียบผลของโอโรซานอลที่มีต่อ refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation กับ conventional centrifugation	72
4.14 โครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์ที่สกัดจากไขรำข้าว วิเคราะห์ด้วย HPLC	74
4.15 โครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์ที่สกัดจากไขรำข้าว วิเคราะห์ด้วย GC	75
4.16 ผลของไขมันแอลกอฮอล์ที่ปริมาณ 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 และ 3% ต่อการเกิด refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี conventional centrifugation และ capillary centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าว	78
4.17 กราฟเปรียบเทียบผลของไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อ refining loss ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation	79
4.18 การแยกตัวของสบู่เป็นส่วนๆ ภายในหลอดแคพิลลารีของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่เติมไขมันแอลกอฮอล์ 3%	80
4.19 กราฟเปรียบเทียบผลของกรดไขมันอิสระ ไขรำข้าว โอโรซานอล และไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อ refining loss ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันถั่วเหลือง	84
4.20 แสดงกระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์	85
ง.1 แสดงลักษณะการแยกชั้นของสบู่กับน้ำมัน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22°Be ตามลำดับ ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีกรดไขมันอิสระ 2.02% (w/w) โดยชั้นบนคือน้ำมัน ชั้นล่างคือสบู่ที่เกิดขึ้น	109

รูป	หน้า
ง.2 แสดงลักษณะการแยกชั้นของสบู่กับน้ำมัน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22°Be ตามลำดับ ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีกรดไขมันอิสระ 4.93% (w/w) โดยชั้นบนคือน้ำมัน ชั้นล่างคือสบู่ที่เกิดขึ้น	109
ง.3 แสดงลักษณะการแยกชั้นของสบู่กับน้ำมัน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22°Be ตามลำดับ ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีกรดไขมันอิสระ 9.92% (w/w) โดยชั้นบนคือน้ำมัน ชั้นล่างคือสบู่ที่เกิดขึ้น	110
ง.4 แสดงลักษณะการแยกชั้นของสบู่กับน้ำมัน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22°Be ตามลำดับ ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีกรดไขมันอิสระ 14.82% (w/w) โดยชั้นบนคือน้ำมัน ชั้นล่างคือสบู่ที่เกิดขึ้น	110
ง.5 แสดงลักษณะการแยกชั้นของสบู่กับน้ำมัน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22°Be ตามลำดับ ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีกรดไขมันอิสระ 20.05% (w/w) โดยชั้นบนคือน้ำมัน ชั้นล่างคือสบู่ที่เกิดขึ้น	111
จ.1 โครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์จากใบรำข้าวที่สกัดด้วยโทลูอิน เมื่อวิเคราะห์ด้วย gas chromatography โดยใช้คอลัมน์ ZB-5	113
จ.2 โครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์จากใบรำข้าวที่สกัดซ้ำและละลายในไอโซออกเทน เมื่อวิเคราะห์ด้วย gas chromatography โดยใช้คอลัมน์ ZB-5	114
จ.3 โครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์จากใบรำข้าวที่สกัดซ้ำด้วยไอโซออกเทน และตกตะกอนเมื่อทิ้งไว้ข้ามคืน วิเคราะห์ด้วย gas chromatography โดยใช้คอลัมน์ ZB-5	115

ประมวลศัพท์และคำย่อ

°Be	=	degree of Baume
°C	=	degree of celsius
AVG	=	average
cP	=	centipoise
ELSD	=	evaporative light scattering chromatography
FAL	=	fatty alcohol
FFA	=	fatty acid
g	=	gravity
HPLC	=	high performance liquid chromatography
ml	=	milliliter
mm.Hg	=	millimeter of hydrargyrum (mercury)
NaOH	=	sodium hydroxide
PO	=	palm oil
ppm	=	part per million
RBO	=	rice bran oil
rpm	=	revolution per minute
SBO	=	soybean oil
SFO	=	sunflower oil
STD	=	standard deviation
TLC	=	thin layer chromatography
w/w	=	weight by weight

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย

การสูญเสียน้ำมัน (refining loss) ในระหว่างกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ (refining) เป็นสิ่งหนึ่งที่ใช้วัดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต หากสูญเสียน้ำมันในกระบวนการผลิตมาก จะทำให้ผลผลิตที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริงและมูลค่าของรายได้ลดลง โดยขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง (neutralization) เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันมากที่สุดในระหว่างกระบวนการทำให้น้ำมันให้บริสุทธิ์ทางเคมี เนื่องจากขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยการทำปฏิกิริยากับด่างเพื่อให้กรดไขมันอิสระอยู่ในรูปไขสบู่ (soapstock) สบู่ที่เกิดขึ้นเป็นส่วนที่ละลายน้ำจึงสามารถแยกออกจากน้ำมันได้ นอกจากนี้หากใช้ด่างในปริมาณที่มากเกินไป ด่างส่วนเกินจะไฮโดรไลซ์น้ำมัน (ไฮดรอลิเซชัน) ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันมากขึ้น ในขณะที่เดียวกันน้ำมันบางส่วนจะถูกดูดซับโดยไขสบู่เนื่องจากคุณสมบัติการเป็นอิมัลชัน ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันไปด้วย ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันลดลง (Tandy และ McPherson, 1984; Forster และ Harper, 1983)

น้ำมันรำข้าวเป็นน้ำมันชนิดหนึ่งที่ทำให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพ (physical refining) ได้ยากเนื่องจากมีองค์ประกอบอื่นอีกหลายชนิดนอกเหนือจากกรดไขมันอิสระ เช่น ไขมันไม่อิ่มตัว สารที่ไม่สามารถทำปฏิกิริยาสะปอนนิไฟเคชันได้ (unsaponifiable matter) และสารให้สี เป็นต้น ปัจจุบันจึงยังนิยมใช้วิธีทางเคมี (chemical refining) ในการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันรำข้าวกับน้ำมันชนิดอื่นที่มีกรดไขมันอิสระเท่ากัน พบว่าน้ำมันรำข้าวเกิด refining loss มากกว่าน้ำมันชนิดอื่น (Cousins และคณะ, 1955) โดยปัจจุบันยังไม่สามารถอธิบายสาเหตุได้ทั้งหมด

นอกจากกรดไขมันอิสระที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันแล้ว ยังมีสาเหตุมาจากองค์ประกอบอื่นคือ ฟอสฟาไทด์ (phosphatide) ซึ่งมีคุณสมบัติละลายได้ทั้งในน้ำและน้ำมัน จึงสามารถดึงน้ำมันให้ไปอยู่ในชั้นสบู่ได้ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำมันขึ้น (Hui, 1996; Narayan และคณะ, 2006) เช่นเดียวกับ โอไรซานอล (oryzanol) ซึ่งมีโครงสร้างที่ละลายได้ทั้งในน้ำและน้ำมัน องค์ประกอบอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน คือ ไข (wax) ซึ่งไขมันรำข้าวประกอบด้วยเอสเทอร์ระหว่างแอลกอฮอล์สายยาว หรือ โพลีโอรานอล (C24-C36) กับกรดไขมันสายยาว (C14-C26) (Tsuchiya, 1948; Warth, 1956; Bianchi และคณะ, 1979; Yoon และ Rhee, 1982; Stuchilik และ Zak, 2002; Vali และคณะ, 2005) โดย Mishra และคณะ (1988) พบว่าเมื่อปริมาณของไขเพิ่มขึ้นเพียง 0.2% ทำให้ refining loss ของน้ำมันถั่วลิสงที่เติมกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว 6.8% เพิ่มขึ้นจาก 15.5% เป็น 19.8% แต่ Mishra และคณะ (1988) ยังไม่ได้อธิบายว่าองค์ประกอบใดในไขมันรำข้าวที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน

แก่งททัย ยืนยงสุวรรณ (2548) ได้ศึกษาผลของไขมันข้าว และองค์ประกอบของไขมันข้าว คือไขมันแอลกอฮอล์ (fatty alcohol) และแว็กซ์เอสเทอร์ (wax ester) สัมพันธ์ต่อการเกิด refining loss ด้วยเครื่องโครมาโตกราฟีแบบของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) พบว่าไขมันข้าวมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ refining loss แต่ไขมันแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอน 14-20 อะตอม และแว็กซ์เอสเทอร์ (C36) ที่สังเคราะห์จากสเตียริลแอลกอฮอล์ (stearic alcohol) และกรดสเตียริก (stearic acid) รวมทั้งของผสมจากสเตียริลแอลกอฮอล์กับแว็กซ์เอสเทอร์สังเคราะห์ไม่มีผลต่อการสูญเสียไขมัน ทั้งนี้เนื่องจากความยาวของสายคาร์บอนของแว็กซ์เอสเทอร์ และไขมันแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทดลองสั้นกว่าที่มีอยู่จริงในไขมันข้าว ทำให้ยังไม่สามารถอธิบายได้ว่าองค์ประกอบใดของไขมันข้าวที่ทำให้เกิดการสูญเสียไขมัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาว่าไขมันแอลกอฮอล์ที่มีความยาวของสายคาร์บอนเพิ่มขึ้นที่ได้จากไขมันข้าว มีผลต่อการสูญเสียไขมันหรือไม่

วิธีการวิเคราะห์การสูญเสียไขมันในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี เช่น AOCS cup method, Wesson method, Acetone insoluble method, Chromatographic method และวิธีปั่นเหวี่ยงแบบดั้งเดิม (conventional centrifugation) แต่มักมีปัญหาในเรื่องวิธีการที่ยุ่งยากซับซ้อน ใช้เวลานาน และใช้ปริมาณตัวอย่างสูง (King และ Wharton, 1948; James, 1955; AOCS official method, 1997) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพัฒนาวิธีการวิเคราะห์การสูญเสียไขมันที่เรียกว่าวิธีปั่นเหวี่ยงแบบแคพิลลารี (capillary centrifugation) โดยนำเครื่องฮีมาโตคริต (hematocrit) ซึ่งเป็นเครื่องมือทางการแพทย์ที่สามารถแยกเม็ดเลือดออกจากน้ำเลือดและสามารถอ่านผลได้อย่างรวดเร็วมาประยุกต์ใช้ในการแยกสบู่ออกจากน้ำมัน และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียไขมัน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์การสูญเสียไขมันได้ถูกต้อง สะดวก รวดเร็ว ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยและมีประสิทธิภาพมากขึ้น เหมาะกับการนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการของโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลของกรดไขมันอิสระ ไขมันข้าว โอโรซานอล และไขมันแอลกอฮอล์สายยาว (long chain fatty alcohol) ที่มีต่อการสูญเสียไขมันในกระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์โดยวิธีทางเคมี (chemical refining)
- 1.2.2 เพื่อพัฒนาวิธีการวัดการสูญเสียไขมันด้วยวิธีปั่นเหวี่ยงแบบแคพิลลารี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 เตรียมกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว
- 1.3.2 สร้างแบบจำลองน้ำมันรำข้าวโดยใช้ไขมันพาล์ม โอลีน น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวันซึ่งเติมกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว 6.8%
- 1.3.3 หาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียไขมันด้วยวิธีปั่นเหวี่ยงแบบแคพิลลารี (capillary centrifugation) เปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม (conventional centrifugation)
- 1.3.4 หาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียไขมันของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวที่เติมกรดไขมันอิสระ ไขมันรำข้าว โอโรซานอล และไขมันแอลกอฮอล์สายยาวที่ปริมาณต่างๆ ด้วยวิธีในข้อ 1.3.3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถอธิบายและเปรียบเทียบผลของกรดไขมันอิสระ ไขมันรำข้าว โอโรซานอล และไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน
- 1.4.2 สามารถเปรียบเทียบผลของการใช้แบบจำลองน้ำมันที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิสระในน้ำมันพื้นฐานต่างชนิดกันต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน
- 1.4.3 สามารถนำสาเหตุที่ทำให้เกิด refining loss ของน้ำมันที่ได้จากการศึกษานี้มาเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวในระดับอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
- 1.4.4 สามารถพัฒนาวิธีการหาเปอร์เซ็นต์ refining loss ของน้ำมันได้สะดวก รวดเร็ว แม่นยำ ใช้ปริมาณสารในการวิเคราะห์น้อย และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

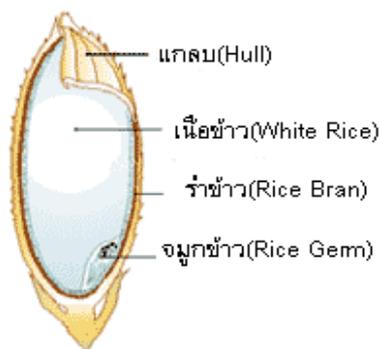
บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 น้ำมันรำข้าว (Rice Bran Oil; RBO)

ข้าวเป็นอาหารของประชากรสองในสามของประชากรทั่วโลก ปัจจุบันมีการผลิตข้าวประมาณ 500 ล้านตันต่อปี (Gingras, 2000) โดยเฉพาะประเทศในแถบเอเชีย เช่น อินเดีย ปากีสถาน ญี่ปุ่น จีน เกาหลี เวียดนาม รวมทั้งประเทศไทย ประเทศไทยมีการปลูกข้าวเพื่อการบริโภคและส่งออก ทำให้มีรำข้าวปริมาณมากเป็นผลพลอยได้ และสามารถนำมาสกัดน้ำมันเพื่อเพิ่มมูลค่าของรำข้าว น้ำมันรำข้าวเหมาะกับการใช้ประกอบอาหาร เนื่องจากมีสารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกายอยู่ในน้ำมันในปริมาณสูง เช่น สารโอไรซานอล (oryzanol) โทโคไตรอีนอล (tocotrienol) โทโคฟีรอล (tocopherol) และไฟโตสเตอรอล (phytosterol) เป็นต้น มีรายงานว่าสารเหล่านี้มีคุณสมบัติที่ดีต่อร่างกายหลายประการ เช่น สามารถลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด และลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจและหลอดเลือดได้ (Moreau และคณะ, 1999; Cicero และ Gaddi, 2001) สารเหล่านี้มีคุณสมบัติป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) ช่วยให้น้ำมันคงสภาพได้นานในที่อุณหภูมิต่ำหรือสูง เช่นในขณะทอดอาหาร โดยไม่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพ ทั้งกลิ่น รส และสีของน้ำมัน

2.1.1 รำข้าว

รำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการสีเมล็ดข้าว ซึ่งเมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนที่เป็นเปลือกข้าว (hull) ประมาณ 20% ส่วนเยื่อสีน้ำตาลอ่อนที่หุ้มด้านในติดเมล็ดข้าว หรือรำข้าว (rice bran) 10% และส่วนเมล็ดข้าวขาว 70% ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของเมล็ดข้าว

องค์ประกอบของรำข้าวเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2.1 โดยรำข้าวมีปริมาณไขมัน 17-23% คาดการณ์ว่าสามารถผลิตน้ำมันรำข้าวทั่วโลกได้ปีละ 3-4 ล้านตัน แต่พบว่าสามารถผลิตจริงได้เพียง 0.5 ล้านตันเท่านั้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากปัญหาด้านเทคโนโลยี กระบวนการผลิต รวมทั้งองค์ประกอบที่หลากหลายของน้ำมัน ทำให้ผลิตได้ยากและเกิดการสูญเสียน้ำมันขึ้นในระหว่างการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ (Gingras, 2000)

ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของพืชน้ำมันบางชนิด (Salunkhe และคณะ, 1992; Hui, 1996)

Constituents (%)	Rice bran	Soybean	Sunflower
Protein	13.2-17.3	40	17.3
Fat	17.0-22.9	20	50.1
Fiber	9.5-13.2	5	14.7
Ash	9.2-11.5	6	3.9
Nitrogen-free extract	39.6-60.8	-	-
Starch	16.1	17	-
Free sugars	6.0-6.5	7	8.3

2.1.2 องค์ประกอบและคุณสมบัติของน้ำมันรำข้าว

น้ำมันรำข้าวมีองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด แต่องค์ประกอบส่วนใหญ่คือไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งโครงสร้างส่วนใหญ่เป็นไฮโดรคาร์บอนสายตรง มีคุณสมบัติเป็นกลาง (neutral lipid) ไม่มีขั้ว (non-polar) และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) โดยองค์ประกอบของน้ำมันรำข้าวดิบแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของน้ำมันรำข้าวดิบ (crude rice bran oil) (Kochhar, 2002)

Component	%
Saponifiable lipids	90-96
<i>Neutral lipids</i>	88-89
Triglycerides	83-86
Diglycerides	3-4
Monoglycerides	6-7
Free fatty acids	2-4
Waxes	3-4
<i>Glycolipids</i>	6-7
<i>Phospholipids</i>	4-5
Unsaponifiable lipids	4.2
<i>Phytosterols</i>	43
<i>Sterolesters</i>	10
<i>Triterpene alcohols</i>	28
<i>Hydrocarbons</i>	18
<i>Tocopherols</i>	3

น้ำมันรำข้าวมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกับน้ำมันพืชทั่วไป ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของน้ำมันพืชมีหลายอย่าง เช่น จุดหลอมเหลว ขึ้นอยู่กับจำนวนคาร์บอน ชนิดของกรดไขมัน และจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ refractive index หรือการหักเหของแสง ใช้ตรวจสอบชนิดคุณภาพและความบริสุทธิ์ของน้ำมัน ค่า iodine value เป็นค่าที่บ่งบอกถึงจำนวนพันธะคู่เฉลี่ยที่มีในน้ำมันพืช saponification value แสดงถึงขนาดโมเลกุลของกรดไขมัน และ unsaponifiable matter บ่งบอกถึงปริมาณสารที่อยู่ในน้ำมันภายหลังการทำปฏิกิริยา saponification โดยคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันรำข้าวเปรียบเทียบกับน้ำมันพืชบางชนิดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

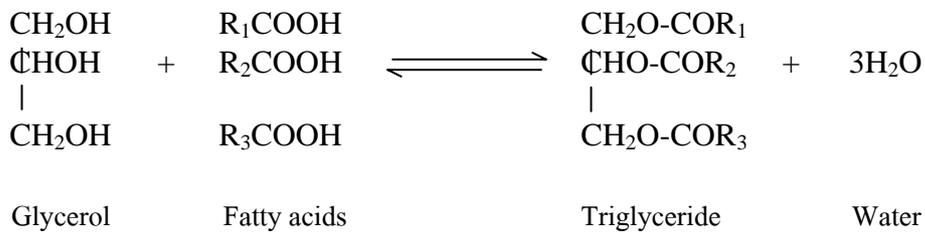
ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของน้ำมันพืชบางชนิด (Firestone, 2006)

Characteristic	Rice bran oil	Soybean oil	Sunflower oil	Palm olein oil
Specific gravity (25°C)	0.916-0.921	0.919-0.925	0.918-0.923	0.899-0.920
Refractive Index (25°C)	1.470-1.473	1.466-1.470	1.472-1.476	1.4586-1.4592
Iodine value	92-108	118-139	118-145	>56
Saponification value (%)	181-189	189-195	188-194	194-202
Unsaponifiables (%)	3-5	0-1.5	0-1.5	0.1-3
Fatty acid composition (%)				
Lauric C 12:0	-	0-0.1	0-0.1	0.1-0.5
Myristic C 14:0	0.5-0.7	0-0.2	0-0.2	0.9-1.4
Palmitic C 16:0	16-28	9.7-13.3	5-8	38.2-42.9
Palmitoleic C 16:1	0.5	0-0.2	0-0.3	0.1-0.3
Stearic C 18:0	2-4	3-5.4	2.5-7.0	3.7-4.8
Oleic C 18:1	38-48	17.7-28.5	13-40	39.8-43.9
Linoleic C 18:2	16-36	53.7	48-74	10.4-13.4
Linolenic C 18:3	0.2-2.2	5.5-9.5	0-0.3	0.1-0.6
Arachidic C20:0	0.5-0.8	0.1-0.6	0.2-0.5	0.2-0.6
Gadoleic C20 :1	0.3-0.5	0-0.3	0-0.5	-
Behenic C 22:0	0.1-0.5	0.3-0.7	0.5-1.3	-
Erucic C 22:1	-	0-0.3	0-0.5	-
Lignoceric C 24:0	0-0.5	0-0.4	0-0.4	-

สำหรับองค์ประกอบทางเคมีที่จะกล่าวถึงในที่นี้ ได้แก่ กรดไขมัน โอโรซานอล ไซราข้าว และไขมันแอลกอฮอล์สายยาว ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.1.3 กรดไขมัน (Fatty acid) (คิ้วง พุทธศักร, 2534; นัยนา บุญทวิยวัฒน์ และเรวดี จงสุวัฒน์, 2545)

กรดไขมันมีโครงสร้างเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีปลายด้านหนึ่งเป็นหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) โดยกรดไขมันที่พบในอาหารมักมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 4-24 อะตอม และมักเป็นเลขคู่ ที่พบมากในธรรมชาติมีจำนวนคาร์บอน 16 และ 18 คาร์บอนอะตอม ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนเป็นเลขคี่ มีกิ่งก้าน (branch) หรือมีจำนวนคาร์บอนสูงกว่า 22 ตัว พบเพียงเล็กน้อย กรดไขมันในน้ำมันพืชส่วนใหญ่เป็นกรดปาล์มมิติก (C16:0) กรดโอเลอิก (C18:1) และกรดลิโนเลอิก (C18:2) กรดไขมันมักรวมอยู่กับโมเลกุลอื่นและเป็นองค์ประกอบพื้นฐานของไขมันอื่นๆ เกือบทุกชนิด โดยกรดไขมัน 3 โมเลกุลรวมตัวกับกลีเซอรอล (glycerol) ด้วยพันธะเอสเทอร์ กลายเป็นไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของน้ำมันทุกชนิดดังรูปที่ 2.2

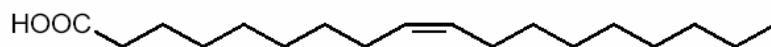


รูปที่ 2.2 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์

กรดไขมันสามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด ดังนี้คือ

1. กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid; SFA) กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีสูตรทั่วไปเป็น $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$ เป็นกรดไขมันที่พันธะของคาร์บอนในโมเลกุลไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้อีก โครงสร้างเป็นสายตรง น้ำมันที่มีกรดไขมันที่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบในปริมาณมากจะมีจุดหลอมเหลวสูง และเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง จุดหลอมเหลวของกรดไขมันเพิ่มขึ้นตามจำนวนคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการละลายน้ำของกรดไขมันจะต่ำลง กรดไขมันอิ่มตัวมักพบในไขมันจากสัตว์และน้ำมันมะพร้าว

2. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (unsaturated fatty acid) ซึ่งแบ่งเป็นกลุ่มย่อยตามจำนวนพันธะคู่ได้เป็น กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มี 1 พันธะคู่ (Monounsaturated Fatty Acids; MUFA) มีสูตรทั่วไปเป็น $\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{O}_2$ เช่น กรดโอเลอิก (oleic acid; C18:1) ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งพบมากในน้ำมันรำข้าว และน้ำมันปาล์มโอเลอีน



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของกรดโอเลอิก (C18:1)

ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 พันธะ (Polyunsaturated Fatty Acids; PUFA) เช่น กรดลิโนเลอิก (linoleic acid; C18:2) กรดลิโนเลนิก (linolenic acid; 18:3) และกรดอะราคิโดนิก (arachidonic acid; C20:4) เป็นต้น กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เกิดในธรรมชาติจะมีการจัดตัวของพันธะคู่ในลักษณะซิส (*cis*) ทั้งสิ้น ซึ่งทำให้มีโครงสร้างงอและจุดหลอมเหลวต่ำเมื่อเทียบกับสายไฮโดรคาร์บอนที่มีพันธะคู่แบบทรานส์ (*trans*) ซึ่งเป็นเส้นตรง กรดไขมันเหล่านี้สังเคราะห์ขึ้นจากคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมันหรือได้จากการย่อยสลายไขมันโดยตรง ทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของเซลล์ เมมเบรน และจำเป็นต่อการสังเคราะห์ prostaglandins โดยกรดไขมันประเภทต่างๆ ที่พบในน้ำมันพืช แสดงดังตารางที่ 2.4

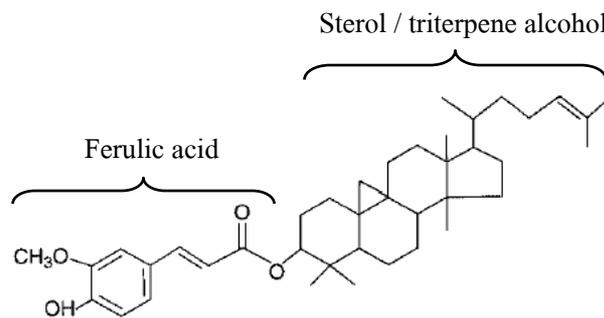
ตารางที่ 2.4 แสดงสัดส่วนของกรดไขมันประเภทต่างๆ ที่พบในน้ำมันพืช (Natural Food, 2005)

Oil	Saturated FA (%)	Monounsaturated FA (%)	Polyunsaturated FA (%)
Corn	13	25	62
Coconut	92	6	2
Olive	14	77	9
Palm	51	39	10
Peanut	18	48	34
Rice bran	22	42	36
Soybean	15	24	61
Sunflower	11	20	69

องค์การอาหารและเกษตร (FAO) และองค์การอนามัยโลก (WHO) แนะนำให้บริโภคไขมันในสัดส่วนของกรดไขมันอิ่มตัว (SFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (MUFA) : กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (PUFA) เท่ากับ <math><10 : 10-15 : <10</math> ของพลังงานที่ได้รับต่อวัน เนื่องจาก MUFA และ PUFA สามารถลด Low Density Lipoprotein Cholesterol (LDL-C) ซึ่งเป็นคอเลสเตอรอลไม่ดีที่ทำให้เกิดการอุดตันของผนังหลอดเลือดแดง และเพิ่มระดับ High Density Lipoprotein Cholesterol (HDL-C) ซึ่งเป็นคอเลสเตอรอลที่ดีที่พาคอเลสเตอรอลในเซลล์และกระแสเลือดไปเผาผลาญได้ อย่างไรก็ตามมีการศึกษาเพิ่มเติมพบว่า PUFA มีส่วนเพิ่มอัตราการเกิดออกซิเดชันของ LDL-C ได้มากกว่า MUFA (Marsic และ Yodice, 1992) จึงแนะนำว่าควรบริโภค PUFA ซึ่งมีมากในน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวันในปริมาณเพียงพอที่จะลดปัญหาการขาดกรดไขมันจำเป็นเท่านั้น สำหรับ MUFA พบมากในน้ำมันมะกอก น้ำมันรำข้าว และน้ำมันปาล์ม อย่างไรก็ตามสัดส่วนของ SFA : MUFA : PUFA ของน้ำมันรำข้าวใกล้เคียงกับสัดส่วนที่แนะนำ โดยมีปาล์มมิดิก (C16:0) 16-28% โอลิcik (C18:1) 38-48% และมีปริมาณกรดไขมันจำเป็นทั้งลิโนเลอิก (C18:2) 16-36% และลิโนเลนิก (C18:3) 0.2-2.52% ตามลำดับ (Firestone, 2006) จึงมีความเหมาะสมต่อการบริโภค

2.1.4 โอลิซานอล (Oryzanol) (Narayan และคณะ, 2006)

โอลิซานอลเป็นกลุ่มของสารประกอบเอสเทอร์ระหว่างกรดเฟอร์ูลิก (ferulic acid) ซึ่งมีขี้และเป็นองค์ประกอบหลักที่ไม่เปลี่ยนแปลง กับสเตอรอล (sterol) หรือไตรเทอร์พีนแอลกอฮอล์ (triterpene alcohol) ซึ่งโครงสร้างมีลักษณะคล้ายคอเลสเตอรอล ดังรูปที่ 2.4 โดยมีลักษณะเป็นผงสีขาวหรือเหลืองอ่อนๆ สามารถละลายได้ในสารละลายที่ไม่มีขี้ เช่น คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ เอทิลอะซิเตท และอะซิโตน เป็นต้น ไม่ละลายน้ำและสารละลายที่มีขี้ เช่น เมทานอล แต่เมื่ออยู่ในสภาวะต่างสามารถแตกตัวละลายน้ำได้



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของโอลิซานอลชนิด cycloartenyl ferulate

โอลิซานอลมีคุณสมบัติเป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชันเช่นเดียวกับโทโคฟีรอล และโทโคไตรอีนอล ซึ่งเป็นสารกลุ่มวิตามินอี ช่วยให้น้ำมันคงสภาพทางกายภาพและทางเคมีได้นานขึ้น นอกจากนี้โอลิซานอลยังช่วยลดการดูดซึมคอเลสเตอรอล ทำให้ระดับของคอเลสเตอรอลรวม และ LDL-C ลดลง ส่วน HDL-C เพิ่มขึ้น (Seetharamaiah และ Chandrasekhara, 1989; Rong, และคณะ, 1997) นอกจากนี้ยังมีการนำโอลิซานอลไปใช้ประโยชน์ทางด้านเครื่องสำอางอีกด้วย โดยใช้เป็นสารยึดอายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ เป็นส่วนผสมในครีมกันแดด ผลิตภัณฑ์ระงับกลิ่น และครีมอาบน้ำ ซึ่งช่วยป้องกันผิวแห้ง รักษาโรคผิวหนังอักเสบ (atopic dermatitis) และอาการผิวแห้งในผู้สูงอายุ (senile xeroderma) (Kaimal, 1999) โดยสัดส่วนของโอลิซานอลที่พบในน้ำมันรำข้าวแสดงดังตารางที่ 2.5

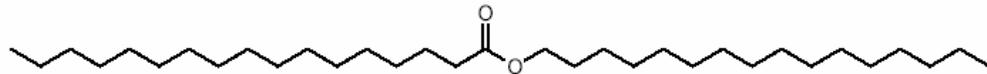
ตารางที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบรองของน้ำมันรำข้าว (นัยนา บุญทวีวัฒน์ และเรวดี จงสุวัฒน์, 2545)

Components	Value
Triglycerides	92-97
Unsaponified matter	3-8
Tocopherol	0.06
Tocotrienol	0.07
Oryzanol	0.09
Others (Phytosterol, Triterpene, Polyphenol)	2.78-4.78

โอไรซานอลที่พบในน้ำมันรำข้าวมีชื่อเรียกเฉพาะว่า แกมมาโอไรซานอล (γ -oryzanol) มีทั้งสิ้น 10 อนุพันธ์ แต่องค์ประกอบหลักมีเพียง 3 อนุพันธ์ คือ cycloartenyl ferulate, 24- methylene cycloartenyl ferulate และ campestanol ferulate (Xu และ Godber, 1999) ปริมาณโอไรซานอลในน้ำมันรำข้าวมีประมาณ 0.09% แต่ปริมาณที่พบยังแปรปรวนอยู่มาก โดยที่ญี่ปุ่นพบ 1.5-2.9% ที่อินเดีย 1.5-1.9% และอเมริกา 0.1% (Saska และ Rossiter, 1998) อย่างไรก็ตามพบว่ากระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ในขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง (neutralization) ซึ่งใช้ด่างในการกำจัดกรดไขมันอิสระ ทำให้โอไรซานอลหลุดไปอยู่ในส่วนไขสบู่ ซึ่งพบปริมาณ 1.5% ของไขสบู่ทั้งหมด (Akiya, 1962)

2.1.5 ไข (Wax) (Bennett, 1975; สุนันทา ภิญาวัฒน์, 2535)

ไขเป็นสารประกอบเอสเทอร์ระหว่างอะลิฟาติกแอลกอฮอล์ (aliphatic alcohol) หรือสเตอรอล (sterol) กับกรดไขมันสายยาวที่อิ่มตัว โดยจำนวนคาร์บอนของทั้งสองส่วนอยู่ระหว่าง 16-34 อะตอม ดังรูปที่ 2.5 ไขมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ ไม่มีขี้ มีความหนืดต่ำ และไม่มีพันธะคู่ เมื่อไขได้รับความเย็นจะแข็งแต่เปราะ ถ้าได้รับความร้อนพออุ่นๆ จะป็นได้



รูปที่ 2.5 โครงสร้างพื้นฐานของไข (wax ester)

สารประกอบที่พบในไขจากแหล่งต่างๆ มีหลายชนิดแตกต่างกัน เช่นในผิวแอปเปิลจะพบสาร *n*-Hexacosanol ($C_{26}H_{53}OH$), *n*-Nonacosane, *n*-Octacosanol ส่วนไขจากพืชบางชนิด เช่น ไขคาร์นูบา และไขอ้อยจะพบสาร *n*-Triacontanol เช่นเดียวกับไขผึ้งและไขที่ผิวหนัง (Mertz, 1971) โดยตัวอย่างของไขบางชนิดแสดงดังรูปที่ 2.6



$$n = 24 \text{ and } 26; m = 28 \text{ and } 30$$

(ก)



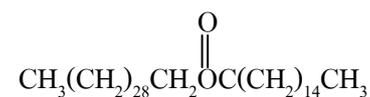
$$n = 24 \text{ and } 26; m = 28 \text{ and } 30$$

(ข)



cetyl palmitate

(ค)



myricyl palmitate

(ง)

รูปที่ 2.6 โครงสร้างทั่วไปของไขบางชนิด (ก) ไขจากผึ้ง (ข) ไขจากต้นคาร์นูบา (ค) โครงสร้างของไขปลาชนิดหนึ่ง (ง) โครงสร้างไขจากตัวผึ้ง (สุนันทา ภิญาวัฒน์, 2535)

2.1.5.1 ประเภทของไข

ไขส่วนใหญ่เป็นสารผสมซับซ้อน ทำให้การแบ่งประเภทของไขตามองค์ประกอบทางเคมีทำได้ยาก ดังนั้นจึงมีการแบ่งประเภทของไขตามแหล่งที่มาออกเป็น 3 ประเภท (Tooley, 1917)

1. ไขที่เป็นแร่ธาตุหรือสารไฮโดรคาร์บอน (mineral / hydrocarbon wax) เป็นไขที่รวมตัวกับน้ำมันอันเกิดจากถ่านหินและซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมกัน ที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือ ไขพาราฟิน (paraffin) ซึ่งประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นเส้นตรงต่อเชื่อมกับไฮโดรคาร์บอนที่แตกกิ่งก้าน และที่เป็นวงแหวน จุดหลอมเหลวของไขจะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุล นอกจากนี้ไขพาราฟินแล้วยังมีไขชนิดอื่นๆ เช่น microcrystalline wax ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุล ความยืดหยุ่นและจุดหลอมเหลวมากกว่าไขพาราฟิน ไขโอโซเคอไรท์ (ozokenite) ไม่เปราะง่ายและมีความแข็งแรงมากกว่าไขพาราฟิน ไขมอนแทน (montan) ถูกใช้แทนไขคาร์นูบาและไขชนิดอื่นที่มีราคาแพงในยุโรปและอเมริกา และไขซินเซอร์โร (syncero) เป็นต้น (Bennett, 1975)

2. ไขจากสัตว์ ชนิดที่สำคัญที่สุดได้แก่ ไขผึ้ง (beeswax) ซึ่งมีการนำมาใช้เมื่อหลายร้อยปีมาแล้ว ใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เครื่องสำอาง สารขัดเงา ไขผึ้งนั้นสร้างจากต่อมได้ผนังช่องท้องของผึ้งแล้วขับออกมาเรียงซ้อนอยู่ในรวงผึ้งในรูปเกล็ดคางๆ เมื่อเหยียงแยกเอาน้ำผึ้งออกจากรวงแล้วนำรวงผึ้งไปแยกไขผึ้งออกมาด้วยการคั้นแล้วกรอง ไขผึ้งเป็นเอสเทอร์ระหว่างไมริสซิลแอลกอฮอล์ ($C_{30}H_{61}OH$) กับกรดปาล์มมิติก ($C_{15}H_{31}COOH$) กรดซีโรติก ($C_{25}H_{51}COOH$) และกรดไมริสติก ($C_{29}H_{59}COOH$) ลักษณะเฉพาะของไขผึ้งคือมีลักษณะโครงสร้างโมเลกุลเป็นเส้นตรงไม่มีกิ่งก้านสาขา ไขผึ้งธรรมชาติจะมีสีเหลืองสามารถฟอกสีได้โดยการผึ่งแดดหรือใช้สารออกซิไดซ์ ไขผึ้งมีกลิ่นเฉพาะตัว มีความเหนียวขึ้นรูปได้ที่อุณหภูมิร่างกาย นอกจากนี้ยังมีไขจากแมลงอื่นๆ ที่มีการผลิตและนำมาใช้ เช่น ไขไซนิสอินเซก (chinese insect wax) ในประเทศญี่ปุ่นและจีน นิยมนำไปใช้ในการผลิตเทียนไข เครื่องยา และใช้เคลือบผ้าไหม ผ้าฝ้าย กระดาษ ตลอดจนใช้เป็นฉนวนไฟฟ้า ไขลานอลิน (lanolin) เป็นไขที่สกัดได้จากขนแกะ และไขสเปอมาซีติ (spermaceti wax) เป็นไขที่สกัดจากไขสมองของปลาวาฬ ไม่มีกลิ่นรส นิยมนำมาใช้ทำเทียนไขและเครื่องสำอาง (Bennett, 1975)

3. ไขจากพืช เป็นไขที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยเฉพาะในการผลิตสารขัดเงา เนื่องจากมีลักษณะแข็งให้ความมันวาวสูง และยังทำให้ได้ผิวที่มีความคงทน ไขพืชที่รู้จักและนิยมใช้กันมานานคือไขคาร์นูบาซึ่งสกัดได้จากส่วนใบของต้นปาล์มคาร์นูบา (*Carpernicia cerifera*) มีจุดหลอมเหลวสูงมากเมื่อเทียบกับไขชนิดอื่นๆ คือ ประมาณ 80-90°C องค์ประกอบหลักในไขคาร์นูบา คือ ไมริสซิลซีโรเตท ไมริสซิลแอลกอฮอล์ ซีโรลแอลกอฮอล์ และกรดซีโรติก (จุดหลอมเหลว 79°C) กับสารไฮโดรคาร์บอนประมาณ 1.5-3% ไขคาร์นูบาเป็นไขหลักในการผลิตยาขัดเงา (floor polish)

เนื่องจากมีคุณสมบัติเฉพาะตัวในแง่ความเป็นมันวาว ความแข็งตลอดจนความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูง ซึ่งไขชนิดอื่นๆ ไม่สามารถนำมาทดแทนได้ อย่างไรก็ตามมีการใช้ไขเออร์คิวริน (ouricurin) ไขแคนเดลิลา (candelilla) และไขอ้อยทดแทนบางส่วน แต่ไม่คีนัก ส่วนไขที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูง เช่น polyethylene นั้นพบว่าสามารถนำมาทดแทนได้เพียงบางส่วนเท่านั้น ไขคาร์นูบา ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมที่ต้องใช้ไขเกือบทุกชนิด บางครั้งใช้ผสมกับไขชนิดอื่น เช่น ใช้ร่วมกับไขมอนแทนในการผลิตแผ่นเสียง เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า ฟิล์มถ่ายภาพ ซอล์ก สบู๊ แบตเตอรี่แห้ง และใช้เป็นสารเคลือบผลไม้ได้อีกด้วย (Warth, 1956)

ไขแคนเดลิลา เป็นไขจากพืชอีกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้แทนไขคาร์นูบา เป็นไขที่สกัดได้จากส่วนรากของพืชตระกูลหญ้า *Euphorbia cerifera* ซึ่งเจริญเติบโตทั่วไปในประเทศเม็กซิโก มักใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องหนัง เทียนไข พลาสติกใสและน้ำมันเคลือบเงา ไขแคนเดลิลามักถูกนำไปใช้โดยการผสมกับไขคาร์นูบาหรือผสมกับไขชนิดอื่นในลักษณะเดียวกับไขคาร์นูบา เนื่องจากมีความแข็งและความมันวาวสูงรองลงมาจากไขคาร์นูบา (Paredes และคณะ, 1974) นอกจากนี้ยังมีไขจากพืชอีกหลายชนิดที่มีการผลิตและใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ส่วนใหญ่แล้วมีแหล่งผลิตในแถบอเมริกาใต้ เช่น ไขแรฟเฟีย (raffia wax) เออร์คิวริน (ouricury) มักใช้ในการผลิตกระดาษคาร์บอน ไขปาล์ม (palm wax) มีความแข็งแรงมากกว่าไขคาร์นูบา และไขฝ้าย เป็นต้น สำหรับในแถบแอฟริกาเหนือและสเปนมีการผลิตไขจากหญ้าเอสปาโต (espatto) โดยใช้ตัวทำละลายเบนซีน (benzine)เช่นเดียวกับที่ใช้สกัดไขจากฝ้าย ไขที่ได้มีลักษณะนิ่มกว่า คล้ายไขผึ้ง ซึ่งองค์ประกอบและลักษณะทางกายภาพของไขที่ได้จากแหล่งต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.6 และ 2.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.6 แสดงองค์ประกอบของไขบางชนิด (Hargrove และคณะ, 2004)

Source	% dry weight	Wax esters	Primary alcohols	Free acids	Aldehydes	Alkanes
Honeycomb	93	35-45	-	8-12	-	14-23
Sugarcane	-	6	26	10	50	8
Wheat	0.4-0.7	9	17	3	36	9
Oats	0.38-0.9	7-21	5.6-14	8.8-14	-	8.8-15
Maize	-	14-62	14	14	9	17
Rice	0.1	35	40	-	10	15
Sorghum	0.2	4	34	24	32	1
Apple	-	18	6	20	2	20
Grape	-	9	40	7	12	1
Cabbage	-	4-22	2-9	2-9	-	36-40

ตารางที่ 2.7 ลักษณะทั่วไปของไขประเภทต่างๆ (Tooley, 1917)

ชนิดไข	จุดหลอมเหลว	สี	แหล่งที่มา	ลักษณะ
ก) ไขแร่ธาตุ				
พาราฟิน	ต่ำ 40 - 42 สูง 65 - 70	ขาว	ปิโตรเลียม	เป็นผลึกใส
โอโซเคลอไรท์	63 - 86	เหลือง	ซากทับถม	ไมโครคริสตัลไลน์
มอนแทน	60 - 76	เหลืองน้ำตาล	ถ่านหินสีน้ำตาล	แข็ง เปราะ ทึบ
ซินเซอร์	68 - 70	เหลือง	ปิโตรเลียม	ไมโครคริสตัลไลน์
ข) ไขจากสัตว์				
ไขผึ้ง	62 - 72	ขาวนวล	ผึ้งให้น้ำหวาน	เหนียว ปั้นได้
เกดดา	63 - 72	เหลืองน้ำตาล	ผึ้ง	คล้ายไขผึ้ง
ไซนิสอินเซค	80 - 83	ขาวนวล	แมลง	แข็งมาก ใส โปร่งแสง
เซลแลค	75 - 80	น้ำตาลแดง	แมลง	แข็ง มันวาวสูง
สเปอร์มาซีดี	42 - 46	ขาว	ปลาวาฬ	อ่อนนุ่ม ใส เปราะ
ลาโนลิน	32 - 41	เหลือง	ขนแกะ	นุ่ม เหนียว
ค) ไขจากพืช				
คาร์นูบา	85 - 90	เหลืองเทา	ปาล์มคาร์นูบา	แข็ง แน่นทึบ เปราะ
คัสซู	82 - 84	เหลืองน้ำตาล	ต้นคัสซู	คล้ายคาร์นูบา
แคนเดลิลา	68 - 72	น้ำตาลเขียว	วัชพืชในเม็กซิโก	กึ่งแข็ง
แรฟเฟีย	79 - 80	น้ำตาล	ปาล์มซาโก	แข็ง
ปาล์ม	83 - 85	น้ำตาลอ่อน	ปาล์มไข	คล้ายคาร์นูบา
เอสปาโต	73 - 74	น้ำตาล	หญ้าเอสปาโต	แข็งไม่เป็นผลึก
อ้อย	76 - 82	ขาวเทา	ลำต้นอ้อย	เหนียวกึ่งแข็ง
ฝ้าย	68 - 71	น้ำตาลเขียว	เส้นใยฝ้าย	คล้ายไขผึ้ง

ไขสามารถผลิตได้จากทั้งพืช สัตว์และไขที่เป็นแร่ธาตุ โดยลักษณะและคุณสมบัติของไขจะแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบที่เป็นแหล่งผลิตไข ซึ่งในที่นี้จะเน้นเฉพาะไขที่ได้จากรำข้าว (rice bran wax) เนื่องจากในประเทศไทยมีการปลูกข้าวเป็นจำนวนมาก นอกจากสามารถนำรำข้าวมาผลิตน้ำมันรำข้าวแล้ว ยังได้ไขรำข้าว 3-4 % เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันรำข้าวด้วย

2.1.5.2 ไขรำข้าว (Rice bran wax)

ไขรำข้าวมีลักษณะเป็นของแข็ง แห้ง เป็นผลึกเล็กน้อย มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงเข้ม โดยตามประกาศของ สหพันธ์อาหาร ยา และเครื่องสำอาง (The Federal Food, Drug and Cosmetic Act) อนุญาตให้ใช้ในการเคลือบลูกอม และผักผลไม้สดไม่เกิน 50 ppm และใช้เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ในหมากฝรั่งได้ไม่เกิน 2.6% (Laszity, 1971) นอกจากนี้ไขรำข้าวยังได้รับความเห็นชอบให้ใช้ได้โดยองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA Regulation) โดยกำหนดคุณสมบัติของไขรำข้าวดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงคุณสมบัติของไขรำข้าว (Bennett, 1975)

Properties	Value
Melting point	76 - 82°C
Flash point	Minimum 520°F (271.1°C)
Acid number	1 - 10
Ester number	73 - 110
Saponification number	75 - 120
Iodine number	Minimum 10
Unsaponifiable matter	39 - 57

ไขรำข้าวเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันรำข้าวในขั้นตอนการกำจัดไข และสามารถเตรียมได้จากการไฮโดรจิเนชัน (hydrogenation) ของน้ำมันรำข้าวดิบที่ความดันและอุณหภูมิสูง จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปกำจัดไขออกโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง และล้างไขที่ได้ด้วย methyl alcohol, acetone, ether และ chloroform หลายๆ ครั้ง การทำไขรำข้าวให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีการที่ต่างกันจะทำให้ไขรำข้าวที่ได้มีคุณสมบัติต่างกัน โดยพบว่าไขรำข้าวมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับไขคาร์นูบุดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของไขรำข้าวดิบที่ผ่านกรรมวิธีที่ต่างกันเทียบกับไขคาร์นูบา (Laszity, 1971)

Property	Rice bran wax			Carnauba wax
	Crude	Purified Bleached	Refined Hydrogenated	
Color	Brown	Yellow white	White	Yellow
Melting point (°C)	40-70	78-82	84-93	82-85
Acid number	10-35	5-20	6-10	4-8
Iodine value (%)	10-50	4-20	2-4	7-14
Saponification value	80-130	80-120	90-100	80-95
Unsaponifiable matter (%)	52-60	52-58	50-54	52-56

โดยทั่วไปองค์ประกอบหลักของไขรำข้าวคือ เอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีคาร์บอน 14-26 อะตอม กับ แอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอน 28 และ 30 อะตอม ซึ่งสามารถแบ่งไขรำข้าวออกเป็นไขแข็งและไขนุ่ม พบว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขนุ่มนั้นมีทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ซึ่งมีจำนวนคาร์บอน 14-20 อะตอม และมีสเตอรอลปนอยู่ด้วย ส่วนไขแข็งนั้นประกอบด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมันเตตราโคซานอิก (tetracosanoic; C24) กับ ไมริสซิลแอลกอฮอล์ (C30) เป็นส่วนใหญ่ (Tsuchiya, 1948)

Warth (1956) รายงานว่าสารที่ไม่สามารถสaponนิฟายที่พบในน้ำมันรำข้าว นั้น ประกอบด้วย ไมริสซิลแอลกอฮอล์ (myrisyl alcohol; C30) 45% กับ ซีริลแอลกอฮอล์ (ceryl alcohol; C26) ทั้งแบบนอร์มัลและไอโซ 20 และ 10% ตามลำดับ รวมทั้งพบสารซิโตสเตอรอล (sitosterol) และสติกมาสเตอร์อล (stigmasterol) นอกจากนี้ Warth พยายามพิสูจน์ว่าไมริสซิลแอลกอฮอล์นั้นอยู่ในรูปไมริสซิลซีโรเตท (myrisyl cerotate) เนื่องจากส่วนดังกล่าวนี้มีจุดหลอมเหลวสูงซึ่งสัมพันธ์กับการที่ไขรำข้าวมีจุดหลอมเหลวก่อนข้างสูง ดังนั้นไขแข็งของรำข้าวประกอบด้วยไมริสซิลซีโรเตท 43-44% ซีริลซีโรเตท 9.5-10.5% และมีกรดไขมันอิสระ 6.5-7.5% โดยส่วนใหญ่เป็นกรดปาล์มมิติก และกรดโอเลอิก

Bianchi และคณะ (1979) ศึกษาองค์ประกอบของไขรำข้าวพบว่าไขรำข้าวประกอบด้วย อัลดีไฮด์ 10.4% นอร์มัล-อัลเคน 14.8% แวกซ์เอสเทอร์ 35.2% และแอลกอฮอล์อิสระ 39.6% ซึ่งมีไขมันแอลกอฮอล์อิสระที่มีความยาวคาร์บอน 28 อะตอม มากที่สุด 89.2% ในขณะที่แวกซ์เอสเทอร์นั้นประกอบด้วยกรดไขมันที่ส่วนใหญ่มีความยาวคาร์บอน 20, 22 และ 24 อะตอม กับไขมันแอลกอฮอล์ที่มีความยาวคาร์บอน 22-30 อะตอม โดยมีความยาวคาร์บอน 24 อะตอม มากที่สุด 43%

Yoon และ Rhee (1982) พบว่าไขแข็งมีจุดหลอมเหลว 79.5°C ประกอบด้วยแอลกอฮอล์ 64.5% กรดไขมัน 33.5% และสารไฮโดรคาร์บอน 2% ส่วนไขนุ่มมีจุดหลอมเหลว 74°C ประกอบด้วยแอลกอฮอล์ 51.8% กรดไขมัน 46.2% และสารไฮโดรคาร์บอน 2% จากการศึกษาพบว่าทั้งไขแข็งและไขนุ่มประกอบด้วยแอลกอฮอล์หลัก 3 ชนิดคือ ไมริสซิล ซีริลและลิกโนซีริลแอลกอฮอล์ และในไขแข็งพบกรดไขมันบีฮีนิก (behenic acid) ลิกโนเซอริก (lignoceric acid) และกรดซีโรติก ส่วนในไขนุ่มพบกรดไขมันลอริก (lauric acid) ปาล์มมิติก และซีโรติก สารไฮโดรคาร์บอนที่พบในไขรำข้าวเป็นสารอัลเคนที่มีคาร์บอน 14-33 อะตอม โดยสารหลักคือ นอร์มัล-โนนาโคเซน (*n*-nonacosane) และ นอร์มัล-เตตราเดคเคน (*n*-tetradecane)

ไขรำข้าวสามารถใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น เป็นสารเคลือบผิว ผลไม้ ยาอม ลูกกวาดหรือหมากฝรั่ง เป็นส่วนประกอบในการผลิตเครื่องสำอาง กระจายคาร์บอนและกระจายห่อซ็อคโกแลต และใช้ทำสารขัดเงาแทนไขคาร์นูบาได้บางส่วนอีกด้วย (Warth, 1956; Srigumlaitong และ Udomsak, 1975)

2.1.6 ไขมันแอลกอฮอล์ (Fatty alcohol) (Stuchlik และ Zak, 2002)

ไขมันแอลกอฮอล์สายยาวสามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าโพลิโคซานอล (policosanol) ซึ่งเป็นกลุ่มสารผสมของแอลกอฮอล์สายโซ่ตรงที่มีความยาวคาร์บอน 20-36 อะตอม โดยมีส่วนผสมหลักคือ docosanol (C₂₂), tetracosanol (C₂₄), hexacosanol (C₂₆), octacosanol (C₂₈) และ triacontanol (C₃₀) (Irmak และคณะ, 2006)

โพลิโคซานอลพบในไขจากสัตว์และพืชบางชนิด เช่น ไขจากผึ้ง รำข้าว อ้อย ข้าวโอ๊ต และข้าวสาลี เป็นต้น ดังตารางที่ 2.10 โพลิโคซานอลสามารถสกัดได้จากไข (wax ester) โดยใช้ด่างในการทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) หรือสaponification เพื่อให้ไขรำข้าวถูกสกัดออกมาอยู่ในรูปของไขมันแอลกอฮอล์และกรดไขมัน จากนั้นจึงกำจัดกรดไขมันออกด้วยวิธีการต่างๆ เช่น สกัดด้วยตัวทำละลาย การใช้ตัวทำละลายร่วมกับการตกผลึก การใช้เอนไซม์ไลเปส และการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ยิ่งยวด (supercritical carbon dioxide) เป็นต้น เพื่อให้ได้โพลิโคซานอลที่บริสุทธิ์

ตารางที่ 2.10 แสดงองค์ประกอบของโพลิโคซานอลที่ได้จากแหล่งต่างๆ (Stuchlik และ Zak, 2002; Jimenez และคณะ, 2003)

Policosanols		Tall oil	Sugarcane wax	Rice bran wax	Beeswax*
Eicosanol	C20	0.2	-	-	-
Heneicosanol	C21	0.1	-	-	-
Docosanol	C22	50.7	-	1.1	0.2
Tricosanol	C23	2.7	-	-	-
Tetracosanol	C24	45.7	0.7	11.6	17.0
Pentacosanol	C25	0.3	-	-	-
Hexacosanol	C26	1.0	8.0	10.6	14.0
Heptacosanol	C27	-	3.5	-	-
Octacosanol	C28	-	66.0	20.2	15.7
Nonacosanol	C29	-	0.8	-	-
Triacontanol	C30	-	13.5	30.1	30.2
Dotriacontanol	C32	-	6.0	16.8	21.2
Tetracontanol	C34	-	1.5	8.0	1.8
Haxatriacontanol	C36	-	-	1.4	-

* คำนวณจาก Jimenez และคณะ, 2003

ไขของต้นอ้อย (*sacchrum officinarum*) ได้จากบริเวณผิวของใบอ้อยและกากที่เหลือจากกระบวนการผลิตน้ำตาล ซึ่งมีโพลิโคซานอลที่มีความยาวคาร์บอนตั้งแต่ 24-34 อะตอม โดยมี octacosanol (C28) มากที่สุด 66% ส่วน Tall oil หรือน้ำมันต้นสนนั้นมีความยาวของไขมันแอลกอฮอล์สั้นกว่าที่พบในไขรำข้าวและไขอ้อย คือมีสายคาร์บอนยาวเพียง 20-26 อะตอม

ไขรำข้าว (*oryza sativum*) ได้มาจากขั้นตอนการกำจัดไข (winterization/dewaxing) ในกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าว โดยปริมาณและองค์ประกอบของไขที่ได้อาจแตกต่างกันขึ้นกับปัจจัยทางด้านการเพาะปลูก และกระบวนการผลิต โพลิโคซานอลที่พบในไขรำข้าวมีความยาวคาร์บอน 24-36 อะตอม โดยมี triacontanol (C30) มากที่สุด 30% (Stuchlik และ Zak, 2002) อย่างไรก็ตาม Akiya (1962) พบว่ามีไขมันแอลกอฮอล์หลุดไปอยู่ในส่วนไขสบู่ในระหว่างการทำให้เป็นกลาง (neutralization) ซึ่งพบปริมาณ 1.8% ของไขสบู่ทั้งหมด หรือคิดเป็น 24% ของ unsaponified matter

โพลิโคซานอลมีประโยชน์หลายประการ คือสามารถลดระดับการสังเคราะห์คอเลสเตอรอลในตับ และลดคอเลสเตอรอลรวม 15-20% (Yatcilla, 2002; Stuchlik และ Zak, 2002) เพิ่มการย่อยสลาย LDL และป้องกันการเกิดออกซิเดชันของ LDL (Menendez และคณะ, 1994) ลดการรวมตัวของเกล็ดเลือด (platelet aggregation) ลดอันตรายจากเยื่อบุหลอดเลือด (endothelial damage) และลดการสร้างฟองในเซลล์ (Arruzazabala และคณะ, 1993) ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจ และเพิ่มความอดทนในระหว่างออกกำลังกาย การใช้โพลิโคซานอลในระยะยาวสามารถลดการสังเคราะห์ ubiquinone ของร่างกาย และช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานของ coenzyme Q10 ส่วนทางด้านความปลอดภัยนั้น พบว่าการให้โพลิโคซานอล 180 มิลลิกรัม/กิโลกรัม/วัน แก่สุนัข เป็นระยะเวลา 52 สัปดาห์ นอกจากลดคอเลสเตอรอลถึง 20% แล้ว ยังไม่มีผลข้างเคียงใดๆ จากการให้ ซึ่งปริมาณที่ใช้นี้สูงกว่าปริมาณสูงสุดที่กำหนดไว้ 20 มิลลิกรัม/วัน ถึง 620 เท่า ดังนั้นโพลิโคซานอลจึงเป็นสารที่มีประโยชน์และปลอดภัยต่อร่างกายสูงมาก (Mesa และคณะ, 1994)

2.2 กระบวนการผลิตน้ำมันพืชเพื่อการบริโภค (oil processing)

กระบวนการผลิตน้ำมันประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 2 ประการคือ ขั้นตอนการสกัด (extraction) และขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (refining) วิธีการผลิตน้ำมันแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติของวัตถุดิบที่เป็นแหล่งผลิตน้ำมัน โดยปริมาณของน้ำมันที่ผลิตได้ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบนั้นด้วย

2.2.1 กระบวนการสกัด (Extraction) (นิธิยา รัตนานันท์, 2529; มลฤดี เขาวรัตน์, 2540)

กระบวนการสกัดน้ำมันขึ้นอยู่กับลักษณะและคุณสมบัติของวัตถุดิบ มีวัตถุประสงค์เพื่อสกัดน้ำมันให้ได้ปริมาณมากที่สุดเท่าที่ประสิทธิภาพของกระบวนการสกัดจะทำได้ โดยต้องไม่ทำให้น้ำมันสลายตัว และน้ำมันที่ได้ต้องมีสิ่งเจือปนน้อยที่สุด วิธีการสกัดน้ำมันพืชต่างๆไปมี 2 วิธี คือ

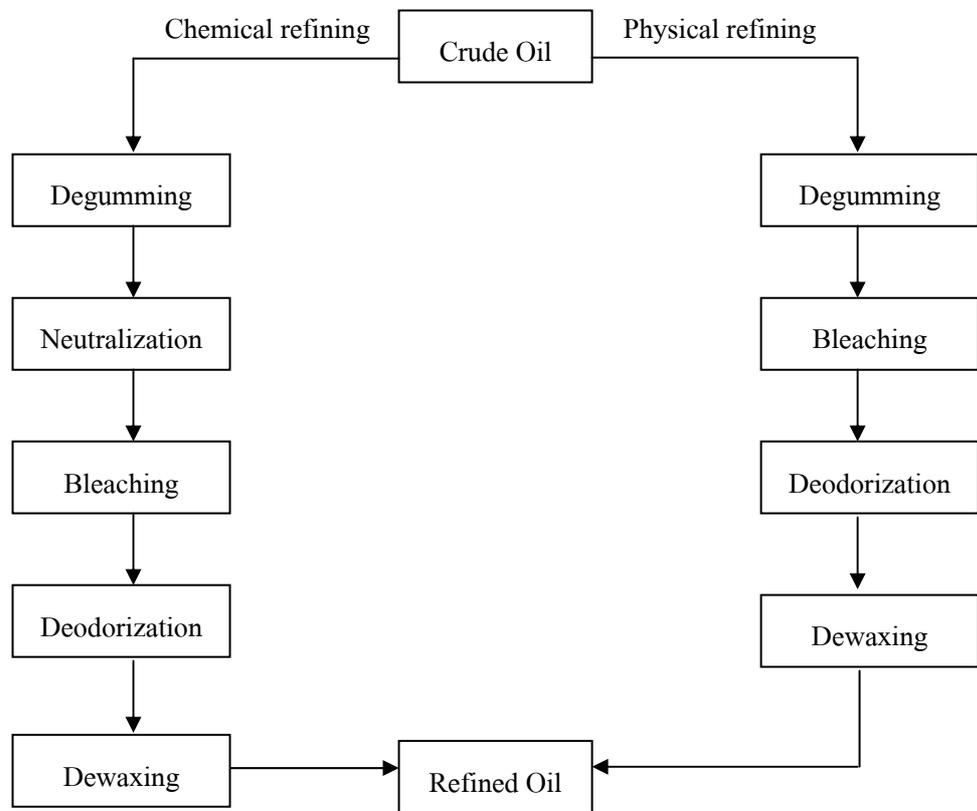
1. การบีบ เป็นวิธีที่นิยมใช้กับเมล็ดพืชน้ำมัน เช่น งา ถั่วลิสง ถั่วเหลือง มะกอก และมะพร้าว เป็นต้น วิธีนี้จะใช้เครื่องบีบซึ่งมีหลายชนิด เช่น เครื่องบีบอัดแบบไฮดรอลิก (hydraulic press) และเครื่องบีบอัดแบบสกรู (screw press) เป็นต้น แรงกดที่ให้แก่เนื้อเยื่อของเมล็ดพืชจะทำให้ผนังเซลล์แตก ทำให้สามารถบีบแยกเอาส่วนน้ำออกมาได้ น้ำมันที่ได้สามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ แต่วิธีนี้มีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากกากยังเหลือน้ำมันอยู่มาก ซึ่งอาจนำกากนี้ไปสกัดน้ำมันด้วยการบีบอัด หรือสกัดด้วยตัวทำละลายอีกครั้ง หรืออาจส่งขายให้กับโรงงานทำอาหารสัตว์

2. การสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชที่มีปริมาณน้ำมันต่ำ หรือสกัดจากกากที่เหลือจากการบีบด้วยเครื่องอัด ตัวทำละลายที่ใช้จะต้องไม่เป็นพิษต่อร่างกาย เช่น เฮกเซน คาร์บอนไดซัลไฟด์ และเอทิลเอเทอร์ เป็นต้น ซึ่งตัวทำละลายที่นิยมใช้มากที่สุดคือ เฮกเซน วิธีนี้จะให้ตัวทำละลายไหลซึมผ่านเมล็ดพืชน้ำมันที่บดละเอียด น้ำมันที่อยู่ในเมล็ดจะละลายออกมาด้วยตัวทำละลายและถูกเรียกว่า มิสเซลลา (miscella) และนำน้ำมันไปกลั่นแยกเอาตัวทำละลายออก ซึ่งจะต้องใช้อุณหภูมิต่ำที่สุดเพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชัน ไม่ให้น้ำมันมีสีเข้ม วิธีนี้ได้ปริมาณน้ำมันสูงกว่าวิธีอื่น แต่เสียค่าใช้จ่ายสูงเนื่องจากตัวทำละลายมีราคาแพง ถึงแม้จะกลั่นแยกเอาตัวทำละลายกลับมาใช้ได้ก็ตามแต่ก็มีบางส่วนที่ระเหยหายไป

ประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันมีอยู่ด้วยกันหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดและปริมาณของตัวทำละลายที่ใช้ ต้องเหมาะสมกับวัตถุดิบที่ผลิตน้ำมัน และไม่เป็นพิษต่อร่างกาย อุณหภูมิของการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายควรมีอุณหภูมิประมาณ 60°C เพื่อช่วยให้น้ำมันละลายออกมาจากเมล็ดพืชได้ง่าย ความชื้นของวัตถุดิบที่นำมาสกัดน้ำมันไม่ควรสูงเกินร้อยละ 10 เพราะทำให้สกัดน้ำมันออกได้ยาก ส่วนเวลาในการสกัดนั้น มักใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวทำละลายสามารถสกัดน้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามน้ำมันที่ได้หรือที่เรียกว่า น้ำมันดิบ (crude oil) มักมีสารประกอบต่างๆ เจือปนอยู่ จึงต้องนำไปผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ต่อไป

2.2.2 กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (Refining) (Forster และ Harper, 1983; Hui, 1996; Hamm และ Hamilton, 2000; นิธิยา รัตนาปนนท์, 2529)

น้ำมันดิบที่ได้มีองค์ประกอบหลักเป็นไตรกลีเซอไรด์ ส่วนองค์ประกอบที่เหลือ เช่น ฟอสโฟลิปิด (phospholipids) หรือฟอสฟาไทด์ (phosphatides) กรดไขมันอิสระ สารประกอบซัลเฟอร์ โปรีดีน ไฮดรอกซีคาร์บอน และตัวทำละลายที่เหลือจากกระบวนการสกัด เป็นต้น จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของพืชที่นำมาสกัดน้ำมัน วิธีการสกัด ฤดูกาลและลักษณะทางภูมิศาสตร์ ซึ่งสารเหล่านี้ส่งผลต่อลักษณะภายนอก คุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมัน เช่น ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำ อายุการเก็บรักษาสั้นลงหรือตกตะกอน เป็นต้น อย่างไรก็ตามในน้ำมันดิบยังมีสารที่มีประโยชน์ เช่น tocopherol ซึ่งเป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และ sterol ที่สามารถลดระดับ cholesterol ได้ (Moreau และคณะ, 1999) เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดสิ่งปนเปื้อนออก ในขณะที่เดียวกันก็ต้องรักษาสารที่มีคุณค่าให้คงอยู่ในน้ำมัน โดยการนำน้ำมันมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (refining process) เพื่อให้ได้น้ำมันที่บริสุทธิ์และมีคุณค่าเหมาะสมต่อการบริโภค โดยสามารถแบ่งกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ออกเป็น 2 วิธี คือการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมี (chemical refining) และการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพ (physical refining) ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนการทำน้ำมันบริโภคให้บริสุทธิ์ (Hamm และ Hamilton, 2000)

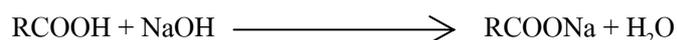
การทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมีนั้น มีขั้นตอนทำให้เป็นกลาง (neutralization) โดยการเติมด่าง เพื่อทำปฏิกิริยากับกรดไขมันได้สบู่เป็นผลพลอยได้ แต่จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน (refining loss) ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพ โดยตัดขั้นตอนทำให้เป็นกลาง และใช้ขั้นตอนการกำจัดกลิ่น (deodorization) โดยใช้ไอน้ำในการกำจัดกรดไขมันแทนการใช้สารเคมี

2.2.2.1 การกำจัดยางเหนียว (Degumming)

เป็นกระบวนการกำจัดสารประกอบฟอสโฟลิปิดหรือฟอสฟาไทด์ออกจากรู้น้ำมัน เนื่องจากสารเหล่านี้สามารถสลายตัวและถูกเร่งปฏิกิริยาการเกิดสีได้เมื่อได้รับความร้อนสูง ทำให้น้ำมันสีคล้ำขึ้นเมื่อผ่านขั้นตอนการกำจัดกลิ่น (deodorization) นอกจากนี้สารประกอบฟอสโฟลิปิดยังสามารถดูดความชื้นหรือรวมตัวกับฝุ่นละออง ทำให้ตกตะกอนแยกตัวออกจากรู้น้ำมัน และโลหะที่เป็นส่วนประกอบของสารประกอบฟอสโฟลิปิด เช่น Fe^{3+} สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้น้ำมันมีกลิ่นหืนและอายุการเก็บรักษาสั้นลง นอกจากนี้ฟอสโฟลิปิดยังก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำมันไปส่วนหนึ่งด้วย โดยทั่วไปสารประกอบฟอสฟาไทด์มี 2 ชนิด คือชนิดละลายน้ำ ได้แก่ phosphatidylcholine และ phosphatidylinositol สามารถกำจัดได้โดยการเติมน้ำลงไปสู่น้ำมัน ทำให้สารประกอบฟอสฟาไทด์ตกตะกอน ซึ่งมีลักษณะเป็นยางเหนียวหรือกัม จากนั้นจึงนำไปปั่นเหวี่ยงหรือกรองตะกอนออกมา สารประกอบฟอสฟาไทด์อีกชนิดคือชนิดไม่ละลายน้ำ ได้แก่ phosphatidylethanolamine และ phosphatidic acid สามารถกำจัดได้โดยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ โดยการเติมกรดซิตริกหรือกรดกรดฟอสฟอริกลงไปสู่น้ำมันและเติมน้ำเพื่อให้ตกตะกอนแล้ว จากนั้นจึงแยกตะกอนออกมา ซึ่งยางเหนียวที่แยกออกมาสามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเลซิทีน (lecithin) ได้ โดยเฉพาะยางเหนียวที่ได้จากการล้างน้ำมันถั่วเหลือง เพราะมีปริมาณเลซิทีนสูง

2.2.2.2 การทำให้เป็นกลาง (Neutralization)

เป็นการกำจัดกรดไขมันอิสระ โดยการทำให้เป็นกลางด้วยสารละลายด่าง เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เพื่อให้กรดไขมันอิสระอยู่ในรูปของโซสบู่ (soapstock) ซึ่งสบู่ที่เกิดขึ้นสามารถละลายน้ำได้ดังปฏิกิริยา saponification



จากนั้นจึงทำการปั่นเหวี่ยงและล้างน้ำเพื่อแยกสบู่ ออก โดยขั้นตอนนี้สามารถกำจัดสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ได้อีกด้วย เช่น สารประกอบฟอสโฟลิปิด รงควัตถุบางชนิด และ โปรตีน เป็นต้น การทำให้เป็นกลางมีข้อควรระวังคือปริมาณสารละลายด่างที่ใช้ต้องเหมาะสมเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำมัน (refining loss) เนื่องจากสารละลายด่างที่มากเกินไปเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) ในน้ำมันได้สบู่ ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่ได้ลดลง

2.2.2.3 การกำจัดสี (Bleaching)

เป็นการกำจัดสารให้สี เช่น คลอโรฟิลล์ (chlorophyll) และแคโรทีนอยด์ (carotenoid) เป็นต้น โดยใช้สารดูดซับ เช่น bleaching clay และ activated carbon ดูดซับสี รวมทั้งสารประกอบเปอร์ออกไซด์ และสารปนเปื้อนอื่นๆ ที่หลงเหลืออยู่ในน้ำมัน เช่น สารประกอบฟอสฟาไทด์ โลหะ และสบู่ ออกจากน้ำมัน ภายใต้สภาวะความดันต่ำหรือสุญญากาศที่อุณหภูมิ 90-110 °C ระยะเวลา 20-30 นาที จากนั้นจึงแยกสารดูดซับออกจากน้ำมันโดยการกรองสารดูดซับออก น้ำมันบางส่วนยังคงค้างอยู่ในสารดูดซับจึงมีการใช้ไอน้ำหรือแก๊สในโตรเจนเป่าไล่น้ำมันออกมา ซึ่งน้ำมันส่วนนี้มีคุณภาพต่ำจึงต้องเข้าสู่กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์อีกครั้งหนึ่ง

2.2.2.4 การกำจัดกลิ่น (Deodorization)

เป็นกระบวนการกำจัดสารระเหยที่ให้กลิ่นและรสออกจากน้ำมัน เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน และเอสเทอร์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถกำจัดสารให้สี ยาฆ่าแมลง ยากำจัดศัตรูพืช เปอร์ออกไซด์ ตัวทำละลายที่เหลือจากกระบวนการสกัด รวมทั้งกรดไขมันอิสระที่ยังกำจัดด้วยกระบวนการอื่นไม่หมดได้อีกด้วย โดยการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางกายภาพ (physical refining) จะใช้กระบวนการนี้กำจัดกรดไขมันอิสระแทนกระบวนการทำให้เป็นกลาง เพื่อลดการใช้สารเคมี จึงอาจเรียกกระบวนการกำจัดกลิ่นไปพร้อมๆ กับการกำจัดกรดไขมันอิสระว่า deacidification กระบวนการกำจัดกลิ่นจะใช้ความร้อนของไอน้ำที่สูงกว่า 200°C ภายใต้สุญญากาศ (< 10 mm.Hg) ฉีดลงไปสู่น้ำมันเพื่อให้ไอน้ำพากลิ่นออกจากน้ำมัน ซึ่งกระบวนการนี้มีข้อควรระวังคือ หากระยะเวลาไม่เหมาะสมจะทำให้สูญเสียน้ำมันประมาณ 0.5% เนื่องจากใช้อัตราของละอองไอน้ำที่สูงในระยะเวลาที่นานเกินไป หรือความเร็วของไอน้ำสูงเกินไป ทำให้หยดน้ำมันออกไปพร้อมกับไอน้ำ (Bailey, 1951) นอกจากนี้ความร้อนสูงจะส่งผลให้สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น tocopherol และ tocotrienol สูญเสียไป รวมทั้งทำให้กรดไขมันเปลี่ยนรูปเป็น trans fatty acid และ cyclic fatty acid มากขึ้น คุณภาพและอายุการเก็บรักษาน้ำมันจึงลดลง

กระบวนการกำจัดกลิ่นมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ซึ่งการกำจัดกลิ่นแบบ batch เหมาะสำหรับน้ำมันที่มีปริมาณไม่มาก (5-30 ตัน) น้ำมันที่ได้มีสารปนเปื้อนต่ำ แต่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงและใช้เวลานาน 6-10 ชั่วโมง ส่วนการกำจัดกลิ่นแบบต่อเนื่องสามารถนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 80% ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำลง ใช้เวลาสั้น แต่มีการปนเปื้อนของน้ำมันสูงเนื่องจากคุณลักษณะของน้ำมันที่เข้าระบบเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา สำหรับการกำจัดกลิ่นแบบกึ่งต่อเนื่องนั้นได้รับความนิยมมากที่สุด เหมาะกับน้ำมันที่มีปริมาณมากกว่า 200 ตัน หรือน้ำมันที่ผสมกันหลายชนิด ใช้เวลาสั้น แต่นำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ได้น้อยกว่าระบบต่อเนื่อง และใช้ไอน้ำในการกำจัดกลิ่นประมาณ 10-20%

2.2.2.5 การกำจัดไข (Dewaxing)

เป็นกระบวนการแยกไขซึ่งเป็นสารจำพวกเอสเทอร์ของกรดไขมันสายยาวและแอลกอฮอล์สายยาว ออกจากน้ำมัน โดยไขมีจุดหลอมเหลวค่อนข้างสูงและละลายในน้ำมันได้น้อย ไขที่ปนอยู่ในน้ำมันจะ ก่อให้เกิดการขุ่นของน้ำมันเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยปกติในน้ำมันมีไขอยู่ประมาณ 0.2-3.0% การ กำจัดออกทำได้โดยการลดอุณหภูมิของน้ำมันลงไปที 6-8°C เป็นเวลา 4-6 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดเป็นไข อย่างสมบูรณ์ จากนั้นจึงแยกไขออกจากน้ำมันโดยการกรองหรือปั่นเหวี่ยง

กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ในแต่ละขั้นตอนนั้น สามารถกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการในน้ำมันดิบ ได้แตกต่างกันไป น้ำมันดิบที่ผ่านกระบวนการต่างๆ อย่างสมบูรณ์ต้องมีคุณภาพ และปลอดภัยต่อ ผู้บริโภค ซึ่งองค์ประกอบของน้ำมันก่อนและหลังจากการทำให้บริสุทธิ์จะแตกต่างกันดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชดิบและน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Johnson, 1998)

Component	Soybean		Sunflower		Palm	
	Crude	Refine	Crude	Refine	Crude	Refine
Triglycerides (%)	95-97	>99	-	>99	-	>99
Phosphatides (%)	1.5-2.5	0.003-0.045	0.5-1.0	-	0.006-0.013	0.012
Free fatty acid (%)	0.3-0.7	<0.05	0.8-2.4	<0.05	2.0-5.0	<0.10
Unsaponifiables(%)	1.6	0.3	<1.3	-	-	-
Plant sterols	0.33	0.13	-	-	0.036-0.062	0.011-0.016
Tocopherols	0.15-0.21	0.11-0.18	0.05	-	0.06-0.10	0.04-0.06
Hydrocarbons	0.014	0.01	-	-	0.02-0.05	-

- ไม่มีข้อมูล

2.2.3 กระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์

การผลิตน้ำมันรำข้าวให้ได้ปริมาณมากและมีคุณภาพดี ต้องคำนึงถึงตั้งแต่การเลือกรำข้าว ซึ่งต้องเป็น รำข้าวสด มีปริมาณไขมันมาก สะอาด ไม่มีการปนเปื้อนจากสารเคมีที่ใช้ปลูกข้าว และมีสิ่งสกปรก ปนเปื้อนจากการสีข้าวน้อย ควรนำไปสกัดน้ำมันทันที แต่หากจำเป็นต้องเก็บรำข้าวไว้ก่อนการสกัดก็ ไม่ควรเก็บนานเกิน 24 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระ (นัยนา บุญทวีวัฒน์ และ เรวดี จงสุวัฒน์, 2545) นอกจากการเลือกรำข้าวแล้ว ขั้นตอนการเตรียม การสกัด และการทำให้ บริสุทธิ์ก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน

2.2.3.1. การรักษาความเสถียรของรำข้าว (Stabilization) (Salunkhe และคณะ, 1992; Gingras, 2000; มลฤดี เชาวรัตน์, 2540)

รำข้าวประกอบด้วยเอนไซม์หลายชนิด เช่น ไลเปส (lipase) อะไมเลส (amylase) เอสเทอเรส (esterase) ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) เลซิทีเนส (lecithinase) ไลโปออกซิจีเนส (lipoxygenase) และอินเวอร์เทส (invertase) เป็นต้น อย่างไรก็ตามไลเปสเป็นเอนไซม์ที่มีบทบาทมากที่สุด เพราะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของรำข้าวและการนำรำข้าวไปใช้ในทางอุตสาหกรรม โดยไลเปสสามารถไฮโดรไลซ์น้ำมันเป็นกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระ ซึ่ง pH และอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงานของไลเปส คือ 8.0 และ 37°C ตามลำดับ จุดประสงค์หลักของการรักษาความเสถียรของรำข้าวคือ เพื่อระงับการเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระในรำข้าวโดยการยับยั้งการทำงานของไลเปส ซึ่งควรทำทันทีหลังจากได้รำจากการสีข้าวเพราะไลเปสมี้อัตราการเร่งการเกิดกรดไขมันอิสระที่สูงมาก การรักษาความเสถียรของรำข้าวสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีใหญ่ๆ คือ

1. วิธีทางเคมี (Chemical stabilization)

เป็นการทำลายสภาพธรรมชาติ (denaturation) ของเอนไซม์ โดยการใช้สารเคมี เช่น โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (sodiummetabisulfite; $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) หรือการลด pH โดยการเติมกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric; HCl) เพื่อให้ pH ต่ำลงจนเท่ากับ 4 ซึ่งจะยับยั้งและทำลายสภาพธรรมชาติของไลเปสได้ แต่การใช้สารเคมีนั้นไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และทำให้เกิดการฟุกร่อนของเครื่องมือ

2. วิธีทางกายภาพ (Physical stabilization)

วิธีทางกายภาพที่ใช้ในการเก็บรักษารำข้าวมีหลายวิธี คือ การแช่เย็น (cold storage) เป็นการเก็บรักษารำข้าวที่อุณหภูมิต่ำใกล้ 0°C สามารถยับยั้งการทำงานของไลเปสได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ไลเปสจะเริ่มทำงานทันทีเพราะการแช่เย็นไม่ได้ทำให้ไลเปสสูญเสียสภาพธรรมชาติไป วิธีนี้ไม่เหมาะกับการใช้ในอุตสาหกรรม เพราะค่าใช้จ่ายในการเก็บรำข้าวที่อุณหภูมิต่ำนั้นสูงมาก จึงไม่คุ้มกับการลงทุน

การเก็บในแก๊สเฉื่อย (storage in an inert atmosphere) เป็นการใช้แก๊สเฉื่อย เช่น แก๊สไนโตรเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในการเก็บรักษารำข้าวที่อุณหภูมิ 20-25°C โดยไลเปสจะถูกยับยั้งการทำงานเท่านั้น เป้าหมายหลักของวิธีนี้จึงเพื่อป้องกันกลิ่นหืนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเท่านั้น

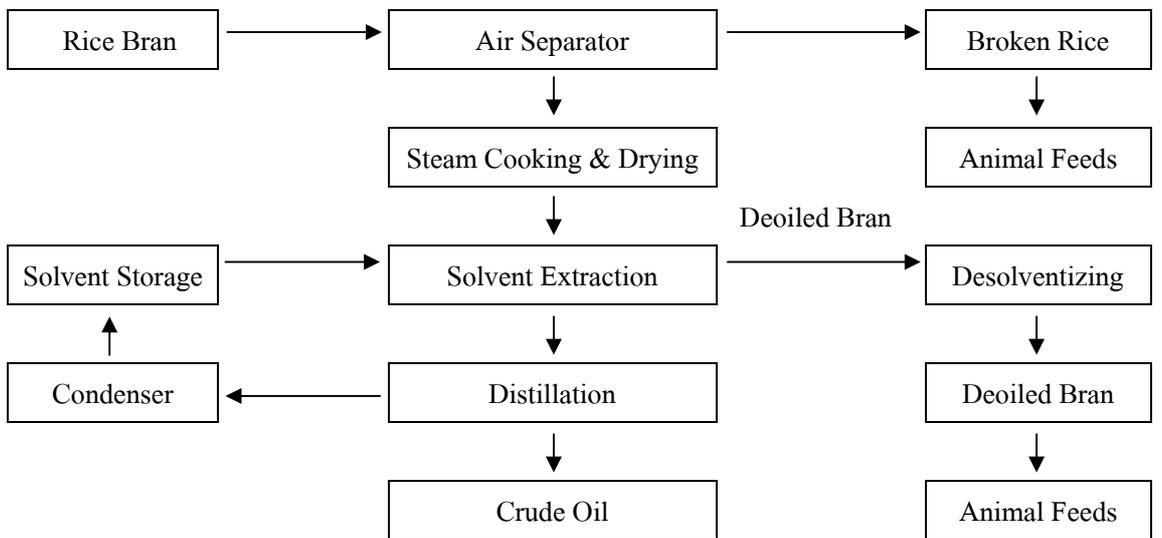
Irradiation เป็นการใช้รังสีในการเก็บรักษารำข้าว เช่น รังสีแกมมา (gamma rays) วิธีนี้ยุ่งยาก และเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง

การใช้ความร้อนแห้ง (dry extrusion / cooking) จะใช้ extruder / cooker ในการให้ความร้อนแก่รำข้าว จนถึงอุณหภูมิที่ไอสตูยเสียดสภาพธรรมชาติ ซึ่งปกติจะสูงถึง 100-140°C นาน 3-5 นาที โดยสามารถลดความชื้นในรำข้าวซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการเพิ่มของกรดไขมันอิสระ วิธีนี้มีข้อเสียคือ รำข้าวหลังอบและน้ำมันที่สกัดได้จะมีสีเข้มและมีกลิ่น เนื่องจากใช้ความร้อนสูง และอาจเกิดการออกซิเดชันของน้ำมัน รวมทั้งค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์สูงด้วย

การใช้ความร้อนชื้น (wet extrusion / steaming) เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด โดยมีกรดน้ำหรือไอน้ำ ประมาณ 10% ให้แก่รำข้าว โดยใช้ extruder ที่มีหัวฉีด เพื่อลดอุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไป ข้อดีของวิธีการนี้คือ ความชื้นในรำข้าวสามารถเปลี่ยนเป็นไอน้ำได้และลักษณะรำข้าวเหมาะกับการสกัดน้ำมัน โดยเป็นก้อนรูพรุน (porous pellet) หรือ cake นอกจากนี้ยังทำให้เศษรำข้าวละเอียด (bran fines) ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้น้ำมันขุ่นและใช้เวลาในการสกัดสูง รวมตัวเป็นก้อน ส่งผลให้สารละลายสามารถชะน้ำมันออกมาได้ง่าย ปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นจึงมักใช้กับเมล็ดพืชที่ให้น้ำมัน เช่น ถั่วเหลือง และเมล็ดฝ้าย วิธีนี้มีประสิทธิภาพสูง และเหมาะสำหรับการสกัดน้ำมันในเชิงธุรกิจ

2.2.3.2. การสกัดน้ำมันรำข้าว (Extraction) (Gingras, 2000)

กระบวนการสกัดรำข้าวด้วยตัวทำละลาย นิยมใช้ในญี่ปุ่น อินเดีย อียิปต์ ไต้หวัน เม็กซิโก อเมริกา พม่า และไทย (Hui, 1996) มักใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย โดยรำข้าวที่ทำให้สะอาดและผ่านการรักษาความเสถียรแล้วจะถูกแช่ในตัวทำละลาย น้ำมันจะถูกสกัดออกมา ส่วนผสมระหว่างตัวทำละลายกับน้ำมันหรือมิสเซลลาจะถูกกรองแยกรำข้าวกับมิสเซลลา และนำไปกลั่นแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมัน โดยสามารถนำตัวทำละลายกลับมาใช้ได้ใหม่ ซึ่งขั้นตอนการสกัดน้ำมันรำข้าวแสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการสกัดน้ำมันรำข้าวด้วยตัวทำละลาย (มฤดี เชาวรัตน์, 2540)

ข้อควรระวังของการใช้ตัวทำละลายสกัดน้ำมันรำข้าวคืออุณหภูมิที่ใช้ต้องเหมาะสม เพื่อให้สามารถสกัดน้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุดโดยไม่ทำให้ไขละลายออกมาในปริมาณมาก เพราะไขสามารถละลายได้ในเฮกเซนร้อน เช่น ที่ 50°C สามารถละลายไขได้มากกว่าที่ 30°C ถึง 2 เท่า โดยสามารถใช้ตัวทำละลายชนิดอื่นที่ไม่ละลายไข เช่น อะซิโตน เอทิลอะซิเตท ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ แต่ตัวทำละลายเหล่านี้มีราคาสูงกว่าเฮกเซน จากนั้นจึงส่งน้ำมันดิบไปทำให้บริสุทธิ์เพื่อใช้ในการบริโภคต่อไป

รำข้าวนั้นสามารถสกัดน้ำมันด้วยวิธีทางกายภาพ โดยรำข้าวจะถูกทำให้แห้งและบีบอัดด้วยเครื่อง screw press เพื่อให้ได้น้ำมันออกมา วิธีการนี้เป็นการรวมขั้นตอนการรักษาเสถียรภาพของรำข้าวและขั้นตอนการสกัดเข้าด้วยกัน มีข้อดีคือน้ำมันที่ได้ปลอดภัยต่อการบริโภค การดำเนินงานปลอดภัยจากสารเคมี และใช้เงินลงทุนต่ำ แต่มีข้อเสียคือ ปริมาณน้ำมันที่ได้ต่ำ ใช้เงินต่อหน่วยการผลิตสูงกว่าวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย และน้ำมันอาจมีสีคล้ำ ถ้าใช้เวลาและอุณหภูมิมากเกินไป

2.2.3.3. การทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ (Rice bran oil refining) (Hui, 1996; Gingras, 2000)

น้ำมันรำข้าวดิบที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายมักมีสารประกอบชนิดอื่นเจือปน เช่น ไขรำข้าว กรดไขมันอิสระ ฟอสโฟลิปิด รงควัตถุ กลีเซอไรด์ และสารที่ให้กลิ่น เช่น อัลดีไฮด์ ทีโตน และไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น โดยทั่วไปน้ำมันรำข้าวดิบมีเศษรำข้าวละเอียดอย่างน้อย 0.5% และไขรำข้าว 0.5-8% ซึ่งถึงเก็บน้ำมันดิบต้องมีการกวนและให้ความร้อน เพื่อป้องกันการจับตัวกันที่ก้นถัง และเพื่อให้น้ำมันมีสภาพเดียวกันทั่วทั้งถังก่อนเข้าสู่ระบบการทำบริสุทธิ์ ซึ่งในทางอุตสาหกรรมมักใช้วิธีทางเคมี (chemical refining) หลักการต่างๆ ไปได้กล่าวไว้แล้วก่อนหน้านี้ โดยในที่นี้เน้นเฉพาะกระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ในประเทศไทย

การกำจัดยางเหนียวและการทำให้เป็นกลาง (Degumming & Neutralization)

ขั้นตอนแรกรวมการกำจัดยางเหนียวและการทำให้เป็นกลางเข้าด้วยกัน โดยใช้กรดฟอสฟอริก หรือกรดอินทรีย์เติมลงไปน้ำมัน เพื่อเปลี่ยนฟอสฟาไทด์ชนิดไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปที่สามารถละลายน้ำได้ จากนั้นจึงเติมด่างที่ 16-30°Be ในปริมาณที่เกินจากที่คำนวณ 20-40% โดยความแรงและปริมาณของด่างในรูปขององศา Baume (°Be) เป็นค่าที่มักใช้ในอุตสาหกรรม ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมัน ทำการปั่นแยกส่วนน้ำมันออกจากสบู่ที่ 60-70°C โดยหากให้ความร้อนสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำมันที่ได้น้อยลง อาจเนื่องมาจากเกิดการละลายไขแข็งที่อยู่ในน้ำมันและเกิดอิมัลชันขึ้น ถ้ารวมขั้นตอนการทำให้เป็นกลางกับการกำจัดไขเข้าด้วยกัน ต้องใช้อุณหภูมิ 28-32°C ส่วนการทำให้เป็นกลางที่อุณหภูมิต่ำ (cold neutralization) จะใช้อุณหภูมิประมาณ 10°C เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดอิมัลชัน หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำหรือใช้ซิลิเกต (silicate) เพื่อกำจัดส่วนสบู่และฟอสฟาไทด์ที่อาจหลงเหลืออยู่ โดยส่วนไขสบู่ (soapstock) ที่แยกออกมาน้ำมันมีองค์ประกอบดังตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 แสดงองค์ประกอบของไขสบู่จากน้ำมันรำข้าว (Akiya, 1962)

Components	Value (%)
Water	65-70
Soap	20-22
Glycerides (mainly Triglyceride)	2-2.5
Unaponfied matter	7-7.5
Sterols	42
Fatty alcohols	24
Oryzanol	20
Hydrocarbons	10
Unidentified compounds	2

น้ำมันรำข้าวมีโอโรซานอลสูง 1-3% เมื่อผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นกลางด้วยด่างจะหลุดอยู่ในไขสบู่ 1.5% ซึ่งโอโรซานอลมีผลต่อการวัดกรดไขมันอิสระด้วยวิธีไตเตรต ซึ่งใช้ phenolphthalein เป็น indicator โดยทำให้สังเกตจุดยุติได้ยากขึ้น และโอโรซานอลมีความเป็นกรดจึงอาจเพิ่มค่าของกรดไขมันอิสระให้เพิ่มขึ้นด้วย (Gopala และคณะ, 2006) อาจแก้ไขโดยใช้ alkali blue เป็น indicator แทน เพราะจะวัดเฉพาะกรดไขมันอิสระเท่านั้น

Miscella refining เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการกำจัดกรดไขมันอิสระออกจากรำข้าว นอกเหนือจากการใช้ด่างหรือ alkali refining โดยในระหว่างการสกัดน้ำมัน มีสเซลลาหรือน้ำมัน 40-60% ในตัวทำละลายเฮกเซนจะถูกผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นสบู่ซึ่งแยกออกได้โดยการปั่นเหวี่ยง น้ำมันที่ได้จะมีปริมาณและคุณภาพสูง สีใส และไม่มีขั้นตอนการล้างน้ำ แต่องค์ประกอบของน้ำมันจะมีความหลากหลาย ต้องตรวจสอบการปนเปื้อนของตัวทำละลาย และต้องนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่

Physical refining เป็นอีกวิธีในการกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีมากในน้ำมันรำข้าว โดยน้ำมันต้องผ่านขั้นตอนการกำจัดไอน้ำ ยางเหนียว และสีก่อน เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันมีสีคล้ำขึ้นเมื่อผ่านขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระด้วยไอน้ำที่มีความร้อนสูง ภายใต้สภาวะสูญญากาศ หรืออาจทำน้ำมันให้เป็กลางด้วยด่างก่อน physical refining เพื่อให้สีของน้ำมันดีขึ้น วิธีนี้มีข้อดีคือลดการสูญเสียน้ำมัน ประหยัดพลังงาน และไม่มีไขสบู่ จึงไม่ต้องบำบัดน้ำเสีย ส่วนข้อเสียคือ ปริมาณฟอสฟอรัส (phosphorus) ของน้ำมันที่เข้าสู่ระบบต้องน้อยกว่า 10 ppm เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันมีสีคล้ำ (Bhosle และ Subramanian, 2005) และกรดไขมันสามารถเปลี่ยนรูปเป็น trans fatty acid และ cyclic fatty acid มากขึ้น คุณภาพและอายุการเก็บรักษาน้ำมันจึงลดลง

Reesterification เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีปริมาณมากได้ โดยการนำน้ำมันที่ผ่านการกำจัดขางเหนียวและไขมาทำปฏิกิริยาเอสเทอร์ฟิเคชันด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl) จากกลีเซอรอล ภายใต้สภาวะสุญญากาศและอุณหภูมิสูง ซึ่งจะทำให้กรดไขมันอิสระลดลง โดยเปลี่ยนไปอยู่ในกลีเซอไรด์ สามารถลดการสูญเสียน้ำมันได้ แต่วิธีการนี้แพงและไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค (Bhattacharyya และ Bhattacharyya, 1987)

การกำจัดสี (Bleaching)

การกำจัดสีจะใช้สารดูดซับ เช่น bleaching clay และ activated carbon ในการดูดซับสี แต่เนื่องจาก activated carbon มีราคาแพง จึงไม่เป็นที่นิยม มักใช้ bleaching clay แทน ซึ่งปริมาณที่ใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำมันรำข้าว แต่โดยทั่วไปใช้ 2-10% สำหรับสารดูดซับที่ใช้แล้วมีน้ำมันประมาณ 25% ซึ่งสามารถขายเป็นเชื้อเพลิงได้

การกำจัดไข (Dewaxing)

การกำจัดไขจะให้ไขตกตะกอนภายในถังโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ทำการลดอุณหภูมิทิ้งไว้ 10-12 ชั่วโมง และกรองแยกส่วนน้ำมันออกมา บางแห่งใช้เพียงการกรองไขและเศษรำข้าวละเอียดออกจากน้ำมันโดยไม่มีการลดอุณหภูมิ หากทำการกำจัดไขก่อนขั้นตอนการทำให้เป็นกลางสามารถช่วยเพิ่มปริมาณน้ำมันที่ได้ สำหรับไขรำข้าวที่แยกออกมานั้นจะมีส่วนของเศษรำข้าวละเอียดติดมาด้วยสามารถนำไปเติมในรำข้าวที่สกัดไขมันออกแล้วเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือนำไขรำข้าวมาสกัดน้ำมันอีกครั้ง และทำให้ไขบริสุทธิ์

การกำจัดกลิ่น (Deodorization)

การกำจัดกลิ่นในน้ำมันรำข้าวจะใช้ความร้อนของไอน้ำที่สูงประมาณ 220-250°C ภายใต้สภาวะสุญญากาศที่ 3-5 mm.Hg ฉีดลงไปน้ำมัน เพื่อให้ไอน้ำพากลิ่นออกจากน้ำมัน จากนั้นจึงกรอง และทิ้งน้ำมันให้เย็นตัวที่ 40-60°C อุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดกลิ่นของน้ำมันรำข้าวอาจสูงกว่าน้ำมันชนิดอื่นประมาณ 10°C เนื่องจากที่อุณหภูมิต่ำๆ ค่า peroxide ของน้ำมันรำข้าวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในระหว่างการเก็บรักษา จึงต้องเพิ่มเสถียรภาพให้แก่ น้ำมัน โดยบางแห่งมีการเติมไนโตรเจนที่สภาวะสุญญากาศเพื่อให้น้ำมันอิมัลชันด้วยไนโตรเจน ซึ่งสามารถลดการเกิดออกซิเดชันและช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาน้ำมัน

Winterization

หากต้องการน้ำมันรำข้าวที่มีคุณภาพสูง ไม่เกิดการตกตะกอนที่ 0°C อย่างน้อย 1 ชั่วโมง ต้องกำจัดองค์ประกอบที่ทำให้ไขมันเกิดการตกตะกอน ซึ่งนอกจากไขแล้ว น้ำมันรำข้าวยังมีกลีเซอไรด์อิ่มตัว และมีจุดหลอมเหลวสูง เช่น stearine ซึ่งต้องกำจัดออกไปโดยการลดอุณหภูมิจาก 30-35°C เป็น 15°C เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง พร้อมกับกวนช้าๆ จากนั้นจึงลดอุณหภูมิจนถึง 4-5°C โดยไม่มีการกวน ทิ้งไว้ 24-48 ชั่วโมง เพื่อให้สารที่มีจุดหลอมเหลวสูงเกิดเป็นผลึก และกรองแยกออกจากน้ำมัน ทำให้สามารถส่งน้ำมันรำข้าวไปขายยังต่างประเทศซึ่งอุณหภูมิต่ำได้โดยที่น้ำมันไม่เป็นไข

การทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ด้วยด่างนั้น จะเกิดการสูญเสียไขมันเป็นปริมาณมาก ดังนั้นจึงมีการแนะนำให้กำจัดไขและยางเหนียวก่อนขั้นตอนการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง เพื่อลดการสูญเสียไขมัน (Bhattacharyya และ Bhattacharyya, 1987; Gopala Krishna, 1993) อย่างไรก็ตามปัญหาของกระบวนการผลิตน้ำมันรำข้าวก็ยังไม่หมดไป จึงมีการแนะนำให้เปลี่ยนวิธีการผลิตน้ำมันจากกระบวนการทางเคมีมาเป็นกระบวนการทางกายภาพ (physical refining) เพราะช่วยลดการสูญเสียไขมัน เนื่องจากไม่มีขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง ประหยัดเวลา ลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสารเคมี ไม่มีน้ำเสีย และสามารถรักษาสารที่มีประโยชน์ที่มีอยู่ในน้ำมันรำข้าว เช่น โทโคฟีรอล และโอโรซานอล ได้อีกด้วย (Kim และคณะ, 1985; Kaimal และคณะ, 2002)

2.2.3.4. องค์ประกอบที่มีผลต่อการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ (Gingras, 2000)

น้ำมันรำข้าว เป็นน้ำมันชนิดหนึ่งที่ทำให้บริสุทธิ์ได้ยาก เนื่องจากมีองค์ประกอบหลายชนิด เช่น กรดไขมันอิสระ ไข เศษรำข้าวละเอียด และสี เป็นต้น อยู่ในปริมาณสูง และเป็นอุปสรรคต่อการสกัด การทำให้บริสุทธิ์ และทางการตลาด องค์ประกอบที่เป็นปัญหาเหล่านี้ได้แก่

กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid; FFA)

กรดไขมันอิสระเป็นปัญหาหลักของการผลิตน้ำมันรำข้าว เนื่องจากไลเปสในรำข้าวมีความสามารถในการทำงานสูง สามารถไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอไรด์ให้เป็นกรดไขมันอิสระ ไดกลีเซอไรด์ และโมโนกลีเซอไรด์ได้อย่างรวดเร็ว โดยหลังจากการสีข้าว กรดไขมันอิสระในรำข้าวจะเพิ่มขึ้น 5-10% ทุกวัน ซึ่งการทำงานของไลเปสขึ้นอยู่กับสถานะในการเก็บรักษารำข้าว อุณหภูมิ ความชื้น และระยะเวลา โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงานของไลเปสคือ 35-40°C ดังนั้นตามปกติจึงทำการเก็บรักษารำข้าวที่อุณหภูมิต่ำเพื่อยับยั้งการทำงานของไลเปส และความชื้นให้มีความชื้นประมาณ 12% เอนไซม์อีกชนิดที่มีผลต่อความเสถียรของน้ำมันรำข้าวคือ ไลโปออกซิจีเนส (lipoxygenase) แต่ความสามารถในการทำงานนั้นน้อยกว่าไลเปส และสูญเสียสภาพในการทำงานเมื่อรำข้าวถูกรักษาสถียรภาพ (stabilize) แต่สำหรับ

น้ำมันรำข้าวที่สกัดมาจากรำข้าวที่ผ่านการนึ่ง (parboiled bran) พบว่าความสามารถในการต้านทานการออกซิเดชันต่ำ เนื่องจากสูญเสียสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) ไปในระหว่างการนึ่ง น้ำมันรำข้าวที่ได้จากการรักษาเสถียรภาพของรำข้าวมีกรดไขมันอิสระ 2-6% ซึ่งต่ำกว่าน้ำมันที่มาจากรำข้าวธรรมดา ซึ่งมีกรดไขมันอิสระมากกว่า 10% ขึ้นไป ปัญหาหลักของกรดไขมันอิสระต่อน้ำมันรำข้าวคือจะมีผลต่อปริมาณน้ำมันที่ได้ โดยน้ำมันรำข้าวที่ได้จากรำข้าวที่ผ่านการรักษาเสถียรภาพอย่างดีสามารถสกัดน้ำมันได้สูงถึง 90% หรือสูญเสียน้ำมันไปเพียง 10% แต่ถ้ารำข้าวมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่สูงมากๆ สามารถเกิดการสูญเสียน้ำมันได้สูงถึง 50% หรือมากกว่านี้

ไข (Wax)

ไขรำข้าวเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันอิ่มตัว C16-C26 กับไขมันแอลกอฮอล์อิ่มตัว C24-C34 นอกจากนี้ยังมีไขมันแอลกอฮอล์อิสระ และไฮโดรคาร์บอน ปกติมีไขอยู่ในน้ำมันรำข้าว 2-4% แต่บางครั้งอาจสูงถึง 8% ซึ่งปริมาณขึ้นอยู่กับสถานะในการสกัด ไขส่งผลต่อการผลิตน้ำมันคือ ทำให้เกิดอิมัลชันในระหว่างการทำให้บริสุทธิ์ ลดปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้ นอกจากนี้ยังพบว่าไขสามารถจับกับ bleaching clay ได้ดี ทำให้ต้องใช้ bleaching clay เพื่อกำจัดสีในปริมาณเพิ่มขึ้น และเมื่ออยู่ที่อุณหภูมิห้อง ไขจะทำให้ น้ำมันขุ่นซึ่งส่งผลต่อผู้บริโภคและทางการค้า

เศษรำข้าวละเอียด (Bran fine)

น้ำมันรำข้าวทั่วไปมีเศษรำข้าวละเอียดผสมอยู่ประมาณ 0.5-10% หากมีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันสูงขึ้น เนื่องจากเกิดการจับ (entrainment) ของน้ำมันอยู่กับรำข้าว รำข้าวละเอียดทำให้น้ำมันขุ่น ส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการสกัดน้ำมันเพิ่มขึ้น รวมทั้งการตกตะกอนองค์ประกอบอื่นที่ไม่ใช่ไขมันทำได้ยาก รำข้าวละเอียดจะรวมตัวกันภายในถัง และทำให้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น เครื่องผสม (mixer) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) และเครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) อุดตันและสกปรกขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องมือเหล่านั้นลดลง และต้องเพิ่มความถี่ในการทำความสะอาดอุปกรณ์ นอกจากนี้ยังทำให้ส่วนที่ปิดผนึก (seal) ของปั๊ม เครื่องผสม และเครื่องปั่นเหวี่ยง เสียก่อนเวลาอันควร เนื่องจากการเสียดสีของเศษรำข้าว โดยเฉพาะรำข้าวที่ได้มาจากโรงสีที่ใช้ limestone ในการสี และรำข้าวที่มีเปลือกปริมาณมากติดมาด้วย เศษรำข้าวละเอียดสามารถรวมตัวกับไขรำข้าวเกิดเป็นเส้นใย (fibrous) สะสมอยู่บริเวณผิวหน้าของรอยปิดผนึก ซึ่งทำให้อายุการใช้งานของเครื่องมือสั้นลง และเกิดการสูญเสียน้ำมัน

รงควัตถุ (pigment)

น้ำมันรำข้าวมีรงควัตถุหลายชนิด เช่น chlorophyll, lutein, xanthophylls, carotenoids และผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายโปรตีน (สารให้สีน้ำตาล) เป็นต้น โดยมี chlorophyll สูงกว่า 20 ppm ส่วนสารให้สีน้ำตาลที่มาจากโปรตีนอาจมีปริมาณมาก ซึ่งทำให้การกำจัดสี (bleaching) ทำได้ยาก โดยเฉพาะน้ำมันที่สกัดจากรำข้าวที่ใช้ความร้อนสูงกว่าปกติในขั้นตอนการรักษาเสถียรภาพของรำข้าว ซึ่งรำข้าวที่เก็บรักษาในสถานะที่ไม่เหมาะสมจะให้น้ำมันที่มีสีคล้ำ

2.3 การสูญเสียน้ำมัน (Refining loss) ในกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์

คุณภาพของน้ำมันที่ผ่านกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์นั้นต้องมียอดประกอบของน้ำมัน เช่น กรดไขมันอิสระ และฟอสฟาไทด์ ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด รวมทั้งน้ำมันที่ได้ต้องมีความคงตัวและไม่เหม็นหืน กระบวนการผลิตต้องสามารถรักษาสารที่มีประโยชน์ในน้ำมันไว้ได้ นอกจากนี้ต้องมีการสูญเสียน้ำมันในระหว่างกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ หรือ refining loss น้อยที่สุดด้วย ซึ่ง refining loss นี้เป็นสิ่งวัดประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต หากปริมาณน้ำมันที่ผลิตได้สูญเสียไปในระหว่างกระบวนการผลิตมาก จะทำให้ผลผลิตที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริงและมูลค่าของรายได้ลดลง

2.3.1 ขั้นตอนที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน

1. ขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง (neutralization) เป็นขั้นตอนที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันมากที่สุดในระหว่างกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ เนื่องจากขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยการทำปฏิกิริยากับด่างเพื่อให้กรดไขมันอิสระอยู่ในรูปของโซปสตู (soapstock) ซึ่งสบู่นี้เกิดขึ้นสามารถละลายน้ำ จึงสามารถแยกออกจากน้ำมันได้ แต่หากปริมาณด่างที่ใช้มากเกินไปจะเกิดสบู่มากขึ้น ซึ่งสามารถดูดซับน้ำมันได้เพิ่มขึ้นด้วย จึงทำให้ปริมาณน้ำมันลดลง
2. ขั้นตอนการกำจัดไข (dewaxing) สามารถทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันได้ เนื่องจากในขั้นตอนการกำจัดไขต้องลดอุณหภูมิให้ต่ำลง เพื่อให้ไขตกตะกอน โดยไขจะรวมตัวกันเป็นก้อนแยกตัวออกจากน้ำมันและมีการอุ้มน้ำมันส่วนหนึ่งเข้าไปด้วย ทำให้สูญเสียน้ำมันซึ่งสะสมอยู่ในตะกอนของไข
3. ขั้นตอนการกำจัดกลิ่น (deodorization) เป็นขั้นตอนการกำจัดกลิ่นด้วยไอน้ำ ซึ่งหากระยะเวลาไม่เหมาะสมจะทำให้สูญเสียน้ำมันประมาณ 0.5% เนื่องจากไออัตราของละอองไอน้ำที่สูงในระยะเวลาที่นานเกินไป หรือความเร็วของไอน้ำสูงเกินไปจะทำให้หยดน้ำมันออกไปพร้อมกับไอน้ำ (Bailey, 1951) โดยพบว่ากระบวนการกำจัดกลิ่นแบบ batch ซึ่งใช้เวลา 6-10 ชั่วโมง และใช้ความเร็วของไอน้ำสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันได้มากกว่าการกำจัดกลิ่นแบบต่อเนื่อง

2.3.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน

กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ก่อให้เกิดการสูญเสียน้ำมันในหลายขั้นตอน ทั้งนี้เนื่องมาจากองค์ประกอบที่มีอยู่ในน้ำมัน รวมทั้งปัจจัยอื่นๆ ดังต่อไปนี้

1. กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid) เนื่องจากการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีทางเคมี มีการใช้ด่างในการกำจัดกรดไขมันอิสระในขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง ถ้ากรดไขมันอิสระมีปริมาณสูง ต้องใช้ด่างปริมาณมากหรือใช้ด่างที่มีความแรงสูงในการกำจัด ทำให้เกิดสบู่มากขึ้น นอกจากนี้การใช้ด่างในปริมาณที่มากเกินไปหรือแรงเกินไป ด่างนั้นอาจกลายเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้มีกรดไขมันอิสระสูงขึ้น รวมทั้งไปทำปฏิกิริยากับกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์ ทำให้เกิดสบู่มากขึ้นด้วย ซึ่งสบู่เป็นตัวดูดซับน้ำมันได้ หากมีสบู่มากก็จะเพิ่มการดูดซับน้ำมันได้มากเช่นเดียวกัน ดังนั้นปริมาณน้ำมันจึงลดลง ซึ่งสามารถลดปัญหาได้โดยการคำนวณปริมาณและความแรงของด่างที่ใช้ให้พอดีกับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน (Forster และ Harper, 1983; Tandy และ Mcpherson, 1984)

2. ฟอสฟาไทด์ (Phosphatide) เนื่องจากเมื่อผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง ฟอสฟาไทด์ที่เหลือจากขั้นตอนการกำจัดขางเหนียวจะถูกกำจัดอยู่ในส่วนสบู่ ซึ่งฟอสฟาไทด์สามารถดึงน้ำมันส่วนหนึ่งไปอยู่ในชั้นสบู่ได้ เนื่องจากในโมเลกุลของฟอสฟาไทด์มีส่วนที่เป็นไขมันสายยาวซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ และส่วนที่เป็นหมู่ฟอสเฟตซึ่งต่ออยู่กับเบสจะมีคุณสมบัติชอบน้ำ ดังนั้นฟอสฟาไทด์จึงสามารถละลายได้ทั้งในน้ำและน้ำมัน ส่งผลให้เกิดการสูญเสียน้ำมัน (Narayan และคณะ, 2006) โดยน้ำมันพืชที่มีปริมาณฟอสฟาไทด์ต่ำ เช่น น้ำมันมะพร้าว palm kernel ไขมันจากสัตว์ และไขมันจากอาหารทะเล เป็นต้น จะมีการสูญเสียน้ำมันต่ำด้วย สำหรับการแก้ไขนั้นสามารถทำได้โดยการกำจัดฟอสฟาไทด์ในขั้นตอนการกำจัดขางเหนียวก่อนการทำให้เป็นกลาง (Hui, 1996)

3. โอไรซานอล (Oryzanol) เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรดและเป็นกลาง แต่แตกตัวละลายน้ำได้ในสภาวะด่างหรือในขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง โดยส่วนของกรดเพอริลิกที่มีหมู่ OH สามารถละลายลงมาอยู่ในชั้นสบู่ แต่ส่วนสเตอรอลของโอไรซานอล ซึ่งเป็นส่วนไม่มีขี้จะละลายอยู่ในน้ำมัน ส่งผลให้โอไรซานอลสามารถพาน้ำมันหลุดลงมาอยู่ในชั้นสบู่ได้ หากน้ำมันมีปริมาณของโอไรซานอลสูง เช่น ในน้ำมันรำข้าว จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันสูงด้วย (Mishra และคณะ, 1988)

4. ไข (Wax) เนื่องจากในขั้นตอนการกำจัดขี้ต้องลดอุณหภูมิให้ต่ำลงเพื่อให้ไขตกตะกอน โดยไขจะอุ้มน้ำมันส่วนหนึ่งเข้าไปด้วย ทำให้สูญเสียน้ำมันซึ่งสะสมอยู่ในตะกอนของไข นอกจากนี้ไขทำให้เกิดอิมัลชันในระหว่างการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งแยกน้ำมันออกมาจากส่วนสบู่ได้ยากขึ้น ปริมาณน้ำมันที่ได้จึงลดลง (Mishra และคณะ, 1988; Gopala Krishna, 1993; Gingras, 2000)

2.3.3 การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำมัน (เก่งหทัย ยืนยงสุวรรณ, 2548)

วิธีการวิเคราะห์หา refining loss เป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตน้ำมัน ซึ่งมีวิธีวิเคราะห์อยู่ด้วยกันหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน ดังนี้

1. วิธี AOCs cup method วิธีนี้เป็นที่นิยมและยังคงใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยชั่งน้ำมัน 500 กรัมใส่ลงใน refining cup ปรับอุณหภูมิให้เย็น เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ตามปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน กวนให้เข้ากัน จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วสูงที่อุณหภูมิเย็น และปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วต่ำที่อุณหภูมิสูง ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ลดอุณหภูมิให้เย็นลง ทิ้งไว้ 30 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 12 ชั่วโมง จากนั้นทำน้ำมันให้เย็นอีกครั้ง ทิ้งไว้ 30 นาที ก่อนรินน้ำมันออกไปใส่อีกภาชนะ เทส่วนสบู่ออกใน refining cup และนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ $75 \pm 2^{\circ}\text{C}$ นาน 30 นาที แล้วจึงนำไปแช่ในน้ำเย็นอีก 15 นาที จะได้น้ำมันออกมาจากส่วนของสบู่ เทน้ำมันออกมารวมกับน้ำมันที่ได้ในครั้งแรก ชั่งน้ำหนักน้ำมันที่ได้แล้วคำนวณ refining loss ตามสมการ (James, 1955; AOCS official method, 1997)

$$\text{Refining loss \%} = \frac{\text{mass, g of crude oil} - \text{mass, g of refined oil}}{500 \text{ g}} \times 100$$

2. Wesson method เป็นวิธีที่เก่าที่สุดในการวิเคราะห์ refining loss โดยชั่งน้ำมันลงในขวด 4-oz และเติมปิโตรเลียมอีเธอร์ ละลายให้เข้ากัน จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เขย่าให้เข้ากันนาน 3 นาที แล้วเติม 50% เอทิลแอลกอฮอล์เพื่อล้างสบู่จากน้ำมัน ตั้งทิ้งไว้และเทสารละลายน้ำมัน-ปิโตรเลียมอีเธอร์ในภาชนะใหม่ นำสบู่ออกมาล้างอีกครั้งด้วย 50% เอทิลแอลกอฮอล์โดยทำเช่นเดิม จากนั้นรวมทั้งสองส่วนเข้าด้วยกัน นำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เพื่อระเหยได้ปิโตรเลียมอีเธอร์และให้น้ำหนักน้ำมันคงที่ ชั่งน้ำหนักน้ำมันที่ได้แล้วนำมาคำนวณ โดยหาความแตกต่างระหว่างน้ำหนักของน้ำมันที่ได้กลับมากับน้ำมันดิบ ข้อเสียของวิธีการนี้คือเป็นวิธีที่ยุงยาก ใช้เวลานานและต้องการความชำนาญในการวิเคราะห์สูง แต่วิธีนี้สามารถทำซ้ำและให้ผลที่ใกล้เคียงกันมากกว่าวิธี cup method (King และ Wharton, 1948)

3. Acetone insoluble method เป็นวิธีการหาการสูญเสียไขมันโดยใช้ส่วนที่ไม่ละลายในอะซิโตน ซึ่งมีวิธีการวิเคราะห์ดังนี้ ชั่งน้ำมัน 5 กรัมใส่ลงในหลอดเซนติฟิวส์ให้มีค่าแตกต่างไม่เกิน 0.1 มิลลิกรัม จากนั้นเติมอะซิโตนที่ $0-5^{\circ}\text{C}$ คนให้เข้ากัน แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 2,500 รอบต่อนาที (rpm) นาน 10 นาที เทส่วนน้ำมัน-อะซิโตนออก ส่วนตะกอนที่เหลือให้ใส่อะซิโตนเย็นแล้วคนให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 2,500 rpm นาน 10 นาที เทส่วนสีที่ได้ ออก นำตะกอนที่ได้มารวมกัน จากนั้นนำไปใส่ใน

ตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 30 นาที เพื่อไล่อะซิโตนออก ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำมาชั่ง น้ำหนักหาเปอร์เซ็นต์ของ acetone-insoluble โดยนำน้ำหนักที่ทราบคูณกับ 100หารด้วยน้ำหนัก ตัวอย่างเริ่มต้น วิธีการนี้หากทราบเปอร์เซ็นต์ที่แน่นอนของกรดไขมัน acetone-insoluble ความชื้น และสารที่ระเหยได้ ก็สามารถทราบน้ำหนักของน้ำมันที่เหลือได้ โดยวิธีนี้มีข้อเสียคือต้องการความ ชำนาญในการวิเคราะห์สูง

4. Chromatographic method มีวิธีการวิเคราะห์คือ นำน้ำมันมาชั่งน้ำหนักแล้วเติมไดเอทิลอีเธอร์ จากนั้นเทสารละลายน้ำมัน-ไดเอทิลอีเธอร์ใส่ในคอลัมน์แบบ activated alumina เพื่อกำจัดกรดไขมัน อีสาระ ความชื้น สารที่ระเหยได้ กำหรือฟอสฟาไทด์ออก หลังจากสารละลายผสมผ่านคอลัมน์ให้เก็บ ส่วนสารละลายอีเธอร์ แล้วนำไปประเหยอีเธอร์ออกด้วยตู้อบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 105°C จนน้ำหนัก คงที่ แล้วนำมาคำนวณ โดยนำน้ำหนักของน้ำมันที่ได้คูณ 100หารด้วยน้ำหนักน้ำมันดิบ จะได้ปริมาณ น้ำมันที่อยู่ในตัวอย่าง วิธีนี้มีข้อดีคือ เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว (James, 1955)

2.4 Hematocrit (Pflanzer, 1995; Labwork Co.,Ltd., 2004; Fankhauser, 2006)

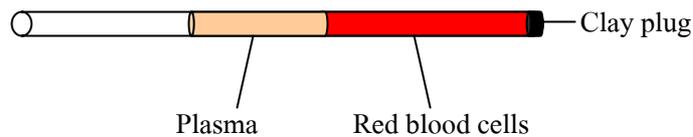
Hematocrit เป็นเครื่องมือที่ใช้ในทางการแพทย์ และเป็นวิธีการวัดความเข้มข้นของเลือดอีกวิธีหนึ่ง นอกเหนือจากการนับจำนวนเม็ดเลือดแดง (Red Blood Cell count; RBC) จำนวนเกร็ดเลือด (platelet count) hemoglobin และค่าเฉลี่ยปริมาตรเม็ดเลือดแดง (MCV) โดยคำว่า hemato แปลว่า เลือด ส่วน crit แปลว่า การแยก ดังนั้น hematocrit (HCT) จึงเป็นการแยกเลือด (Pflanzer, 1995) โดยเครื่อง hematocrit มีลักษณะดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของเครื่อง Hematocrit (Nuve, 2006)

2.4.1 หลักการของ Hematocrit

Hematocrit เป็นการแยกเม็ดเลือดแดง (red blood cell) ออกจากน้ำเลือด (plasma) โดยใช้แรงเหวี่ยง ด้วยเวลาและความเร็วที่เหมาะสม ซึ่งส่วนมากใช้ความเร็วรอบที่ 11,500 rpm และใช้เวลา 5 นาที (Labwork Co.,Ltd., 2004) โดยเม็ดเลือดจะถูกอัดแน่นภายในหลอดไมโครแคพิลลารี (microcapillary) และแยกออกจากน้ำเลือดดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การแยกตัวของเม็ดเลือดในหลอดแคพิลลารี

อัตราส่วนของเม็ดเลือดต่อปริมาณเลือดทั้งหมด หรือค่า hematocrit (%) สามารถหาได้จากการนำหลอดแคพิลลารีมาเทียบ hematocrit scale หรือวัดความยาวของหลอดแต่ละส่วน และคำนวณตามสมการ $\text{Hematocrit} = (\text{ความยาวของส่วนเม็ดเลือดแดง} \times 100) / \text{ความยาวของตัวอย่างเลือดทั้งหมด}$

2.4.2 วิธีการวัด Hematocrit (Fankhauser, 2006)

การวัดค่า hematocrit นั้นใช้กันอย่างกว้างขวางในห้องปฏิบัติการทางการแพทย์ โดยสามารถวัดปริมาณเม็ดเลือดและน้ำเลือดที่เป็นองค์ประกอบของเลือดได้ ขั้นตอนเริ่มจากการเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ เช่น หลอดแคพิลลารี และสำลี เป็นต้น จากนั้นล้างมือให้สะอาด สวมถุงมือทุกครั้ง และทำการเช็ดนิ้วที่จะทำการเจาะเลือดด้วย 70% เอทานอล ทำการเจาะเลือด และวางหลอดแคพิลลารีบนนิ้ว ทำมุมให้พอดี เพื่อให้เลือดขึ้นไปในหลอดแคพิลลารี พยายามไม่ให้เกิดฟองอากาศภายในหลอด ปิดท้ายหลอดด้วยดินน้ำมันหรือไข จากนั้นนำหลอดไปวางในเครื่อง hematocrit โดยให้ปลายด้านที่ปิดไว้อยู่ด้านนอก และต้องวางหลอดแคพิลลารีอีกหลอดไว้ด้านตรงข้ามเพื่อให้เกิดความสมดุล ทำการปั่นเหวี่ยงโดยใช้ความเร็วรอบและระยะเวลาที่เหมาะสม หลังจากนั้นนำหลอดแคพิลลารีออก ซึ่งภายในหลอดจะแยกออกเป็นส่วนๆ สามารถวัดค่าได้โดยการเทียบกับ hematocrit scale ซึ่งทราบค่า hematocrit ได้ทันที

ปกติค่า hematocrit ของผู้ชายเท่ากับ 40-54% ส่วนของผู้หญิงเท่ากับ 37-47% ซึ่งหากค่าที่ได้ต่ำกว่านี้ ถือว่ามีภาวะของโรคโลหิตจาง (anemia) ซึ่งอาจเกิดจากการเสียเลือด ไชกระดูกไม่ทำงาน เม็ดเลือดแดงแตก มะเร็งเม็ดเลือดขาว การขาดสารอาหาร หรือเกิดอาการช้ออักเสบขึ้น ส่วนการที่ค่า hematocrit มากกว่าค่าปกติ แสดงว่าเกิดภาวะเม็ดเลือดแดงมากกว่าปกติ (polythemia) ซึ่งอาจเกิดจาก

การขาดน้ำ ไฟไหม้ ท้องร่วง หรือภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ เช่น การสูบบุหรี่ โรคหัวใจพิการแต่กำเนิด หรือการอาศัยในที่สูง เป็นต้น (Siamhealth, 2006)

จะเห็นว่าเครื่อง hematocrit สามารถแยกองค์ประกอบของเลือดที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันโดยใช้แรงเหวี่ยงได้ ซึ่งการแยกตัวอย่างของน้ำมันที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นกลางที่มีทั้งส่วนน้ำมันและสปูออกจากกันก็ใช้แรงเหวี่ยงในการแยกเช่นเดียวกับการแยกเลือดด้วยเครื่อง hematocrit แต่การใช้เครื่อง hematocrit นั้นจะใช้ปริมาณตัวอย่างน้อย และสามารถแยกสารได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเครื่อง hematocrit มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์การสูญเสียไขมัน ซึ่งอาจเป็นวิธีที่สะดวก รวดเร็ว และใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่าการวิเคราะห์การสูญเสียไขมันด้วยวิธีการเดิม

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 การสูญเสียไขมันในกระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์

กระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ (refining) ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมักเป็นกระบวนการทางเคมี (chemical refining) ซึ่งการทำให้ไขมันรำข้าวบริสุทธิ์นั้นทำได้ยากและมีปัญหาหลายประการ โดย Cousins และคณะ (1955) ศึกษาเปรียบเทียบไขมันรำข้าวกับไขมันชนิดอื่นที่มีกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid; FFA) เท่ากัน พบว่าไขมันรำข้าวเกิดการสูญเสียไขมันในระหว่างการทำให้บริสุทธิ์ทางเคมีมากกว่าไขมันชนิดอื่น โดยไขมันรำข้าวที่มีกรดไขมันอิสระ 5.5% สามารถเกิดการสูญเสียน้ำมันได้สูงถึง 50% นอกจากนี้ยังสังเกตว่าส่วนสปูหรือที่เรียกว่าฟุต (foot) รวมตัวกันน้อย และแยกออกจากน้ำมันได้ไม่ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากมีสารบางอย่างในไขมันรำข้าวที่ทำให้ไขมันเป็นอิมัลชัน (emulsion) ในระหว่างการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ด้วยด่าง (alkali refining) ซึ่ง Ramos (1969) กล่าวว่ากรณีที่ไขมันรำข้าวเกิดการสูญเสียไขมันสูง สาเหตุอาจเกิดจากสารสโปนนิน (saponin) แต่ขาดการทดลองเพื่อสนับสนุนแนวคิดดังกล่าว

Hartman และ Dos Reis (1976) รายงานว่าสารที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxylated compound) เช่น โมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) ไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) และไกลโคไซด์ (glycoside) มีบทบาททำให้ refining loss ของไขมันรำข้าวสูงขึ้น ซึ่งสามารถลด refining loss ลงได้โดยให้ไขมันรำข้าวทำปฏิกิริยากับอะซิติกแอนไฮไดรด์ (acetic anhydride) เพื่อลดจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลลง อย่างไรก็ตาม acetic anhydride มีราคาแพงจึงยังไม่สามารถนำวิธีนี้ไปใช้ได้จริงในโรงงานอุตสาหกรรม นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังขาดการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่า glycoside มีบทบาทต่อการเกิด refining loss อย่างไร ซึ่งต้องทำการศึกษาต่อไป

จากการที่น้ำมันรำข้าวที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ด้วยด่าง (caustic refining) เกิดการสูญเสียน้ำมันเป็นปริมาณมาก จึงมีการเปรียบเทียบกับวิธีอื่นคือการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ด้วยตัวทำละลาย (solvent refining) และไอน้ำ (steam refining) โดย Kim และคณะ (1985) พบว่าประสิทธิภาพในการลดความเป็นกรด (deacidification) หรือการกำจัดกรดไขมันด้วยวิธี caustic refining > steam refining > solvent refining ตามลำดับ แต่หากพิจารณาที่ปริมาณของน้ำมัน (ไตรกลีเซอไรด์) ที่ได้และสารที่มีประโยชน์ (oryzanol และ tocopherol) ที่คงเหลืออยู่ในน้ำมันรำข้าว กลับพบว่า caustic refining < solvent refining < steam refining ตามลำดับ steam refining ทำให้น้ำมันมีสีคล้ำ ซึ่งแก้ไขได้โดยการกำจัดสี (bleaching) ของน้ำมันก่อนเข้าสู่ขั้นตอน steam refining ส่วน solvent refining น้ำมันมีสีคล้ำและเกิดการสูญเสียน้ำมันเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันเพิ่มขึ้น โดยเมทานอลเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดเพราะทำให้น้ำมันสูญเสียไป 15% ในขณะที่การใช้เอทานอลและไอโซโพรพานอล สูญเสียน้ำมันไปถึง 85% สำหรับ caustic refining นั้นเกิดการสูญเสียน้ำมันและสารที่มีประโยชน์มากที่สุด รวมทั้งผลิตส่วนไขสบู่ ซึ่งต้องนำไปบำบัดต่อ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยอื่นๆ ที่พยายามหาวิธีการลดการสูญเสียน้ำมันรำข้าวลง

Bhattacharyya และ Bhattacharyya (1987) ศึกษาการ deacidification ของน้ำมันรำข้าวด้วยกระบวนการรีเอสเทอร์ริฟิเคชัน (reesterification) ซึ่งเปลี่ยนกรดไขมันอิสระให้เป็นกลีเซอไรด์ โดยใช้หมู่ไฮดรอกซิลอิสระ (free hydroxyl group) ที่อยู่ในน้ำมันรำข้าว หรือเติมหมู่ไฮดรอกซิลผ่านทางกลีเซอรอล (glycerol) ภายใต้บรรยากาศก๊าซเฉื่อยและอุณหภูมิสูง ควบคู่กับ alkali refining พบว่าการเติม glycerol และการใช้น้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางเหนียวและไข (degummed & dewaxed oil) ทำให้ประสิทธิภาพของการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น โดยน้ำมันที่ผ่านรีเอสเทอร์ริฟิเคชันนั้นมีไดกลีเซอไรด์ (diglyceride) เพิ่มขึ้น ส่วนโมโนกลีเซอไรด์ (monoglyceride) และกรดไขมันอิสระลดลง จากเดิมที่มีกรดไขมันอิสระ 20.5% ลดลงเหลือ 6.5% นอกจากนี้เมื่อนำน้ำมันที่ผ่านรีเอสเทอร์ริฟิเคชันไปผ่านขั้นตอน alkali refining พบว่าไม่ได้ช่วยให้สีของน้ำมันดีขึ้น และเกิดการสูญเสียน้ำมันสูงถึง 22.4% ซึ่งคาดว่ามีส่วนสาเหตุจากปริมาณโมโนกลีเซอไรด์ที่อยู่ในน้ำมัน 1-2% เนื่องจากโมโนกลีเซอไรด์มีส่วนไฮโดรคาร์บอนที่ละลายในน้ำมัน และมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระที่สามารถละลายน้ำ จึงอาจดึงน้ำมันให้ไปอยู่ในชั้นน้ำหรือสบู่ได้ น้ำมันจึงลดลง อย่างไรก็ตามการรวมทั้งสองวิธีสามารถลดกรดไขมันอิสระจาก 6.5% เป็น 0.22% แต่ต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงและไม่เป็นที่นิยมของผู้บริโภค

Mishra และคณะ (1988) ได้ศึกษาถึงองค์ประกอบบางชนิดของน้ำมันรำข้าวที่อาจมีผลต่อการสูญเสีย น้ำมัน โดยใช้น้ำมันถั่วลิสง (peanut oil) ที่เติมกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว 6.8 % เป็นน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง และใช้วิธีปั่นเหวี่ยงแบบดั้งเดิม (conventional centrifugation) ในการหา refining loss ซึ่งวิธีนี้มีขั้นตอนคือ ชั่งน้ำมัน 10 กรัม ในหลอด centrifuge เติมน้ำลงไปผสมให้เข้ากัน 3 นาทีที่

อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปแช่ไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 65°C กวนอย่างช้าๆ 3 นาที ทิ้งไว้อีก 7 นาที นำไปแช่ในน้ำเย็นและนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 1405 g นาน 5 นาที เหนี่ยวน้ำมันออกและชั่งน้ำหนัก นำมาคำนวณ refining loss พบว่า ไข และ โอโรซานอล ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันเพิ่มขึ้น ดังตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 แสดงผลของโอโรซานอลและไขต่อการสูญเสียไขมัน (Mishra และคณะ, 1988)

Level (%)	% Refining loss	
	Oryzanol	Rice bran wax
0.0	16.0	15.5
0.1	16.7	19.5
0.2	-	19.8
0.5	17.4	-
1.0	19.6	26.5
2.0	24.8	28.1
4.0	-	34.3
5.0	-	36.1

เมื่อปริมาณของโอโรซานอลเพิ่มขึ้น 1% ทำให้เกิด refining loss เพิ่มขึ้นจาก 16% เป็น 19.6% ส่วนการเพิ่มปริมาณไขเพียง 0.2% จะทำให้ refining loss เพิ่มจาก 15.5 % เป็น 19.8 % สำหรับฟอสฟาไทด์ โมโนกลีเซอไรด์ และไดกลีเซอไรด์นั้นไม่มีผลต่อการสูญเสียไขมัน อย่างไรก็ตามไขรำข้าวประกอบด้วยไขมันแอลกอฮอล์ และ wax ester ซึ่งการศึกษานี้ก็ยังไม่ได้อธิบายว่าองค์ประกอบใดในไขรำข้าวที่มีผลต่อการเกิดการสูญเสียของไขมัน

งานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าไขมีผลต่อการสูญเสียไขมัน ดังนั้น Gopala Krishna (1993) จึงศึกษาผลของความหนืดต่อการรวมตัวของไขและการสูญเสียไขมัน พบว่าไขสามารถเพิ่มความหนืดของน้ำมัน 81.5% ส่วนโมโนกลีเซอไรด์สามารถเสริมฤทธิ์ (synergistic effect) ของไข ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น 15.5% ปริมาตรของไขที่รวมตัวกันเพิ่มขึ้น 18.4% และปริมาณน้ำมันที่ลดลง 58.3% ดังนั้นจึงควรกำจัดโมโนกลีเซอไรด์ก่อนการกำจัดไข เพื่อลดการสูญเสียไขมัน โดยน้ำมันส่วนที่มีกลีเซอไรด์มีความหนืด 67.3 และสูญเสียไขมันสูงถึง 78% ในขณะที่น้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์มีความหนืด 36.7 และสูญเสียไขมันเพียง 17.6% ซึ่งการสูญเสียไขมันที่เพิ่มขึ้นนี้ นอกจากขึ้นอยู่กับความหนืดแล้วยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอื่นจำพวกไข และโมโนกลีเซอไรด์ รวมทั้งโอโรซานอล และ phospholipids แต่กลไกการเพิ่มความหนืดเนื่องจากสารเหล่านี้ยังไม่สามารถอธิบายได้ สันนิษฐานว่าเป็นผลจากการเกิดอิมัลชัน

ต่อมา เก่งหทัย ยืนยงสุวรรณ (2548) ได้ศึกษาปริมาณของกรดไขมันอิสระ และองค์ประกอบอื่นๆ คือ ไขมันแอลกอฮอล์ และ wax ester ต่อการเกิด refining loss ของน้ำมันด้วย High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่ากรดไขมันอิสระและไขมันไม่อิ่มตัวมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของ refining loss แต่ไขมันแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 14-20 อะตอม wax ester (C36) ที่สังเคราะห์จาก stearic alcohol และ stearic acid รวมทั้งของผสมระหว่าง stearic alcohol กับ wax ester สังเคราะห์ ไม่มีผลต่อการสูญเสียไขมัน ทั้งนี้เนื่องจากความยาวของสายคาร์บอนของ wax ester และไขมันแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทดลองสั้นกว่าที่มีอยู่จริงในไขมัน

จากงานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่สามารถหาคำตอบได้ว่า องค์ประกอบใดในไขมันที่เป็นปัจจัยสำคัญในการทำให้เกิดการสูญเสียไขมันในขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง (neutralization) ในกระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ ดังนั้นจึงต้องทำการวิจัยต่อโดยดูผลของไขมันแอลกอฮอล์สายยาว ต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน

2.5.2 การวิเคราะห์การสูญเสียไขมัน

วิธีการวิเคราะห์การสูญเสียไขมันในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี เช่น AOCS cup method, Wesson method, Acetone insoluble method, Chromatographic method และวิธีปั่นเหวี่ยงแบบดั้งเดิม (conventional centrifugation) แต่ก็มีปัญหาในเรื่องวิธีการที่ยากซับซ้อน ใช้เวลานาน และใช้ปริมาณตัวอย่างสูง (James, 1955; AOCS official method, 1997) ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีวิเคราะห์การสูญเสียไขมันมีน้อย และมีการวิจัยในระยะแรกเท่านั้น

King และ Wharton (1948) ได้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การสูญเสียไขมันเมล็ดฝ้ายและน้ำมันถั่วเหลืองดิบจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Wesson และ cup method พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์และความสามารถในการวิเคราะห์ซ้ำ (reproducibility) ของทั้ง 2 วิธี พบว่าความสามารถในการวิเคราะห์น้ำมันเมล็ดฝ้ายดิบ และน้ำมันถั่วเหลืองดิบอย่างละ 40 ตัวอย่างด้วยวิธี Wesson มีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.068 และ 0.073 ตามลำดับ ส่วนการวิเคราะห์ด้วย cup method มีค่าเท่ากับ 0.270 ในน้ำมันทั้ง 2 ชนิด ดังนั้นวิธี Wesson จึงมีความสามารถในการวิเคราะห์ซ้ำมากกว่าวิธี cup method ถึง 4 เท่า และเป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์การสูญเสียไขมันได้ใกล้เคียงกับที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด โดยอัตราส่วนเฉลี่ยของค่า refining loss จากวิธี cup method ต่อ Wesson method ของน้ำมันเมล็ดฝ้ายดิบเท่ากับ 2.3 แต่ในน้ำมันถั่วเหลืองดิบเท่ากับ 1.7 เนื่องจากชนิดของน้ำมัน กระบวนการสกัด และพื้นที่ในการเพาะปลูกมีผลต่อค่า refining loss ของแต่ละวิธี ดังนั้นจึงไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงของทั้ง 2 วิธีได้

Marcopoulos (1965) ศึกษาความสัมพันธ์ของการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำมันด้วยวิธี Wesson method, acetone-insoluble method และ chromatographic method ในน้ำมันจากเมล็ดพิสตาคเซีย (pistacia) ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีประโยชน์ และมีปริมาณมากในประเทศกรีซ รวมทั้งยังไม่มีการวิจัยเกี่ยวกับน้ำมันดังกล่าว โดยพบว่าค่า refining loss ของน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระเท่ากัน เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี Wesson และ chromatographic method มีค่าใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่าค่าจากวิธี acetone-insoluble method ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากค่า refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี acetone-insoluble method เป็นการรวมค่าความชื้น สารที่ระเหยได้ (volatile matter) กรดไขมันอิสระ และฟอสฟาไทด์เข้าด้วยกัน ดังนั้นการที่น้ำมันจากเมล็ดพิสตาคเซียมีปริมาณของฟอสฟาไทด์ต่ำจึงทำให้เห็นผลที่เกิดขึ้นไม่ชัดเจน และเกิดความผิดพลาดเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี acetone-insoluble method ได้ จึงต้องศึกษาความสัมพันธ์ของทั้ง 3 วิธี โดยใช้น้ำมันชนิดอื่นต่อไป

Mishra และคณะ (1988) ศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันรำข้าวบางชนิดที่อาจมีผลต่อการสูญเสียน้ำมัน โดยใช้น้ำมันถั่วลิสงที่เติมกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว 6.8% เป็นน้ำมันที่ใช้ในการทดลอง พร้อมกับเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์การสูญเสียน้ำมันของ AOCS cup method, chromatographic method, Wesson losses และวิธีปั่นเหวี่ยง (centrifuge) พบว่าสามารถเรียงลำดับวิธีที่ให้เปอร์เซ็นต์ refining loss สูงไปต่ำได้ดังนี้ AOCS cup method > Centrifuge method > Chromatographic method > Wesson method

เก่งหทัย ยืนยงสุวรรณ (2548) ได้ศึกษาปริมาณของกรดไขมันอิสระ และองค์ประกอบไขมันรำข้าว คือ ไขมันแอลกอฮอล์ และ wax ester ต่อการเกิดการสูญเสียของน้ำมันรำข้าวด้วยเครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) พบว่าค่า refining loss ที่ได้จากรีวิธี HPLC ต่ำกว่าวิธีปั่นเหวี่ยง ซึ่งอาจเนื่องมาจากความสามารถในการตอบสนองต่อเครื่องตรวจวัดชนิด Evaporative light scattering photometer (ELSD) ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามวิธี HPLC นี้รวดเร็ว ใช้ตัวอย่างน้อย และสามารถทราบชนิดและปริมาณของสารที่สูญเสียไปได้

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

- เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (HPLC) คอลัมน์ชนิด Phenogel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.8 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตร ขนาดอนุภาคบรรจุ 5 ไมครอน ความพรุน (porosity) 100 Å ต่อกับ injector ยี่ห้อ Rheodyne รุ่น 7125 Sample loop ขนาด 20 ไมโครลิตร ปั๊ม (pump) ของ Waters รุ่น 510 และเครื่องตรวจวัดชนิด Evaporative Light Scattering Detector (ELSD) ของ SEDEX รุ่น 55 เครื่องประมวลผลรุ่น CSW 32 ของบริษัท Sedere ประเทศฝรั่งเศส ใช้แก๊สไนโตรเจน (99.5%) ของบริษัทแพร็กซ์แอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ในการระเหยตัวทำละลายออก
- เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟ Shimadzu รุ่น GC-17A เครื่องตรวจวัดชนิด Flame Ionization (FID) ต่อกับเครื่องประมวลผล CBM-102 จากบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น คอลัมน์ Zebron ZB-5 (5% phenyl-95% diethylpolysiloxane) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร ความยาว 30 เมตร ใช้แก๊สไนโตรเจน (99.99%) ของบริษัทแพร็กซ์แอร์ (ประเทศไทย) จำกัด เป็นแก๊สตัวพา
- เครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง รุ่น High speed micro refrigerated centrifuge MTX-510 ของบริษัท Tomy Seiko ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง รุ่น BL-620S ของบริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง รุ่น A 200S ของบริษัท Sartorius ประเทศเยอรมัน
- เครื่อง Rotary evaporator รุ่น BUCHI Rotavapor R-200
- ตู้อบความร้อน รุ่น NDO-600 ของบริษัท Eyela ประเทศญี่ปุ่น
- เครื่องกวนสารและให้ความร้อน (hot plate stirrer)
- อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
- เครื่องปั่นผสม (vortex mixer) Scientific Industries ประเทศสหรัฐอเมริกา
- เครื่องแก้วต่าง ๆ เช่น ปีกเกอร์ ขวดวัดปริมาตร หลอดทดลองฝาเกลียว
- กรวยแยก (separation Funnel)
- กระดาษกรอง (glass microfibre filters; GF/C) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Whatman
- เครื่อง Hematocrit centrifuge รุ่น HN 075 ของบริษัท Nuve ประเทศตุรกี
- หลอด Micro haematocrit (capillary tube) ยี่ห้อ BRIS ประเทศเคนมาร์ก
- ดินน้ำมัน

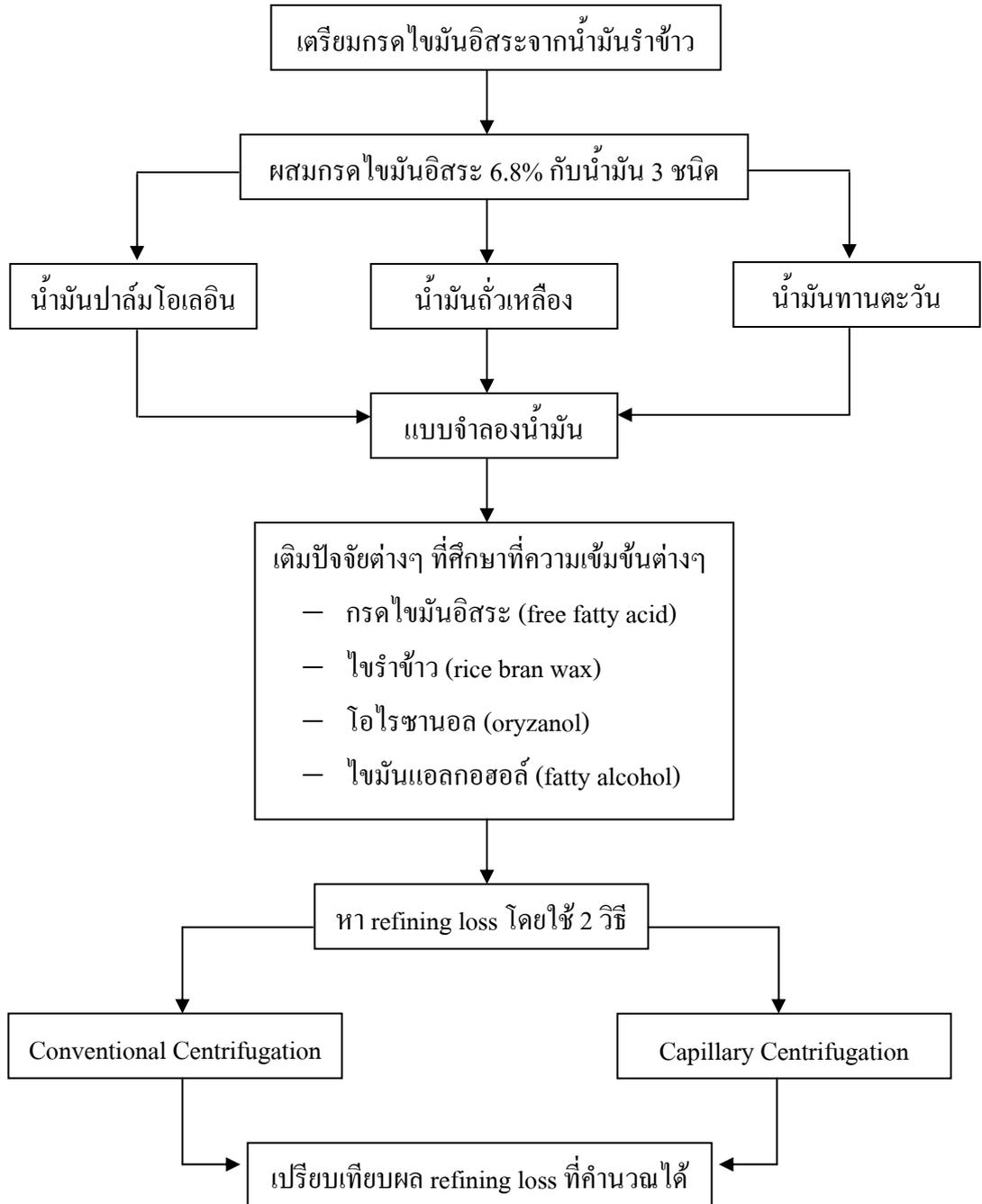
3.1.2 สารเคมี

- เฮกเซน (hexane; C_6H_{14}) analytical และ commercial grade
- เอทานอล (ethanol ; CH_3CH_2OH) analytical grade
- เอทิลอะซิเตท (ethyl acetate; $C_2H_5COOC_2H_5$) analytical grade
- คลอโรฟอร์ม (chloroform; $CHCl_3$) analytical grade
- โทลูอีน (toluene; $C_6H_5CH_3$) analytical grade
- เตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran; C_4H_8O) HPLC grade
- ไตรเมทิลเพนเทน (2,2,4-trimethylpentane; $(CH_3)_2CHCH_2C(CH_3)_3$) หรือ ไอโซออกเทน (isooctane) analytical grade
- ไอโซโพรพานอล (isopropanol) commercial grade
- กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric 37%; HCl) analytical grade
- กรดอะซิติก (acetic acid 98%; CH_3COOH)
- โซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส (sodium sulfate anhydrous; Na_2SO_4) analytical grade
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide; NaOH) analytical grade
- โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide; KOH)
- ซิลิกาเจล (silica gel 60 GF₂₅₄)
- Phenolphthalein indicator (1% ใน 95% ethanol)

3.1.3 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

- น้ำมันรำข้าว (refined rice bran oil) ตราคิง บริษัทน้ำมันบริโภคไทย จำกัด
- น้ำมันปาล์มโอเลอิน (refined palm olein oil) ตรามรกต บริษัทมรกต อินดัสตรี จำกัด (มหาชน)
- น้ำมันถั่วเหลือง (refined soybean oil) ตราอรุณ บริษัท น้ำมันพืชไทย จำกัด (มหาชน)
- น้ำมันทานตะวัน (refined sunflower oil) ตราอรุณ น้ำมันพืชไทย จำกัด (มหาชน)
- ไขรำข้าวจากการผลิตน้ำมันรำข้าว (rice bran wax) จาก บริษัทน้ำมันบริโภคไทย จำกัด

3.2 วิธีการทดลอง



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทดลอง

3.2.1 การเตรียมแบบจำลองน้ำมัน

3.2.1.1 การเตรียมกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว

เตรียมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายใน 80% เอทิลแอลกอฮอล์ โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 60 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร และผสมกับเอทิลแอลกอฮอล์อีก 400 มิลลิลิตร ซึ่งจะได้สารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ 3 นอร์มัล นำมาผสมกับน้ำมันรำข้าว 200 กรัม จากนั้นรีฟลักซ์ที่อุณหภูมิ 80°C พร้อมทั้งกวนตัวอย่างด้วย magnetic bar เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตรวจสอบความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาด้วย Thin layer chromatography (TLC) หรือ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) เมื่อไม่พบไตรกลีเซอไรด์แล้ว ให้นำตัวอย่างมาละลายน้ำร้อนให้เข้ากัน เทใส่กรวยแยก เดิมเฮกเซนและเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้จนแยกชั้น เก็บชั้นล่างซึ่งเป็นชั้นน้ำมาสกัดด้วยเฮกเซนอีกครั้งหนึ่ง และนำชั้นน้ำมา acidified ด้วยกรดไฮโดรคลอริกจนมี pH เท่ากับ 1 เทใส่กรวยแยก และเติมโทลูอีน เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น เก็บชั้นโทลูอีนหรือชั้นบนมาใส่ในกรวยแยกและล้างด้วยน้ำอีก 3-4 ครั้ง นำชั้นโทลูอีนมาใส่ใน flask เดิมโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส ประมาณ 2 กรัม กรองโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัสออก จากนั้นนำไประเหยโทลูอีนออกด้วยเครื่อง rotary evaporator และเก็บกรดไขมันอิสระของน้ำมันรำข้าวที่ได้ในขวดสีชา

3.2.1.2 การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว

ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกรดไขมันอิสระด้วย TLC โดยทำการ spot สารตัวอย่างจากกระบวนการแยกกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว เทียบกับสารมาตรฐาน ได้แก่ น้ำมันรำข้าวหรือไตรกลีเซอไรด์ และกรดโอเลอิก ลงบนแผ่นกระดาษที่เคลือบด้วยซิลิกาเจล จุ่มลงในวัฏภาคเคลื่อนที่ ซึ่งประกอบด้วย Hexane : Ethyl acetate : Acetic acid (90 : 10 : 1) โดยปริมาตร และตรวจสอบการเคลื่อนที่ของสารมาตรฐานและสารตัวอย่างด้วยไออิมตัวของไอโอดีน ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของกรดไขมันอิสระอีกครั้งด้วย HPLC โดยนำกรดไขมันอิสระที่สกัดได้จากน้ำมันรำข้าวมาละลายด้วยโทลูอีน ฉีดเข้าเครื่อง HPLC ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ใช้คอลัมน์ phenogel ที่ต่อกับเครื่องตรวจวัดชนิด Evaporative Light Scattering Detector (ELSD) โดยใช้ 0.5% เตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran; THF) ในโทลูอีน เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 25-30°C ที่ความดัน 2 bar

3.2.1.3 การเตรียมแบบจำลองน้ำมันรำข้าว

ซึ่งกรดไขมันอิสระที่สกัดได้จากน้ำมันรำข้าว 47.6 กรัม และเติมน้ำมันปาล์มโอเลอินลงไปจนมีน้ำหนักรวมเท่ากับ 700 กรัม จะได้แบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8% ส่วนการเตรียมแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันทานตะวันนั้น มีวิธีการเตรียมเช่นเดียวกับแบบจำลองจากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ซึ่งจะใช้แบบจำลองน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8%

ในการศึกษาปัจจัยของโอโรซานอล ไชร่าข้าว และไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อการเกิด refining loss ในขณะที่เดียวกันจะศึกษาผลของกรดไขมันอิสระต่อการเกิด refining loss โดยการเติมกรดไขมันอิสระที่ปริมาณ 2, 5, 6.8, 10, 15 และ 20% (w/w) ลงในน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน แล้วทำการวิเคราะห์ refining loss

3.2.1.4 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในแบบจำลองน้ำมัน (AOCS Official Method, 1997)

ซึ่งแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มโอเลอินหนัก 7 กรัมลงในขวดรูปชมพู่ เติมเอทานอลร้อน 75 มิลลิลิตร และ phenolphthalein 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอร์มัล เขย่าให้เข้ากันจนได้สารละลายสีชมพูที่คงตัวนาน 30 วินาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ พร้อมทั้งทำ blank โดยใช้ตัวอย่างที่ไม่เติมน้ำมันและไตเตรตเช่นเดียวกับแบบจำลองน้ำมัน สำหรับแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันชนิดอื่น วิเคราะห์เช่นเดียวกับแบบจำลองจากน้ำมันปาล์มโอเลอิน ปริมาณกรดไขมันอิสระในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจะคำนวณในรูปของกรดโอเลอิก (oleic acid) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\% \text{Free fatty acid} = \frac{(A - B) \times N \times 28.2}{W}$$

- เมื่อ
- A = ปริมาตรของ NaOH 0.25 N ที่ใช้ในการไตเตรตกับตัวอย่าง (ml)
 - B = ปริมาตรของ NaOH 0.25 N ที่ใช้ในการไตเตรตกับสารละลาย Blank (ml)
 - N = ความเข้มข้นของ NaOH (normality)
 - W = น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (g)

จากนั้นคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระให้อยู่ในรูป acid value โดย

$$\text{Acid value} = \% \text{ Free fatty acid} \times 1.99$$

3.2.2 การวิเคราะห์ Refining Loss

3.2.2.1 การหาความแรงและปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระในแบบจำลองน้ำมัน

ก) คำนวณความแรงและปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระ

เมื่อทราบปริมาณของกรดไขมันอิสระที่มีอยู่จริงในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันแต่ละชนิดแล้วให้นำค่าที่ได้มาคำนวณหาความแรงและปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปองศา Baume (°Be) ซึ่งเป็นค่าที่มักใช้ในอุตสาหกรรม โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Treat} = \frac{(0.142 \times \text{FFA}) + \text{Excess}}{(\% \text{NaOH}/100)}$$

- เมื่อ Treat = ปริมาณของ NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระ (ml)
 0.142 = อัตราส่วนของมวลโมเลกุลของ NaOH ต่อกรดโอเลอิก (40/282.47)
 FFA = เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ (%)
 Excess = ปริมาณของ NaOH ส่วนเกิน ดังตารางที่ 3.1
 %NaOH = ความแรงของ NaOH แสดงค่าดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เกินพอสำหรับน้ำมันประเภทต่างๆ (Hui, 1996)

Oil	°Be	Typical NaOH excess
Good-quality animal and marine fats	12 – 16	0.10 – 0.20
Vegetable oil low in gum	12 – 16	0.10 – 0.20
Cottonseed oil, good quality	14 – 18	0.25 – 0.60
Poor-quality oils		
FFA = 4%	18	0.75
FFA = 15%	26	1.30
Marine oil, FFA = 5%	20	0.20
Soybean oil, good quality	12 – 14	0.10 – 0.20
Corn oil	16 – 20	0.25 – 0.36
Coconut oil	16	0.10

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แท้จริงที่องศา Baume ต่างๆ (Hui, 1996)

Nominal degree Baume at 15°C	Actual NaOH content by weight (%)	Permissible variations	
		Minimum (%)	Maximum (%)
10	6.57	6.50	6.64
12	8.00	7.92	8.08
14	9.50	9.40	9.60
16	11.06	10.95	11.17
18	12.68	12.55	12.81
20	14.36	14.22	14.50
22	16.09	17.69	16.25
24	17.87	19.50	18.05
26	19.70	-	-

สำหรับแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวันนั้น จะเลือกใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เกินพอ 0.1% เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ทุกชนิดมีคุณภาพ และผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้ว โดยสามารถคำนวณปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เกินพอที่ความแรงต่างๆ ได้โดยใช้สมการด้านบนดังตัวอย่างในภาคผนวก ก

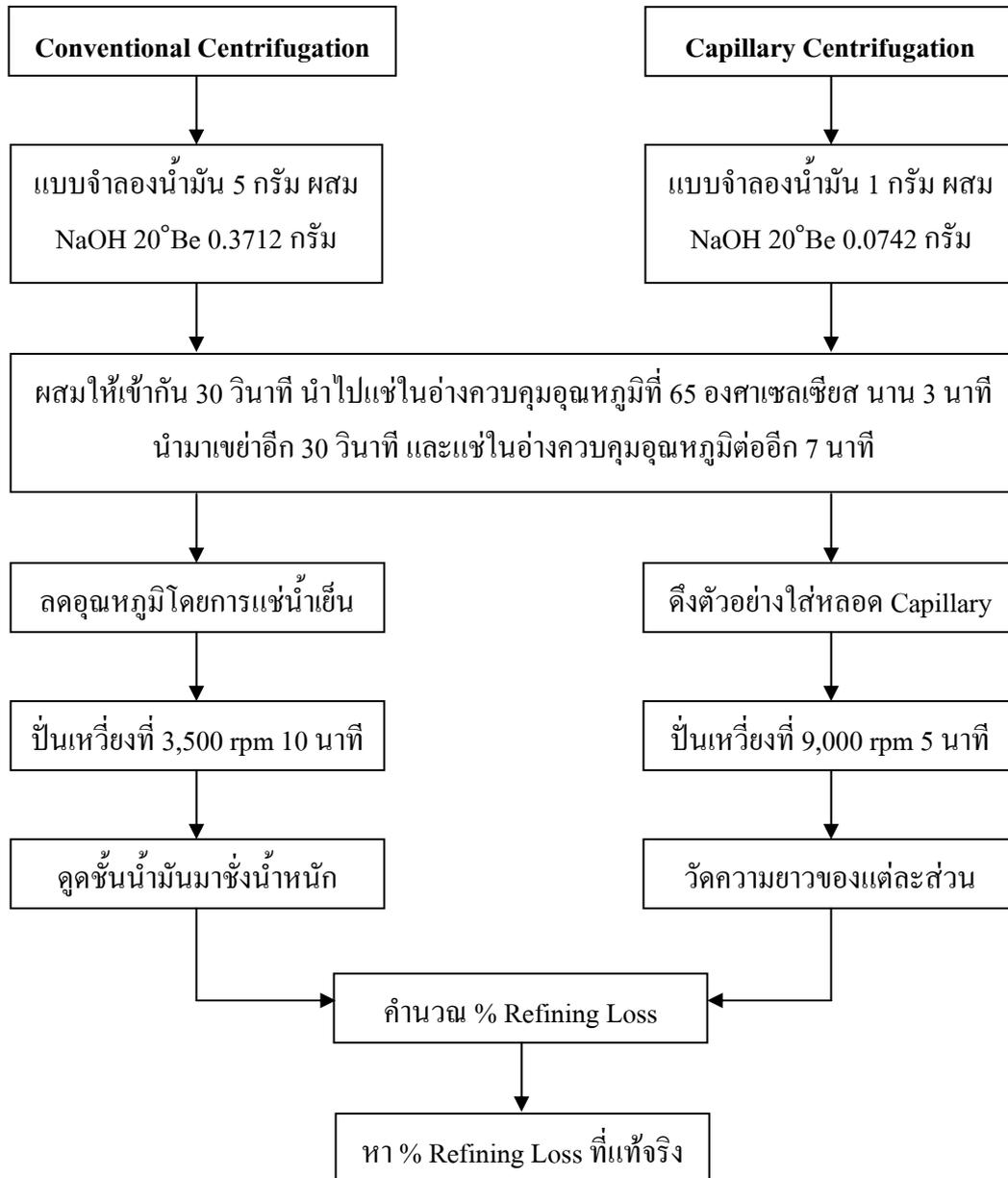
ข) ศึกษาผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรง (strength) ต่างๆ ต่อการเกิด refining loss

ชั่งแบบจำลองน้ำมันรำข้าวใส่หลอดฝาเกลียวหลอดละ 5 กรัม จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความแรง 12, 14, 16, 18, 20 และ 22°Be ตามปริมาณที่คำนวณได้ลงในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 3 นาที และนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเขย่าเบาๆ อีก 3 นาที และแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิต่ออีก 7 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่น้ำเย็น และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,500 rpm เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกสบู่ออกจากน้ำมัน จากนั้นดูดชั้นน้ำมันมาล้างด้วยน้ำกลั่นอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส หลอดละ 5 กรัม แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,500 rpm นาน 10 นาที จากนั้นดูดชั้นน้ำมันมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหา refining loss ดังนี้

$$\% \text{ Refining loss} = \frac{(\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักน้ำมันที่เหลือ}) \times 100}{\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น}}$$

ดังนั้นความแรงและปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำให้ปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระ สามารถเลือกได้จาก องศา Baume ที่ทำให้เกิด refining loss น้อยที่สุด และไขสบู่ที่เกิดขึ้นต้องแยกออกจากน้ำมันอย่างชัดเจน จากนั้นนำความแรงและปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองนี้ไปใช้ในการศึกษาในหัวข้อต่อไป

3.2.2.2 วิธีวิเคราะห์ Refining loss



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี conventional และ capillary centrifugation

ก) วิธี Conventional centrifugation

ชั่งแบบจำลองน้ำมันรำข้าวใส่หลอดฝาเกลียวหลอดละ 5 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 20 °Be ปริมาณ 0.3712 กรัม ลงในแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 30 วินาที และนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 65 องศาเซลเซียส นาน 3 นาที เขย่าเบาๆ อีก 30 วินาที และแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิต่ออีก 7 นาที หลังจากนั้นนำไปแช่น้ำเย็น และปั่นเหวี่ยงที่ 3,500 rpm เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกสบู่ออกจากน้ำมัน คูดซันน้ำมันมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหา refining loss ดังนี้

$$\% \text{ Refining loss} = \frac{(\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักน้ำมันที่เหลือ}) \times 100}{\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น}}$$

ข) วิธี Capillary centrifugation

ชั่งแบบจำลองน้ำมันรำข้าวใส่หลอดฝาเกลียวหลอดละ 1 กรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 20°Be ปริมาณ 0.0742 กรัม เขย่าเบาๆ เป็นเวลา 30 วินาที นำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 65°C เป็นเวลา 3 นาที เขย่าอีก 30 วินาที และแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิต่ออีก 7 นาที หลังจากนั้นทำการดึงตัวอย่างส่วนหนึ่งที่ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วใส่ในหลอดแคพิลลารีโดยใช้ปลาย autopipett จุดที่ปลายด้านหนึ่งของหลอดแคพิลลารีก่อนจุ่มหลอดแคพิลลารีลงไปในตัวอย่างและดึงตัวอย่างขึ้นมาด้วย autopipett จากนั้นดูดปลายด้านหนึ่งของหลอดแคพิลลารีด้วยคินน้ำมัน และนำหลอดไปวางในเครื่อง hematocrit ทำการปั่นเหวี่ยงที่ 9,000 rpm นาน 5 นาที จะเกิดการแยกชั้นของสบู่น้ำมันในหลอดแคพิลลารี วัดความยาวของแต่ละส่วนและคิดเป็นอัตราส่วนของสบู่น้ำมัน เพื่อนำมาหา % refining loss ดังนี้

$$\% \text{ น้ำมันเริ่มต้น} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น} \times 100}{\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น} + \text{น้ำหนัก NaOH}}$$

$$\% \text{ น้ำมันในหลอดแคพิลลารี} = \frac{\text{ความยาวของส่วนน้ำมัน} \times 100}{\text{ความยาวของส่วนน้ำมัน} + \text{สบู}}$$

$$\% \text{ Refining loss} = \% \text{ น้ำมันเริ่มต้น} - \% \text{ น้ำมันในหลอดแคพิลลารี}$$

อย่างไรก็ตามทั้งวิธี conventional centrifugation และวิธี capillary centrifugation นั้นต้องคำนวณเปอร์เซ็นต์ refining loss ที่แท้จริง โดยการหักค่าเปอร์เซ็นต์สารที่เติมเข้าไปที่ไม่ใช่กรดไขมันอิสระดังสมการ ซึ่งตัวอย่างการคำนวณหา refining loss ของทั้ง 2 วิธีแสดงดังภาคผนวก ข

$$\% \text{ Refining loss ที่แท้จริง} = \frac{(\% \text{ Refining loss} - \% \text{ สารที่เติมเข้าไป}) \times 100}{(100 - \% \text{ สารที่เติมเข้าไป})}$$

3.2.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อ Refining loss

2.2.3.1 การศึกษาผลของกรดไขมันอิสระต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน

นำน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวันมาเติมกรดไขมันอิสระที่สกัดได้จากน้ำมันรำข้าวที่ปริมาณ 2, 5, 6.8, 10, 15 และ 20% (w/w) ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อเป็นสต็อก (stock) ของแบบจำลองน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระปริมาณต่างกัน ซึ่งตัวอย่างน้ำมันที่ได้ใส่ในหลอดฝาเกลียวและเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรงที่เหมาะสม ซึ่งได้จากการทดลองในหัวข้อ 2.2.2.3 ในปริมาณที่คำนวณได้ และนำไปวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี conventional และ capillary centrifugation พร้อมทั้งคำนวณ % refining loss

2.2.3.2 การศึกษาผลของไขมันข้าวต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน

ก) การเตรียมไขมันข้าว

นำไขมันข้าวที่ได้จากโรงงานผลิตน้ำมันรำข้าว 100 กรัม เติมเฮกเซนร้อนในปริมาตร 700 มิลลิลิตร reflux ที่อุณหภูมิ 65°C นาน 30 นาที นำไปแช่ตู้เย็นเพื่อให้ไขมันข้าวตกตะกอน วิธีการนี้เป็นการกำจัดน้ำมันที่ยังคงเหลืออยู่ในไขมันข้าวให้มีปริมาณน้อยลง จากนั้นนำไขมันข้าวที่ตกตะกอนแล้วมากรองเอาเฉพาะส่วนแข็ง นำส่วนแข็งที่ได้ไปล้างด้วยเฮกเซนร้อนอีก 2-3 ครั้ง เพื่อให้ไขมันบริสุทธิ์ขึ้น อาจล้างด้วยไอโซโพรพานอล 350 มิลลิลิตร reflux ที่อุณหภูมิ 80°C แช่เย็น และกรองเช่นเดิม ไขมันข้าวที่ได้จะมีลักษณะร่วนขึ้น จากนั้นตรวจสอบความบริสุทธิ์ของไขมันข้าวด้วย TLC หากไขมันยังมีไตรกลีเซอไรด์เจือปนอยู่ให้ละลายด้วยเฮกเซนร้อน และทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกว่าไขมันบริสุทธิ์ นำไขมันไปอบในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 60°C นาน 12 ชั่วโมงเพื่อกำจัดเฮกเซนออก

ข) การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของไขมันข้าว

ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของไขมันข้าวด้วย TLC โดยทำการ spot น้ำมันรำข้าวหรือไตรกลีเซอไรด์ กรดโอเลอิก ไขมันข้าวก่อนและหลังจากล้างด้วยเฮกเซนร้อน ลงบนแผ่นกระดาษที่เคลือบด้วยซิลิกาเจล แล้วจุ่มลงในวัฏภาคเคลื่อนที่ ซึ่งประกอบด้วย Chloroform : Hexane : Acetic acid (70 : 30 : 0.1) โดยปริมาตร และตรวจสอบการเคลื่อนที่ของสารด้วยไอเอ็มตัวของไอโอดีน

ค) การวิเคราะห์ผลของไขมันข้าวต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน

เตรียมสต็อก (stock) ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน โดยนำน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8% มาเติมไขมันข้าวที่ปริมาณ 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 และ 3% (w/w) นำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส จนไขมันละลายเป็นเนื้อเดียวกันน้ำมัน ซึ่ง

แบบจำลองน้ำมันที่ได้ใส่ในหลอดฝาเกลียวและนำไปวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี conventional และ capillary centrifugation พร้อมทั้งคำนวณ % refining loss ที่แท้จริง

2.2.3.3 การศึกษาผลของโอโรซานอลต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน

เตรียมสต็อก (stock) ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน โดยนำน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8% มาเติมโอโรซานอลที่ปริมาณ 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 และ 3% (w/w) นำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส จนโอโรซานอลละลายเป็นเนื้อเดียวกันน้ำมัน ซึ่งแบบจำลองน้ำมันที่ได้ใส่ในหลอดฝาเกลียวและนำไปวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี conventional และ capillary centrifugation พร้อมทั้งคำนวณ % refining loss ที่แท้จริง

2.2.3.4 การศึกษาผลของไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน

ก) การเตรียมไขมันแอลกอฮอล์สายยาว

นำไขรำข้าว 50 กรัม มาเร่งปฏิกิริยา saponification (hydrolysis) ด้วยโพแตสเซียมไฮดรอกไซด์ 30 กรัม ใน 90% เอทานอล 250 มิลลิลิตร reflux ที่อุณหภูมิ 80-85°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นตรวจสอบไขรำข้าวที่ไฮโดรไลส์แล้ว (hydrolysed wax) ด้วย TLC เพื่อให้แน่ใจว่าเกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ สกัดไขมันแอลกอฮอล์โดยนำไขรำข้าวที่ไฮโดรไลส์แล้ว 100 กรัม ละลายในน้ำร้อน 200 มิลลิลิตร เติมโทลูอีน 500 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน และเติมเอทานอลประมาณ 70 มิลลิลิตร จนชั้นโทลูอีนแยกจากชั้นน้ำชัดเจน นำไป reflux ที่อุณหภูมิ 80-90°C นาน 1 ชั่วโมง โดยแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกให้ความร้อนพร้อมกับกวนสารให้เข้ากันนาน 30 นาที ส่วนช่วงที่สองจะหยุดการกวนและลดอุณหภูมิลงที่ 60-70°C นาน 30 นาที เพื่อให้สารละลายแยกเป็นสองชั้น จากนั้นนำชั้นโทลูอีนมาสกัดซ้ำอีก 2-3 ครั้ง โดยใช้ น้ำร้อนประมาณ 200 มิลลิลิตร เพิ่มโทลูอีน 50-100 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน และเติมเอทานอลจนสารละลายแยกชั้นกันชัดเจนขึ้น นำไป reflux เช่นเดิม เทชั้นโทลูอีนมาใส่กรวยแยกเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีชั้นน้ำติดมา นำไประเหยโทลูอีนออกด้วยเครื่อง rotary evaporator จากนั้นจึงเติมไอโซออกเทน 600 มิลลิลิตร น้ำร้อน 300 มิลลิลิตร และเติมเอทานอลประมาณ 80 มิลลิลิตร กวนให้เข้ากัน reflux ที่อุณหภูมิ 80-90°C ทำเช่นเดียวกับการสกัดด้วยโทลูอีน เมื่อสารละลายแยกเป็นสองชั้นแล้ว ให้นำเฉพาะชั้นไอโซออกเทนมาใส่กรวยแยก ทิ้งไว้ข้ามคืน เพื่อให้ไขมันแอลกอฮอล์ตกตะกอน นำส่วนตะกอนและส่วนไอโซออกเทนไปตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วย HPLC หากยังมีกรดไขมันอิสระเจือปน ให้สกัดซ้ำด้วยไอโซออกเทนและน้ำร้อนเช่นเดิม

ข) การตรวจสอบความบริสุทธิ์และองค์ประกอบของไขมันแอลกอฮอล์สายยาว

ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของไขมันแอลกอฮอล์สายยาวด้วย HPLC โดยนำไขมันแอลกอฮอล์สายยาวที่สกัดได้จากไขมันรำข้าวมาละลายด้วยโทลูอีน แล้วฉีดเข้าเครื่อง HPLC ปริมาตร 20 ไมโครลิตร โดยใช้คอลัมน์ phenogel ที่ต่อกับเครื่องตรวจวัดชนิด Evaporative Light Scattering Detector (ELSD) วิกฤตเคลื่อนที่ที่ใช้คือ 0.25% กรดอะซิติก ในโทลูอีน อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 25-30°C และใช้แก๊สไนโตรเจนที่มีความดัน 2 Bar วิเคราะห์องค์ประกอบของไขมันแอลกอฮอล์ด้วยเครื่อง gas chromatography (GC) รุ่น GC-17A เครื่องตรวจวัดชนิด flame ionization (FID) ต่อพ่วงกับเครื่องประมวลผล CBM-102 โดยใช้คอลัมน์ Zebron ZB-5 (5% phenyl-95% diethylpolysiloxane) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร สภาวะที่ใช้ในการทดลองคือ อุณหภูมิของอินเจกเตอร์ (Injector port) และตัวตรวจวัด (detector) เท่ากับ 360°C ส่วนเตาอบ (oven) ใช้ อุณหภูมิ 150°C นาน 3 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 15°C ต่อนาที จนถึง 350°C นาน 10 นาที และคำนวณเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบของไขมันแอลกอฮอล์ที่ได้จากค่าพื้นที่ใต้พีค (peak area)

ค) การวิเคราะห์ผลของไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อการเกิด refining loss

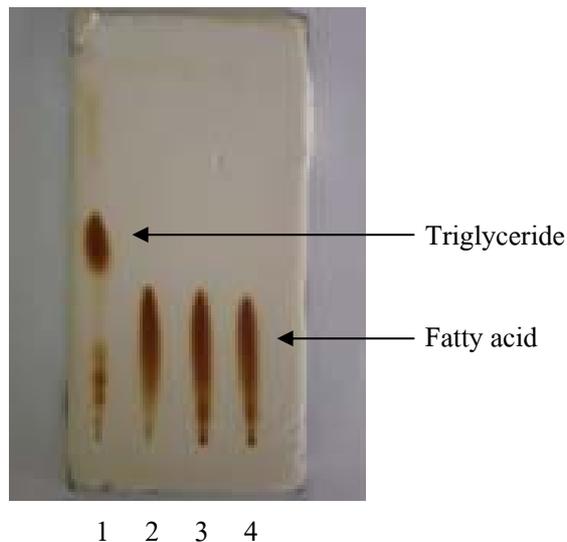
เตรียมสต็อก (stock) ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน โดยนำน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8% มาเติมไขมันแอลกอฮอล์ที่ปริมาณ 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 และ 3% (w/w) นำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 85 องศาเซลเซียส จนไขมันแอลกอฮอล์ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำมัน ซึ่งแบบจำลองน้ำมันที่ได้ใส่ในหลอดฝาเกลียวและนำไปวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี conventional และ capillary centrifugation พร้อมทั้งคำนวณ % refining loss ที่แท้จริง

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

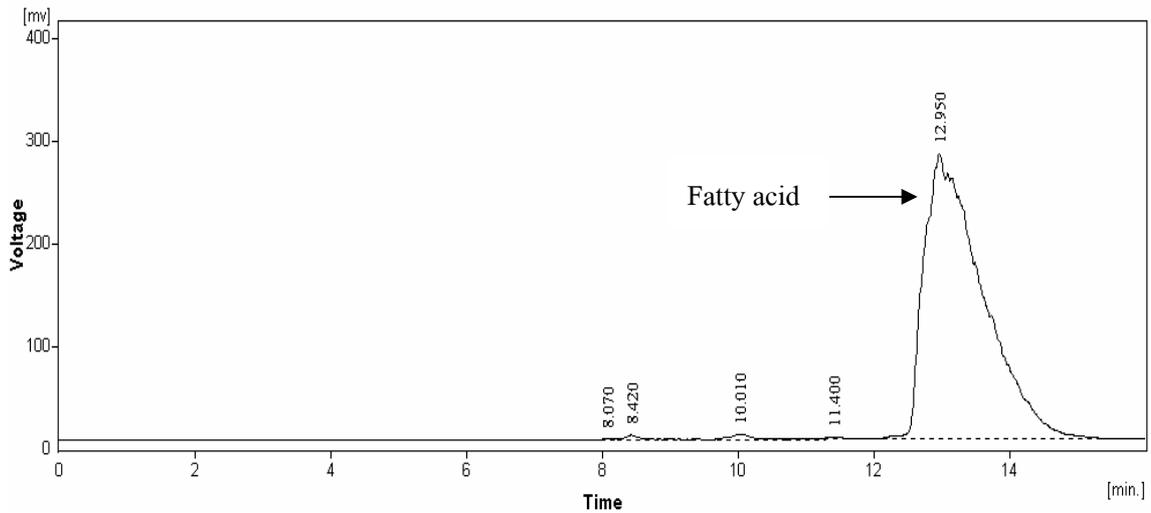
4.1 การเตรียมแบบจำลองน้ำมัน

4.1.1 การเตรียมกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว

การศึกษาการสูญเสียไขมันรำข้าวในระหว่างกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ในขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง เริ่มจากการเตรียมแบบจำลองน้ำมันรำข้าว โดยในที่นี้ใช้น้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันถั่วเหลือง และ น้ำมันทานตะวันมาเติมกรดไขมันอิสระที่เตรียมได้จากน้ำมันรำข้าวในปริมาณที่เท่ากับที่มีอยู่ในน้ำมันรำข้าวคิดตามปกติ คือ 6.8% เพราะต้องการกำจัดปัจจัยอื่นที่มีอยู่ในน้ำมันรำข้าวที่อาจมีผลต่อการสูญเสียไขมัน เพื่อให้แน่ใจว่าการสูญเสียไขมันนั้นเป็นผลมาจากปัจจัยที่กำลังศึกษา ซึ่งกรดไขมันอิสระที่แยกออกมาน้ำมันรำข้าว ต้องถูกตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วย Thin Layer Chromatography (TLC) และ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ก่อนนำมาเตรียมแบบจำลองน้ำมัน โดยได้ผลดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ภาพแสดงแถบของกรดไขมันอิสระที่แยกออกจากรำข้าว (แถบที่ 3 และ 4) เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานน้ำมันรำข้าว (แถบที่ 1) และกรดโอเลอิก (แถบที่ 2) โดยใช้ Hexane : Ethyl acetate : Acetic acid (90 : 10 : 1) เป็นวัฏภาคเคลื่อนที่



รูปที่ 4.2 โครมาโตแกรมของกรดไขมันอิสระที่สกัดจากน้ำมันรำข้าว วิเคราะห์ด้วย HPLC โดยใช้คอลัมน์ phenogel ต่อกับเครื่องตรวจวัดชนิด Evaporative Light Scattering Detector (ELSD) และใช้วัฏภาคเคลื่อนที่คือ 0.5% เตตระไฮโดรฟูแรน (tetrahydrofuran; THF) ในโทลูอีน อัตราการไหล 1 มิลลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 25-30°C ที่ความดัน 2 bar

จากรูปที่ 4.1 พบว่ากรดไขมันอิสระที่สกัดจากน้ำมันรำข้าว ไม่พบแถบของไตรกลีเซอไรด์เจือปน และเมื่อตรวจสอบเปอร์เซ็นต์ความบริสุทธิ์ (% purity) ด้วย High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ดังรูปที่ 4.2 พบว่ากรดไขมันอิสระที่สกัดจากน้ำมันรำข้าวมีความบริสุทธิ์ 98.59% จึงนำกรดไขมันอิสระนี้ไปใช้ในการทดลองต่อไป

4.1.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระในแบบจำลองน้ำมัน

เมื่อทำการเตรียมแบบจำลองน้ำมันรำข้าว โดยเติมกรดไขมันอิสระที่สกัดจากน้ำมันรำข้าวในปริมาณ 2, 5, 6.8, 10, 15 และ 20% ลงในน้ำมันปาล์มโอเลอิน น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน จากนั้นต้องคำนวณหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่แท้จริงในรูปของกรดโอเลอิกที่มีอยู่ในแบบจำลองน้ำมันจากน้ำมันทั้ง 3 ชนิด โดยการไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอร์มัล ได้ผลการไตเตรททั้งหมดดังภาคผนวก ค ซึ่งสรุปได้ดังตารางที่ 4.1 และเมื่อนำปริมาณกรดไขมันอิสระที่แท้จริงมาคำนวณเป็นค่ากรด (acid value) ซึ่งค่ากรดนี้มักใช้กันมากในระดับอุตสาหกรรม โดยเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงภาวะหรือระดับการหืนของน้ำมัน หากน้ำมันมีค่ากรดสูงแสดงว่าไตรกลีเซอไรด์สามารถถูกไฮโดรไลต์เป็นกรดไขมันอิสระได้ง่ายจึงมีความหืนสูง สำหรับค่ากรดของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณกรดไขมันอิสระที่แท้จริงในแบบจำลองน้ำมันรำข้าว

ปริมาณกรดไขมันที่เติม แบบจำลองน้ำมัน	ปริมาณกรดไขมันอิสระที่แท้จริง (% w/w)					
	2	5	6.8	10	15	20
น้ำมันปาล์ม (PO)	2.02	5.13	6.84	10.10	14.86	20.05
น้ำมันถั่วเหลือง (SBO)	1.91	5.54	6.82	10.14	14.85	19.85
น้ำมันทานตะวัน (SFO)	2.29	5.22	6.80	9.90	15.31	19.97

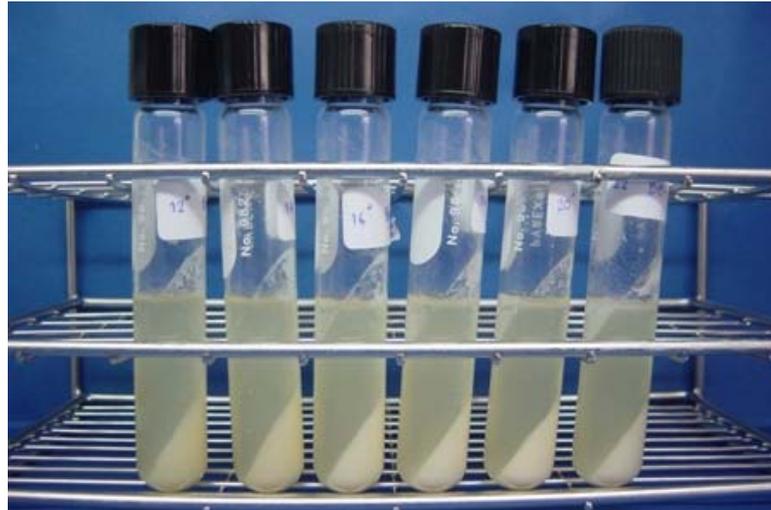
ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากรด (acid value) ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าว

ปริมาณกรดไขมันที่เติม แบบจำลองน้ำมัน	ค่ากรด (% w/w)					
	2	5	6.8	10	15	20
น้ำมันปาล์ม (PO)	4.03	10.20	13.60	20.10	29.58	39.90
น้ำมันถั่วเหลือง (SBO)	3.79	11.02	13.56	20.18	29.55	39.51
น้ำมันทานตะวัน (SFO)	4.56	10.40	13.54	19.70	30.46	39.73

4.2 การวิเคราะห์การสูญเสียน้ำมัน (Refining Loss)

4.2.1 ผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรง (strength) ต่างๆ ต่อการเกิด refining loss

กระบวนการทำให้เป็นกลาง (neutralization) ในอุตสาหกรรมนั้นใช้ความแรงและปริมาณของ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในรูปขององศา Baume ($^{\circ}\text{Be}$) เนื่องจากเป็นค่าที่สะดวกในการใช้งาน และจำเพาะกับกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมัน การเลือกใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณและความแรงเหมาะสมสามารถลดการสูญเสียน้ำมันในกระบวนการทำให้เป็นกลางได้ ซึ่งการศึกษาในที่นี้เป็น การจำลองกระบวนการทำให้เป็นกลางขึ้นในห้องปฏิบัติการ จึงใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในรูปของ องศา Baume ด้วยเช่นกัน เพื่อให้เหมือนกับที่ใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงต้องทำการหา ความแรงของด่างที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระได้พอดี โดยเมื่อทราบปริมาณของ กรดไขมันอิสระที่มีอยู่จริงในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวแล้ว นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณ โซเดียม- ไฮดรอกไซด์ที่ความแรง 12, 14, 16, 18, 20, 22 และ 26°Be ดังภาคผนวก ก.1-3 จากนั้นเติมโซเดียม- ไฮดรอกไซด์ตามปริมาณที่คำนวณได้ลงในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีปริมาณกรด ไขมันอิสระต่างๆ กัน และวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธีปั่นเหวี่ยงแบบดั้งเดิม (conventional centrifugation) โดยผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 ภาคผนวก ง.1-5 และตารางที่ 4.3



NaOH 12 14 16 18 20 22 °Be

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะการแยกชั้นของสบู่กับน้ำมันในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8% (w/w) เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22 °Be ตามลำดับ โดยชั้นบนคือน้ำมันและชั้นล่างคือสบู่ที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรง (strength) ต่างๆ ต่อการเกิด refining loss

%FFA	% Refining loss							
	12° Be	14° Be	16° Be	18° Be	20° Be	22° Be	24° Be	26° Be
2	6.03	6.76	6.51	6.15	6.70	7.20	-	-
5	11.81	11.66	11.29	11.20	11.18	11.58	-	-
6.8	16.26	16.40	16.38	16.22	15.06	15.64	-	-
10	-	-	21.93	22.97	21.73	21.82	21.23	21.02
15	-	-	29.99	29.80	28.99	28.07	27.43	27.09
20	-	-	32.77	32.53	31.63	31.05	31.05	31.02

จากตารางที่ 4.3 พบว่าที่ปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากันแต่ใช้ความแรงของโซเดียมไฮดรอกไซด์แตกต่างกัน ค่า refining loss มีค่าใกล้เคียงกัน เช่นที่กรดไขมันอิสระ 6.8% เมื่อใช้ต่าง 12-22°Be ค่า refining loss ใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 15.06-16.40% ซึ่งแตกต่างกันไม่เกิน 0.54% นอกจากนี้ในรูปที่ 4.3 ชั้นสบู่สามารถแยกชั้นออกจากน้ำมันได้อย่างชัดเจน และสบู่ที่เกิดขึ้นมีปริมาณใกล้เคียงกันในทุกๆ องศา Baume จึงสรุปได้ว่าความแรงของโซเดียมไฮดรอกไซด์มีผลเพียงเล็กน้อยต่อค่า refining loss ในน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระเท่ากัน อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปมักเลือกใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำให้เกิดสบู่หนืดที่สุด เพื่อลดการสูญเสียน้ำมันไปในชั้นสบู่หรือเกิด refining loss ที่น้อยที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 12°Be สำหรับกรดไขมันอิสระ 2%, 20°Be สำหรับกรดไขมันอิสระ 5 และ 6.8% และ 26°Be สำหรับกรดไขมันอิสระ 10, 15 และ 20%

4.2.2 เวลาที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี capillary centrifugation

เนื่องจากการวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธีปั่นเหวี่ยงแบบแคพิลลารี (capillary centrifugation) เป็นวิธีการใหม่จึงต้องทำการหาเวลาที่เหมาะสมในการปั่นเหวี่ยงตัวอย่างโดยใช้เครื่อง hematocrit ซึ่งจากการทดลองปั่นเหวี่ยงตัวอย่างแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8% ที่ 9,000 rpm ณ เวลาต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.4 พบว่าที่เวลา 3 นาที มีค่า refining loss 13.68% โดยชั้นสบู่ในหลอดแคพิลลารียังรวมตัวกันไม่เต็มที่ ทำให้เมื่อใช้เวลามากขึ้น ค่า refining loss จึงต่ำลงเนื่องจากสามารถแยกน้ำมันที่อยู่ในชั้นสบู่ออกมาได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยค่า refining loss เริ่มคงที่เมื่อใช้เวลาปั่นเหวี่ยง 5 นาที ซึ่งเท่ากับ 13.30% ดังนั้นจึงใช้เวลาในการปั่นเหวี่ยงที่ 9,000 rpm 5 นาที ในการวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี capillary centrifugation

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของเวลาต่อการเกิด refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มปั่นเหวี่ยงด้วย capillary centrifugation ที่ 9,000 rpm

Tube no. Time (min)	Refining loss (%)						Average	Standard deviation
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6		
3	14.10	13.20	14.13	13.80	13.71	13.16	13.68	0.42
5	14.10	13.20	13.28	12.95	13.09	13.16	13.30	0.41
10	14.10	13.20	13.28	12.95	13.09	13.16	13.30	0.41
15	14.10	13.20	13.28	12.95	13.09	13.16	13.30	0.41
20	14.10	13.20	13.28	12.95	13.09	13.16	13.30	0.41

4.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียไขมัน

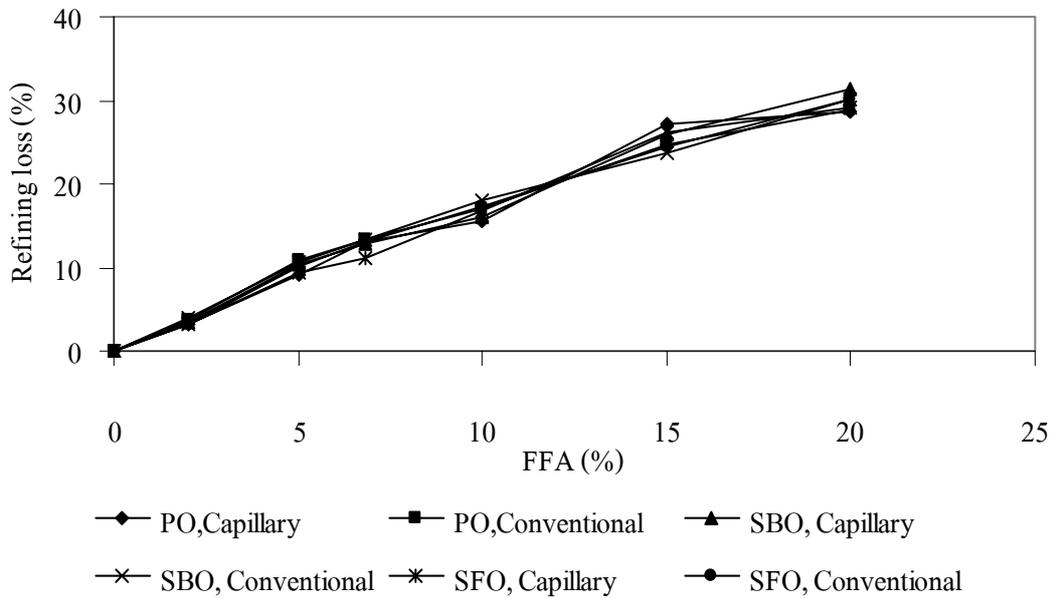
4.3.1 การศึกษาผลของกรดไขมันอิสระต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน

ปัจจัยหนึ่งที่สามารถใช้วัดประสิทธิภาพของกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ คือปริมาณกรดไขมันอิสระ ซึ่งสามารถกำจัดออกจากน้ำมันได้ในขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง โดยให้กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยา saponification กับด่าง เพื่อให้เกิดเป็นสบู่หรือเกลือของกรดไขมันซึ่งละลายน้ำจึงแยกตัวออกจากน้ำมันได้ กรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันนี้อาจเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการสูญเสียไขมัน ดังนั้นการทดลองนี้จึงศึกษาผลของกรดไขมันอิสระต่อการเกิด refining loss โดยการเติมกรดไขมันอิสระ 2, 5, 6.8, 7.8, 8.8, 9.8, 10, 15 และ 20% (w/w) ลงในน้ำมัน 3 ชนิด คือ น้ำมันปาล์ม (PO) น้ำมันถั่วเหลือง (SBO) และน้ำมันทานตะวัน (SFO) และหา refining loss ที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธี capillary centrifugation และ conventional centrifugation ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของกรดไขมันอิสระที่ปริมาณต่างๆ ต่อ refining loss ของน้ำมัน

FFA (%)	Refining loss (%)					
	Palm oil		Soybean oil		Sunflower oil	
	Capillary	Conventional	Capillary	Conventional	Capillary	Conventional
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	3.20 ± 0.18	3.81 ± 0.10	3.52 ± 0.38	3.87 ± 0.28	3.15 ± 0.49	3.32 ± 0.29
5	9.08 ± 0.30	10.83 ± 0.15	10.48 ± 0.39	10.64 ± 0.34	9.45 ± 0.64	10.03 ± 0.20
6.8	13.21 ± 0.31	13.42 ± 0.57	12.72 ± 0.95	13.26 ± 0.59	11.18 ± 0.21	13.17 ± 0.75
7.8	14.31 ± 0.46	14.91 ± 0.21	13.16 ± 0.64	14.64 ± 0.28	12.49 ± 0.49	14.54 ± 0.17
8.8	16.18 ± 0.30	16.25 ± 0.44	15.48 ± 0.48	15.64 ± 0.08	12.99 ± 0.37	15.19 ± 0.30
9.8	16.99 ± 0.26	16.60 ± 0.62	16.50 ± 1.15	16.88 ± 0.09	14.53 ± 1.09	16.48 ± 0.30
10	15.61 ± 0.83	16.94 ± 1.12	16.15 ± 0.84	17.93 ± 0.27	16.87 ± 0.91	17.39 ± 0.42
15	27.13 ± 0.77	24.67 ± 0.73	25.82 ± 0.26	23.66 ± 0.17	26.13 ± 0.77	24.34 ± 0.52
20	28.60 ± 0.81	28.94 ± 1.02	31.30 ± 0.57	30.04 ± 0.16	29.11 ± 0.25	30.00 ± 0.01

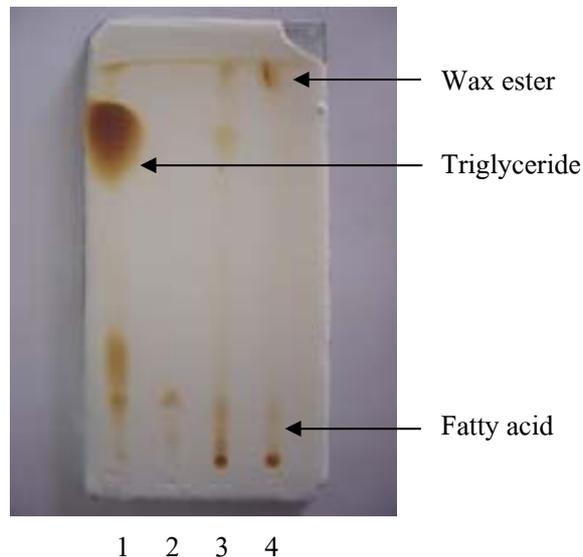
จากตารางที่ 4.5 เมื่อนำมาเขียนกราฟระหว่างปริมาณกรดไขมันอิสระกับเปอร์เซ็นต์ refining loss ดังรูปที่ 4.4 พบว่า refining loss จากการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี ในน้ำมันทั้ง 3 ชนิด มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือเมื่อเพิ่มกรดไขมันอิสระจาก 2% จนถึง 20% ส่งผลให้ refining loss ในแบบจำลองน้ำมันเพิ่มขึ้นจาก 3.15-3.87% เป็น 28.60-31.30% ซึ่งสอดคล้องกับผลของ Mishra และคณะ (1988) ที่รายงานว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันถั่วลิสง 1.5, 6.8 และ 10% ทำให้เกิดการสูญเสียไขมัน 6.8, 15.5 และ 19.2% ตามลำดับ ส่วนในงานวิจัยของเก่งหทัย ยืนยงสุวรรณ (2548) รายงานว่าเมื่อเพิ่มกรดไขมันอิสระจาก 1.89% เป็น 14.24% ทำให้ refining loss เพิ่มขึ้นจาก 2.87-4.22% เป็น 25.07-26.45% ดังนั้นปริมาณกรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า refining loss เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้น ทำให้น้ำมันบางส่วนถูกดูดซับอยู่ในชั้นสบู่ได้มากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงเกิดการสูญเสียไขมันได้มากขึ้น



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลของกรดไขมันอิสระที่ปริมาณต่างๆ ต่อ refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม (PO) น้ำมันถั่วเหลือง (SBO) และน้ำมันทานตะวัน (SFO) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation

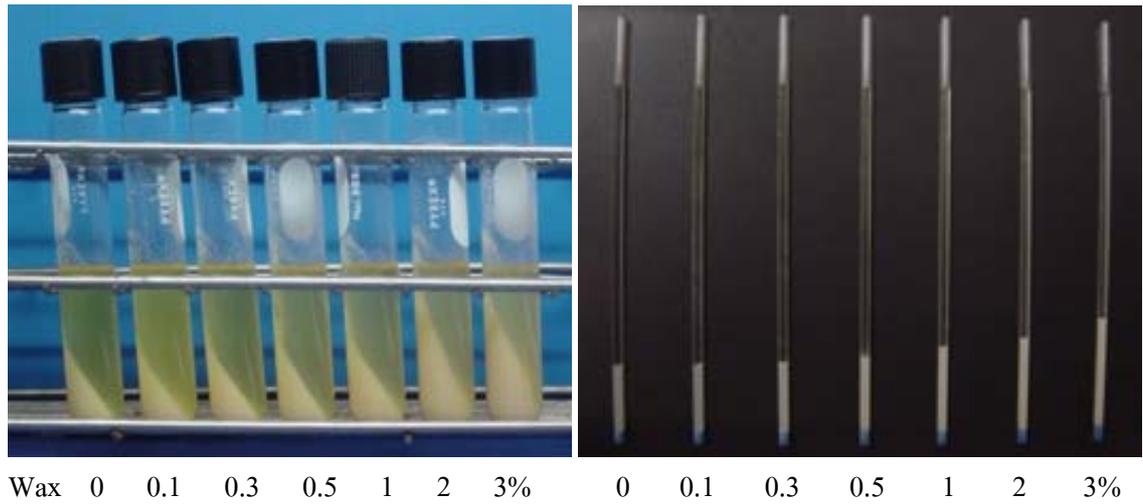
4.3.2 การศึกษาผลของไขรำข้าวต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน

Cousins และคณะ (1955) รายงานว่าจากการเปรียบเทียบน้ำมันรำข้าวกับน้ำมันชนิดอื่น เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน ในน้ำมันดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเท่ากัน เมื่อผ่านขั้นตอนการทำให้เป็นกลางพบว่าน้ำมันรำข้าวเกิดการสูญเสียน้ำมันมากที่สุด สาเหตุอาจเนื่องมาจากมีสารชนิดอื่นนอกเหนือจากกรดไขมันอิสระ เช่น ไข และโอโรซานอลที่อาจเป็นต้นเหตุให้เกิดการสูญเสียน้ำมันมากขึ้น โดยในน้ำมันรำข้าวปกติมีไขอยู่ 2-4% แต่อาจสูงถึง 8% ขึ้นอยู่กับสถานะในการสกัด เพราะไขสามารถละลายได้ในเฮกเซนร้อน ซึ่งเป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน ไขจึงอาจถูกสกัดมาอยู่ในน้ำมันได้ (Gingras, 2000) ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลของไขรำข้าวต่อการเกิด refining loss โดยนำไขรำข้าวมาล้างด้วยเฮกเซนร้อนเพื่อกำจัดน้ำมันที่ยังคงเหลืออยู่ในไขรำข้าวให้มีปริมาณน้อยลง และนำไขมาตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วย Thin Layer Chromatography (TLC) ดังรูปที่ 4.5

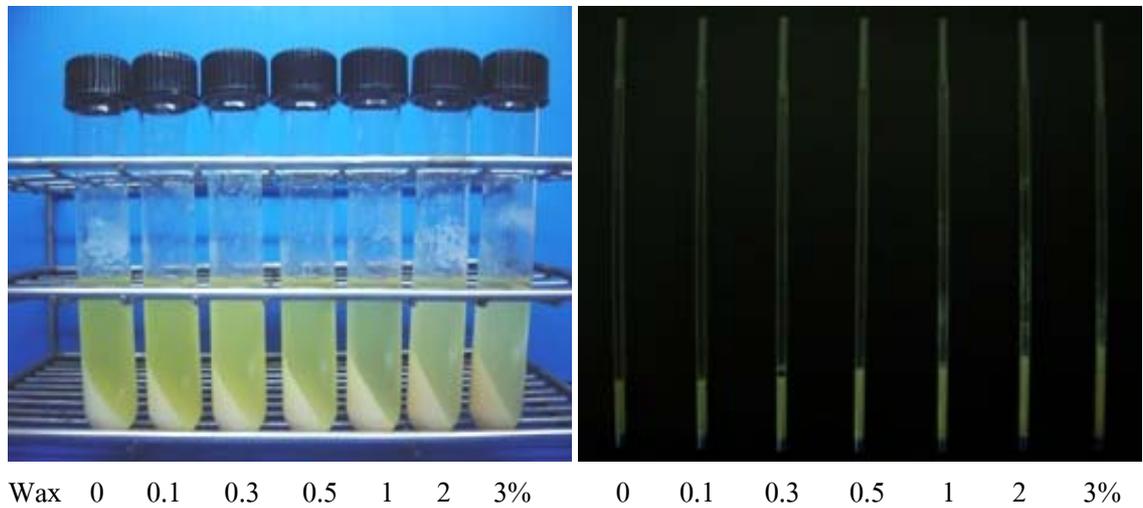


รูปที่ 4.5 แสดงความบริสุทธิ์ของไขรำข้าวที่ผ่านการกำจัดน้ำมันออก โดยใช้วัฏภาคเคลื่อนที่คือ Chloroform : Hexane : Acetic acid (70 : 30 : 0.1) แถบที่ 1 และ 2 คือ สารมาตรฐาน น้ำมันรำข้าวและกรดโอเลอิก แถบที่ 3 และ 4 คือไขรำข้าวก่อนและหลังจากการล้างด้วยเฮกเซนร้อน ตามลำดับ

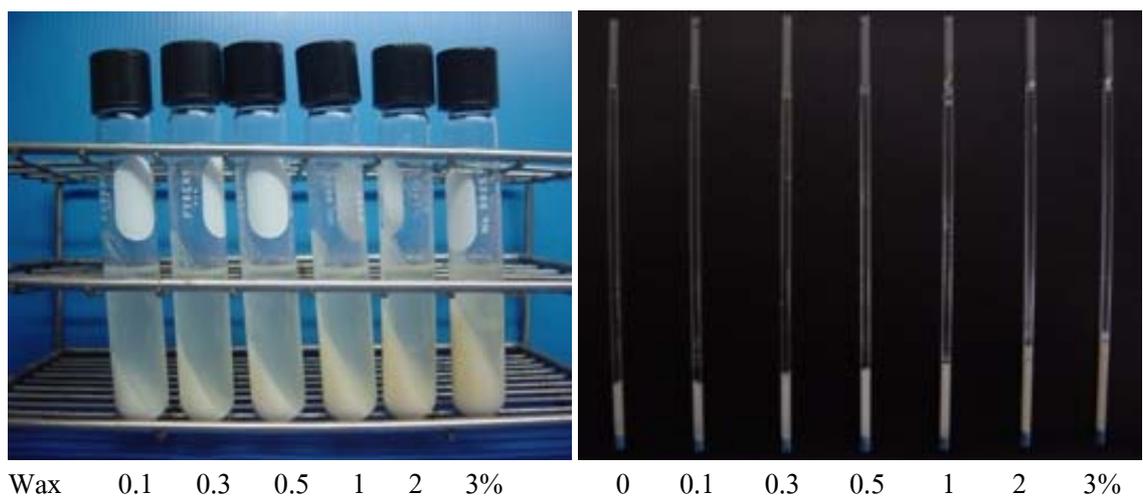
จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าไขรำข้าวที่ผ่านการล้างด้วยเฮกเซนร้อนสามารถลดปริมาณน้ำมันลงได้ จึงไม่เห็นแถบของน้ำมันหรือไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งต่างจากไขรำข้าวที่ไม่ได้ล้างเฮกเซนร้อนที่ยังคงเห็นแถบของน้ำมัน จากนั้นจึงนำไขรำข้าวบริสุทธิ์มาทำการศึกษาผลของไขรำข้าวต่อการเกิด refining loss โดยการเติมไขรำข้าว 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 และ 3% (w/w) ลงในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8% และหาค่า refining loss ที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธี capillary centrifugation และ conventional centrifugation ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.6



(ก)



(ข)



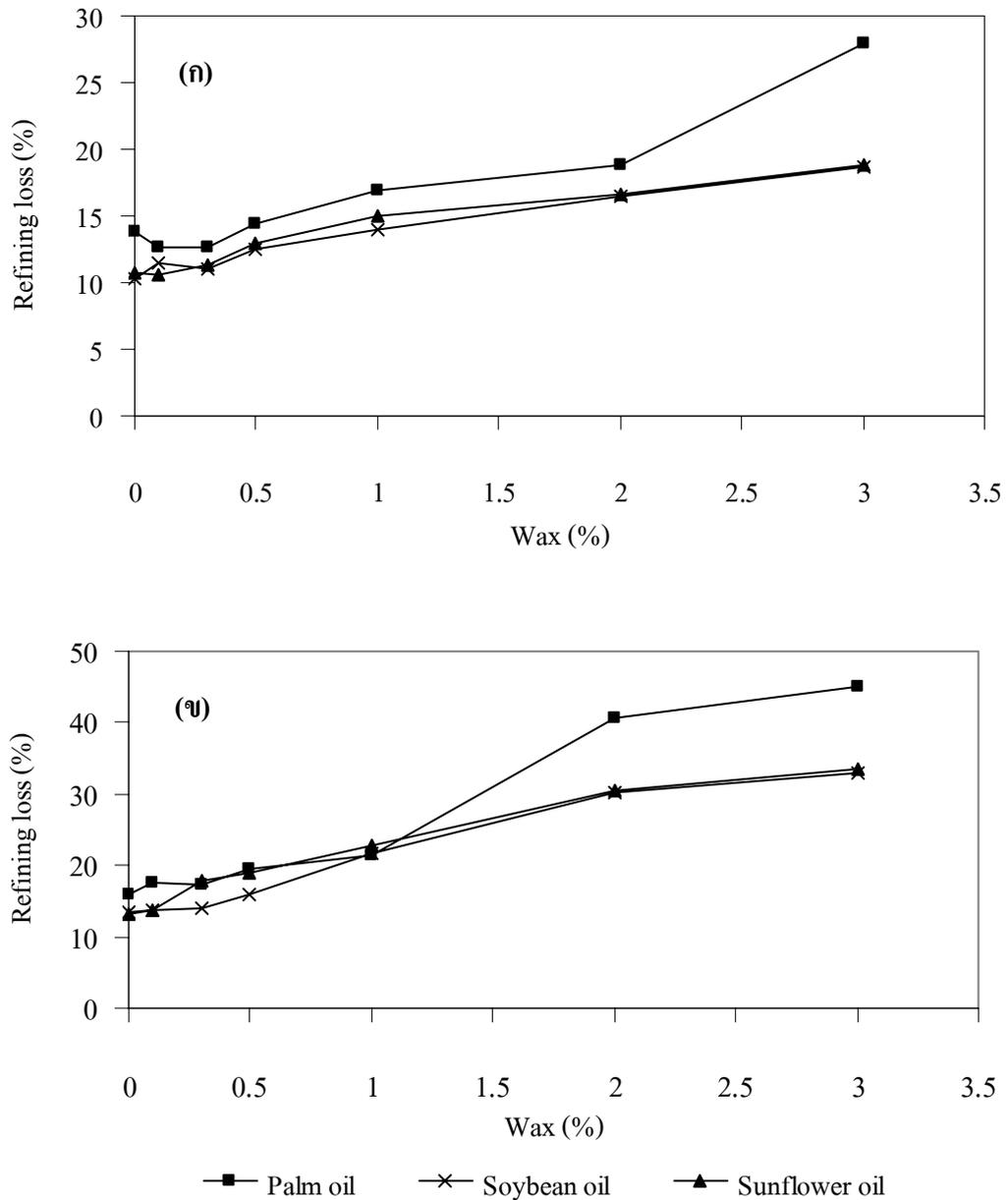
(ค)

รูปที่ 4.6 ผลของไขรำข้าวที่ปริมาณ 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 และ 3% ต่อการเกิด refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี conventional centrifugation และ capillary centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจาก (ก) น้ำมันปาล์ม (ข) น้ำมันถั่วเหลือง และ (ค) น้ำมันทานตะวัน

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของไขรำข้าวต่อการเกิด refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าว

Wax (%)	Refining loss (%)					
	Palm oil		Soybean oil		Sunflower oil	
	Capillary	Conventional	Capillary	Conventional	Capillary	Conventional
0	13.78 ± 0.69	16.00 ± 0.18	10.23 ± 0.91	13.45 ± 0.44	10.73 ± 0.49	13.19 ± 0.75
0.1	12.69 ± 0.43	17.48 ± 0.79	11.51 ± 1.18	13.73 ± 0.26	10.61 ± 0.52	13.87 ± 0.29
0.3	12.68 ± 0.56	17.36 ± 0.19	11.09 ± 0.53	14.12 ± 0.50	11.37 ± 0.52	17.98 ± 0.66
0.5	14.42 ± 1.14	19.42 ± 0.67	12.54 ± 0.88	16.00 ± 0.37	12.92 ± 0.64	18.88 ± 0.75
1	16.95 ± 1.16	21.31 ± 0.60	14.04 ± 0.43	21.83 ± 0.71	15.04 ± 0.61	22.69 ± 0.35
2	18.82 ± 0.94	40.54 ± 1.12	16.47 ± 1.14	30.22 ± 0.77	16.58 ± 1.18	30.53 ± 0.55
3	27.92 ± 0.55	45.01 ± 0.89	18.62 ± 0.48	32.91 ± 1.15	18.80 ± 1.10	33.46 ± 1.05

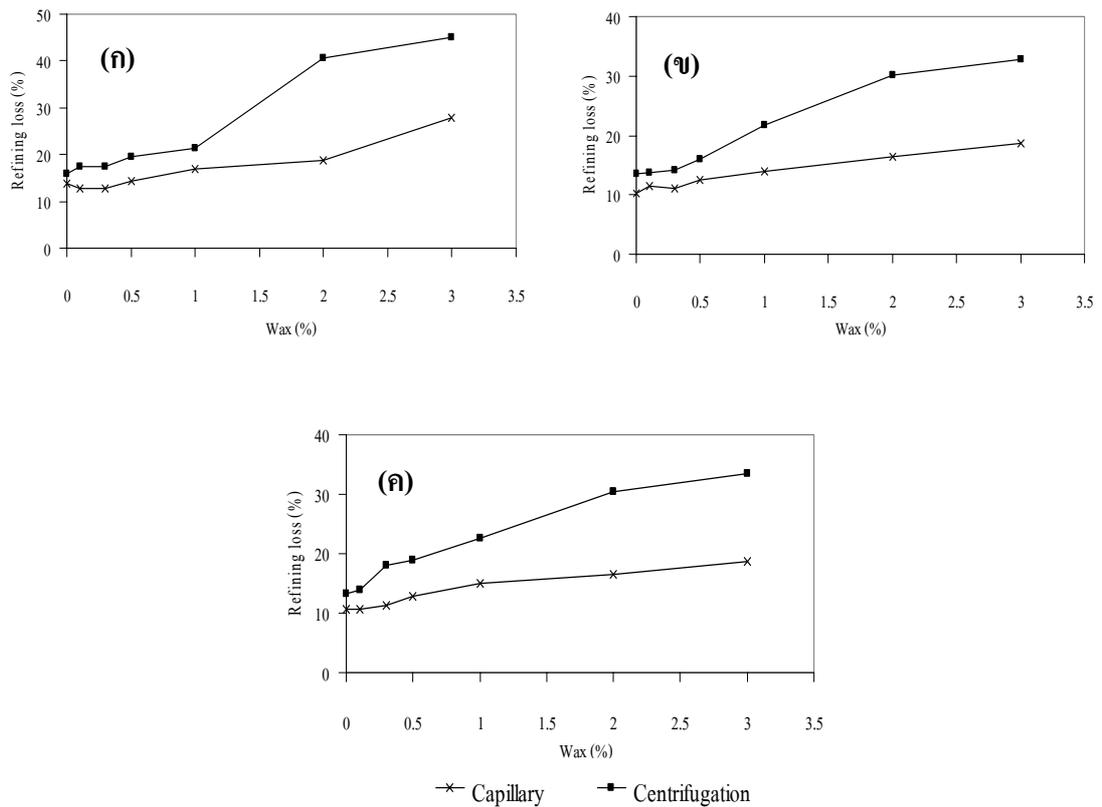
จากตารางที่ 4.6 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขร่าขาวกับเปอร์เซ็นต์ refining loss ของแบบจำลองน้ำมันร่าขาวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบผลของไขร่าขาวต่อ refining loss ในแบบจำลองน้ำมันร่าขาวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี (ก) capillary centrifugation (ข) conventional centrifugation

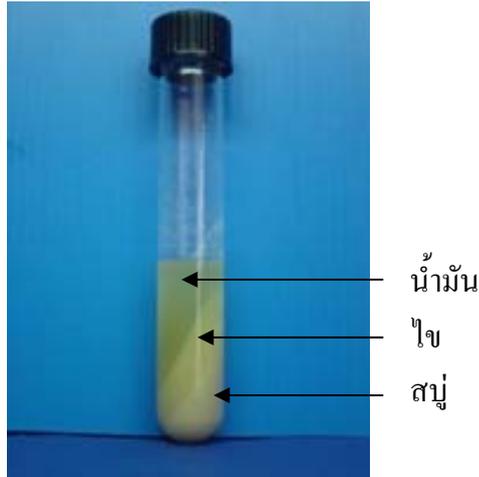
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณไขมันขาวเพิ่มขึ้น 1% ส่งผลให้ค่า refining loss ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวันเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation ที่เพิ่มจาก 10.23-13.78% เป็น 14.04-16.95% และวิธี conventional centrifugation เพิ่มจาก 13.19-16.00% เป็น 21.31-22.69% แนวโน้มที่เพิ่มขึ้นนี้สามารถยืนยันได้จาก Mishra และคณะ (1988) ซึ่งรายงานว่เมื่อปริมาณไขมันเพิ่มขึ้น 1% ทำให้ refining loss ของน้ำมันถั่วลิสงที่เติมกรดไขมันอิสระจากน้ำมันรำข้าว 6.8% เพิ่มขึ้นจาก 15.5% เป็น 26.5% ส่วนในงานวิจัยของ เก่งหทัย ยืนยงสุวรรณ (2548) รายงานว่าเมื่อเพิ่มไขมันขาว 1% ทำให้ refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี conventional centrifugation เพิ่มขึ้นจาก 15.80% เป็น 28.39% ดังนั้นปริมาณไขมันขาวที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่า refining loss เพิ่มขึ้นด้วย เพราะไขมันคุณสมบัติเป็นสาร stabilizer จึงช่วยให้สบู่ที่เกิดขึ้นหรืออิมัลชัน (emulsion) คงตัวในระหว่างการทำให้บริสุทธิ์ ซึ่งทำให้น้ำมันที่อยู่ในชั้นสบู่แยกออกมาได้ยากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันที่ได้ลดลง (Gingras, 2000)

เมื่อเปรียบเทียบ refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันแต่ละชนิด พบว่าแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มมีค่า refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation เท่ากับ 12.69-27.92% เมื่อไขมันเพิ่มขึ้น 0.1-3% ตามลำดับ ซึ่งมากกว่า refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน ที่มีค่าเท่ากับ 11.51-18.62% และ 10.61-18.80% ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากในน้ำมันปาล์มมีสาร β -carotene (Hui, 1996) ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสาร stabilizer จึงอาจทำให้น้ำมันที่อยู่ในชั้นสบู่แยกตัวออกมาสู่ชั้นน้ำมันได้ยากกว่าในแบบจำลองน้ำมันอีกสองชนิดที่ไม่มีสารนี้อยู่ refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มจึงสูงกว่าในแบบจำลองน้ำมันอีกสองชนิด อีกปัจจัยหนึ่งที่คาดว่าเป็นผลให้ refining loss ของแบบจำลองน้ำมันแตกต่างกันคือ ความหนืด โดย Gopala Krishna (1993) พบว่า refining loss เพิ่มขึ้นเมื่อความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำมันปาล์มมีความหนืดที่ 21°C เท่ากับ 88.6 centipoise (cP) สูงกว่าน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันทานตะวันที่มีความหนืด 57.2 และ 60.0 cP ตามลำดับ (พิศมัย เจนวนิชปัญญากุล, 2544) จึงทำให้แบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มมีค่า refining loss สูงกว่าแบบจำลองจากน้ำมันอื่น อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบค่า refining loss จากทั้งสองวิธี ได้ผลดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบผลของไขรำข้าวต่อ refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation กับ conventional centrifugation ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจาก (ก) น้ำมันปาล์ม (ข) น้ำมันถั่วเหลือง (ค) น้ำมันทานตะวัน

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติการเป็น emulsion stabilizer ของไขทำให้ชั้นสบู่สามารถอุ้มน้ำมันได้ดียิ่งขึ้น จึงเกิดการสูญเสียน้ำมันเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณไข และเนื่องจากความเร็วรอบในการเหวี่ยงของทั้งสองวิธีมีค่าไม่เท่ากัน กล่าวคือความเร็วรอบในการเหวี่ยงของเครื่อง hematocrit เท่ากับ 9,000 rpm หรือคิดเป็นค่า g (อัตราส่วนแรงหนีศูนย์กลางต่อแรงดึงดูดโลก) เท่ากับ 8,412 ซึ่งมากกว่าความเร็วรอบของวิธี conventional centrifugation ที่ใช้ 3,500 rpm (999 g) ถึง 8 เท่า จึงส่งผลให้ค่า refining loss จากวิธี capillary centrifugation ต่ำกว่าวิธี conventional centrifugation โดยให้ผลไปในทิศทางเดียวกันในทุกแบบจำลองน้ำมัน ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งการวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี conventional centrifugation ในงานวิจัยที่ผ่านมาที่ใช้แรงเหวี่ยงต่ำเช่นเดียวกัน เช่น Mishra และคณะ (1988) ใช้แรงเหวี่ยง 1405 เป็นเวลา 5 นาที และ Hartman และ Dos Reis (1976) ใช้ความเร็วรอบที่ 3,000 rpm นาน 5 นาที เป็นต้น จะเห็นว่าแรงเหวี่ยงที่ใช้ต่ำกว่า วิธี capillary centrifugation มาก แม้ว่าการทดลองนี้ใช้เวลาในการเหวี่ยงถึง 10 นาที ซึ่งมากกว่าวิธี capillary ที่ใช้เพียง 5 นาที แต่ก็ไม่เพียงพอต่อการดึงน้ำมันที่อยู่ในชั้นสบู่ออกมาได้อย่างสมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดชั้นของไขขึ้นระหว่างชั้นของน้ำมันด้านบนและสบู่ด้านล่าง ดังรูปที่ 4.9

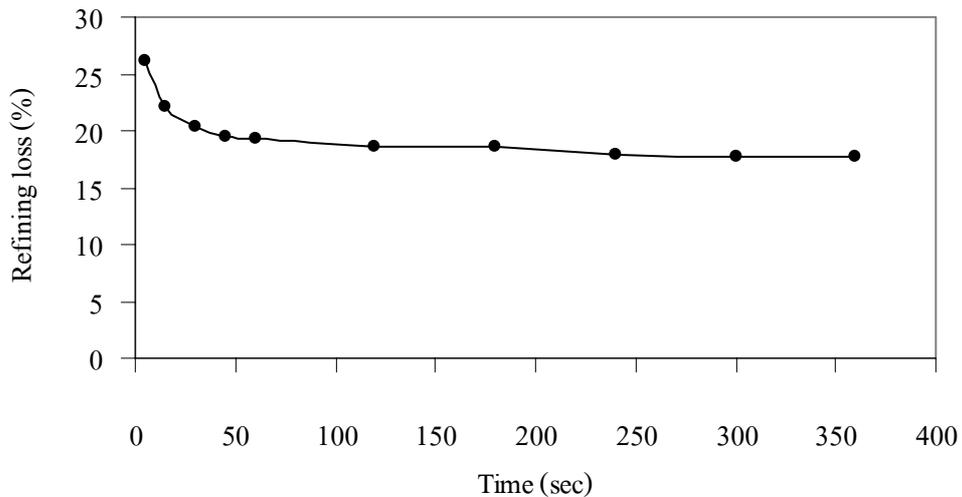


รูปที่ 4.9 การแยกชั้นของน้ำมัน ไข่ และสบู่ในหลอดทดลองที่วิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี conventional centrifugation (ค่า g เท่ากับ 999 เวลา 10 นาที)

เพื่อเป็นการยืนยันแนวคิดที่กล่าวมา จึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อทดสอบการแยกตัวของน้ำมันและสบู่เมื่อใช้เวลาในการเหวี่ยงด้วย hematocrit ของวิธี capillary ที่ 9,000 rpm ให้น้อยกว่า 5 นาที ซึ่งคาดว่าจะทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำมันออกจากชั้นของสบู่ลดลง ค่า refining loss ที่ได้ควรเพิ่มขึ้นและควรใกล้เคียงกับวิธี conventional centrifugation โดยใช้แบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่เติมไข่ 1% ในการทดลอง จากนั้นเพิ่มเวลาในการเหวี่ยงที่ 9,000 rpm ตั้งแต่ 5 วินาที จนถึง 360 วินาที พร้อมทั้งวัดค่า refining loss ที่เกิดขึ้น ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.7 และกราฟรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.7 Refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่เติมไข่ 1% ปั่นเหวี่ยงที่ 9,000 rpm โดยใช้ระยะเวลาต่างๆ กัน

Tube Time (min)	Refining loss (%)									AVG	SD
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9		
5	28.55	25.41	25.12	24.49	26.69	27.27	27.27	24.45	25.88	26.13	1.41
15	21.96	21.96	21.70	21.88	23.38	23.07	23.07	20.17	21.42	22.06	1.00
30	20.23	20.23	19.99	20.25	20.07	21.38	21.38	19.31	19.63	20.27	0.70
45	19.37	19.37	19.37	19.44	19.24	20.54	20.54	18.45	18.73	19.45	0.70
60	19.37	19.37	19.37	19.44	19.24	20.54	20.54	17.60	18.73	19.35	0.89
120	18.50	18.50	18.28	18.62	19.24	19.70	19.70	17.60	17.84	18.66	0.75
180	18.50	18.50	18.28	18.62	18.42	19.70	19.70	17.60	17.84	18.57	0.72
240	17.42	17.64	18.28	17.81	18.42	18.86	18.86	16.74	17.84	17.98	0.69
300	17.42	17.64	17.42	17.81	17.80	18.86	18.86	16.74	17.61	17.79	0.68
360	17.42	17.64	17.42	17.81	17.80	18.86	18.86	16.74	17.61	17.79	0.68



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลของ refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation ของแบบจำลอง น้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่เติมไขมัน 1% ปั่นเหวี่ยงที่ 9,000 rpm (8412 g) ด้วยระยะเวลาต่างๆ กัน

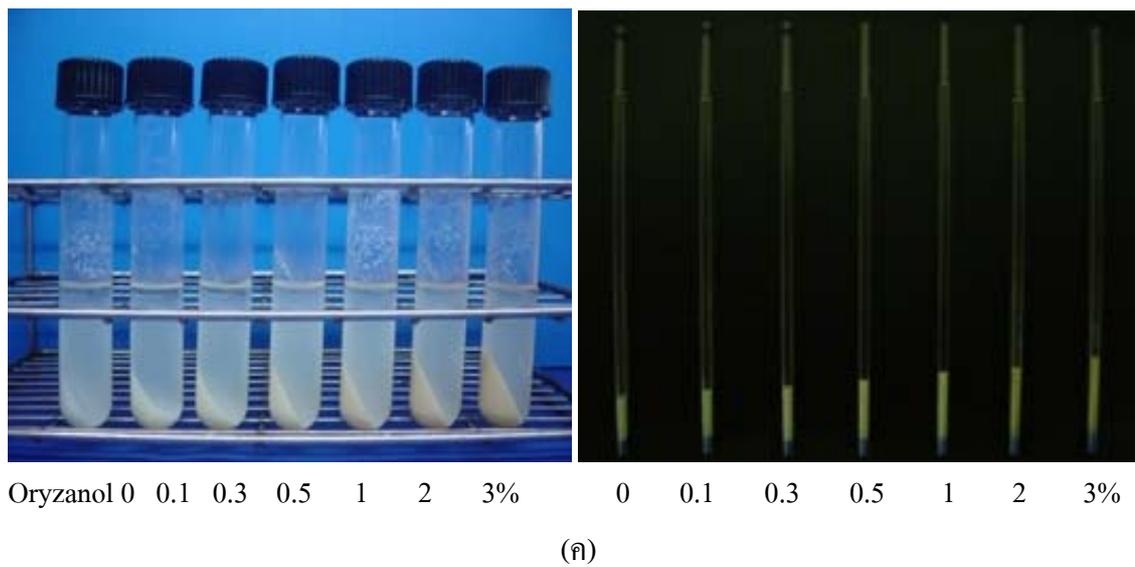
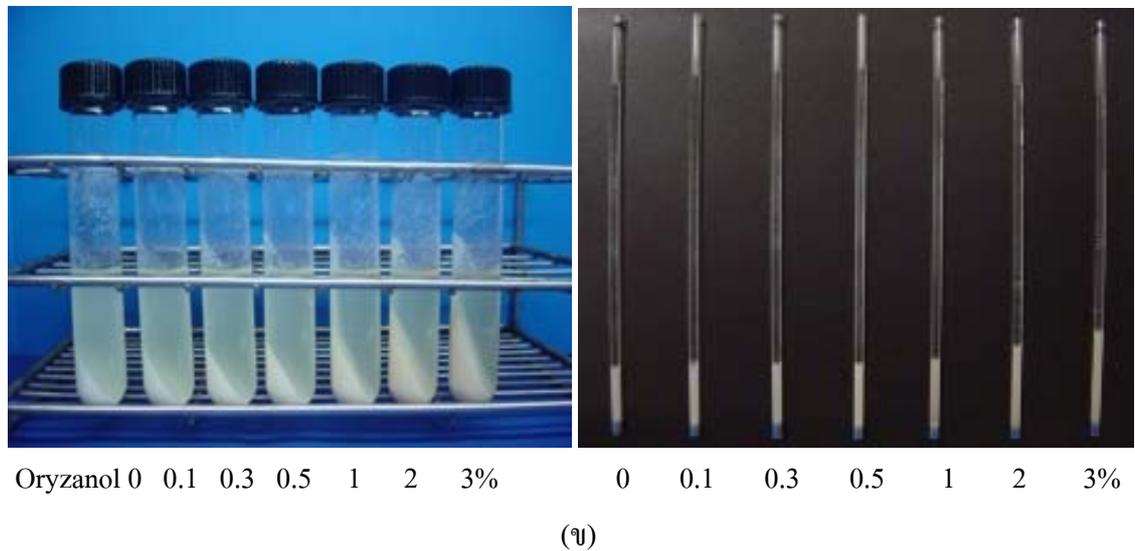
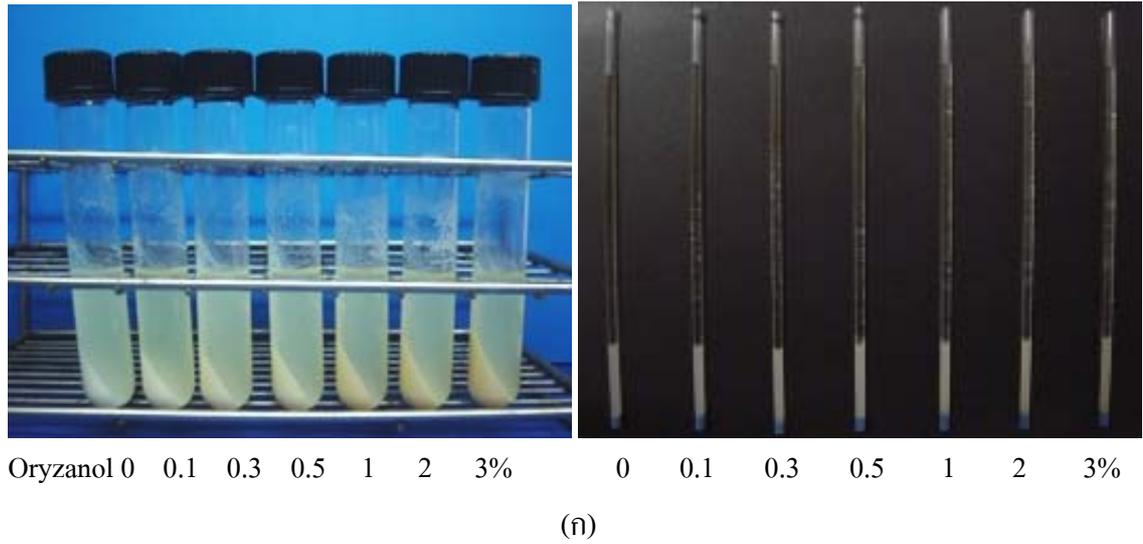
ผลจากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าค่า refining loss ลดลงเมื่อเวลาในการปั่นเหวี่ยงเพิ่มขึ้น โดยลดลงจาก 26.13% ที่เวลาในการเหวี่ยง 5 วินาที จนกระทั่งที่เวลา 300 วินาที (5 นาที) ซึ่งมีค่า refining loss เท่ากับ 17.79% เนื่องจากมีแรงเหวี่ยงมากพอในการดึงน้ำมันออกจากชั้นสบู่ออกได้สมบูรณ์มากขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่าหากเวลาเพิ่มขึ้นจะทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงจาก 1.14 เป็น 0.68 นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบ refining loss ที่ 5 นาที กับวิธี conventional centrifugation ซึ่งเท่ากับ 21.31% พบว่าค่าแตกต่างกัน 3.52 แต่เมื่อลดเวลาของ hematocrit ลงเหลือ 15 วินาที ค่าต่างกันน้อยลงเหลือ 0.75 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความแตกต่างของค่า refining loss จากวิธี capillary กับวิธี conventional centrifugation เป็นผลเนื่องมาจากแรงเหวี่ยงที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแก้ไขให้ค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น โดยการลดเวลาในการเหวี่ยงของวิธี capillary ลง หรือเพิ่มแรงเหวี่ยงของวิธี conventional ให้มากขึ้น

อย่างไรก็ตามในโรงงานอุตสาหกรรมใช้แรงเหวี่ยงไม่สูงในการแยกน้ำมันออกจากสบู่ แม้ว่าจะทำให้ไม่สามารถแยกน้ำมันออกมาได้อย่างสมบูรณ์ แต่การปรับเปลี่ยนเครื่องจักรหรือเครื่องปั่นเหวี่ยงให้มีความเร็วรอบสูงขึ้น รวมทั้งการเพิ่มเวลาในการเหวี่ยงให้นานขึ้นนั้นก็มีวิธีการที่ยุ่งยาก ซับซ้อน และเสียค่าใช้จ่ายสูง จึงไม่คุ้มต่อการลงทุน แม้ว่าจะช่วยให้ได้น้ำมันปริมาณมากขึ้นก็ตาม ดังนั้นวิธีการที่ใช้วัด refining loss จึงต้องอ้างอิงถึงสถานะแรงเหวี่ยงที่ใช้จริงในโรงงาน ซึ่งวิธี conventional centrifugation ใช้สถานะในการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับที่ใช้จริง จึงเป็นที่ยอมรับและนำไปใช้ในโรงงาน ดังนั้นการพัฒนาวิธี capillary centrifugation ต้องคำนึงถึงการนำไปใช้จริงเช่นเดียวกัน จึงต้องลดระยะเวลาในการปั่นเหวี่ยงลงเพื่อให้สถานะใกล้เคียงกับในโรงงานอุตสาหกรรมมากขึ้น

Mishra และคณะ (1988) รายงานว่า refining loss ที่วิเคราะห์ได้จากวิธี AOCs cup method > Centrifuge method > Chromatographic method > Wesson method หากนำค่า refining loss ของวิธี capillary มาเปรียบเทียบกับ AOCs cup method ค่าที่ได้จะแตกต่างกันมากกว่าการเทียบค่ากับวิธี conventional centrifugation แม้จะมีการพัฒนาวิธี conventional ให้ค่าต่ำกว่าวิธี cup method ถึง 20-40% แล้วก็ตาม (King และ Wharton, 1948) ดังนั้นจึงอาจเลือกวิธี Wesson method ซึ่งให้ค่าต่ำสุดใน 4 วิธีที่ Mishra และคณะศึกษา มาเปรียบเทียบกับวิธี capillary เพื่อให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกันมากขึ้น นอกจากนี้ Wesson method ยังเป็นที่ยอมรับว่าเป็นวิธีที่ให้ค่าการสูญเสียน้ำมันที่ถูกต้อง สามารถทำซ้ำ และให้ผลที่ใกล้เคียงกันมากกว่าวิธี cup method โดย King และ Wharton (1948) พบว่าวิธี Wesson method มีความเบี่ยงเบนของข้อมูลน้อยกว่าวิธี cup method ถึง 4 เท่า และความแตกต่างของวิธีนี้ยังขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน โดยอัตราส่วนเฉลี่ยของค่า refining loss จากวิธี cup method ต่อ Wesson method ของน้ำมันเมล็ดฝ้ายดิบ เท่ากับ 2.3 แต่ในน้ำมันถั่วเหลืองดิบเท่ากับ 1.7 ดังนั้นองค์ประกอบของน้ำมันจึงมีผลต่อค่า refining loss ของแต่ละวิธี

4.3.3 การศึกษาผลของโอไรซานอล (oryzanol) ต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน

น้ำมันรำข้าวเป็นน้ำมันที่มีโอไรซานอลในปริมาณสูง โดยพบแกมมา-โอไรซานอล (γ -oryzanol) ในน้ำมันรำข้าวดิบสูงถึง 15000 ppm (Rogers และคณะ, 1993) แต่น้ำมันรำข้าวที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ พบว่ามีโอไรซานอลประมาณ 700-2000 ppm เท่านั้น (นัยนา บุญทวีวัฒน์ และเรวดี จงสุวัฒน์, 2545) โดยโอไรซานอลส่วนใหญ่สูญเสียไปในขั้นตอนการทำให้เป็นกลาง Mishra และคณะ (1988) รายงานว่าโอไรซานอลมีผลทำให้ refining loss เพิ่มขึ้น โดยเพิ่มจาก 16.7% เป็น 24.8% เมื่อเพิ่มโอไรซานอลจาก 0.1% เป็น 2% ดังนั้นการทดลองนี้จึงทำการศึกษาผลของ โอไรซานอลต่อ refining loss เพื่อยืนยันผลดังกล่าว พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation นอกจากนี้ยังศึกษาว่าแบบจำลองน้ำมันรำข้าวที่เตรียมขึ้นจากน้ำมันชนิดต่างๆ ให้ผลเหมือนกันหรือไม่ โดยการเติมโอไรซานอลที่ 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 และ 3% (w/w) ลงในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันทั้ง 3 ชนิดที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8% และหาค่า refining loss ที่เกิดขึ้นจากทั้ง 2 วิธี ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.8

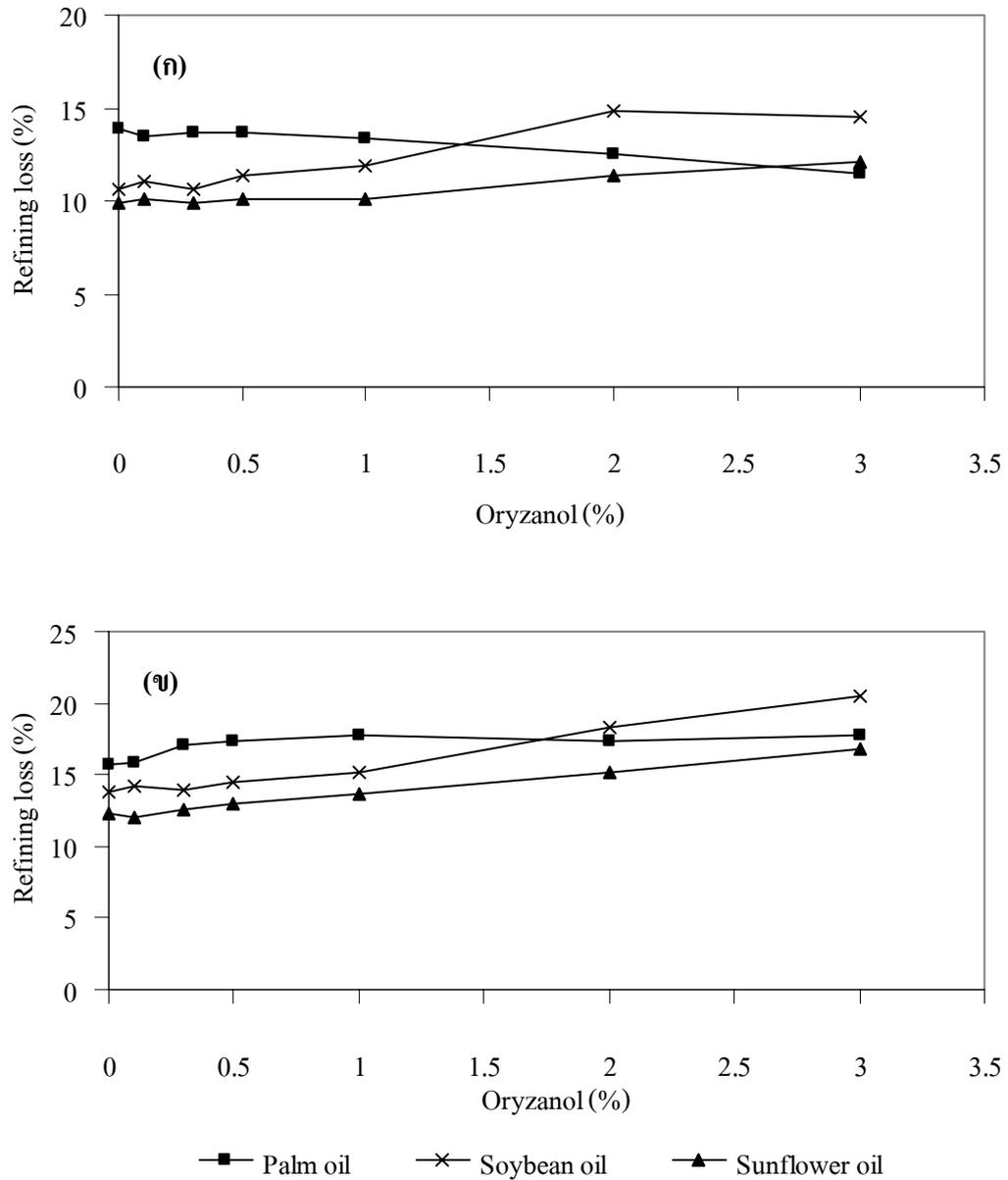


รูปที่ 4.11 ผลของโอไรซานอลที่ปริมาณ 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 และ 3% ต่อการเกิด refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี conventional centrifugation และ capillary centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจาก (ก) น้ำมันปาล์ม (ข) น้ำมันถั่วเหลือง และ (ค) น้ำมันทานตะวัน

ตารางที่ 4.8 แสดงผลของโอไรซานอลต่อการเกิด refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าว

Oryzanol (%)	Refining loss (%)					
	Palm oil		Soybean oil		Sunflower oil	
	Capillary	Conventional	Capillary	Conventional	Capillary	Conventional
0	13.90 ± 1.09	15.74 ± 0.72	10.63 ± 1.19	13.73 ± 0.30	9.92 ± 0.61	12.26 ± 0.19
0.1	13.52 ± 1.08	15.84 ± 1.07	11.02 ± 0.26	14.26 ± 0.40	10.07 ± 1.03	12.04 ± 0.61
0.3	13.68 ± 0.81	17.08 ± 0.60	10.66 ± 0.63	14.00 ± 0.25	9.88 ± 0.66	12.52 ± 0.36
0.5	13.68 ± 0.58	17.35 ± 0.41	11.39 ± 1.16	14.44 ± 0.38	10.14 ± 0.58	12.98 ± 0.15
1	13.37 ± 0.90	17.75 ± 0.04	11.89 ± 0.75	15.20 ± 0.10	10.07 ± 0.78	13.73 ± 0.22
2	12.48 ± 0.09	17.29 ± 0.77	14.84 ± 0.89	18.33 ± 0.76	11.39 ± 0.90	15.12 ± 0.39
3	11.47 ± 0.68	17.82 ± 0.47	14.52 ± 1.40	20.45 ± 0.87	12.15 ± 1.03	16.83 ± 0.52

จากตารางที่ 4.8 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโรซานอลกับเปอร์เซ็นต์ refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation ดังรูปที่ 4.12

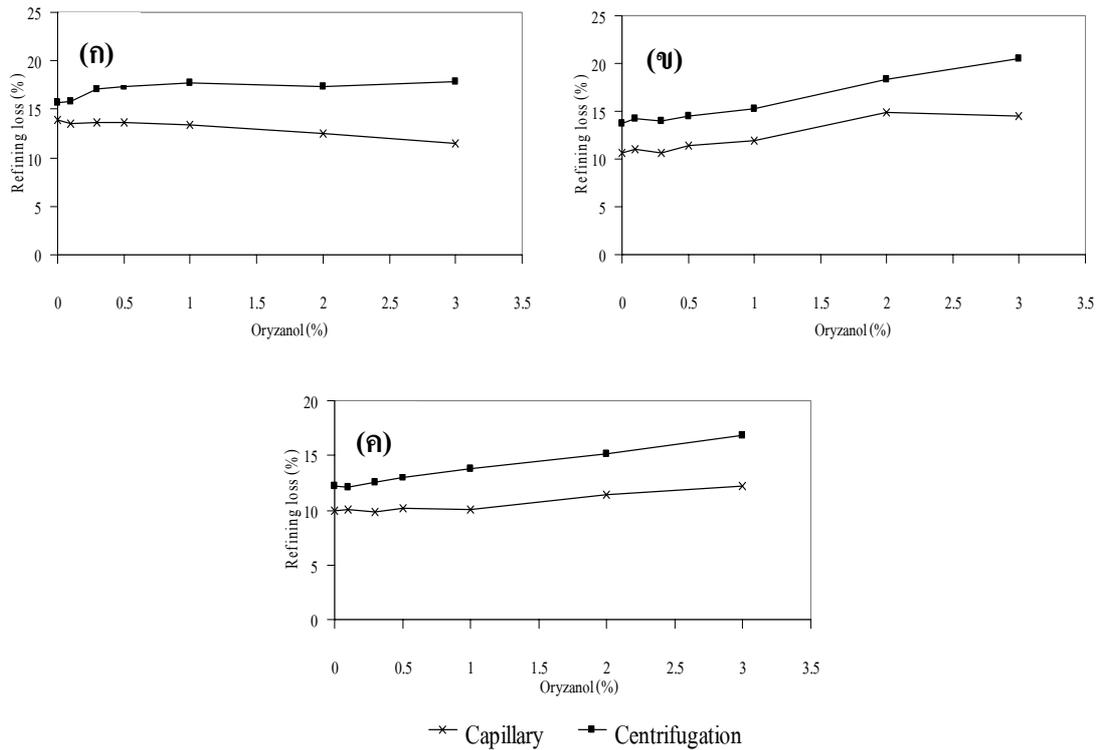


รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบผลของโอโรซานอลที่มีต่อ refining loss ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี (ก) capillary centrifugation (ข) conventional centrifugation

เมื่อเปรียบเทียบ refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันแต่ละชนิด พบว่าการเพิ่มปริมาณ โอโรซานอลในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันถั่วเหลืองและน้ำมันทานตะวัน ทำให้ค่า refining loss เพิ่มขึ้นเล็กน้อย โดยที่ปริมาณ โอโรซานอล 0.1-1% ให้ค่า refining loss ค่อนข้างคงที่ จะเห็นความแตกต่างมากขึ้นเมื่อมีปริมาณโอโรซานอลสูงขึ้น เช่น ที่ 2% หรือ 3% ทั้งจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation แต่สำหรับในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มนั้น เมื่อโอโรซานอลเพิ่มขึ้นจาก 0.1 เป็น 3% ค่า refining loss จากวิธี capillary ต่ำลงเล็กน้อย คือลดลงจาก 13.52% เหลือ 11.47% ส่วนการวิเคราะห์ด้วยวิธี conventional ค่า refining loss เพิ่มขึ้นเล็กน้อย จาก 15.84% เป็น 17.82% เมื่อเทียบกับน้ำมันชนิดอื่นๆ

สาเหตุของการที่แบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่เติมโอโรซานอลให้ค่า refining loss ต่ำกว่าแบบจำลองน้ำมันอีก 2 ชนิดนั้น ยังไม่สามารถอธิบายได้ แต่คาดว่าอาจเป็นผลจากองค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม ที่มีสารกลุ่ม carotenoids อยู่ประมาณ 500-700 ppm ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในรูป α - และ β -carotene แตกต่างจากน้ำมันชนิดอื่น นอกจากนี้ในน้ำมันปาล์มดิบมีปริมาณของ tocopherol และ tocotrienol 600-1000 ppm ซึ่งเมื่อผ่านการทำให้บริสุทธิ์จะเหลือประมาณ 50% ของปริมาณเริ่มต้น (Hui, 1996) อย่างไรก็ตาม Gopala Krishna (1993) ศึกษาผลของไขมันองค์ประกอบอื่นๆ ของน้ำมันต่อความหนืดและ refining loss พบว่าความหนืดมีผลต่อการสูญเสียไขมัน โดยไขมันสามารถเพิ่มความหนืดและ refining loss ของน้ำมันได้ ส่วนโอโรซานอล กรดไขมันอิสระ lecithin และ monoglyceride ไม่มีผลต่อความหนืดของน้ำมัน หากไขมันรวมกับ monoglyceride สามารถเพิ่มความหนืดและทำให้ refining loss เพิ่มขึ้น ในขณะที่ไขมันรวมกับโอโรซานอลกลับทำให้ความหนืดลดลง ทั้งๆ ที่เมื่อมีเฉพาะโอโรซานอล ความหนืดของน้ำมันไม่เปลี่ยนแปลง จะเห็นว่าโอโรซานอลสามารถลดผลของไขมันได้ อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาว่า หากโอโรซานอลรวมกับสารชนิดอื่นจะให้ผลเช่นไร จึงเป็นไปได้ว่าโอโรซานอลอาจรวมกับสารที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม เช่น β -carotene และ tocotrienol ส่งผลต่อความหนืดและการสูญเสียไขมัน ทำให้ค่า refining loss ต่างจากแบบจำลองน้ำมันอีก 2 ชนิดที่ไม่มีสารเหล่านี้อยู่

เมื่อเปรียบเทียบค่า refining loss จากวิธี capillary กับ conventional centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันทั้ง 3 ชนิด ได้ผลดังรูปที่ 4.13 พบว่าค่า refining loss ของวิธี capillary ต่ำกว่าวิธี conventional ในทุกแบบจำลองน้ำมัน ซึ่งสาเหตุเกิดจากแรงเหวี่ยงของวิธี capillary สูงกว่าวิธี conventional ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบผลของโอไรซานอลที่มีต่อ refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation กับ conventional centrifugation ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจาก (ก) น้ำมันปาล์ม (ข) น้ำมันถั่วเหลือง (ค) น้ำมันทานตะวัน

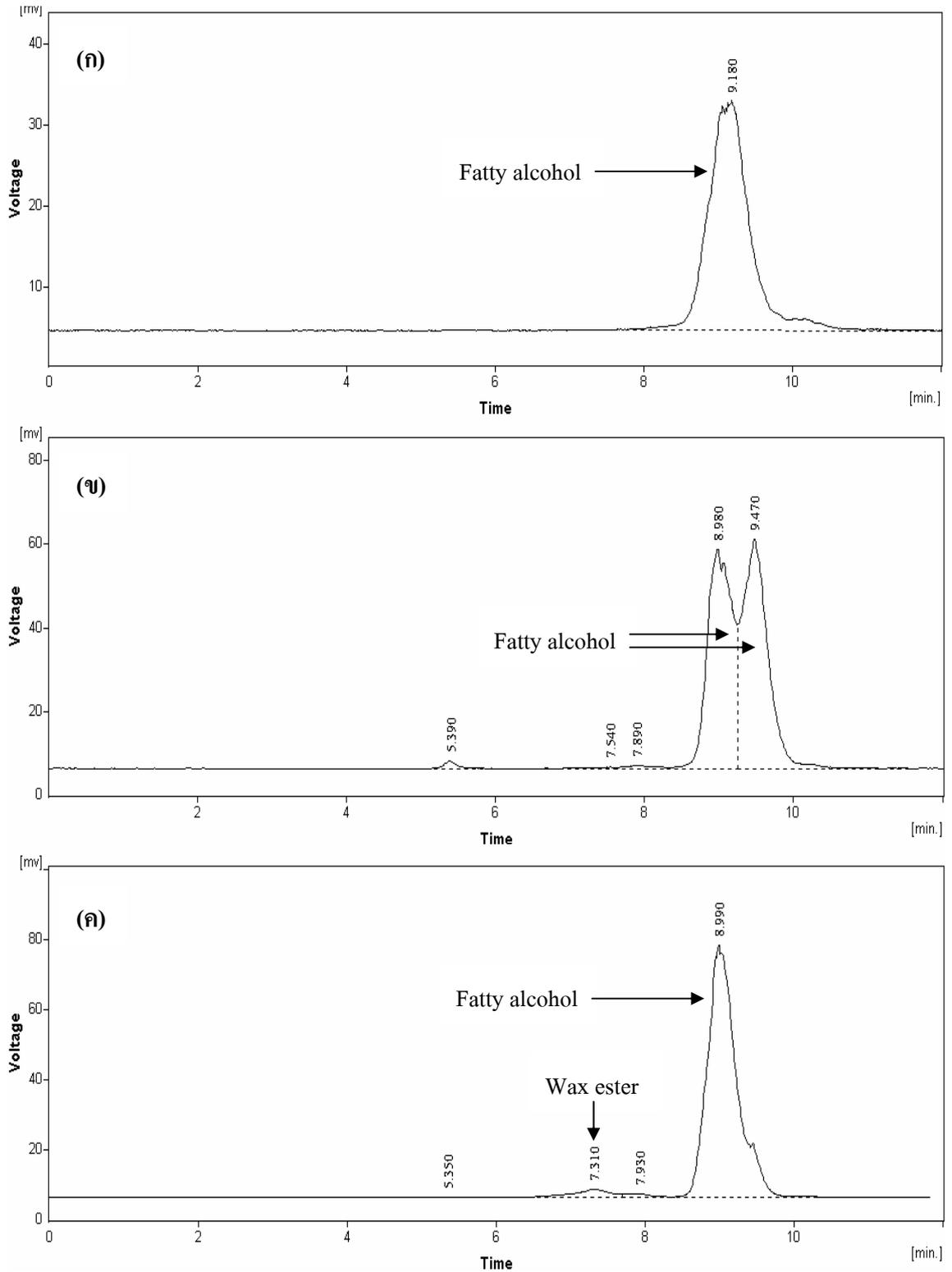
4.3.4 การศึกษาผลของไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน

จากผลของไขรำข้าวต่อการเกิด refining loss ในงานวิจัยนี้ รวมทั้งผลของ Mishra และคณะ (1988) และผลของเก่งหทัย ยืนยงสุวรรณ (2548) พบว่าไขรำข้าวทำให้เกิดการสูญเสียไขมัน แต่อย่างไรก็ตาม การศึกษาที่ผ่านมาไม่ได้ทดลองว่าองค์ประกอบใดในไขรำข้าวซึ่งมีทั้ง wax ester และไขมันแอลกอฮอล์ ที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสูญเสียไขมันในขั้นตอนทำให้เป็นกลาง เก่งหทัย ยืนยงสุวรรณ (2548) ทำการศึกษาผลของไขมันแอลกอฮอล์ที่มีความยาวคาร์บอน 14-20 อะตอม และ wax ester (C_{36}) ที่สังเคราะห์ขึ้นเอง พบว่าไม่มีผลต่อการเกิดการสูญเสียไขมัน ทั้งนี้เนื่องจากสารที่นำมาใช้ศึกษามีความยาวคาร์บอนสั้นกว่าที่มีอยู่จริงในไขรำข้าว ซึ่งปกติความยาวของสายคาร์บอนของ wax ester อยู่ที่ 54 อะตอม (Tsuchiya, 1948) และของไขมันแอลกอฮอล์อยู่ที่ 26 และ 30 อะตอม (Warth, 1956) ดังนั้นจึงทำการศึกษาว่าไขมันแอลกอฮอล์ที่อยู่ในไขรำข้าวเป็นต้นเหตุให้เกิดการสูญเสียไขมันหรือไม่ และเพื่อขจัดปัญหาเรื่องความยาวคาร์บอนของไขมันแอลกอฮอล์ที่ใช้ จึงทำการสกัดไขมันแอลกอฮอล์ที่มีอยู่จริงในไขรำข้าวออกมาใช้ในการทดลองนี้

การสกัดไขมันแอลกอฮอล์เริ่มจากการนำไขมันที่ผ่านการไฮโดรไลส์หรือสปอนนิฟายน์แล้ว ซึ่งมี ส่วนไขมันแอลกอฮอล์ผสมกับกรดไขมันมาสกัดด้วยน้ำและโทลูอีน โดยไขมันแอลกอฮอล์จะละลาย ในโทลูอีน ส่วนกรดไขมันซึ่งอยู่ในรูปเกลือของกรดไขมันจะละลายน้ำ แต่เนื่องจากส่วนของสาย ไฮโดรคาร์บอนในโมเลกุลกรดไขมันมีสายยาวและไม่มีขั้วจึงสามารถละลายได้ในโทลูอีน ดังนั้นจึง เกิดเป็นอิมัลชันขึ้น ซึ่งทำให้ยากต่อการสกัดไขมันแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้ไขมันที่นำมา สกัดต้องผ่านการไฮโดรไลส์ด้วยด่าง ชั้นน้ำจึงมีสภาพเป็นด่าง ส่งผลให้กรดไขมันละลายในโทลูอีน ได้ดีขึ้นและยากต่อการแยกกรดไขมันออกจากไขมันแอลกอฮอล์ ในที่นี้จึงทำการลดอิมัลชันโดยการ เติมน้ำและทำการล้างน้ำหลายๆ ครั้ง เพื่อให้กรดไขมันเหลืออยู่น้อยที่สุด นอกจากนี้ยังใช้ความร้อนช่วยให้ไขมันแอลกอฮอล์ละลายในโทลูอีนได้ดีขึ้น ซึ่งเมื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วย HPLC ได้ผลดังรูปที่ 4.14 (ก) พบว่าไขมันแอลกอฮอล์ที่ได้มีความบริสุทธิ์ 100%

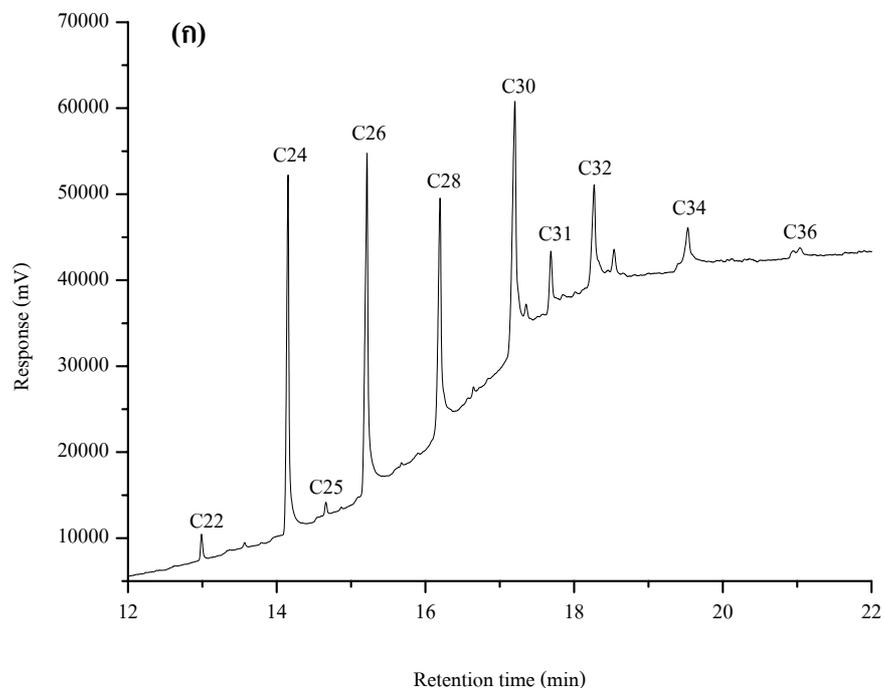
อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการสกัดไขมันแอลกอฮอล์เพิ่มเพื่อให้เพียงพอต่อการทดลองโดยใช้วิธีการเดิม กลับพบว่าไม่สามารถสกัดไขมันแอลกอฮอล์ให้บริสุทธิ์ได้เช่นเดิม ดังนั้นจึงทำการสกัดซ้ำด้วยไอโซ- ออกเทน เพราะเป็นสารละลายที่ไม่มีขั้ว (non-polar) มากกว่าโทลูอีน กรดไขมันจึงละลายในไอโซ- ออกเทนได้มากขึ้น ส่งผลให้ไขมันแอลกอฮอล์บริสุทธิ์มากขึ้น จากนั้นนำเฉพาะส่วนไอโซออกเทนมา ใส่ในกรวยแยก เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการตกตะกอนของไขมันแอลกอฮอล์ ซึ่งเมื่อนำส่วนใสและส่วน ตะกอนมาตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วยเครื่อง HPLC ได้ผลดังรูปที่ 4.14 (ข) และ (ค) ตามลำดับ โดย ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าไขมันแอลกอฮอล์ที่สกัดได้มี wax ester ปนเปื้อนอยู่เล็กน้อย เนื่องมาจาก ไฮโดรไลส์ไขมันไม่สมบูรณ์ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มความเข้มข้นของด่าง หรือใช้เวลาใน การทำปฏิกิริยาให้นานขึ้น

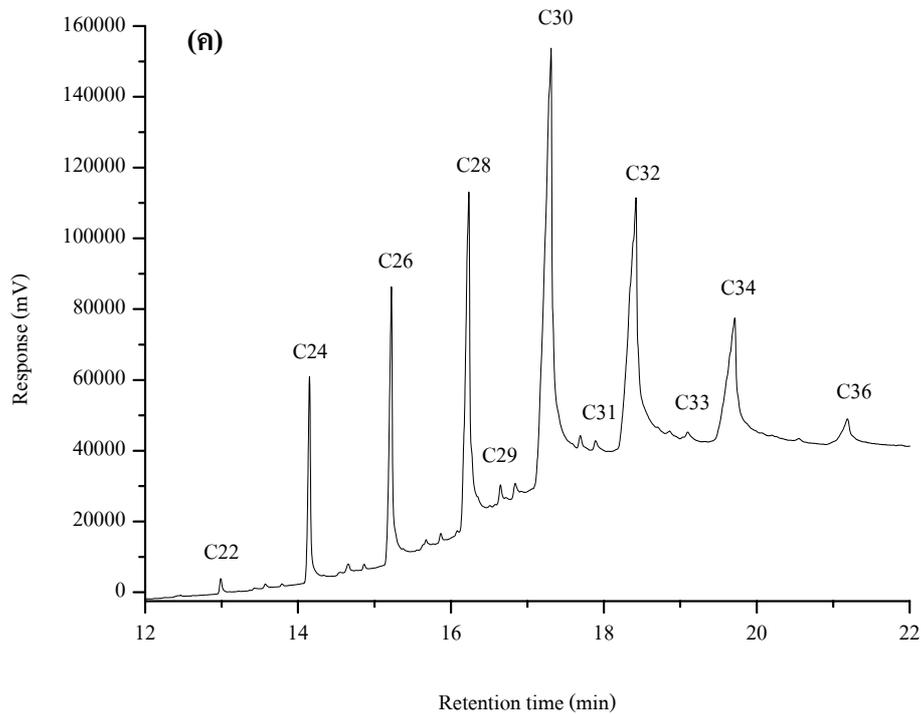
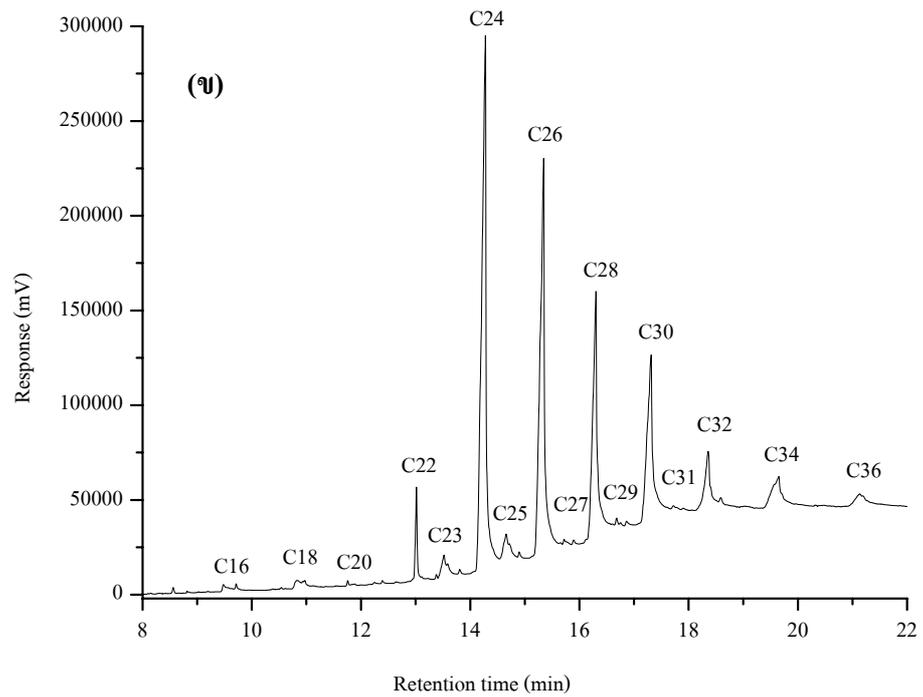
จากการทดลองพบว่าหากยังมีกรดไขมันเหลืออยู่ในชั้นไอโซออกเทน ไขมันแอลกอฮอล์ที่ตกตะกอน จะบริสุทธิ์กว่าส่วนที่ละลาย เพราะกรดไขมันอิสระสามารถละลายอยู่ในตัวทำละลายได้ แต่หาก สามารถกำจัดกรดไขมันได้ แต่ยังมีไขเจือปนเนื่องจากไฮโดรไลส์ไขมันไม่สมบูรณ์ กลับพบว่า ไขมันแอลกอฮอล์ในส่วนที่ละลายจะบริสุทธิ์กว่าส่วนที่ตกตะกอน เพราะไขซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูง สามารถตกตะกอนพร้อมกับไขมันแอลกอฮอล์ได้เมื่อกำลังที่อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4.14 โครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์ที่สกัดจากไขรำข้าวเมื่ (ก) สกัดด้วยโทลูอีน (ข) ส่วนที่สกัดซ้ำและละลายในไอโซออกเทน (ค) ส่วนที่สกัดซ้ำด้วยไอโซออกเทนและตกตะกอนเมื่อวางไว้ข้ามคืน โดยวิเคราะห์ด้วย HPLC ใช้คอลัมน์ phenogel ต่อกับ Evaporative Light Scattering Detector และใช้วัฏภาคเคลื่อนที่คือ 0.25% กรดอะซิติกในโทลูอีน อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที อุณหภูมิ 25-30°C ที่ความดัน 2 Bar

เมื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์ด้วย HPLC พบว่าแอลกอฮอล์ที่ได้จากส่วนที่ละลายในไอโซออกเทนและส่วนตกตะกอนมีความบริสุทธิ์ 98.01% และ 94.54% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเป็นที่น่าสังเกตว่าไขมันแอลกอฮอล์ที่ละลายในไอโซออกเทน เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วย HPLC แยกเป็น 2 พีค ดังรูปที่ 4.14 (ข) โดยพีคแรกอยู่ตำแหน่งเดียวกับไขมันแอลกอฮอล์ที่ได้จากส่วนที่ตกตะกอน ดังรูปที่ 4.14 (ค) ส่วนอีกพีคอยู่ตำแหน่งถัดไป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของไขมันแอลกอฮอล์จากไขรำข้าวมีขนาดโมเลกุลที่ต่างกันในช่วงกว้าง โดยประกอบด้วยแอลกอฮอล์ที่มีจำนวนคาร์บอน 24-36 อะตอม (Stuchlik และ Zak, 2002) จึงเป็นไปได้ว่าพีคแรกเป็นไขมันแอลกอฮอล์ที่มีสายยาว มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สามารถตกตะกอนเมื่อตั้งทิ้งไว้ และถูกชะออกจากคอลัมน์ phenogel ซึ่งเป็นคอลัมน์ที่แยกสารตามขนาดอนุภาคออกมาก่อน ส่วนพีคหลังเป็นไขมันแอลกอฮอล์สายสั้นกว่าจึงละลายอยู่ในไอโซออกเทนได้ง่าย และโมเลกุลมีขนาดเล็กกว่าจึงถูกชะออกมาทีหลัง เพื่อยืนยันแนวคิดดังกล่าว จึงทดลองต่อโดยนำตัวอย่างที่ได้ไปวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบด้วยเครื่อง gas chromatography (GC) โดยใช้คอลัมน์ ZB-5 (5%-phenyl)-methylpolysiloxane และใช้เครื่องตรวจวัดชนิด flame ionization detector (FID) รายละเอียดทั้งหมดของโครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์จากส่วนที่สกัดด้วยโทลูอิน ส่วนที่ละลายในไอโซออกเทนและส่วนที่ตกตะกอนจากไอโซออกเทนแสดงดังภาคผนวก จ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.9





รูปที่ 4.15 โครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์ที่สกัดจากไขรำข้าว เมื่อ (ก) สกัดด้วยโทลูอิน (ข) ส่วนที่สกัดซ้ำและละลายในไอโซออกเทน (ค) ส่วนที่สกัดซ้ำด้วยไอโซออกเทนและตกตะกอนเมื่อวางไว้ข้ามคืน วิเคราะห์ด้วย GC-FID ใช้คอลัมน์ ZB-5 (5% phenyl-95% diethylpolysiloxane) ที่อุณหภูมิ 150°C นาน 3 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิด้วยอัตรา 15°C ต่อนาที จนถึง 350°C นาน 10 นาที และใช้อุณหภูมิอินเจกเตอร์และตัวตรวจวัดที่ 360°C

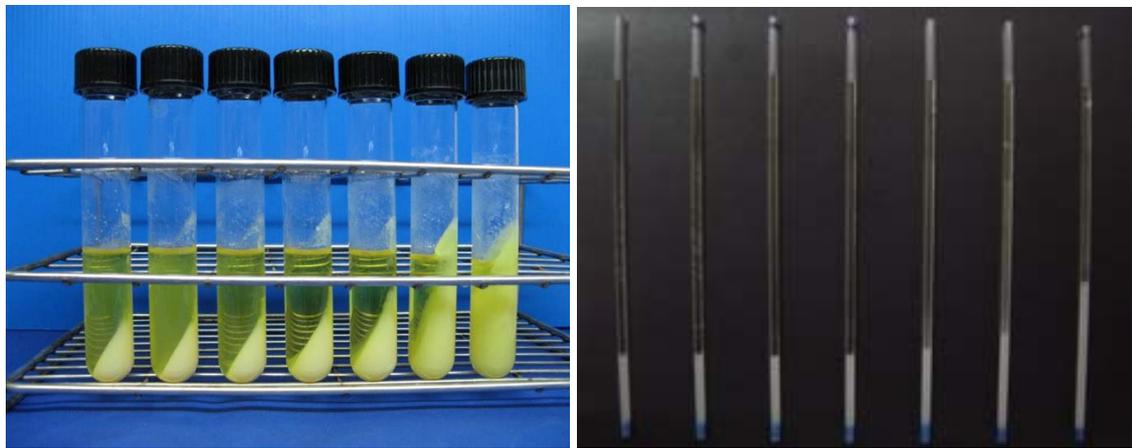
ตารางที่ 4.9 ไขมันแอลกอฮอล์ที่สกัดจากไขรำข้าว

Fatty alcohol	Stuchlik และ Zak, 2002	สกัดด้วยโทลูอีน	ส่วนละลายในไอโซออกเทน	ส่วนตกตะกอนจากไอโซออกเทน
Hexadecanol C16	-	-	0.2	-
Octadecanol C18	-	-	0.5	-
Eicosanol C20	-	-	0.1	-
Docosanol C22	1.1	1.2	2.1	0.3
Tricosanol C23	-	-	0.4	-
Tetracosanol C24	11.6	19.9	29.5	4.6
Pentacosanol C25	-	0.6	0.9	-
Hexacosanol C26	10.6	21.4	23.1	8.0
Heptacosanol C27	-	-	0.1	-
Octacosanol C28	20.2	16.8	14.8	14.5
Nonacosanol C29	-	-	0.2	0.5
Triacontanol C30	30.1	20.9	12.7	33.1
Hentriacontanol C31	-	2.9	0.4	-
Dotriacontanol C32	16.8	8.3	4.1	23.7
Tritriacontanol C33	-	-	-	0.3
Tetracontanol C34	8.0	3.8	3.4	11.2
Haxatriacontanol C36	1.4	0.6	0.8	1.7
Others	-	3.6	6.8	2.1

จากตารางที่ 4.9 ให้ผลสอดคล้องกับแนวคิดที่ว่า ส่วนตกตะกอนประกอบด้วยไขมันแอลกอฮอล์สายยาว มีน้ำหนักโมเลกุลสูง โดยมีไขมันแอลกอฮอล์ที่มีความยาวคาร์บอน 30 และ 32 อะตอม 33.1% และ 23.7% ตามลำดับ ซึ่ง Stuchlik และ Zak (2002) และ Vali และคณะ (2005) รายงานว่ามีไขมันแอลกอฮอล์ที่มีความยาวคาร์บอน 30 อะตอม มากที่สุดเช่นกัน คือ 30.1% และ 24-27% ตามลำดับ ส่วนในไอโซออกเทนพบว่าไขมันแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่มีสายสั้น 24 และ 26 อะตอม ซึ่งเท่ากับ 29.5% และ 23.1% ตามลำดับ สำหรับไขมันแอลกอฮอล์ที่ได้จากการสกัดด้วยโทลูอีนเพียงอย่างเดียวเป็นการรวมทั้งส่วนตะกอนและส่วนใสเข้าด้วยกันจึงพบไขมันแอลกอฮอล์ที่มีความยาวคาร์บอนปานกลาง โดยส่วนใหญ่มีคาร์บอน 26 และ 30 อะตอม ซึ่งเท่ากับ 21.4% และ 20.9% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามไขมันแอลกอฮอล์ที่สกัดได้จากทั้ง 3 ส่วนพบว่ามีไขมันแอลกอฮอล์ที่ไม่สามารถระบุความยาวคาร์บอนได้อย่างชัดเจน แต่คาดว่าเป็นไขมันแอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่กิ่ง (branch chain) หรือมีความยาว

คาร์บอนเป็นเลขที่ สอดคล้องกับ Vali และคณะ (2005) ซึ่งรายงานว่าไซราข้าวที่ถูกสปอนนิฟายน์มีไขมันแอลกอฮอล์ที่มีความยาวคาร์บอนเป็นเลขที่ประมาณ 3.5-4.7% และพบไขมันแอลกอฮอล์สายโซ่กิ่งที่มีความยาวคาร์บอน 34, 36 และ 38 อะตอม เท่ากับ 2.8%, 4% และ 2.9% ตามลำดับ

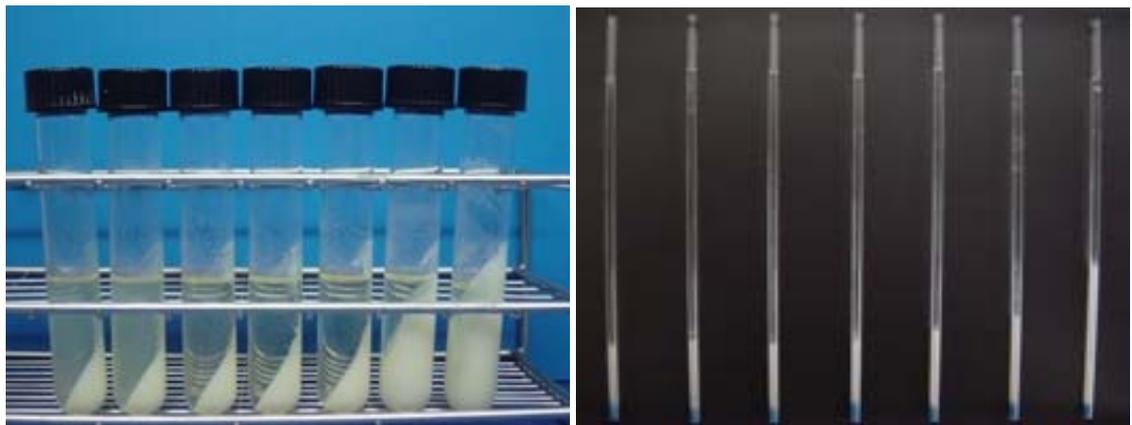
จากนั้นนำไขมันแอลกอฮอล์ที่สกัดได้จากไซราข้าวมาใช้ในการศึกษาผลของไขมันแอลกอฮอล์ต่อการเกิด refining loss ของน้ำมัน โดยเติมไขมันแอลกอฮอล์ปริมาณ 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 และ 3% (w/w) ลงในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8% และหาค่า refining loss ที่เกิดขึ้น โดยใช้วิธี capillary centrifugation และ conventional centrifugation ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.16 และตารางที่ 4.10



FAL 0 0.1 0.3 0.5 1 2 3%

0 0.1 0.3 0.5 1 2 3%

(ก)



FAL 0 0.1 0.3 0.5 1 2 3%

0 0.1 0.3 0.5 1 2 3%

(ข)

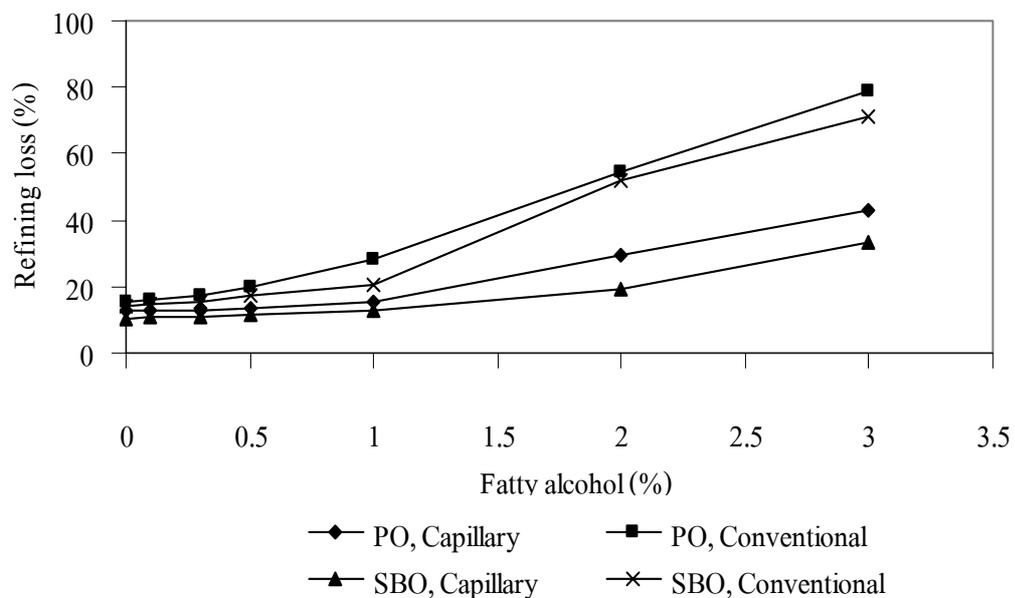
รูปที่ 4.16 ผลของไขมันแอลกอฮอล์ที่ปริมาณ 0, 0.1, 0.3, 0.5, 1, 2 และ 3% ต่อการเกิด refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี conventional centrifugation และ capillary centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจาก (ก) น้ำมันปาล์ม และ (ข) น้ำมันถั่วเหลือง โดยใช้เวลาในการปั่นเหวี่ยงของวิธี capillary ที่ 0-1, 2 และ 3% เท่ากับ 5, 15 และ 20 นาที ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 แสดงผลของไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อการเกิด refining loss ของแบบจำลองน้ำมัน*

Fatty alcohol (%)	Refining loss (%)			
	Palm oil		Soybean oil	
	Capillary	Conventional	Capillary	Conventional
0	12.84 ± 0.69	15.68 ± 0.16	10.40 ± 0.67	13.88 ± 0.07
0.1	12.78 ± 0.35	15.71 ± 0.20	11.19 ± 0.63	14.59 ± 0.78
0.3	12.71 ± 0.38	17.47 ± 0.43	10.58 ± 0.67	15.51 ± 0.38
0.5	13.55 ± 0.22	19.97 ± 0.31	11.42 ± 0.75	17.08 ± 0.53
1	15.13 ± 0.57	28.46 ± 0.51	13.11 ± 0.56	20.70 ± 0.56
2	29.60 ± 1.35	54.32 ± 0.45	19.30 ± 1.05	52.23 ± 0.59
3	42.65 ± 1.00	78.75 ± 0.51	33.09 ± 1.10	70.84 ± 1.01

* ใช้เวลาในการปั่นเหวี่ยงของวิธี capillary ในแบบจำลองที่เติมไขมันแอลกอฮอล์ 0-1, 2 และ 3% เท่ากับ 5, 15 และ 20 นาที ตามลำดับ

จากตารางสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไขมันแอลกอฮอล์สายยาวกับเปอร์เซ็นต์ refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มและน้ำมันถั่วเหลือง โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบผลของไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อ refining loss ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม (PO) และน้ำมันถั่วเหลือง (SBO) โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อปริมาณไขมันแอลกอฮอล์สายยาวในแบบจำลองน้ำมันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า refining loss เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation โดยเมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำมันของแบบจำลองน้ำมันทั้ง 2 ชนิด พบว่าแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มมีค่า refining loss สูงกว่าแบบจำลองจากน้ำมันถั่วเหลืองจากการวิเคราะห์ด้วยทั้ง 2 วิธี ซึ่งคาดว่าเป็นผลมาจากความหนืดหรือจากองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มที่อาจมีผลต่อ refining loss ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

เมื่อเปรียบเทียบการสูญเสียน้ำมันจากการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี พบว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation ให้ค่า refining loss ต่ำกว่าวิธี conventional centrifugation ในแบบจำลองจากน้ำมันทั้ง 2 ชนิด เช่น ในแบบจำลองจากน้ำมันปาล์มเมื่อไขมันแอลกอฮอล์สายยาวเพิ่มขึ้น 3% เกิดการสูญเสียน้ำมันเพิ่มจาก 12.84% เป็น 42.65% จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary ซึ่งค่าต่ำกว่าจากวิธี conventional centrifugation ที่มีค่าเพิ่มจาก 15.68% เป็น 78.75% ทั้งนี้เนื่องจากไขมันแอลกอฮอล์สายยาวมีคุณสมบัติเป็น emulsion stabilizer เช่นเดียวกับไซราข้าว และโอโรซานอล รวมทั้งแรงเหวี่ยงของทั้งสองวิธีแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี capillary centrifugation จะพบปัญหาการแยกตัวของชั้นสบู่เป็นส่วนๆ ภายในหลอดแคพิลลารีในแบบจำลองน้ำมันที่มีปริมาณไขมันแอลกอฮอล์สูง เช่น 2 และ 3% ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 การแยกตัวของชั้นสบู่เป็นส่วนๆ ภายในหลอดแคพิลลารีของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่เติมไขมันแอลกอฮอล์ 3%

การที่สบู่เกิดการแยกส่วนภายในหลอดแคพิลลารีเมื่อเติมไขมันแอลกอฮอล์สายยาวที่ปริมาณสูงๆ เช่น ที่ 2 และ 3% อาจเนื่องมาจากไขมันแอลกอฮอล์เป็น stabilizer และแข็งตัวเร็ว แรงเหวี่ยงของเครื่อง hematocrit ที่ 9000 rpm เป็นเวลา 5 นาที จึงอาจไม่พอที่จะทำให้สบู่และน้ำมันแยกออกจากกันได้ดี ดังนั้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว จึงทำการทดลองต่อโดยการเพิ่มเวลาในการปั่นเหวี่ยงแบบจำลองน้ำมันที่เติมไขมันแอลกอฮอล์ 3% ที่ความเร็วรอบ 9000 rpm ซึ่งพบว่าที่เวลาในการเหวี่ยงต่ำ เช่น 1-15 นาที เกิดการแยกส่วนภายในหลอดแคพิลลารี แต่เมื่อเพิ่มเวลาเหวี่ยงมากขึ้น ชั้นสบู่จะเริ่มรวมตัวกันและสามารถดึงน้ำมันออกจากชั้นสบู่ได้เพิ่มขึ้น ค่า refining loss จึงลดลงจนเริ่มคงที่ที่เวลาปั่นเหวี่ยง 60 นาที ซึ่งเท่ากับ 27.54% และเช่นเดียวกับการทดลองเรื่องไซราข้าว พบว่าหากเวลาเพิ่มขึ้นจะทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลดลงด้วย โดยผลทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 Refining loss ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าว จากน้ำมันปาล์มที่เติมไขมันแอลกอฮอล์ 3% ปั่นเหวี่ยงที่ 9,000 rpm ณ เวลาต่างๆ*

เวลา (นาที)	Refining loss (%)							AVG	STD
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7		
1-10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	36.51	34.39	-	40.78	46.96	-	-	39.66	5.55
20	34.67	32.60	40.78	38.04	38.15	40.84	39.55	37.80	3.11
25	31.91	30.80	34.39	35.31	35.51	31.47	30.96	32.91	2.08
30	30.99	29.91	32.57	33.48	32.87	29.76	29.24	31.26	1.71
35	30.07	29.01	31.66	32.57	31.98	28.91	29.24	30.49	1.55
40	28.23	28.12	30.74	31.66	30.22	28.91	28.38	29.47	1.41
45	28.23	28.12	29.83	30.74	30.22	28.06	27.52	28.96	1.27
50	28.23	27.22	28.92	29.83	30.22	28.06	27.52	28.57	1.14
55	26.39	27.22	28.92	28.92	28.46	27.21	27.52	27.80	0.98
60	26.39	27.22	28.01	28.01	28.46	27.21	27.52	27.54	0.69
65	26.39	27.22	28.01	28.01	28.46	27.21	27.52	27.54	0.69

* - หมายถึงเกิดการแยกของสบู่เป็นส่วนๆ ไม่สามารถวัดความยาวได้

แม้ว่าการเพิ่มเวลาหรือเพิ่มแรงเหวี่ยงให้สูงขึ้น สามารถป้องกันการแยกส่วนภายในหลอดแคพิลลารี และช่วยดึงน้ำมันออกจากชั้นสบู่ให้ได้มากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ refining loss ต้องพิจารณาถึงการนำไปใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งการเพิ่มเวลาหรือแรงเหวี่ยงนั้นทำได้ยาก เพราะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานและเพิ่มค่าใช้จ่ายให้มากขึ้น ดังนั้นจึงควรแก้ปัญหาการเกิดการแยกส่วนภายในหลอดแคพิลลารีด้วยวิธีอื่นแทนการเพิ่มเวลาในการปั่นเหวี่ยง ซึ่งปัญหานี้ อาจแก้ไขได้โดยการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดจากเดิมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเพียง 1.15 มิลลิเมตร ให้มากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาตรของหลอด ส่งผลให้สบู่เคลื่อนตัวมารวมกันได้ดีขึ้น จึงสามารถลดการสูญเสียน้ำมันได้

กรดไขมันอิสระ ไขมันรำข้าว โอโรซานอล และไขมันแอลกอฮอล์ ล้วนมีผลต่อการสูญเสียไขมัน ซึ่งสามารถเปรียบเทียบผลของแต่ละปัจจัยที่มีต่อการสูญเสียไขมันในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation และ conventional centrifugation ได้ดังตารางที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ และสามารถนำข้อมูลของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันถั่วเหลืองที่เติมปัจจัยแต่ละชนิดที่ปริมาณ 0, 1, 2 และ 3% มาเปรียบเทียบผลต่อ refining loss ได้ดังกราฟรูปที่ 4.19

ตารางที่ 4.12 แสดงผลของปัจจัยแต่ละชนิดต่อการเกิดการสูญเสียไขมันในแบบจำลองน้ำมันรำข้าว วิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation*

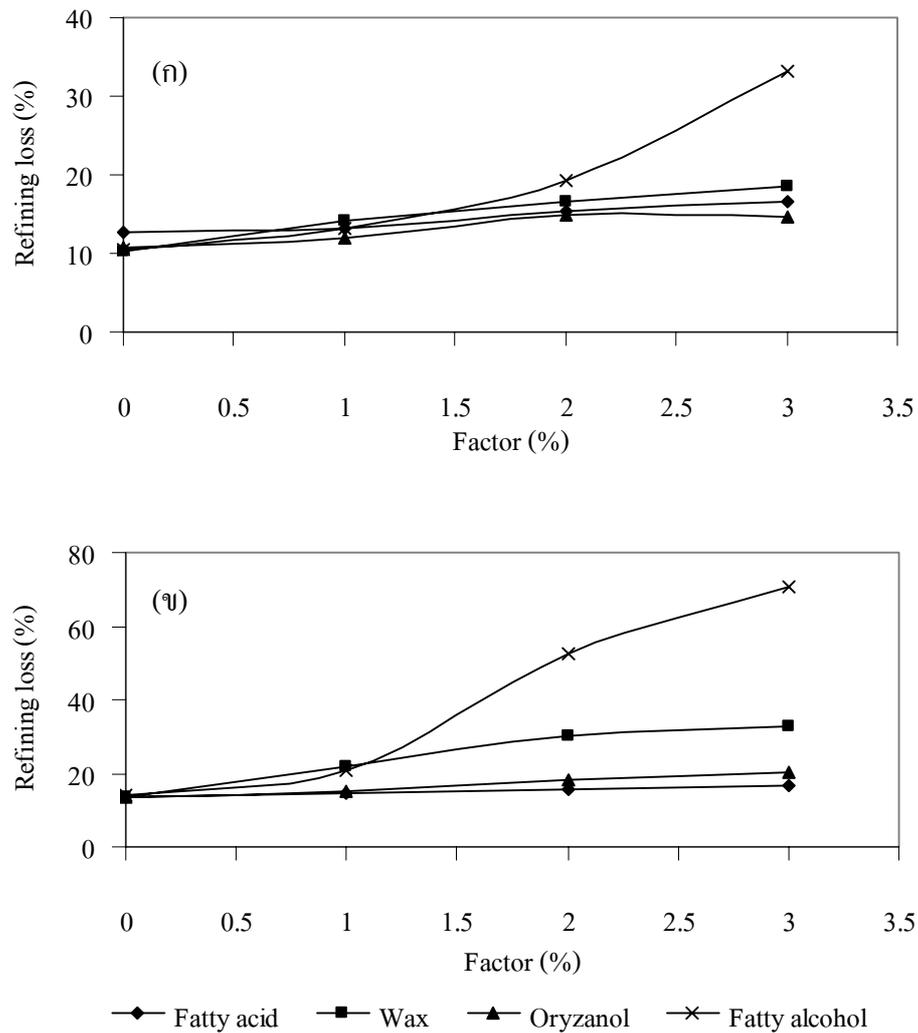
Factor (%)	Refining loss (%)											
	Palm oil				Soybean oil				Sunflower oil			
	FFA	Wax	Oryzanol	FAL	FFA	Wax	Oryzanol	FAL	FFA	Wax	Oryzanol	FAL
0	13.21	13.78	13.90	12.84	12.72	10.23	10.63	10.40	11.18	10.73	9.92	-
0.1	-	12.69	13.52	12.78	-	11.51	11.02	11.19	-	10.61	10.07	-
0.3	-	12.68	13.68	12.71	-	11.09	10.66	10.58	-	11.37	9.88	-
0.5	-	14.42	13.68	13.55	-	12.54	11.39	11.42	-	12.92	10.14	-
1	14.31	16.95	13.37	15.31	13.16	14.04	11.89	13.11	12.49	15.04	10.07	-
2	16.18	18.82	12.48	29.60	15.48	16.47	14.84	19.30	12.99	16.58	11.39	-
3	16.99	27.92	11.47	42.65	16.50	18.62	14.52	33.09	14.53	18.80	12.15	-

* หมายเหตุ แทนค่ากรดไขมันอิสระที่ 6.8, 7.8, 8.8 และ 9.8% เป็น 0, 1, 2 และ 3% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 แสดงผลของปัจจัยแต่ละชนิดต่อการเกิดการสูญเสียน้ำมันในแบบจำลองน้ำมันรำข้าว วิเคราะห์ด้วยวิธี conventional centrifugation*

Factor (%)	Refining loss (%)											
	Palm oil				Soybean oil				Sunflower oil			
	FFA	Wax	Oryzanol	FAL	FFA	Wax	Oryzanol	FAL	FFA	Wax	Oryzanol	FAL
0	13.42	16.00	15.74	15.68	13.26	13.45	13.73	13.88	13.17	13.19	12.26	-
0.1	-	17.48	15.84	15.71	-	13.73	14.26	14.59	-	13.87	12.04	-
0.3	-	17.36	17.08	17.47	-	14.12	14.00	15.51	-	17.98	12.52	-
0.5	-	19.42	17.35	19.97	-	16.00	14.44	17.08	-	18.88	12.98	-
1	14.91	21.31	17.75	28.46	14.64	21.83	15.20	20.70	14.54	22.69	13.73	-
2	16.25	40.54	17.29	54.32	15.64	30.22	18.33	52.23	15.19	30.53	15.12	-
3	16.60	45.01	17.82	78.75	16.88	32.91	20.45	70.84	16.48	33.46	16.83	-

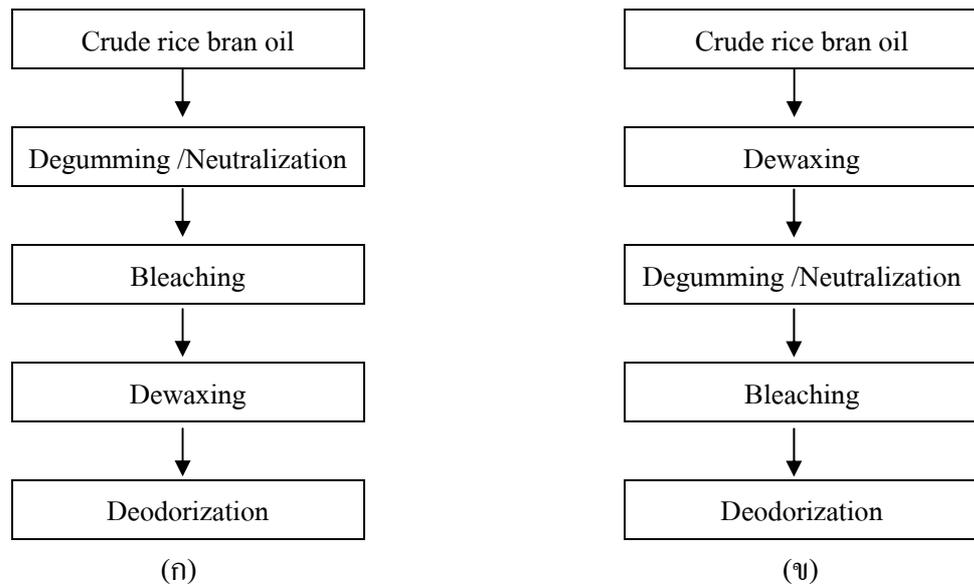
* หมายถึง แทนค่ากรดไขมันอิสระที่ 6.8, 7.8, 8.8 และ 9.8% เป็น 0, 1, 2 และ 3% ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบผลของกรดไขมันอิสระ ไขมันข้าว โอไรซานอล และไขมันแอลกอฮอล์สายยาวต่อ refining loss ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันถั่วเหลือง โดยวิเคราะห์ด้วยวิธี (ก) capillary centrifugation (ข) conventional centrifugation

จากกราฟที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยที่มีผลต่อ refining loss จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation สามารถเรียงลำดับมากไปน้อยได้ดังนี้ ไขมันแอลกอฮอล์ > ไขมันข้าว > กรดไขมันอิสระ > โอไรซานอล ส่วนเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี conventional centrifugation พบว่า ไขมันแอลกอฮอล์ > ไขมันข้าว > โอไรซานอล \geq กรดไขมันอิสระ ซึ่งในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันชนิดอื่นก็ให้ผลเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามพบว่าไขมันแอลกอฮอล์ และไขมันข้าว เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำมันมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่งและสองตามลำดับ ดังนั้นจึงควรกำจัดปัจจัยทั้งสองโดยการกำจัดไขมันออกจากน้ำมันรำข้าวดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการทำให้เป็นกลางด้วยด่างเพื่อลดการสูญเสียน้ำมันลง เพราะนอกจากสามารถลดไขมันได้แล้ว ยังป้องกันการเพิ่มขึ้นของไขมันแอลกอฮอล์จากการที่ไขมันสามารถถูกไฮโดรไลส์ด้วยด่างเป็นไขมันแอลกอฮอล์ได้อีกด้วย

กระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ทางเคมี (chemical refining) ในประเทศไทยประกอบด้วย ขั้นตอนการกำจัดขางเหนียวพร้อมกับการทำให้เป็นกลาง การฟอกสี การกำจัดไข และการกำจัดกลิ่น จะเห็นว่าการกำจัดไขอยู่หลังการทำให้เป็นกลางด้วยค่า ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันเนื่องจากไข และไขมันแอลกอฮอล์ ดังนั้นจึงเสนอว่าควรเปลี่ยนให้ขั้นตอนการกำจัดไขเป็นขั้นตอนแรกของการ ทำให้น้ำมันรำข้าวบริสุทธิ์ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงกระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ (ก) กระบวนการโดยทั่วไป (ข) กระบวนการ ที่เสนอให้ปรับปรุง

มีงานวิจัยหลายชิ้นที่แนะนำให้กำจัดไขก่อนกระบวนการทำให้เป็นกลาง เช่น Gingras (2000), Bhattacharyya และคณะ (1983) และ Hui (1996) เป็นต้น ซึ่งการกำจัดไขมีอยู่หลายวิธี โดยทั่วไปมัก ใช้วิธีลดอุณหภูมิให้ไขตกตะกอน และเหวี่ยงแยกไขออกจากน้ำมัน Narayan และคณะ (2006) รายงานว่าไขสามารถรวมตัวกับองค์ประกอบอื่นกลายเป็นสารเหนียว (resinous material) ซึ่งรบกวนการเกิด ผลึกและการตกตะกอนของไข เนื่องจากสารเหนียวนี้มีความหนืดสูง จึงมีผลต่อกระบวนการกรองสาร Gopala Krishna (1993) แนะนำให้กำจัด monoglyceride ก่อนการกำจัดไข เพราะสารนี้สามารถเพิ่มผล ของไขให้เกิดการสูญเสียน้ำมันมากขึ้น Sah และคณะ (1983) แนะนำให้ใช้สารช่วยละลาย เช่น triton X-100, sorbitan monooleate และ tri-*n*-butyl phosphate ในการกำจัดไข เพราะนอกจากช่วยลดไขได้ มากกว่า 20% แล้ว ยังสามารถลดกรดไขมันอิสระและการสูญเสียน้ำมันได้อีกด้วย Kaimal และคณะ (2002) รายงานว่าน้ำมันรำข้าวคิบสามารถอู่มน้ำ และเป็นอิมัลชันที่คงสภาพสูง ซึ่งเป็นผลมาจากการมี สารที่มีความว่องไวสูงบริเวณพื้นผิว (surface active component) อยู่ในน้ำมัน เช่น ฟอสโฟไลปิด ไกลโคไลปิด และโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งสารเหล่านี้สามารถจับกับน้ำได้ ในขณะที่ไขก็สามารถจับกับ สารเหล่านี้ได้เช่นกัน ไขจึงแสดงคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) ได้ทั้งๆ ที่โครงสร้างทางเคมีไม่ชอบ น้ำ (hydrophobic) ส่งผลให้สามารถกำจัดไขไปพร้อมๆ กับการกำจัดขางเหนียวโดยใช้ น้ำได้

แม้ว่าการกำจัดไขมันก่อนกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์จะช่วยลดผลของไขมันและไขมันแอลกอฮอล์ต่อการสูญเสียไขมันลงได้ แต่การกำจัดไขมันในขั้นตอนแรกนั้น น้ำมันส่วนหนึ่งจะถูกกำจัดไปพร้อมกับการกำจัดไขมันได้ จึงทำให้เกิดการสูญเสียไขมันได้มากเช่นเดียวกัน นอกจากนี้การสูญเสียไขมันอันเนื่องมาจากการทำให้เป็นกลางด้วยด่างก็ยังคงมีอยู่ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยหลายชิ้นแนะนำให้ใช้วิธีการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ด้วยกระบวนการทางกายภาพ (physical refining) แทนกระบวนการทางเคมี เช่น Kaimal และคณะ (2002) De และ Bhattacharyya (1998) และ Kim และคณะ (1985) เป็นต้น ซึ่งกระบวนการทางกายภาพนี้จะตัดขั้นตอนการทำให้เป็นกลางด้วยด่างออก จึงไม่เกิดไขมันสบู่และสามารถลดการสูญเสียไขมันลงได้ นอกจากนี้ยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อสารเคมีจำพวกด่าง ลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ช่วยรักษาสีและกลิ่น และลดการสูญเสียสารที่มีประโยชน์ที่มีอยู่ในน้ำมันรำข้าว เช่น โอโรซานอล tocopherol และ tocotrienol เป็นต้น (Narayan และคณะ, 2006; Bhosle และ Subramanian, 2005)

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีวิเคราะห์การสูญเสียน้ำมันของกระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ โดยนำระบบ capillary centrifugation ด้วยเครื่อง hematocrit มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ รวมทั้งศึกษาผลของปริมาณกรดไขมันอิสระ ไขมันข้าว โอไรซานอล และไขมันแอลกอฮอล์จากไขมันรำข้าวต่อการสูญเสียน้ำมัน พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลกับวิธีดั้งเดิม (conventional centrifugation) โดยมีข้อสรุปดังนี้

5.1.1 ความแรงของด่างไม่มีผลต่อค่า refining loss ในน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระเท่ากัน โดยเลือกใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ 12°Be สำหรับกรดไขมันอิสระ 2%, 20°Be สำหรับกรดไขมันอิสระ 5 และ 6.8% และ 26°Be สำหรับกรดไขมันอิสระ 10, 15 และ 20% เนื่องจากเป็นความแรงของด่างที่ทำให้เกิดปริมาณสบู่ที่น้อยที่สุด จึงลดการสูญเสียน้ำมันได้

5.1.2 เวลาที่เหมาะสมในการปั่นเหวี่ยงที่ 9,000 rpm ในการวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี capillary centrifugation คือ 5 นาที และค่า refining loss ต่ำลง เมื่อใช้เวลาในการปั่นเหวี่ยงเพิ่มขึ้น

5.1.3 เมื่อปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า refining loss เพิ่มขึ้นด้วย โดยมีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation ในน้ำมันทุกชนิดคือน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน เนื่องจากสบู่ที่เพิ่มขึ้นสามารถดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น จึงเกิดการสูญเสียน้ำมันเพิ่มขึ้น

5.1.4 เมื่อปริมาณไขมันรำข้าวที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า refining loss เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation เพราะความสามารถในการอุ้มน้ำมันและคุณสมบัติการเป็นสาร stabilizer ของไขมัน โดยค่า refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มสูงกว่าแบบจำลองจากน้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวัน อาจเนื่องจากสาร β -carotene ที่อยู่ในน้ำมันปาล์มมีคุณสมบัติเป็น stabilizer และความหนืดของน้ำมันปาล์มสูงกว่าน้ำมันอีก 2 ชนิด ส่วนการเปรียบเทียบค่า refining loss จากทั้ง 2 วิธีพบว่าความแตกต่างของแรงเหวี่ยงที่ใช้ทำให้ค่า refining loss ของทั้งสองวิธีแตกต่างกัน หากลดเวลาหรือแรงเหวี่ยงของวิธี capillary ลงจะทำให้ค่า refining loss ใกล้เคียงกับวิธี conventional มากขึ้น

5.1.5 เมื่อปริมาณโอโรซานอลที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ค่า refining loss เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งจะเห็นผลชัดเจนขึ้นเมื่อปริมาณโอโรซานอลมากขึ้น เช่น ที่ 2 หรือ 3% ทั้งจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation แต่ค่า refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มนั้นต่ำกว่าแบบจำลองน้ำมันอีก 2 ชนิด คาดว่าอาจเป็นผลจากองค์ประกอบที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม เช่น β -carotene และ tocotrienol ซึ่งอาจรวมกับโอโรซานอลส่งผลต่อความหนืดและการสูญเสียไขมัน

5.1.6 เมื่อปริมาณไขมันแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า refining loss เพิ่มขึ้นด้วย ทั้งจากการวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary และ conventional centrifugation ซึ่งค่า refining loss จากทั้งสองวิธีแตกต่างกันเนื่องจากแรงเหวี่ยงที่ใช้แตกต่างกัน และคุณสมบัติการเป็น emulsion stabilizer เช่นเดียวกับไขมันรำข้าวและโอโรซานอล โดยเกิดการแยกของชั้นสบู่เป็นส่วนๆ ภายในหลอดแคพิลลารี เมื่อวิเคราะห์แบบจำลองน้ำมันที่มีปริมาณไขมันแอลกอฮอล์สูงด้วยวิธี capillary ซึ่งต้องเพิ่มเวลาในการปั่นเหวี่ยงให้นานขึ้นหรือเพิ่มขนาดหลอดแคพิลลารีให้ใหญ่ขึ้นจึงจะแก้ปัญหาดังกล่าวได้

5.1.7 สามารถเปรียบเทียบผลของกรดไขมันอิสระ ไขมันรำข้าว โอโรซานอล และไขมันแอลกอฮอล์ ต่อการสูญเสียไขมันในแบบจำลองน้ำมันรำข้าว เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี capillary centrifugation โดยเรียงลำดับมากไปน้อยได้ดังนี้ ไขมันแอลกอฮอล์ > ไขมันรำข้าว > กรดไขมันอิสระ > โอโรซานอล ตามลำดับ ส่วนเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธี conventional centrifugation พบว่า ไขมันแอลกอฮอล์ > ไขมันรำข้าว > โอโรซานอล \geq กรดไขมันอิสระ

5.1.8 ข้อดีของวิธี capillary centrifugation คือมีวิธีการที่ง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน รวดเร็ว ใช้ปริมาณตัวอย่างภายในหลอดแคพิลลารีเพียงเล็กน้อย และสามารถปรับปรุงวิธีการวิเคราะห์เพื่อให้ค่าใกล้เคียงกับวิธีการดั้งเดิมจึงอาจนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การสกัดกรดไขมันอิสระต้องคำนวณปริมาณต่างที่ใช้ในการไฮโดรไลส์น้ำมัน แต่จากการทดลองพบว่า ถึงแม้จะเพิ่มปริมาณต่างจากที่คำนวณบ้างเล็กน้อยก็ยังไม่สามารถไฮโดรไลส์น้ำมันได้อย่างสมบูรณ์ จึงต้องเพิ่มปริมาณต่างมากๆ ควบคู่กับการเพิ่มปริมาตรของสารละลายต่าง เพื่อให้กวนและให้ความร้อนได้อย่างทั่วถึง จึงไฮโดรไลส์ได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และควรใช้โซเดียมซัลเฟตแอนไฮไดรต์สดุน้ำออกให้หมดเพื่อป้องกันการเกิดอิมัลชันเมื่อเตรียมแบบจำลองน้ำมัน

5.2.2 สต็อก (stock) ของแบบจำลองน้ำมันที่มีการเติมไขรำข้าว โอโรซานอล และไขมันแอลกอฮอล์ จะเกิดการตกตะกอนของน้ำมันเมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง จึงต้องให้ความร้อนก่อนนำมาใช้ทุกครั้ง เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) มาใช้ในการทดลอง

5.2.3 การเตรียมไขรำข้าวนั้นควรล้างด้วยเฮกเซนก่อนนำมาใช้ และอาจล้างด้วยไอโซโพรพานอล เป็นครั้งสุดท้าย เพราะนอกจากจะช่วยแยกไขออกจากน้ำมันที่ปนเปื้อนได้แล้ว ยังสามารถกำจัด กรดไขมันอิสระและสารโพลาร์ต่างๆ ที่มีในไขออกไปด้วย และไขที่ได้ยังมีลักษณะร่วนเป็นผงกว่า การล้างด้วยเฮกเซน ซึ่งสะดวกต่อการเก็บ และง่ายต่อการนำไปใช้ทดลอง

5.2.4 การเตรียมไขมันแอลกอฮอล์นั้นต้องนำไขไปไฮโดรไลส์ และตรวจสอบด้วย TLC ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อทดสอบ TLC ไม่เห็นแถบของไข แต่พอสกัดไขมันแอลกอฮอล์และตรวจสอบด้วย HPLC กลับพบว่ายังมีไขเหลืออยู่ จึงควรเพิ่มปริมาณสารที่ใช้ spot บน TLC และทำซ้ำ เพื่อให้เห็นผลชัดเจนขึ้น ส่วนในขั้นตอนการสกัดไขมันแอลกอฮอล์นั้นควรเติมเอทานอลเพื่อช่วยในการแยกและลด อิมัลชันในระหว่างสกัดด้วยโทลูอีน และควรแยกส่วนของไอโซออกเทนออกจากชั้นน้ำเมื่อสารผสม ยังร้อนอยู่ เพราะความร้อนช่วยแยกไขมันแอลกอฮอล์ออกจากกรดไขมันได้ดีขึ้น และต้องระวังไม่ให้ มีน้ำติดมาเพราะจะทำให้กรดไขมันติดมาด้วย

5.2.5 การวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี conventional centrifugation นั้น แม้ว่าจะมีปัญหาในการดูด น้ำมันออกมาซึ่งน้ำหนัก โดยอาจดูดน้ำมันออกมาไม่หมด หรือดูดสูญติดเข้าไปด้วย ทำให้ผลผิดพลาด แต่ก็เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการดั้งเดิมทั้งหมด จึงสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ refining loss ได้ แต่มีข้อควรระวังคือ ถ้าน้ำมันที่นำมาวิเคราะห์มีสารที่มีคุณสมบัติเป็น emulsion stabilizer เช่น ไข โอโรซานอล หรือไขมันแอลกอฮอล์สายยาวในปริมาณสูง จะเกิดการแยกเป็น 3 ชั้น ซึ่งควรให้ตัวอย่างเย็นตัวก่อนนำไปปั่นเหวี่ยง ซึ่งจะให้น้ำมันแยกออกจากจากสูญได้ชัดเจนขึ้น

5.2.6 การวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี capillary centrifugation มีข้อควรระวังคือ ควรผสมตัวอย่าง ในหลอดทดลองให้เป็นเนื้อเดียวกันก่อนทำการดึงตัวอย่างใส่หลอดแคพิลลารี เพื่อป้องกันไม่ให้ผลการทดลองแตกต่างกันมาก รวมทั้งควรเพิ่มการสุ่มตัวอย่างให้มากขึ้น ซึ่งสามารถลดความแตกต่างของข้อมูลลงได้ นอกจากนี้ในน้ำมันที่มีสารที่แข็งตัวอย่างรวดเร็ว เช่น ไขมันแอลกอฮอล์สายยาว ถ้ามี อยู่ในปริมาณมาก อาจทำให้เกิดการแยกตัวของสูญเป็นส่วนๆ ภายในหลอดแคพิลลารี จึงควรเพิ่มเวลา ในการปั่นเหวี่ยงหรือเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอดแคพิลลารีให้มากขึ้น เพื่อให้สามารถวัด ค่า refining loss ได้

5.2.7 ควรมีการศึกษาผลของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากจากน้ำมันปาล์มเพิ่มเติม เนื่องจากให้ค่า refining loss แตกต่างจากแบบจำลองน้ำมันอีก 2 ชนิด ทั้งนี้อาจศึกษาองค์ประกอบที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์ม เช่น β -carotene และ tocotrienol ต่อการเกิด refining loss ควบคู่กับองค์ประกอบที่มีอยู่ในน้ำมันรำข้าว เช่น ไซ โอโรซานอล และไขมันแอลกอฮอล์ว่าให้ผลรวมกันเป็นเช่นไร และอาจพิจารณาผลของความหนืดด้วย เพื่ออธิบายผลที่เกิดขึ้นได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5.2.8 แม้ว่าการกำจัดไขมันก่อนกระบวนการทำให้เป็นกลางจะช่วยลดผลของไขมันและไขมันแอลกอฮอล์ต่อการสูญเสียไขมันลงได้ แต่อาจสูญเสียไขมันปริมาณมากไปพร้อมกับไขมันที่ถูกกำจัดได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้การสูญเสียไขมันอันเนื่องมาจากกระบวนการทำให้เป็นกลางด้วยด่างก็ยังคงมีอยู่ ดังนั้นจึงอาจใช้กระบวนการทางกายภาพ (physical refining) ในการทำน้ำมันรำข้าวให้บริสุทธิ์ แทนกระบวนการทางเคมี ซึ่งนอกจากลดการสูญเสียไขมันลงได้แล้ว ยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมีและการบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งลดการสูญเสียสารที่มีประโยชน์ที่มีอยู่ในน้ำมันรำข้าว เช่น โอโรซานอล และโทโคไตรอีนอล ได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

เก่งหทัย ยืนขงสุวรรณ, 2548, ผลขององค์ประกอบของไขมันข้าวต่อการสูญเสียไขมันในกระบวนการรีฟายน์น้ำมันรำข้าว, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 58-109.

ด้วง พุทธสุกร์, 2534, ไขมันและผลิตภัณฑ์จากไขมัน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, หน้า 39, 128-146.

นิธิยา รัตนานนท์, 2529, วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, หน้า 83-87.

นัยนา บุญทวีวัฒน์ และเรวดี จงสุวัฒน์, 2545, น้ำมันรำข้าว ทางเลือกเพื่อสุขภาพของคนไทย, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์โอเคียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร, หน้า 14-46.

พิศมัย เจนวนิชปัญชกุล, 2544, ไบโอดีเซล พลังงานทางเลือก [Online], Available: http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=90&i2=10000 [2550, กุมภาพันธ์ 5].

มลฤดี เขาวรัตน์, 2540, รีเอสเทอร์ฟิเคชันของกรดไขมันอิสระในรำข้าวและไฮโดรไลซิสน้ำมันรำข้าว, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, หน้า 4-39.

สุนันทา ภิญญาวัชรน์, 2535, **ชีวเคมี 1**, มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ, หน้า 35-41.

Akiya, T., 1962, "Components of unsaponified matter of the rice bran oil", **Agriculture and Biological Chemistry**, Vol. 26, pp. 180-186.

A.O.C.S. Official Method, 1997, "Free fatty acids: Ca 5a-40", 5th ed., **AOAC Official Methods of Analysis**, AOCS Press, Champaign.

A.O.C.S. Official Method, 1997, "Refining loss: Ca 9a-52", 5th ed., **AOAC Official Methods of Analysis**, AOCS Press, Champaign.

Arruzazabala, M.L., Carbajal, D.R.M., Garcia, M. and Fraga, V., 1993, "Effects of policosanol on platelet aggregation in rats", **Thrombosis Research**, Vol. 69, pp. 321-327.

Bailey, A.E., 1951, **Industrial Oil and Fat Products**, 2nd ed., Interscience Publishers, New York, p.152.

Bennett, H., 1975, **Industrial Waxes**, Vol.1, Chemical Publishing Company, New York, pp. 97,146-158,165-197.

Bhattacharyya, A.C. and Bhattacharyya, D.K., 1987, "Deacidification of high FFA rice bran oil by reesterification and alkali neutralization", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 64, pp. 128-131.

Bhattacharyya, D.K., Chakrabarty, M.M., Vaidyanathan, R.S. and Bhattacharyya, A.C., 1983, "A critical study of the refining of rice bran oil", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 60, p. 467.

Bhosle, B.M. and Subramanian, R., 2005, "New approaches in deacidification of edible oils", **Journal of Food Engineering**, Vol. 69, pp. 481-494.

Biandi, G., Lupotto, E. and Russo, S., 1979, "Composition of epicuticular wax of rice, *Oryza sativa*", **Cellular and Molecular Life Sciences**, Vol. 35, p. 1417.

Cicero, A.F.G. and Gaddi, A., 2001, "Rice bran oil and γ -oryzanol in the treatment of hyperlipoproteinaemias and other conditions", **Phytotherapy Research**, Vol. 15, pp. 277-289.

Cousins, E.R., Prachankadee, R. and Bhodhiprasart, S., 1955, "Ethanolamines and other amino- and hydroxyl-containing compounds in the refining of rice oil", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 32, pp. 561-564.

De, B.K. and Bhattacharyya, D.K., 1998, "Physical refining of rice bran oil in relation to degumming and dewaxing", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 75, pp. 1683-1686.

Fankhauser, D.B., 2006, **Hematocrit Protocol** [Online], Available:

http://biology.clc.uc.edu/fankhauser/Labs/Anatomy_&_Physiology/A&P202/Blood/hematocrit_use/Hematocrit.htm [2006, March 9].

Firestone, D., 2006, **Physical and Chemical Characteristics of Oils, Fats and Waxes**, 2nd ed., AOCS Press, Champaign, p.114, 137, 149,154.

Forster, A. and Harper, A.J., 1983, "Physical refining", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 60, pp. 265-271.

Gingras, L., 2000, "Refining of rice bran oil", **International News on Fats, Oils and Related Materials**, Vol. 11, pp.1196-1203.

Gopala Krishna, A.G., 1993, "Influence of viscosity on wax settling and refining loss in rice bran oil", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 70, pp. 895-898.

Gopala Krishna, A.G., Hemakumar, K.H. and Khatoon, S., 2006, "Study on the composition of rice bran oil and its higher free fatty acid value", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 83, pp. 117-120.

Hamm, W. and Hamilton, R.J., 2000, **Edible Oil Processing**, 1st ed., Sheffield Academic Press, Sheffield, pp. 19, 78-121, 181-183.

Hargrove, J.L., Greenspan, P. and Hartle, D.K., 2004, "Nutritional significance and metabolism of very long chain fatty alcohols and acids from dietary waxes", **Experimental Biology and Medicine**, Vol. 229, pp. 215-226.

Hartman, L. and Dos Reis, M.I.J., 1976, "A Study of rice bran oil refining", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 53, pp. 149-151.

Hui, Y.H., 1996, **Bailey's Industrial Oil and Fat Product: Edible Oil and Fat Products Processing Technology**, Vol. 2, 5th ed., John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 280-282, 393-405.

Hui, Y.H., 1996, **Bailey's Industrial Oil and Fat Product: Edible Oil and Fat Products Processing Technology**, Vol. 4, 5th ed., John Wiley & Sons Inc., New York, pp. 157-190, 391-399.

Irmak, S., Dunford, N.T. and Milligan, J., 2006, "Policosanols contents of beeswax, sugar cane and wheat extracts", **Food Chemistry**, Vol. 95, pp. 312-318.

James, E.M., 1955, "The determination of refining loss", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 32, pp. 581-587.

Jimenez, J.J., Bernal, J.L., Aumente, S., Toribio, L. and Bernal, J., 2003, "Quality assurance of commercial beeswax II: Gas chromatography-electron impact ionization mass spectrometry of alcohols and acids", **Journal of Chromatography A**, Vol. 1007, pp. 101-106.

Johnson, L.A., 1998, "Recovery, refining converting and stabilizing edible fats and oils", In **Food Lipid: Chemistry, Nutrition and Biotechnology**, Akoh, C.C. and Min, D.B. (Eds.), 2nd ed., Marcel Dekker Inc., New York, p.249.

Kaimal, T.N.B., 1999, " γ -Oryzanol from rice bran oil", **Journal of the Oil Technologists Association of India**, Vol. 31, pp. 83-91.

Kaimal, T.N.B., Vali, S.R., Rao, B.V.S.K., Chakrabarti, P.P., Vijayalakshmi, P., Kale, V., Rani, K.N.P., Rajamma, O., Bhaskar, P.S. and Rao, T.C., 2002, "Origin of problems encountered in rice bran oil processing", **European Journal of Lipid Science and Technology**, Vol. 104, pp. 203-211.

King, R.R. and Wharton, F.W., 1948, "A comparison of Wesson loss and cup refining loss analyses of crude cottonseed and soybean oils", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 25, pp. 66-68.

Kim, S.K., Kim, C.J., Cheigh, H.S. and Yoon, S.H., 1985, "Effect of caustic refining, solvent refining and steam refining on the deacidification and color of rice bran oil", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 62, pp. 1492-1495.

Kochhar, S.P., 2002, "Sesame, rice bran and flaxseed oil", In **Vegetable Oils in Food Technology: Composition, properties and uses**, Gunstone, F.D. (Ed.), CRC Press, Florida, p.311.

Labwork Co.,Ltd.,2004, **Hematocrit centrifuge** [Online], Available:

<http://www.labwork.co.th/PRODUCT-A-kind/CENTRIFUGE/Centrifuge-B7.html> [2006, March 9].

Lasztity, R., 1971, "Rice bran wax recovery and utilization", **Interregional Seminar on the Industrial Processing of Rice**, India, p.31.

Marcopoulos, C.A., 1965, "Determination of refining loss in oil of pistacia seeds", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 42, pp. 149-151.

Marsic, M. and Yodice, R., 1992, "The role of monounsaturates", **International News on Fats, Oils and Related Materials**, Vol. 3, pp. 681-686.

Menendez, R., Fernandez, S.I., Del Rio, A., Gonzalez, R.M., Fraga, V. and Amor, A.M., 1994, "Policosanol inhibits cholesterol biosynthesis and enhances LDL processing in cultured human fibroblasts", **Biological Research**, Vol. 27, pp. 199-203.

Mertz, E.T., 1971, **Elementary Biochemistry**, Vakils Feffer and Simans Private, Ltd., Bombay, p.813.

Mesa, A.R., Mas, R., Noa, M., Hernandez, C., Rodeiro, I., Gamez, Z., Garcia, M., Capote, A. and Aleman, C.L., 1994, "Toxicity of policosanol in beagle dogs: one-year study", **Toxicology Letters**, Vol. 73, pp. 81-90.

Mishra, A., Gopala Krishna, A.G. and Prabhakar, J.V., 1988, "Factors affecting refining losses in rice (*Oryza sativa* L.) bran oil", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 65, pp. 1605-1609.

Moreau, R.A., Norton, R.A. and Hicks, K.B., 1999, "Phytosterols and phytosterols lower cholesterol", **International News on Fats, Oils and Related Materials**, Vol.10, pp.572-577.

Narayan, A.V., Barhate, R.S. and Raghavarao, K.S.M.S., 2006, "Extraction and purification of oryzanol from rice bran oil and rice bran oil soapstock", **Journal of the American Oil chemists' society**, Vol. 83, pp. 663-670.

Natural Food, 2005, **Dietary Fats** [Online], Available: <http://www.thebigcarrot.ca/Dietary%20Fats.htm> [2006, January 29].

Nuve, 2006, **Hematocrit** [Online], Available: <http://www.amlab.be/products/newdevfi/hn075.html> [2006, March 20].

Paredes, L.O.E., Camargo, R. and Gallardo, N.Y., 1974, "Use of candelilla wax for the preservation of limes", **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Vol. 25, pp. 1207-1210.

Pflanzer, R.G., 1995, **Experimental and Applied Physiology**, Wm. C. Brown Publishers, Chicago, pp. 187-191.

Ramos, D.C., 1969, "Rice morret oil", **Grasasy Aceites**, Vol. 20, p.139-146.

Rogers, E.J., Rice, S.M., Nicolosi, R.J., Carpenter, D.R., Mecelland, C.A. and Romanzyl, L.J. Jr., 1993, "Identification and quantitative of γ -oryzanol components and simultaneous assessment of tocols in rice bran oil", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 70, pp. 301-307.

Rong, N., Ausman, L.M. and Nicolosi, R.J., 1997, "Oryzanol decreases cholesterol absorption and aortic fatty streaks in hamsters", **Lipids**, Vol. 32, pp. 303-309.

Sah, A., Agrawal, B.K.D. and Shukla, L.S., 1983, "A new approach in dewaxing and refining rice bran oil", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 60, p. 466.

Salunkhe, D.K., Chavan, J.K., Adsule, R.N. and Kadam, S.S., 1992, **World Oilseeds: Chemistry Technology and Utilization**, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 99-111, 424-448.

Saska, M. and Rossitter, G.J., 1998, "Recovery of γ -oryzanol from rice bran oil with silica-based continuous chromatography", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 75, pp. 1421-1427.

Seetharamaiah, G.S. and Chandrasekhara, N., 1989, "Studies on hypocholesterolemic activity of rice bran oil", **Atherosclerosis**, Vol. 78, pp. 219-233.

Siamhealth, 2006, การตรวจเม็ดเลือดแดง [Online], Available:

http://www.siamhealth.net/Health/Lab_interprete/cbc.htm [2006, March 10].

Srigumlaitong, S. and Udomsak, B., 1975, "A study on production of floor polish from rice bran wax", **ASRTC Abstracts**, Technical report, p.5.

Stuchlik, M. and Zak, S., 2002, "Vegetable lipids as components of functional foods", **Biomedical Paper**, Vol. 146, pp. 3-10.

Tandy, D.C. and Mcpherson, W.J., 1984, "Physical refining of edible oil", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 61, pp. 1253-1258.

Tooley, P., 1917, **Fat, Oil and Waxes**, John Murry Albemrel, London, p.182.

Tsuchiya, J., 1948, "Wax from rice bran oil", **Chemical Abstracts**, Vol. 43, p. 5611.

Vali, S.R., Ju, Y.H., Kaimal, T.N. and Chern, Y.T., 2005, "A process for preparation of food-grade rice bran wax and the determination of its composition", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 82, pp. 57-64.

Warth, A.H., 1956, **The Chemistry and Technology of Wax**, 2nd, Reinhold Publishing Corporation, New York, p. 940.

Xu, Z. and Godber, J.S., 1999, "Purification and identification of components of γ -oryzanol in rice bran oil", **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Vol. 47, pp. 2724-2728.

Yatcilla, M., 2002, "Policosanol", **Nutraceuticals World**, pp. 28-34.

Yoon, S.H. and Rhee, J.S., 1982, "Composition of waxes from crude rice bran oil", **Journal of the American Oil Chemists' Society**, Vol. 59, pp. 561-563.

ภาคผนวก ก.

**แสดงตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณและความแรงของโซเดียม-
ไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระในแบบจำลองน้ำมัน**

การคำนวณความแรงและปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระ

$$\text{สมการ} \quad \text{Treat} = \frac{(0.142 \times \text{FFA}) + \text{Excess}}{(\% \text{NaOH}/100)}$$

เมื่อ

$$\text{Treat} = \text{ปริมาณของ NaOH ที่ใช้ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระ (ml)}$$

$$0.142 = \text{อัตราส่วนของมวลโมเลกุลของ NaOH ต่อกรดโอเลอิก (40/282.47)}$$

$$\text{FFA} = \text{เปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระ (\%)}$$

$$\text{Excess} = \text{ปริมาณของ NaOH ส่วนเกิน}$$

$$\% \text{NaOH} = \text{ความแรงของ NaOH}$$

ถ้าต้องการคำนวณหาปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 20° Be ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดไขมันอิสระ 6.8% สามารถแทนค่าในสมการได้ดังนี้

$$\text{Treat} = \frac{(0.142 \times 6.8) + 0.1}{(14.36 / 100)} = 7.42$$

ดังนั้นต้องเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 20° Be ปริมาณ 7.42 กรัม ในน้ำมัน 100 กรัม เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ 6.8% ได้พอดี หรือเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 20° Be ปริมาณ 0.371 กรัม ในน้ำมัน 5 กรัม โดยปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรงและเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระต่างๆ ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันทานตะวันหนัก 5 กรัม สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับตัวอย่าง ผลการคำนวณดังแสดงไว้ในตารางที่ ก.1-3 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.1 แสดงปริมาณกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรงและเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระต่างๆ ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มหนัก 5 กรัม

FFA (%)	Treat							
	12° Be	14° Be	16° Be	18° Be	20° Be	22° Be	24° Be	26° Be
2.02	0.242	0.204	0.175	0.153	0.135	0.120	0.108	0.098
5.13	0.518	0.436	0.375	0.327	0.288	0.257	0.232	0.210
6.84	0.670	0.564	0.484	0.422	0.373	0.333	0.300	0.272
10.10	0.959	0.807	0.694	0.605	0.534	0.477	0.429	0.389
14.86	1.381	1.163	0.999	0.871	0.770	0.687	0.618	0.561
20.05	1.842	1.551	1.332	1.162	1.026	0.916	0.825	0.748

ตารางที่ ก.2 แสดงปริมาณกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรงและเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระต่างๆ ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันถั่วเหลืองหนัก 5 กรัม

FFA (%)	Treat							
	12° Be	14° Be	16° Be	18° Be	20° Be	22° Be	24° Be	26° Be
1.91	0.232	0.195	0.168	0.146	0.129	0.115	0.104	0.094
5.54	0.554	0.467	0.401	0.350	0.309	0.276	0.248	0.225
6.82	0.668	0.562	0.483	0.421	0.372	0.332	0.299	0.271
10.14	0.962	0.810	0.696	0.607	0.536	0.479	0.431	0.391
14.85	1.380	1.162	0.999	0.871	0.769	0.686	0.618	0.561
19.85	1.824	1.536	1.319	1.151	1.016	0.907	0.817	0.741

ตารางที่ ก.3 แสดงปริมาณกรัมของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรงและเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระต่างๆ ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันทานตะวันหนัก 5 กรัม

FFA (%)	Treat							
	12° Be	14° Be	16° Be	18° Be	20° Be	22° Be	24° Be	26° Be
2.29	0.266	0.224	0.192	0.168	0.148	0.132	0.119	0.108
5.22	0.526	0.443	0.380	0.332	0.293	0.261	0.235	0.214
6.80	0.666	0.561	0.482	0.420	0.371	0.331	0.298	0.270
9.90	0.941	0.793	0.681	0.594	0.524	0.468	0.421	0.382
15.31	1.421	1.197	1.028	0.897	0.792	0.707	0.636	0.577
19.97	1.835	1.545	1.327	1.158	1.022	0.912	0.821	0.745

ภาคผนวก ข.

**แสดงตัวอย่างการคำนวณเปอร์เซ็นต์ refining loss ด้วยวิธี
conventional centrifugation และ capillary centrifugation**

การคำนวณ refining loss ด้วยวิธี conventional centrifugation

ต้องการคำนวณ refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8% หนัก 5.0018 กรัม โดยเติมไขมันรำข้าว 3% และนำไปทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20°Be ปริมาณ 0.3771 กรัม หลังจากปั่นเหวี่ยงน้ำมันที่แยกออกจากสบู่มีน้ำหนัก 2.6896 กรัม นำไปแทนค่าในสมการ เพื่อหา %refining loss และ %refining loss ที่แท้จริง

$$\begin{aligned} \% \text{ Refining loss} &= \frac{(\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น} - \text{น้ำหนักน้ำมันที่เหลือ}) \times 100}{\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น}} \\ &= \frac{(5.0018 - 2.6896) \times 100}{5.0018} \\ &= 46.23 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Refining loss ที่แท้จริง} &= \frac{(\% \text{ Refining loss} - \% \text{ สารที่เติมเข้าไป}) \times 100}{(100 - \% \text{ สารที่เติมเข้าไป})} \\ &= \frac{(46.23 - 3) \times 100}{(100 - 3)} \\ &= 44.57\% \end{aligned}$$

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี conventional centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าว จากน้ำมันปาล์มที่เติมไขมันรำข้าว 3% พบว่ามี refining loss 44.57%

การคำนวณ refining loss ด้วยวิธี capillary centrifugation

ต้องการคำนวณ refining loss ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิสระ 6.8% หนัก 1.001 กรัม โดยเติมไขมันรำข้าว 3% และนำไปทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20°C ปริมาณ 0.0757 กรัม หลังจากปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง hematocrit และวัดความยาวของแต่ละส่วน พบว่าส่วนน้ำมันยาว 3.75 เซนติเมตร ส่วนสปูยาว 2.25 นำไปแทนค่าในสมการเพื่อหา %refining loss และ %refining loss ที่แท้จริง

$$\begin{aligned} \% \text{น้ำมันเริ่มต้น} &= \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น} \times 100}{\text{น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น} + \text{น้ำหนัก NaOH}} \\ &= \frac{1.001 \times 100}{1.001 + 0.0757} \\ &= 92.97 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{น้ำมันในหลอดแคพิลลารี} &= \frac{\text{ความยาวของส่วนน้ำมัน} \times 100}{\text{ความยาวของส่วนน้ำมัน} + \text{สปู}} \\ &= \frac{3.75 \times 100}{3.75 + 2.25} \\ &= 62.50 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Refining loss} &= \% \text{น้ำมันเริ่มต้น} - \% \text{น้ำมันในหลอดแคพิลลารี} \\ &= 92.97 - 62.50 \\ &= 30.47 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{Refining loss ที่แท้จริง} &= \frac{(\% \text{Refining loss} - \% \text{สารที่เติมเข้าไป}) \times 100}{(100 - \% \text{สารที่เติมเข้าไป})} \\ &= \frac{(30.47 - 3) \times 100}{(100 - 3)} \\ &= 28.32\% \end{aligned}$$

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ refining loss ด้วยวิธี capillary centrifugation ของแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่เติมไขมันรำข้าว 3% พบว่ามี refining loss 28.32%

ภาคผนวก ค.

แสดงผลการไต่ตรศเพื่อหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่มีอยู่จริงใน
แบบจำลองน้ำมันรำข้าว

ตารางที่ ๑.1 แสดงการไทเตรตเพื่อหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่แท้จริงในแบบจำลองน้ำมันรำข้าว*

%FFA ที่เติม ในน้ำมัน	Sample	Palm Oil			Soy Bean Oil			Sunflower Oil		
		Oil (g)	NaOH (ml)	%FFA ที่แท้จริง	Oil (g)	NaOH (ml)	%FFA ที่แท้จริง	Oil (g)	NaOH (ml)	%FFA ที่แท้จริง
2	1	7.03	2.00	2.01	7.05	1.90	1.90	7.07	2.30	2.29
	2	7.04	2.00	2.00	7.04	1.90	1.90	7.12	2.30	2.28
	3	7.17	2.10	2.06	7.00	1.90	1.91	7.06	2.30	2.30
	เฉลี่ย	7.08	2.03	2.02	7.03	1.90	1.91	7.08	2.30	2.29
	SD	0.08	0.06	0.04	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01
5	1	7.03	5.10	5.11	7.11	5.60	5.55	7.01	5.20	5.23
	2	7.13	5.20	5.14	7.15	5.60	5.52	7.03	5.20	5.21
	3	7.02	5.10	5.12	7.00	5.50	5.54	7.01	5.20	5.23
	เฉลี่ย	7.06	5.13	5.13	7.09	5.57	5.54	7.02	5.20	5.22
	SD	0.06	0.06	0.01	0.08	0.06	0.02	0.01	0.00	0.01
6.8	1	7.32	7.10	6.84	7.02	6.80	6.83	7.03	6.80	6.82
	2	7.00	6.80	6.85	7.03	6.80	6.82	7.25	7.00	6.81
	3	7.03	6.80	6.82	7.05	6.80	6.80	7.27	7.00	6.79
	เฉลี่ย	7.12	6.90	6.84	7.03	6.80	6.82	7.18	6.93	6.80
	SD	0.18	0.17	0.01	0.02	0.00	0.01	0.13	0.12	0.02

* FFA ของ Blank = 0%

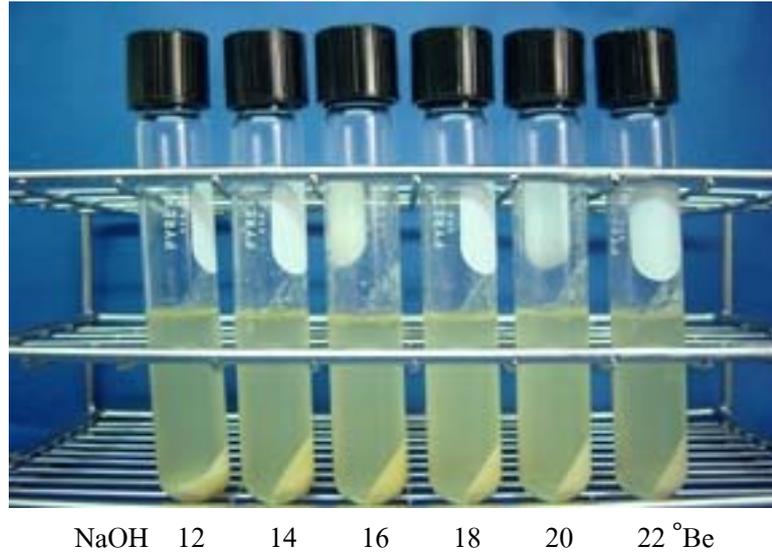
ตารางที่ ค.1 (ต่อ)*

%FFA ที่เติม ในน้ำมัน	Sample	Palm Oil			Soy Bean Oil			Sunflower Oil		
		Oil (g)	NaOH (ml)	%FFA ที่แท้จริง	Oil (g)	NaOH (ml)	%FFA ที่แท้จริง	Oil (g)	NaOH (ml)	%FFA ที่แท้จริง
10	1	7.01	10.00	10.06	7.02	10.10	10.14	7.05	9.90	9.90
	2	7.03	10.10	10.13	7.02	10.10	10.14	7.03	9.90	9.93
	3	7.04	10.10	10.11	7.03	10.10	10.13	7.00	9.80	9.87
	เฉลี่ย	7.03	10.07	10.10	7.02	10.10	10.14	7.03	9.87	9.90
	SD	0.02	0.06	0.04	0.01	0.00	0.01	0.03	0.06	0.03
15	1	7.01	14.80	14.88	7.17	15.10	14.85	7.00	15.20	15.31
	2	7.03	14.80	14.84	7.02	14.80	14.86	7.04	15.30	15.32
	3	7.02	14.80	14.86	7.03	14.80	14.84	7.19	15.60	15.30
	เฉลี่ย	7.02	14.80	14.86	7.07	14.90	14.85	7.08	15.37	15.31
	SD	0.01	0.00	0.02	0.08	0.17	0.01	0.10	0.21	0.01
20	1	7.38	20.90	19.97	7.07	19.90	19.84	7.03	19.90	19.96
	2	7.83	22.30	20.08	7.11	20.00	19.83	7.12	20.20	20.00
	3	7.05	20.10	20.10	7.02	19.80	19.88	7.07	20.00	19.94
	เฉลี่ย	7.42	21.10	20.05	7.07	19.90	19.85	7.07	20.03	19.97
	SD	0.39	1.11	0.07	0.05	0.10	0.03	0.05	0.15	0.03

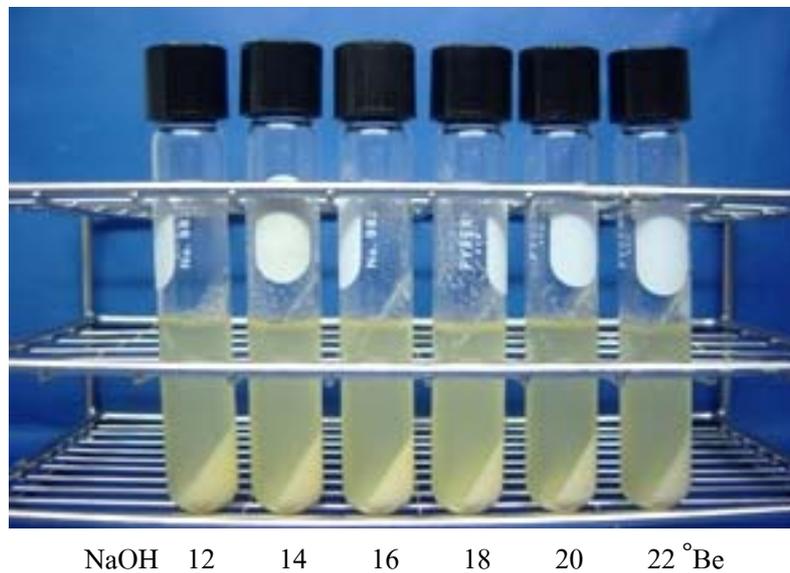
* FFA ของ Blank = 0%

ภาคผนวก ง.

แสดงรูปผลของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความแรงต่างๆ ต่อการเกิดสบู่
ในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มที่มีกรดไขมันอิสระต่างๆ กัน



รูปที่ ง.1 แสดงลักษณะการแยกชั้นของสบู่กับน้ำมัน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22°Be ตามลำดับในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีกรดไขมันอิสระ 2.02% (w/w) โดยชั้นบนคือน้ำมัน ชั้นล่างคือสบู่ที่เกิดขึ้น

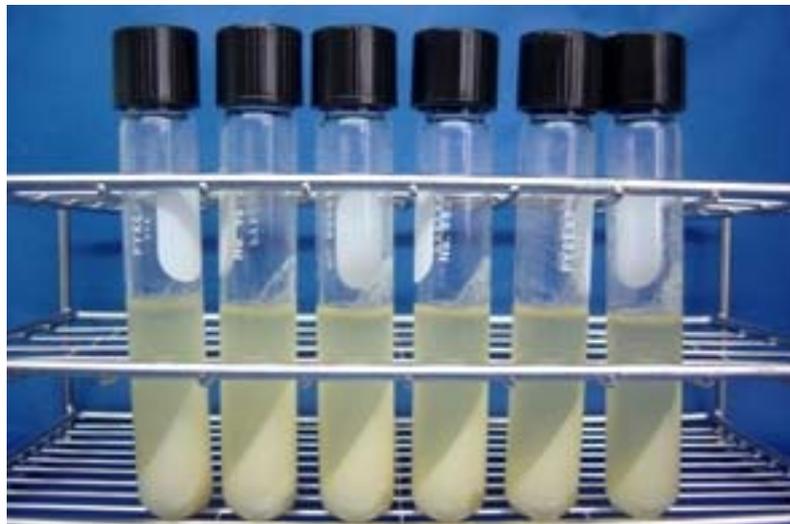


รูปที่ ง.2 แสดงลักษณะการแยกชั้นของสบู่กับน้ำมัน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22°Be ตามลำดับในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีกรดไขมันอิสระ 4.93% (w/w) โดยชั้นบนคือน้ำมัน ชั้นล่างคือสบู่ที่เกิดขึ้น



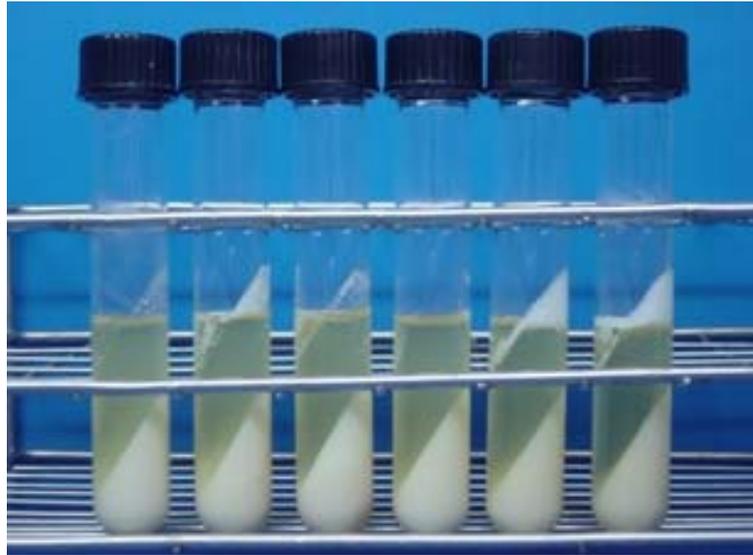
NaOH 12 14 16 18 20 22 °Be

รูปที่ ง.3 แสดงลักษณะการแยกชั้นของสบู่กับน้ำมัน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22°Be ตามลำดับในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีกรดไขมันอิสระ 9.92% (w/w) โดยชั้นบนคือน้ำมัน ชั้นล่างคือสบู่ที่เกิดขึ้น



NaOH 12 14 16 18 20 22 °Be

รูปที่ ง.4 แสดงลักษณะการแยกชั้นของสบู่กับน้ำมัน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22°Be ตามลำดับในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีกรดไขมันอิสระ 14.82% (w/w) โดยชั้นบนคือน้ำมัน ชั้นล่างคือสบู่ที่เกิดขึ้น



NaOH 12 14 16 18 20 22 °Be

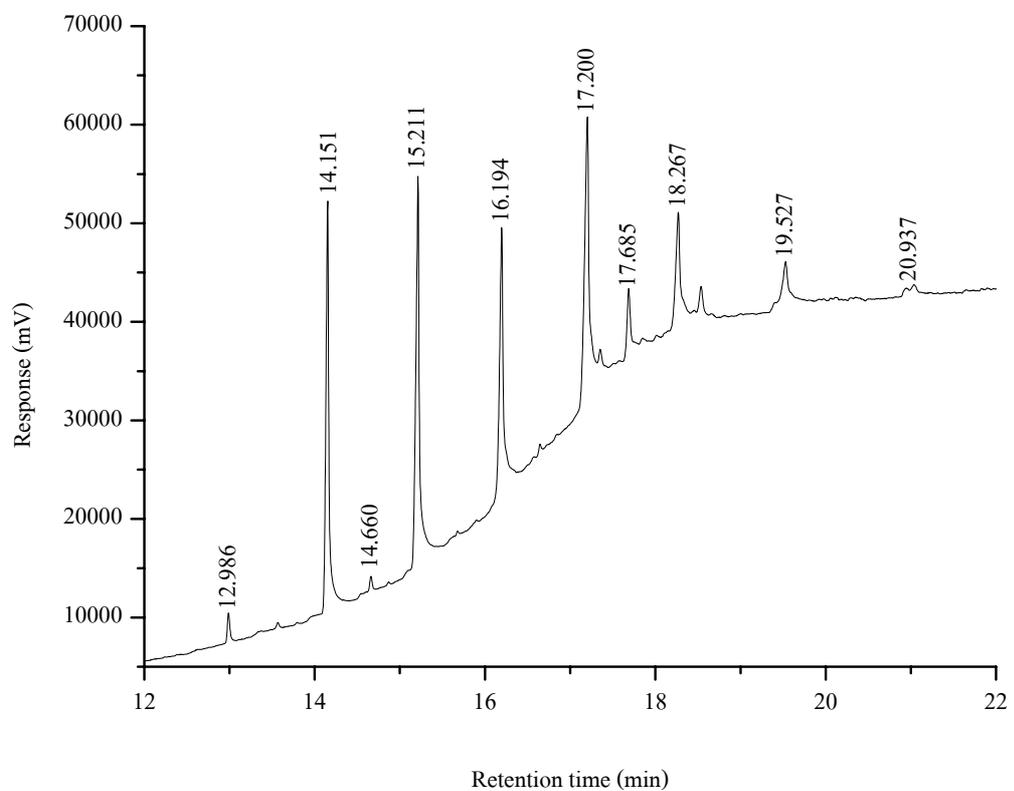
รูปที่ ๓.5 แสดงลักษณะการแยกชั้นของสบู่กับน้ำมัน เมื่อเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 12, 14, 16, 18, 20 และ 22°Be ตามลำดับในแบบจำลองน้ำมันรำข้าวจากน้ำมันปาล์มโอเลอินที่มีกรดไขมันอิสระ 20.05% (w/w) โดยชั้นบนคือน้ำมัน ชั้นล่างคือสบู่ที่เกิดขึ้น

ภาคผนวก จ.

แสดงโครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์ที่สกัดจากไขรำข้าวที่วิเคราะห์
ด้วย gas chromatography

ตารางที่ จ.1 ไขมันแอลกอฮอล์จากไขรำข้าวที่สกัดด้วยโทลูอีน เมื่อวิเคราะห์ด้วย gas chromatography โดยใช้คอลัมน์ ZB-5

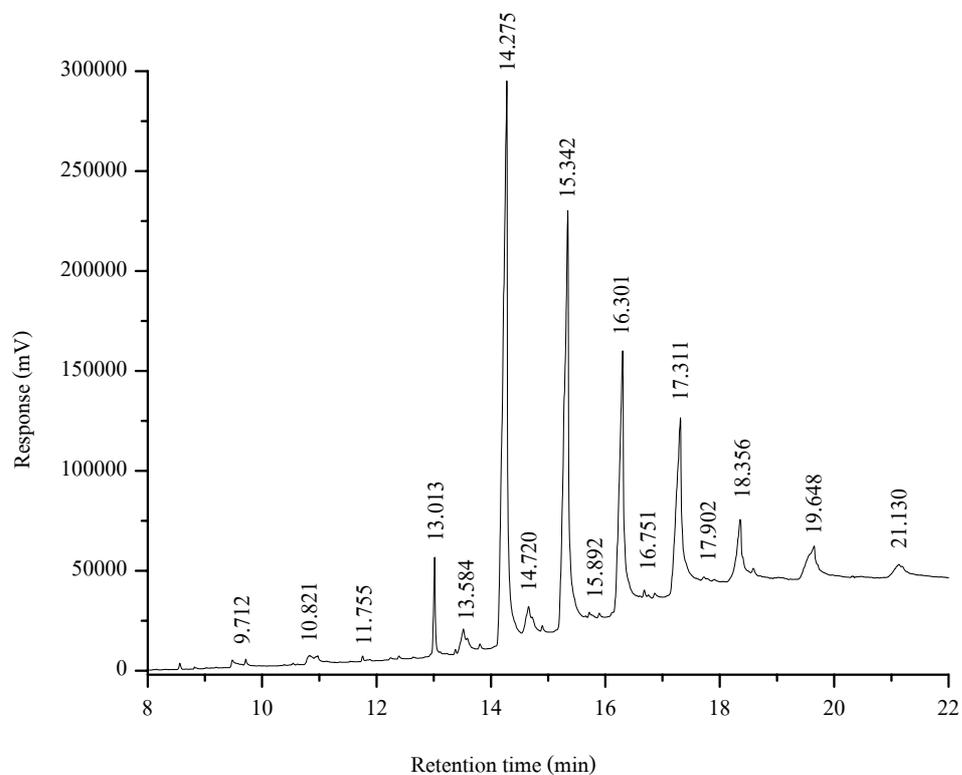
Fatty alcohol	Time	Area	Height	Concentration	%
C22	12.986	3131	1498	0.0048	1.2
C24	14.151	53107	20751	0.0806	19.9
C25	14.66	1669	763	0.0025	0.6
C26	15.211	57208	19523	0.0868	21.4
C28	16.194	44821	13501	0.068	16.8
C30	17.2	55694	14163	0.0845	20.9
C31	17.685	7801	3168	0.0118	2.9
C32	18.267	22152	5637	0.0336	8.3
C34	19.527	10011	2123	0.0152	3.8
C36	20.937	1671	368	0.0025	0.6
Others	-	9681	-	-	3.6



รูปที่ จ.1 โครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์จากไขรำข้าวที่สกัดด้วยโทลูอีน เมื่อวิเคราะห์ด้วย gas chromatography โดยใช้คอลัมน์ ZB-5

ตารางที่ จ.2 ไนมันแอลกอฮอล์จากไขรำข้าวที่สกัดซ้ำและละลายในไอโซออกเทน เมื่อวิเคราะห์ด้วย gas chromatography โดยใช้คอลัมน์ ZB-5

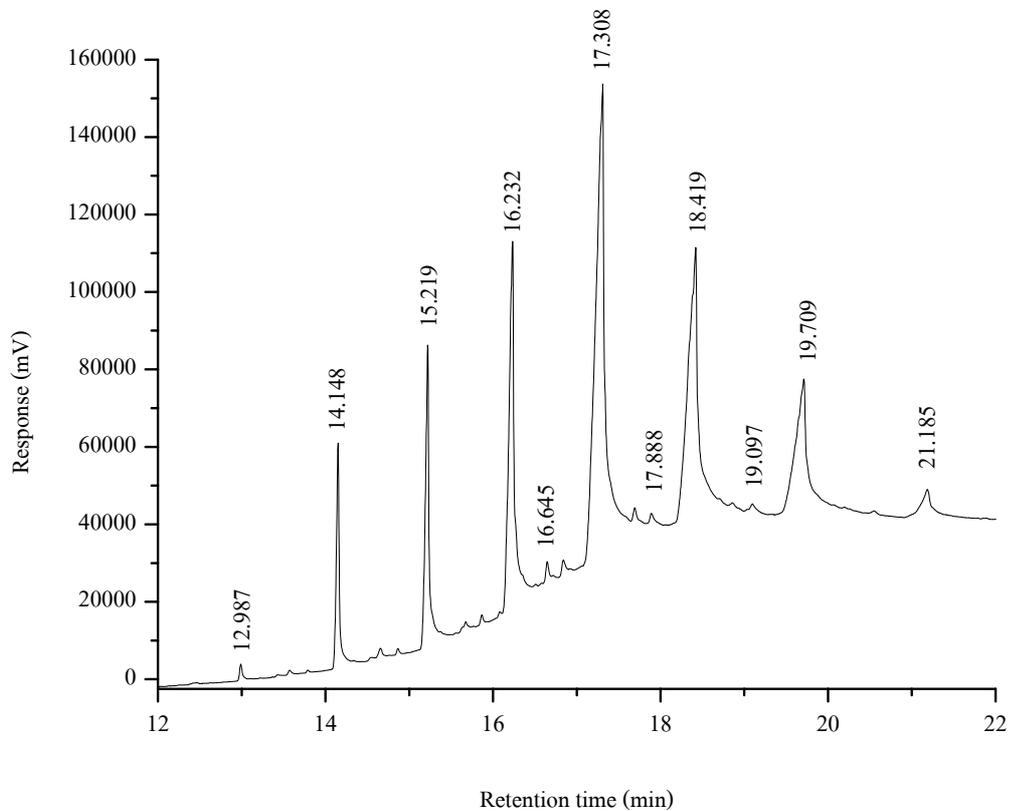
Fatty alcohol	Time	Area	Height	Concentration	%
C16	9.712	5615	1716	0.0244	0.20
C18	10.821	13804	2018	0.06	0.50
C20	11.755	2168	1265	0.0094	0.08
C22	13.013	57665	24600	0.2507	2.07
C23	13.584	11704	3137	0.0509	0.42
C24	14.275	820057	140812	3.5649	29.51
C25	14.72	23660	4845	0.1029	0.85
C26	15.342	642978	104406	2.7951	23.14
C27	15.892	2824	1128	0.0123	0.10
C28	16.301	409993	65187	1.7823	14.75
C29	16.751	6567	1734	0.0285	0.24
C30	17.311	351734	43977	1.529	12.66
C31	17.902	10405	1662	0.0452	0.37
C32	18.356	114434	15183	0.4975	4.12
C34	19.648	94219	7871	0.4096	3.39
C36	21.13	21423	2776	0.0931	0.77
others	-	189978	-	-	6.8



รูปที่ จ.2 โครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์จากไขรำข้าวที่สกัดซ้ำและละลายในไอโซออกเทน เมื่อวิเคราะห์ด้วย gas chromatography โดยใช้คอลัมน์ ZB-5

ตารางที่ จ.3 ไขมันแอลกอฮอล์จากไขรำข้าวที่สกัดด้วยไอโซออกเทนและตกตะกอนเมื่อทิ้งไว้ข้ามคืน เมื่อวิเคราะห์ด้วย gas chromatography โดยใช้คอลัมน์ ZB-5

Fatty alcohol	Time	Area	Height	Concentration	%
C22	12.987	4916	2078	0.0279	0.3
C24	14.148	73062	28908	0.4151	4.6
C26	15.219	125494	38790	0.7131	8.0
C28	16.232	227423	47203	1.2922	14.5
C29	16.645	8467	2874	0.0481	0.5
C30	17.308	520882	60981	2.9597	33.1
C32	18.419	372425	35497	2.1161	23.7
C33	19.097	5253	1106	0.0298	0.3
C34	19.709	175804	17103	0.9989	11.2
C36	21.185	27431	3381	0.1559	1.7
others	-	32697	-	-	2.1



รูปที่ จ.3 โครมาโตแกรมของไขมันแอลกอฮอล์จากไขรำข้าวที่สกัดด้วยไอโซออกเทน และตกตะกอนเมื่อทิ้งไว้ข้ามคืน วิเคราะห์ด้วย gas chromatography โดยใช้คอลัมน์ ZB-5

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวจิราภรณ์ พึ่งธรรม
วัน เดือน ปีเกิด	26 เมษายน 2524
ประวัติการศึกษา	
ระดับมัธยมศึกษา	ประโยคมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสมุทรสาครบูรณะ สมุทรสาคร พ.ศ. 2542
ระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2545
ระดับปริญญาโท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2549
ทุนการศึกษาหรือทุนวิจัย	ทุนเพชรพระจอมเกล้า ประจำปีการศึกษา 2547
ประวัติการทำงาน	นักวิจัย สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2546-2548
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	จิราภรณ์ พึ่งธรรม, กรณ์กนก อายุสุข และคณิต กฤษณังกูร, 2549, “การวัดการสูญเสียน้ำมันในกระบวนการทำน้ำมันรำข้าวให้ บริสุทธิ์ด้วยวิธีปั่นเหวี่ยงแบบแคพิลลารี”, การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ, ครั้งที่ 2, 26 ตุลาคม 2549, หน้า52

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ข้อตกลงว่าด้วยการโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาของนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

วันที่ 16 พฤษภาคม พ.ศ. 2550

ข้าพเจ้า นางสาวจิราภรณ์ พิงธรรม รหัสประจำตัว 47402303 เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับ ประกาศนียบัตรบัณฑิต ปริญญาโท ปริญญาเอก หลักสูตร ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีชีวเคมี คณะ ทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี อยู่บ้านเลขที่ 51/1025 หมู่ 3 ตำบล สวนหลวง อำเภอ กระทุ่มแบน จังหวัด สมุทรสาคร รหัสไปรษณีย์ 74110 เป็น “ผู้โอน” ขอโอนสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี รศ.นฤมล จิยโชค ตำแหน่ง คณบดีคณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี เป็นตัวแทน “ผู้รับโอน” สิทธิในทรัพย์สินทางปัญญาและมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียน้ำมันในกระบวนการรีไฟน์ น้ำมันรำข้าว ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ ดร.กรณ์กนก อายุสุข ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย
3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆ ก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุกครั้งที่มีการเผยแพร่
4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรือให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีก่อน
5. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำข้อมูลจากวิทยานิพนธ์ไปประดิษฐ์หรือพัฒนาต่อยอดเป็นสิ่งประดิษฐ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาประเภทอื่น ภายในระยะเวลาสิบ (10) ปีนับจากวันลงนามในข้อตกลงฉบับนี้ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีมีสิทธิในทรัพย์สินทางปัญญานั้น พร้อมกับได้รับชำระค่าตอบแทนการอนุญาตให้ใช้สิทธิดังกล่าว รวมถึงการจัดสรร

ผลประโยชน์อันพึงเกิดขึ้นจากส่วนใดส่วนหนึ่งหรือทั้งหมดของวิทยานิพนธ์ในอนาคต โดยให้เป็นไปตามระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วย การบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

6. ในกรณีที่มีผลประโยชน์เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์หรืองานทรัพย์สินทางปัญญาอื่นที่ข้าพเจ้าทำขึ้น โดยมีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีเป็นเจ้าของ ข้าพเจ้าจะมีสิทธิได้รับการจัดสรรผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญาดังกล่าวตามอัตราที่กำหนดไว้ในระเบียบสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว่าด้วย การบริหารผลประโยชน์อันเกิดจากทรัพย์สินทางปัญญา พ.ศ. 2538

ลงชื่อ.....สิริภรณ์ คำธรรม.....ผู้โอนสิทธิ
(นางสาวจิราภรณ์ พึ่งธรรม)

ลงชื่อ.....อุทัย.....ผู้รับโอนสิทธิ
(รศ.นฤมล จิยโชค)

ลงชื่อ.....ไพยาน.....พยาน
(ดร.กรณ์กนก आयสุข)

ลงชื่อ.....ไพยาน.....พยาน
(รศ.ดร.คณิต กฤษณังกูร)