

**การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมัน
จากเมล็ดสบู่ดำด้วยตัวทำละลาย**

ณิชรรัตน์ มะลิมาศ

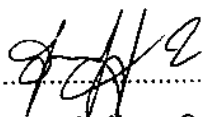
**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม
สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์**

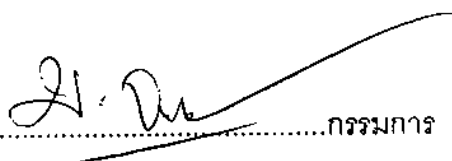
2550

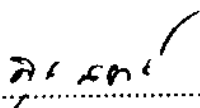
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมัน
จากเมล็ดสบู่ดำด้วยตัวทำละลาย
ณิชรรัตน์ มะลิมาศ
คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาแล้วเห็นสมควรอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของ
การศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์.....วิสาฯ ภูจินดา.....ประธานกรรมการ
(ดร. วิสาฯ ภูจินดา)

รองศาสตราจารย์..........กรรมการ
(ดร. วิชัย สุขดิษฐ์)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์..........กรรมการ
(ดร. มาริสา จาตุพรพัฒน์)

รองศาสตราจารย์..........รักษาราชการแทนคณบดี
(ดร. สุรสิทธิ์ วชิรจร)

วันที่ ๒๒ ตุลาคม พ.ศ. ๒๕๕๐

บทคัดย่อ

ชื่อวิทยานิพนธ์: การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสนูปด้าด้วยตัวทำละลาย

ชื่อผู้เขียน : นางสาวนิชรัตน์ มะลิมาศ

ชื่อปริญญา : วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม)

ปีการศึกษา : 2550

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสนูปด้าด้วยตัวทำละลาย โดยการนำเมล็ดสนูปด้าจากวิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทน จังหวัดระยอง มาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า ค่าเฉลี่ยของเนื้อในเมล็ดสนูปด้า เท่ากับร้อยละ 55.11 โดยน้ำหนัก และค่าเฉลี่ยของเปลือกเท่ากับร้อยละ 44.99 โดยน้ำหนัก สำหรับการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าน้ำมันสนูปด้าประกอบด้วยกรดโอเลอิกเป็นองค์ประกอบหลัก คิดเป็นร้อยละ 44.11 นอกจากนี้ การศึกษาคุณค่าทางอาหารของเมล็ดสนูปด้า พบว่ามีค่าโปรตีนร้อยละ 31.75 เส้นใยร้อยละ 7.14 ความชื้นร้อยละ 4.34 เถ้าร้อยละ 5.44 และไขมันร้อยละ 47.18 เมื่อทำการศึกษถึงสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสนูปด้าด้วยตัวทำละลาย พบว่าตัวทำละลายที่ดีที่สุดในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสนูปด้าจากจังหวัดระยอง คืออนุกรมละลาย เฮกเซน อัตราส่วนเมล็ดสนูปด้าต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จะได้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 51.35 โดยน้ำหนัก จากนั้นจึงนำน้ำมันที่สกัดได้มาสังเคราะห์ไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอร์ฟิเคชัน โดยใช้ น้ำมันสนูปด้า 1,000 กรัม ทำปฏิกิริยากับเมทานอล 240 กรัม และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 27 กรัม ได้ น้ำมันไบโอดีเซลร้อยละ 80.6 โดยน้ำหนัก และนำเมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ ได้แก่ จุดวาบไฟ จุดไหลเท จุดจุด ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะที่ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณน้ำ กรดไขมันอิสระ ซึ่งจำเป็นต่อการพิจารณานำไปเป็นพลังงานทดแทนสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง พบว่า ทุกพารามิเตอร์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน โดยเฉพาะความหนืดที่ลดลงเป็นอย่างมากจาก 35.67 ซึ่งเป็นค่าความหนืดของน้ำมันสนูปด้าเหลือ 4.44 เซนติสโตก ซึ่งเป็นค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซล

ABSTARCT

Title of Thesis : A Study of Optimal Condition of Oil Extraction from *Jatropha curcus* using Solvent Extraction

Author : Miss Nitcharat Malimat

Degree : Master of Science (Environmental Management)

Year : 2007

The aim of this research was to study the optimal condition of oil extraction from Physic Nut seed (*Jatropha curcus*) using solvent extraction. Physic Nut from (Small and Micro Community Enterprise of Renewable Energy) Rayong province was analyzed in order to study physical qualifications of Physic Nut. The percentage of kernels and shells of Physic Nut seeds were 55.11% and 44.99%, respectively. A constituent analysis of fatty acid using gas chromatography was conducted and the results showed that Physic Nut oil consisted mainly of oleic acid of 44.11%. Moreover, nutrition containing in the physic nut was composed of 31.75% protein, 7.14% fiber, 4.34% moisture, 5.44% ash and 47.18% lipid. The optimal condition of oil extraction from Rayong was studied. Normal hexane was found to be the best solvent for oil extraction in this study. The 51.35 % oil was achieved when using 1:8 (w/v) proportions of Physic Nut seed and hexane and extracting at 50 °C and 6 hr. Biodiesel was synthesized using the extracted oil via trans-esterification reaction. A combination of 1000 g of Physic Nut oil, 240 g of methanol and 27 g of KOH gave 80.6% (w/w) of biodiesel. Necessary parameters using for judging whether the extracted oil could be used for substitution of fuel in diesel engine were analyzed which were inducing flash point, pour point, cloud point, viscosity, specific gravity, water content and free fatty acid. They were compared with those of the standard values issued by Department of Energy Business and the results showed that most of them were acceptable especially, a viscosity highly reducing from 4.44 centistokes to 35.67 centistokes.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสับด้าด้วยตัวทำละลาย สำเร็จลุล่วงได้เนื่องมาจากได้รับความช่วยเหลือในด้านข้อมูล คำแนะนำ เมล็ดสับด้าตัวอย่าง รวมถึงสถานที่ในการปฏิบัติการด้วย

ผู้เขียนขอขอบพระคุณผศ.ดร.วิสาขา ภูจินดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และแก้ไข ตลอดจนให้กำลังใจในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ในทุกขั้นตอน และขอขอบพระคุณ รศ.ดร. ธวัชชัย ศุภดิษฐ์ และผศ.ดร.มาริสา จาตุพรพิพัฒน์ ซึ่งเป็นคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อชี้แนะ ในการจัดทำรูปเล่มรายงานวิทยานิพนธ์ให้ลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร.มาริสา จาตุพรพิพัฒน์ หัวหน้าโครงการวิจัยเรื่องการผลิตไบโอดีเซลจากเมล็ดน้ำมันสับด้าจากทุนงบประมาณประจำปี 2550 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่สนับสนุนเงินทุน สารเคมี อุปกรณ์และควบคุมดูแลในการทำวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. อีรวัฒน์ มงคลธวัชรัตน์ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ รองศาสตราจารย์นวลพรรณ ณ. ระนอง หัวหน้าภาควิชาชีววิทยาประยุกต์และเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์และความสะดวกในการใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการทดลองของภาควิชาชีววิทยาประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และขอขอบพระคุณคุณสุกิจ ตั้งไพญญ์วัฒน์ ประธานวิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทน จ.ระยอง ที่ได้เอื้อเฟื้อเมล็ดสับด้าจำนวน 20 กิโลกรัม เพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านของคณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ และให้คำปรึกษาในทุกด้าน รวมถึงเจ้าหน้าที่ของคณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการประสานงานต่าง ๆ และขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูล ข้อเสนอแนะและเป็นที่กำลังใจที่มีให้จนจบงานวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณโชคชัยและคุณสุวีวรรณ มะลิมาศเป็นอย่างสูง ซึ่งเป็นบิดา- มารดาของผู้เขียน ที่ได้ช่วยเหลือในการจัดเตรียมตัวอย่าง คอยกระตุ้น ตามไต่และที่สำคัญที่สุด คือเป็นกำลังอันยิ่งใหญ่ตั้งแต่ต้นจนจบรูปเล่มวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นิชรัตน์ มะลิมาศ

ตุลาคม 2550

สารบัญ

	หน้า	
<u>บทคัดย่อ</u>	(3)	
ABSTRACT	(4)	
กิตติกรรมประกาศ	(5)	
สารบัญ	(7)	
สารบัญตาราง	(9)	
สารบัญภาพ	(10)	
<u>บทที่ 1 บทนำ</u>	1	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1	
1.2 วัตถุประสงค์	3	
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3	
1.4 ขอบเขตการศึกษา	3	
1.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย	4	
1.6 นิยามศัพท์	6	
<u>บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</u>	9	c2-1
2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสบู่ดำ	9	
2.2 วิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทนจากสบู่ดำ จังหวัดระยอง	15	
2.3 การสกัดน้ำมันสบู่ดำ	17	
2.4 <u>โครมาโทกราฟี</u>	28	c2-2
2.5 ไบโอดีเซล	33	
2.6 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	38	
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	40	
<u>บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย</u>	46	
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี	46	
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	47	

<u>บทที่ 4 ผลการศึกษา</u>	56
4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสับด้า	56
4.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์-เคมีของเมล็ดและน้ำมันเมล็ดสับด้าจาก วิสาหกิจชุมชน จังหวัดระยอง	58
4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสับด้า ด้วยตัวทำละลาย	65
4.4 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสับด้า	69
4.5 การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซล	72
4.6 ความคุ้มค่าของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสับด้า	79
<u>บทที่ 5 สรุป อภิปราย และข้อเสนอแนะ</u>	82
5.1 สรุปผลการศึกษา	82
5.2 ข้อเสนอแนะ	84
<u>บรรณานุกรม</u>	86
<u>ภาคผนวก</u>	91
<u>ภาคผนวก ก</u> การวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำมันตามมาตรฐาน AOAC 1995	92
<u>ภาคผนวก ข</u> การวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำมันตามมาตรฐาน AOCS	104
<u>ภาคผนวก ค</u> โครมาโทแกรมการวิเคราะห์กรดไขมันด้วยเครื่อง แก๊สโครมาโทกราฟี	107
<u>ประวัติผู้เขียน</u>	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้ในการสกัด	23
2.2 ตัวอย่างจุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ	24
2.3 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดสนุดำ	26
2.4 คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของน้ำมันเมล็ดสนุดำ	26
2.5 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ ของกรดไขมัน พ.ศ. 2548	27
2.6 ค่าความร้อนของน้ำมันชนิดต่าง ๆ	28
2.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันสนุดำกับมาตรฐานน้ำมันดีเซล หมุนเร็วของประเทศญี่ปุ่นและประเทศไทย	42
3.1 วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันเมล็ดสนุดำ	53
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสนุดำจากวิสาหกิจชุมชน จ.ระยอง	57
4.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์-เคมีของน้ำมันเมล็ดสนุดำ	59
4.3 องค์ประกอบของเมล็ดสนุดำจากวิสาหกิจชุมชน จ.ระยอง	63
4.4 แสดงร้อยละของปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย ชนิดและอัตราส่วนต่างๆ กัน	65
4.5 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมัน	68
4.6 แสดงส่วนประกอบของกรดไขมัน	74
4.7 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซล	76
4.8 ราคาต่อหน่วยของวัตถุดิบ	79
4.9 ปริมาณวัตถุดิบและผลผลิตในกระบวนการสกัดน้ำมัน	80
4.10 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการสกัดน้ำมัน	80
4.11 ปริมาณวัตถุดิบและผลผลิตในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล	81
ก.1 สัดส่วนการเตรียมสารตัวอย่างสำหรับการเตรียมเมทิลเอสเตอร์	98

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1.1	แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย	5
2.1	ลักษณะของต้นสบู่ดำ	10
2.2	ลักษณะของผลสบู่ดำ	11
2.3	เมล็ดสบู่ดำที่แกะจากผล, เนื้อในเมล็ด และเปลือกสบู่ดำ	12
2.4	ลักษณะการบักขี้ด้วยกิ่งของต้นสบู่ดำ	15
2.5	ต้นสบู่ดำที่ปลูกในพื้นที่วิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทน จากสบู่ดำ จังหวัดระยอง	16
2.6	เครื่องหีบเมล็ดสบู่ดำที่ใช้ในวิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทน จากสบู่ดำ จังหวัดระยอง	17
2.7	เครื่องบีบแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Press)	18
2.8	เครื่องบีบแบบสกรูเพรส (Screw Press)	19
2.9	น้ำมันสบู่ดำที่หีบได้จากเมล็ดสบู่ดำ	20
2.10	แสดงปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)	25
2.11	แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี	30
2.12	แสดงการเคลื่อนที่ของสารที่ละลายอยู่ในเฟสเคลื่อนที่	32
2.13	แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน	36
3.1	ศึกษาปริมาณและชนิดของตัวทำละลายต่อการสกัดน้ำมัน จากเนื้อในเมล็ดสบู่ดำ	50
3.2	ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อประสิทธิภาพ การสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสบู่ดำด้วยตัวทำละลาย	51
3.3	ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ	53
4.1	แสดงร้อยละเนื้อในเมล็ดและเปลือก โดยน้ำหนัก	57

4.2	แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมัน ด้วยนอร์มัลเฮกเซน	68
4.3	น้ำมันไบโอดีเซลหลังจากถ่ายใส่กรวยแยกและตั้งทิ้งไว้ 1 คืน	71
4.4	แสดงการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ ด้วยเทคนิค Thin Layer Chromatography (TLC)	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประมาณ 150 ปีที่ผ่านมา มนุษย์ค้นพบวิธีการขุดน้ำมันปิโตรเลียมขึ้นมาใช้ ด้วยความที่มีปริมาณมหาศาล มีค่าความร้อนสูง มนุษย์จึงพัฒนาเทคโนโลยีต่างๆ ขึ้นมาเพื่อรองรับการใช้งานของน้ำมันปิโตรเลียมอย่างต่อเนื่อง สร้างความสะดวกสบายให้แก่มนุษย์ และเกิดการผูกขาดด้านพลังงานจากจุดนี้เอง

สำหรับปริมาณสำรองของพลังงานภายในประเทศ ณ สิ้นปี 2545 พบว่า มีปริมาณสำรองของน้ำมันดิบใช้ได้อีกประมาณ 17 ปี คอนเดนเสทประมาณ 30 ปี และก๊าซธรรมชาติประมาณ 34 ปี (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2547) จะเห็นว่าน้ำมันดิบที่มีในประเทศไทยเหลือให้ใช้อีกเพียงไม่กี่ปี และมีใช้เพียงเฉพาะประเทศไทยเท่านั้นที่จะต้องพบกับภาวะขาดแคลนน้ำมันดิบแต่รวมถึงทุกประเทศต่างๆ อีกมากมาย จึงทำให้ประเทศไทยและนานาประเทศตื่นตัวในการส่งเสริมการวิจัยและรณรงค์ให้ประชาชนในประเทศใช้น้ำมันอย่างประหยัดและหันมาใช้พลังงานทดแทน ในแต่ละปีในประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้น้ำมันดีเซลมากกว่าน้ำมันเบนซินมาก ทั้งภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และคมนาคมขนส่ง ซึ่งน้ำมันดีเซลมีปริมาณการใช้มากถึง 54 ล้านลิตรต่อวัน คิดเป็น 47.1% ของปริมาณการใช้น้ำมันภายในประเทศในปี 2547 (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สถาบันวิจัยพลังงาน, 2547 อ้างถึงใน จินตนา อุบลวัฒน์, 2548: 53) การใช้น้ำมันดีเซลในปริมาณที่มากและมีการปรับราคาน้ำมันดีเซลขึ้นตลอดเวลา การค้นคว้าวิจัยพลังงานทดแทนจึงต้องกระทำอย่างเร่งด่วน เพื่อให้ประเทศไทยสามารถพึ่งพาตนเองได้ และน้ำมันไบโอดีเซลจึงเป็นพลังงานทดแทนที่ถูกคาดหวังว่าจะนำมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล

ในปีพ.ศ. 2438 ดร.รูตอล์ฟ ดีเซล ประดิษฐ์เครื่องยนต์ดีเซลขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์ให้ใช้น้ำมันพืชเป็นเชื้อเพลิง โดยคาดหวังว่าเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้น้ำมันจากพืชจะทำให้ประเทศเกษตรกรรมสามารถพึ่งพาตนเองได้ ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาน้ำมันปิโตรเลียม แต่ปรากฏว่าช่วงเวลานั้นอุตสาหกรรมน้ำมันพัฒนาจนสามารถกลั่นน้ำมันดิบจนได้น้ำมันดีเซล ซึ่งแพร่หลายไปอย่างรวดเร็วจนเข้ามาแทนที่น้ำมันพืชในที่สุด

น้ำมันไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล โดยนำน้ำมันจากพืชหรือสัตว์มาผ่านกระบวนการทางเคมี สังเคราะห์สารเอสเทอร์ เรียกว่า กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Trans-esterification) ได้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก ทั้งยังลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและลดปัญหาสุขภาพ เพราะน้ำมันไบโอดีเซลไม่มีสารประกอบที่เป็นวงอะโรมาติกส์เหมือนน้ำมันดีเซล

ประเทศไทยมีพืชน้ำมันหลายชนิดที่สามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซล เช่น น้ำมันละหุ่ง น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าวและน้ำมันสบู่ดำ เป็นต้น ซึ่งการวิจัยครั้งนี้มีความสนใจน้ำมันสบู่ดำมาใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เนื่องจากสบู่ดำเป็นพืชที่มีปริมาณน้ำมันมาก เมล็ดสบู่ดำมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 30-40 ของน้ำหนักเมล็ด และเนื้อในเมล็ด (Kemel) มีปริมาณน้ำมันร้อยละ 46-58 ของน้ำหนักเนื้อในเมล็ด (ทวีศักดิ์ ชุณจิตติกุล, 2548: 15) ขยายพันธุ์ได้ง่ายโดยการปักชำ เก็บเกี่ยวผลผลิตได้ในระยะเวลา 6-8 เดือน ทนต่อความแห้งแล้งได้ดี ต้องการน้ำน้อย และสามารถปลูกเป็นรั้วเพื่อกันสัตว์รบกวน (Heller, 1996 อ้างถึงใน Gübitz, Mittelbach และ Trabi, 1999: 73-82) นอกจากนี้กากเมล็ดสบู่ดำที่ผ่านการสกัดน้ำมันและกำจัดสารเคอร์ซิน (Curcin) ซึ่งเป็นสารพิษออกแล้ว พบว่ามีโปรตีนสูง ประมาณร้อยละ 50 และ 60 สามารถนำไปผสมเป็นอาหารสำหรับสัตว์ปีก สุกร วัว ควาย หรือแม้แต่ปลาได้ (Martinez-Herrera, Siddburaju, Francis, Davila-Ortiz และ Becker, 2005: 2) ซึ่งประเทศไทยมีสภาพทางภูมิศาสตร์ที่เอื้อต่อการปลูกสบู่ดำเช่นเดียวกับในต่างประเทศ เช่น ประเทศในทวีปอเมริกากลางและใต้ เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ อินเดียและ ทวีปแอฟริกา (Schmook และ Serralta-Peraza, 1997 อ้างถึงใน Gübitz และคณะ, 1999: 73-82)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาในด้านพลังงานทดแทนจากน้ำมันสบู่ดำ โดยเน้นไปที่การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ สภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ องค์ประกอบของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ และกระบวนการผลิตไบโอดีเซลโดยใช้สบู่ดำเป็นวัตถุดิบ รวมถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำด้วย โดยเลือกศึกษาเมล็ดสบู่ดำจากวิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทนจากสบู่ดำ จังหวัดระยอง เนื่องจากกลุ่มองค์กรนี้มีโครงการพัฒนาและสาธิตการผลิตไบโอดีเซลจากสบู่ดำ โดยกระทรวงพลังงาน ซึ่งมีการรณรงค์ให้ประชาชนในพื้นที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำที่ปลูกขึ้นเองภายในพื้นที่ของชุมชน และกำลังผลักดันให้เป็นที่ตั้งของโรงงานผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำแห่งแรกของประเทศไทย ซึ่งงานวิจัยนี้จะช่วยให้ชุมชนสามารถดำรงชีวิตได้ด้วยหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงและไม่ได้รับผลกระทบหรือได้รับผลกระทบน้อยที่สุดจากสภาวะการณีน้ำมันขาดแคลนของโลก

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 วัตถุประสงค์ทั่วไป

เพื่อพัฒนาวิธีการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำและการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

คำ: วิชาเทคนิคชุมชนพลังงานทดแทนจากสบู่ดำ จังหวัดระยอง

1.2.2 วัตถุประสงค์ย่อย

1. เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ
3. เพื่อศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ
4. เพื่อศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ
5. เพื่อศึกษาต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำ
2. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ
3. ทราบถึงองค์ประกอบของน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ
4. ทราบถึงกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ
5. ทราบถึงต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

1.4 ขอบเขตการศึกษา

ในการวิจัยเรื่อง การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำด้วยตัวทำละลาย ผู้วิจัยสร้างขอบเขตงานวิจัย ดังนี้

เนื้อหา ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบของน้ำมัน สภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันของเมล็ดสบู่ดำ กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ และศึกษาต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

ประชากรและพื้นที่ เมล็ดสบู่ดำจากวิชาเทคนิคชุมชนพลังงานทดแทนจากสบู่ดำ จ. ระยอง

ระยะเวลา 12 เดือน ระหว่างเดือนตุลาคม 2549 – เดือนกันยายน 2550

1.5 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ตัวแปรในการวิจัยที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรตาม (Dependent Variables) ดังต่อไปนี้

1.5.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบูดำ ประกอบด้วย

1.5.1.1 ตัวแปรอิสระ (Independent Variables) ได้แก่

- 1) ชนิดตัวทำละลาย คือ เฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์ และน้ำ
- 2) อัตราส่วนของเมล็ดสบูดำต่อตัวทำละลาย (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)

คือ 1:4 1:6 และ 1:8

- 3) อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด คือ อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) และ

50 องศาเซลเซียส

- 4) ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด ได้แก่ 1, 3, 6 และ 9 ชั่วโมง

1.5.1.2 ตัวแปรตาม (Dependent Variables) ได้แก่

- 1) ชนิดและอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อปริมาณเมล็ดสบูดำ ที่ให้ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันดีที่สุด

- 2) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันโดยใช้ชนิดตัวทำละลายและอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันข้อ 1)

- 3) ระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัด โดยใช้ชนิดตัวทำละลาย อัตราส่วน และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันข้อ 2)

- 4) คุณสมบัติน้ำมันที่เป็นไปตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน

1.5.2 การผลิตไบโอดีเซล

งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลโดยนำเมธานอลผสมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้เข้ากันแล้วจึงเทน้ำมันเมล็ดสบูดำผสมลงไป ได้น้ำมันไบโอดีเซลเป็นผลผลิต และกลีเซอรินเป็นผลพลอยได้ ซึ่งจะวิเคราะห์พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

- 1.5.2.1 ปริมาณและอัตราส่วนของน้ำมันเมล็ดสบูดำ เมธานอล และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

- 1.5.2.2 ปริมาณของกลีเซอรินที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล

1.5.2.3 คุณสมบัติน้ำมันไบโอดีเซลที่เป็นไปตามมาตรฐานกรมธุรกิจพลังงาน

1.5.3 การคำนวณต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบูดำ

คำนวณจาก

1.5.3.1 ต้นทุนดำเนินการทั้งหมด ได้แก่

ราคาเมล็ดสบูดำ

สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

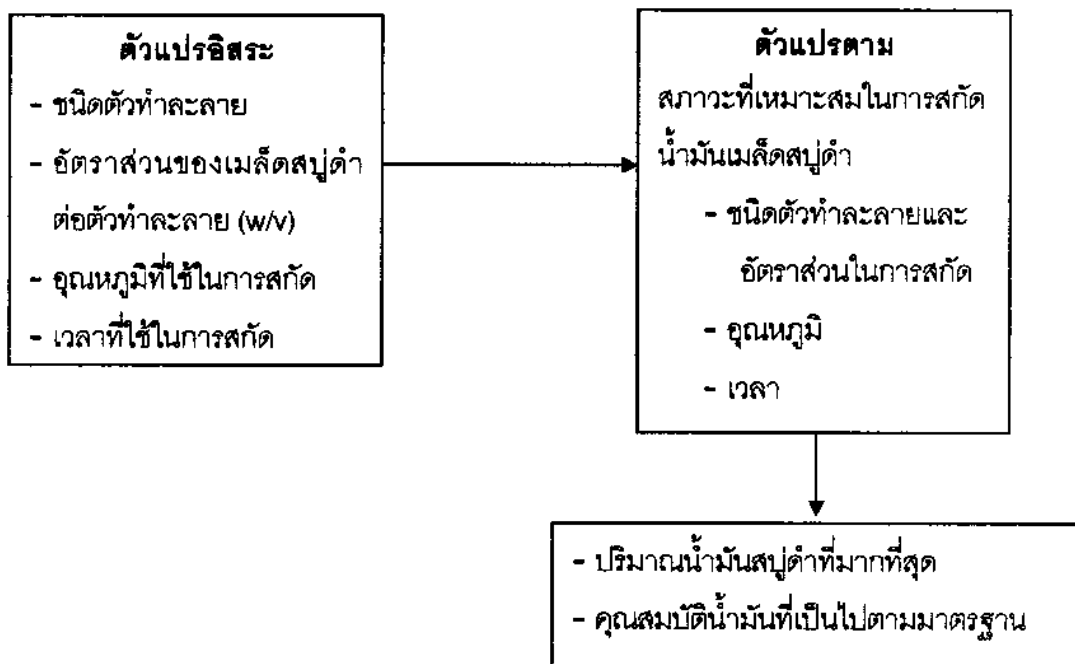
ค่าไฟฟ้า

1.5.3.2 การพิจารณาความคุ้มค่าในการนำไปผลิตเชิงพาณิชย์

1.5.3.3 ความคุ้มค่าทางการเงินเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดในการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ดังรายละเอียด ตามแผนภูมิที่ 1.1

1.5.4 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบูดำ



ภาพที่ 1.1 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย

1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 นิยามศัพท์ทั่วไป

ไบโอดีเซล หมายถึง เชื้อเพลิงเหลวที่ผลิตจากไขมันสัตว์ น้ำมันจากพืช รวมถึงน้ำมันที่ใช้แล้ว นำมาผ่านกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Trans-esterification) โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือ เอทานอล และมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง เพื่อเปลี่ยนไขมันให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester) หรือเอทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Ethyl Ester) ขึ้นอยู่กับประเภทของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต และมีกลีเซอรอลเป็นผลพลอยได้ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง

กลีเซอรอล หมายถึง สารประกอบแอลกอฮอล์ มีสูตรโมเลกุลคือ $C_3H_5(OH)_3$ มีลักษณะเป็นของเหลวข้นละลายน้ำได้ดี รสหวานเล็กน้อย ได้จากผลผลิตจากแอลกอฮอล์ สารชนิดนี้ไม่มีพิษ ใช้ทำยารักษาโรค ส่วนประกอบเครื่องสำอาง

ค่าซีเทน หมายถึง ตัวเลขที่แสดงถึงเวลาหน่วงการจุดระเบิด ถ้าค่าซีเทนสูง แสดงว่าเวลาหน่วงการจุดระเบิดในห้องเผาไหม้จะสั้น จุดระเบิดได้ง่ายและแม่นยำ ไม่เกิดการสะสมของเชื้อเพลิง และเขม่าในห้องเผาไหม้

ค่าความถ่วงจำเพาะ หมายถึง การนำค่าความหนาแน่นของของเหลวที่สนใจไปเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของน้ำ (ค่าความหนาแน่นของของเหลว / ค่าความหนาแน่นของน้ำ) ซึ่งการที่เอาค่าที่มีหน่วยเดียวกันมาหารกัน ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาจะไม่มีหน่วย (หน่วยของความหนาแน่น คือ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

จุดวาบไฟ (Flash Point) หมายถึง จุดที่อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของของเหลวที่เป็นสารจุดไฟติด (Flammable Liquid) นั้น ผสมรวมเข้ากับอากาศแล้ว สามารถจุดติดจนลุกเป็นไฟขึ้นมา โดยมีอุณหภูมิของจุดวาบไฟนั้นจะมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของของเหลวนั้น ๆ ที่อุณหภูมินี้เองที่ไอระเหยของของเหลวแต่ละชนิด จะสามารถลุกติดไฟต่อไปได้ ถึงแม้ว่าจะมีการนำสารต้นกำเนิดไฟ เช่น ไม้ขีดไฟออกไปแล้วก็ตาม

จุดไหลเท คือ อุณหภูมิ ณ จุดที่น้ำมันดิบแข็งตัวและไม่สามารถไหลได้สะดวก หมายถึงว่า ถ้าอุณหภูมิของน้ำมันดิบต่ำกว่าจุดไหลเท น้ำมันดิบก็จะเป็นไขแข็ง ไหลไม่ได้ และในทางตรงกันข้าม หากอุณหภูมิสูงกว่าจุดไหลเท ไข หรือ Wax ที่ผสมอยู่ในน้ำมันดิบก็จะหลอมตัวเข้ากับน้ำมันดิบ ทำให้น้ำมันดิบไหลได้

ความหนืด คือ หน่วยวัดความต้านทานภายในของการไหลของของเหลวหรือก๊าซ โดยใช้เครื่องมือวัดความหนืด ที่เรียกว่า มาตรฐานความหนืด (Viscosity) ความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

เครื่องบีบแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Press) หมายถึง เครื่องบีบน้ำมันโดยใช้แรงงานคน บีบอัดให้น้ำมันไหลออกมา ทำให้เหลือน้ำมันตกค้างมากกว่าเครื่องบีบแบบสกรูเพรส

เครื่องบีบแบบสกรูเพรส (Screw Press) หมายถึง เครื่องบีบน้ำมันที่ใช้ไฟฟ้าแทนแรงงานคน มีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องไฮดรอลิก ได้ปริมาณน้ำมันมากกว่า และเหลือน้ำมันตกค้างน้อยกว่าแบบไฮดรอลิก ทำให้คุ้มทุนในระยะยาว สะดวกในการใช้งาน

ASTM มาจากคำว่า American Society for Testing and Materials เป็นสมาคมแห่งสหรัฐอเมริกา ซึ่งทำการกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคในการทดสอบคุณภาพของวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ในธุรกิจน้ำมัน

AOAC หมายถึง Association of Official Analytical Chemistry เป็นหน่วยงานที่กำหนดวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางเคมีสำหรับวัตถุหรือสารต่างๆ ที่เป็นมาตรฐานสากล

AOCS หมายถึง American Oil Chemists' Society เป็นองค์กรที่กำหนดวิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำมันที่เป็นมาตรฐานสากล

1.6.2 นิยามศัพท์เชิงปฏิบัติการ

เมล็ดสับดำ หมายถึง เมล็ดสับดำจากวิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทนจากสับดำ จังหวัดระยอง

คุณสมบัติทางกายภาพ หมายถึง การศึกษาค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ของเมล็ด ได้แก่

น้ำหนักเมล็ด เปลือก และเนื้อในเมล็ด (มิลลิกรัม)

ความยาวเมล็ด (มิลลิเมตร)

ความกว้างเมล็ด (มิลลิเมตร)

คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ หมายถึง การศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ของเมล็ดสับดำและน้ำมันจากเมล็ดสับดำ ได้แก่

ค่าไอโอดีน (Iodine Value)

ค่าสaponification (Saponification Value)

ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ค่ากรด (Acid Value)

ค่าความหนืด (Viscosity)

กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)

คุณค่าทางอาหารของเมล็ดสนุ่นดำ

ตัวทำละลาย หมายถึง สารละลายที่ทำหน้าที่สกัดน้ำมันออกจากเมล็ดสนุ่นดำ ได้แก่ นอร์มัลเฮกเซน (n-Hexane) ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether) และน้ำ (Water)

สภาวะที่เหมาะสม หมายถึง สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสนุ่นดำ โดยดัดแปลงจากวิธีของสุภาสิต ชุกกลิน ได้แก่ ชนิดและปริมาณตัวทำละลาย อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสนุ่นดำ

องค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซล หมายถึง การศึกษาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของน้ำมันไบโอดีเซล ได้แก่

วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลบนเพลทซิลิกาเจล โดยดัดแปลงจากวิธี Sander (1983)

วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟีโดยดัดแปลงจากวิธี Martinez และคณะ (2005)

โซเดียมเมทอกไซด์ (Sodium Methoxide) หมายถึง สารละลายที่เกิดจากการผสมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในเมทานอล (Methanol)

เมทิลเอสเทอร์ หมายถึง สารเอสเทอร์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันสนุ่นดำและเมทานอลโดยมีตัวเร่ง คือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าน้ำมันไบโอดีเซล

การคำนวณต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสนุ่นดำ หมายถึง การนำข้อมูลจากกระบวนการทุกขั้นตอนมาประมวลผล โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excell และเปรียบเทียบราคาดำเนินทุนในการทดลองภายใต้เงื่อนไขและสถานการณ์ดังนี้

ราคาวัตถุดิบ (เมล็ดสนุ่นดำ)

ค่าสารเคมี

ค่าไฟฟ้า

ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมัน

ร้อยละของไบโอดีเซลที่ผลิตได้

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำด้วยตัวทำละลาย” ได้ทำการรวบรวมแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

- 2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสบู่ดำ
- 2.2 วิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทนจากสบู่ดำ จังหวัดระยอง
- 2.3 การสกัดน้ำมันสบู่ดำ
- 2.4 หลักการของโครมาโทกราฟี
- 2.5 ไบโอดีเซล
- 2.6 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับสบู่ดำ

ชื่อวงศ์	: Euphorbiaceae
ชื่อวิทยาศาสตร์	: <i>Jatropha curcas</i> Linn.
ชื่อสามัญ	: Physic nut, Purging nut, Curcas Bean
ชื่ออื่นๆ	: ภาคกลาง เรียกว่า สบู่ดำ สบู่ขาว สลอบดำ สลอบใหญ่ ภาคเหนือ เรียกว่า มักเยา มะเยา มะหั่ว มะหุ้งฮั่ว หงเทก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียกว่า มะเยา สีนลอบ หมากเยา ภาคใต้ เรียกว่า มาเคาะ หงเทศ

สบู่ดำ อยู่ในวงศ์ Euphorbiaceae วงศ์เดียวกับยางพารา สบู่แดง (*J. gossypifolia*) บัตตาเวีย (*J. integririma*) ฝิ่นต้นหรือมะละกอฝรั่ง (*J. multifida*) หนุมานนั่งแท่น (*J. podagrica*) มะขามป้อม (*Phyllanthus emblica* Linn.) สลอบ (*Croton tiglium* Linn.) ละหุ่ง (*Ricinus communis* Linn.) และพญาไร้ใบ (*Euphorbia tiglium* Linn.) เป็นต้น

สนุ่ดำเป็นพืชพื้นเมือง มีถิ่นกำเนิดใน Tropical America ชาวโปรตุเกสเป็นผู้นำสนุ่ดำเข้ามาในเอเชียและแอฟริกา สำหรับประเทศไทยมีการนำเข้ามาในช่วงปลายสมัยกรุงศรีอยุธยา เพื่อรับซื้อเมล็ดไปคัดบิบนาน้ำมันสำหรับทำสนุ่ ปัจจุบันสนุ่ดำมีปลูกอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย เป็นพืชยืนต้นมีอายุได้ถึง 50 ปี ทนแล้งและขึ้นได้ในสภาพดินเลว (ชำนานญ จัตรแก้ว, 2548: 5)

2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลำต้น

สนุ่ดำเป็นไม้พุ่มยืนต้นขนาดกลาง สูงประมาณ 2-7 เมตร ลำต้นมีลักษณะเกลี้ยงเกลา ลำต้น ใบ ผล และเมล็ด มีสารไฮโดรไซยานิก สังเกตได้เมื่อหักลำต้น ส่วนยอดหรือส่วนก้านใบจะมียางสีขาวข้นคล้ายน้ำมันไหลออกมา มีกลิ่นเหม็นเขียว



ภาพที่ 2.1 ลักษณะของต้นสนุ่ดำ

ใบ

ใบเดี่ยว เรียงสลับ มี 4 แฉก เป็นรูปหัวใจกว้างถึงรูปโล่ คล้ายฝ้ายหรือละหุ่งแต่มีหน้กต้นกว่าและหนากว่า เพราะมีใบ (Curtin) เคลือบอยู่ที่ผิวใบ ขอบใบเรียบ การจัดเรียงตัวของใบเป็นแบบร่างแห (Palmately Netted Venation) ใบที่เจริญเติบโตเต็มที่ยาวประมาณ 18 เซนติเมตร กว้าง 16 เซนติเมตร สนุ่ดำมักทิ้งใบช่วงฤดูร้อน ถ้าแห้งแล้งมากจะทิ้งใบทั้งต้น

ดอก

สีเขียวแกมเหลือง กลิ่นหอมอ่อนๆ ออกเป็นช่อตามซอกใบหรือปลายกิ่ง ดอกตัวผู้และตัวเมียอยู่แยกกัน แต่อยู่ในดอกเดียวกัน และจะมีดอกตัวผู้มากกว่าตัวเมีย ผิวมีขน ดอกตัวผู้สีเหลือง

แกมเขียว ปลายกลม ด้านในมีขนยาวห่าง มีต่อมน้ำหวานที่โคนกลีบเลี้ยงด้านใน เกสรตัวผู้มี 10 อัน แบ่งออกเป็น 2 วง อับเรณูมีสีเหลือง ดอกตัวเมียมีขนาดใหญ่กว่าดอกตัวผู้ และอยู่ตรงกลางของช่อย่อย กลีบเลี้ยงเชื่อมติดกัน ปลายแยกเป็นแฉก รั้งไขรูปกระสวยมี 3 พู อัตราส่วนดอกตัวผู้ต่อตัวเมียประมาณ 7:1 ปริมาณดอกย่อยประมาณ 70-100 ดอกต่อช่อ แต่จะติดผล 7-15 ผลเท่านั้น

ผล

รูปผลมีลักษณะทรงกลมขนาดปานกลาง กว้าง 2-3 เซนติเมตร ยาว 2.5 – 3.5 เซนติเมตร สีเขียวอ่อนเกลี้ยงกลาเป็นช่อพวงมีหลายผล เวลาสุกจะมีสีเหลืองคล้ายลูกจันทน์ และเมื่อแก่จัดจะเปลี่ยนเป็นสีดำ เปลือกหนาปานกลาง ลักษณะเป็นแบบเปลือกแข็ง (Nut) ผลหนึ่งส่วนมากมี 3 พู (Lobe) โดยแต่ละพูทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ ผลสด 1 ผลหนักประมาณ 15 กรัม เมื่อผลแห้งน้ำหนักจะลดลงเหลือ 2.6 กรัม อายุของผลสุบุดำตั้งแต่ออกดอกถึงผลแก่ประมาณ 60-90 วัน



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของผลสบูดำ

แหล่งที่มา: กรมวิชาการเกษตร, กองเกษตรเคมี, 2548.

เมล็ด

เมล็ดเป็นรูปรี (Oblong) สีดำขนาดเล็กกว่าเมล็ดละหุ่งพันธุ์ลายขาวดำเล็กน้อย สีตรงปลายเมล็ดมีจุดสีขาวเล็กๆ ติดอยู่ เมื่อเก็บไว้นานจุดนี้จะหดตัวเหี่ยวแห้งลง ขนาดของเมล็ดเฉลี่ย ความยาว 1.7-1.9 เซนติเมตร หนา 0.8-0.9 เซนติเมตร เมล็ดสบูดำ 100 เมล็ด หนักประมาณ 69.8 กรัม เปลือกหุ้มเมล็ดสีดำ จัดเป็นพวกมีเยื่อหุ้มเมล็ด (Albuminous Seed) โดยเยื่อ (Albumin) อยู่ภายใน เป็นที่เก็บสะสมน้ำมัน และสารเคอร์ซิน (Curcin) เมื่อแกะเปลือกนอกสีดำออกจะเห็นเนื้อในสีขาว (Kernel) (กรมวิชาการเกษตร, กองเกษตรเคมี, 2548; ชำนาญ ชัตรแก้ว, 2548: 12)



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 2.3 เมล็ดสนุ่นดำที่แกะจากผล, เนื้อในเมล็ด และเปลือกสนุ่นดำ

หมายเหตุ: (ก) เมล็ดสนุ่นดำที่แกะจากผล

(ข) เนื้อในเมล็ด

(ค) เปลือกสนุ่นดำ

2.1.2 ประโยชน์ของสนุ่นดำ

2.1.2.1 ประโยชน์จากการปลูก

- 1) ใช้เป็นรั้วป้องกันสัตว์ เช่น โค กระบือ แกะ เข้าไปทำลายพืชผล ป้องกันลมร้อนในหน้าแล้ง เพื่อลดการระเหยของน้ำในแปลงผัก
- 2) ไล่แมลงศัตรูพืช เนื่องจากต้นสนุ่นดำมีกลิ่นที่แมลงไม่ชอบ จึงนิยมปลูกแซมกับพืชชนิดอื่น

2.1.2.2 กิ่งก้านของต้นสนุ่นดำ

- 1) ใช้แขนงทำเป็นแปรงสีฟัน รักษาผู้ป่วยโรคฟัน เช่น เหงือกเป็นแผลหรือเลือดออกที่เหงือก
- 2) ก้านที่สกัดด้วยน้ำมีฤทธิ์ยับยั้งการเปลี่ยนแปลงทางพยาธิวิทยาของเซลล์ (Cytopatic Effect) ของเชื้อเอชไอวี (HIV) ได้โดยมีพิษต่ำ

2.1.2.3 ใบของต้นสนุ่นดำ

- 1) ใบอ่อนหรือยอดอ่อน นำไปนึ่งด้วยไอน้ำร้อน เพื่อทำลายกรดไฮโดรซียานิกซึ่งเป็นสารพิษ แล้วสามารถนำมารับประทานได้อย่างปลอดภัย
- 2) ใช้เป็นยาถอนพิษแก้ตัวร้อน ตานชาง แก้ก้นเป็นฝี แก้ปากและลิ้นเปื่อยพุพอง

2.1.2.4 รากของต้นสนุดำ

- 1) ใช้เป็นยารักษาโรคของมนุษย์ เช่น กลากเกลื่อน เป็นต้น
- 2) เป็นวัตถุดิบในการผลิตสีธรรมชาติ โดยให้สีเหลือง

2.1.2.5 เมล็ดสนุดำ

- 1) หีบเป็นน้ำมัน มีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิง ใช้ในการหุงต้มหรือทดแทนน้ำมันดีเซล สามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลได้ และไม่พบซิลเฟอไรด์ออกไซด์ในการเผาไหม้
- 2) ทำเป็นน้ำมันหล่อลื่น ทำสบู่ เทียนไขและกลีเซอรีนดิบ
- 3) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้กากที่เหลือจากการหีบน้ำมัน มีสารประกอบไนโตรเจนสูง และธาตุอาหารหลักมากกว่าปุ๋ยหมักและมูลสัตว์หลายชนิด
- 4) นำกากไปผลิตเป็นอาหารสัตว์ หลังจากผ่านกระบวนการกำจัดสารพิษด้วยความร้อนร่วมกับการสกัดด้วยสารเคมี
- 5) กากสนุดำรวมกับเปลือกผลสนุดำ หมักในสภาพไร้ออกซิเจน จะได้ก๊าซมีเทนสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์
- 6) ใช้เป็นสารป้องกันกำจัดหอยที่เป็นพาหะของหนอนพยาธิในตับและกระแสโลหิตของสัตว์และคน
- 7) บางพื้นที่ของประเทศเม็กซิโก นำเมล็ดมาคั่วหรือต้มเพื่อสลายสารพิษสามารถนำไปรับประทานได้

2.1.2.6 น้ำยางของเมล็ดสนุดำ (Latex)

- 1) น้ำยางที่มีความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ และ 50 เปอร์เซ็นต์ สามารถฆ่าไข่ของหนอนพยาธิไส้เดือนและพยาธิปากขอที่อุณหภูมิห้อง
- 2) ยับยั้งการเจริญของลูกน้ำยุง (สถาบันวิจัยพืชไร่, 2544)

2.1.3 แหล่งศัตรูพืชของสนุดำ

เนื่องจากสนุดำเป็นพืชที่มีแหล่งกำเนิดดั้งเดิมในแถบทวีปอเมริกาใต้และถูกนำเข้ามาปลูกในประเทศไทยโดยชาวโปรตุเกสในช่วงปลายสมัยกรุงศรีอยุธยา เพื่อปลูกและนำเอามะลัดบีบน้ำมันมาทำสบู่ในสมัยนั้น และต่อมาได้มีการแพร่กระจายและเพาะปลูกในพื้นที่ทุกภูมิภาคของการผลิต หรือเพาะปลูกเป็นพื้นที่กว้าง เป็นพืชอุตสาหกรรมยังไม่ปรากฏแพร่หลาย นอกจากแปลงปลูกงานวิจัยของหน่วยงานราชการ เช่น หน่วยงานในสังกัดกรมวิชาการเกษตร และกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิต เพื่อใช้เป็นพืชพลังงานทดแทนในอนาคต

อย่างไรก็ตาม ผลงานวิจัยในด้านอนุกรมวิธานของแมลงและสัตว์ในจำพวกแมลงของพืช น้ำมันสนุดำ ยังไม่มีรายงานผลงานวิจัยปรากฏให้เห็นเป็นหลักฐานข้อมูล นอกจากนั้นการศึกษา และวิจัยเกี่ยวกับความเสียหายและผลผลิตสนุดำที่เกิดจากการทำลายของแมลงศัตรูพืชในสภาพ แปลงปลูกยังขาดข้อมูลจากผลงานวิจัยทางกีฏวิทยา สำหรับผลิตพืชสนุดำเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในประเทศ (ชำนาญ วัชรแก้ว, 2548: 82)

2.1.4 ความเป็นพิษ

สนุดำเป็นพืชที่มีพิษทั้งต้น สารเคมีที่พบในต้นสนุดำบริเวณใบและเปลือกต้น คือ สารพวกสเตียรอยด์ ซาโปนิน (Steroidal Saponin) ส่วนเมล็ดและยางมีโปรตีนที่เป็นพิษ ดังนั้น ผลและเมล็ดของสนุดำจึงเป็นส่วนที่มีพิษมากที่สุด รองลงมาคือกิ่งและใบ เมล็ดสนุดำมีสารกลุ่มไฟโรโบลเอสเทอร์ (Phorbol Ester) ซึ่งจะทำให้เม็ดเลือดแดงแตก ท้องเสียอย่างรุนแรง ลำไส้และกระเพาะอาหารอักเสบ เป็นพิษต่อตับและไต ผู้ที่สัมผัสน้ำมันจากเมล็ดบ่อย ๆ จะทำให้เป็นมะเร็งที่ผิวหนัง

เนื่องจากต้นสนุดำเป็นพืชที่มีพิษ หากร่างกายผู้ป่วยอ่อนแอและรับประทานสนุดำไปเป็นจำนวนมาก ผู้ป่วยอาจเสียชีวิตได้ในเวลาอันสั้น จากที่ผ่านมาผู้ป่วยส่วนใหญ่จะเป็นเด็ก รับประทานสนุดำโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์

มีผลทางการศึกษาทางเภสัชวิทยายืนยันว่า สนุดำมีฤทธิ์เป็นยาถ่ายอย่างแรง แต่อ่อนกว่าสลอด เมื่อกระเพาะเปลือกออกแล้วเอาแต่เนื้อในเมล็ดมาบดเป็นผงรับประทานแล้วทำให้อาเจียนและถ่ายท้อง รู้สึกแสบท้อง ทากที่บีบน้ำมันออกมาแล้วเป็นพิษต่อเลือด

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความเป็นพิษของสนุดำในคน พบว่าอาการพิษในเด็กจะเกิดขึ้นเมื่อรับประทานเพียง 1-5 เมล็ดเท่านั้น ส่วนผู้ใหญ่จะแสดงอาการเมื่อรับประทานประมาณ 1-20 เมล็ด อาการพิษอาจเกิดขึ้นอย่างเฉียบพลัน เช่น คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดิน ปวดท้องและศีรษะ อ่อนเพลีย จุกเสียด กระหายน้ำ อาจถ่ายเป็นเลือด ความดันโลหิตต่ำ การเต้นหัวใจผิดปกติ ม่านตาขยาย ผิวน้ำแดง มีอาการเคลิ้มฝันในเด็ก เลือดออกในจอรับภาพของนัยตา อาการดังกล่าวจะเกิดขึ้นภายใน 1 ชั่วโมง ส่วนยางสนุดำทำให้ตาอักเสบ ระคายเคืองต่อผิวหนังและทำให้เกิดอาการแพ้ (ทวีศักดิ์ อุณจิตติกุล, 2548: 56)

2.1.5 การขยายพันธุ์สนุดำ

การเจริญเติบโต ลำต้นจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ ไม่ค่อยแตกกิ่งก้านจึงควรตัดแต่งกิ่งบ่อย ๆ เพื่อให้ต้นแตกกิ่งก้าน ระยะปลูก 2 x 2.5 ตารางเมตร ฤดูปลูกที่เหมาะสมเป็นช่วงเดือนเมษายน-

พฤษภาคม พื้นที่ปลูกควรเลือกพื้นที่ดอนน้ำไม่ท่วมขัง ระบายน้ำได้ดี อยู่กลางแจ้งแสงแดดจัด เช่น คันนา นาดอนจัด หัวไร่ปลายนาริมรั้วบ้าน

2.1.5.1 เพาะเมล็ด เมล็ดสบู่ดำไม่มีระยะพักตัว สามารถเพาะในถุงเพาะหรือกระบะทรายก็ได้ อายุประมาณ 2 เดือน จึงนำไปปลูก สำหรับต้นที่ได้จากการเพาะเมล็ด จะให้ผลผลิตได้ประมาณ 8 – 10 เดือนหลังปลูก

2.1.5.2 การปักชำ ต้องคัดท่อนพันธุ์ที่มีสีเขียวปนน้ำตาลเล็กน้อย หรือกิ่งที่ไม่อ่อนและแก่เกินไป ความยาว 50 เซนติเมตร โดยปักลงในถุงเพาะหรือกระบะทรายก็ได้ ใช้เวลาปักชำประมาณ 2 เดือน จึงนำไปปลูก จะให้ผลผลิตหลังปลูก ประมาณ 6 – 8 เดือน



ภาพที่ 2.4 ลักษณะการปักชำด้วยกิ่งของต้นสบู่ดำ

แหล่งที่มา: กรมวิชาการเกษตร, กองเกษตรเคมี, 2548.

2.1.5.3 การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ปัจจุบันกรมวิชาการเกษตรได้ทำการขยายพันธุ์โดยการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้แล้ว ซึ่งได้ผลเหมือนกับการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชชนิดอื่นทั่วไป (กรมวิชาการเกษตร, กองเกษตรเคมี, 2548)

2.2 วิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทนจากสบู่ดำ จังหวัดระยอง

วิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทน จ.ระยอง จัดซื้อต้นพันธุ์ที่เพาะจากเมล็ดอายุประมาณ 45-60 วัน มาจาก จ. พิษณุโลก โดยเริ่มปลูกสบู่ดำเป็นแปลงสาธิตนำร่องในเดือนกุมภาพันธ์ 2548 ที่เลขที่ 54/9 หมู่ที่ 6 ตำบลทับมา อำเภอเมือง จังหวัดระยอง จำนวนประมาณ 1,000 ต้น ระยะ

ปลูก 2×2 เมตร พื้นที่ปลูกประมาณ 2.5 ไร่ โดยนายสุกิจ (เล็ก) ตั้งไพญลย์วณิช เป็นประธานกลุ่ม และในเดือนพฤษภาคม 2548 ต้นสนุ่ดำเริ่มให้ผลผลิตครั้งแรก และจัดตั้งเป็นกลุ่มผู้ปลูกสนุ่ดำใน จังหวัดระยองเป็นครั้งแรกหลังจากนั้นในเดือนกรกฎาคม 2548 สนุ่ดำให้ผลผลิตอย่างต่อเนื่องและ เก็บเกี่ยวผลผลิตทุกวัน และจากการรวมตัวกันของเกษตรกรจังหวัดระยอง ทำให้มีการขยายพื้นที่ ปลูกอย่างต่อเนื่อง รวมแล้วประมาณ 200 ไร่



ภาพที่ 2.5 ต้นสนุ่ดำที่ปลูกในพื้นที่วิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทนจากสนุ่ดำ จังหวัดระยอง



ภาพที่ 2.6 เครื่องหีบเมล็ดสับดำที่ใช้ในวิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทนจากสับดำ จังหวัดระยอง

2.3 การสกัดน้ำมันสับดำ

2.3.1 เครื่องบีบแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Press)

เครื่องบีบแบบไฮดรอลิกชนิดนี้เป็นเครื่องที่ออกแบบและพัฒนาโดย อาจารย์ระพีพันธ์ ภาสบุตรและอาจารย์สุขสันต์ สุทธิผลไพบุลย์ และนำมาปรับปรุงโดยศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จ.ชัยนาท

ตัวเครื่องประกอบด้วยกระบอกอัดน้ำมันที่เจาะรูขนาดเล็กไว้โดยรอบ เพื่อให้ น้ำมันไหลออก เมล็ดพืชจะถูกอัดด้วยแผ่นอัดน้ำมันที่ยึดติดกับเกลียวบังคับและก้านเกลียวบังคับ กระบอกอัดจะวางอยู่บนแท่นรองอัดน้ำมัน ซึ่งแท่นรองอัดน้ำมันนี้เคลื่อนที่ขึ้นลงได้โดยแรงยกของแม่แรงที่วางอยู่ใต้แท่นรองอัดน้ำมันนี้ แม่แรงที่ใช้มีขนาด 20 ตัน

การสกัดด้วยเครื่องบีบไฮดรอลิก จะได้น้ำมันประมาณ 25-30 เปอร์เซ็นต์ และตกค้างอยู่ในเมล็ดประมาณ 5-10 เปอร์เซ็นต์

เครื่องบีบน้ำมันแบบไฮดรอลิกชนิดนี้สามารถบีบน้ำมันได้ประมาณ 200-250 มิลลิลิตร จากเมล็ดสับดำ 1 กิโลกรัม



ภาพที่ 2.7 เครื่องบีบแบบไฮดรอลิก (Hydraulic Press)

2.3.2 เครื่องบีบแบบสกรูเพรส (Screw Press)

เครื่องบีบน้ำมันแบบสกรูเพรสเป็นเครื่องที่นิยมใช้ในการนำมาสกัดน้ำมันจากพืชน้ำมันรวมทั้งสนูปดำ เนื่องจากประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องไฮดรอลิก ได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันมากกว่า และเหลือน้ำมันตกค้างน้อยกว่า ทำให้คุ้มทุนในระยะยาว สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากเดินเครื่องด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องยนต์ดีเซล แต่เครื่องราคาแพงกว่า ตั้งแต่หมื่นบาทจนถึงหลายแสนบาท

นอกจากนี้ยังต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นค่าไฟฟ้าหรือค่าน้ำมันในการเดินเครื่อง รวมทั้งค่าซ่อมบำรุงจากการสึกหรอของตัวเครื่อง การดูแลทำความสะอาดเครื่องยุ่งยากกว่าเครื่องแบบไฮดรอลิก และมีผลโดยตรงต่อการทำงานของเครื่องหากดูแลรักษาไม่ดีพอ

เครื่องบีบแบบสกรูเพรส ประกอบด้วยส่วนประกอบใหญ่ ๆ 2 ส่วน คือ ส่วนบีบอัดน้ำมัน กับส่วนที่ให้กำลังกับเครื่องบีบ ส่วนบีบอัดน้ำมันประกอบด้วยเกลียวอัดที่มีลักษณะเป็นลูกสกรูสวมอยู่ในเสื้อหรือปลอกอัด ลูกสกรูจะพาวด์ตูดิบบเข้าไปภายในปลอกอัด ซึ่งแกนของสกรูด้านในจะใหญ่กว่าแกนของลูกสกรูด้านนอก เพื่อให้เกิดแรงอัดบีบน้ำมันออกจากเมล็ดพืช ด้านปลายทางเข้าของวต์ตูดิบบจะมีโซ็ค เพื่อปรับแต่งช่องว่างภายในปลอกอัดให้ใหญ่หรือเล็กตามขนาดของพืช ปลายอีกด้านหนึ่ง จะมีช่องให้กากของวต์ตูดิบบหลังจากถูกบีบอัดแล้วให้ไหลออกมา ที่แกนของลูกสกรูจะมีสายพานติดอยู่ เพื่อเอาไว้ต่อพ่วงกับเครื่องส่งกำลัง ซึ่งอาจจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า หรือเครื่องยนต์ดีเซลแล้วแต่การออกแบบและความเหมาะสม



ภาพที่ 2.8 เครื่องบีบแบบสกรูเพรส (Skrew Press)

วิธีการบีบน้ำมัน

1. เมื่อเริ่มเดินเครื่องลูกสกรูจะเริ่มหมุน ใส่เมล็ดสับดูดำที่บดและอบเรียบร้อยแล้ว ลงในช่องใส่เมล็ดของเครื่อง
2. เกสียวของลูกสกรูจะพาเอาเมล็ดเข้าไปข้างในของเครื่อง น้ำมันก็จะเริ่มถูกบีบออกจากเมล็ด และถูกส่งไปด้านในสุดของลูกสกรู
3. ส่วนนี้จะมีช่องว่างแคบที่สุด เพื่อรีดน้ำมันออกมาให้ได้มากที่สุด กากที่ถูกบีบผ่านออกมาทางช่องนี้จะเป็นแผ่นแบนเรียบบาง ๆ และน้ำมันที่ไหลออกมาจะใส เนื่องจากไม่มีกากปน ต่างจากน้ำมันที่ไหลออกมาทางด้านต้น ๆ ของลูกสกรูที่ขุ่นเพราะมีกากปน
4. ขณะบีบน้ำมันให้สังเกตปริมาณน้ำมันและลักษณะของน้ำมัน ถ้าน้ำมันไหลออกไม่ดี หรือมีกากปนออกมา สามารถปรับแต่งโดยการหมุนใช้คจนได้ตำแหน่งที่เหมาะสม

ป้อนเมล็ดสับดูดำลงทางช่องใส่เมล็ดได้เรื่อย ๆ โดยทั่วไปเครื่องบีบแบบสกรูเพรสที่มีประสิทธิภาพสามารถเดินเครื่องไปได้เรื่อย ๆ ตามปริมาณของวัตถุดิบที่ต้องการบีบ (ณัฐภูมิ สุดแก้ว, 2548: 26-28)



ภาพที่ 2.9 น้ำมันสนุดำที่หีบได้จากเมล็ดสนุดำ

2.3.3 การสกัดน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลาย

การสกัดของแข็งด้วยตัวทำละลาย เป็นกระบวนการที่สกัดเอาสารที่อยู่ในของแข็งหรือเมล็ดพืชออกมาโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม โดยตัวทำละลายกับเมล็ดพืชจะสัมผัสกันอย่างใกล้ชิด และตัวทำละลายจะละลายสารที่ต้องการสกัดออกมาจากเมล็ดพืชที่ถูกสกัด

ผลิตภัณฑ์หลายชนิดจะใช้วิธีการสกัดสารออกจากโครงสร้างธรรมชาติของมันเอง โดยกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย เช่น การผลิตน้ำมันพืช ซึ่งจะทำการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์พวก เฮกเซน เอทานอล อะซิโตน และอีเธอร์

กระบวนการสกัดจะประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. การส่งผ่านของตัวทำละลายจากในกลุ่มก้อนของสารละลายเข้าไปยังผิวของวัสดุ
2. การที่ตัวทำละลายแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์
3. ตัวทำละลายจะละลายสารที่ต้องการ
4. การแพร่ผ่านของสารละลายผ่านออกจากผนังเซลล์
5. สารละลายแพร่ออกมารวมกับกลุ่มก้อนของสารละลายส่วนใหญ่ภายนอกเซลล์

โดยปกติแล้วกระบวนการที่เกิดขึ้นข้างต้นจะเกิดได้รวดเร็ว ยกเว้นในขั้นตอนการแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เป็นขั้นตอนที่อัตราการแพร่มักจะเกิดช้าและขึ้นกับกลไกในการแพร่ผ่านโครงสร้างของเมล็ดพืช และความพรุนของเมล็ดพืช เป็นต้น

การเตรียมวัสดุสำหรับกระบวนการสกัด ต้องนำตัวอย่างไปอบแห้งก่อนทำการสกัดหรือนำไปทำการบดให้แตกเพื่อทำลายโครงสร้างผนังเซลล์บางส่วน ตัวทำละลายจึงจะสามารถเข้าไปสัมผัสกับตัวถูกละลายได้โดยตรง

2.3.3.1 ประสิทธิภาพของการสกัดด้วยตัวทำละลาย ขึ้นกับปัจจัยดังนี้

1) ปริมาณของตัวทำละลาย ปริมาณตัวทำละลายมากย่อมสามารถสกัดน้ำมันได้เปอร์เซ็นต์มากและเหลือน้ำมันตกค้างในเมล็ดน้อยกว่าการสกัดโดยใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อย แต่ข้อเสียคือต้องใช้เวลาในการสกัดมากและสิ้นเปลืองตัวทำละลายเนื่องจากต้องระเหยตัวทำละลายทิ้งสูงตามไปด้วย

2) ชนิดของตัวทำละลาย โดยทั่วไปนิยมใช้เฮกซะน (n-hexane) ปีโตรเลียมอีเธอร์ เป็นต้น เพราะมีความเหมาะสมหลายประการ หลักการเลือกตัวทำละลายมีดังนี้

- (1) ละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี
- (2) ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด
- (3) ไม่ละลายสิ่งเจือปนหรือสารที่ไม่ต้องการ
- (4) สามารถแยกออกจากสารตัวอย่างที่ถูกสกัดได้ง่าย
- (5) ไม่เป็นพิษและไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อน
- (6) ราคาถูกและหาได้ง่าย

3) อุณหภูมิในการสกัด จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัดต่อประสิทธิภาพของการสกัดด้วยตัวทำละลายในเมล็ดพืชบางชนิด เช่น เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน และเมล็ดเรพ (Rape Seed) พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของตัวทำละลายแล้วประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันจะดีขึ้น อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันในเมล็ดพืชโดยทั่วไปประมาณ 60 องศาเซลเซียส

4) เวลาที่ใช้ในการสกัด จากการทดลองสกัดเมล็ดพืช เช่น เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดทานตะวัน พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มากที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 30 นาทีแรก ส่วนน้ำมันรำข้าวอยู่ในช่วงเวลา 15-20 นาทีแรก เมื่อเวลาในการสกัดมากขึ้น ปริมาณน้ำมันจะค่อนข้างคงที่ และเมื่อทำการสกัดต่อไปเรื่อย ๆ พบว่า ปริมาณน้ำมันจะเริ่มลดลงจนเหลือปริมาณร้อยละ 1 ของปริมาณน้ำมันเริ่มต้น

5) ขนาดและความหนาของเมล็ดพืช การบดหรือบดเมล็ดพืชให้แตกเป็นชิ้นเล็ก ๆ จะทำให้ตัวทำละลายสามารถแทรกซึมสัมผัสกับเมล็ดพืชอย่างทั่วถึง ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันให้ดีขึ้น

6) ความชื้นของเมล็ดพืชและตัวทำละลาย โดยปกติความชื้นในเมล็ดพืชไม่ควรเกินร้อยละ 10 และตัวทำละลายต้องไม่มีน้ำผสมอยู่

2.3.3.2 ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชน้ำมัน

1) ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon Solvents)

ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่ใช้ เฮกเซน มี 2 ชนิด คือ นอร์มอลเฮกเซน (n- Hexane) และเฮกเซนเกรดการค้า (Commercial Hexane) เฮกเซนเกรดที่ใช้สกัดไม่ใช่เฮกเซนเกรดบริสุทธิ์ แต่จะมีปริมาณนอร์มอลเฮกเซนผสมอยู่ร้อยละ 48-49 เนื่องจากมีการผสมด้วยไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด ดังนั้นเฮกเซนเกรดการค้าต่าง ๆ จึงมีช่วงของอุณหภูมิการกลั่นตั้งแต่ 1 ถึง 5 องศาเซลเซียส (2 ถึง 9 องศาฟาเรนไฮต์) ซึ่งเกรดที่มีช่วงแคบกว่าจะใช้ได้ดีกว่า

โดยทั่วไปในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดพืชจะใช้แฟร็กชันนัลเฮกเซน ซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวาง แต่เฮปเทน (Heptane) และเพนเทน (Pentane) ก็สามารถใช้ได้ เฮปเทนเกรดการค้ามีจุดเดือดที่ 88 ถึง 99 องศาเซลเซียส (190 ถึง 210 องศาฟาเรนไฮต์) แสดงว่าต้องใช้เครื่องระเหยและเครื่องแยกตัวทำละลายที่อุณหภูมิสูงและใช้พลังงานมาก

แต่ตัวทำละลายชนิดนี้มีข้อเสีย คือ สามารถติดไฟได้ จึงมีข้อควรระวังในการใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดไฟลุกหรือระเบิดในโรงงาน

2) การใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย (Water as a Solvent) การที่น้ำไม่สามารถติดไฟได้และไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับน้ำมันพืช จึงมีการวิจัยการใช้น้ำในการสกัดน้ำมันเมล็ดฝ้าย ถั่วลิสง ดอกทานตะวัน และมะพร้าว การสกัดโดยน้ำมีขั้นตอนดังนี้ การบด การสกัดด้วยสารละลายของน้ำ การแยกส่วน การอบแห้ง น้ำที่ใช้ต้องปรับค่า pH หรืออาจเติมสารเคมีบางอย่างขึ้นกับผลผลิตที่ต้องการ ถึงแม้ว่าสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการสกัดน้ำมันปาล์ม และมะพร้าว แต่กระบวนการนี้ก็ไม่เป็นที่ยอมรับในเชิงพาณิชย์ในการสกัดถั่วเหลือง หรือเมล็ดฝ้าย เพราะยังมีน้ำเหลือในกากประมาณร้อยละ 10 และใช้พลังงานมากในการแยกน้ำมันและการอบแห้ง

3) เอนไซม์ช่วยในการสกัด (Enzyme-Assisted Aqueous Extraction)

เอนไซม์เป็นตัวเสริมสำคัญในการสกัดด้วยน้ำ เอนไซม์ในระบบที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบ สามารถเพิ่มความสามารถในการสกัดน้ำมันพืช และในอุตสาหกรรมที่ดำเนินการสกัดน้ำมันมะกอกและน้ำมันมะพร้าว ประสิทธิภาพในการสกัดขึ้นกับการทำลายผนังเซลล์ ซึ่งอาจใช้วิธีการบดเป็นเกล็ดหรือบีบอัด (Flaking or Extrusion) เนื่องจากเอนไซม์สามารถย่อยโครงสร้างที่ซับซ้อนของผนังเซลล์ ดังนั้น จึงช่วยปรับปรุงการสกัดน้ำมันได้ (สมบัติ ชิตะวงค์, 2548: 36-40)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้ในการสกัด

ตัวทำละลาย	จุดเดือด (°C)	ความหนาแน่นที่ 20 °C (g/cm ³)
ปิโตรเลียมอีเทอร์	75	0.660
คลอโรฟอร์ม	61	1.492
นอร์มัลเฮกเซน	68	0.659

แหล่งที่มา: คณิตา ดังคนานุรักษ์, 2543: 40.

2.3.3.3 การสกัดไขมันโดยใช้ซอกซ์เลต (Soxhlet)

ระบบซอกซ์เลตเป็นระบบที่ใช้ในการสกัดสารพวกไขมันออกจากของผสมหรืออาหารอย่างต่อเนื่องด้วยตัวทำละลายที่ระเหยง่าย เช่น เฮกเซน หรือปิโตรเลียมอีเทอร์ ถือเป็นระบบพื้นฐานที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการสกัดสารพวกไขมัน เนื่องจากสะดวก ประหยัดตัวทำละลายและมีประสิทธิภาพ ซึ่งสารสกัดที่ได้นี้เรียกว่า ไขมันหยาบ (Crude Fat)

หลักการคือ ให้ความร้อนแก่ตัวทำละลาย เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยขึ้นไปและควบแน่นตกลงมาบนซอกซ์เลต ที่มีสารตัวอย่างที่ต้องการสกัดบรรจุอยู่ในหลอดพุน (Thimble) วางอยู่ ตัวทำละลายก็จะละลายสารที่ต้องการออกมาจากของผสม เมื่อตัวทำละลายมีปริมาณมากจนถึงระดับหนึ่ง ทั้งตัวทำละลายและสารที่ถูกสกัดออกมา (ละลายอยู่ในตัวทำละลาย) ก็จะถูกไซฟอน (Syphon) ลงมาสู่ขวดด้านล่าง ซึ่งเมื่อได้รับความร้อนอีก ตัวทำละลายก็จะระเหยขึ้นไปและควบแน่นกลับลงมาเป็นตัวทำละลายบริสุทธิ์ มีความสามารถในการสกัดเหมือนตัวทำละลายใหม่ทุกประการ การสกัดจะวนเวียนอยู่อย่างนี้เรื่อยไปจนกว่าการสกัดจะสมบูรณ์ (ไขมันถูกสกัดออกจากเมล็ดพืชหมด) เมื่อนำขวดไประเหยตัวทำละลายออกก็จะได้ไขมันและหาน้ำหนักได้โดยการชั่ง

2.3.4 การวิเคราะห์ทางด้านเคมีของน้ำมันสบู่ดำ

ค่าซีเทน (Cetane Number) หมายถึง ตัวเลขที่แสดงถึงเวลาหน่วงการจุดระเบิด ถ้าค่าซีเทนสูง แสดงว่าเวลาหน่วงการจุดระเบิดในห้องเผาไหม้จะสั้น จุดระเบิดได้ง่าย และแม่นยำ ไม่เกิดการสะสมของเขม่าเขม่า และเขม่าในห้องเผาไหม้

กฎหมายของกระทรวง กำหนดให้น้ำมันดีเซลต้องมีค่าซีเทนที่ระดับ 44 ขึ้นไป แต่น้ำมันดีเซลหมุนเร็วทั่วไป มีค่าซีเทนในระดับ 52 ค่าซีเทนนี้ไม่มีตัวเลขเป็นค่าที่จำกัดและตัวเลขจะสูงขึ้นไปได้เรื่อยๆ ตามพัฒนาการคุณภาพน้ำมัน (ห้างหุ้นส่วนจำกัดสาธิต ออโต้ ซีท จำกัด, 2547)

จุดวาบไฟ (Flash Point) หมายถึง จุดที่อุณหภูมิต่ำที่สุด (Lowest Temperature) ของของเหลวที่เป็นสารจุดไฟติด (Flammable Liquid) นั้น ผสมรวมเข้ากับอากาศแล้ว สามารถจุดติดจนลุกเป็นไฟขึ้นมา ที่อุณหภูมินี้เองที่ไอระเหยของของเหลวแต่ละชนิดจะสามารถลุกติดไฟต่อไปได้ แม้จะมีการนำสารต้นกำเนิดไฟออกไปแล้วก็ตาม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นต่อไปอีกก็จะเกิดเป็นจุดที่เกิดการติดไฟ (Fire Point) ต่อไป หมายความว่า ไอระเหยของสารดังกล่าวได้มีการเผาไหม้ต่อไปอย่างต่อเนื่องหลังจากเกิดการจุดไฟติดแล้ว (วลัย ตะเวทิพงศ์, 2549)

การวัดค่าจุดวาบไฟใช้เครื่องมือชื่อว่า Pensky-Martens Closed Cup ซึ่งเป็นถ้วยขนาดเล็กที่บรรจุของเหลวที่ต้องการวัดค่า เมื่อให้ความร้อนเพื่อหาค่าจุดวาบไฟนั้น ของเหลวก็จะถูกวนตลอดเวลา เพื่อให้ความร้อนกระจายไปอย่างทั่วถึงตลอดภาชนะ เมื่อถึงระดับต่างๆ ที่กำหนดไว้ จึงมีการจุดไฟเข้าไปในถ้วยดังกล่าวโดยตรง เมื่อถึงจุดวาบไฟของสารในถ้วยก็จะเกิดการติดไฟขึ้นมา

เครื่องยนต์ดีเซลได้รับการออกแบบมาสำหรับใช้ในเครื่องยนต์ที่ใช้แรงดันสูง (High-Compression Engine) อากาศจะถูกอัดจนกระทั่งมีความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิที่เกิดการจุดไฟติดด้วยตัวเองของน้ำมันดีเซล จากนั้นน้ำมันดีเซลจะถูกฉีดเข้าไปในห้องเครื่องในลักษณะเป็นฝอยกระจายที่มีความดันสูง แล้วควบคุมให้น้ำมันและอากาศอยู่ภายใต้การจุดไฟติด แต่ไม่มีต้นกำเนิดของการจุดไฟติด ดังนั้น น้ำมันดีเซลจึงต้องมีจุดวาบไฟสูง แต่มีอุณหภูมิในการติดไฟด้วยตนเองต่ำ

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างจุดวาบไฟของเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ

ชนิดน้ำมัน	Flash Point (°C)	Autoignition Temperature (°C)
น้ำมันเบนซิน (Petrol)	มากกว่า - 45	246
น้ำมันดีเซล (Diesel)	62	210
น้ำมันเครื่องบินไอพ่น (Jet Fuel)	50	210

แหล่งที่มา: วลัย ตะเวทิพงศ์, 2549.

จุดไหลเท (Pour Point) หมายถึง อุณหภูมิของน้ำมันที่วัดได้เมื่อน้ำมันไม่เกิดการไหลเท โดยมาตรฐานค่าจุดไหลเทของประเทศไทย ที่กำหนดโดยกระทรวงพาณิชย์กำหนดไว้ว่า จุดที่น้ำมันดีเซลต้องไหลได้ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสเป็นอย่างต่ำ

การจุดไหลเทใช้วิธีของ ASTM D 97 คือ นำน้ำมันดีเซลที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดไหลเทที่คาดไว้มาใส่ในภาชนะลักษณะเป็นรูปถ้วยตวงมาตรฐาน ซึ่งมีเทอร์โมมิเตอร์ติดอยู่ข้างๆ จากนั้นนำ

ภาชนะที่ถูกทำให้ร้อนแล้วไปใส่ในอ่างที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ปลอยให้ภาชนะเย็นลงเรื่อยๆ ขณะเดียวกันก็ทำการบันทึกอุณหภูมิไว้ ขณะที่เอียงภาชนะใส่ตัวอย่างน้ำมันเป็นมุม จนกระทั่งน้ำมันที่นำมาทดลองไม่เกิดการไหลเท ขณะที่ภาชนะตัวอย่างเอียงอยู่ในแนวนอนเป็นเวลา 5 วินาที อุณหภูมิที่วัดได้ที่จุดนี้คือ ค่าจุดไหลเทของน้ำมัน ส่วนใหญ่แล้วคุณสมบัติการไหลเทของน้ำมันดีเซล อาจมีปัญหาบ้างเวลาที่อากาศเย็นหรืออุณหภูมิประมาณ 1-5 องศาเซลเซียส

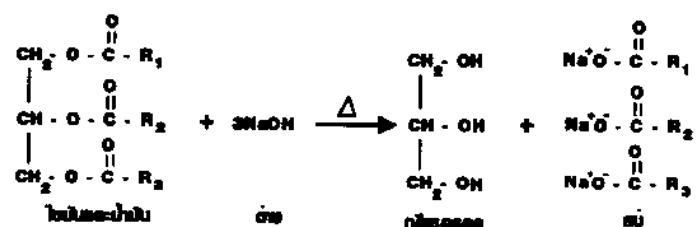
ส่วนการแก้ไขกรณีที่มีการไหลเทของน้ำมันมีปัญหา คือ การเติมสารช่วยการไหล (Flow Improver) ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการผลิตน้ำมัน หรือการใช้เทคโนโลยี Catalytic Dewaxing เพื่อขจัดส่วนเกินที่จะทำให้ น้ำมันดีเซลเป็นไข

จุดขุ่นตัว (Cloud Point) คือ อุณหภูมิที่เชื้อเพลิงเริ่มเกิดการขุ่น เมื่อเชื้อเพลิงที่เป็นไขหรือสารที่เป็นของแข็งจะเริ่มตกผลึกและแยกตัวออกจากเชื้อเพลิง จุดขุ่นตัวจะบอกให้ทราบถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่จะนำเชื้อเพลิงนั้นไปใช้โดยไม่เกิดการอุดตันตามส่วนที่มีหน้าที่กรองทางเดินน้ำมัน โดยจุดขุ่นตัวของน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลมาตรฐาน คือ -15 องศาเซลเซียส (เรื่องศักดิ์ รัฐิรัตนสกุล, 2546)

ค่าความหนืด (Viscosity Kinematic @ 40°C, cSt.) หมายถึง ความข้นหรือความใสของน้ำมัน เป็นคุณสมบัติของของไหลซึ่งวัดในรูปของความต้านทานในการไหล

ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity @ 30°C) หมายถึง ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันหล่อลื่น ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ค่านี้วัดเพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบกับน้ำมันใหม่ หากค่าที่วัดได้แตกต่างจากน้ำมันใหม่มาก ห้องปฏิบัติการจะนำค่านี้ไปประกอบการประเมินผลการวิเคราะห์ร่วมกับค่าอื่นๆ ต่อไป (กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ. กองวิเคราะห์และทดสอบ, 2547)

ค่าสaponification (Saponification Value) หมายถึง ปฏิกริยาไฮโดรลิซิสไขมันและน้ำมันด้วยเบสทำให้เกิดสบู่ เป็นปฏิกิริยาข้างเคียงที่เกิดจากไขมันและน้ำมันกับด่าง เกิดเกลือของกรดไขมัน (สบู่) กับกลีเซอรอล โดยตัวแปรต่างๆ ในการทำปฏิกิริยา จะมีผลต่อคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ (อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย, 2543)



ภาพที่ 2.10 แสดงปฏิกิริยาการเกิดสบู่ (Saponification)

แหล่งที่มา: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันเมล็ดสนุดำ

ชนิดกรดไขมัน	ค่าที่ได้ (%)
กรดปาล์มมิก (Palmitic Acid)	19.5 ± 0.8
กรดสเตียริก (Stearic Acid)	6.8 ± 0.6
กรดโอเลอิก (Oleic Acid)	41.3 ± 1.5
กรดไลโนเลอิก (Linoleic Acid)	31.4 ± 1.2
กรดไขมันอิ่มตัว (Total Saturated Fatty Acid)	26.3
กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Total Unsaturated Fatty Acid)	72.2

แหล่งที่มา: Akintayo, 2004: 309.

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของน้ำมันเมล็ดสนุดำ

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่ได้
สี (colour)		เหลืองอ่อน
กรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid)	mg/g	1.76 ± 0.10
ค่ากรด (Acid Value)	mg KOH/g	3.5 ± 0.1
ค่าสaponification (Saponification Value)	mg KOH/g	198.85 ± 1.40
ค่าไอโอดีน (Iodine Value, Wijs)	mg iodine/g	105.2 ± 0.7
Mean molecular Mass		281.62
Unsaponifiable Matter	%	0.8 ± 0.1
ดัชนีหักเห (Refractive Index) ที่ 25°C		1.468
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ที่ 25°C		0.919
ค่าไฮดรอกซิล (Hydroxyl Value)		2.15 ± 0.10
ค่าอะซิติก (Acetyl Value)		2.16 ± 0.10
ค่าความหนืด (Viscosity) ที่ 30 °C	cSt	17.1

แหล่งที่มา: Akintayo, 2004: 308.

ตารางที่ 2.5 ลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2548

ข้อกำหนด	หน่วย	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
เมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่ต่ำกว่า 96.5		EN 14103
ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °C	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	ไม่ต่ำกว่า 860	ไม่สูงกว่า 900	ASTM D1298
ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °C	เซนติสโตก	ไม่ต่ำกว่า 3.5	ไม่สูงกว่า 5.0	ASTM D 445
จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า 120		ASTM D 93
กำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก		ไม่สูงกว่า 0.0010	ASTM D 2622
ค่าซีเทน		ไม่ต่ำกว่า 51		ASTM D 613
น้ำ	ร้อยละโดยปริมาตร		ไม่สูงกว่า 0.050	ASTM D 2709
การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	-		ไม่สูงกว่า หมายเลข 3	ASTM D 130
ค่าความเป็นกรด	มก. KOH/กรัม		ไม่สูงกว่า 0.50	ASTM D 664
กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก		ไม่สูงกว่า 12.0	EN 14103
เมทานอล	ร้อยละโดยน้ำหนัก		ไม่สูงกว่า 0.20	EN 14110
กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก		ไม่สูงกว่า 0.02	ASTM D 6584
กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก		ไม่สูงกว่า 1.5	ASTM D 6584
สารเติมแต่ง (ถ้ามี)		ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

แหล่งที่มา: กรมธุรกิจพลังงาน, 2548: 12.

2.3.5 ข้อได้เปรียบของสบู่ดำเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานชีวภาพอื่นๆ

1. เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ขยายพันธุ์ง่ายและสามารถหาได้ในชนบท
2. วิธีการสกัดน้ำมันทำได้ง่าย โดยใช้เครื่องบีบแบบไฮโดรลิกหรือแบบสกรูเพรส ซึ่งสามารถสร้างขึ้นเอง
3. น้ำมันสบู่ดำมีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูง เหมาะสำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ต้องใช้ความเร็วรอบสูง เช่น ใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นในรถแข่ง หรือเครื่องจักรขนาดใหญ่ที่ใช้ในโรงพิมพ์
4. ประสิทธิภาพของพลังงานเป็นที่น่าสนใจ แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าความร้อนของน้ำมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดน้ำมัน	ความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)
น้ำมันสุญ์ดำ	9,470
น้ำมันดีเซล	10,170
น้ำมันเบนซิน	10,600
เอธานอล	6,400

แหล่งที่มา: จรุง ค้อมคำพันธุ์ และทาเคดะ, โยชิซุมิ, 2525.

5. ราคาสุญ์ดำไม่ผันผวนมากนัก เพราะไม่ได้ขึ้นอยู่กับตลาดโลกเหมือนปาล์มน้ำมัน และให้ผลผลิตเร็ว เพียงแค่ 8 เดือน

6. ลงทุนเพียงครั้งเดียวแต่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานกว่า 30 ปี

7. สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับเครื่องยนต์ ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเครื่องยนต์ (จรุง ค้อมคำพันธุ์ และทาเคดะ, โยชิซุมิ, 2525)

2.4 โครมาโทกราฟี (Chromatography)

เป็นเทคนิคที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการแยกสาร และวิเคราะห์ชนิดของสาร นิยมนำมาใช้แยกสารที่มีสีออกจากกัน โดยการตรวจสอบจากสีของสารที่นำมาแยกเมื่อเทียบกับระยะทางการเคลื่อนของสารนั้น

2.4.1 หลักการของโครมาโทกราฟี

โครมาโทกราฟีอาศัยหลักการละลายของสารในตัวทำละลาย และการถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ สารที่ต้องการนำมาแยกโดยวิธีนี้จะมีสมบัติการละลายในตัวทำละลายและตัวถูกดูดซับโดยตัวดูดซับที่แตกต่างกัน ทำให้สารเคลื่อนที่ผ่านตัวทำละลายและตัวดูดซับได้แตกต่างกัน จึงสามารถแยกสารต่าง ๆ ออกจากกันได้

วิธีการทำโครมาโทกราฟี

นำสารที่ต้องการแยกมาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมแล้วให้เคลื่อนที่ไปบนตัวดูดซับ การเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของสารแต่ละ

ตารางที่ 2.6 ค่าความร้อนของน้ำมันชนิดต่าง ๆ

ชนิดน้ำมัน	ความร้อน (กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม)
น้ำมันสุญ์ดำ	9,470
น้ำมันดีเซล	10,170
น้ำมันเบนซิน	10,600
เอธานอล	6,400

แหล่งที่มา: จรุง ค้อมคำพันธุ์ และทาเคตะ, โยชิซุมิ, 2525.

5. ราคาสุญ์ดำไม่ผันผวนมากนัก เพราะไม่ได้ขึ้นอยู่กับตลาดโลกเหมือนปาล์มน้ำมัน และให้ผลผลิตเร็ว เพียงแค่ 8 เดือน

6. ลงทุนเพียงครั้งเดียวแต่สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานกว่า 30 ปี

7. สามารถนำมาใช้ได้โดยตรงกับเครื่องยนต์ ไม่จำเป็นต้องปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเครื่องยนต์ (จรุง ค้อมคำพันธุ์ และทาเคตะ, โยชิซุมิ, 2525)

2.4 โครมาโทกราฟี (Chromatography)

เป็นเทคนิคที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการแยกสาร และวิเคราะห์ชนิดของสาร นิยมนำมาใช้แยกสารที่มีสีออกจากกัน โดยการตรวจสอบจากสีของสารที่นำมาแยกเมื่อเทียบกับระยะทางการเคลื่อนของสารนั้น

2.4.1 หลักการของโครมาโทกราฟี

โครมาโทกราฟีอาศัยหลักการละลายของสารในตัวทำละลาย และการถูกดูดซับโดยตัวดูดซับ สารที่ต้องการนำมาแยกโดยวิธีนี้จะมีสมบัติการละลายในตัวทำละลายและตัวถูกดูดซับโดยตัวดูดซับที่แตกต่างกัน ทำให้สารเคลื่อนที่ผ่านตัวทำละลายและตัวดูดซับได้แตกต่างกัน จึงสามารถแยกสารต่าง ๆ ออกจากกันได้

วิธีการทำโครมาโทกราฟี

นำสารที่ต้องการแยกมาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมแล้วให้เคลื่อนที่ไปบนตัวดูดซับ การเคลื่อนที่ของสารบนตัวดูดซับขึ้นอยู่กับความสามารถในการละลายของสารแต่ละ

ชนิดในตัวทำละลาย และความสามารถในการดูดซับที่มีต่อสารนั้น กล่าวคือ สารที่ละลายในตัวทำละลายได้ดี และถูกดูดซับน้อยจะถูกเคลื่อนที่ออกมาก่อน ส่วนสารที่ละลายได้น้อยและถูกดูดซับได้ดี จะเคลื่อนที่ออกมาทีหลัง ถ้าใช้ตัวดูดซับมากๆ จะสามารถแยกสารออกจากกันได้ดี

การเลือกตัวทำละลายและตัวดูดซับ

1. ตัวทำละลายและสารที่ต้องการแยกจะต้องมีการละลายไม่เท่ากัน
2. ควรเลือกตัวดูดซับที่มีการดูดซับสารได้ไม่เท่ากัน
3. ถ้าต้องการแยกสารที่ผสมกันหลายชนิด อาจต้องใช้ตัวทำละลายหลายชนิด

หรือใช้ตัวทำละลายผสม

4. ตัวทำละลายที่นิยมใช้ ได้แก่ เฮกเซน ไชโคลเฮกเซน เบนซีน อะซีโตน คลอโรฟอร์ม เอทานอล

5. ตัวดูดซับที่นิยมใช้ ได้แก่ อะลูมินาเจล (Al_2O_3) ซิลิกาเจล (SiO_2)

โครมาโทกราฟีที่สำคัญ

1. โครมาโทกราฟีแบบกระดาษ (Paper Chromatography) เป็นวิธีที่ใช้กระดาษโครมาโทกราฟี หรือกระดาษกรองเป็นตัวดูดซับ

2. โครมาโทกราฟีแบบคอลัมน์ (Column Chromatography) เป็นวิธีที่ใช้ตัวดูดซับบรรจุในคอลัมน์แก้ว โดยนิยมใช้อะลูมินา (Al_2O_3) หรือซิลิกาเจล (SiO_2) เป็นตัวดูดซับ

3. โครมาโทกราฟีแบบธินเลเยอร์ (Thin – Layer Chromatography) เป็นวิธีที่ใช้กระจก ซึ่งฉาบไว้ด้วยอะลูมินา (Al_2O_3) หรือซิลิกาเจล (SiO_2) แทนให้เรียบบางเหมือนกระดาษโครมาโทกราฟีเป็นตัวดูดซับ

4. โครมาโทกราฟีแบบก๊าซเหลว (Liquid Gas Chromatography)

2.4.2 ค่า Retention time (R_f)

Retention Time หมายถึง เวลาที่สารแต่ละชนิดใช้ผ่านคอลัมน์จากจุดเริ่มต้นถึงจุดสูงสุดของ Peak โดย Retention Time เป็นคุณสมบัติเฉพาะของสาร และขนาดของ peak อาจเป็นพื้นที่หรือความสูงของ Peak สามารถนำไปใช้คำนวณหาปริมาณของสารได้

โครมาโทกราฟีแบบกระดาษสามารถนำมาคำนวณหาค่า R_f ได้ ค่า R_f (Rate of Flow) เป็นค่าเฉพาะตัวของสาร ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวทำละลายและตัวดูดซับ ดังนั้นการบอกค่า R_f ของสารแต่ละชนิดจึงต้องบอกชนิดของตัวทำละลาย และตัวดูดซับเสมอ ค่า R_f สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$R_f = \frac{\text{ระยะทางที่สารเคมีเคลื่อนที่ (cm)}}{\text{ระยะทางที่ตัวทำละลายเคลื่อนที่ (cm)}}$$

สารต่างชนิดกันจะมีค่า R_f แตกต่างกันไปเพราะฉะนั้นเราจึงสามารถใช้ค่า R_f มาใช้ในการวิเคราะห์ชนิดของสารได้ กล่าวคือ ถ้าสารใดมีความสามารถในการละลายสูงจะมีค่า R_f มาก เนื่องจากตัวทำละลายจะเคลื่อนที่เร็วกว่าสารที่จะแยก ค่า $R_f < 1$ เสมอ

ถ้าใช้ตัวทำละลายและตัวดูดซับชนิดเดียวกันปรากฏว่ามีค่า R_f เท่ากัน อาจสันนิษฐานได้ว่า สารดังกล่าวเป็นสารชนิดเดียวกัน หรือนำสารตัวอย่างมาทำโครมาโทกราฟีคู่กับสารจริงก็ได้

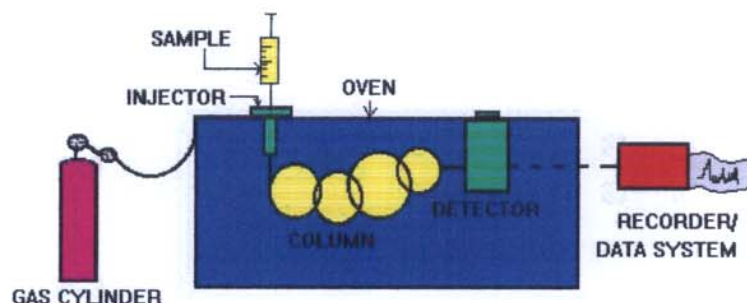
ข้อดีของโครมาโทกราฟี

1. สามารถแยกสารผสมออกจากกันได้ และสามารถแยกสารที่มีปริมาณน้อยได้
2. สามารถแยกได้ทั้งสารที่มีสี และไม่มีสี
3. สามารถใช้ได้ทั้งปริมาณวิเคราะห์ และคุณภาพวิเคราะห์
4. สามารถแยกสารออกจากกระดาศกรองหรือตัวดูดซับโดยสกัดด้วยตัวทำ

ละลาย

2.4.3 ประเภทของโครมาโทกราฟี

2.4.3.1 แก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography)



ภาพที่ 2.11 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

แหล่งที่มา: ทศพล จิตบันเทิง, 2547.

แก๊สโครมาโทกราฟีเป็นเทคนิคการแยกสารพวกที่มีขั้วต่ำ ซึ่งอยู่ในสถานะที่เป็นแก๊สหรือไอ โดยใช้แก๊สดำพา (Carrier Gas) เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) และสารที่ไม่สามารถระเหยได้ (Non-volatile Liquid) หรือใช้ของแข็งเป็นเฟสอยู่กับที่ (Stationary Phase) เทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีใช้หลัก Partition และ Adsorption ในการแยกสารออกจากกัน มีความไว (Sensitivity) สูง และให้ผลในการแยกสารที่ดี

1) Gas Solid Chromatography ใช้หลักการดูดซับ (Adsorption) โดยเฟสอยู่กับที่เป็นของแข็ง ที่สามารถดูดซับสารที่เป็นแก๊สหรือไอที่ต้องการแยกได้ ใช้แยกสารที่มีโมเลกุลเล็กๆ ที่สามารถเปลี่ยนเป็นแก๊สหรือไอ โดยมี Active Solids (Adsorptive Particles) ที่บรรจุอยู่ในคอลัมน์เป็น Molecular Sieves หรือ Porous Polymers, Silica Gel และ Activated Carbon

2) Gas Liquid Chromatography ใช้หลักการ Partition สารผสมที่ต้องการแยกอยู่ในสภาพที่เป็นแก๊ส หรือไอ เมื่อผ่านเข้าสู่คอลัมน์จะแยกออกจากกันโดยความแตกต่างในการกระจายตัวอยู่ในเฟสเคลื่อนที่และเฟสอยู่กับที่ ที่เป็นของเหลวที่เคลือบอยู่บนผิวของ Inert Solid Support

คุณสมบัติของแก๊สดำพา

- 1) มีความเฉื่อยและไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการแยกหรือเฟสอยู่กับที่
- 2) มีการแพร่กระจายและมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
- 3) หาง่าย ราคาถูก และมีความบริสุทธิ์สูง

ตัวทำละลายที่ใช้ละลายสารตัวอย่าง ได้แก่ อีเธอร์ (Ether), เฮปเทน (Heptane) หรือ เมทานอล (Methanol) นอกจากนี้ อุณหภูมิของ Injection Port ต้องสูงพอที่จะทำให้สารตัวอย่างเกิดการกลายเป็นไอได้อย่างรวดเร็ว แต่ต้องไม่ทำให้สารตัวอย่างสลายตัวและสูงกว่าอุณหภูมิของคอลัมน์

หน้าที่ของแก๊ส

1) พา Volatile Component ในคอลัมน์ มีคุณสมบัติเฉื่อย ไม่ทำปฏิกิริยากับสารตัวอย่าง หรือเฟสเคลื่อนที่

2) พา Separated Component ไปยังตัวชี้วัด (Detector)

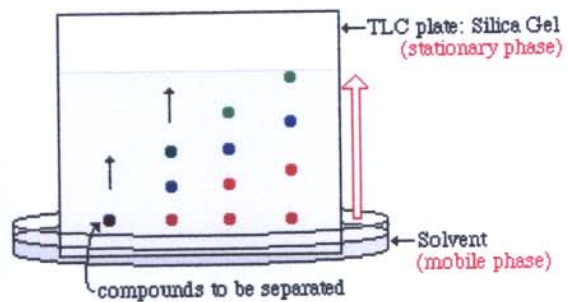
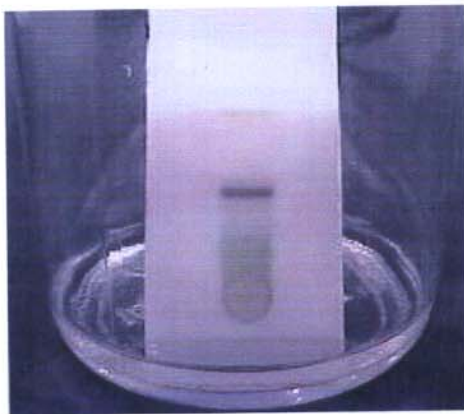
การวิเคราะห์สารด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี เพื่อวิเคราะห์ว่ามีสารกี่ชนิดอยู่ในสารตัวอย่าง มักใช้การเปรียบเทียบค่า Retention time ของสารตัวอย่างกับสารมาตรฐาน

2.4.3.2 Thin Layer Chromatography (TLC)

Thin Layer Chromatography เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแยกสาร เช่น Lipid ตัวค้ำจุน (Supporting Medium) เป็นแผ่นกระจกที่ถูกเคลือบด้วยตัวดูดซับ เช่น Silica Gel หรือ Alumina สารแต่ละชนิดจะถูกดูดซับ ด้วยตัวดูดซับที่ไม่เท่ากัน จึงทำให้เคลื่อนที่ไปบนตัวค้ำจุนด้วยอัตราเร็วที่ไม่เท่ากัน

หลักในการแยกก็เหมือนกับ Paper Chromatography คือ สารที่ละลายกับเฟสเคลื่อนที่ได้ดี แต่ถูกดูดซับด้วยเฟสอยู่กับที่ได้น้อย ก็เคลื่อนที่ได้มากกว่า ในขณะที่สารที่ถูกดูดซับด้วยเฟสอยู่กับที่ได้มากกว่า ก็เคลื่อนที่ได้น้อย ดังนั้น TLC จึงมีประโยชน์ในการแยกสารหรือดูความบริสุทธิ์ของสาร แต่ถ้าเปรียบเทียบการแยกสารด้วย TLC กับ GC หรือ HPLC นั้น TLC จะดีกว่า เนื่องจากสามารถวิเคราะห์สารได้เพียงเบื้องต้นเท่านั้น

ตัวอย่างเช่น ในการวิเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลในพารามิเตอร์ของ % Methyl Ester นั้น TLC จะแยกเมทิลเอสเทอร์เป็นกลุ่มออกมาจากสารประกอบอื่นๆ ในตัวอย่าง แต่ไม่แยกสารประกอบที่เป็นเมทิลเอสเทอร์เหมือนกัน ในขณะที่ ถ้าเป็น GC หรือ HPLC จะแยก C-14, C-16, C-18 และ C-20 และสารอื่นๆ ออกจากกันได้ในการวิเคราะห์



ภาพที่ 2.12 แสดงการเคลื่อนที่ของสารที่ละลายอยู่ในเฟสเคลื่อนที่

แหล่งที่มา: Ginder, 2002.

การทำ Thin Layer Chromatography (TLC)

เมื่อหยดสารตัวอย่างที่ต้องการแยกลงบนแผ่น TLC ซึ่งถูกเคลือบด้วยซิลิกาเจล เรียบร้อย นำมาวางในถังแก้วที่มีตัวทำละลายผสม ตัวทำละลายผสมจะชะสารจากข้างล่างขึ้นข้างบน ในขณะที่ทำการทดลองต้องปิดฝาดังแก้วเพื่อให้บรรยากาศภายในถังแก้วอิ่มตัวด้วยตัวทำละลายผสม

คุณสมบัติของ Liquid ที่เคลือบบางๆ บนผิวของ Solid Support

- 1) เป็นตัวทำละลาย (Solvent) ที่ดี เมื่อสารตัวอย่างสามารถละลายได้ดี จึงถูกชะออกจากคอลัมน์ได้ช้า ผลการแยกสารจะดี

- 2) ละลายสารต่างๆได้ไม่เท่ากัน
- 3) ไม่มีขั้ว (Non-Volatile) มีจุดเดือดสูง หรือมีความเสถียรในช่วงของอุณหภูมิที่ใช้งาน
- 4) ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการแยก หรือเฟสเคลื่อนที่
- 5) มีขั้วใกล้เคียงกับสารที่ต้องการแยก เช่น Polyethylene Glycol, Methyl Phenyl และ Methyl Vinyl Silicon Gums, Esters ของ Adipic, Succinic และ Phthalic Acid และ Polyesters (คณิตา ดังคณานุรักษ์, 2543: 5 -20)

2.5 ไบโอดีเซล (Biodiesel Fuel)

ไบโอดีเซล คือ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตมาจากน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ หรือแม้แต่ไขมันที่ใช้แล้ว เช่น น้ำมันทอดไก่ หรือทอดปลาทอดไก่มาให้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล

2.5.1 ประเภทของไบโอดีเซล แบ่งตามการนำไปใช้

2.5.1.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ คือ น้ำมันพืชแท้ ๆ เช่น น้ำมันเมล็ดทานตะวัน, น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันมะพร้าว, น้ำมันปาล์ม, น้ำมันถั่วลิสง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู ซึ่งสามารถเอามาใช้ได้เลยกับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสม หรือเติมสารเคมีอื่นใด หรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันอีก

2.5.1.2 ไบโอดีเซลแบบลูกผสม เป็นลูกผสมระหว่างน้ำมันพืช (หรือสัตว์) กับน้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล หรืออะไรก็ได้เพื่อให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด เช่น โคโคดีเซล (Coco-Diesel) ที่ อ.ทับสะแก จ.ประจวบคีรีขันธ์ ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซล (Palm-Diesel) เป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล

2.5.1.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ เป็นความหมายของไบโอดีเซลที่แท้จริง ที่ต่างประเทศใช้กันทั่วไป เช่น เยอรมัน สหรัฐอเมริกา หรือแม้แต่มาเลเซีย ดังนั้น คำว่า “ไบโอดีเซล” ในความหมายสากลจะหมายถึง ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ ไบโอดีเซลประเภทนี้คือ การนำเอาน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่มีกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน หรือใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เรียกว่า เอสเทอริฟิเคชัน ให้อยู่ในรูปของเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl Esters) หรือเมทิลเอสเทอร์ (Methyl Esters) ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้โดยตรง แต่ปัญหาคือต้นทุนการผลิตที่แพง

2.5.2 ข้อดีและข้อเสียของไบโอดีเซล (เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล)

2.5.2.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ คุณสมบัติของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ต่างกับน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก จึงมีปัญหาเรื่องการสันดาปไม่สมบูรณ์ เครื่องสะดุด มีผลต่อลูกสูบและวาล์ว มีตะกอนขาวหลงทางออกไม่ได้อยู่ในถังน้ำมัน ความหนืดสูงที่อุณหภูมิต่ำลง ทำให้สตาร์ทไม่ค่อยติดหรืออาจไม่ติดได้ ในกรณีที่อากาศเย็น แต่มีข้อดีคือ ราคาถูก พอใช้ได้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ แต่ไม่ค่อยนิยมใช้กัน

2.5.2.2 ไบโอดีเซลคุณสมบัติ เนื่องจากประเภนี้เกิดจากการผสมกันระหว่างน้ำมันพืชและน้ำมันปิโตรเลียม ทำให้ลดปัญหาเรื่องความหนืดลงได้บ้าง แต่ยังมีปัญหาตอนที่อากาศเย็นอยู่บ้าง ส่วนปัญหาการจุดติดของเครื่องยนต์ คือ ใ้เครื่องยนต์จุดติดเร็วกว่าปกติ คุณสมบัติส่วนมากจะเหมือนกับน้ำมันดีเซล เครื่องเดินเรียบไม่มีปัญหาสะดุดเหมือนแบบแรก เครื่องสตาร์ทติดง่าย (แต่อาจต้องมีการอุ่นน้ำมันก่อนเล็กน้อย) เหมาะสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ หรือเครื่องจักรกลการเกษตร

2.5.2.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ มีข้อดีคือ ค่าซีเทน (ค่าดัชนีการจุดติดไฟ) สูงกว่าน้ำมันดีเซล ทำให้จุดติดไฟได้ง่ายกว่าน้ำมันดีเซล จึงจุดระเบิดได้ดี การสันดาปสมบูรณ์ คาร์บอนมอนอกไซด์จึงน้อย ไม่มีควันดำและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ความหนืดคงที่ แต่ข้อเสีย คือ ราคาสูง ต้นทุนสูงกว่าไบโอดีเซลแบบอื่นๆ เครื่องยนต์ให้กำลังต่ำกว่าน้ำมันดีเซล มีการสร้างแก๊สไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) เพิ่มขึ้น และอาจต้องดัดแปลงส่วนประกอบของเครื่องยนต์ที่เป็นยาง (Rubber) ซึ่งอาจถูกทำลายโดยไบโอดีเซล แต่ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์นี้ใช้กับเครื่องยนต์รอบสูงอย่างรถยนต์ได้ (อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย, 2543)

2.5.3 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนจากน้ำมันพืชเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล มีชื่อทางเคมีคือ เอสเทอร์ (Ester) โดยการเรียกชื่อจะขึ้นอยู่กับชนิดของแอลกอฮอล์ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเทอร์ (เมื่อใช้เมทิลแอลกอฮอล์ในการทำปฏิกิริยา) เป็นต้น ปฏิกิริยาเคมีในการสังเคราะห์สารเอสเทอร์ มี 2 กระบวนการด้วยกัน ได้แก่ (กระทรวงพลังงาน, 2548)

- 1) Esterification เป็นปฏิกิริยาที่ใช้กรด เป็นสารเร่งปฏิกิริยา
- 2) Transesterificaion เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ด่างเป็นสารเร่งปฏิกิริยา โดยปัจจัยที่มีความสำคัญต่อผลที่ได้ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมี 5 ปัจจัยได้แก่

- (1) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา
- (2) อัตราส่วนระหว่างน้ำมันและแอลกอฮอล์

(3) ชนิดและความเข้มข้นของสารเร่งปฏิกิริยา

(4) การผสมสารตั้งต้น

(5) ความบริสุทธิ์ของสาร (Purity of Reactants)

2.5.3.1 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลเชิงพาณิชย์

สามารถแบ่งกระบวนการที่นิยมใช้กันได้ 3 ประเภท ได้แก่

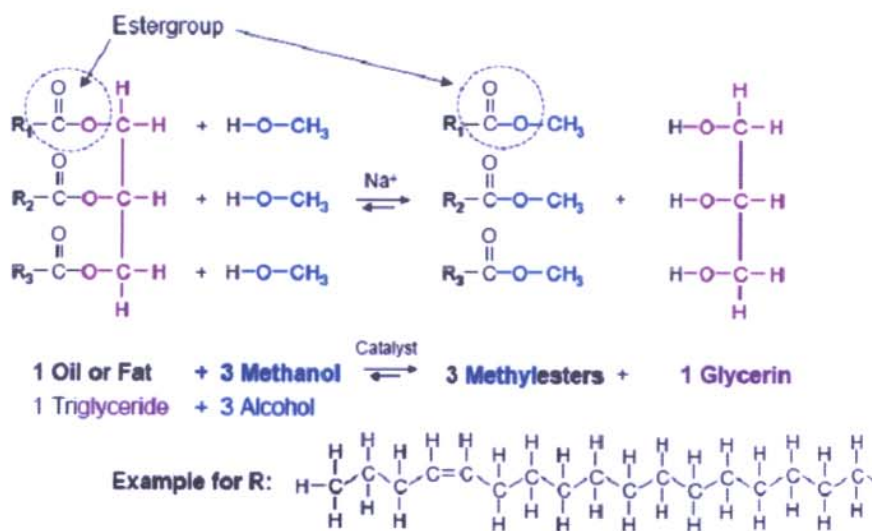
1) เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลแบบกะ (Batch Technology) มีข้อดีคือราคาถูก แต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาจมีความไม่สม่ำเสมอ และมีกำลังการผลิตต่อครั้งไม่มาก

2) เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่องด้วยวิธีทรานเอสเทอริฟิเคชัน เป็นกระบวนการที่ให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สม่ำเสมอ พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่าแบบกะที่อัตรากำลังการผลิตที่เท่ากัน แต่การลงทุนสูงกว่า

3) เทคโนโลยีการผลิตแบบต่อเนื่อง 2 ขั้นตอน เป็นการใช้กระบวนการเอสเทอริฟิเคชันในช่วงแรกและใช้กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันเป็นขั้นตอนที่สอง ซึ่งวิธีการนี้ จะมีความเหมาะสมกับวัตถุดิบทุกชนิด โดยเฉพาะน้ำมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูง

2.5.3.2 การผลิตไบโอดีเซล

องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันพืชและไขมันสัตว์เป็นไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) ซึ่งเป็นสารประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยกรดไขมัน (Fatty Acid) และกลีเซอริน (Glycerin) เมื่อไตรกลีเซอไรด์นี้รวมตัวกับสารเร่งปฏิกิริยาชนิดที่เป็นด่าง (Base Catalyst) เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยมีปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกินพอ (Excess Alcohol) จะทำให้เกิดการรวมพันธะของกรดไขมันและแอลกอฮอล์ เกิดเป็นไบโอดีเซล โดยมีผลพลอยได้ (By Product) เป็นกลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเป็นสารเคมีที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ในอุตสาหกรรมยา และเครื่องสำอาง ปฏิกิริยาสำหรับการผลิตไบโอดีเซลนี้ เรียกว่า "Trans-esterification" ซึ่งสามารถแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาได้ดังภาพที่ 2.13 (สุทัศน์า กำเนิดทอง และ เขาวรรณ ทองแก้ว, 2547)



ภาพที่ 2.13 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน

แหล่งที่มา: อาภาณี เลื่อนนฤมิตชัย, 2543.

- 1) วัดอุณหภูมิและสารเคมี
 - (1) น้ำมันพืช 2,000 มิลลิลิตร
 - (2) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์
 - (3) เมทานอล (Methanol) หรือ เอทานอล (Ethanol) 25 %
- 2) ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล
 - (1) ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 5 กรัมต่อน้ำมันพืช 1 ลิตร
 - (2) ตวงเมทานอลจำนวน 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำมันพืช แล้วผสมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เตรียมไว้ คนให้เข้ากัน จะได้สารละลายโพแทสเซียมเมธอกไซด์
 - (3) นำน้ำมันพืชปริมาตร 2,000 มิลลิลิตรอุ่นน้ำมันพืชให้ได้อุณหภูมิ 45-55 องศาเซลเซียส ใช้เวลานานประมาณ 20 นาที ถึง 1 ชม. ขึ้นกับปริมาณของน้ำมันพืช
 - (4) เทสารละลายโพแทสเซียมเมธอกไซด์ลงในน้ำมันพืชที่อุ่น คนเข้ากันประมาณ 15-20 นาที อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส
 - (5) ยกส่วนผสมลงจากเตา ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน ให้เกิดการแยกชั้นระหว่างชั้นเมทิลเอสเทอร์กับชั้นกลีเซอริน

(6) แยกน้ำมันไบโอดีเซล (เมทิลเอสเทอร์) ส่วนบนออกจากกลีเซอรินด้านล่าง ถ้าต้องการเลี่ยงปฏิกิริยาการเกิดสบู่ขึ้น ให้เติมกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ลงไปในสัดส่วนโมลที่เท่ากัน

(7) ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำอุ่นปริมาตร 20 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณสารทั้งหมด จำนวน 3 ครั้ง เพื่อกำจัดแอลกอฮอล์และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ตกค้าง (ห้ามเทน้ำอย่างแรง หากไม่เติมกรดก่อน เนื่องจากจะทำให้เกิดสบู่ขึ้นได้)

(8) ก่อนการล้างครั้งต่อไป ต้องทิ้งให้ไบโอดีเซลแยกชั้นก่อน

(9) จะได้ไบโอดีเซลประมาณ 1,600 มิลลิลิตร

ไบโอดีเซลที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้ได้โดยไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ เพียงแต่มีการปรับแต่งเล็กน้อย เช่น หน่วงเวลาการฉีดพ่นน้ำมันออกไป 2-3 วินาที เพื่อแก๊ซผลที่เกิดขึ้นจากค่าซีเทนที่สูงขึ้นของไบโอดีเซล

เมื่อเริ่มต้นใช้ไบโอดีเซล ควรใช้ไส้กรองน้ำมันใหม่และควรตรวจดูว่าในระบบเชื้อเพลิง ไม่ควรมีส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่เป็นยาง หรือถ้ามีให้เปลี่ยนก่อน เพราะไบโอดีเซลจะทำปฏิกิริยากับยาง ทำให้เสื่อมเร็วขึ้น

3) ตัวแปรต่างๆ สำหรับการศึกษานำปฏิกิริยา Transesterification ได้แก่

(1) กรดไขมันอิสระในน้ำมันซึ่งเป็นวัตถุดิบควรมีปริมาณไม่สูงกว่าร้อยละ 3 ถ้ามีปริมาณสูงกว่าจะทำให้กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับด่างเกิดเป็นสบู่ ดังในภาพที่ 2.9 ดังนั้นในการนำน้ำมันที่ใช้แล้วมาผลิตเป็นไบโอดีเซล จำเป็นต้องลดปริมาณกรดไขมันอิสระลงให้น้อยกว่าร้อยละ 1 ก่อนที่จะทำปฏิกิริยา Transesterification เพื่อผลิตน้ำมันไบโอดีเซลต่อไป

(2) ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาไฮดรอกไซด์ (NaOH) ควรอยู่ระหว่าง 0.4-2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำมันที่นำมาผลิตไบโอดีเซล

(3) อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและน้ำมัน เมื่อดูจากปฏิกิริยาในภาพที่ 2.10 พบว่าอัตราส่วนอยู่ที่ 3:1 แต่เนื่องจากปฏิกิริยานี้เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับได้ ดังนั้นเพื่อผลักดันปฏิกิริยาให้เกิดน้ำมันไบโอดีเซลสูงสุดจึงมักใช้อัตราส่วนโดยโมลของเมทานอลและน้ำมัน ที่อัตราส่วน 6:1 ถึง 9:1

(4) ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา อัตราเร็วในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้นตามระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา

(5) อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา อัตราเร็วในการเปลี่ยนน้ำมันเป็นน้ำมันไบโอดีเซลสูงขึ้นตามอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา โดยทั่วไปมักใช้อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่เกินจุดเดือดของเมทานอล

2.6 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

2.6.1 ประเภทของต้นทุนที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

2.6.1.1 เงินลงทุนเบื้องต้น (Initial Investment) เป็นค่าใช้จ่ายเพื่อซื้อสิ่งที่เป็นทรัพย์สินถาวร เช่น ค่าสถานที่ในการปฏิบัติงาน เครื่องมืออุปกรณ์ในการวิเคราะห์และผลิตไบโอดีเซล สิ่งเหล่านี้แสดงถึงขนาดในการลงทุนและต้นทุนการผลิต

2.6.1.2 ต้นทุนดำเนินการ (Operating Cost) เป็นรายจ่ายที่จะนำไปหักรายได้เหลือแล้วจึงเป็นกำไร เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ต้นทุนส่วนนี้จะปรากฏอยู่ในงบกำไรขาดทุน

2.6.1.3 ต้นทุนรวม (Total Cost) เป็นผลรวมของเงินลงทุนเบื้องต้นและต้นทุนดำเนินการ

2.6.2 ต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน

2.6.2.1 ต้นทุนคงที่ (Fix Cost, FC) คือ ต้นทุนส่วนที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณงาน ปริมาณงานที่ทำหรือผลิตอาจจะอยู่ในรูปใดรูปหนึ่ง เช่น จำนวนหน่วยผลิต จำนวนวัตถุดิบ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ แม้ว่าปริมาณงานจะมากหรือน้อย ต้นทุนส่วนนี้จะเท่ากันเรียกว่า ต้นทุนคงที่

2.6.2.2 ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost, VC) คือ ต้นทุนส่วนที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณงาน ถ้าผลิตมากก็จ่ายมาก ผลิตน้อยก็จ่ายน้อย เช่น ค่าจ้างแรงงาน ค่าวัตถุดิบที่อาจขึ้นหรือลงตามสภาพเศรษฐกิจ ค่าพลังงาน เป็นต้น (สมบัติ ชินะวงศ์, 2548)

2.6.3 ตัวอย่างต้นทุนการผลิตแปลงสบู่ดำต่อไร่

โดยศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัดชลบุรี

1) ค่ารถแทรกเตอร์ไถเตรียมดิน

ไถครั้งที่ 1 ผ่าน 4	220	บาท
ไถครั้งที่ 2 ผ่าน 7	150	บาท
ไถทำร่องปลูก	150	บาท
รวม	520	บาท

2) ค่าต้นพันธุ์

1 ไร่ ใช้ต้นพันธุ์ 177 ต้น (ระยะปลูก 3 X 3 เมตร) ราคาต้นละ 8 บาท

เป็นเงิน	1,416	บาท
----------	-------	-----

3) ค่าวัสดุต่าง ๆ

ค่าปูนโดโลไมต์ (รองกันหลุม ต้นละ 2 กิโลกรัม ๆ ละ 2.50 บาท)

708 บาท

ค่านุ้ยคอก 1,593 กิโลกรัม ๆ ละ 3 บาท แบ่งใส่ดังนี้

ครั้งที่ 1 รองกันหลุม ๆละ 2 กก. 1,593 บาท

ครั้งที่ 2 อายุ 4 เดือน ต้นละ 2 กก. 1,062 บาท

ครั้งที่ 3 อายุ 8 เดือน ต้นละ 2 กก. 1,062 บาท

ครั้งที่ 4 อายุ 12 เดือน ต้นละ 2 กก. 1,062 บาท

รวม 4,779 บาท

ค่านุ้ยเคมี สูตร 15-15-15 จำนวน 54 กก. ๆ ละ 9 บาท แบ่งใส่ดังนี้

ครั้งที่ 1 อายุ 2 เดือน ต้นละ 100 กรัม 162 บาท

ครั้งที่ 2 อายุ 6 เดือน ต้นละ 100 กรัม 162 บาท

ครั้งที่ 3 อายุ 10 เดือน ต้นละ 100 กรัม 162 บาท

รวม 486 บาท

4) ค่าวัสดุต่าง ๆ

ยากำจัดวัชพืช 5 ลิตร 500 บาท

ยาป้องกันวัชพืช 500 บาท

รวม 1,000 บาท

5) ค่าแรงงาน

ขุดหลุมปลูก ใส่วัสดุรองกันหลุม คลุกเคล้าและปลูก 520 บาท

ถากหญ้าโคนต้น ใส่ปุ๋ย 7 ครั้ง ๆ ละ 260 บาท 1,820 บาท

ฉีดยากำจัดวัชพืชระหว่างร่องปลูก 4 ครั้ง ๆ 800 บาท

ตัดแต่งกิ่ง

ครั้งที่ 1 หลังปลูกเมื่อต้นสูง 50 ซม. 130 บาท

ครั้งที่ 2 เมื่อตัดแต่งกิ่งครั้งที่ 1 และกิ่งที่แตกใหม่สูง 50 ซม.

130 บาท

ครั้งที่ 3 ตัดแต่งกิ่งช่วงพักไม่ให้ผลผลิต 260 บาท

รวมต้นทุนการผลิต 12,569 บาท

ปีที่ 1 รวมต้นทุนการผลิต เป็นเงิน 12,569 บาท เฉลี่ยต้นละ 71 บาท

ปีที่ 2 รวมต้นทุนการผลิต เป็นเงิน 7,812 บาท เฉลี่ยต้นละ 44 บาท

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร (2548) ได้วิเคราะห์น้ำมันและกากสบู่ดำดังต่อไปนี้

1. การสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำในห้องปฏิบัติการ โดยใช้บีโตรเลียมอีเธอร์ในการสกัด ได้น้ำมันจากสบู่ดำทั้งเมล็ดร้อยละ 34.96 และจากเนื้อในเมล็ดร้อยละ 54.68 และพบว่าน้ำมันสบู่ดำยังคงใส่ที่อุณหภูมิต่ำ และแข็งตัวที่อุณหภูมิ -7 องศาเซลเซียส

2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบในแง่ปุ๋ยอินทรีย์ ระหว่างกากสบู่ดำและกากบะหุ่ง ปรากฏผลคือกากสบู่ดำมีอินทรีย์วัตถุร้อยละ 80 ไนโตรเจนร้อยละ 4.44 ฟอสฟอรัสร้อยละ 2.09 โพแทสเซียมร้อยละ 1.68 ในขณะที่กากบะหุ่งมีอินทรีย์วัตถุร้อยละ 82.8 ไนโตรเจนร้อยละ 5.20 ฟอสฟอรัสร้อยละ 1.10 โพแทสเซียมร้อยละ 1.68 ส่วนธาตุรอง คือ แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง มีปริมาณใกล้เคียงกัน

3. การวิเคราะห์เปรียบเทียบกากสบู่ดำกับปุ๋ยคอกมูลกระบือไก่ เป็ด ปุ๋ยหมักจากฟางข้าว จากผักตบชวา และจากขยะ พบว่า กากสบู่ดำมีปริมาณไนโตรเจนมากกว่าปุ๋ยอื่นทั้งหมด ยกเว้นฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมที่มีปริมาณน้อยกว่ามูลไก่เท่านั้น

ชำนาญ ฉัตรแก้ว (2548: 43) ได้ทดลองนำน้ำมันสบู่ดำทดแทนน้ำมันดีเซลได้ผลดังนี้

1. ใช้น้ำมันสบู่ดำแทนน้ำมันดีเซล โดยทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลคูโบต้า ขนาด 7 แรงม้า ที่ติดตั้งบนรถไถนาเดินตามได้ผลดี โดยไม่ต้องปรับปรุงแก้ไขเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล ในอัตราเร่ง 1,500 - 2,000 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันสบู่ดำเฉลี่ยชั่วโมงละ 634 มิลลิลิตร ใช้น้ำมันดีเซลเฉลี่ย 653 มิลลิลิตร มีควันดำ และไอเสีย ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล เมื่อเดินเครื่องครบ 1,000 ชั่วโมง แล้วถอดชิ้นส่วน เช่น เสื้อสูบ ลูกสูบ แหวน ล้อ หัวฉีด มาตรวจสอบความสึกหรอ พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ไม่มียางเหนียวจับอีกด้วย

2. ใช้น้ำมันสบู่ดำกับรถยนต์ดีเซล ยี่ห้อฮิซุซุ 1,584 มิลลิลิตร 94 แรงม้า วิ่งบนถนนได้ความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถ้าเร่งสูงสุดได้ถึง 140 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เครื่องยนต์ไม่ร้อนเมื่อวิ่งด้วยความเร็วปกติ ไม่ต้องดัดแปลงโครงสร้างเครื่องยนต์ ซึ่งติดตั้งและมีกำลังแรงดี

3. ใช้น้ำมันสบู่ดำ 10 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับน้ำมันเบนซิน 90 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) กับรถจักรยานยนต์ฮอนด้า 4 จังหวะ พบว่า วิ่งได้เรียบสม่ำเสมอ แต่ถ้าผสม 15 เปอร์เซ็นต์ หัวเทียนบอดง่าย เครื่องติดยาก เดินไม่สะดวก

4. ใช้น้ำมันสบู่ดำ 30 เปอร์เซ็นต์ ผสมน้ำมันเบนซิน 70 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) กับรถจักรยานยนต์ฮอนด้า 2 จังหวะ พบว่า เครื่องเดินเรียบปกติ ถ้าผสมเกิน 30 เปอร์เซ็นต์ เครื่องติดยาก กำลังตก เมื่อเดินเครื่องครบ 500 ชั่วโมง ถอดส่วนต่าง ๆ ดู ไม่พบความสึกหรอหรือผิดปกติ

5. ใช้น้ำมันสปูดำ 10 เปอร์เซ็นต์ ผสมกับน้ำมันเบนซิน 90 เปอร์เซ็นต์ (โดยปริมาตร) กับเครื่องบินไฟฮอนต้า 4 จังหวะ พบว่า ได้ผลดีไม่มีปัญหา

6. น้ำมันสปูดำผสมกับน้ำมันดีเซลและเบนซินได้ดี ไม่จำเป็นต้องล้างถังเมื่อใช้น้ำมันแต่ละชนิดหมดลง

จรรยา ค่อมคำพันธุ์ และหาเคตะ, โยชิฮิโตะ (2525: 1-9) ร่วมกับผู้จัดการบริษัท ตรีเพชรอีซูซุเซลส์ จำกัด ทดสอบการใช้น้ำมันสปูดำกับรถบรรทุกดีเซล (ปีคัพ) 1,584 ซีซี 94 แรงม้า /5,400 รอบต่อนาที วิ่งบนถนนชานเมืองกรุงเทพฯ ได้ดี คือ สามารถวิ่งได้ด้วยความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ถ้าเร่งอัตราสูงสุดรถจะวิ่งได้ถึง 140 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จากการพิจารณาข้อมูลที่ได้พบว่า น้ำมันสปูดำสามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลอย่างเห็นเด่นชัด โดยสมรรถนะของเครื่องยนต์และความสิ้นเปลืองน้ำมันสปูดำได้ผลเป็นที่น่าพอใจ คือ

1. เครื่องยนต์ไม่ร้อนเมื่อเดินด้วยความเร็วปกติ
2. ไม่จำเป็นต้องดัดแปลงโครงสร้างของเครื่องยนต์
3. กลิ่นและคาร์บอนมอนอกไซด์อยู่ในเกณฑ์ต่ำ
4. เครื่องยนต์ติดง่ายและมีกำลังแรง

เพ็ญจิต ศรีนพคุณ (2549: 8) ศึกษาถึงคุณสมบัติที่เหมาะสมของพืชน้ำมันที่เหมาะสมในการพัฒนาเป็นน้ำมันไบโอดีเซลในอนาคต เช่น ปาล์มน้ำมัน ถั่วเหลือง เมล็ดเรพ และสปูดำ เป็นต้น โดยเฉพาะสปูดำเพื่อพัฒนาเป็นพลังงานทดแทน จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันจากน้ำมันเมล็ดสปูดำ พบว่า มีปริมาณของกรดปาล์มมีตริกร้อยละ 11.3 กรดสเตียริกร้อยละ 17.0 กรดโอเลอิกร้อยละ 12.18 กรดไลโนเลอิกร้อยละ 47.3 กรดอะราโคดิกร้อยละ 4.7 กรดอะราโคเลอิกร้อยละ 1.8 กรดปีฮีนิกร้อยละ 0.6 และอื่น ๆ 4.5 น้ำมันสปูดำนี้มีปริมาณของกรดไลโนเลอิกเป็นส่วนประกอบมากที่สุด ซึ่งเป็นพันธะคู่จัดเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นน้ำมันสปูดำจึงสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย และไม่คงตัวเมื่อสัมผัสกับอากาศ

ระพีพันธุ์ ภาสบุตรและคณะ (2525: 1-43) ทดลองสกัดน้ำมันจากสปูดำและนำน้ำมันสปูดำมาทดลองเดินเครื่องยนต์คูโบต้าดีเซล 1 สูบ แบบลูกสูบบนระบบ 4 จังหวะ ปริมาตรกระบอกสูบ 400 มิลลิลิตร 7 แรงม้า/2,200 รอบต่อนาที พบว่า เครื่องยนต์เดินเป็นปกติสม่ำเสมอไม่มีการน็อค ความสิ้นเปลืองน้ำมันน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเล็กน้อย และนำน้ำมันสปูดำทดสอบร่วมกับแก๊สหุงต้ม ทดลองเดินเครื่องกับเครื่องยนต์ดีเซล พบว่าเมื่อใช้แก๊สหุงต้มด้วยจะช่วยให้เครื่องยนต์ประหยัดน้ำมันสปูดำได้เฉลี่ย 77.1 เปอร์เซ็นต์ พร้อมทั้งได้วิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันสปูดำในการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงดังนี้

ตารางที่ 2.7 เปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันสบูดำกับมาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วของประเทศไทย ญี่ปุ่นและประเทศไทย

รายการวิเคราะห์	จากบริษัท Fuji Koosan Oil Refinery, Tokyo Japan		จากการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย	
	น้ำมันสบูดำ	ดีเซลหมุนเร็ว ญี่ปุ่น ¹	น้ำมันสบูดำ	ดีเซลหมุนเร็วไทย ²
Specific gravity	0.9186	0.82-0.84	0.9188	0.82-0.90
Flash point (°C)	240	มากกว่า 50	110	>52
Carbon residue (%)	0.64	น้อยกว่า 0.15	-	<0.05
Cetane value	51.0	มากกว่า 50	-	>50
Distillation (°C)	295	น้อยกว่า 350	-	<370
Kinematic viscosity (cs)	50.73	มากกว่า 2.7	-	1.8-5.0
Sulphur (%)	0.13	น้อยกว่า 1.2	0.16	<1

แหล่งที่มา: ระพีพันธุ์ ภาสบุตร และคณะ, 2525.

หมายเหตุ: 1. มาตรฐานอุตสาหกรรมญี่ปุ่น

2. มาตรฐานน้ำมันดีเซลหมุนเร็วของประเทศไทย ตามประกาศของกระทรวงพาณิชย์ ฉบับที่ 5 พ.ศ.2523 ประกาศใน ราชกิจจานุเบกษาเล่มที่ 97 ตอนที่ 59 วันที่ 15 เมษายน 2523

จากนั้นได้ทดสอบและวิเคราะห์ไอเสีย พบว่าควันดำจากเครื่องยนต์ที่ใช้เดินด้วยน้ำมันสบูดำมีค่าเฉลี่ย 13.42 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ส่วนการตรวจหาซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) จากปลายท่อไอเสีย พบว่าเครื่องยนต์ที่เดินด้วยน้ำมันสบูดำไม่พบซัลเฟอร์ไดออกไซด์เลยในขณะที่เดินด้วยน้ำมันดีเซลหมุนเร็วพบปริมาณก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ 125 ppm

เมื่อทำการเดินเครื่องยนต์ดีเซลครบ 1,000 ชั่วโมง ได้ถอดชิ้นส่วนของเครื่องยนต์มาตรวจสอบพบว่าเสื่อสูบ ลูกสูบ แวนด ล้น หัวฉีดและอื่นๆ ไม่มียางเหนียวจับ ทุกชิ้นยังคงสภาพดี

แอนนา สายมณีรัตน์ และคณะ (2547: 26) ทำการศึกษากการสกัดน้ำมันสบูดำจากตัวทำละลาย 3 ชนิด คือ นอร์มัลเฮกเซน ปิโตรเลียมอีเทอร์ และอะซิโตน ในอัตราส่วน 1:8 เป็นเวลา 3 และ 24 ชั่วโมง ได้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 42.48-43.35 และ 43.28-44.23 ของน้ำหนักเนื้อในเมล็ด

ตามลำดับ และนำค่าเฉลี่ยไปวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันที่ระยะเวลาในการสกัด 3 และ 24 ชั่วโมง และยังพบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้จากตัวละลายแต่ละชนิดไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 24 ชั่วโมง

จากนั้นใช้เครื่องมือแยกเซนสกัดน้ำมันสบู่ดำจากเมล็ดสบู่ดำ เป็นเวลาต่าง ๆ ตั้งแต่ 10 นาที ถึง 24 ชั่วโมง พบว่าในช่วง 3 ชั่วโมงแรกของการสกัดปริมาณน้ำมันสบู่ดำเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 39.50 เป็นร้อยละ 43.82 แต่หลังจาก 3 ชั่วโมงผ่านไปปริมาณน้ำมันไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ดังนั้น จึงใช้เครื่องมือแยกเซนสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำที่เวลา 3 ชั่วโมง เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันเพื่อศึกษาขั้นต่อไป

นอกจากนี้ ยังได้ศึกษาปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของน้ำมันสบู่ดำ พบว่าน้ำมันสบู่ดำ 200 กรัม ทำปฏิกิริยาพอดีกับเมธานอล 44.5 กรัม โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 กรัม เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่อุณหภูมิ 65-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ผลผลิตเป็นเมทิลเอสเทอร์ร้อยละ 80.45 โดยน้ำหนัก และมีความหนืดลดลงเหลือ 4.39 เซนติสโตก หรือมากกว่า 10 เท่าจากความหนืดเริ่มต้นของน้ำมันสบู่ดำดิบ

Akintayo (2004: 307-310) ได้ศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของเมล็ดพืช 2 ชนิด ได้แก่ เมล็ดฟักทอง และเมล็ดสบู่ดำ การวิเคราะห์ส่วนประกอบของเมล็ดฟักทอง และเมล็ดสบู่ดำ ปรากฏว่า เมล็ดฟักทองมีร้อยละของโปรตีน ไขมันและความชื้นเท่ากับร้อยละ 32.40, 26.52 และ 10.18 ตามลำดับ ส่วนเมล็ดสบู่ดำเท่ากับร้อยละ 24.60, 47.25 และ 5.54 ตามลำดับ น้ำมันเมล็ดสบู่ดำมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 72 และมีกรดโอเลอิก (Oleic acid) มากที่สุดถึงร้อยละ 41.3 ขณะที่ น้ำมันเมล็ดฟักทองมีกรดไขมันไม่อิ่มตัว 62 เปอร์เซ็นต์ และมีกรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) มากที่สุดถึงร้อยละ 44.5 ผลการวิเคราะห์ของไขมันแสดงถึงไตรกลีเซอไรด์ที่มีมากที่สุดทั้งในน้ำมันเมล็ดฟักทองและน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของน้ำมันในเมล็ดแสดงให้เห็นถึงการแบ่งชั้นคุณลักษณะของน้ำมัน ซึ่งสามารถพบได้ในอุตสาหกรรมการผลิตสบู่

Banerji, Chowdhury, Misra, Sudarsanam, Verma และ Srivastava (1985: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาปริมาณน้ำมัน สมบัติทางกายภาพ องค์ประกอบของกรดไขมัน และค่าพลังงานของเมล็ดสบู่ดำจาก 4 สายพันธุ์ที่เพาะปลูกในประเทศอินเดีย ได้แก่ *J. curcas*, *J. glandulifera*, *J. gossypifolia* และ *J. Multifida* พบว่าเมล็ดสบู่ดำสายพันธุ์ *J. Multifida* ให้ค่าพลังงานสูงที่สุดคือ 13.647 กิโลแคลอรีต่อกรัม หรือ 57.12 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำทุกสายพันธุ์มีกรดโอเลอิกและไลโนเลอิกเป็นองค์ประกอบหลักในปริมาณร้อยละ 72.2-84.0

Freeman, Kwolek และ Pryde (1986: บทคัดย่อ) ทำการศึกษาการสังเคราะห์เชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพจากน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน และน้ำมันเมล็ดถั่วเหลือง โดยใช้กระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Trans-esterification) เพื่อหาตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ อัตราส่วนความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ต่อน้ำมันดอกทานตะวันและน้ำมันถั่วเหลือง อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา ชนิดของแอลกอฮอล์และตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ พบว่า อัตราส่วนความเข้มข้นที่เหมาะสมเป็น 4:1 และ 6:1 อุณหภูมิที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา คือ 45 และ 60 องศาเซลเซียส จะให้ผลผลิตประมาณ 90 - 98 เปอร์เซ็นต์ สำหรับตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยา คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากไม่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงและทำให้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาน้อยกว่าการใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Foidl, Foidl, Sanchez, Mittelbach และ Hackel (1996: 77-82) ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันเมล็ดสบู่ดำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลในประเทศนิการากัว วิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Trans-esterification) จากนั้น นำน้ำมันเมล็ดสบู่ดำดิบ เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Ester) และเอทิลเอสเทอร์ (Ethyl Ester) ไปวิเคราะห์คุณสมบัติต่าง ๆ พบว่ามีค่าฟอสฟอรัส (Phosphorus) เท่ากับ 290, 17.5 และ 17.5 พีพีเอ็ม (ppm) ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำดิบเมื่อผ่านกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแล้ว ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเปรียบเทียบการผลิตโดยใช้เมธานอลได้เป็นเมทิลเอสเทอร์ และเอธานอลได้เป็นเอทิลเอสเทอร์ พบว่า เมธานอลเหมาะสมในการผลิตไบโอดีเซลมากกว่า เนื่องจากเอธานอลมีปริมาณน้ำมากกว่า สามารถเกิดสบู่ได้ง่ายกว่า การแยกเอากลิเซอรอลออกก็ทำได้ยุ่งยากกว่าและต้องใช้อุณหภูมิและความดันสูงในกระบวนการผลิต

Gübitz, Mittelbach และ Trabi (1999: 73-82) ศึกษาการส่งเสริมการใช้ประโยชน์ของเมล็ดสบู่ดำ พบว่าในช่วง 2-3 ปีนี้มีการใช้สบู่ดำเพื่อเป็นเชื้อเพลิงไบโอดีเซลในการผลิตขนาดชุมชนและอุตสาหกรรมการผลิตสิ่งอุปโภคต่างๆ มีวิธีการเพาะปลูกที่หลากหลายมากขึ้นและปรับปรุงพันธุกรรมให้ดีขึ้น นอกจากนี้ ยังนำสบู่ดำมาใช้ในทางการแพทย์ เช่น ใช้เป็นยารักษาบาดแผลป้องกันการติดเชื้อ แต่สบู่ดำมีสารพิษพวกไฟโรโบล เอสเทอร์ (Phorbol Ester) ซึ่งมีความเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ จากการทดลองในห้องวิจัยพบว่าสบู่ดำมีคุณสมบัติในการฆ่าแมลง, เชื้อราและสิ่งมีชีวิตจำพวกมีเปลือกหุ้ม (Molluscicidal)

Makkar, Aderibigbe และ Becker (1998: บทคัดย่อ) ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสบู่ดำจาก 4 แหล่ง ได้แก่ ประเทศนิการากัว 2 แหล่ง (Cape Verde และ Managua) ประเทศในจีเรีย 1 แหล่ง (Ife) และประเทศเม็กซิโก 1 แหล่ง (Papaltla) พบว่า ค่าเฉลี่ยเนื้อในเมล็ดเท่ากับ ร้อยละ 62.7, 62.7, 60.0 และ 63.5 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของเปลือกมีค่าเท่ากับ 37.3, 37.3,

40.0 และ 36.5 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงคุณสมบัติอื่น ๆ อีก ได้แก่ โปรตีน จากเนื้อใน เมล็ดสับดูดำที่ผ่านการสกัดเอาน้ำมันออกแล้ว พบว่ามีปริมาณโปรตีนมากถึงร้อยละ 57.3, 61.9, 56.1 และ 64.4 ตามลำดับ ส่วนเปลือกของเมล็ดสับดูดำมีปริมาณโปรตีนน้อยเพียงร้อยละ 4.3, 4.5, 5.8 และ 4.4 ตามลำดับ จึงมีความเหมาะสมในการพิจารณาเพื่อเป็นทางเลือกในการนำไป เป็นอาหารสัตว์ในอนาคต

Martinez-Herrera, Siddburaju, Francis, Davila-Ortiz และ Becker (2005: บทคัดย่อ) ศึกษาส่วนประกอบ, ความเป็นพิษและผลการใช้ประโยชน์ใน 4 พื้นที่ของประเทศเม็กซิโก พบว่า เนื้อในเมล็ดสับดูดำมีสารยับยั้งเอนไซม์ย่อยโปรตีน แต่สามารถทำให้สลายด้วยการให้ความร้อน มี โปรตีนประมาณร้อยละ 50 - 62 มีเส้นใยประมาณร้อยละ 3.9-4.5 ของน้ำหนักแห้ง มีแป้งและ น้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 6 ดังนั้น กากเมล็ดสับดูดำที่ผ่านการสกัดเอาน้ำมันออกและทำลายพิษให้ หมดไปแล้ว สามารถนำไปทำเป็นปุ๋ยหรืออาหารสัตว์ได้

Shah, Sharma และ Gupta (2004: บทคัดย่อ) ศึกษาการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสับดูดำด้วยน้ำโดยใช้เอนไซม์เป็นตัวช่วยในการสกัด ใช้วิธีการ Sonication ด้วยบิวทานอล (t-butanol) 1:1 (v/v) และแอมโมเนียมซัลเฟตความเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ (w/v) ร่วมกับการใช้เอนไซม์โปรตีเอสที่พีเอชเท่ากับ 9 ได้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 97

Shah, Sharma และ Gupta (2005: บทคัดย่อ) ศึกษาการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสับดูดำด้วยน้ำโดยใช้วิธีการ Ultrasonication ร่วมกับการใช้เอนไซม์ในการสกัดน้ำมัน โดยใช้การ Ultrasonication เป็นเวลา 10 นาที ควบคุมพีเอชเท่ากับ 9 ก่อนที่จะทำการสกัดน้ำมันจากชั้นของ น้ำ พบว่าจะให้ปริมาณน้ำมันร้อยละ 67 อย่างไรก็ตาม ปริมาณน้ำมันจะสูงถึงร้อยละ 74 เมื่อใช้ การ Ultrasonication เป็นเวลา 5 นาที ก่อนการใช้เอนไซม์อัลคาไลน์ โปรตีเอส (Alkaline Protease) ที่พีเอช 9

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง แบ่งงานวิจัยออกเป็น 6 ตอน ดังนี้

1. การเก็บรวบรวมตัวอย่างเมล็ดสบู่ดำ
2. ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีฟิสิกส์ของเมล็ดและน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ
4. ศึกษากระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ
5. ศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซล
6. ศึกษาต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- | | | | |
|---|------|----------------|-----------|
| 1. ขวดรูปชมพู่ | ขนาด | 125, 250, 500 | มิลลิลิตร |
| 2. กรวยแยก | ขนาด | 500 | มิลลิลิตร |
| 3. บีกเกอร์ | ขนาด | 50, 100 | มิลลิลิตร |
| 4. ปีเปต | ขนาด | 5, 10, 25 | มิลลิลิตร |
| 5. บิวเรต | ขนาด | 50 | มิลลิลิตร |
| 6. ขวดวัดปริมาตร | ขนาด | 50, 100, 1,000 | มิลลิลิตร |
| 7. เครื่องเขย่า (Shaker) | | | |
| 8. เครื่องระเหยสุญญากาศ (Rotary Evaporator) | | | |
| 9. เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) | | | |
| 10. แผ่นให้ความร้อน (Hot Plate) | | | |
| 11. ชุดกรองสุญญากาศ | | | |
| 12. กรวยกรอง | | | |

13. แ่งแก้วคน
14. ช้อนตักสาร
15. หลอดหยด
16. เทอร์โมมิเตอร์
17. กระดาษกรอง

3.1.2 สารเคมี

1. นอร์มัลเฮกเซน (n-Hexane)
2. ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether)
3. เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl Alcohol)
4. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)
5. ไดเอทิลอีเทอร์ (Diethyl Ether)
6. กรดอะซิติก (Acetic Acid)
7. เฮปเทน (Heptane)
8. ไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ (Isopropyl Alcohol)
9. ฟีนอล์ฟทาลิน

3.1.3 เมล็ดพันธุ์สบูดำ

จากวิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทนจากสบูดำ จังหวัดระยอง

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 การเก็บรวบรวมตัวอย่างเมล็ดสบูดำ

1. เก็บรวบรวมเมล็ดสบูดำที่ตากแห้งเป็นเวลา 2 วัน จำนวน 20 กิโลกรัม จากวิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทนจากสบูดำ จังหวัดระยอง
2. ทำความสะอาดเมล็ดที่เก็บมา และแบ่งเก็บรักษาไว้ในถุงพลาสติกจำนวน 3 ถุง เก็บไว้ในที่แห้ง ณ อุณหภูมิห้อง

3.2.2 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีฟิสิกส์ของเมล็ดและน้ำมันสบูดำ

3.2.2.1 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ

1) สุ่มตัวอย่างเมล็ดสบูดำ โดยวิธีสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) จากถุงเก็บเมล็ดสบูดำ ทำการสุ่มเมล็ดสบูดำจำนวนถุงละ 100 เมล็ด จำนวน 3 ถุง ได้เมล็ดสบูดำ 300 เมล็ด และนำมาวัดหาค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ของเมล็ด ได้แก่

น้ำหนัก	(กรัม)
ความยาวเมล็ด	(มิลลิเมตร)
ความกว้างเมล็ด	(มิลลิเมตร)

2) แกะเปลือกออก แยกเปลือกออกจากเนื้อด้วยความระมัดระวัง

3) วัดหาค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ของเนื้อในเมล็ด (Kernel) ตามข้อ 1.

4) หาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเปลือก โดยคำนวณจาก

$$\text{น้ำหนักเปลือกเฉลี่ย (กรัม)} = \text{น้ำหนักทั้งหมดของเมล็ดเฉลี่ย (กรัม)} - \text{น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย (กรัม)}$$

5) คำนวณร้อยละของน้ำหนักเนื้อในเมล็ดและเปลือก เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดสบูดำทั้งเมล็ด

3.2.2.2 ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์

1) นำน้ำมันสบูดำมาวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ ตามวิธี Association of Official Analytical Chemistry (1995) ดังในภาคผนวก ก. ได้แก่

- (1) ค่าไอโอดีน (Iodine Value)
- (2) ค่าสaponification (Saponification Value)
- (3) ส่วนที่ไม่สามารถสaponification ได้ (Unsaponification Matter)
- (4) ค่ากรด (Acid Value)
- (5) ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)
- (6) ค่าความหนืด (Viscosity)

2) วิเคราะห์กรดไขมันอิสระตามวิธี AOCS Ca 5a-40 ดังภาคผนวก ข.

3.2.2.3 วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดสบูดำ

วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดสบูดำ โดยอ้างอิงจากวิธี AOAC (1995) ดังในภาคผนวก ก. ได้แก่

- 1) ปริมาณไขมัน (Crude Fat)
- 2) ปริมาณโปรตีน (Protein)
- 3) ปริมาณเส้นใย (Crude Fiber)
- 4) ปริมาณเถ้า (Ash)

3.2.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ

3.2.3.1 ศึกษาชนิดและปริมาณของตัวทำละลายต่อการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสบู่ดำ (ดัดแปลงจากวิธีของสุภาวดี ชุกลิน (2547: 35))

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3×3 (3 ซ้ำ)

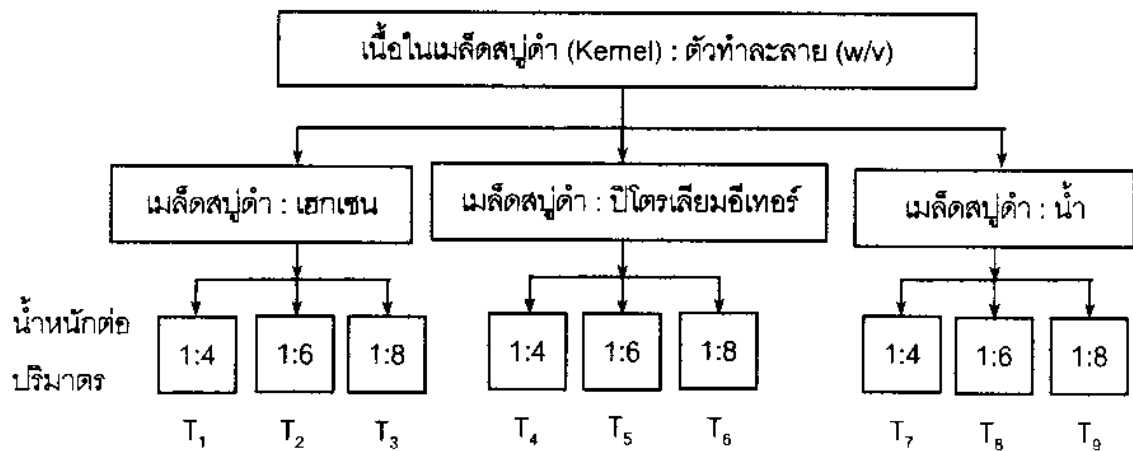
- 1) ชั่งเนื้อในเมล็ดสบู่ดำ (2 กรัม) ที่บดละเอียดและอบแห้งแล้ว ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร สกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย (นอร์มัลเฮกเซน, ปีโตรเลียมอีเทอร์ และน้ำ) โดยใช้อัตราส่วนของเนื้อในเมล็ดสบู่ดำต่อปริมาณตัวทำละลายเป็น 1:4, 1:6, 1:8 (w/v)
- 2) นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 3) กรองด้วยชุดกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.1
- 4) สารละลายที่ผ่านการกรองแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อระเหยตัวทำละลายออก
- 5) ชั่งน้ำหนักน้ำมันหลังอบ
- 6) คำนวณร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้จากสูตร

$$\text{ร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเนื้อในเมล็ดสบู่ดำ (กรัม)}} \times 100$$

7) นำค่าร้อยละของน้ำมันจากตัวทำละลายทั้ง 3 ชนิด ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Sirichai Statistics โดยใช้สถิติ DMRT ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

8) วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมัน โดยพิจารณาจากร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้

สามารถเขียนแผนภาพขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้



ภาพที่ 3.1 ศึกษาปริมาณและชนิดของตัวทำละลายต่อการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสับดำ

3.2.3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสับดำด้วยตัวทำละลาย

วางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2×4 (3 ซ้ำ)

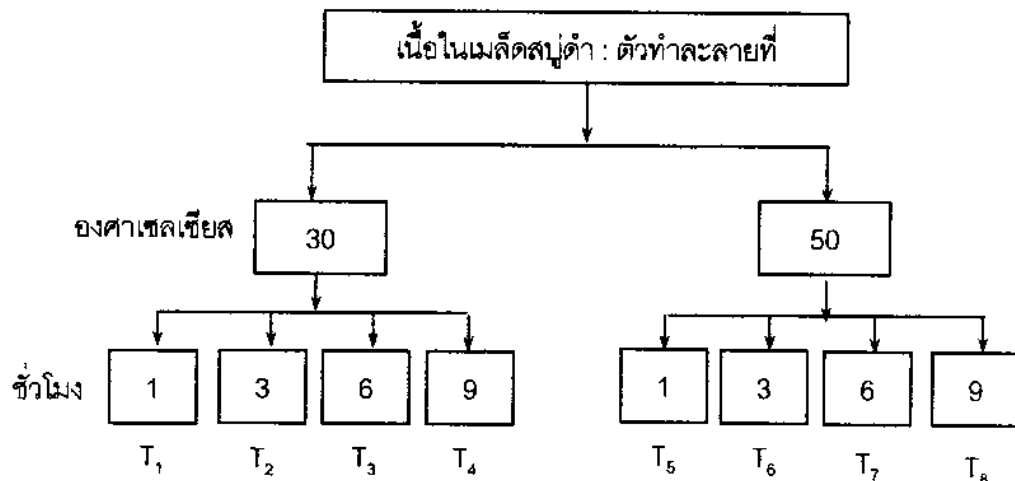
- 1) ชั่งเนื้อในเมล็ดสับดำจำนวน 2 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมตัวทำละลาย โดยเลือกใช้ชนิด และปริมาณตัวทำละลายที่เหมาะสมจากข้อ 3.2.3.1.
- 2) ทำการสกัดน้ำมันที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) และ 50 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการสกัดที่ 1, 3, 6 และ 9 ชั่วโมง
- 3) นำขวดรูปชมพู่ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า ที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 4) กรองด้วยชุดกรองสุญญากาศ โดยใช้กระดาษกรอง Whatman No.1
- 5) นำสารละลายที่ผ่านการกรองแล้ว ไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อระเหยตัวทำละลายออก
- 6) ชั่งน้ำหนักน้ำมันหลังอบ และคำนวณร้อยละของน้ำมันที่ได้จากสูตร

$$\text{ร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันหลังอบ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักเนื้อในเมล็ดสับดำ (กรัม)}} \times 100$$

- 7) นำร้อยละของน้ำมันที่คำนวณได้ ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Sirichai Statistics โดยใช้สถิติ DMRT ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05

8) วิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบูดำ โดยพิจารณาจากร้อยละของน้ำมันที่สกัดได้

สามารถเขียนแผนภาพขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้



ภาพที่ 3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบูดำด้วยตัวทำละลาย

3.2.4 ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบูดำ

3.2.4.1 การหาปริมาณที่แน่นอนของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

- 1) เปิดน้ำมันสบูดำ 1 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติมไอโซโพรพิล แอลกอฮอล์ 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เป็นเนื้อเดียวกัน
- 3) หยดฟีนอล์ฟทาเลอิน 2 หยดลงในสารละลายผสม
- 4) ไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.01 เปอร์เซนต์ จนกระทั่งเกิดสีชมพูคงตัวนาน 10 วินาที บันทึกปริมาตรของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ไทเทรต
- 5) คำนวณปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (กรัม) ที่ใช้ ตามสูตร

$$\text{ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์} = \text{ปริมาตรไทเทรนต์} + 5$$

ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	หมายถึง โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (กรัม) ที่ใช้ต่อน้ำมันดิบ
1,000 กรัม	
ปริมาตรไทเทรนต์	หมายถึง โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิลิตร) ที่ใช้ไทเทรต
5	หมายถึง ค่าคงที่

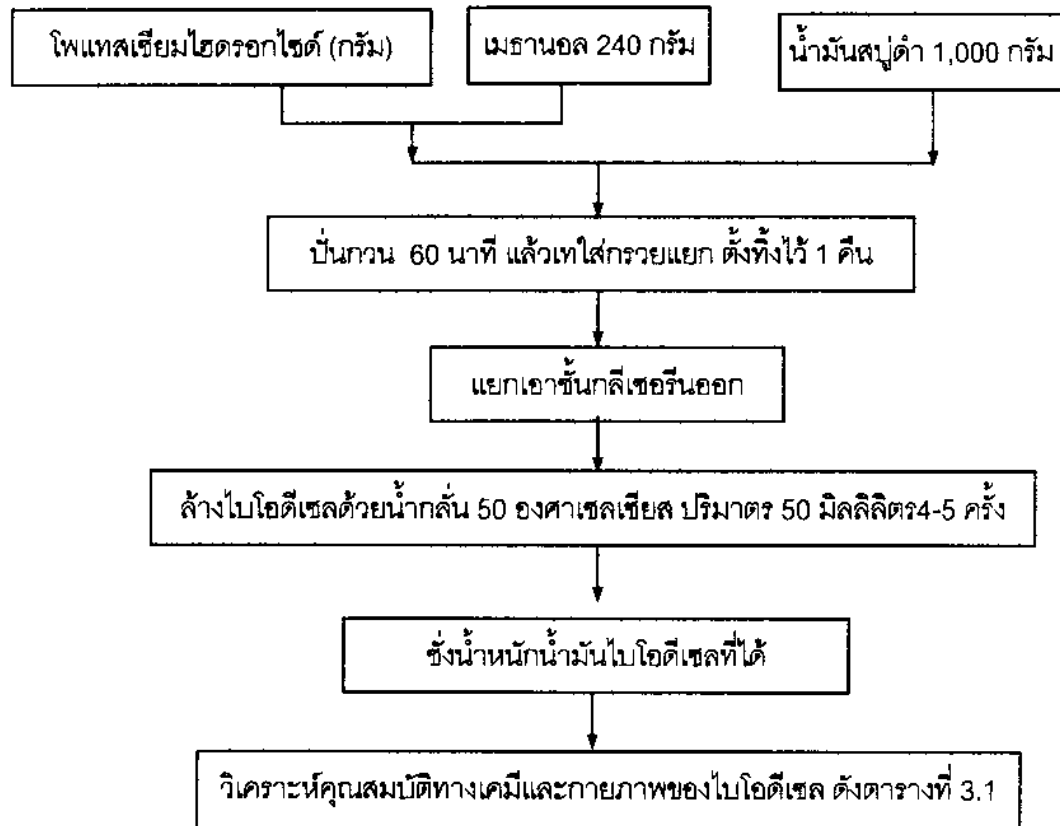
3.2.4.2 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำ

สังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ โดยดัดแปลงจากวิธีของ Foil และคณะ (1996: 77-81) ดังนี้

- 1) ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โดยใช้ปริมาณจากที่คำนวณได้จากข้อ 3.2.4.1
- 2) เติมนีเมธานอล (Methanol) 240 กรัม กวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายโซเดียมเมทอกไซด์
- 3) ช้อนน้ำมันสบู่ดำจำนวน 1,000 กรัม จนได้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
- 4) เทสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ลงในน้ำมัน กวนเป็นเวลา 60 นาที
- 5) ถ่ายสารละลายผสมใส่กรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน เพื่อให้ไขมันและกลีเซอรินแยกชั้นออกจากกัน
- 6) ล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำกลั่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาตร 250 มิลลิลิตร 3 ครั้ง เพื่อกำจัดเมธานอล , สบู่และกลีเซอรินที่ตกค้าง
- 7) ชั่งน้ำหนักและคำนวณร้อยละของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้
- 8) วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลดัง

ตารางที่ 3.1

สามารถเขียนแผนภาพขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบูดำ

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

คุณลักษณะ	หน่วย	วิธีการ	อุปกรณ์
จุดวาบไฟ	°C	ASTM D 93	ชุดอุปกรณ์วัดจุดวาบไฟ
จุดไหลเท	°C	ASTM D 97	ชุดอุปกรณ์วัดจุดไหลเท
จุดขุ่น	°C	ASTM D 2500	ชุดอุปกรณ์วัดจุดขุ่น
ความหนืดที่ 40 °C	Centistokes	ASTM D 445	เครื่องวัดความหนืด
ความถ่วงจำเพาะที่ 30 °C	-	ASTM D 1298	เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะ
ปริมาณน้ำ	ร้อยละ	Typical Standard	Karl Fischer Coulometer
กรดไขมันอิสระ	ร้อยละ	AOCS Ca 5a-40	ชุดอุปกรณ์ไทเทรต

3.2.5 ศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซล

3.2.5.1 วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลบนเพลทซิลิกาเจล (Thin Layer Chromatography) ดังนี้

- 1) เตรียมเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) โดยการผสมนอร์มัลเฮกเซน ไดเอทิล-อีเทอร์ และกรดอะซิติก ในอัตราส่วน 80: 20: 1 โดยปริมาตร ตามลำดับ
- 2) เทโซลโกลแก้วสีเหลือง (TLC Developing Tank) ให้มีความสูงประมาณ 1 เซนติเมตร ปิดฝาแล้วทิ้งไว้ให้อิ่มตัวที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 3) หยดตัวอย่างของน้ำมันดิบ กรดไขมัน ส่วนที่ไม่สามารถสaponifi์ได้ และเมทิลเอสเทอร์ ปริมาตรอย่างละ 5 ไมโครลิตร ให้เป็นจุดเล็กๆ บนแผ่น TLC ที่เคลือบด้วยซิลิกาขนาด 20×20 เซนติเมตร
- 4) จุ่มแผ่น TLC ลงในโกลแก้วที่มีเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) ทิ้งไว้ให้อิ่มตัว จากนั้นนำแผ่น TLC ออกมา และตั้งทิ้งไว้ให้แห้ง
- 5) สเปรย์กรดออร์โธฟอสฟอริกลงบนแผ่นซิลิกา แล้วนำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที
- 6) แถบของโครมาโทแกรมจะแสดงตามองค์ประกอบที่มีอยู่ในสารประกอบ ซึ่งจะถูกแยกออกมาที่ระยะทางต่าง ๆ กัน

3.2.5.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน โดยวิธี Martinez และคณะ (2005) ดังนี้

- 1) ชั่งเมทิลเอสเทอร์หรือไบโอดีเซล 100 มิลลิกรัม เติมน้ำมันละลาย Methyl Heptadecanoate ในเฮปแทน 2 มิลลิลิตร
- 2) วิเคราะห์กรดไขมันของเมทิลเอสเทอร์ โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น 17A version 3 โดยใช้คอลัมน์คอสัมน์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร และตัวรับสัญญาณ (Detector) แบบ FID
- 3) ตั้งค่าอุณหภูมิของคอลัมน์ ดังนี้

เริ่มต้นที่ 150 องศาเซลเซียส	คงไว้ 5 นาที
เพิ่มเป็น 180 องศาเซลเซียส ในอัตรา 5 °C/นาที	คงไว้ 5 นาที
เพิ่มเป็น 190 องศาเซลเซียส ในอัตรา 5 °C/นาที	คงไว้ 5 นาที
เพิ่มเป็น 230 องศาเซลเซียส ในอัตรา 5 °C/นาที	คงไว้ 10 นาที
- 4) ปริมาณของกรดไขมัน สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟของโครมาโทแกรมได้จากสูตร

$$\text{ร้อยละกรดไขมัน} = \frac{A_{\text{fatty acid}}}{(A_{\text{total}} - A_{\text{ISD}})} \times 100$$

เมื่อ	$A_{\text{fatty acid}}$	หมายถึง	พื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมัน
	A_{total}	หมายถึง	พื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมันทั้งหมด
	A_{ISD}	หมายถึง	พื้นที่ใต้กราฟของ Methyl Heptadecanoate

3.2.6 ศึกษาต้นทุนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ นำข้อมูลจากกระบวนการทุกขั้นตอน ประกอบด้วย

- 1) การเก็บรวบรวมตัวอย่างเมล็ดสบู่ดำ
- 2) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ
- 3) กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

คำนวณราคาต้นทุนทั้งหมด โดยพิจารณาเฉพาะต้นทุนผันแปร ซึ่งประกอบด้วย ค่าวัตถุดิบ ค่าสารเคมี โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel โดยเปรียบเทียบราคาต้นทุนในการทดลองทุกขั้นตอนภายใต้เงื่อนไขและสถานการณ์ดังนี้

- 1) ราคาวัตถุดิบ (เมล็ดสบู่ดำ)
- 2) ค่าสารเคมี
- 3) ค่าไฟฟ้า
- 4) ประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมัน
- 5) ร้อยละของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้

บทที่ 4

ผลการศึกษา

4.1 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสนุ่นดำ

งานวิจัยนี้ได้รวบรวมเมล็ดสนุ่นดำจากวิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทน จังหวัดระยอง (ต่อไปจะใช้ชื่อแทนว่า จังหวัดระยอง) ซึ่งได้นำสายพันธุ์มาจากจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งตากแห้งแล้ว จำนวน 20 กิโลกรัม มาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสนุ่นดำ ทำการสุ่มตัวอย่างเมล็ดสนุ่นดำ โดยวิธีสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) 3 ครั้ง ครั้งละ 100 เมล็ด รวม 300 เมล็ด นำมาวัดหาค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ของเมล็ด ได้แก่ น้ำหนักทั้งเมล็ด (กรัม) ความยาวเมล็ด (มิลลิเมตร) ความกว้างเมล็ด (มิลลิเมตร) จากนั้นแกะเปลือกออก แยกเปลือกออกด้วยความระมัดระวัง วัดหาค่าเฉลี่ยต่าง ๆ ของเนื้อในเมล็ด (Kemel) ได้แก่ น้ำหนักทั้งหมด (กรัม) ความยาวเมล็ด (มิลลิเมตร) ความกว้างเมล็ด (มิลลิเมตร)

สำหรับค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเปลือก สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{น้ำหนักเปลือกเฉลี่ย (กรัม)} = \text{น้ำหนักทั้งหมดของเมล็ดเฉลี่ย (กรัม)} - \text{น้ำหนักเนื้อในเมล็ดเฉลี่ย (กรัม)}$$

เมื่อทราบน้ำหนักเนื้อในเมล็ดและเปลือกแล้ว นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณร้อยละของน้ำหนักเนื้อในเมล็ดและเปลือก เมื่อเทียบกับน้ำหนักเมล็ดสนุ่นดำทั้งเมล็ด

คุณสมบัติทางกายภาพเป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงคุณสมบัติของเมล็ดสนุ่นดำ ซึ่งอาจสัมพันธ์กับปริมาณน้ำมันของเมล็ดสนุ่นดำ และยังเกี่ยวเนื่องกับการศึกษาความคุ้มค่าในการพัฒนาสนุ่นดำให้เป็นพลังงานทดแทน ซึ่งต้องคำนึงถึงผลผลิตต่อไร่ รวมถึง ค่าจ้างในการเก็บเมล็ดสนุ่นดำ เนื่องจากผลสนุ่นดำจะแก่ไม่พร้อมกันทั้งต้นเหมือนผลปาล์มที่สามารถตัดออกมาทั้งทะลายได้ในครั้งเดียว จึงไม่เสี่ยงประมาณในขั้นตอนเก็บเกี่ยวผลผลิตมากเท่าการเก็บเกี่ยวผลสนุ่นดำ ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสับดูดำจากวิสาหกิจชุมชน จ.ระยอง (on dry matter basis)

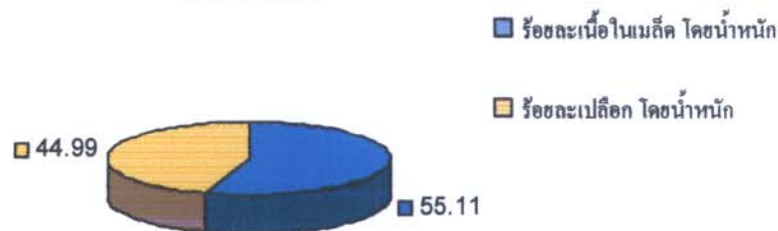
เมล็ดสับดูดำ			เนื้อในเมล็ด			ร้อยละเนื้อ	ร้อยละ
ความยาว	ความกว้าง	น้ำหนัก	ความยาว	ความกว้าง	น้ำหนัก	ในเมล็ด	เปลือก
(มม.)	(มม.)	(กรัม)	(มม.)	(มม.)	(กรัม)	โดยน้ำหนัก	โดยน้ำหนัก
181.67	116.67	61.10	153.33	88.33	33.67	55.11	44.99

หมายเหตุ: ค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากเมล็ดสับดูดำจำนวน 300 เมล็ด

หลังจากทำการศึกษาค้นสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสับดูดำ จากพื้นที่เพาะปลูกของวิสาหกิจชุมชน จ.ระยอง จากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าเฉลี่ยของเนื้อใน (Kernel) เมล็ดสับดูดำ 100 เมล็ด จากการสุ่ม 3 ครั้ง รวม 300 เมล็ด เท่ากับ ร้อยละ 55.11 โดยน้ำหนัก และค่าเฉลี่ยของเปลือกเท่ากับร้อยละ 44.99 โดยน้ำหนัก สามารถแสดงแผนภูมิได้ดังนี้

ร้อยละเนื้อในเมล็ดและเปลือกเมื่อเทียบกับ

เมล็ดทั้งหมด



ภาพที่ 4.1 แสดงร้อยละเนื้อในเมล็ดและเปลือก โดยน้ำหนัก

ค่าเฉลี่ยเนื้อในเมล็ดสับดูดำจากผลการทดลองที่ได้ พบว่ามีความแตกต่างจากงานวิจัยของ Martinez และคณะ (2005: 5) ที่วิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสับดูดำจากประเทศเม็กซิโกในพื้นที่เพาะปลูก 4 แหล่ง พบว่าร้อยละของเนื้อในเมล็ดสับดูดำเท่ากับ 68.06, 68.19, 68.34 และ 70.08 ส่วนร้อยละของเปลือกเท่ากับ 31.94, 31.81, 31.66 และ 29.92 ซึ่งมากกว่าผลการทดลองที่ได้จากตารางที่ 4.1 อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของเมล็ดพันธุ์ ความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่เพาะปลูก ฤดูกาล ปริมาณน้ำฝน และการปฏิบัติในการเก็บรักษาเมล็ดสับดูดำ

4.2 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของเมล็ดและน้ำมันเมล็ดสบู่ดำจากวิสาหกิจชุมชน จังหวัดระยอง

4.2.1 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของน้ำมันสบู่ดำ เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการศึกษาเบื้องต้น เนื่องจากสามารถบ่งชี้คุณลักษณะ จำแนกชนิดของน้ำมัน และเพื่อพิจารณาการนำน้ำมันสบู่ดำไปศึกษาและพัฒนาต่อไป สามารถวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของน้ำมันสบู่ดำ โดยอ้างอิงจากวิธีมาตรฐาน AOAC (1995) พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์มีดังนี้

สี (Color)

ค่าไอโอดีน (Iodine Value)

ค่าสaponification (Saponification Value)

Mean molecular mass

ส่วนที่ไม่สามารถสaponification ได้ (Unsaponifiable Matter)

ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ค่ากรด (Acid Value)

ค่าความหนืด (Viscosity)

สำหรับการวิเคราะห์หากรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) อ้างอิงจากวิธีมาตรฐาน AOCS Ca 5a-40 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของน้ำมันสบู่ดำ แสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของน้ำมันเมล็ดสนุดำ

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่ได้
สี	-	เหลืองอ่อน
ค่ากรดไขมันอิสระ	(มิลลิกรัม/กรัม)	5.58
ค่ากรด	(มิลลิกรัมKOH/กรัม)	17.36
ค่าสaponifiเคชัน	(มิลลิกรัมKOH/กรัม)	199.19
ค่าไอโอดีน	(มิลลิกรัม iodine/กรัม Wijs)	94.48
Mean molecular mass	-	281.14
ส่วนที่ไม่สามารถสaponifiเคต์ได้	ร้อยละ	1.02
ความถ่วงจำเพาะ (30°C)	-	0.906
ความหนืด (40°C)	เซนติสโตก	35.67

ค่ากรด (Acid Values) หมายถึง จำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิกรัม) ที่ใช้ในการทำให้กรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันจำนวน 1 กรัมเป็นกลางพอดี ดังนั้น ค่ากรดจึงเป็นตัวบ่งชี้ระดับการหืนของน้ำมัน ถ้าค่ากรดสูง หมายความว่าน้ำมันถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันอิสระได้มาก ซึ่งค่ากรดจากตารางที่ 4.2 มีค่าเท่ากับ 17.36 มิลลิกรัม KOH/กรัม ค่ากรดไขมันอิสระมีค่าเท่ากับ 5.58 มิลลิกรัม/กรัม จะเห็นได้ว่าถ้าค่ากรดสูงจะทำให้ค่ากรดไขมันอิสระสูงไปด้วย ค่ากรดของน้ำมันสนุดำจาก จ. ระยองนี้ สูงกว่าค่ากรดที่กำหนดไว้โดยกรมธุรกิจพลังงาน คือ ต้องไม่สูงกว่า 0.80 มิลลิกรัม KOH/กรัม

สาเหตุอีกประการหนึ่งที่ค่ากรดและค่ากรดไขมันอิสระมีค่าสูง อาจเนื่องมาจากการขาดความอุดมสมบูรณ์ของพื้นที่เพาะปลูก และการขาดการดูแลขณะเพาะปลูก กล่าวคือ ถ้าน้ำมันเมล็ดสนุดำมาจากแหล่งที่แห้งแล้งจะมีค่ากรดและค่ากรดไขมันอิสระมากกว่าปกติ นอกจากนี้หากเก็บน้ำมันไว้ในสภาพที่ไม่เหมาะสม เช่น สัมผัสแสง และความร้อน จะเป็นตัวเร่งให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ทำให้เกิดการหืนได้เร็วขึ้น และสีของน้ำมันจะเข้มขึ้นได้ง่าย น้ำมันสนุดำที่มีค่ากรดและค่ากรดไขมันอิสระสูงยังมีแนวโน้มที่จะเกิดเป็นสบู่เมื่อนำไปทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน การเกิดสบู่จะทำให้ค่าความหนืดสูงขึ้น เกิดเป็นของเหลวคล้ายเจลและการแยกชั้น

ของกลีเซอรอลทำได้ยากขึ้น (Ma and Hanna: 1999) นอกจากนี้ค่า กรดที่สูงยังทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อห้องเผาไหม้อีกด้วย

ค่าสaponนิฟิเคชัน หมายถึง จำนวนโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (มิลลิกรัม) ที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์น้ำมันสบูดำหรือไตรกลีเซอไรด์จำนวน 1 กรัม อย่างสมบูรณ์ จึงใช้ค่าสaponนิฟิเคชันเป็นตัวบ่งชี้ว่าหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบของน้ำมัน น้ำมันสบูดำที่มีค่าสapon-นิฟิเคชันสูง หมายความว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของน้ำมันสบูดำมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ทำให้มีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (น้ำมันสบูดำ) ต่อหน่วยน้ำหนักมาก จึงต้องใช้ด่าง คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการไฮโดรไลซิสเป็นจำนวนมาก

ในทางตรงกันข้าม ถ้าน้ำมันสบูดำมีค่าสaponนิฟิเคชันต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของน้ำมันสบูดำมีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้มีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (น้ำมันสบูดำ) ต่อหน่วยน้ำหนักน้อย จึงต้องใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการไฮโดรไลซิสเป็นจำนวนน้อย จากตารางที่ 4.2 ค่าสaponนิฟิเคชันของน้ำมันสบูดำจากจังหวัดระยองเท่ากับ 199.19 มิลลิกรัม KOH/กรัม ซึ่งมากกว่างานวิจัยของ Foidl และคณะ (1996: 81) ที่วิเคราะห์ค่าสaponนิฟิเคชันจากน้ำมันสบูดำสองสายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ Carboverde และ สายพันธุ์ Nicaragua มีค่าเท่ากับร้อยละ 192.4 และ 190.1 มิลลิกรัม KOH/กรัม หมายความว่าน้ำมันสบูดำมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ (น้ำมันสบูดำ) ต่อหน่วยน้ำหนักมากกว่าน้ำมันสบูดำจากงานวิจัยของ Foidl และคณะ เนื่องจากต้องใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการไฮโดรไลซิสมากกว่า จึงทำให้ค่าสaponนิฟิเคชันสูงกว่า

สารส่วนที่ไม่สามารถสaponนิไฟได้ หมายถึง ส่วนที่เหลืออยู่ในน้ำมันสบูดำหลังการเกิดปฏิกิริยาสaponนิฟิเคชัน ได้แก่ สารพวกไฮโดรคาร์บอน คีโตน และแอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จากตารางที่ 4.2 ส่วนที่ไม่สามารถสaponนิไฟได้ของน้ำมันสบูดำจากจังหวัดระยองเท่ากับร้อยละ 1.02 เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Foidl และคณะ (1996: 81) ที่วิเคราะห์ส่วนที่ไม่สามารถสaponนิไฟได้ในน้ำมันสบูดำสองสายพันธุ์ คือ สายพันธุ์ Carboverde และ สายพันธุ์ Nicaragua มีค่าเท่ากับร้อยละ 1.08 และ 0.79 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งไม่เกินปริมาณที่สามารถมีได้ ซึ่งโดยปกติน้ำมันทั่วไปจะมีส่วนที่ไม่สามารถสaponนิไฟได้อยู่ไม่เกินร้อยละ 2 (นิธิยา รัตนูปนันท, 2548: 32) เนื่องจากหากมีมากเกินไปจะทำให้น้ำมันสบูดำที่ได้มีสารปนเปื้อนอื่น ๆ อยู่ในน้ำมัน มีผลต่อความบริสุทธิ์และคุณภาพของน้ำมันสบูดำ

ค่าไอโอดีน (Iodine Value) หมายถึง จำนวนไอโอดีนที่ทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของน้ำมันจำนวน 100 กรัม เป็นปฏิกิริยาเติมฮาโลเจนเข้าไปในพันธะคู่ของน้ำมัน โดยไอโอดีนจะถูกดูดซึมเข้าไปในพันธะคู่ ถ้าจำนวนพันธะคู่

มาก ไอโอดีนก็จะถูกดูดซึมมาก จากนั้นหาปริมาณไอโอดีนที่เหลือ เพื่อคำนวณหาปริมาณไอโอดีนที่ถูกดูดซึมเข้าไป ดังนั้นจึงใช้ค่าไอโอดีนเป็นตัวบอกว่าในน้ำมันมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบมากน้อยเท่าใด ถ้าค่าไอโอดีนสูงจะแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่มาก และจะเกิดการหืนได้ง่าย

นอกจากนี้ ค่าไอโอดีนยังแสดงให้เห็นถึงการเกิดยางเหนียวติดในเครื่องยนต์ กล่าวคือถ้ามีค่าไอโอดีนต่ำก็จะป้องกันการเกิดยางเหนียวในเครื่องยนต์ได้ แต่ค่าไอโอดีนที่สูงจะสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศได้ดีขึ้น ทำให้เกิดสารปนเปื้อนในน้ำมันและความบริสุทธิ์ของน้ำมันก็จะลดลง

จากการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ น้ำมันเมล็ดสนุดำจากวิสาหกิจชุมชน จ.ระยอง มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 94.48 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัม Wijs ซึ่งไม่สูงเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด คือไม่สูงกว่า 120 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัม Wijs (กรมธุรกิจพลังงาน, 2548) น้ำมันสนุดำจากจังหวัดระยองที่ได้นี้จึงมีความคงตัว ไม่ถูกออกซิไดส์โดยออกซิเจนในอากาศได้ง่าย จากค่าไอโอดีนที่ได้นี้จึงจัดน้ำมันสนุดำอยู่ในกลุ่มน้ำมันกึ่งหืนแห้ง (Semi-drying group) ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมทาสีบ้านได้

ความถ่วงจำเพาะ (30 องศาเซลเซียส) จะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำมันมีจำนวนพันธะคู่ที่ไม่เลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น หรือมีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเมล็ดสนุดำจากจังหวัดระยอง มีค่าเท่ากับ 0.906

ค่าความหนืด (40 องศาเซลเซียส) เป็นค่าที่ต้านทานการไหล จึงเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบระบบการขนถ่ายหรือขนส่งน้ำมัน ถ้าความหนืดมีค่าสูง จะทำให้ฉีดน้ำมันเป็นฝอยได้ยาก จุดไฟติดได้ยากขึ้น เมื่อใช้กับเครื่องยนต์โดยตรง การป้อนน้ำมันเข้าสู่ห้องเผาไหม้ก็จะลำบากขึ้น เพราะการพ่นเป็นละอองฝอยไม่ดี จึงเป็นผลให้การสันดาปไม่สมบูรณ์ เกิดเป็นกากคาร์บอนสะสมได้ ค่าความหนืดแปรผกผันกับอุณหภูมิ กล่าวคือ ความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น

ค่าความหนืดของน้ำมันสนุดำจากจังหวัดระยองมีค่าเท่ากับ 35.67 เซนติสโตก จัดว่ามีค่าสูงมาก เนื่องมาจากมวลโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมีที่ใหญ่ (Srivastava and Prasad: 2000) จากตารางที่ 4.2 พบว่ามวลโมเลกุลของน้ำมันสนุดำมีค่าเท่ากับ 281.14 ทำให้น้ำมันสนุดำมีความหนืดสูงนั่นเอง ดังนั้นจึงสามารถใช้น้ำมันสนุดำ (น้ำมันดิบ) ได้กับเครื่องยนต์รอบต่ำหรือเครื่องยนต์ทางการเกษตรเท่านั้น โดยผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ ที่เหมาะสม เช่น ผสมน้ำมันสนุดำร้อยละ 5-10 ในน้ำมันดีเซล เพื่อให้ความหนืดมีค่าลดลง

เนื่องจากน้ำมันสบูดำประกอบด้วยกรดไขมันที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 16-18 อะตอม (C:16-C:18) แต่น้ำมันดีเซลเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอน 8-10 อะตอม (C:8-C:10) ดังนั้น น้ำมันสบูดำจึงมีความหนืดกว่าน้ำมันดีเซลมาก หากต้องการนำน้ำมันสบูดำไปใช้กับเครื่องยนต์รอบสูงหรือรถยนต์ เพื่อทดแทนน้ำมันดีเซล ต้องนำน้ำมันสบูดำไปผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันให้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล จะทำให้ความหนืดลดลงจนอยู่ในช่วงตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน (3.5-5.0 เซนติสโตก)

4.2.2 คุณค่าทางอาหารของเมล็ดสบูดำจากวิสาหกิจชุมชน จ.ระยอง

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารพื้นฐานของตัวอย่างเมล็ดสบูดำ จากจังหวัดระยอง เพื่อพัฒนาในการนำไปเป็นอาหารสัตว์ โดยอ้างอิงจากวิธีมาตรฐาน AOAC (1995) ได้แก่

4.2.2.1 ปริมาณไขมัน (Crude Fat)

ปริมาณไขมัน เป็นองค์ประกอบหลักของเมล็ดสบูดำ ซึ่งวิเคราะห์ด้วยวิธี Direct Method (AOAC: 1995) โดยนำเมล็ดสบูดำบดละเอียด 2 กรัม มาวิเคราะห์ปริมาณไขมันด้วยเครื่องซอลล์เลต ใช้ปิโตรเลียมอีเทอร์เป็นตัวสกัดไขมัน ทำการสกัดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ซึ่งไขมันที่ได้นี้เรียกว่าไขมันหยาบ (Crude Fat) จากนั้น นำไขมันที่สกัดได้ไประเหยตัวทำละลายออกด้วยการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน ทำให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ ซึ่งน้ำหนักไขมันที่ได้แล้วคำนวณหาร้อยละของไขมัน

4.2.2.2 ปริมาณโปรตีน (Protein)

ปริมาณโปรตีน สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธี Copper Catalyst Kjeldahl (AOAC: 1995) โดยการนำเมล็ดสบูดำบดละเอียด 1 กรัม เติมตัวเร่งปฏิกิริยา (คัตตาลิส) ได้แก่ คอปเปอร์ซัลเฟตแอนไฮดรัส โพแทสเซียมซัลเฟต และกรดซัลฟูริก นำไปให้ความร้อนและย่อยจนกระทั่งเมล็ดสบูดำถูกย่อยหมด จะได้สารละลายสีฟ้าใส จากนั้นนำสารละลายไปกลั่น และไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล โดยใช้สารละลายเมธิลเรด เป็นอินดิเคเตอร์ และต้องเตรียมแบลงค์ (Blank) ไปพร้อมกันด้วย จากนั้นคำนวณค่าโปรตีนที่ได้

4.2.2.3 ปริมาณเส้นใย (Crude Fiber)

ปริมาณเส้นใย สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธี Indirect Method (AOAC: 1995) เส้นใย คือ ส่วนประกอบของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายและเหลืออยู่หลังจากที่เมล็ดสบูดำผ่านขั้นตอนการสกัดด้วยสารชนิดต่างๆ ได้แก่ ปิโตรเลียมอีเทอร์ กรดซัลฟูริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนที่เหลือจากการสกัดจะเป็นเส้นใยหรืออาจมีแร่ธาตุปนอยู่ด้วย องค์ประกอบหลักของเส้นใยคือ เซลลูโลส

4.2.2.4 ปริมาณเถ้า (Ash)

ปริมาณเถ้า สามารถวิเคราะห์ด้วยวิธี Indirect Method (AOAC: 1995) โดยการนำเมล็ดสับดำ 2 กรัม ใส่ลงในครุชเชิล นำมาให้ความร้อนบนแผ่นให้ความร้อน (Hot Plate) จนกระทั่งควันจากเมล็ดสับดำระเหยออกหมด จากนั้นจึงนำไปเผาในเตาเผา ณ อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนเหลือแต่เถ้าซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ ซึ่งน้ำหนักและคำนวณปริมาณเถ้า

ผลการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของเมล็ดสับดำ แสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของเมล็ดสับดำจากวิสาหกิจชุมชน จ.ระยอง

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่ได้
ไขมัน (Crude Fat)	ร้อยละ	47.18
โปรตีน (Crude Protein)	ร้อยละ	31.75
เส้นใย (Crude Fiber)	ร้อยละ	7.14
ความชื้น (Moisture Content)	ร้อยละ	4.34
เถ้า (Ash)	ร้อยละ	5.44

วิเคราะห์คุณค่าทางอาหารที่เหมาะสมต่อการนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน (Crude Protein) ความชื้น (Moisture Content) และเถ้า (Ash)

การพิจารณานำไปเป็นอาหารสัตว์สามารถอ้างอิงจาก สารานุกรมสำหรับเยาวชนไทย เล่ม 14 (2550) ซึ่งกำหนดปริมาณสารอาหารในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ได้แก่ ถั่วเหลือง ในงานวิจัยนี้ได้นำมาใช้ในการอ้างอิง โดยในกากถั่วเหลืองต้องมี

โปรตีนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 42

ความชื้นไม่เกินร้อยละ 13

กากไม่เกินร้อยละ 8

เถ้าไม่เกินร้อยละ 8

ปริมาณไขมัน จากตารางที่ 4.3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 47.18 โดยน้ำหนักแห้ง มีค่าน้อยกว่าเล็กน้อย เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Akintayo (2004) ซึ่งได้ปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 47.25 จากปริมาณไขมันที่สูงนี้ จึงควรนำเมล็ดสบูดำไปใช้ในการสกัดน้ำมันเพื่อนำน้ำมันไปใช้ประโยชน์ก่อนที่จะนำไปเป็นอาหารสัตว์ จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากเมล็ดสบูดำได้อย่างเต็มที่และเกิดประโยชน์สูงสุด

ปริมาณโปรตีน จากตารางที่ 4.3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 31.75 ซึ่งมีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Gubitz, Mittelbach และ Trabi (1999: 77) ได้ปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 22.2-27.2 และงานวิจัยของ Akintayo (2004) ได้ปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 24.6 นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยพืชได้อย่างเหมาะสม แต่ทั้งนี้ความเหมาะสมของปริมาณโปรตีนขึ้นอยู่กับความต้องการที่เหมาะสมของพืชแต่ละชนิด

ปริมาณเส้นใย มีความสำคัญต่อระบบการย่อยและขับถ่ายของเสียของสัตว์ ถ้ามีเส้นใยน้อยก็จะเป็นปัญหาต่อระบบขับถ่ายของสัตว์ จากตารางที่ 4.3 ปริมาณเส้นใยของเมล็ดสบูดำมีค่าเท่ากับร้อยละ 7.14 ซึ่งมีค่ามากกว่า เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Gubitz, Mittelbach และ Trabi (1999: 77) ได้ปริมาณเส้นใยเท่ากับร้อยละ 3.6-4.3 จากปริมาณเส้นใยของเมล็ดสบูดำนี้ จึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปเป็นอาหารสัตว์ เพราะมีปริมาณเส้นใยน้อยเกินไป นอกจากนี้ปริมาณเส้นใยที่วิเคราะห์ได้ไม่ได้ระบุว่าเป็นเส้นใยประเภทใด เช่น เซลลูโลส (Cellulose) เพคติน (Pectin) หรือ เฮมิเซลลูโลส (HemiCellulose) ซึ่งสัตว์แต่ละชนิดจะสามารถย่อยเส้นใยได้แตกต่างกัน

ปริมาณความชื้นเป็นค่าที่แสดงถึงอายุในการเก็บรักษาเมล็ดสบูดำ กล่าวคือ เมล็ดสบูดำที่มีความชื้นน้อยจะสามารถเก็บรักษาได้นานกว่าเมล็ดสบูดำที่มีความชื้นมาก จากตารางที่ 4.3 มีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 4.34 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า เมื่อเทียบกับงานวิจัยของ Akintayo (2004) ได้ปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 5.54 และงานวิจัยของ Makkar, Aderibigbe และ Becker (1998) ได้ปริมาณความชื้นเท่ากับร้อยละ 5.80 ดังนั้น เมล็ดสบูดำจากจังหวัดระยองจึงสามารถเก็บรักษาได้นาน โดยไม่เกิดการเน่าหรือเกิดเชื้อรา

ปริมาณเถ้า จากตารางที่ 4.3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 5.44 ซึ่งไม่สูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด ปริมาณเถ้านี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการพิจารณาเพื่อนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์

ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบปริมาณสารอาหารในเมล็ดสบูดำ มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 31.75 ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดสำหรับสารอาหารในวัตถุดิบอาหารสัตว์ ปริมาณความชื้นร้อยละ 4.34 และปริมาณเถ้าร้อยละ 5.44 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด สรุปว่าเมล็ดสบูดำจากจังหวัดระยองมีความเป็นไปได้ในการนำไปเป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากมีปริมาณความชื้นและปริมาณเถ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ควรจะวิเคราะห์เพิ่มเติมในส่วนของโปรตีนที่สามารถย่อยได้

(Protein Digestion) เพราะโปรตีนที่วิเคราะห์ได้เป็นค่าโปรตีนหยาบ (Crude Protein) เนื่องจากระบบการย่อยของสัตว์แต่ละชนิดแตกต่างกัน และเพื่อตรวจสอบดูว่าร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้ (Digestibility) มากหรือน้อย และควรกำจัดสารเคอร์ซินซึ่งเป็นสารพิษของแมลงศัตรูพืช โดยการนำไปผ่านความร้อน เพื่อให้สารพิษสลายตัว ก่อนที่จะนำไปเป็นอาหารสัตว์

4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำด้วยตัวทำละลาย

4.3.1 ชนิดและปริมาณของตัวทำละลายที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ

ศึกษาการสกัดน้ำมันโดยดัดแปลงจากวิธีของสุภาวดี ชุกกลิ่น (2547: 35) โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 3×3 ขั้นตอนการศึกษามีดังนี้

ซึ่งเนื้อในเมล็ดสบู่ดำ 2 กรัม ใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด ได้แก่ นอร์มัลเฮกเซน, ปีโตรเลียมอีเทอร์ และน้ำ โดยกำหนดอัตราส่วนของเนื้อในเมล็ดสบู่ดำต่อปริมาณตัวทำละลาย คือ 1:4, 1:6, 1:8 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 3 ชั่วโมง กรองด้วยกระดาษกรอง นำน้ำมันที่สกัดได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยตัวทำละลายออกคำนวณร้อยละของน้ำมันที่สามารถสกัดได้

วิเคราะห์ค่าเฉลี่ยร้อยละของน้ำมันไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Sirichai Statistics โดยใช้สถิติ DMRT ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงร้อยละของปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดและอัตราส่วนต่างๆ กัน ที่อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

ตัวทำละลาย อัตราส่วน	เฮกเซน	ปีโตรเลียมอีเทอร์	น้ำ
1:4	44.21 ^a	42.00 ^a	8.76 ^f
1:6	45.35 ^b	44.51 ^{bc}	8.20 ^f
1:8	49.26 ^a	45.12 ^{bc}	15.16 ^e

หมายเหตุ : ^{ab} ตัวอักษรที่ต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.4 เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณน้ำมันด้วยโปรแกรม Sirichai Statistics โดยใช้สถิติ Duncan's Multiple-Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่า การสกัดน้ำมันโดยใช้นอร์มัลเฮกเซน ที่อัตราส่วน 1:8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีค่าสูงที่สุดและมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับตัวทำละลายอีกสองชนิด คือ บีโตรเลียมอีเทอร์ และน้ำ และอัตราส่วนอื่น ๆ คือ 1:4 และ 1:6

ดังนั้น ชนิดตัวทำละลายและอัตราส่วนที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมัน คือ นอร์มัลเฮกเซน อัตราส่วน 1:8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพราะสามารถนำมาเป็นตัวทำละลายในการสกัดน้ำมันแล้วได้ปริมาณน้ำมันสูงที่สุด คือ ร้อยละ 49.26

นอร์มัลเฮกเซนเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในกระบวนการสกัดน้ำมัน เนื่องจากละลายสารที่ต้องการสกัดได้ดี ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการสกัด ไม่ละลายสิ่งเจือปนหรือสารที่ไม่ต้องการ ไม่เป็นพิษต่อผู้ใช้และไม่ทำให้เกิดการกัดกร่อน นอกจากนั้นนอร์มัลเฮกเซนมีจุดเดือดไม่สูงมากนัก คือ 60 องศาเซลเซียส ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้อุณหภูมิและพลังงานสูงในการระเหยออกจากเมล็ดสับดำหรือสารตัวอย่างที่ถูกสกัดเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Recovery) ได้ง่าย สิ่งสำคัญอีกประการหนึ่ง คือ หาได้ง่ายและราคาถูก (สมบัติ ชินะวงศ์, 2548: 36-40)

แม้ว่าจะมีตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่นที่สามารถใช้ในการสกัดน้ำมันได้ เช่น เฮปเทน (Heptane) เป็นต้น แต่เฮปเทนจุดเดือดสูง คือ 88 - 99 องศาเซลเซียส ดังนั้น จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงและใช้พลังงานมากในการระเหยและแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมัน

แต่นอร์มัลเฮกเซนมีข้อเสีย คือ สามารถติดไฟได้ จึงควรระวังในการใช้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดไฟลุกหรือระเบิดในระหว่างปฏิบัติงาน

อีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสับดำ คือ ปริมาณตัวทำละลาย ถ้าใช้ตัวทำละลายในปริมาณมากย่อมสามารถสกัดน้ำมันออกจากเมล็ดสับดำได้มากกว่าการสกัดโดยใช้ปริมาณตัวทำละลายน้อย การเลือกใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวทำละลายต่อปริมาณเมล็ดสับดำขึ้นอยู่กับบททดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณตัวทำละลายและเมล็ดสับดำ ซึ่งจากการทดลองนี้ พบว่าอัตราส่วนเมล็ดสับดำ: นอร์มัลเฮกเซน เท่ากับ 1:8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีประสิทธิภาพดีกว่าการสกัดน้ำมันที่อัตราส่วนเมล็ดสับดำ: นอร์มัลเฮกเซน 1:4 และ 1:6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

เมื่อพิจารณาคอนสมบัติทางกายภาพของนอร์มัลเฮกเซนนี้รวมกับผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองด้วยโปรแกรม Sirichai Statistics จึงสรุปได้ว่า เมล็ดสับดำต่อนอร์มัลเฮกเซน อัตราส่วน 1:8 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) มีความเหมาะสมต่อการตัดสินใจนำมาใช้เป็นตัวทำ

ละลายในขั้นตอนต่อไปของการศึกษา คือ ขั้นตอนศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสับดำด้วยตัวทำละลาย

สำหรับตัวทำละลายอีกสองชนิดที่ศึกษาคือ น้ำและปิโตรเลียมอีเทอร์ที่ไม่ถูกเลือกเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป สามารถวิเคราะห์ถึงสาเหตุได้ดังนี้

การสกัดน้ำมันโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย แม้ว่าจะมีข้อดีคือ ไม่ติดไฟ และมีการวิจัยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสับดำ แต่จากการทดลองนี้พบว่าน้ำไม่เหมาะสมในการสกัดน้ำมัน เนื่องจากน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว ในขณะที่น้ำมันเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว จึงทำให้น้ำสามารถละลายน้ำมันจากเมล็ดสับดำออกมาได้ในปริมาณน้อย หากต้องการใช้น้ำมาเป็นตัวทำละลาย อาจจะต้องมีการปรับ pH หรือเติมสารเคมีบางชนิดเพื่อเพิ่มผลผลิต แต่ขั้นตอนนี้ไม่เป็นที่ยอมรับในเชิงพาณิชย์ เนื่องจากน้ำมีจุดเดือด 100 องศาเซลเซียส จึงต้องใช้พลังงานมากในการแยกน้ำออกจากน้ำมัน และการระเหยตัวทำละลายด้วยการอบแห้ง

สำหรับปิโตรเลียมอีเทอร์ แม้จะเป็นตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้เป็นตัวทำละลายในการสกัดน้ำมัน แต่ก็มีข้อเสียคือ มีจุดเดือดต่ำ 40-60 องศาเซลเซียส และสามารถระเหยได้ง่ายที่อุณหภูมิห้อง ทำให้สูญเสียปิโตรเลียมอีเทอร์ในขั้นตอนการสกัด เช่น ขั้นตอนถ่ายเทสารระหว่างภาชนะ เป็นต้น รวมทั้งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้น้อยกว่าเฮกเซนเพราะระเหยได้ง่ายกว่าเฮกเซน จึงทำให้สิ้นเปลืองวัตถุดิบและงบประมาณในการสกัดมากกว่าใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย

นอกจากนี้ ข้อดีของการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายคือ สามารถสกัดน้ำมันออกมาจากเมล็ดได้เกือบทั้งหมด โดยเหลือน้ำมันตกค้างอยู่ในกากประมาณร้อยละ 0.05 เท่านั้น (อาชัย พิทยภาคย์, 2003:9-20) ซึ่งแม้จะเป็นการลงทุนที่สูงในครั้งแรก แต่ผลผลิตที่ได้สมควรแก่การพิจารณาเพื่อการลงทุนในระดับอุตสาหกรรม

4.3.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสับดำด้วยตัวทำละลาย

ศึกษาการสกัดน้ำมันโดยดัดแปลงจากวิธีของสุภาชิต ชุกกลิ่น (2547) โดยวางแผนการทดลองแบบแฟคทอเรียล 2×4 (3 ซ้ำ) ขั้นตอนการศึกษามีดังนี้

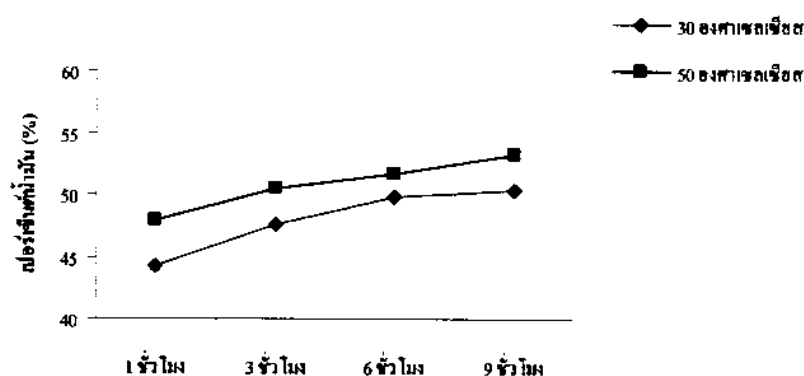
ชั่งเนื้อในเมล็ดสับดำ 2 กรัม ใช้ตัวทำละลายคือ นอร์มัลเฮกเซน อัตราส่วนของเนื้อในเมล็ดสับดำต่อนอร์มัลเฮกเซน คือ 1:8 (โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าเป็นเวลา 1, 3, 6 และ 9 ชั่วโมง อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด 2 ระดับ ได้แก่ อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส กรองด้วยกระดาษกรอง นำน้ำมันที่สกัดได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 ± 5 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยตัวทำละลายออก คำนวณปริมาณร้อยละของน้ำมันที่สามารถสกัดได้

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยการนำค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณน้ำมันไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Sirichai Statistics โดยใช้สถิติ Duncan's Multiple-Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.5 และแสดงผลเป็นเส้นกราฟดังรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.5 ผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมัน (ร้อยละของน้ำมัน) อัตรารส่วนเนื้อในเมล็ดสับดำต่อนอร์มัลเฮกเซนเท่ากับ 1:8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

เวลา \ อุณหภูมิ	30 องศาเซลเซียส	50 องศาเซลเซียส
1 ชั่วโมง	44.20 ^a	47.97 ^a
3 ชั่วโมง	47.64 ^a	50.50 ^b
6 ชั่วโมง	48.65 ^d	51.35 ^a
9 ชั่วโมง	49.65 ^c	51.66 ^a

หมายเหตุ : ^{ab} ตัวอักษรที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)



ภาพที่ 4.2 แสดงผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันด้วยนอร์มัลเฮกเซน

จากตารางที่ 4.5 ทำการศึกษาผลของอุณหภูมิและเวลาที่มีต่อประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดสับดำด้วยนอร์มัลเฮกเซน พบว่า การสกัดโดยใช้เวลานานและอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิห้อง (อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส) จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัดน้ำมัน ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันมากขึ้น และเมื่อนำค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณน้ำมันที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

Sirichai Statistics โดยใช้สถิติ Duncan's Multiple-Range Test (DMRT) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 แล้ว ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสับดูดำด้วยนอร์มัลเฮกเซน คือ อัตราส่วนสับดูดำต่อนอร์มัลเฮกเซน เท่ากับ 1 : 8 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง

แม้ว่าการสกัดโดยใช้เวลา 9 ชั่วโมง จะให้ปริมาณน้ำมันมากกว่าการสกัดโดยใช้เวลา 6 ชั่วโมงก็ตาม แต่เมื่อวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติแล้ว พบว่าการสกัดที่เวลา 6 ชั่วโมงไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับการสกัดที่เวลา 9 ชั่วโมง ดังนั้น จึงเลือกใช้สภาวะดังกล่าวเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสับดูดำด้วยตัวทำละลาย เนื่องจากจะประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานและลดเวลาที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน

ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย คือ อุณหภูมิในการสกัด จากการศึกษาผลของอุณหภูมิในการสกัดต่อประสิทธิภาพของการสกัดด้วยตัวทำละลายในเมล็ดพืช เช่น เมล็ดถั่วเหลือง และเมล็ดทานตะวัน พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของตัวทำละลายแล้วประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันจะดีขึ้น อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันในเมล็ดพืชโดยทั่วไปประมาณ 60 องศาเซลเซียส (สมบัติ ชินะวงศ์, 2548: 36-40) แต่การใช้อุณหภูมิสูงมากก็มีข้อเสีย คือ สิ้นเปลืองพลังงานในการให้ความร้อน และอาจจะเกิดจุดเดือดของตัวทำละลาย ทำให้ตัวทำละลายระเหยได้มากขึ้นเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณโดยไม่จำเป็น

เวลาที่ใช้ในการสกัดน้ำมัน เป็นอีกปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย จากงานวิจัยของแอนนา สายมณีรัตน์ และคณะ (2547) ที่ทำการทดลองสกัดน้ำมันสับดูดำด้วยนอร์มัลเฮกเซน พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้มากที่สุดอยู่ในช่วงเวลา 3 ชั่วโมงแรกของการสกัดน้ำมัน เมื่อเวลาในการสกัดมากขึ้น พบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้จะค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่มากขึ้น

4.4 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสับดูดำ

4.4.1 การหาปริมาณที่แน่นอนของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันนั้น ต้องใช้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) คือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ให้ทำปฏิกิริยาพอดีกับน้ำมันสับดูดำ จึงต้องมีการไทเทรตเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาก่อนนำมาผลิตจริง เพราะน้ำมันสับดูดำจากแต่ละพื้นที่มีคุณสมบัติต่างกัน เช่น ค่ากรดไขมันอิสระ เป็นต้น หากใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์น้อยเกินไปปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจะเกิดไม่สมบูรณ์ ทำให้มีน้ำมันสับดูดำบางส่วนไม่เกิดปฏิกิริยา

และถ้าใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากเกินไป จะเกิดของเหลวคล้ายเจลและไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอริน

ขั้นตอนการหาปริมาณโพแทสเซียมที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน มีดังนี้ ปิเปตน้ำมันสุุดำ 1 มิลลิลิตร เติมไฮโซโพรพิล แอลกอฮอล์ 10 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟทา ลีน เป็นอินดิเคเตอร์ ไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.01 เปอร์เซ็นต์ จนกระทั่ง เกิดสีชมพูคงตัวนาน 10 วินาที คำนวณปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (กรัม) ที่ใช้ในการ เกิดปฏิกิริยาพอดี

ดังนั้น ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริ ฟิเคชันของน้ำมันสุุดำจากวิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทนจากสุุดำ จังหวัดระยอง จากการ ไทเทรตเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสม คือ ต้องใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ประมาณ 27 กรัม ต่อน้ำมัน สุุดำ 1,000 กรัม

น้ำมันสุุดำจากจังหวัดระยองมีค่ากรดไขมันอิสระมาก (5.58 มิลลิกรัม/กรัม) ทำให้ต้องใช้ ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ถึง 27 กรัม ต่อน้ำมันสุุดำ 1,000 กรัม ซึ่งมากกว่าการใช้ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลของ Foidl และคณะ (1996: 77-82) ที่ใช้ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพียง 15 กรัม ต่อน้ำมันสุุดำ 1,000 กรัม เหตุผลที่ต้องใช้โพแทสเซียมไฮ- ดรอกไซด์หรือตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณที่มากขึ้น เพราะต้องการทำให้กรดไขมันอิสระเป็นกลาง (Neutralizing) เสียก่อน ดังนั้น การจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณเท่าใดจึงขึ้นอยู่กับว่าน้ำมันสุุดำ ามีความเป็นกรดมากน้อยเพียงใด

4.4.2 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสุุดำ

การสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสุุดำ โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Foil และ คณะ (1996) ใช้ไขมันดิบ (น้ำมันสุุดำ) 1,000 กรัม ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน กับ สารละลายเมทานอล 240 กรัม และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 27 กรัม กวนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเป็น เวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นถ่ายใส่ถ้วยแยก จะเกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลและกลีเซอริน ซึ่งอยู่ข้างล่างและมีสีเข้มกว่าไบโอดีเซลที่อยู่ข้างบน โดยน้ำมันไบโอดีเซลจะไม่ใสในตอนแรก ต้อง ตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาต่ออย่างช้าๆ ประมาณ 5 ชั่วโมงขึ้นไป น้ำมันไบโอดีเซลจะเริ่มใสจาก ส่วนบนลงมา จนกระทั่งใสทั้งหมด ใช้เวลาประมาณ 8 ชั่วโมง ถึง 1 คืน

เมทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่ราคาถูกกว่าเอทานอลจึงเป็นที่นิยมมากกว่า และการทำ ปฏิกิริยาก็ง่ายกว่า เพราะโมเลกุลมีขนาดเล็กกว่า โดยใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 50-55 องศา เซลเซียส หากเป็นเอทานอลจะให้อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส

ตัวเร่งปฏิกิริยา อาจใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ก็ได้ แต่แม้ว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีราคาถูกกว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ แต่โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์นั้นมีความรุนแรงที่จะเกิดอันตรายน้อยกว่าและได้ผลพลอยได้คือ สบู่เหลวลีเซอริน (ที่ได้จากโพแทสเซียม) และเป็นปุ๋ยที่ดีต่อพืชอีกด้วย หากใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ก็จะได้สบู่ก้อนแข็งหนืดและเหนียว

ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการที่ 4.1



ภาพที่ 4.3 น้ำมันไบโอดีเซลหลังจากถ่ายใส่กรวยแยกและตั้งทิ้งไว้ 1 คืน

หลังจากตั้งน้ำมันไบโอดีเซลทิ้งไว้ 1 คืน จะได้น้ำมันไบโอดีเซล คือส่วนใสที่อยู่ส่วนบนและกลีเซอรินที่มีสีเข้มกว่าอยู่ส่วนล่าง ไขส่วนกลีเซอรินที่อยู่ด้านล่างทิ้ง และล้างชั้นไบโอดีเซลด้วยน้ำกลั่นอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส 3 ครั้ง เพื่อกำจัดเมทานอล, โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์และสบู่ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา และเพื่อให้น้ำมันไบโอดีเซลมีความบริสุทธิ์และมีประสิทธิภาพที่ดี จากนั้นชั่งน้ำหนักน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน ได้น้ำมันไบโอดีเซล 806 กรัม คิดเป็นร้อยละ 80.6 ไบโอดีเซลที่ได้จากการใช้เมทานอล จะเรียกว่า เมทิลเอสเทอร์ (Methyl Esters)

การที่ต้องล้างน้ำมันไบโอดีเซลก่อนนำไปใช้งาน เนื่องจากตัวเร่งปฏิกิริยาหรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์นี้จะมีคุณสมบัติและสภาพเหมือนเดิมหลังจากปฏิกิริยาลิ้นสุดลง และจะทำให้มีตัวเร่งปฏิกิริยาปนออกมากับไบโอดีเซล ดังนั้นจึงต้องล้างน้ำมันไบโอดีเซลก่อนการใช้งาน ไม่เช่นนั้นน้ำมันไบโอดีเซลจะมีสภาพเป็นต่างและอาจกัดกร่อนทำลายเครื่องยนต์ได้

อีกประการหนึ่งคือ เมทานอลที่เป็นส่วนเกินจากการทำปฏิกิริยาในน้ำมันไบโอดีเซลสามารถทำให้เกิดการสึกหรอส่วนที่เป็นยางในน้ำมันได้ และมีส่วนทำให้จุดวาบไฟของไบโอดีเซลต่ำลงอันอาจมีผลต่อความปลอดภัย และอาจไม่ผ่านมาตรฐานตามที่กรมธุรกิจพลังงานกำหนด การล้างน้ำมันไบโอดีเซลจึงเป็นวิธีที่มีส่วนช่วยลดปริมาณเมทานอลลง นอกจากนี้การล้างไบโอดีเซลด้วยน้ำ ยังสามารถช่วยล้างสิ่งสกปรกอื่น ๆ เช่น คราบไขสบู่ในน้ำมันไบโอดีเซลออกได้ ซึ่งอาจทำให้ปนเปื้อนในไบโอดีเซล

เนื่องจากน้ำมันสบู่ดำจากวิสาหกิจชุมชนพลังงานทดแทนจากสบู่ดำ จังหวัดระยอง มีค่ากรดไขมันอิสระ 5.53 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานที่เหมาะสมสำหรับการเกิดปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จึงทำให้ได้ปริมาณน้ำมันไบโอดีเซลแตกต่างจากงานวิจัยของ Foil และคณะ (1996) ซึ่งสามารถสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำได้ผลผลิตร้อยละ 88.4 เนื่องมาจากน้ำมันสบู่ดำจากจังหวัดระยองมีค่ากรดไขมันอิสระสูง ทำให้น้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากน้ำมันสบู่ดำส่วนหนึ่งจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ระหว่างน้ำมันและเบส (โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์) เกิดเป็นสบู่ขึ้น ทำให้สูญเสียสารตั้งต้นคือน้ำมันสบู่ดำไปส่วนหนึ่งจากปฏิกิริยาข้างเคียงนี้ (Ma and Hanna: 1999)

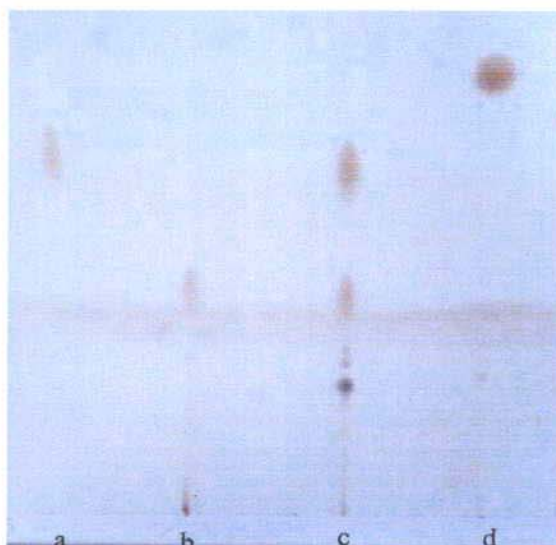
4.5 การศึกษาองค์ประกอบของน้ำมันไบโอดีเซล

4.5.1 วิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลบนเพลาทิจิลิกาเจล

น้ำมันหรือไขมันที่พบในพืชเป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) เป็นองค์ประกอบหลัก ประมาณร้อยละ 90-98 มีไดกลีเซอไรด์ (Diglycerides) และโมโนกลีเซอไรด์ (Monoglycerides) อยู่เพียงเล็กน้อย มีกรดไขมันอิสระร้อยละ 1-5 นอกจากนี้ยังประกอบด้วยฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) ฟอสฟาไทด์ (Phosphatides) และน้ำจำนวนอีกเล็กน้อย การวิเคราะห์องค์ประกอบของน้ำมันด้วยวิธีทางโครมาโทกราฟี เป็นเทคนิคทางเคมีที่สำคัญที่ช่วยจำแนกส่วนประกอบของสารตัวอย่าง โดยใช้หลักการคือ สารประกอบต่างชนิดที่อยู่ในน้ำมันมีความสามารถที่แตกต่างกันในการละลายในตัวทำละลายชนิดหนึ่งๆ

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Thin Layer Chromatography (TLC) เป็นการวิเคราะห์เชิงคุณภาพในเบื้องต้น เพื่อให้ทราบว่าเมทิลเอสเทอร์ที่ได้มีความบริสุทธิ์มากน้อยเพียงใด และมีน้ำมันสนุดำที่ไม่ได้ถูกทำปฏิกิริยาเหลืออยู่มากน้อยเท่าใด โดยใช้ซิลิกาเจลซึ่งเคลือบอยู่บนแผ่นกระจกเป็นเฟสอยู่กับที่ (Stationary Phase) และใช้นอร์มัลเฮกเซน ผสมกับไดเอทิลอีเทอร์และกรดอะซิติก ในอัตราส่วน 80: 20: 1 โดยปริมาตร เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) เทเฟสเคลื่อนที่ใส่โหลแก้วสี่เหลี่ยมให้มีความสูงประมาณ 1 เซนติเมตร ปิดฝาแล้วทิ้งไว้ให้อิ่มตัวที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที

หยดตัวอย่างของน้ำมันสนุดำ กรดไขมัน ส่วนที่ไม่สามารถสaponนิไฟด์ได้ และเมทิลเอสเทอร์ ให้เป็นจุดเล็กๆ บนแผ่นกระจกที่เคลือบซิลิกาเจล แล้วจุ่มแผ่นซิลิกาในโหลแก้วที่มีเฟสเคลื่อนที่อยู่ ทิ้งไว้ให้อิ่มตัว และสารตัวอย่างมีการแยกจากกันตาม Retention Time จากนั้นเป่าแผ่นซิลิกาให้แห้ง และสเปรย์กรดออร์โธฟอสฟอริกลงบนแผ่นซิลิกาจนทั่วแผ่น นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำออกมาจากตู้อบและจะพบโครมาโทแกรมปรากฏบนแผ่นซิลิกาเจล ผลการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ ด้วยเทคนิค TLC

หมายเหตุ: a หมายถึง ส่วนที่ไม่สามารถสaponนิไฟด์ได้

b หมายถึง กรดไขมัน

c หมายถึง น้ำมันสนุดำ

d หมายถึง เมทิลเอสเทอร์

เมื่อวิเคราะห์ความบริสุทธิ์ของเมทิลเอสเทอร์ ด้วยเทคนิค Thin Layer Chromatography (TLC) โดยเปรียบเทียบกับส่วนที่ไม่สามารถสaponifiy ได้ (a) กรดไขมัน (b) น้ำมันสบู่ดำดิบ (ไตรกลีเซอไรด์) (c) และเมทิลเอสเทอร์ (d) จากรูปที่ 4.4 พบว่า เมทิลเอสเทอร์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน ไม่มีส่วนที่ไม่สามารถสaponifiy ได้ กรดไขมัน และน้ำมันสบู่ดำดิบตกค้างอยู่เลย แสดงให้เห็นว่าน้ำมันดิบหรือไตรกลีเซอไรด์ถูกเปลี่ยนให้เป็นเมทิลเอสเทอร์ทั้งหมด แต่การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้เป็นเพียงการวิเคราะห์เชิงคุณภาพแบบหยาบ ๆ เท่านั้น ซึ่งในขั้นต่อไปควรนำเมทิลเอสเทอร์ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี เพื่อจะได้ทราบถึงองค์ประกอบที่แน่นอนของน้ำมันและกรดไขมัน

4.4.2 วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ดัดแปลงจากวิธีของ Martinez และคณะ (2005)

เตรียมเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันไบโอดีเซล 100 มิลลิกรัม เติมเมทิลเตตราเดคาโนเอทในเฮปเทน (Methyl Heptadecanoate in Heptane) 2 มิลลิลิตร วิเคราะห์กรดไขมันของเมทิลเอสเทอร์ โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น 17A version 3 โดยใช้คัปิลลารีคอลัมน์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร ยาว 30 เมตร โดยคำนวณร้อยละของกรดไขมันได้จากพื้นที่ใต้กราฟของโครมาโทแกรมในแต่ละพีค (Peak) ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงส่วนประกอบของกรดไขมัน

กรดไขมัน	หน่วย	ค่าที่ได้
กรดปาล์มมิติก (Palmitic Acid) (C16:0)	ร้อยละ	16.88
กรดปาล์มมิโทเลอิก (Palmitoleic Acid) (C16:1)	ร้อยละ	0.82
กรดสเตียริก (Stearic Acid) (C18:0)	ร้อยละ	4.62
กรดโอเลอิก (Oleic Acid) (C18:1)	ร้อยละ	44.11
กรดไลโนเลอิก (Linoleic Acid) (C18:2)	ร้อยละ	33.12

ส่วนประกอบของกรดไขมันในเมทิลเอสเทอร์ จะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ของสบู่ดำ แหล่งที่เพาะปลูก สภาพของการเพาะปลูก ความแก่-อ่อนของเมล็ด รวมถึงฤดูกาลด้วย

กรดไขมันเป็นส่วนประกอบเล็กๆ ในน้ำมันพืช จัดเป็นสารประกอบอินทรีย์ ที่มีกลุ่มคาร์บอกซิลิก (-COOH) เป็นองค์ประกอบหลัก แต่ต่างกันที่จำนวนของคาร์บอนในโมเลกุล กรดไขมันจะต้องมีคาร์บอนมากกว่า 12 ตัว เป็นต้นไป สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

4.4.2.1 กรดไขมันอิ่มตัว (Saturated Fatty Acid) เป็นกรดไขมันที่คาร์บอนในโมเลกุลไม่สามารถมีไฮโดรเจนเข้าไปจับในโมเลกุลได้อีก แขนของคาร์บอนเป็นแขนเดี่ยว ไขมันชนิดนี้จะจับตัวแข็ง เมื่อถูกความเย็นเพียงเล็กน้อย เช่น กรดลอริก (Lauric Acid), กรดปาล์มมิติก (Palmitic Acid) และ กรดสเตียริก (Stearic Acid) เป็นต้น

4.4.2.2 กรดไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated Fatty Acid) เป็นกรดไขมันที่คาร์บอนในโมเลกุลมีไฮโดรเจนจับเกาะไม่เต็มที่ สามารถรับไฮโดรเจนเข้าไปจับในโมเลกุลได้อีก พันธะของคาร์บอนจะมีทั้งพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ ซึ่งจำนวนพันธะคู่ที่มีในโมเลกุลนี้ ทำให้แบ่งประเภทของกรดไขมันไม่อิ่มตัวออกได้อีก 2 ประเภท คือ

1) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว (Monounsaturated Fatty Acid) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่เพียง 1 ตำแหน่ง ไขมันชนิดนี้จะเป็นของเหลวไม่จับตัวแข็ง แม้อุณหภูมิจะเย็นลง เช่น กรดโอเลอิก (Oleic Acid) กรดปาล์มมิโทเลอิก (Palmitoleic Acid) เป็นต้น

2) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน (Polyunsaturated Fatty Acid) เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 ตำแหน่ง เช่น กรดไลโนเลอิก (Linoleic Acid) และกรดไลโนเลนิก (Linolenic Acid) เป็นต้น

การวิเคราะห์ส่วนประกอบของไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าเมทิลเอสเทอร์จากจังหวัดระยอง ประกอบด้วย กรดปาล์มมิติกร้อยละ 16.88 กรดปาล์มมิโทเลอิกร้อยละ 0.82 กรดสเตียริกร้อยละ 4.62 กรดโอเลอิกร้อยละ 44.11 กรดไลโนเลอิกร้อยละ 33.12

เมื่อแบ่งตามการอิ่มตัวของกรดไขมัน ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 21.50 และกรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 78.50 ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวในพืชน้ำมันชนิดอื่นมักจะเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิ่มตัว แต่สบู่ดำมีสารแอนติออกซิแดนท์ (Antioxidant) เป็นองค์ประกอบ ทำให้ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวเปลี่ยนเป็นกรดไขมันอิ่มตัวน้อยลง ซึ่งน้ำมันสบู่ดำจากจังหวัดระยองมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวต่ำและปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวค่อนข้างสูง แสดงให้เห็นว่าน้ำมันสบู่ดำมีความคงตัวไม่ถูกออกซิไดส์ได้โดยง่ายและยังคงความใสที่อุณหภูมิห้อง ทำให้เป็นผลดีต่อการใช้งานในเครื่องยนต์

4.4.3 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

น้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันสบู่ดำไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ตามมาตรฐานต่าง ๆ โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของสุภาชิต ชุกกลิน (2547) แสดงผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าที่ได้	ไบโอดีเซลจาก น้ำมันที่หีบด้วย เครื่องสกรูเพรส ^a	ค่ามาตรฐาน ^b
จุดวาบไฟ	°C	170	191	ไม่ต่ำกว่า 120
จุดไหลเท	°C	3	-	ไม่สูงกว่า 10
จุดขุ่น	°C	2	-	-
ความหนืดที่ 40 °C	cSt	4.44	4.84	3.5-5.0
ความตึงผิวเฉพาะที่ 30 °C	-	0.87	-	-
ปริมาณน้ำ	ร้อยละ	0.088	0.16	ไม่สูงกว่า 0.05
กรดไขมันอิสระ	ร้อยละ	0.34	-	-

หมายเหตุ: a อ้างอิงจาก Foil และคณะ: 1996.

b อ้างอิงจาก กรมธุรกิจพลังงาน: 2548.

ค่ามาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซลจากตารางที่ 4.7 อ้างอิงจากมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน เรื่องกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ.2548

จุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันกลายเป็นไอแล้วรวมตัวกับอากาศจนเกิดติดไฟขึ้น แต่ที่อุณหภูมินี้การระเหยกลายเป็นไอจะไม่เพียงพอที่จะทำให้การลุกไหม้คงอยู่ต่อไป เปลวไฟจึงดับลงเองทันที แต่หากมีการให้ความร้อนแก่น้ำมันต่อไปอีก อุณหภูมิก็จะสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่การระเหยกลายเป็นไอเพียงพอที่จะทำให้เกิดลุกไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้น น้ำมันไบโอดีเซลที่ดีต้องมีจุดวาบไฟที่สูง เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายจากเหตุการณ์ดังกล่าว จากมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน (2548) คือ ต้องไม่ต่ำกว่า 120 องศาเซลเซียส หากจุดวาบไฟต่ำเกินไปจะทำให้ น้ำมันไบ

โอดีเซลสามารถติดไฟได้ที่อุณหภูมิต่ำ เกิดอันตรายต่อเครื่องยนต์และผู้ใช้รถยนต์ จากตารางที่ 4.7 จุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซล มีค่าเท่ากับ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานจุดวาบไฟที่กำหนดไว้โดยกรมธุรกิจพลังงาน นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบจุดวาบไฟระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มาจากการสกัดด้วยตัวทำละลาย (น้ำมันสบูดำจากจังหวัดระยอง) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ได้จากการหีบด้วยเครื่องสกรูเพรสจากงานวิจัยของ Foil และคณะ (1996) พบว่าจุดวาบไฟของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์มาจากน้ำมันสบูดำที่บีบด้วยเครื่องสกรูเพรสมีค่ามากกว่า คือ 191 องศาเซลเซียส

จุดไหลเท คือ อุณหภูมิของน้ำมันที่วัดได้เมื่อน้ำมันไม่เกิดการไหลเท โดยน้ำมันทั่วไปจะมีส่วนที่เป็นไขส่วนหนึ่งละลายอยู่ด้วย เมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิต่ำลง ส่วนที่เป็นไขก็จะตกผลึกและเกาะกันเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง และเมื่อผลึกของไขเกิดขึ้นมากพอ น้ำมันก็จะไม่สามารถไหลได้ต่อไป จุดไหลเทของน้ำมันไบโอดีเซล จากมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน (2548) คือ ต้องไม่สูงกว่า 10 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 4.7 จุดไหลเทมีค่าเท่ากับ 3 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จุดไหลเทที่กำหนดไว้โดยกรมธุรกิจพลังงาน ความสำคัญของจุดไหลเทจะขึ้นอยู่กับสถานะของการใช้งาน เช่น ในประเทศที่อากาศหนาว จะต้องเลือกใช้ใช้น้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำ เพื่อให้สามารถไหลได้ถึงแม้อุณหภูมิของอากาศโดยรอบจะต่ำ ในทางตรงกันข้ามน้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำก็ไม่ได้มีความจำเป็นสำหรับประเทศที่อากาศค่อนข้างร้อน ดังนั้น น้ำมันสบูดำจึงความเหมาะสมต่อการนำมาสังเคราะห์เป็นไบโอดีเซลเพื่อใช้ในประเทศไทยเป็นอย่างมาก เนื่องจากน้ำมันสบูดำจะเป็นไขที่อุณหภูมิต่ำมาก คือ -7 องศาเซลเซียส ซึ่งแม้ว่าจะเป็นฤดูหนาวของประเทศ แต่อุณหภูมิในประเทศไทยก็ไม่ลดต่ำลงจนถึง -7 องศาเซลเซียสอย่างแน่นอน

จุดขุ่น คือ อุณหภูมิเริ่มเกิดเป็นผลึก เป็นเหตุให้มีความขุ่นเกิดขึ้น จุดขุ่นนี้จะบอกให้ทราบถึงอุณหภูมิต่ำสุด ที่สามารถนำน้ำมันไบโอดีเซลไปใช้โดยไม่เกิดการอุดตันตามส่วนที่มีหน้าที่กรองทางเดินน้ำมัน จากตารางที่ 4.7 จุดขุ่นของน้ำมันไบโอดีเซล มีค่าเท่ากับ 2 องศาเซลเซียส

ความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลเป็นคุณสมบัติที่สำคัญค่าหนึ่งในการพิจารณาเพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล เนื่องจากความหนืดที่สูง จะเป็นอุปสรรคต่อการฉีดน้ำมันให้เป็นฝอย และป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ จากตารางที่ 4.7 ได้เปรียบเทียบความหนืดระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มาจากการสกัดด้วยตัวทำละลาย (น้ำมันสบูดำจากจังหวัดระยอง) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ได้จากการหีบด้วยเครื่องสกรูเพรสจากงานวิจัยของ Foil และคณะ (1996) พบว่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิดมีความหนืดใกล้เคียงกัน คือ 4.44 และ 4.84 เซ็นติสโตก ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน (2548) คือ ไม่สูงกว่า 5.0 เซ็นติสโตก ดังนั้น น้ำมันสบูดำ (น้ำมันดิบ) ซึ่งมีความหนืดสูงจึงไม่เหมาะในการนำไปใช้สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลรอบ

สูง ต้องผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชันก่อน จะทำให้ความหนืดลดลงจนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

โมเลกุลของน้ำมันสบู่ดำส่วนใหญ่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสารเอสเทอร์ 3 ตัว เกาะกันอยู่กับโมเลกุลของกลีเซอรินประมาณร้อยละ 20 ของโมเลกุลน้ำมันสบู่ดำและน้ำมันพืชทั่วไป คือ กลีเซอริน หรือกลีเซอรอล หรือ กลีเซอไรด์ ตัวกลีเซอรินนี้เป็นตัวทำให้น้ำมันมีความเหนียวและหนืด ซึ่งในการสังเคราะห์ไบโอดีเซลโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ิฟิเคชัน กลีเซอริน จะเกิดการแยกชั้นออกมาจากน้ำมันไบโอดีเซล และถูกกำจัดออกจากน้ำมันไบโอดีเซล ทำให้เมธิลเอสเทอร์ที่ได้มีโมเลกุลเล็กลง ดังนั้น ความหนืดจึงลดลงอย่างเห็นได้ชัด

ปริมาณน้ำ เป็นพารามิเตอร์เพื่อพิจารณาว่าน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำที่สังเคราะห์ได้ มีปริมาณน้ำเหลืออยู่จนเป็นอันตรายต่อผิวหนังที่สัมผัสกับน้ำมันไบโอดีเซลของเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงหรือไม่ กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณน้ำมากจะเกิดสนิม และกัดกร่อนอุปกรณ์ต่าง ๆ ในห้องเครื่องยนต์ (Srivastava and Prasad: 2000) จากตารางที่ 4.7 ได้เปรียบเทียบปริมาณน้ำระหว่างน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันที่มาจากการสกัดด้วยตัวทำละลาย (น้ำมันสบู่ดำจากจังหวัดระยอง) และน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันที่ได้จากการหีบด้วยเครื่องสกรูเพรสจากงานวิจัยของ Foil และคณะ (1996) พบว่า ปริมาณน้ำของน้ำมันไบโอดีเซลจากจังหวัดระยองมีค่าเท่ากับร้อยละ 0.088 ในขณะที่ปริมาณน้ำของน้ำมันไบโอดีเซลจากงานวิจัยของ Foil และคณะ มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.16 ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลทั้งสองชนิดนี้มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานปริมาณน้ำที่กำหนดไว้โดยกรมธุรกิจพลังงาน คือต้องไม่สูงกว่าร้อยละ 0.05 ดังนั้นการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสบู่ดำที่สกัดด้วยวิธีที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อปริมาณน้ำที่ตกค้างอยู่ในน้ำมันไบโอดีเซล แต่อยู่ที่วิธีการกำจัดน้ำในขั้นตอนสุดท้ายมากกว่า เพราะการกำจัดน้ำได้กระทำเพียงอบน้ำมันไบโอดีเซลที่ 105 ± 5 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง จึงอาจทำให้ยังมีปริมาณน้ำตกค้างอยู่ในน้ำมัน

ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันไบโอดีเซลไม่ควรมีค่าสูง เนื่องจากค่าที่สูงเกินไปจะมีผลต่อเครื่องยนต์ กล่าวคือ น้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูงจะเกิดปฏิกิริยาต่อสวอนที่เป็นห้องเผาไหม้ เกิดการกัดกร่อนขึ้น จากตารางที่ 4.7 ค่ากรดไขมันอิสระของน้ำมันไบโอดีเซล มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.34 นอกจากนี้ค่ากรดไขมันอิสระที่มีอยู่ในน้ำมันไบโอดีเซลยังมีความสัมพันธ์ต่อจุดวาบไฟด้วย กล่าวคือ หากน้ำมันไบโอดีเซลมีค่ากรดไขมันอิสระต่ำ จะทำให้จุดวาบไฟมีค่าสูง แต่ถ้าน้ำมันไบโอดีเซลมีค่ากรดไขมันอิสระสูง จุดวาบไฟจะต่ำ (นิธิยา รัตนพานนท์, 2548: 29)

จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สำคัญต่อการพิจารณาคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากจังหวัดระยอง เมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงานดังตารางที่ 4.8 พบว่า จุดวาบไฟ จุดไหลเท จุดขุ่น ความหนืดที่ 40 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะที่ 30 องศาเซลเซียส

กรดไขมันอิสระ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงหรือรถยนต์ได้ ยกเว้นปริมาณน้ำที่เกินค่ามาตรฐาน ดังนั้น จึงควรเพิ่มขั้นตอนการกำจัดน้ำออกจากน้ำมันไบโอดีเซลก่อนการไปใช้ เพื่อที่จะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อเครื่องยนต์ดีเซล

4.6 การคำนวณต้นทุนในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสับด้า

การคำนวณค่าใช้จ่ายของกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เริ่มต้นตั้งแต่ นำเมล็ดสับด้า มา 1 กิโลกรัม แยกเปลือกออก สกัดน้ำมันด้วยนอร์มัลเฮกเซน ได้น้ำมันสับด้า (น้ำมันดิบ) ออกมา และนำน้ำมันสับด้าที่สกัดได้นี้ไปสังเคราะห์เป็นน้ำมันไบโอดีเซล โดยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน จนได้เป็นน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการคำนวณนี้ จึงเป็นค่าใช้จ่ายในการสกัดน้ำมันสับด้าจากเมล็ดสับด้า โดยคำนวณให้อยู่ในหน่วยราคาต่อลิตร และค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสับด้าโดยคำนวณให้อยู่ในหน่วยราคาต่อลิตร

ตารางที่ 4.8 ราคาต่อหน่วยของวัตถุดิบ

ลำดับ	วัตถุดิบ	หน่วย	ราคาในระดับ ห้องทดลอง	ราคาตลาด*
1.	เมล็ดสับด้า	บาท/ก.ก.	200	3-4 (a)
2.	นอร์มัลเฮกเซน	บาท/ลิตร	599.20	30.4 (b)
3.	เมทานอล	บาท/ก.ก.	154.08	11.58 (c)
4.	โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	บาท/ก.ก.	693.75	33 (d)
5.	น้ำกลั่น	บาท/ลิตร	15	10 (e)

หมายเหตุ: a อ้างอิงจาก บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) (2550)
 b อ้างอิงจาก สุภาภิต ชุกกลิน (2547)
 c อ้างอิงจาก บริษัท แพลตินเอนเนอจี (ประเทศไทย) จำกัด (2549)
 d อ้างอิงจาก บริษัท แพลตินเอนเนอจี (ประเทศไทย) จำกัด (2549)
 e อ้างอิงจาก บริษัท แพลตินเอนเนอจี (ประเทศไทย) จำกัด (2549)

4.5.1 กระบวนการสกัดน้ำมัน

ตารางที่ 4.9 ปริมาณวัตถุดิบและผลผลิตในกระบวนการสกัดน้ำมัน

วัตถุดิบ	ปริมาณสาร	ผลผลิต	ปริมาณสาร
เมล็ดสบู่ดำ (รวมเปลือก)	1,000 (ก.)	เนื้อในเมล็ด	551.1 (ก.)
		เปลือก	449.9 (ก.)
		น้ำมันที่สกัดได้	282.99 (ก.)
		(ความถ่วงจำเพาะ 0.906)	312.35 (มล.)
เฮกเซน (1:8)	4,409 (มล.)	เฮกเซนที่เรียกคืนได้ (90%)	3,968 (มล.)
เฮกเซนป้อนเข้าใหม่	441 (มล.)	เฮกเซนสูญเสียระหว่างสกัด	441 (มล.)

ตารางที่ 4.10 ค่าใช้จ่ายในกระบวนการสกัดน้ำมัน

วัตถุดิบ	ปริมาณ	ต้นทุนในระดับ ห้องทดลอง (บาท)	ต้นทุนตามราคาตลาด (บาท)
เมล็ดสบู่ดำ	1,000 (ก.)	200	4
เฮกเซน	441 (มล.)	105.70	5.36
รวม		306	9/312.35 (มล.)

คำนวณต้นทุนโดยเทียบสัดส่วนที่ใช้สกัดน้ำมันสบู่ดำ 1 ลิตร จึงมีราคาต้นทุนตามราคาตลาดเท่ากับ 28.81 บาทต่อลิตรรวมกับค่าไฟฟ้าในการดำเนินการ เท่ากับ 10.32 หน่วย เป็นเงิน 7.22 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการสกัดน้ำมัน 1 ลิตร เท่ากับ 36.03 บาท

4.5.2 การผลิตไบโอดีเซล

ตารางที่ 4.11 ปริมาณวัตถุดิบและผลผลิตในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

วัตถุดิบ	ปริมาณสาร	ต้นทุน (บาท)	ผลผลิต	ปริมาณสาร
น้ำมันสุญต์ที่สกัดได้	1,000 (ก.)	36.03	ไบโอดีเซล	806 (ก.)
			(ความถ่วงจำเพาะ 0.87)	262.17 (มล.)
เมทานอล	240 (ก.)	2.78		
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	27 (ก.)	0.9		
น้ำกลั่น (250 ม.ล. 3 ครั้ง)	750 (มล.)	7.5		
	รวม	47		

ดังนั้น เมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายโดยการเทียบสัดส่วนที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จึงมีค่าเท่ากับ 47 บาทต่อลิตร

การคำนวณจะเห็นได้ว่าราคาของน้ำมันสุญต์ที่สกัดได้โดยใช้นอร์มัลเฮกเซนเท่ากับ 36.03 บาทต่อลิตร ซึ่งมีราคาสูงเกินกว่าจะสามารถนำไปใช้ได้จริงในชุมชนทั่ว ๆ ไป ที่ใช้วิธีการหีบน้ำมันด้วยเครื่องสกรูเพรส เพราะในการหีบน้ำมันจะใช้เมล็ดสุญต์ 4 กิโลกรัม หีบได้เป็นน้ำมันดิบ 1 ลิตร เป็นเงิน 16 บาทต่อลิตรเท่านั้น นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการเรียกคืนของนอร์มัลเฮกเซนได้เพียงร้อยละ 90 น้อยกว่าของสุภาสิต (2547) ที่สามารถเรียกคืนได้ถึงร้อยละ 99 จึงควรพัฒนาในขั้นตอนการเรียกคืนนอร์มัลเฮกเซนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากต้นทุนในการสกัดที่สูงนี้จึงส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสุญต์เท่ากับ 47 บาทต่อลิตร ดังนั้นหากต้องการให้ค่าใช้จ่ายในการสกัดน้ำมันลดลง ควรจะมีการพัฒนาในขั้นตอนกระบวนการผลิตให้มีการสูญเสียมวลสารไปในระหว่างการผลิตให้น้อยที่สุด

บทที่ 5

สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

5.1.1 คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสนูปดำ

คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดสนูปดำจากวิสาหกิจชุมชน จังหวัดระยอง ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของเนื้อในเมล็ดสนูปดำและเปลือก เมื่อเทียบกับน้ำหนักทั้งเมล็ด พบว่าค่าเฉลี่ยของเนื้อในเมล็ดสนูปดำ 100 เมล็ด เท่ากับร้อยละ 55.11 โดยน้ำหนัก และค่าเฉลี่ยของเปลือกเท่ากับร้อยละ 44.99 โดยน้ำหนัก อาจกล่าวได้ว่า เมล็ดสนูปดำ 1 เมล็ด มีเนื้อในเมล็ดร้อยละ 55.11 และเปลือกเท่ากับร้อยละ 44.99

5.1.2 คุณสมบัติของน้ำมันเมล็ดสนูปดำ

การศึกษาค้นสมบัติทางเคมี-ฟิสิกส์ของน้ำมันเมล็ดสนูปดำจากวิสาหกิจชุมชน จังหวัดระยอง พบว่ามีค่ากรดไขมันอิสระเท่ากับ 5.58 มิลลิกรัม/กรัม ค่าสaponifiเคชันเท่ากับ 199.19 มิลลิกรัมKOH/กรัม ค่าไอโอดีนเท่ากับ 94.48 มิลลิกรัมไอโอดีนต่อกรัม Wjis ค่าความตึงผิวเท่ากับ 0.906 และค่าความหนืดเท่ากับ 35.67 เซนติสโตก เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วสามารถนำน้ำมันสนูปดำดิบไปใช้กับเครื่องย่นด้าทางการเกษตรได้ทันที หรือนำไปผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อให้ความหนืดมีค่าลดลง

5.1.3 คุณค่าทางอาหารของเมล็ดสนูปดำ

การศึกษาค้นค่าทางอาหารพื้นฐานของเมล็ดสนูปดำจากวิสาหกิจชุมชน จังหวัดระยอง พบว่ามีค่าโปรตีนเท่ากับร้อยละ 31.75 เส้นใยเท่ากับร้อยละ 7.14 ความชื้นเท่ากับร้อยละ 4.34 ไขมันเท่ากับร้อยละ 5.44 และไขมันเท่ากับร้อยละ 47.18 ดังนั้น เมล็ดสนูปดำจึงมีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ แต่ต้องวิเคราะห์ค่าการย่อยได้ของโปรตีนก่อน เพื่อจะระบุว่าเป็นโปรตีนที่สัตว์นำไปใช้ได้ก็เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ต้องมีกระบวนการกำจัดสารพิษออกจากเมล็ดก่อน จึงจะ

สามารถนำไปเลี้ยงสัตว์ได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปผสมกับอาหารสัตว์สำเร็จรูปเพื่อเพิ่มคุณค่าทางอาหารให้แก่สัตว์ก็ได้

5.1.4 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำด้วยตัวทำละลาย

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ พบว่า นอร์มัลเฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่ดีที่สุดในการสกัดน้ำมันที่สภาวะอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง โดยเลือกใช้ปริมาณเมล็ดสบู่ดำต่อนอร์มัลเฮกเซนเท่ากับ 1:8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จะทำให้ได้น้ำมันถึงร้อยละ 51.35

5.1.5 การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

การสังเคราะห์ไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ โดยใช้ น้ำมันสบู่ดำดิบ 200 กรัม ทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน กับสารละลายเมทานอล 240 กรัม และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 27 กรัม ได้ผลผลิตคือ น้ำมันไบโอดีเซล คิดเป็นร้อยละ 80.6

เมื่อนำไบโอดีเซลไปวิเคราะห์คุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง พบว่าจุดวาบไฟเท่ากับ 170 องศาเซลเซียส จุดไหลเทเท่ากับ 3 องศาเซลเซียส จุดขุ่นเท่ากับ 2 องศาเซลเซียส ความตึงผิวเท่ากับ 30 องศาเซลเซียสเท่ากับ 0.87 และกรดไขมันอิสระเท่ากับร้อยละ 0.34 ซึ่งทุกพารามิเตอร์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมธุรกิจพลังงาน ยกเว้นปริมาณน้ำเท่ากับร้อยละ 0.088 ที่มากกว่าค่ามาตรฐานเล็กน้อย ดังนั้นควรมีกระบวนการกำจัดน้ำออกจากน้ำมันไบโอดีเซลก่อน จะทำให้น้ำมันไบโอดีเซลมีปริมาณน้ำตกค้างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

นอกจากนี้ พารามิเตอร์ที่สำคัญมากอีกหนึ่งในการพิจารณาเพื่อนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงคือ ความหนืด จะเห็นว่าค่าความหนืดของน้ำมันสบู่ดำดิบลดลงเป็นอย่างมากหลังจากสังเคราะห์เป็นไบโอดีเซล โดยปฏิกิริยาทรานส์-เอสเทอริฟิเคชัน ความหนืดลดลงจาก 35.67 เซ็นติสโตก เหลือเพียง 4.44 เซ็นติสโตก ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ 3.5-5.0 เซ็นติสโตก ดังนั้นสามารถนำไบโอดีเซลจากเมล็ดสบู่ดำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลรอบสูงได้ โดยไม่เกิดผลกระทบกับเครื่องยนต์

เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลคล้ายกับคุณสมบัติของน้ำมันดีเซล ดังนั้นน้ำมันไบโอดีเซลสามารถนำมาเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันดีเซลหรือน้ำมันปิโตรเลียมได้

5.1.6 การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซล

วิเคราะห์หาความบริสุทธิ์ของน้ำมัน โดยวิธี Thin Layer Chromatography พบว่าเมทิลเอสเตอร์ที่สังเคราะห์ได้มีความบริสุทธิ์ เพราะไม่มีกรดไขมัน ส่วนที่ไม่สามารถสaponifiy ได้และน้ำมันสบู่ดำดิบ หรือไตรกลีเซอไรด์ตกค้างหลังจากการทำปฏิกิริยา

วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าน้ำมันสบู่ดำประกอบด้วยกรดโอเลอิกเป็นองค์ประกอบหลัก คือเท่ากับร้อยละ 44.11 และประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 21.50 กรดไขมันไม่อิ่มตัวร้อยละ 78.50 ดังนั้น น้ำมันสบู่ดำจึงมีความคงตัว ไม่ถูกออกซิไดส์โดยอากาศได้ง่าย เพราะมีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง

5.1.7 ศึกษาต้นทุนในการผลิตไบโอดีเซลของน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ

การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของไบโอดีเซลจากน้ำมันเมล็ดสบู่ดำ พบว่าค่าใช้จ่ายในการสกัดน้ำมันสบู่ดำ 1 ลิตร ค่าเท่ากับ 36.03 บาทต่อลิตร และค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล 1 ลิตร จึงมีค่าเท่ากับ 47 บาทต่อลิตร ซึ่งมากกว่าที่จะนำไปใช้จริงได้ เนื่องจากการนำกลับมาใช้ใหม่ของนอร์มัลเฮกเซนได้เพียงร้อยละ 90 โดยสูญเสียไปในขั้นตอนการกรองและการระเหยมาก หากต้องการนำไปผลิตในระดับอุตสาหกรรมต้องพิจารณาถึงการนำกลับมาใช้ใหม่ของนอร์มัลเฮกเซนให้ได้มากที่สุด รวมทั้งปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีการสูญเสียมวลสารระหว่างทำปฏิกิริยาให้น้อยลง จึงจะมีความคุ้มค่าในด้านการส่งเสริมและการลงทุน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ข้อเสนอแนะที่ได้จากงานวิจัยนี้

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำด้วยตัวทำละลาย ควรจะเพิ่มตัวแปรในการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิและเวลา จากอุณหภูมิห้องและที่ 50 องศาเซลเซียส ควรศึกษาที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสด้วย เพราะที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสอาจจะสามารถสกัดน้ำมันได้ปริมาณไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับการสกัดอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส
2. น้ำมันดิบที่ได้เป็นอาจยังมีสิ่งเจือปนอยู่ เช่น กรดไขมันอิสระ หรือ สเตอรอล เป็นต้น ควรมีขั้นตอนเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนเหล่านี้ออกไปก่อน เช่น การสกัดยางเหนียว โดยใช้กรดฟอสฟอริก การฟอกสีโดยใช้ผงถ่านแล้วกรองออก หรือกำจัดกรดไขมันอิสระโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ให้เกิดปฏิกิริยาสaponifiy เค้น (การเกิดสบู่)

3. แม้ว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จะสามารถสกัดได้น้ำมันมากกว่าที่ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่ต้องเสียพลังงานในการให้ความร้อน จึงควรศึกษาในขั้นนี้ต่อด้วยพลังงานที่สูงสูญเสียไปคุ้มค่ากับปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นมาหรือไม่

4. ก่อนการนำน้ำมันสุญ์ดำไปสังเคราะห์เป็นไบโอดีเซลควรกำจัดน้ำออกจากน้ำมันให้หมดก่อน โดยการอบในตู้อบหรือการต้ม เนื่องจากน้ำจะเร่งให้เกิดสบู่แทนที่จะเกิดเป็นไบโอดีเซล

5. หลังจากศึกษาต้นทุนในการผลิตแล้ว ควรจะศึกษาต่อไปในส่วนของความเป็นไปได้ของการนำไปปฏิบัติในระดับอุตสาหกรรม

6. ในขั้นตอนการทำเจลิน์น้ำออกจากน้ำมันไบโอดีเซล ถ้าการอบเพียงอย่างเดียวทำให้มีปริมาณน้ำตกค้างเกินมาตรฐาน ก็ควรกำจัดน้ำโดยการกรองผ่านโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส จะช่วยให้น้ำมันไบโอดีเซลมีน้ำตกค้างน้อยลงได้

5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป

1. ในขั้นตอนการบดเมล็ดสุญ์ดำก่อนนำไปสกัดน้ำมัน ควรคัดเลือกขนาดเมล็ดที่ทำกรบดแล้ว โดยการร่อนผ่านตะแกรกร่อน เพื่อให้ได้เมล็ดสุญ์ดำบดในขนาดที่เท่าๆ กัน และนำมาศึกษาการสกัดน้ำมันโดยเปรียบเทียบกับขนาดเมล็ดที่แตกต่างกัน

2. ในขั้นตอนการศึกษากการสกัดน้ำมันอาจใช้วิธีการสกัดด้วยเครื่องมือแบบอื่น เช่น การสกัดโดยใช้ถังกวน (Mixing Tank) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการสกัดน้ำมันจากความเร็วรอบของการปั่นกวนที่ต่าง ๆ กัน

3. ในการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซล อาจจะศึกษาถึงอัตราส่วนน้ำมันดิบต่อตัวเร่งปฏิกิริยาและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดปฏิกิริยาเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด

4. ควรพัฒนาเครื่องมือในการสกัดน้ำมันเพื่อให้มีการเรียกคืน (Recovery) ตัวทำละลายให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จะทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลงได้

5. การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลควรมีการเพิ่มเติมในส่วนของการวิเคราะห์สารตกค้างที่เหลืออยู่ในน้ำมันไบโอดีเซลหลังจากการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เช่น ปริมาณเถ้า และกลีเซอรอลตกค้าง เป็นต้น จะทำให้ทราบถึงความบริสุทธิ์ของน้ำมันไบโอดีเซลที่สังเคราะห์ได้

6. การคำนวณค่าใช้จ่ายในการดำเนินการในระดับอุตสาหกรรมควรศึกษาโดยนำสารเคมีเกรดการค้ามาใช้แทนเกรดวิเคราะห์ที่ใช้อยู่ภายในห้องปฏิบัติการ

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน AOAC 1995

การวิเคราะห์หา Iodine Value โดยวิธี Wijs Method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. ขวดวัดปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร
3. Volumetric Dispenser
 - 2 มิลลิลิตร สำหรับสารละลายแบ่ง
 - 25 มิลลิลิตร สำหรับ Wijs และ KI
 - 50 มิลลิลิตร สำหรับน้ำ
4. ปิเปต 20 มิลลิลิตร
5. บีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลาย KI 15%
 - ละลาย KI 15 กรัม ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
2. สารละลาย Wijs iodine
 - ละลาย ICl 16.5 กรัม ในกรดอะซิติก 1 ลิตร
3. สารละลายแป้ง อินดิเคเตอร์
4. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.1 นอร์มัล
5. กรดไฮโดรคลอริก
6. ไสโซเฮกเซน (Cyclohexane)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งน้ำมัน 0.200 มิลลิกรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. เตรียม Blank สำหรับวัดด้วย

3. เติมน้ำไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) 20 มิลลิลิตร ลงในขวดตัวอย่างน้ำมันและ blank เขย่าจนแน่ใจว่าตัวอย่างละลายหมดแล้ว จากนั้นเติมน้ำละลาย Wjjs 25 มิลลิลิตร ในแต่ละขวดที่มีฝาปิด เขย่าให้สารละลายผสมกัน

4. เก็บขวดไว้ในที่มืด เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 25 ± 5 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดปฏิกิริยา

5. นำขวดออกจากที่มืด เติมน้ำละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 20 มิลลิลิตร และเติมน้ำ 100 มิลลิลิตร ภายใน 3 นาที หลังนำขวดออกจากที่มืด นำไปไทเทรตกับสารละลายมาตรฐาน โซเดียมไทโอซัลเฟต ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0.1 นอร์มัล และวนตลอดเวลา จนกระทั่งสีเหลืองเกือบจะหายไป

6. เติมน้ำละลายแป้ง เป็นอินดิเคเตอร์ 1-2 มิลลิลิตร ไทเทรตต่อไปจนกระทั่งสีฟ้าหายไป บันทึกปริมาตรที่ใช้

การคำนวณ

$$\text{Iodine value} = \frac{[(B - S) \times N \times 12.69]}{\text{wt. of sample}}$$

เมื่อ B = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกของ blank

S = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกของตัวอย่าง

N = ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต (นอร์มัล)

การวิเคราะห์หา Saponification Value โดยวิธี Titrimetric Method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์
2. ขวดวัดปริมาตร ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
3. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
4. บีกเกอร์ ขนาด 100 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลาย Alcoholic potassium hydroxide
 - ละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัม ในเอทานอล 1 ลิตร
2. กรดไฮโดรคลอริก 0.5 นอร์มัล
3. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ปิดฝาสารละลายแอลกอฮอล์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในตัวอย่างในขวดรูปชมพู่
2. ต่อขวดรูปชมพู่เข้ากับ air condensor รีฟลักซ์จนกระทั่งไขมันเกิด saponification อย่างสมบูรณ์ ใช้เวลาประมาณ 30 นาที แล้วทำให้เย็น
3. ไทเทรตกับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.5 นอร์มัล (0.5 N HCl) ใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์
4. เมื่อสารละลายเปลี่ยนเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้

การคำนวณ

$$\text{Saponification value} = \frac{28.05 (B-S)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

(mg KOH required to saponify 1 g fat)

เมื่อ B = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกของ blank

S = ปริมาตรกรดไฮโดรคลอริกของตัวอย่าง

การวิเคราะห์หา Unsaponification Matter

สารเคมี

1. สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3 โมลาร์
2. สารละลายไดเอทิลอีเทอร์

วิธีการวิเคราะห์

1. หลังจากไทเทรตหาค่าสaponification แล้ว นำสารละลายทั้งหมดที่อยู่ในขวดรูปชมพู่มาเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 3 โมลาร์ 1 มิลลิลิตร
2. เทสารละลายทั้งหมดลงในกรวยแยก ล้างขวดรูปชมพู่ด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลบด้วยปริมาตรกรดไฮโดรคลอริก 0.5 นอร์มัล ที่ใช้ในการหาค่าสaponification
3. สกัดสารด้วยไดเอทิลอีเทอร์ 3 ครั้ง ครั้งละ 50 มิลลิลิตร
4. แยกไดเอทิลอีเทอร์ที่สกัดได้แต่ละครั้ง ใส่รวมในกรวยแยกอีกกันหนึ่งที่มีน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
5. เขย่าให้ผสมกันเพื่อล้างไดเอทิลอีเทอร์ด้วยน้ำกลั่น ปล่อยให้ตั้งทิ้งไว้ให้แยกชั้น แยกเอาชั้นน้ำกลั่นทิ้ง
6. ล้างไดเอทิลอีเทอร์ด้วยน้ำกลั่น ครั้งละ 20 มิลลิลิตร ซ้ำอีก 2 ครั้ง
7. ล้างไดเอทิลอีเทอร์ด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 0.5 โมลาร์ ครั้งละ 20 มิลลิลิตร อีก 2 ครั้ง
8. ล้างด้วยน้ำกลั่น ครั้งละ 20 มิลลิลิตร อีกอย่างน้อย 2 ครั้ง จนน้ำที่ล้างไม่เป็นด่าง โดยใช้ฟีนอล์ฟทาลีนเป็นอินดิเคเตอร์
9. เทไดเอทิลอีเทอร์ลงในบีกเกอร์ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ระเหยไดเอทิลอีเทอร์ออกจนแห้งสนิท อุณหภูมิไม่เกิน 80 องศาเซลเซียส
10. ชั่งน้ำหนักที่ได้และคำนวณหาปริมาณของสารที่ไม่สามารถสaponification ได้

การวิเคราะห์หา Acid Value โดยวิธี Titrimetric Method

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล (NaOH 0.1 N)
2. Isopropyl alcohol-toluene mixture
 - ผสม Isopropyl alcohol กับ toluene ปริมาตรเท่ากัน
3. สารละลายฟีนอล์ฟทาเลิน เป็นอินดิเคเตอร์

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 20 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่
2. เติมสารผสม Isopropyl alcohol-toluene 100 มิลลิลิตร และฟีนอล์ฟทาเลิน 1 มิลลิลิตร คนจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
3. ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล จนกระทั่งเกิดสีชมพู บันทึกปริมาตรที่ใช้

การคำนวณ

$$\text{Acid value (mg KOH per g of sample)} = \frac{\text{ปริมาตร NaOH (มล.)} \times N \times 56.1}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

เมื่อ N = ความเข้มข้นที่แน่นอนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)

การวิเคราะห์โปรตีน (Crude Protein) โดยวิธี Copper Catalyst Kjeldahl Method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. กระบอกตวง ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร
4. ชุดย่อยสลาย (digestion)
 - ใช้ขวด Kjeldahl ขนาด 500 – 800 มิลลิลิตร
5. ชุดอุปกรณ์การกลั่น

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล
2. คอปเปอร์ซัลเฟตแอนไฮไดรรัส (anhydrous CuSO_4)
3. โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4)
4. สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4)
5. สารละลายเมธิล เรด อินดิเคเตอร์ (methyl red indicator)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 1.0 กรัม ใส่ลงในขวด Kjeldahl
2. เติมโพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 3.5 กรัม, คอปเปอร์ซัลเฟตแอนไฮไดรรัส (anhydrous CuSO_4) 0.4 กรัม และกรดซัลฟูริก 25 มิลลิลิตร
3. ให้ความร้อนจนเดือดเป็นเวลา 6 ชั่วโมง
4. ปิดเตาให้ความร้อน รอให้เย็น และควั่นสีขาวยาวในขวด Kjeldahl หายไป
5. ต่อบวด Kjeldahl เข้ากับชุดอุปกรณ์การกลั่น ทำการกลั่นเป็นเวลา 7.5 นาที
6. ไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.1 นอร์มัล เติมสารละลายเมธิล เรด อินดิเคเตอร์ 3-4 หยดบันทึกปริมาตรที่ใช้

การคำนวณ

1. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} = \frac{[(\text{ปริมาตร HCl}) - (\text{ปริมาตร blank}) \times (\text{ความเข้มข้น HCl (N)}) \times 14]}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)} \times 1000}$$

2. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของโปรตีน (Crude)

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีน} = 6.25 \times \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน}$$

การวิเคราะห์หาไขมัน (Crude Fat) ในเมล็ดสับจั่ว โดยวิธี Indirect Method

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์การสกัดน้ำมัน (Soxhlet Apparatus)
2. เดสซิเคเตอร์ (Desiccator)
3. กระดาษกรอง Whatmann เบอร์ 1.

สารเคมี

1. ปีโตรเลียมอีเทอร์ (Petroleum Ether)

วิธีการวิเคราะห์

1. อบถ้วยแก้วที่จะใช้รองรับสารที่สกัดออกมา ให้แห้งที่อุณหภูมิ $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นหาลำหนักแห้งโดยชั่งน้ำหนักถ้วยแก้ว (C_1)
2. ชั่งเนื้อในเมล็ดสับจั่วที่อบแห้งแล้ว 2.0 กรัม ใส่ลงในกระดาษกรอง
3. พับกระดาษกรองแล้วใส่ลงใน thimble และปิดปาก thimble ด้วยลวด
4. นำ thimble ใส่ในช่องสำหรับสกัดสารที่เครื่อง Soxhlet
5. ให้ความร้อนเพื่อสกัดสารด้วยปีโตรเลียมอีเทอร์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
6. นำถ้วยแก้วที่มีสารที่สกัดออกมาแล้ว ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อระเหยตัวทำละลายออก
7. นำถ้วยแก้วออกมาชั่งน้ำหนักที่ได้ (C_2) แล้วคำนวณเปอร์เซ็นต์ไขมันหยาบตามสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{C_2 - C_1 (\text{กรัม})}{\text{น้ำหนักเนื้อในเมล็ดสับจั่ว (กรัม)}} \times 100$$

การวิเคราะห์หาไฟเบอร์ (Crude Fiber) ในเมล็ดสับด้า

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ถ้วยสำหรับวิเคราะห์ไฟเบอร์
2. เดสิคเคเตอร์ (desiccator)
3. เครื่องชั่งความละเอียด 0.0001 กรัม

สารเคมี

1. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1.25%
2. กรดซัลฟูริก 1.25%

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งเนื้อในเมล็ดสับด้าที่ผ่านการสกัดน้ำมันออกและอบแห้งแล้ว 1.00 กรัม ใส่ลงในถ้วยแก้วสำหรับวิเคราะห์ไฟเบอร์
2. นำไปวางในเตาให้ความร้อน เติม H_2SO_4 200 มิลลิลิตร ให้ความร้อนเพื่อย่อยเป็นเวลา 30 นาที
3. ปิดไฟแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 30 มิลลิลิตร 3 ครั้ง
4. เติม NaOH 200 มิลลิลิตร ให้ความร้อนเพื่อย่อยเป็นเวลา 30 นาที
5. ปิดไฟแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 30 มิลลิลิตร 3 ครั้ง
6. นำถ้วยออกจากเตา นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ $105 \pm 5^\circ C$ เป็นเวลา 1 คืน
7. ชั่งน้ำหนัก เพื่อหา น้ำหนักเส้นใย + น้ำหนักเถ้า (F_1)
8. ถ่ายใส่ครุชีเบลและเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง
9. ชั่งน้ำหนัก เพื่อหาน้ำหนักเถ้า (F_2) คำนวณเปอร์เซ็นต์ไฟเบอร์จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไฟเบอร์ (\% fiber)} = \frac{(F_1 - F_2)}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

การวิเคราะห์หาเถ้า (Ash) ในเมล็ดสบู่ดำ

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. Porcelain Crucible
2. เดสซิเคเตอร์ (Desiccator)
3. แผ่นให้ความร้อน (Hot Plate)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 2.0 กรัม ใส่ลงในครุชีเบล
2. เผาเพื่อไล่ความชื้นบน Hot Plate ประมาณ 30 นาที
3. นำไปเผาที่ความร้อน 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. นำครุชีเบลไปใส่ในเดสซิเคเตอร์ เพื่อให้เย็นลง
5. นำครุชีเบลไปชั่งน้ำหนักและคำนวณเปอร์เซ็นต์เถ้า จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า (\%ash)} = \frac{(\text{น้ำหนักหลังเผา} - \text{น้ำหนักแห้งครุชีเบล})}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}} \times 100$$

ภาคผนวก ข.
ขั้นตอนการวิเคราะห์ตามมาตรฐาน AOCS

การวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมัน

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ชุดอุปกรณ์สกัดไขมัน (soxhlet apparatus) ประกอบด้วย
 - ขวดกั่นกลม (สำหรับใส่ตัวทำละลาย)
 - soxhlet
 - อุปกรณ์ควบแน่น (condensor)
 - เตาให้ความร้อน (heating mantle)
2. หลอดใส่ตัวอย่าง (extraction thimble)
3. เครื่องระเหยสุญญากาศ
4. เครื่องชั่งสารทศนิยม 4 ตำแหน่ง
5. โถดูดความชื้น (desiccator)
6. กระดาษกรอง 150 mm (Whatman No.2)

สารเคมี

1. ตัวทำละลาย เช่น เฮกเซน หรือปิโตรเลียมอีเธอร์
2. กรดไฮโดรคลอริก เกรดวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์

1. อบขวดกั่นกลม ขนาด 250 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นในเดสซิเคเตอร์ แล้วชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
2. ชั่งตัวอย่าง 4-5 กรัม บนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ห่อกระดาษตามรูปที่ 1 แล้วใส่ลงในหลอดสำหรับใส่ตัวอย่าง
3. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในชอคเลต
4. เติมตัวทำละลายเฮกเซนหรือปิโตรเลียมอีเธอร์ลงในขวดหาปริมาณน้ำมัน 225 มิลลิลิตร แล้ววางบนเตา

5. ประกอบชุดการสกัดน้ำมัน พร้อมทั้งเปิดน้ำหล่ออุปกรณ์ความดัน และเปิดสวิตช์ให้ความร้อน ดังรูป
6. สกัดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยควบคุมความร้อนให้สารละลายกลับตัวจากอุปกรณ์ความดันด้วยอัตรา 150 หยดต่อนาที
7. เมื่อครบ 4 ชั่วโมง นำหลอดตัวอย่างออกจากชอคเลต ทิ้งให้ตัวทำละลายไหลจากชอคเลตลงในขวดก้นกลมจนหมด
8. ระเหยตัวทำละลายออกด้วยเครื่องสุญญากาศ
9. นำขวดหาปริมาณน้ำมันไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส จนแห้ง ใช้เวลาประมาณ 30 นาที ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น
10. ชั่งน้ำหนัก แล้วอบซ้ำนานครั้งละ 30 นาที จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักสองครั้งติดต่อกันไม่เกิน 1-3 มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณน้ำมัน(\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100$$

การวิเคราะห์หา Free Fatty Acid โดยวิธี Titrimetric Method (Ca 5a-40)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. ปิเปต ขนาด 50 มิลลิลิตร
3. บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มัล (0.1 N NaOH)
2. เอทานอลร้อยละ 95%
3. สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน เป็นอินดิเคเตอร์ (ร้อยละ 1 ในเอทานอลร้อยละ 95)

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างน้ำมัน 7.05 มิลลิกรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่
2. เติมเอทานอล 75 มิลลิลิตร และฟีนอล์ฟทาลีน 2 มิลลิลิตร
3. ไทเทรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.25 นอร์มัล เหย่าจนกระทั่งเกิดสีชมพู

บันทึกปริมาตรที่ใช้

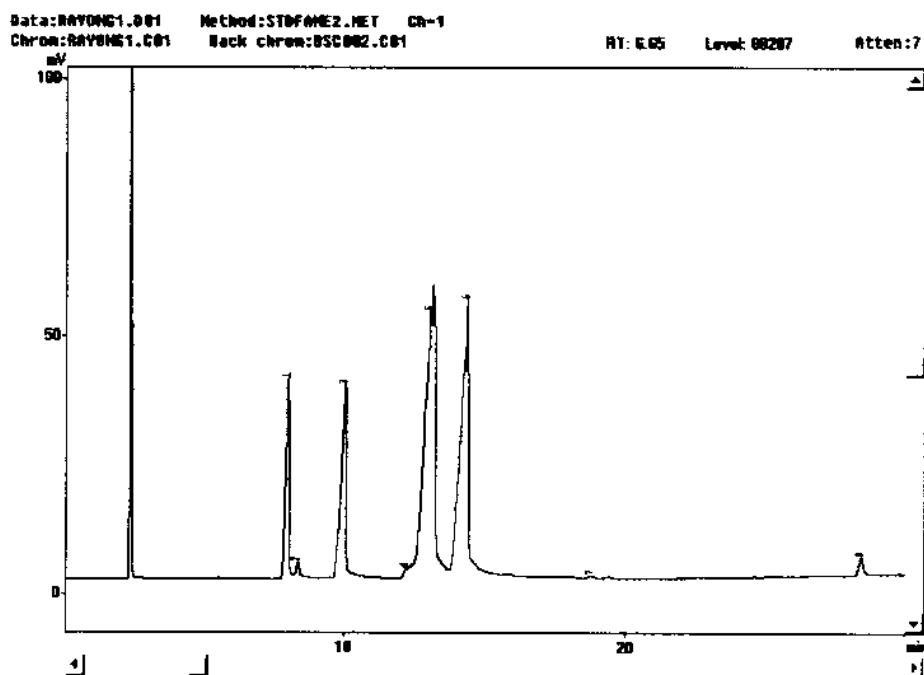
4. คำนวณค่ากรดไขมันอิสระจากสูตร

การคำนวณ

เปอร์เซ็นต์ของ free fatty acids สามารถคำนวณอยู่ในรูปกรด oleic

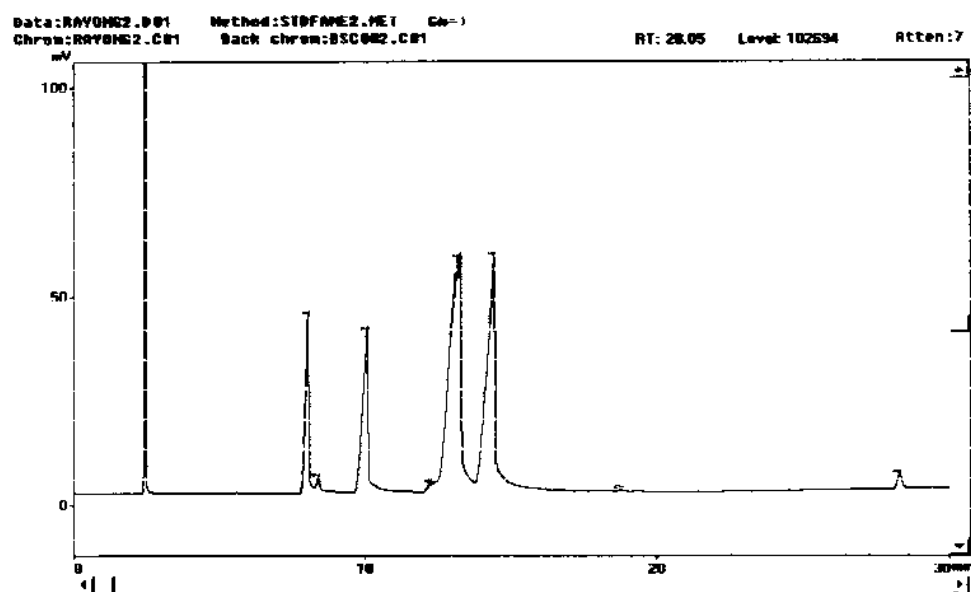
$$\text{Free fatty acid as oleic (\%)} = \frac{\text{ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์(มล.)} \times N \times 28.2}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)}}$$

ภาคผนวก ค.
โครมาโทแกรมการวิเคราะห์กรดไขมันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี



** Peak Report ** RAYONG1.D01 07/08/20 10:35:58

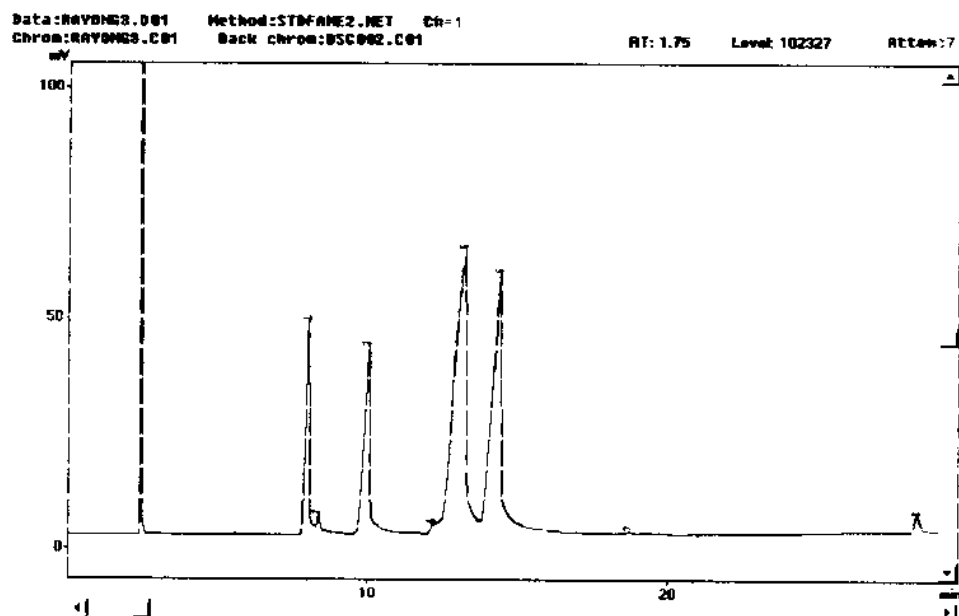
PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	NAME
1	7.997	73009	38208	Methyl palmitate
2	8.344	3494	2359	Methyl palmitoleate
3	10.012	45957	37734	ISD
4	12.163	17300	32	Methyl stearate
5	13.031	180290	6370	Methyl oleate
6	14.336	135254	30859	Methyl linoleate
7	18.739	1656	387	
8	28.296	1234	3197	
TOTAL		458194	119145	



**** Peak Report **** RAYONG2.D01 07/08/20 11:17:44

PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	NAME
1	7.992	107674	42699	Methyl palmitate
2	8.331	4995	3351	Methyl palmitoleate
3	10.009	50564	38653	ISD
4	12.181	29096	199	Methyl stearate
5	13.213	293390	10903	Methyl oleate
6	14.383	208460	16399	Methyl linoleate
7	18.732	1177	428	
8	28.275	1819	455	

TOTAL	697175	113087	
-------	--------	--------	--



** Peak Report ** RAYONG3.D01 07/08/20 11:54:56

PKNO	TIME	AREA	HEIGHT	NAME
1	7.995	190085	46545	Methyl palmitate
2	8.321	9962	3828	Methyl palmitoleate
3	10.003	51220	40501	ISD
4	12.147	60280	172	Methyl stearate
5	13.207	504760	16808	Methyl oleate
6	14.379	400670	12572	Methyl linoleate
7	18.709	549	105	
8	28.287	1733	3341	
TOTAL		1219259	123872	

บรรณานุกรม

- กรมธุรกิจพลังงาน. 2548. **กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรดไขมัน**. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2548.
- กรมธุรกิจพลังงาน. 2549. **กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซล สำหรับเครื่องยนต์การเกษตร**. ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน พ.ศ. 2549.
- กรมวิชาการเกษตร. กองเกษตรเคมี. 2548. **สบู่ดำพืชพลังงานทดแทน**. ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตร จังหวัดชัยนาท (จักรกลเกษตร). ค้นวันที่ 7 กรกฎาคม 2549 จาก <http://www.doae.go.th>
- กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ. กองวิเคราะห์และทดสอบ. 2547. **การตรวจวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นให้กับเครื่องจักรเรือ เพื่อการบำรุงรักษาและยืดอายุการใช้งาน**. ค้นวันที่ 2 มิถุนายน 2549 จาก <http://www.ttc.most.go.th/online/calcenter>
- กระทรวงแรงงาน. 2548. **อัตราค่าจ้างขั้นต่ำรายชั่วโมง**. ประกาศกระทรวงแรงงาน พ.ศ. 2548.
- กระทรวงพลังงาน. 2548. **สบู่ดำกับน้ำมันดีเซล**. โครงการศึกษาความเป็นไปได้ของการปลูกพืชน้ำมันและการพัฒนารูปแบบการผลิตพลังงานจากพืชแบบครบวงจรในพื้นที่ตัวอย่างเขตภาคเหนือ. ค้นวันที่ 2 มิถุนายน 2549 จาก <http://www. Thaibioenergy.com>
- คณิตา ดังคนานุรักษ์. 2543. **เทคนิคการแยกสารด้วยวิธีทางเคมี**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โครงการตำราภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จินตนา อุบลวัฒน์. 2548. **ไบโอดีเซล: พลังงานชีวภาพแห่งยุค**. วารสารพลังงาน. 6: 53-66.
- จรรยา ค่อมคำพันธ์ และทาเคดะ, โยชิฮิโระ. 2525. **น้ำมันสบู่ดำกับเครื่องยนต์ดีเซล**. ศูนย์ปฏิบัติการเกษตรวิศวกรรมเชียงใหม่. ค้นวันที่ 2 มิถุนายน 2549 จาก <http://www.doa.go.th>
- ชำนาญ ชัดกรแก้ว. 2548. **สบู่ดำพืชพลังงาน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ห้างหุ้นส่วนจำกัด ฟันนี้พับบลิชชิง.
- ณัฐภูมิ สุดแก้ว. 2548. **การสกัดน้ำมันทานตะวันด้วยเครื่องสกรูเพรสและเครื่องไฮโดรลิก**. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 10: 20-30.
- ทวีศักดิ์ อุณจิตติกุล. 2548. **สบู่ดำ พืชพลังงานสารพัดประโยชน์**. พิมพ์ครั้งที่ 1 กรุงเทพมหานคร: วศิระ จำกัด.

- ทศพล จิตบันเท็ง. 2547. **การวิเคราะห์สารโดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี**. ค้นวันที่ 18 เมษายน 2550 จาก <http://www.chemistry.nmsu.edu/Instrumentation/schmtc.jpg>
- นาค โพธิ์แทน. 2548. เก็บมาเล่า - สบุด้า. หนังสือพิมพ์กสิกร. 3 (พฤษภาคม - มิถุนายน). ค้นวันที่ 2 มิถุนายน 2549 จาก <http://www.kasetcity.com>
- นาบีเชาะห์ ปูโรง. 2548. **สบุด้าพืชพลังงานและยา**. เอกสารสัมมนาทางชีววิทยา. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา.
- นัธยา รัตนานนท์. 2548. **วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน**. กรุงเทพมหานคร: โอ เอส พริ้นติ้งเฮาส์.
- บริษัท บางจากปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน). 2550. **วัตถุดิบที่ใช้ผลิตไบโอดีเซล**. ค้นวันที่ 15 สิงหาคม 2550 จาก <http://www.bangchak.co.th/th/energyDetail.asp?id=14>
- บริษัท แพลนเอนเนอจี (ประเทศไทย) จำกัด. 2549. **แบบประเมินโครงการการผลิตไบโอดีเซล**. ค้นวันที่ 15 สิงหาคม 2550 จาก <http://planenergy.co.th/index.php?>
- ปรัชญา รัศมีธรรมวงศ์. มปป. **การเพาะปลูกและการดูแลรักษาสบุด้า พลังงานทดแทนทางเลือกใหม่แห่งอนาคต**. กรุงเทพมหานคร: เพชรกะรัต จำกัด.
- พิชัย สราญมย์. 2548. **สบุด้า พลังงานสายพันธุ์ใหม่**. เอกสารประกอบการสัมมนาทางเกษตรในจังหวัดจันทบุรี. จันทบุรี: คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- เพ็ญจิตร์ ศรีนพคุณ. 2549. **เทคโนโลยีชีวภาพกับการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันและสบุด้า**. เอกสารประกอบการเสวนาวิชาการทางเทคโนโลยีชีวภาพครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2545. **ไขมันและน้ำมัน**. โครงการส่งเสริมความสามารถพิเศษ Brand's summer camp มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ค้นวันที่ 13 พฤศจิกายน 2549 จาก <http://edtech.kku.ac.th/~s48221238001/463050163-4/u11.htm>
- มูลนิธิศูนย์สื่อเพื่อการพัฒนา. 2548. **ทำไบโอดีเซลใช้เอง**. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ. 7: 3-10.
- ระพีพันธ์ ภาสบุตร และคณะ. 2525. **ผลการวิจัยค้นคว้าการใช้น้ำมันสบุด้าเป็นพลังงานทดแทนเครื่องยนต์ดีเซล และผลการศึกษาคุณสมบัติทางฟิสิกส์-เคมีของน้ำมันสบุด้าเพื่อใช้เป็นพลังงาน**. กรุงเทพมหานคร: การวิจัยกองเกษตรเคมี และกองเกษตรวิศวกรรม กรมวิชาการเกษตร.

- เรืองศักดิ์ จูติรัตน์สกุล. 2546. **การวัดค่าจุดไหลเท.** บริษัท ระยองเพียวริฟายเออร์ จำกัด (มหาชน). ค้นวันที่ 13 พฤศจิกายน 2549 จาก <http://www.rpcthai.com>
- วลัย ตะเวทิพงศ์. 2549. **น้ำมันและการจำแนกชนิดน้ำมัน.** ค้นวันที่ 13 พฤศจิกายน 2549 จาก http://www.dmf.go.th/service/board/show_board.asp?id=293
- สถาบันวิจัยพืชไร่. 2544. **ข้อมูลเบื้องต้นสบู่ดำ.** ค้นวันที่ 2 มิถุนายน 2549 จาก <http://www.ku-alumni.org>
- สมบัติ ชินะวงศ์. 2548. **เกษตรวิจัย สบู่ดำพืชพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพ.** เอกสารสัมมนา พลังงานทดแทน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2547. **แนวโน้มสถานการณ์พลังงานในประเทศไทย พ.ศ. 2548. วารสารนโยบายพลังงาน.** 66 (ตุลาคม-ธันวาคม): 34-40.
- สุัทศนา กำเนิดทอง และเชาวรัช ทองแก้ว. 2547. **ขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล (Biodiesel Method).** ค้นวันที่ 11 ตุลาคม 2549 จาก <http://www.ata.or.th>
- สุภาจิต ชุกกลิน. 2547. **การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันยางพารา.** วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ห้างหุ้นส่วนจำกัดสาธู ออโต้ ซีท. 2547. **น้ำมันเชื้อเพลิงยานยนต์.** ค้นวันที่ 13 พฤศจิกายน 2549 จาก <http://www.cardecorate.com>
- อาชัย พิทยภาคย์, นคร ทิพย์วงศ์ และ วสันต์ จอมภักดี. 2003. **การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ของการสกัดน้ำมันพืชเชิงกลสำหรับใช้ในชุมชนท้องถิ่น. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร.** 11 (3): 9-20.
- อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย. 2543. **ไบโอดีเซล (Biodiesel).** ค้นวันที่ 7 กรกฎาคม 2549 จาก <http://www.eduzones.com/knowledge-2-5-33002.html>
- อาหารสัตว์. 2550. **ใน สารานุกรมสำหรับเยาวชนไทย. เล่มที่ 14.** ค้นวันที่ 10 สิงหาคม 2550 จาก <http://www.Thailand Junior Encyclopedia Project.com>
- แอนนา สายมณีรัตน์ และคณะ. 2547. **การศึกษาปริมาณและคุณภาพของน้ำมันสกัดจาก สบู่ดำ.** กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Akintayo, E.T. 2004. Biodiesel Production from *Jatropha Curcas* L. *Bioresource Technology.* 92: 302 – 310.

- American Oil Chemists' Society. 1993. **Sampling and Analysis of Commercial Fats and Oils**. 10th ed. Nevada: AOCS.
- American Society for Testing and Materials. 2006. **An American Nation Standard**. Vol 6. New York: ASTM.
- Association of Official Analytical Chemistry. 1995. **Official Methods of Analysis**. Vol 4. 16th ed. Arlington: AOAC.
- Banerji, R., Chowdhury, A. R., Misra, G., Sudarsanam, G., Verma, S. C. and Srivastava, G. S. 1985. *Jatropha* Seed Oils for Energy. **Biomass**. 8: 277-282.
- Chainarong Sukhawanit, Penjit Srinophakun and Matsumura, M. 2006. Biodiesel Production from Crude Sunflower Oil. **Kasetsart Journal**. 15: 35-44.
- Foidl, N., Foidl, G., Sanchez, M., Mittelbach, M. and Hackel, S. 1996. *Jatropha Curcas* L. as a Source for the Production of Biofuel in Nicaragua. **Bioresource Technology**. 58: 77-82.
- Freedman, B., and Pryde E.H. 1982. Fatty Esters from Vegetable Oils for Use as a Diesel Fuel. In **Vegetable Oil Fuel- Proceeding International Conference on Plant and Vegetable Oil as Fuel**. Fargo, N. D., ed. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineering. Pp 177-122.
- Freedman, B., Kwolek, W. F. and Pryde, E. H. 1986. Quantitation in the Analysis of the Transesterified Soybean Oil by Capillar Gas Chromatography. **Journal of AOCS**. 63: 1370-1375.
- Ginder, K. 2002. **Separation by Thin Layer Chromatography**. Retrieved April 18, 2007 from http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/8/8a/Cromatography_tank.png
- Gübitz, G. M., Mittelbach, M. and Trabi, M. 1999. Exploitation of the Tropical Oil Seed Plant *Jatropha curcas* L. **Bioresource Technology**. 67: 73-82.
- Haas, Wilhelm and Mittelbach, Martin. 2000. Detoxification Experiments With the Seed Oil from *Jatropha curcas* L. **Industrial Crops and Products**. 12:11-118.
- Ma, Fangrui and Hanna, Milford A. 1999. Biodiesel Production: A Review. **Bioresource Technology**. 70: 1-15.
- Makkar, H. P. S., Aderibigbe, A. O. and Becker, K. 1998. Comparative Evaluation of Non-toxic and Toxic Varieties of *Jatropha curcas* for Chemical Composition,

- Digestibility, Protein Degradability and Toxic Factors. **Food Chemistry**. 62, 2: 207-215.
- Martinez-Herrera, J., Siddburaju, P., Francis, G., Davila-Ortiz, G. and Becker, K. 2005. Chemical Composition, Toxic/Antimetabolic Constituents, and Effects of Different Treatments on their Levels, in Four Provenances of *Jatropha curcas* L. from Mexico. **Food Chemistry**. 69, 3:1-9.
- Mohibbe Azam, M., Waris, Amtul and Nahar, N. M. 2005. Prospects and Potential of Fatty Acid Methyl Esters of Some Non-traditional Seed Oils for Use as Biodiesel in India. **Biomass and Bioenergy**. 29: 293-302.
- Norris, F. A. 1965. Fats and Fatty Acids. 2nd ed. In **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology** Vol 8. New York: Wiley. Pp 777-811.
- Rug, Melanie and Ruppel, Andreas. 2000. Toxic Activities of the Plant *Jatropha curcas* Against Intermediate Snail Hosts and Larvae of Schistosomes. **Tropical Medicine and International Health**. 5 (6): 423-430.
- Shah, Shweta, Sharma, Apatna and Gupta, M. N. 2004. Extraction of Oil from *Jatropha curcas* L. Seed Kernels by Combination of Ultrasonication and Aqueous Enzymatic Oil Extraction. **Bioresource Technology**. 96: 121-123.
- Shah, Shweta, Sharma, Apatna and Gupta, M. N. 2005. Extraction of Oil from *Jatropha curcas* L. Seed Kernels by Enzyme Assisted Three Phase Partitioning. **Industrial Crops and Products**. 20: 275-279.
- Srivastava, Anjana and Prasad, Ram. 2000. Triglycerides-based Diesel Fuels. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 4:111-133.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

นางสาวณิชาตน์ มะลิมาศ

ประวัติการศึกษา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีที่สำเร็จการศึกษา พ.ศ. 2547