



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากมะยาหีนสำหรับเครื่องยนต์เกษตร

**The Development of Bio-Lubricant Oil from Tung Oil
for Agricultural Machinery**

โดย

ณัฐวุฒิ ดุษฎี และคณะ

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

2560

รหัสโครงการวิจัย มจ.1-59 -012



รายงานผลการวิจัย

เรื่อง

การพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากมะเขือหินสำหรับเครื่องยนต์เกษตร

The Development of Bio-Lubricant Oil from Tung Oil for Agricultural Machinery

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัยในงวดที่ผ่านมา

ประจำปี 2559

จำนวนเงิน 289,700 บาท

หัวหน้าโครงการ

ณัฐวุฒิ

ดุษฎี

ผู้ร่วมโครงการ

พัชร

อินธนู

กมลดารา

เหรียญสุวรรณ

งานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

25 กันยายน 2560

การพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากมะเขือเทศสำหรับเครื่องยนต์เกษตร

The Development of Bio-Lubricant Oil from Tung Oil for Agricultural Machinery

ณัฐวุฒิ ดุษฎี¹, พัชรีย์ อินธนู และกมลดารา เจริญสุวรรณ¹

Natthawud Dussadee¹, Patcharee Intanoo and Kamoldara Reansuwan¹

¹วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้

²ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเขือเทศที่มีโครงสร้างเป็นไตรกลีเซอไรด์ให้เปลี่ยนเป็นโครงสร้างเอสเทอร์เดี่ยว โดยใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันกับเมทานอลและใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในปริมาณร้อยละ 0.9 เทียบกับน้ำหนักน้ำมันมะเขือเทศ และทำการศึกษการเพิ่มอัตราส่วนโดยโมลระหว่างเมทานอลต่อน้ำมันมะเขือเทศที่ 1:3 1:5 1:7 และ 1:9 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 2 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนโดย โมลของเมทานอลต่อน้ำมันมะเขือเทศที่ 1:5 ให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่ร้อยละ 82.36 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนที่ 1:7 1:9 และ 1:3 ให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ร้อยละ 80.21 79.91 และ 78.91 ตามลำดับ จากนั้นจึงนำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อัตราโดยโมล 1:5 มาศึกษาการปรับปรุงคุณภาพ ด้วยกระบวนการอีพ็อกซิเดชัน โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และควบคุมอุณหภูมิที่ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5-8 ชั่วโมง และวิเคราะห์ลักษณะหมู่ฟังก์ชันปริมาณอีพอกไซด์ ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมกนิติกเรโซแนนซ์ (¹H-NMR) และฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มสเปกโตรสโคปี (FTIR) ผลการทดลองพบว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเขือเทศอีพอกไซด์ที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง มีปริมาณอีพอกไซด์สูงสุดที่ร้อยละ 10.22 รองลงคือ น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเขือเทศอีพอกไซด์ที่ 7 6 และ 5 ชั่วโมง มีปริมาณอีพอกไซด์ที่ร้อยละ 9.26 9.12 และ 9.09 ตามลำดับ จากนั้นนำน้ำมันมะเขือเทศอีพอกไซด์ที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง นำมาสังเคราะห์เป็นน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพใช้สารตัวเติมเอทาลีนไกลคอลไตร-เมทิลอลไพรเพนที่อัตราส่วนเชิงโมลเท่ากับ 3.0:0.8 ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ 0.9% w/w ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง และใช้น้ำเย็นในการควบแน่นสารระเหยที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากผลิตภัณฑ์ที่ความดันบรรยากาศ จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ พฤติกรรมการสึกหรอและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานโดยเปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม (150-SN)

คำสำคัญ: ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน กระบวนการอีพ็อกซิเดชัน น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเขือเทศ

Abstract

This research aimed to synthesis biodiesel from Tung oil seeds, which triglyceride structure can be easily changed to a monoester by transesterification reactions. The 0.9% amount of sodium methoxide catalyst was used; and the same concentration was mixed with methanol. There are 4 different types of ratios was examined which mole ratio of methanol/oil used as 1:3, 1:5, 1:7 and 1:9. In addition, the reaction temperature was used at 60°C along with reaction time was 2 hours in controlled conditions. Accordingly, these experimental results were suggested that the ratio of methanol/oil at 1:5 was provided higher percent of ester yield (82.36% (w/w)) compared with other ratios of 1:7, 1:9 and 1:3, which ester yields were 80.21%, 79.91% and 78.91% (w/w), respectively. Then the biodiesel was synthesized at a molar ratio of 1:5, put to use study Improvement of quality biodiesel by the oxidation process. Acid was used as a catalyst. The reaction temperature was used with 55 °C and reaction time was 5-8 hours in controlled conditions. Then, analyzed of characterize by ¹H-NMR and FTIR. This experimental research was found that the 8 hour of biodiesel from Tung oil epoxide was provided higher 10.22 % and another of 7, 6 and 5-hour epoxide was 9.26 9.12 and 9.09, respectively. After that The study of bio lubricant synthesis process was conducted in the 8 hour of biodiesel from Tung oil epoxide synthesized for bio lubricant used ethylene glycol, trimethylolpropane with 3.0:0.8 mole ratio, 0.9% w/w sodium methoxide used as catalyst at 130°C for 3 hours. Chill water was use to condense volatile catalyst at atmospheric pressure. After the completed synthetic process, synthetic oil product tests for physical properties has to be considered. And tested for erosion and friction coefficient compare with petroleum base oil (150-SN).

Key word: transesterification reactions oxidation process biodiesel from Tung oil

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนจากวิจัยจาก สำนักบริหาร โครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา และพัฒนามหาวิทยาลัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยพลังงานและวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่เอื้อเฟื้อ สถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือ และบุคลากรในการสนับสนุนการวิจัยตลอดการทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี คณะวิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่มากนักน้อย จึงขอมอบส่วนดี ทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่า คณาจารย์ ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาจนทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องสำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น คณะวิจัยขออภัยและยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

คณะวิจัย

กันยายน 2560



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	6
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	8
2.1 น้ำมันหล่อลื่น	8
2.2 น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์	11
2.3 น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพ	12
2.4 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน	13
2.5 การหล่อลื่น	14
2.6 การหล่อลื่นเครื่องยนต์สันดาปภายใน	16
2.7 มะเขากิน	23
2.8 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 อุปกรณ์วิธีการวิจัย	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง	36
4.1 ผลการศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเขากิน	36
4.2 ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขากินด้วยกระบวนการเคมี	43
4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขากิน	47
4.4 ผลการทดสอบการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากน้ำมันมะเขากินในเครื่องยนต์ทางเกษตร	54
4.5 ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของกระบวนการ	63
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	68

	หน้า
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทดลอง การสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือ	73
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลอง การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันมะเขือด้วย กระบวนการทางเคมี	75
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดลอง การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมี ของน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือ	133
ภาคผนวก ง ข้อมูลการทดลอง การทดสอบการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากมะเขือ ในเครื่องยนต์ทางการเกษตร	152



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1	4
ตารางที่ 2	10
ตารางที่ 3	17
ตารางที่ 4	18
ตารางที่ 5	23
ตารางที่ 6	24
ตารางที่ 7	25
ตารางที่ 8	27
ตารางที่ 9	28
ตารางที่ 10	36
ตารางที่ 11	37
ตารางที่ 12	38
ตารางที่ 13	38
ตารางที่ 14	40
ตารางที่ 15	42
ตารางที่ 16	46
ตารางที่ 17	47
ตารางที่ 18	48
ตารางที่ 19	49
ตารางที่ 20	50
ตารางที่ 21	50
ตารางที่ 22	55
ตารางที่ 23	58
ตารางที่ 24	59
ตารางที่ 25	60
ตารางที่ 26	61
ตารางที่ 27	62

		หน้า
ตารางที่ 28	ต้นทุนในการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นที่สังเคราะห์ได้ต่อครั้งที่สังเคราะห์	65
ตารางที่ 29	การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิต	65



สารบัญภาพ

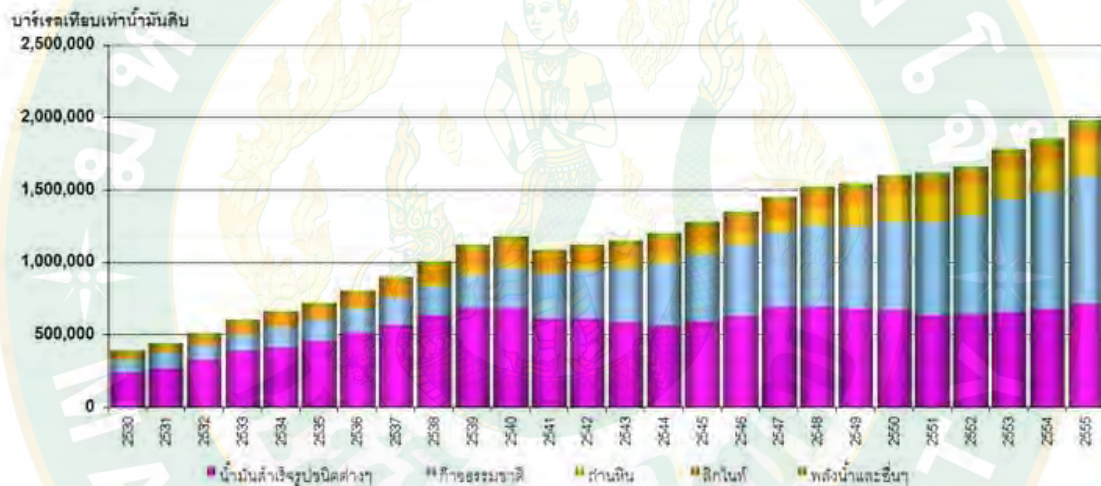
	หน้า
ภาพที่ 1	1
ภาพที่ 2	2
ภาพที่ 3	3
ภาพที่ 4	4
ภาพที่ 5	5
ภาพที่ 6	9
ภาพที่ 7	10
ภาพที่ 8	12
ภาพที่ 9	12
ภาพที่ 10	16
ภาพที่ 11	23
ภาพที่ 12	25
ภาพที่ 13	39
ภาพที่ 14	39
ภาพที่ 15	40
ภาพที่ 16	41
ภาพที่ 17	44
ภาพที่ 18	51
ภาพที่ 19	53
ภาพที่ 20	54
ภาพที่ 21	59
ภาพที่ 22	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานปิโตรเลียมในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้น ตามการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ และการเพิ่มจำนวนประชากร การใช้พลังงานเชิงพาณิชย์ขึ้นต้น ในปี 2556 มีจำนวนทั้งสิ้น 2 ล้านบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.2 เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานในเชิงพาณิชย์ขึ้นต้นในปี 2555 (จำนวน 1.98 ล้านบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน) (ภาพที่ 1) (กระทรวงพลังงาน, 2556) ดังนั้นภาครัฐจึงมีการวางแผนเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน เพิ่มเป็นร้อยละ 20 ของการใช้พลังงานในปี 2556 โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานจากพืช เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมมีศักยภาพด้านชีวมวลสำหรับการผลิตพลังงานทดแทน

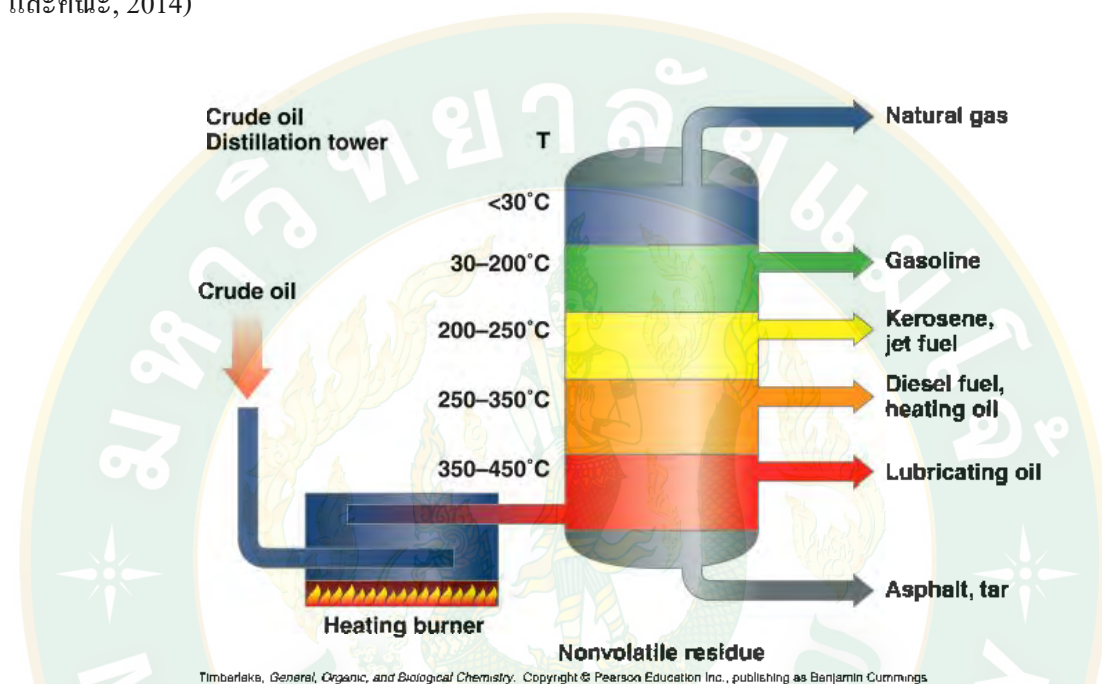


ภาพที่ 1 สถิติการใช้พลังงานขึ้นต้นในเชิงพาณิชย์ แยกตามชนิดเชื้อเพลิง

ที่มา : กระทรวงพลังงาน (2556)

หนึ่งในผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ที่ถือว่ามีความสำคัญและใช้กันอย่างแพร่หลายในการขับเคลื่อนภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม คือ น้ำมันหล่อลื่น (lubricant oil) น้ำมันหล่อลื่นจัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มาจากผลิตภัณฑ์ข้างเคียงของกระบวนการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบเพื่อแยกเอาส่วนเบาที่เป็นเชื้อเพลิง (ก๊าซหุงต้ม น้ำมัน เบนซิน น้ำมันก๊าด และน้ำมันดีเซล) ออกแล้วจึงถูกส่งต่อมายังหอกลั่นสุญญากาศ (ภาพที่ 2) ซึ่งเป็นส่วนที่น้ำมันหล่อลื่นจะถูกแยกออกมา น้ำมันหล่อลื่นที่ถูกแยกออกมานี้ มีทั้ง ความหนืดต่ำ ความหนืดปานกลาง และความหนืดสูง ซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ 3 ขั้นตอน คือ การ

เหมาะสมต่อการใช้งาน เป็นต้น นอกจากคุณสมบัติทั่วไปที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น คุณสมบัติด้านการป้องกันการกัดกร่อนและการเสียดสีของน้ำมันหล่อลื่นยังมีความสำคัญต่อการใช้งานอีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ได้มาจากการเติมสารเติมแต่งจำพวกสารประกอบสังกะสี (Zinc dithiophosphate) (Dong, 2009) มากไปกว่านั้นอาจพบ สารประกอบไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และโลหะหนักบางชนิด (Madankar และคณะ, 2013) ในน้ำมันหล่อลื่นและสารประกอบเหล่านี้ล้วนก่อให้เกิดมลภาวะทางน้ำและอากาศเมื่อมีการสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง เนื่องจากไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ (Wang และคณะ, 2014)



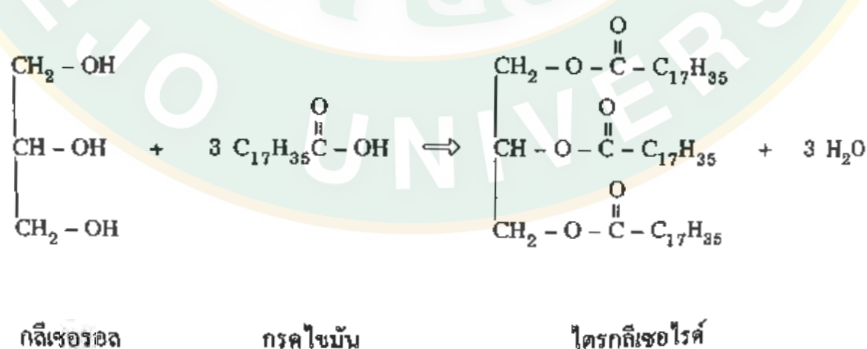
ภาพที่ 2 การกลั่นน้ำมันดิบด้วยวิธีการกลั่นลำดับส่วน

ที่มา : <http://dc384.4shared.com/doc/XZe3D2JF/preview.html>

ปัจจุบันมีการผลิตน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ (synthetic lubricant) จากสารประกอบเอสเทอร์ เช่น polyols ester ภายใต้กระบวนการทางเคมีซึ่งทำให้ได้น้ำมันหล่อลื่นที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะการมีอยู่ของหมู่เอสเทอร์บนสายโซ่หลักของโครงสร้างโมเลกุลแสดงถึงคุณสมบัติการมีขั้วและการละลายที่ดี ส่งผลทำให้น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์สามารถใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่หลากหลายทั้งอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง (pour point น้อยกว่า -30 องศาเซลเซียส) น้ำมันหล่อลื่นที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีหลายชนิดแต่มีราคาค่อนข้างสูง จากสารประกอบเอสเทอร์เป็นวิธีการที่มีต้นทุนในการผลิตสูง ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นักวิจัยส่วนใหญ่ให้ความสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อผลิตน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพ (biolubricant) เช่น น้ำมันละหุ่ง น้ำมันปาล์ม น้ำมันหมู น้ำมันปลา ซึ่งเหมาะกับการใช้งานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ

บางประการ เช่น ใช้เป็นตัวเพิ่มคุณสมบัติด้านความลื่นให้กับน้ำมันจากปิโตรเลียม เพิ่มความสามารถของน้ำมันในการรวมตัวกับน้ำ เช่น น้ำมันหล่อเย็น ปากเครื่องมือของเครื่องกลึง เป็นต้น

น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพ (biolubricant) เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากพืช (vegetable-based oil) ซึ่งมีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก (เช่น น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันคาโนลา, น้ำมันจากเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันดอกทานตะวันที่มีปริมาณของกรดโอเลอิกสูง) ซึ่งไตรกลีเซอไรด์เป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันสามโมเลกุลรวมตัวกับกลีเซอรอลหนึ่งโมเลกุล โดยกรดไขมันประกอบไปด้วย กรดพาล์มมิก, กรดโอเลอิก, และกรดลิโนเลนิก ดังแสดงในภาพที่ 3 จากโครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์แสดงถึงลักษณะเด่นในด้านการย่อยสลายได้เองทางชีวภาพ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพกับน้ำมันหล่อลื่นที่มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมแล้วนอกจากลักษณะเด่นทางด้านสิ่งแวดล้อม น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพยังมีการระเหยที่ต่ำและค่าดัชนีความหนืดที่สูงกว่า (Madankar และคณะ, 2013) เนื่องมาจากโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อนและมีมวลโมเลกุลสูงของ vegetable-based oil ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติที่ดีของสารหล่อลื่นรวมไปถึงไม่มีองค์ประกอบของโลหะหนักอีกด้วย มากไปกว่านั้น vegetable-based oil ก็ยังมีข้อเสียเช่นเดียวกัน ประสิทธิภาพการใช้งานในช่วงอุณหภูมิต่ำและความคงทนต่อการออกซิไดซ์ต่ำเนื่องจากโครงสร้างทางธรรมชาติของ vegetable-based oil ที่มีอัตราส่วนของกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัวต่อกรดไขมันประเภทอิ่มตัวสูง ยิ่งไปกว่านั้นความเสถียรภาพทางความร้อนก็ต่ำด้วยเช่นกันเนื่องจากอัตราส่วนของกรดไขมันประเภทอิ่มตัวต่อกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัวสูง (Nagendramma และคณะ, 2012) จากข้อเสียที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จึงมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการทางเคมีเพื่อให้ น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับน้ำมันหล่อลื่นจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม ทั้งนี้การปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นด้านการใช้งานที่หลากหลายสภาวะแวดล้อมด้วยกระบวนการทางเคมีนั้นยังต้องคำนึงถึงสมบัติความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเป็นหลักซึ่งความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นควรมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยน



ภาพที่ 3 โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์

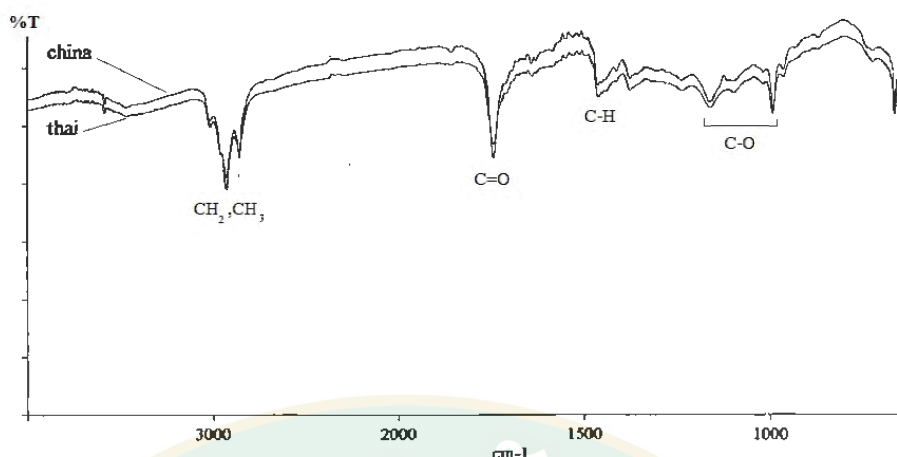
ที่มา : <http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1044>

ผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติที่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจให้พลังงานหรือเรียกว่า พืชน้ำมัน คือ มะเขือหิน ที่มีการนำเข้ามาจากทางเหนือของประเทศไทย มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Tung Oil Tree จัดอยู่ในสกุล (Genus) Vernicia มีชื่อวิทยาศาสตร์ Vernicia fordii (Aleurtes fordii HemsL.) มีต้นกำเนิดจากประเทศจีน จึงมีชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า China wood oil หรือ Kalo Nut tree จากการนำตัวอย่างของน้ำมันที่สกัดได้จากมะเขือหินไปวิเคราะห์คุณสมบัติทางเชื้อเพลิงเพื่อการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (ปตท.) พบว่ามีค่าความร้อนใกล้เคียงกับน้ำมันที่สกัดได้จากสบู่ดำและปาล์มน้ำมัน (ฉัฐวุฒิ และคณะ, 2554) น้ำมันที่สกัดได้จากเมล็ดมะเขือหินคิดเป็นร้อยละ 30-40 น้ำหนักและสามารถนำไปผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อทดแทนการใช้ น้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์เกษตรได้ และจากการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ของน้ำมันมะเขือหินด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี พบว่า น้ำมันมะเขือหินมีหมู่ฟังก์ชัน ที่ตอบสนองความถี่ของคลื่นอินฟราเรดในช่วง $2850-2950\text{ cm}^{-1}$, 1735 cm^{-1} และ $1160-1195\text{ cm}^{-1}$ คือ CH_2 , CH_3 stretching, $\text{C}=\text{O}$ stretching และ $\text{C}-\text{O}$ stretching ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และภาพที่ 4) (ฉัฐวุฒิ และคณะ, 2554) จากการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าน้ำมันมะเขือหินเป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวกเอสเทอร์ของกรดไขมัน จากคุณสมบัติเบื้องต้นมะเขือหินสามารถนำมาผลิตน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพเพื่อใช้สำหรับเครื่องยนต์ทางการเกษตรได้

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันมะเขือหิน

Wave number (cm^{-1})	Functional group
2850-2950	CH_2 , CH_3 stretching
1735	$\text{C}=\text{O}$ stretching
1490-1495	$\text{C}-\text{H}$ bending
1160-1195	$\text{C}-\text{O}$ stretching

ที่มา : ฉัฐวุฒิ และคณะ (2554)



ภาพที่ 4 FT-IR spectra ของน้ำมันมะเขือเทศที่สกัดได้

ที่มา : ญัฐวุฒิ และคณะ (2554)

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจะทำการพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากมะเขือเทศเพื่อใช้ในเครื่องยนต์เกษตร โดยทำการศึกษาและการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศด้วยกระบวนการทางเคมี คือ การอีพอกซิเดชันเพื่อให้ได้สารประกอบ epoxidized vegetable oil (epoxy group) และขั้นตอนที่สอง คือ การเปิดวงของหมู่ epoxy เพื่อให้ได้สารประกอบไฮดรอกซิลเอสเทอร์ ด้วยตัวเร่งชนิดกรด ได้แก่ กรดแอซิดิก กรดบิวทิริกและ กรดเฮกซะโนอิก และทำการตรวจสอบคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันหล่อลื่นทางชีวภาพ ที่สังเคราะห์ได้ เช่น low-temperature property (pour point และ cloud point), จุดวาบไฟ (flash point), ความหนืด, ความเสถียรทางความร้อน และทดสอบการใช้งานจริงในเครื่องยนต์ทางการเกษตร

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1.1. เพื่อพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากมะเขือหินสำหรับเครื่องยนต์ทางการเกษตร
- 1.2. เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือหินด้วยกระบวนการเคมี
- 1.3. เพื่อทดสอบการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากมะเขือหินในเครื่องยนต์ทางการเกษตร



1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ด้านพลังงาน

- เพื่อสนับสนุนนโยบายของรัฐบาลในการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน
- เพื่อความมั่นคงในด้านพลังงานและลดการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ
- เพื่อเป็นแนวทางการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือหิน สำหรับเครื่องยนต์ทางการเกษตร

ด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม

- การใช้น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพช่วยลดปัญหาโลกร้อน เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม
- ลดการใช้น้ำมันหล่อลื่นจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ด้านเศรษฐกิจ

- ลดการนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ทำให้เศรษฐกิจภายในประเทศมีทิศทางดีขึ้น
- เพิ่มมูลค่าให้กับพืชพลังงานกระจายรายได้สู่เกษตรกรและท้องถิ่น เป็นการพึ่งพาตนเองตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียง

ด้านวิชาการ

- เป็นงานวิจัยที่ตอบสนองต่อยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศ และยุทธศาสตร์การวิจัยแห่งชาติ
- องค์ความรู้ใหม่ๆเกี่ยวกับวิธีการสังเคราะห์ทางเคมีรวมไปถึงแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพ เพื่อสามารถนำไปใช้งานให้มีประสิทธิภาพและให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด

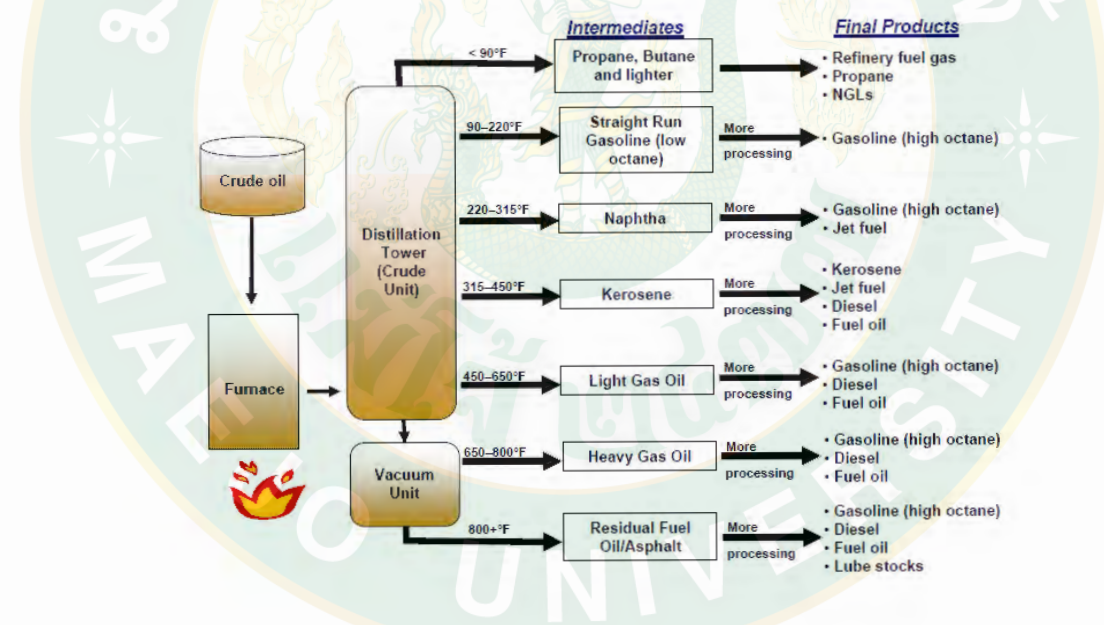
บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำมันหล่อลื่น (Lubricating Oil)

น้ำมันหล่อลื่น (Lubricant oil) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นปิโตรเลียม น้ำมันหล่อลื่นเป็นวัสดุหล่อลื่นที่มีลักษณะเป็นของเหลว โดยทั่วไปจะนำไปใช้หล่อลื่นชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ และเครื่องจักรกลที่มีลักษณะปิด เช่น ภายในห้องงเพลาค้อเหวี่ยง ห้องเกียร์ และเฟืองท้าย เป็นต้น (ประเสริฐ และปานทิพย์, 2548) การผลิตน้ำมันหล่อลื่นเพื่อให้ได้น้ำมันสำเร็จรูปที่มีคุณภาพดี และเหมาะสมกับการใช้งานสำหรับเครื่องยนต์ และเครื่องจักรกลแต่ละชนิด และเครื่องจักรกลแต่ละชนิด นั้น ขั้นตอนในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ขั้นตอนการผลิตน้ำมันฐาน ดังภาพที่ 5 และขั้นตอนในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปโดยการเติมสารเพิ่มคุณภาพต่างๆ ลงในน้ำมันฐาน



ภาพที่ 5 การกลั่นน้ำมันหล่อลื่น

ที่มา: <http://www.vcharkarn.com/blog/37277/7507>

น้ำมันหล่อลื่นมีลักษณะเป็นของเหลวทำหน้าที่หล่อลื่นชิ้นส่วนภายในของเครื่องยนต์ และเครื่องจักรกล ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ

- น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oils)
- สารเพิ่มคุณภาพ (Additives)



ภาพที่ 6 ส่วนประกอบของน้ำมันหล่อลื่น (Lubricating Oil)

ที่มา : บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

2.1.1 ชนิดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oils) น้ำมันพื้นฐานที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งของน้ำมันหล่อลื่น จำแนกเป็น 5 กลุ่มโดยสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (The American Petroleum Institute: API)

- **Group I** น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียมที่มีค่ากำมะถัน (Sulfur) มากกว่า 0.03 % wt และ/หรือ มีองค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturates) น้อยกว่า 90%wt , มีค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index: VI) 80-120 (ภาพที่ 7)
- **Group II** น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียมที่มีค่ากำมะถัน (Sulfur) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.03 % wt และองค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturates) เท่ากับหรือมากกว่า 90%wt , มีค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index: VI) 80-120 (ภาพที่ 7)
- **Group III** น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียมที่มีค่ากำมะถัน (Sulfur) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.03 %wt และองค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (Saturates) เท่ากับหรือมากกว่า 90%wt , มีค่าดัชนีความหนืด (Viscosity Index: VI) เท่ากับหรือมากกว่า 120 (ภาพที่ 7)
- **Group IV** น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานสังเคราะห์พอลิอัลฟาโอเลฟิน (Polyalphaolefins) (ภาพที่ 7)
- **Group V** น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานชนิดอื่นๆนอกเหนือจาก 4 กลุ่มข้างต้น เช่น Esters, Naphthenic Oils (ภาพที่ 7)

API Base Stock Categories (API Publication 1509)				
Group	Sulfur, Wt%		Saturates	V.I.
I	>0.03	and/or	<90	80-119
II	≤0.03	and	≥90	80-119
III	≤0.03	and	≥90	≥120
IV	All Polyalphaolefins (PAOs)			
V	All Stocks Not Included in Groups I-IV (Pale Oils and Non-PAO Synthetics)			

ภาพที่ 7 ชนิดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oils)

ที่มา: Evolution of Base Oil Technology, Chevron Texaco Products Company

คุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ได้แก่ องค์ประกอบของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัว (saturates), องค์ประกอบสารอะโรมาติก (Aromatics) ค่ากำมะถัน (Sulfur) ค่าความหนืด (Viscosity: Vis) และดัชนีความหนืด (Viscosity index :VI) ของแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

	Group I	Group II	Group III	Group IV	Group V
Saturates wt%	65-85	93-99+	95-99+	PAOs	Esters
Aromatic wt%	15-35	<1-7	<1-5	<1	<1
Sulfur, wt%	0.03-0.50	0.0005-0.03	0.0005-0.03	nil	nil
V100,cSt	4-32	4-30	2-8	4-70	4- 24
VI	95-105	95-118	123-150	125-150	140-160

ที่มา: Evolution of Base Oil Technology, Chevron Texaco Products Company

2.1.2 สารเพิ่มคุณภาพ (Additives) เป็นสารที่เติมลงไปในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านกายภาพและด้านเคมีให้เหมาะสมกับชนิด และประเภทการใช้งาน สำหรับสารเพิ่มสารคุณภาพที่นิยมใช้ดังต่อไปนี้

- Detergents (สารชะล้างเขม่า ทำให้เครื่องยนต์สะอาด)
- Dispersants (สารช่วยย่อยเขม่า ไม่ให้จับตัวเป็นกลุ่มเป็นก้อน)
- Anti Oxidation Agents (สารลดการเกิดออกซิเดชั่น)
- Anti-wear Agents (สารป้องกันการสึกหรอ และลดแรงกระแทก)
- Friction Modifiers (สารช่วยลดแรงเสียดทาน)
- Viscosity Index Improver (สารช่วยเพิ่มดัชนีความหนืด)
- Rust Inhibitors (สารป้องกันสนิม)
- Corrosion Inhibitors (สารป้องกันการกัดกร่อน)
- Anti Foam Agents (สารช่วยลดการเกิดฟองอากาศ)
- Pour Point Depressants (สารช่วยลดจุดไหลเท)

2.2 น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์

น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ (อังกฤษ: motor oil, engine oil) หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า น้ำมันหล่อลื่น หรือ น้ำมันเครื่อง ประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่สำคัญคือ น้ำมันพื้นฐาน และสารเพิ่มคุณภาพ น้ำมันเครื่องมีหน้าที่ลดแรงเสียดทานของวัตถุชิ้นที่เสียดสีกัน ระบายความร้อนของเครื่องยนต์ เคลือบช่องว่างระหว่างผิวสัมผัส ทำความสะอาดเขม่าและเศษโลหะภายในเครื่องยนต์ ป้องกันการกัดกร่อนจากสนิมและกรดต่างๆ และป้องกันกำลังอัดของเครื่องยนต์รั่วไหล เป็นต้น (Changhwan และคณะ, 2016)

แหล่งที่มาของน้ำมันพื้นฐานที่ใช้ทำน้ำมันเครื่องมี 3 แหล่งคือ

1. น้ำมันที่สกัดจากพืช
2. น้ำมันที่สกัดจากน้ำมันดิบ
3. น้ำมันสังเคราะห์ น้ำมันชนิดนี้จะให้คุณภาพของน้ำมันเครื่องที่ดีที่สุด
4. น้ำมันหล่อลื่น

Lube Oil, Lubricating Oil ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่น น้ำมันดิบ มีช่วงจุดเดือดระหว่าง 380-500 องศาเซลเซียส และเติมสารเพิ่มคุณภาพต่างๆ ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อปรับปรุงสมบัติให้เหมาะสมสำหรับใช้งานหล่อลื่นแต่ละอย่าง เช่น ความหนืดโดยเฉลี่ยต่างๆ หรือเนื้อครีม ของน้ำมันหล่อลื่นจะเคลือบอยู่ระหว่างผิวของชิ้นส่วน 2 อย่าง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนโลหะที่มีการเคลื่อนไหวยาวไปมา ทำหน้าที่ป้องกันการเสียดสีกันโดยตรง ขณะเดียวกันจะช่วยทำความสะอาด และระบายความร้อน โดยช่วยระบายความร้อนจากเครื่องยนต์ได้

น้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณภาพดีมักจะมียอดประกอบที่สำคัญ 2 อย่างคือ

1. น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oils)
2. สารเพิ่มคุณภาพ (Additives) ในชนิดปริมาณที่เหมาะสมกับงาน

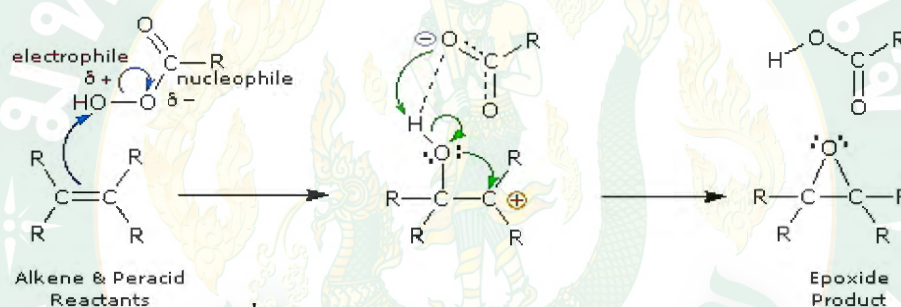
2.3 น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพ (bio lubricant)

เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากพืช (vegetable-based oil) ที่มีไตรกลีเซอไรด์เป็นองค์ประกอบหลัก (เช่น น้ำมันถั่วเหลือง, น้ำมันคาโนลา, น้ำมันจากเมล็ดทานตะวัน และน้ำมันดอกทานตะวันที่มีปริมาณของกรดโอเลอิกสูง) ซึ่งไตรกลีเซอไรด์เป็นสารประกอบเอสเทอร์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันสามโมเลกุล รวมตัวกับกลีเซอรอลหนึ่งโมเลกุล โดยกรดไขมันประกอบไปด้วย กรดพาล์มมิก, กรดโอเลอิก และ กรดลิโนเลนิก

การสังเคราะห์และปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพ

โดยทั่วไปแล้วการสังเคราะห์และปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพเพื่อการใช้งานให้มีประสิทธิภาพและให้เกิดประสิทธิผลสามารถทำได้ด้วยกระบวนการทางเคมีดังต่อไปนี้

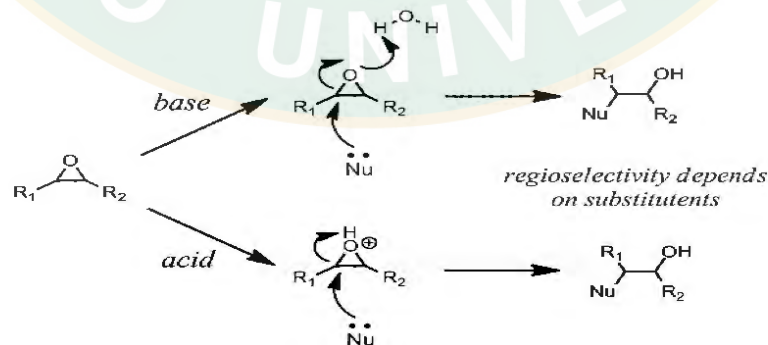
- ปฏิกริยาอีพอกซิเดชัน (epoxidation) คือ การเติมออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของกรดไขมันตรงบริเวณพันธะคู่เพื่อให้เกิดเป็นวงแหวนอีพอกไซด์ หรือหมู่ oxirane ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ปฏิกริยาอีพอกซิเดชัน (epoxidation reaction)

ที่มา : William Reusch, [Virtual Textbook of Organic Chemistry](http://www.organic-chemistry.org)

- ปฏิกริยาการเปิดวง (Acid-Catalyzed Ring Opening) คือ การเปิดวงของหมู่ oxirane ด้วยการเร่งของกรดเพื่อให้ได้สารประกอบไฮดรอกซิลเอสเทอร์ ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ปฏิกริยาการเปิดวง oxirane

ที่มา : <http://yourmomislike.wordpress.com/2012/12/06/your-mom-is-like-an-epoxide/>

2.4 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Base Oils)

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ใช้อยู่มี 3 ประเภทได้แก่ น้ำมันพืชหรือสัตว์ น้ำมันแร่ และน้ำมันสังเคราะห์ แต่ส่วนใหญ่แล้วจะใช้น้ำมันแร่เพราะมีคุณภาพดีเพียงพอและราคาถูก น้ำมันชนิดอื่นจะใช้งานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ ๆ บางอย่างเท่านั้น (Rajendiran และคณะ, 2016)

2.4.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ (Vegetable or Animal Oils)

ในสมัยก่อนมีการใช้งานหลายอย่าง แต่เนื่องจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ที่ได้จากธรรมชาติมักมีความอยู่ตัวทางเคมีต่ำ เกิดเสื่อมสภาพได้ง่ายในขณะใช้งาน จึงต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งราคาก็จะแพงขึ้นมาก จึงหมดความนิยมไป น้ำมันพืชที่คุ้นเคยได้แก่ น้ำมันละหุ่ง น้ำมันปาล์ม น้ำมันสัตว์ที่เคยใช้กันได้แก่น้ำมันหมู น้ำมันปลา ปัจจุบันมีการใช้น้ำมันพืชหรือสัตว์เป็นน้ำมันพื้นฐานน้อยมาก และใช้เฉพาะในงานหล่อลื่นที่ทำมาจากน้ำมันปิโตรเลียม เช่น เพื่อเพิ่มความลื่นและความสามารถในการเข้ากับน้ำ เป็นต้น (Salimon และคณะ, 2015)

2.4.2 น้ำมันแร่ (Mineral Oils)

เป็นน้ำมันพื้นฐานที่ใช้กันมากที่สุดเพราะนอกจากคุณภาพดีแล้วราคายังถูกด้วย น้ำมันแร่ได้จากการเอาส่วนที่อยู่ก้นหอกกลั่นบรรยากาศผ่านกระบวนการกลั่นภายใต้สูญญากาศแยกเอาน้ำมันหล่อลื่นชนิดใสและชนิดข้นออกมา ที่เหลือเป็นกากก็นำไปผลิตยางมะตอย ชนิดและปริมาณของน้ำมันแร่ที่แยกออกมาได้ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันดิบที่นำมากลั่น น้ำมันดิบบางอย่างก็ไม่เหมาะที่จะมาผลิตน้ำมันแร่ น้ำมันแร่ที่ได้จากการกลั่นแยกภายใต้สูญญากาศนี้ ปกติจะยังมียังมีคุณภาพที่ไม่ดีพอที่จะนำมาใช้ผลิตน้ำมันหล่อลื่นต้องผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อจัดเอาสารที่ไม่ต้องการออก เพื่อให้มีความอยู่ตัวเชิงเคมีและเชิงความร้อนดี น้ำมันแร่ที่นำมาใช้ทำน้ำมันหล่อลื่นแบ่งความดัชนีความหนืด ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงความหนืดตามอุณหภูมิแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่ ประเภทที่มีดัชนีความหนืดสูง กลาง และต่ำ น้ำมันแร่ที่มีดัชนีความหนืดสูงได้มาจากการกลั่นน้ำมันดิบประเภทแนฟทาติก (Naphthenic)

2.4.3 น้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic Oils)

เป็นน้ำมันที่สังเคราะห์ขึ้นโดยกระบวนการทางเคมี วัสดุเริ่มต้นที่ใช้มักจะมาจากน้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันสังเคราะห์ที่ใช้กันมีอยู่หลายชนิดแต่ราคาค่อนข้างแพง ในปัจจุบันใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเฉพาะในงานพิเศษที่ต้องการคุณสมบัติด้านดัชนีความหนืดสูง จุดไหลเทต่ำและมีการระเหยต่ำ เป็นต้น น้ำมันสังเคราะห์ที่ใช้กันมากมีดังนี้ (Salimon และคณะ, 2015)

- Polyalphaolefins (PAO) ซึ่งมีดัชนีความหนืดสูงมาก มีจุดไหลเทต่ำมาก มีการระเหยต่ำ และมีความต้านทานต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันดี เริ่มใช้กันมากขึ้นเพราะ ราคาเริ่มถูกลงและผลิตได้ง่าย
- พวก Esters ทั้งพวก Diester และ Complex Ester ใช้เป็น น้ำมันพื้นฐานในงานที่ต้องประสบกับสภาวะ อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก ๆ เช่น น้ำมันเทอร์ไบน์ของเครื่องยนต์ไอ

พ่น พวก Esters มีดัชนีความหนืดสูงมากมีการระเหยตัวต่ำและมีความอยู่ตัวดี Phosphate Esters ก็ใช้ทำพวกน้ำมันไฮดรอลิกที่ไม่ติดไฟ

- พวก Polyglols มีจุดเดือดสูงและจุดไหลเทต่ำ ใช้ในงานที่มีอุณหภูมิสูง เช่น ใช้ทำน้ำมันเบรกและน้ำมันไฮดรอลิกไม่ติดไฟ
- พวก Silicone ใช้ในงานอุณหภูมิสูง
- พวก Halogenated Hydrocarbon เช่น Chlorofluorocarbons ใช้ทำน้ำมันเครื่องอัดออกซิเจน เพราะมีความอยู่ตัวทางเคมีและความร้อนดีมาก
- พวก Polyphony Ethers มีความอยู่ตัวทางความร้อนสูงมาก มีความต้านทานต่อรังสีนิวเคลียร์ใช้ในงานที่มีอุณหภูมิสูงถึง 500 c เช่น เป็นน้ำมันไฮดรอลิกในยานอวกาศ

2.5 การหล่อลื่น

เมื่อวัตถุสองชิ้นขึ้นไปเสียดสีกัน วัตถุทุกชิ้นมีคุณสมบัติเฉพาะตัวในการที่จะทำให้เกิดความฝืด (Friction) ในระดับต่างๆ กัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ ภาระที่ทำ ความเร็วในการเสียดสีกัน และรูปแบบในการเคลื่อนที่ เมื่อมีการเสียดสีกันมากขึ้นย่อมทำให้เกิดความร้อนสูงขึ้น จนอาจทำให้วัสดุที่เสียดสีกันชำรุดเสียหายได้ นอกจากจะมีสารหล่อลื่นมาเป็นตัวกั้นกลาง การเสียดสี และระบายความร้อนของผิวหน้าของวัสดุทั้งสองนั้น จะช่วยให้การชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นกับวัสดุทั้งสองชิ้นนั้นลดลง

วิธีการของน้ำมันหล่อลื่นในการลดแรงเสียดทานก็คือการพยายามป้องกันและลดการสัมผัสของยอดแหลมระหว่างหน้าสัมผัสให้เหลือน้อยที่สุด โดยเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างผิวหน้าทั้งสองนั้น การหล่อลื่นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1. Hydrodynamic Lubrication
2. Boundary Lubrication
3. Elasto-Hydrodynamic Lubrication

1. Hydrodynamic Lubrication หมายถึง ลักษณะของการหล่อลื่นที่มีฟิล์มน้ำมันไหลอยู่ระหว่างหน้าสัมผัส และแยกหน้าสัมผัสคู่หนึ่งออกจากกันโดยเด็ดขาด

เพื่อที่จะเข้าใจการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นนั้น จำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติของของเหลวอย่างหนึ่ง คือ Viscosity หรือความหนืด ความหนืด หมายถึง ความต้านทานต่อการไหลของของเหลวที่เกิดขึ้นจากแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลของของเหลวเองในขณะที่ของเหลวนั้นเคลื่อนตัว ความหนืดนี้จะลดลงเมื่ออุณหภูมิของของเหลวสูงขึ้น (Knoth, 2005)

น้ำมัน และเพราะว่าน้ำมันมีความหนืดที่ต้านทานการไหล แท่งวัตถุก็จะไม่สามารถผลักน้ำมันไปได้หมด แต่ชั้นน้ำมันบางๆ จะยังคงอยู่บนพื้นได้แท่งนี้ทำให้แท่งนี้ยกตัวจากพื้นได้บ้าง เมื่อแท่งนี้เคลื่อนที่เร็วขึ้น น้ำมันก็จะเข้าไปข้างใต้ได้มากขึ้นอีก ยกให้แท่งสูงขึ้นจนกระทั่งสมดุล คือ น้ำมันที่ไหลเข้าไปข้างใต้แท่งนี้เท่ากับน้ำมันที่ไหลออกมา และแท่งก็จะไม่ลอยตัวสูงขึ้นไปอีก ฟิล์มน้ำมันภายใต้

แท่งวัตถุนี้ต้องรับแรงกด คือ น้ำหนักของแท่งวัตถุที่ยกขึ้น พิล์มน้ำมันนี้จะยังคงอยู่ได้ก็ต่อเมื่อแท่งวัตถุเคลื่อนที่ไปตลอดเวลา

ในการหล่อลื่น Journal Bearing ก็เช่นกัน เมื่อหยุดนิ่งเพลานอนอยู่ที่ก้นแบร์ริงและสัมผัสกับแบร์ริงขณะที่เพลาริมหมุน น้ำมันจะถูกลากพาเข้าไปใต้เพลและหน้าสัมผัสเริ่มแยกออกจากกันจนกระทั่งเมื่อเพลหมุนเร็วขึ้นก็จะลอยสูงขึ้นจนกระทั่งสมดุล คือ พิล์มน้ำมันสามารถยกเพลขึ้นได้ทั้งหมด

ฟิล์มน้ำมันนี้ประกอบไปด้วยชั้นของโมเลกุลน้ำมันซ้อนๆ กัน และเคลื่อนที่ไปทางเดียวกัน แต่ละชั้นก็มีความเร็วไม่เท่ากัน ชั้นที่ติดกับหน้าสัมผัสที่อยู่นิ่งก็ไม่เคลื่อนที่ และชั้นบนสุดที่ติดกับผิวหน้าที่ยกเคลื่อนที่ก็จะเคลื่อนที่เร็วที่สุด ส่วนชั้นกลางๆ ก็เคลื่อนที่เร็วขึ้นถ้าอยู่ใกล้กับชั้นบนสุดมากขึ้น การที่ชั้นโมเลกุลของน้ำมันต้องไถลไปบนชั้นอื่นๆ ที่มีความเร็วไม่เท่ากันจึงเกิดเป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ แรงเสียดทานอันเกิดจากผิวหน้าไถลไปแห่งๆ บนอีกผิวหน้าหนึ่งก็หายไป แต่มีแรงต้านจากการเหนือนฟิล์มน้ำมันนี้มาแทน ซึ่งจะน้อยกว่าแรงเสียดทานแห่งมากมายหลายเท่าตัวนัก

ปัจจัยในการเกิดการหล่อลื่นแบบ Hydrodynamic Lubrication จึงประกอบไปด้วย

- ผิวหน้าทั้งสองต้องมีช่องว่างที่จะให้น้ำมันเคลื่อนที่เข้าไปได้
- ผิวหน้าทั้งสองต้องมีการเคลื่อนที่เร็วเพียงพอที่จะลากน้ำมันเข้าไปได้ในปริมาณที่มากพอ
- ปริมาณน้ำมันต้องมีเพียงพอที่จะอยู่เต็มช่องว่าง และเข้ามาแทนที่ส่วนที่ไหลออกไป
- น้ำมันต้องมีความหนืดสูงพอที่สร้างฟิล์มน้ำมันขนาดหนาๆ ได้

สิ่งที่ควรทราบอีกประการหนึ่งคือ พลังงานที่ต้องใช้ในการเหนือนฟิล์มน้ำมันถึงแม้จะน้อยก็จะเกิดเป็นความร้อนทำให้อุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้น และส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดลดลงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และอาจมีกระทบต่อสภาพการหล่อลื่นอย่างสมบูรณ์ได้ (Costa และ Hutchings, 2007)

2. Boundary Lubrication คือ การหล่อลื่นที่ฟิล์มน้ำมันไม่สามารถจะเกิดขึ้นและแยกหน้าสัมผัสออกจากกันได้เด็ดขาด และการสัมผัสกันระหว่างยอดแหลมของ 2 ผิวหน้าเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เป็นผลจากการที่ปัจจัยต่างๆ ของการเกิด Hydrodynamic Lubrication มีไม่ครบถ้วน เช่น บางครั้งความเร็วของหน้าสัมผัสต่ำเกินไป หรือแรงกดสูงมากจนกระทั่งน้ำมันที่มีความหนืดสูงก็ยังไม่สามารถแยกและป้องกันการสัมผัสของผิวหน้าทั้งคู่ได้ หรือในการเคลื่อนที่ที่มีการหยุดและไปบ่อยๆ หรือกลับทิศทางการเคลื่อนที่ไปมาทำให้ฟิล์มน้ำมันสลายตัว (Kajidas , 2001)

แรงเสียดทานเมื่อมีการหล่อลื่นแบบ Boundary Lub. จึงถูกกำหนดจากทั้งลักษณะของหน้าสัมผัสและลักษณะของน้ำมันหล่อลื่นนอกเหนือจากความหนืดของน้ำมันแต่เพียงอย่างเดียว แรงเสียดทานนี้จะสูงกว่าการหล่อลื่นชนิด Hydrodynamic

ความรุนแรงของสภาวะที่ต้องการการหล่อลื่น Boundary Lub. มีระดับต่างๆ กัน และคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่จะต้องรับภาระต่างๆ กันนี้ ต่างกันไปตามชนิดและความสามารถของสารเพิ่ม

คุณภาพในน้ำมัน แต่ส่วนนี้มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของน้ำมัน ในสภาวะที่โหลดไม่สูงมากนัก สารเพิ่มคุณภาพจำพวกไขก็สามารถใช้ได้ โดยที่จะเข้าจับติดผิวโลหะได้ดีเมื่อถูกครูดไถก็ยังป้องกันไม่ให้ผิวหน้าโลหะทั้งสองสัมผัสกัน แต่เมื่อโหลดสูงมากขึ้นและอุณหภูมิที่ผิวหน้าสัมผัสสูงขึ้น สารจำพวกไขนี้ไม่แข็งแรงพอและก็จะเสื่อมประสิทธิภาพการจับติดโลหะ จึงมีความต้องการสารเพิ่มคุณภาพประเภทที่จะเข้าทำปฏิกิริยาเคมีกับผิวโลหะ ณ จุดที่รับโหลดสูงๆ นั้น เปลี่ยนเนื้อโลหะเป็นสารประกอบใหม่ที่นุ่มกว่าเดิมเคลือบอยู่บางๆ เป็นผลให้ผิวหน้าทั้งสองไถเสียดสีผ่านกันไปได้ โดยมีแรงเสียดทานน้อยลง สารเพิ่มคุณภาพประเภทนี้ได้แก่ สารลดการสึกหรอและสารรับแรงกดสูง

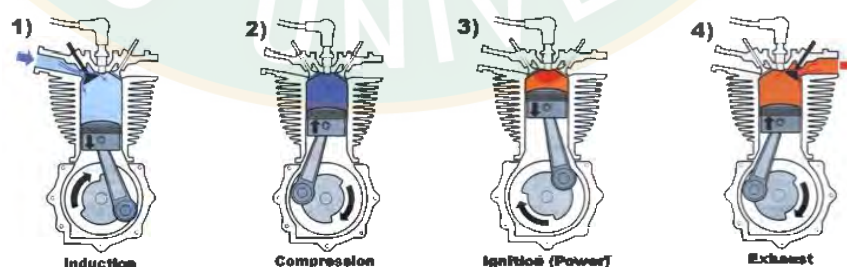
3. Elasto-Hydrodynamic Lubrication การหล่อลื่นแบบ EHD หมายถึง การที่ผิวหน้าสัมผัสยุบตัวชั่วคราว เนื่องจากต้องรับแรงกดและน้ำหนักสูงมากเป็นพิเศษบนพื้นที่เล็กๆ การยุบตัวทำให้พื้นที่ที่รับน้ำหนักขยายมากขึ้น บวกกับการที่ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นในเวลาเดียวกันก็เพิ่มขึ้นมากเพราะอยู่ภายใต้ความกดดันสูง ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของน้ำมันสูงขึ้นในพื้นที่ที่ยุบตัวลงนั้น เกิดเป็นฟิล์มน้ำมันที่สมบูรณ์สามารถแยกหน้าสัมผัสออกจากกันได้โดยเด็ดขาด (Yunus et al., 2003)

การหล่อลื่นแบบ EHD นี้พบได้ในการหล่อลื่นของลูกปืนและเกียร์ ซึ่งมักจะมีผิวหน้าโค้งทำให้พื้นที่ที่ต้องรับน้ำหนักมีขนาดเล็กๆ เท่านั้น ด้วยแรงกดและพื้นที่เท่านี้ ฟิล์มน้ำมันไม่น่าจะรับน้ำหนักได้ แต่ปรากฏว่าผิวหน้าเกิดยุบตัวขยายบนพื้นที่รับน้ำหนักและเพิ่มความหนืดน้ำมันหล่อลื่นขึ้นได้

2.6. การหล่อลื่นเครื่องยนต์สันดาปภายใน

2.6.1 หลักการทั่วไป

พลังงานความร้อนสามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานทางกล (สุรพล, 2549) เช่นทำให้ลูกสูบมีการเคลื่อนที่ไป-มา หรือทำให้เกิดการหมุนของลูกสูบโรตารี เทอร์ไบน์ มอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งพลังงานต้นกำลังได้แก่ เชื้อเพลิงจากฟอสซิลเป็นหลัก ระบบที่ใช้ในการเผาไหม้ฟอสซิลเพื่อทำให้เกิดพลังงานทางกล จึงเรียกกันว่า เครื่องยนต์สันดาปภายใน หลักการของเครื่องยนต์สันดาปภายในแบ่ง ออกเป็น แบบชนิด 4 จังหวะ และ 2 จังหวะ ดังภาพ 10



ภาพที่ 10 วงรอบการทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะ

ที่มา: http://www.9engineer.com/index.php?a=print&article_id=407&m=article

นอกจากนี้เครื่องยนต์สันดาปภายในยังสามารถแบ่งเป็นระบบที่ใช้การจุดระเบิดด้วยหัวเทียนในเครื่องยนต์เบนซิน และระบบที่มีการจุดระเบิดตัวเองสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยเครื่องยนต์ทั้งสองชนิดมีลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน เช่น เครื่องยนต์เบนซินมักใช้งานที่ความเร็วสูงๆแต่เครื่องยนต์ดีเซลจะใช้งานที่ภาระสูงๆ

2.6.2 หน้าที และการทำงานของน้ำมันหล่อลื่น

เครื่องยนต์มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่มากมาย และต้องการน้ำมันหล่อลื่นเพื่อเข้าไปลดแรงเสียดทานและการสึกหรอ (สุรพล, 2549) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 หน้าทีของน้ำมันหล่อลื่น

หน้าที	การทำงาน และตำแหน่งที่ต้องการหล่อลื่น	คุณสมบัติ
ป้องกันการสึกหรอ และส่งถ่ายกำลังผ่านฟิล์มน้ำมัน	จุดสัมผัส และความเสียดทานในฟิล์ม น้ำมันแบบเติมฟิล์ม	ความหนืดสูงแม้มีอุณหภูมิสูง
ป้องกันการสึกหรอ และที่ เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับโลหะ	จุดสัมผัสที่มีการหล่อลื่นแบบกึ่งสมบูรณ์	การเกิดขึ้นของฟิล์มป้องกันการสึกหรอจากสารเพิ่มคุณภาพ
ทำให้สารตกค้างจากการเผาไหม้ไม่ทำลายระบบ	ทำให้สารต่างๆ ที่เกิดจากการเผาไหม้ และเศษโลหะให้แขวนลอยอยู่ในน้ำมัน ทำให้ค่าความเป็นกรดที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้กลายเป็นค่าสะเทิน	การกระจายเขม่า และชะล้างสิ่งสกปรก มีคุณสมบัติทำให้น้ำมันหล่อลื่นเป็นกลาง
ป้องกันการกัดกร่อน	ปกป้องการกัดกร่อนทั้งในระหว่างการใช้งาน และหยุดใช้งาน	มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยากับผิวโลหะ
ซีล	กระบอกสูบ และแหวนลูกสูบก้านวาล์ว และปลอกนำวาล์ว	ความหนืดเหมาะสม และระเหยตัวน้อย
หล่อเย็น	จุดสัมผัสทุกจุดระบายความร้อนจากการเผาไหม้	นำความร้อนได้ดีและมีความหนืดต่ำ

จากตาราง 3 ทำให้ทราบว่าน้ำมันหล่อลื่น ต้องมีคุณลักษณะที่ซับซ้อน ดังนี้

2.6.2.1. มีความสามารถในการไหลได้ดี ทั้งที่อุณหภูมิสูงและต่ำ และภายใต้เงื่อนไขของการถูกตัดเฉือนด้วย

2.6.2.2. สามารถทำให้ของแข็ง เช่น เขม่า เศษโลหะ สิ่งสกปรก แหวนลอยอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นได้ดี

2.6.2.3. ไม่มีผลต่อผิวโลหะที่เป็นวัสดุในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

2.6.2.4. สามารถทำให้กรดที่เกิดขึ้นในระบบกลายเป็นกลางทางเคมี ต้องทำหน้าที่ซีลและหล่อเย็น

คุณสมบัติเหล่านี้ไม่สามารถมีได้ทั้งหมดในน้ำมันฐาน ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นจึงจำเป็นต้องมีสารเพิ่มคุณภาพในปริมาณมากๆ น้ำมันหล่อลื่นบางชนิดมีสารเพิ่มคุณภาพมากถึง 40%

2.6.3 เกรดน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะมาจากการนำเอาน้ำมันฐาน (Base oil) มาผสมกับสารเพิ่มคุณภาพ (Additive) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งาน สามารถให้การหล่อลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ และต้องมีการผ่านการทดสอบคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นจากสถาบันที่มีชื่อเสียงที่ทุกคนยอมรับ เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพและให้ผู้ที่ใช้ น้ำมันหล่อลื่นได้รับประโยชน์จากน้ำมันหล่อลื่นสูงสุด

2.6.3.1 การแยกประเภทน้ำมันหล่อลื่น

การแยกประเภทน้ำมันหล่อลื่นโดยทั่วไป มีอยู่ 2 ประเภทคือ

- แยกตามความหนืด
- แยกตามสภาพการใช้งาน

2.6.3.2 มาตรฐานการแยกน้ำมันหล่อลื่นตามความหนืด

สมาคมวิศวกรยานยนต์ (Society of Automotive Engineer หรือ SAE) ได้ตั้งมาตรฐานการวัดความหนืดน้ำมันหล่อลื่นไว้ ดังตารางที่ 4 (SAE J300)

ตารางที่ 4 มาตรฐาน SAE J 300

เบอร์ SAE	ความหนืดสูงสุดที่อุณหภูมิ (°C)	ความหนืด (cSt) ที่ 100 °C	
		ต่ำสุด	สูงสุด
0W	3250 ที่ -30	3.8	-
5W	3500 ที่ -25	3.8	-
10W	3500 ที่ -20	4.1	-
15W	3500 ที่ -15	5.6	-
20W	4500 ที่ -10	5.6	-
25W	6000 ที่ -5	9.3	-
	ความหนืด SUS ที่ 270 °F		
20	45-58	5.6	ต่ำกว่า 9.3
30	58-70	9.3	ต่ำกว่า 12.5
40	70-85	12.5	ต่ำกว่า 16.3
50	85-110	16.3	ต่ำกว่า 21.9

จากตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่า น้ำมันหล่อลื่นที่ระบุเบอร์ SAE ตามด้วยอักษร W เป็นน้ำมันที่ใช้ อุณหภูมิสภาพแวดล้อมต่ำ หรืออุณหภูมิต่ำ สำหรับเบอร์ SAE ที่ไม่มีอักษร W เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ อุณหภูมิสภาพปกติ เช่น น้ำมันหล่อลื่นเกรดเดียว เบอร์ SAE 20W คือ ที่อุณหภูมิต่ำจะมีความหนืด เท่ากับเบอร์ 20 และน้ำมันหล่อลื่นเบอร์ SAE 50 คือที่อุณหภูมิสูงจะมีความหนืดเท่ากับเบอร์ 50 แต่ โดยทั่วไป น้ำมันหล่อลื่นในท้องตลาดนิยมผลิตออกมาเป็นแบบเกรดรวมเพื่อที่จะใช้น้ำมันหล่อลื่น สามารถใช้กับรถได้ทุกฤดูกาล เช่น SAE 20W 50 หมายความว่า น้ำมันชนิดนี้จะมีค่าความหนืดเท่ากับ เบอร์ 20 ที่อุณหภูมิต่ำ และมีความหนืดเท่ากับเบอร์ 50 ที่อุณหภูมิสูง

2.6.4 ระบบหล่อลื่น

ระบบหล่อลื่นของเครื่องยนต์ สำหรับรถจักรยานยนต์ไม่แตกต่างกับการหล่อลื่นของเครื่องยนต์ ทั่วๆ ไป ซึ่งต้องอาศัยน้ำมันหล่อลื่น (Lubricant) และจาระบี (Grease) เป็นเครื่องช่วยลดแรงเสียดสีและ ความฝืด จากการเคลื่อนไหวของส่วนต่างๆ เช่น แบริ่งลูกสูบกับแหวนลูกสูบ พนักกระบอกสูบ และ เครื่องประกอบอื่น ๆ ต่างๆ แต่เนื่องจากเครื่องยนต์ใช้ระบบความร้อนด้วยอากาศ น้ำมันหล่อลื่น นอกจากทำหน้าที่ป้องกันการเสียดสีในส่วนที่มีการเคลื่อนไหวแล้ว ยังทำหน้าที่ระบายความร้อนออก จากเครื่องยนต์ด้วย

เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ เช่น ลูกสูบ แหวนลูกสูบ เพลา ลูกเบี้ยว เพลาข้อ เหวี่ยง และ โซ่รูดลิ้นจะเคลื่อนไหว ทำให้ผิวหน้าของโลหะที่สัมผัสกันเกิดการเสียดสีทำให้เกิดแรง เสียดทานและความร้อน ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นจะเข้าไปหล่อลื่นชิ้นส่วนต่างๆ ที่เคลื่อนไหวเหล่านี้ เพื่อ ลดแรงเสียดทานและความร้อน เพื่อให้ชิ้นส่วนต่างๆ เหล่านี้สึกหรอน้อยและมีอายุการใช้งานยาวนาน ขึ้น

คุณภาพของการหล่อลื่นของน้ำมันหล่อลื่น ขึ้นอยู่กับความหนืดของน้ำมันเป็นสิ่งแรก เชื่อบางๆ ของน้ำมันหล่อลื่นจะเคลือบผิวของโลหะไม่ให้มีการเสียดสีกันโดยตรง เป็นสาเหตุของการสึกหรอ ความหนาของเยื่อน้ำมันขึ้นอยู่กับความหนืด ถ้าความหนืดของน้ำมันสูง เยื่อน้ำมันจะหนามาก ดังนั้น น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติในการรักษาความหนาของเยื่อน้ำมันให้เกือบคงที่ได้อยู่ได้ ในทุกๆ อุณหภูมิ คือ ไม่บางเกินไป (ใสมาก) เมื่ออุณหภูมิสูง และไม่หนาเกินไป (ข้นมาก) ที่อุณหภูมิต่ำ น้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ เรียกว่า มีดัชนีความหนืดสูง

ก่อนติดเครื่องยนต์ น้ำมันหล่อลื่นจะอยู่ในส่วนล่างของอ่างน้ำมันหล่อลื่นจะมีอุณหภูมิต่ำและ ข้น เมื่อเครื่องยนต์ทำงานจะมีน้ำมันไปหล่อเลี้ยงส่วนที่เคลื่อนไหวทันที และเมื่อเครื่องยนต์ร้อน น้ำมันหล่อลื่นจะใสลง และยิ่งตอนที่จราจรติดขัด อุณหภูมิจะสูงขึ้นมาก ทำให้เยื่อน้ำมันบางขึ้นส่วน ของเครื่องยนต์อาจจะเสียดสีกันโดยตรง ทำให้เกิดการสึกหรอได้ เพราะฉะนั้นน้ำมันหล่อลื่นที่ดี ต้องมี ความหนืดสูง

2.6.5 หน้าทีของน้ำมันหล่อลื่น

2.6.5.1 หน้าทีในการช่วยระบายความร้อน

เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน อุณหภูมิเครื่องยนต์จะสูงขึ้น น้ำหรืออากาศไม่สามารถจะระบายความร้อนได้อย่างเพียงพอ น้ำมันหล่อลื่นก็จะช่วยทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับเครื่องยนต์ เป็นการลดอุณหภูมิของเครื่องยนต์ลง ไม่ให้ร้อนจัดจนเกินไป

น้ำมันหล่อลื่นจะถูกส่งไปหล่อลื่นตามจุดต่างๆ เช่น แบริ่ง แหวน ลูกสูบ เพลา และ กระเดื่องปิดเปิดลิ้น ฯลฯ ความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะถูกถ่ายเทออกจากเครื่องยนต์โดยอาศัย น้ำมันหล่อลื่นเป็นตัวช่วยส่วนหนึ่ง จากการทดสอบพบว่า ประมาณ 30-35% ของความร้อน ถูกระบายออกโดยอาศัยน้ำมันหล่อลื่นเป็นตัวถ่ายเท จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นค่อนข้างสูงขึ้น ส่งผลให้การผสมกันระหว่างน้ำมันกับออกซิเจนในอากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้เอง น้ำมันหล่อลื่นที่ดี จึงต้องมีสารเคมีเพิ่มคุณภาพในการป้องกันการรวมตัวของออกซิเจน เพื่อยืดอายุเครื่องยนต์ให้ยาวนานขึ้น

2.6.5.2 หน้าทีในการป้องกันการกัดกร่อน และสนิม

เมื่อเราต้องจอดรถทิ้งไว้เป็นเวลานานๆ ความชื้นและน้ำเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เครื่องยนต์ที่เป็นเหล็กเกิดสนิม และเกิดการกัดกร่อนของโลหะ จนโลหะนั้นเป็นตามด น้ำมันหล่อลื่นจะช่วยป้องกันสนิม และการกัดกร่อนได้

เมื่อเริ่มติดเครื่องยนต์ใหม่ๆ ในขณะที่เครื่องยนต์และน้ำมันหล่อลื่นยังเย็นอยู่ การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจะยังไม่สมบูรณ์ดี จะมีแก๊สและไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ รั่วผ่านแหวน ลูกสูบลงไปอยู่ข้างล่างของเครื่องยนต์มากกว่าปกติ แก๊สที่รั่วผ่านเหล่านี้ จะรวมตัวกันเป็นไอน้ำ กลายเป็นกรดสามารถจะกัดกร่อนชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ และทำให้เกิดสนิมได้ สารเคมีจะช่วยป้องกันไม่ให้เหล็กเป็นสนิม และต้านทานสารกัดกร่อนที่เป็นอันตรายเหล่านี้ ทำให้อายุการใช้งานของเครื่องยนต์เบนซิลยืนนานขึ้น

2.6.5.3 หน้าทีในการป้องกันการรั่วไหลของกำลังอัด และการรั่วซึมของแก๊ส

ฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นตามผนังกระบอกสูบ ปลดร่องแหวน จะทำหน้าที่เป็นซีลช่องว่างระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ ทำให้กำลังอัดไม่สามารถรั่วไหลได้ จึงทำให้เครื่องยนต์มีกำลังอัดสูงการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ก็จะสมบูรณ์

ความหนืดของน้ำมัน มีความสำคัญในการป้องกันการรั่วซึมของแก๊สผ่านแหวนสูบได้ โดยทำหน้าที่เป็นเยื่ออุดช่องว่างระหว่างแหวนลูกสูบกับกระบอกสูบ น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องมีคุณสมบัติในการเคลือบ และจับกับผิวโลหะ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันการรั่วซึมของแก๊ส

2.6.5.4 หน้าที่ในการช่วยรักษาความสะอาดของเครื่องยนต์

เมื่อเครื่องยนต์ทำงาน จะเกิดสิ่งสกปรกต่างๆ ขึ้นในเครื่องยนต์ เช่น คราบตะกอนและเขม่าที่เกิดจากการเผาไหม้ น้ำมันหล่อลื่นก็จะเป็นตัวชะล้างสิ่งสกปรกต่างๆ เหล่านี้ให้รวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่น เพราะฉะนั้น เมื่อใช้รถไปเป็นระยะทางที่โรงงานกำหนด ก็จะต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น

โดยทั่วไปเครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้ภายใน จะมีเขม่าที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง บางส่วนก็ร่วผ่านแหวนลูกสูบ และผนังห้องสูบขึ้นไปอยู่ในฝาครอบวาล์ว ตลอดจนส่วนอื่นๆ ภายในเครื่องยนต์ น้ำมันหล่อลื่นที่ดีจะต้องสามารถชะล้างขจัดคราบสกปรกดังกล่าว ออกจากผิวโลหะได้ นอกจากนี้แล้ว ยังต้องมีคุณสมบัติในการกระจายเขม่า และสิ่งสกปรกไม่ให้รวมตัวกันเป็นก้อน สิ่งสกปรกเหล่านี้ จะต้องลอยตัววนเวียนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น เป็นที่สังเกตได้ว่า น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจะมีสีดำ ซึ่งแสดงว่าน้ำมันได้ทำหน้าที่ชะล้างสิ่งสกปรกอย่างสมบูรณ์แล้ว

2.6.6 การตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น

คุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นมีมากมาย แต่คุณสมบัติที่มักจะต้องอยู่เสมอดังนี้ (พิชัย , 2538)

2.6.6.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด คือความต้านทานการไหลของน้ำมัน ความหนืดเป็นคุณสมบัติสำคัญของน้ำมัน มีการแปรกลับกับอุณหภูมิของน้ำมัน ถ้าอุณหภูมิค่าน้ำมันจะขึ้นทำให้เชื้อหล่อลื่นที่หนา ถ้าอุณหภูมิสูงน้ำมันจะใสให้เชื้อหล่อลื่นที่บาง (Knothe, 2005)

โดยทั่วไป ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้ว เป็นข้อมูลที่สำคัญที่สุดสำหรับการติดตามดูการเปลี่ยนแปลงสภาพน้ำมันหล่อลื่น การลดลงของค่าความหนืดมักจะมีผลจากการที่มีน้ำมันแปลกปลอมที่มีค่าความหนืดผสมอยู่ หรืออาจมีการปนเปื้อนของสารละลาย (Solvent) ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์จะลดลงเมื่อมีน้ำมันเชื้อเพลิงผสม สำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้สารเคมีในการเพิ่มความหนืด เมื่อสารคุณภาพเสื่อมลงความหนืดก็จะลดลง

2.6.6.2 จุดวาบไฟ (Flash Point)

จุดวาบไฟ คืออุณหภูมิของน้ำมันที่ได้รับความร้อนจนเป็นไอ แล้วลุกวาบเมื่อถูกเปลวไฟแต่เปลวไฟจะเกิดเพียงไม่นาน ในแง่ของน้ำมันหล่อลื่นถ้าน้ำมันมีจุดวาบไฟต่ำจะทำให้มีการสูญเสียการระเหยมาก

ค่าของจุดวาบไฟ อาจต่ำกว่าที่เคยเป็นเนื่องมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันชนิดที่ใสกว่า หรือสารทำละลายเกิดจากการแตกตัวของอนุภาคน้ำมัน เนื่องจากความร้อนสำหรับจุดวาบไฟที่สูงขึ้นกว่าเดิม อาจเนื่องมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันที่มีความหนืดสูงกว่า

2.6.6.3 ความหนาแน่น และความถ่วงจำเพาะ (Density)

ความหนาแน่น หมายถึงสสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิมาตรฐานกำหนด ส่วนความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่นสัมพัทธ์) คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของน้ำมัน และความ

หนานแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน มักนิยมนำหาค่าความถ่วงจำเพาะในรูปขององศา API (American Petroleum Institute) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\text{องศา API} = \frac{141.5}{\text{Sp.gr. 60/60}^\circ \text{F}} - 131.5 \quad (1)$$

โดยที่ องศา API = องศา API ที่ 60 °F
 Sp.gr. 60/60° F = ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันที่ 60 °F

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อองศา API เพิ่มค่าความถ่วงจำเพาะจะลดลง ค่าความถ่วงจำเพาะนี้จะเป็นตัวช่วยในการตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะลดลง (ค่าองศา API เพิ่มขึ้น) ก็อาจแสดงได้ว่ามีน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ามาผสมกับน้ำมันหล่อลื่น และถ้ามีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นก็อาจแสดงว่ามีสิ่งแปลกปลอมเจือปน

2.6.6.4 สี (Color)

คุณสมบัติของสารหล่อลื่นที่นิยมนำมาวิเคราะห์เพื่อเป็นการอ้างอิงเบื้องต้น คือสีของน้ำมันหล่อลื่นที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยทั่วไปจะใช้เกจวัดสีหล่อลื่นในระบบ ASTM D1500 ซึ่งในระบบสีดังกล่าวจะแบ่งระดับสีออกเป็น 16 ระดับ คือ 0-8 โดยแบ่งออกเป็นขั้นๆละ 0.5 ระดับสีของสารหล่อลื่นที่เข้มข้นของน้ำในหล่อลื่นมักจะมาใช้อย่างไรก็ตามสำหรับสำหรับการระบุถึงคุณภาพจะเป็นของการปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรกจากการใช้งาน

2.6.6.5 จุดไหลเท (Pour Point)

จุดไหลเท คือ อุณหภูมิต่ำที่สุดของน้ำมันหล่อลื่นจะเริ่มไหลภายใต้สภาวะที่กำหนดซึ่งน้ำมันหล่อลื่นทั่วไปจะมีไขส่วนหนึ่งละลายอยู่ด้วย เมื่อน้ำมันหล่อลื่นเย็น ไขก็จะตกผลึกและเกาะกันเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงโดยกักเอาน้ำมันไว้ และเมื่อผลึกของน้ำมันมากพอ น้ำมันก็จะไม่สามารถไหลได้อีกต่อไป

2.6.6.6 ค่าความเป็นกรด (Total Acid Number)

ค่าความเป็นกรด จะวัดและรายงานออกมาในรูปแบบของ Total Acid Number (TAN) และ Stong Acid Number (SAN) วัดผลโดยใช้ ASTM D664 (Potentiometric Titration) สำหรับน้ำมันที่มีสีดำนากๆ ค่าความเป็นกรดของน้ำมันนี้เป็นข้อมูลอย่างหนึ่งที่จะช่วยในการคาดคะเนระดับ หรือความรุนแรงของการออกซิไดส์ของน้ำมันทั่วไป ค่าความเป็นกรดของน้ำมันหล่อลื่นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุการใช้งาน

การสรุปการเกิดออกซิเดชันของน้ำมัน ไม่ควรที่จะสรุปบนพื้นฐานของค่าความเป็นกรดเพียงอย่างเดียว แต่จะต้องนำค่าของความหนืด ปริมาณตะกอนคราบยางเหนียวและอื่นๆเป็นส่วนประกอบในการพิจารณาด้วย

2.7 มะเขยหิน

มะเขยหิน หรือสบู่ดำหิน เป็นไม้ยืนต้น มีชื่อภาษาอังกฤษว่า Tung Oil Tree จัดอยู่ในสกุล (Genus) Vernicia มีชื่อวิทยาศาสตร์ Vernicia fordii (Aleurtes fordii Hemmley) เป็นพืชน้ำมันที่ปลูกที่ประเทศลาว มีการนำเข้ามาในประเทศไทยโดยกลุ่มของนักวิจัย จากการสำรวจเบื้องต้นพบว่าพืชชนิดนี้มีปลูกกันพอสมควรในประเทศลาว มีผลผลิตปีละ 200-300 ตัน โดยส่งออกไปจำหน่ายที่ประเทศเวียดนาม พืชชนิดนี้ ที่อายุ 5 ปี ติดผลปานกลาง ให้ผลผลิต ประมาณ 3,026 ลูกต่อต้น คิดเป็นน้ำหนักเมล็ดประมาณ 22 กิโลกรัม ถ้าประเมินที่ระยะปลูก 4x4 เมตร จะให้ผลผลิตประมาณ 1,200-1,500 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าผลผลิตสบู่ดำที่ปลูกในประเทศไทย 3-4 เท่า สำหรับในประเทศไทย อัตราการปลูกมะเขยหินจะแตกต่างกันไป ตามความสมบูรณ์ของพื้นที่ และวัตถุประสงค์ของการปลูก ในปัจจุบันยังไม่มีผลการทดลองที่แนะนำว่าระยะการปลูกเท่าใดที่ให้ผลผลิตสูงสุดในประเทศไทย แต่ที่แปลงเพาะปลูกของสหกรณ์พืชพลังงานทดแทนแห่งชาติ บ้านแม่नाป่าก ตำบลแม่หอพระ อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ ได้ทำการปลูกที่ระยะ 4x4 เมตร แบบสลับฟันปลา (100 ต้น/ไร่) ภายได้สภาพพื้นที่ป่าบนภูเขา ดินไม่ค่อยสมบูรณ์ พบว่าระยะการปลูกดังกล่าวจะให้ผลผลิตมะเขยหิน 4-8 kg/ต้น หรือ 400-800 kg/ไร่ โดยมีพื้นที่ปลูกประมาณ 100 ไร่ (ณัฐวุฒิ และคณะ, 2554) และยังมีพื้นที่ปลูกกระจายในพื้นที่ภาคเหนือไม่ต่ำกว่า 500 ไร่ เช่น แปลงของเกษตรกรพื้นที่อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ และแปลงของเกษตรกรพื้นที่อำเภอ จังหวัดลำพูน เป็นต้น



ปาล์มน้ำมัน

สบู่ดำ

มะเขยหิน

ภาพที่ 11 พืชพลังงาน 3 ชนิด ปาล์มน้ำมัน สบู่ดำ และมะเขยหิน

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลผลิตและคุณสมบัติของพืชพลังงานได้แก่ มะเขยหิน ปาล์มน้ำมัน และสบู่ดำ

ข้อมูลเปรียบเทียบ	มะเขยหิน	สบู่ดำ	ปาล์มน้ำมัน
จำนวนเมล็ดต่อกิโลกรัม	400	1,200	-
ผลผลิตต่อต้น (อายุ 5 ปี) กิโลกรัม	22	1	-
ผลผลิตต่อไร่ (ปลูก 4 x 4 เมตร)	1,200-1,500	300-500	2,500-3,000 (ภาคใต้)

ข้อมูลเปรียบเทียบ	มะเขือหิน	สบู่ดำ	ปาล์มน้ำมัน
เปอร์เซ็นต์น้ำมัน (%)	> 30	> 30	18-20
ปริมาณน้ำมัน (ลิตร/ไร่/ปี)	300-400	100-120	400-500
ราคาน้ำมันที่ผลิตได้ (30 บาท/ลิตร)	9,000-12,000	3,000-3,600	12,000-15,000
ค่าความร้อน (MJ/kg)	38.9	38.2	36.5
ความถ่วงจำเพาะ	0.939	0.915	0.898

ที่มา : ญัฐวุฒิ และคณะ(2554)

2.7.1 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันมะเขือหิน

การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันมะเขือหินที่ผลิตได้ พบว่าน้ำมันมะเขือหินมีค่าความร้อนสูง ประมาณ 40.73 MJ/kg ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซล และมีความหนืด ที่อุณหภูมิ 40 °C มีค่าเท่ากับ 87.06 เซนติสโตก (cSt) ซึ่งมีความหนืดที่สูงกว่าสบู่ดำ ดังนั้น จำเป็นต้องลดค่าความหนืดของน้ำมันก่อนไปใช้งาน (ญัฐวุฒิ และคณะ, 2554) แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันมะเขือหินแสดงได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันมะเขือหินและน้ำมันจากสบู่ดำ

Properties	Tung oil	Jatropha oil	Method
Viscosity @ 40 °C (cSt)	87.06	50.0	ASTM D445
Density @ 15 °C (kg/m ³)	938.7	913.6	ASTM D4052
Pour point (°C)	-29	-	ASTM D97
Flash point (°C)	252	-	ASTM D93
Sulfur (ppm by wt.)	8.97	-	ASTM D2622
Heating Value (MJ/kg)	40.73	38.2	ASTM D240
Acid Value (mgKOH/g)	3.82	4.80	ASTM D664
Ash (% wt.)	0.03	-	ASTM D482
Refractive index @ 25°C	-	1.4670	-
Saponification	-	197.13	-
Iodine value (Wijs)	-	97.08	-
Water & Volatile matter @105°C (%)	-	0.107	-

ที่มา : ญัฐวุฒิ และคณะ (2554)

2.7.2 คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันมะเขือหิน

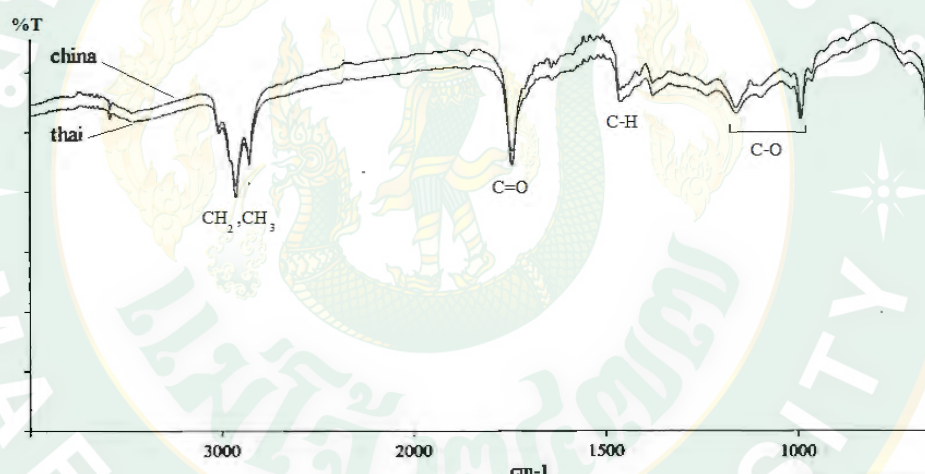
การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี ด้วยการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันมะเขือหินที่ผลิตได้ เปรียบเทียบกับน้ำมันมะเขือหินที่นำเข้ามาจากประเทศจีน (Tung oil, Gemon) ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์

ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี พบว่า น้ำมันมะเขือเทศทั้งสองมีหมู่ฟังก์ชันสอดคล้องกัน ซึ่งตอบสนองความถี่ของคลื่นอินฟราเรดในช่วง $2850-2950\text{ cm}^{-1}$ (CH_2 , CH_3 stretching), 1735 cm^{-1} ($\text{C}=\text{O}$ stretching) และ $1160-1195\text{ cm}^{-1}$ ($\text{C}-\text{O}$ stretching) ดังตารางที่ 7 และภาพที่ 12 แสดงว่าเป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวกเอสเทอร์ของกรดไขมัน

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของน้ำมันมะเขือเทศ

Wave number (cm^{-1})	Functional group
2850-2950	CH_2 , CH_3 stretching
1735	$\text{C}=\text{O}$ stretching
1490-1495	$\text{C}-\text{H}$ bending
1160-1195	$\text{C}-\text{O}$ stretching

ที่มา : ญัฐวุฒิ และคณะ (2554)



ภาพที่ 12 FT-IR spectra ของน้ำมันมะเขือเทศที่สกัดได้เปรียบเทียบกับน้ำมันมะเขือเทศที่นำเข้าจากประเทศจีน
ที่มา : ญัฐวุฒิ และคณะ (2554)

2.7.3 ประโยชน์ของน้ำมันมะเขือเทศ

น้ำมันเมล็ดมะเขือเทศเป็นน้ำมันประเภททำแห้ง (drying oil) และก้นน้ำได้ มีคุณสมบัติทางเคมีบางอย่างดังนี้ Specific gravity , Iodine value , Acid value เป็นต้น จากคุณสมบัติทางเคมีดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง อาทิ ใช้ทำน้ำมันชักแห้ง (Drying oil) อัตราการแห้งเร็วกว่าน้ำมันที่ใช้ผสมสีทาบ้าน (Paint paste) ใช้ทำน้ำมันวานิชหรือน้ำมันชักเงา (Varnish) ใช้ทำสีย่น (Wrinkled finish)

เพื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมตกแต่งเครื่องมือเครื่องใช้ที่เป็นโลหะ ทำให้เกิดความสวยงามและทนทานต่อการขัดถู ใช้ทำสีเคลือบ (Enamel paint) มีประโยชน์ต่อการตกแต่งภายใน

ปัจจุบันมีโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำมันมะเขือในการผลิตหลายแห่ง โดยนำไปผลิต Alkyd Resin หรือ Oil Resin เช่น โรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีและหมึกพิมพ์ ความต้องการใช้น้ำมันมะเขือในอุตสาหกรรมดังกล่าวมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นหากมีการผลิตและสกัดน้ำมันมะเขือที่มีประสิทธิภาพในประเทศ ก็จะลดปริมาณน้ำเข้าน้ำมันมะเขือหรือสารที่มีน้ำมันมะเขือเป็นส่วนประกอบลงได้ และอาจมีการส่งออกด้วย นอกจากนี้การนำเข้าน้ำมันมะเขือในการผลิตก็อาจมีปริมาณลดลงด้วย น้ำมันจากเมล็ดมะเขือหิน

น้ำมันเมล็ดมะเขือหิน สกัดจากเนื้อในของเมล็ดมะเขือหินที่แก่จัด โดยทั่วไปเมล็ดมะเขือหินมีลักษณะคล้ายลูกเกด แต่เล็กกว่า เปลือกเมล็ดแข็ง เมื่อกะเทาะเปลือกออก เนื้อข้างในมีสีขาวปนอ่อน

ส่วนประกอบของเมล็ด ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเปลือกประมาณ 68 % และส่วนที่เป็นเมล็ดใน 32 % ซึ่งเมื่อนำไปสกัดแล้วจะได้น้ำมันประมาณ 55 %

น้ำมันมะเขือหินมีสีเหลืองอ่อน มีกลิ่นเฉพาะตัว ใช้ประโยชน์อย่างมหาศาลในอุตสาหกรรมทำสีและน้ำมันชักแห้ง (Drying Oil) เพราะน้ำมันมะเขือหินเป็นน้ำมันทาแห้งประเภท Conjugated Type มีอัตราแห้งเร็วกว่าน้ำมันลินสีด น้ำมันมะเขือหินเมื่อถูกแสงจะเปลี่ยนสภาพอย่างรวดเร็วจนอาจเกิดผลึกแข็งเมื่อเก็บไว้นานๆ ดังนั้นเมื่อสัมผัสกับอากาศจะแห้งตัวเร็วมาก ในอุตสาหกรรมทำสี ถ้าใช้เฉพาะน้ำมันมะเขือหินจะทำพวกลื่น ถ้าจะเป็นสีเรียบต้องผสมน้ำมันลินสีด ใช้เป็นสีทาภายนอกและภายใน ทำน้ำมันวานิช ทำน้ำมันเคลือบเงาและแล็กเกอร์ 90 % ของน้ำมันทั้งหมดเป็นวัตถุดิบสำคัญในการทำพรมน้ำมัน ทำเรซินสังเคราะห์และอุตสาหกรรมเคลือบผิวหน้าที่ป้องกันน้ำ สายงานเคมี พืชน้ำมันและสารธรรมชาติหมึกพิมพ์ออฟเซต ปัจจุบันมีการคัดค้านทดลองกับผลิตภัณฑ์อื่นๆต่อไป คุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันมะเขือหิน

การทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของน้ำมันมะเขือหินที่ผลิตได้ พบว่าน้ำมันมะเขือหินมีค่าความร้อนสูง ประมาณ 40.73 MJ/kg ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลและมีความหนืดที่อุณหภูมิ 40°C มีค่าเท่ากับ 87.06 เซนติสโตก (cSt) ซึ่งมีความหนืดที่สูงกว่าสบู่ดำ ดังนั้นจำเป็นต้องลดค่าความหนืดของน้ำมันก่อนไปใช้งาน

2.8 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Information) ที่เกี่ยวข้อง

คณะผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าและรวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์และปรับปรุงคุณสมบัติ น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพ ดังนี้

ณัฐวุฒิ และคณะ (2554) ได้ศึกษาการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน พบว่าจะให้ปริมาณน้ำมันสูงสุด 36.35% โดยน้ำหนัก ที่ระยะเวลาการสกัดน้ำมันไม่ต่ำกว่า 6 ชั่วโมง และที่อัตราส่วนน้ำหนักมะเขือหินต่อปริมาตรตัวทำละลาย 1:12 (w/v) โดยมีค่าความเป็นกรด (Acid Value; AV) เท่ากับ 2.06 mgKOH/g และปริมาณกรดไขมันอิสระ (%FFA) เท่ากับ 1.03% ดังแสดงในตารางที่ 8 ซึ่งคุณภาพน้ำมันมะเขือหินที่ทำการทดสอบเมื่อเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานการส่งออกน้ำมันมะเขือหินของประเทศจีน

ที่กำหนดให้ค่าความเป็นกรด (AV.) ต่ำกว่า <5 mgKOH/g พบว่าน้ำมันที่สกัดได้ยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานการส่งออกของประเทศไทย

ตารางที่ 8 ผลผลิตที่ได้ในอัตราส่วนต่างๆ ที่อุณหภูมิในการอบ 105 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง

Ratio (w/v)	Solvent Hexane (ml)	Sample Seed (g)	Crude Tung oil (g)	Oil yield %	Acid Value (mgKOH/g)	FFA (%)
1:6	150	25.02	6.71	26.82	1.96	0.98
1:8	200	25.03	7.06	28.21	2.94	1.48
1:10	250	25.00	7.45	29.80	1.47	0.74
1:12	300	25.16	8.69	34.54	2.06	1.03
1:14	350	25.12	8.13	32.36	3.38	1.70
1:16	400	25.13	8.02	31.91	3.23	1.62

ที่มา : ญัฐวดี และคณะ (2554)

พิมพ์ชนก และคณะ (2550) ได้ศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ โดยทำปฏิกิริยาอีพ็อกซิเดชันบนพื้นระอุของน้ำมันถั่วเหลืองด้วยกรดแอซิดิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวแปรในการสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลืองอีพ็อกไซด์ ได้แก่ ปริมาณกรดแอซิดิก ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา อุณหภูมิ และเวลาในการทำปฏิกิริยา ผลการทดลองพบว่าปริมาณอีพอกไซด์และปริมาณสารเชื่อมโยงมีความสัมพันธ์กันอย่างเห็นได้ชัด สูตรที่ดีที่สุด คือ สูตร ที่มีปริมาณอีพอกไซด์ 31% และ MTHPA 70 phr ทำการอบเป็นเวลา 90 นาที ได้ค่ามอดูลัส 3.44 MPA ความเค้นฉีก จดขาด 3.01 MPA และความเครียด ณ จดขาด 58%

นพปรารักษ์ (2554) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมไตรเมทิลอลโพรเพนเอสเทอร์จากการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรเมทิลอลโพรเพน (TMP) กับกรดออกทานอนิกผ่านปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันที่ความดันบรรยากาศ โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด คือ ซัลเฟตเซอร์โคเนีย ตัวแปรที่ศึกษา คือ เวลา (1-8 ชั่วโมง) อุณหภูมิ (90 - 150 °C) อัตราส่วน โดยโมลของกรดออกทานอนิกต่อ TMP (3:1 - 5:1) ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (0 - 10 % โดยน้ำหนักของกรดออกทานอนิก) และผลของคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตที่มีต่อตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าเมื่ออุณหภูมิ เวลา ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราส่วน โดย โมลของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้นจะเกิด TMPE เพิ่มขึ้น และเกิด TMPE มากที่สุดที่อุณหภูมิ 150°C อัตราส่วนโดยโมล 4:1 เวลา 8 ชั่วโมง และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5% โดยน้ำหนักของกรดออกทานอนิก และการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตต้องมีการปรับความดันและอุณหภูมิ เพื่อให้มีความหนาแน่นเหมาะสมต่อการละลายสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ซึ่งอยู่ในช่วง 15-20 โมลต่อลิตร

Xuedong และคณะ (2000) ศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นของ rapeseed oil อีพ็อกซิไดซ์ โดยทำปฏิกิริยาอีพ็อกซิเดชัน เปรียบเทียบกับ rapeseed oil เดิม พบว่า rapeseed oil อีพ็อกซิไดซ์ ให้ค่าความหนืดและความหนาแน่นสูงกว่า ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ rapeseed oil และ rapeseed oil อีพ็อกซิไดซ์

Properties	Rapeseed oil	Epoxy rapeseed oil
Appearance	Yellow liquid	Pale yellow liquid
Density (kg/m ³)	917.1	961.5
Flash point (°C)	323	239
Pour point (°C)	-15	-12
Viscosity at 40°C (mm ² /s)	34.75	86.73
Viscosity at 100°C (mm ² /s)	8.096	12.72
Viscosity index	218	145
Acid value (mg KOH/g)	0.296	0.653
Iodine value (mg I ₂ /g)	121	4.1
Oxirane percentage (O%)	—	4.9
Biodegradability (%)	>95	>95
WSD (wear scar diameter, mm)	0.63	0.71
Extreme pressure (kg)	45	70

ที่มา : Xuedong และคณะ (2000)

Salih และคณะ (2010) ศึกษาการเตรียมอนุพันธ์เอสเทอร์ของ 9, 10-dihydroxystearic acid จากกรดโอเลอิกเพื่อนำมาผลิตสารหล่อลื่นชีวภาพโดยกระบวนการเตรียมประกอบไปด้วย 3 กระบวนการ คือ กระบวนการอีพ็อกซิเดชัน (epoxidation) ของกรดโอเลอิก, กระบวนการเปิดวงแหวนออกซิเรน และ กระบวนการเอสเทอริฟิเคชัน ในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของสารอนุพันธ์ซึ่ง สอดคล้องกับหนึ่งในคุณสมบัติที่ดีของสารหล่อลื่นทั่วไปนั่นก็คือ คุณสมบัติด้านการไหลภายใต้ อุณหภูมิต่ำ (cold-flow property) ที่เป็นผลมาจากจำนวนหมู่เอสเทอร์ที่มีอยู่ในโมเลกุล เช่น หมู่เอสเทอร์หนึ่งหมู่ สองหมู่หรือสามหมู่ จากการศึกษาพบว่าอนุพันธ์เอสเทอร์ของ 9, 10-dihydroxystearic acid ที่มีหมู่เอสเทอร์สามหมู่ได้แสดงสมบัติการไหลที่ดีที่สุดเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ คือ มีค่า pour point ต่ำที่สุด (-25 องศาเซลเซียส)

Arumugam และคณะ (2012) ได้เปรียบเทียบสมบัติด้านการหล่อลื่นของ raw rapeseed oil กับ rapeseed oil ที่ผ่านกระบวนการทางเคมีดังแสดงในภาพที่ 5 พบว่าเมื่อพิจารณาสมบัติต่างๆ อาทิเช่น pour point และ viscosity เป็นต้น จะเห็นว่า ค่า viscosity (90.1 mm²/s) ของ rapeseed oil ที่ผ่านกระบวนการทางเคมีมีค่าสูงกว่า รวมไปถึงจุด pour point (-15 องศาเซลเซียส) มีค่าต่ำกว่า แสดงว่า rapeseed oil ที่ผ่านกระบวนการทางเคมีเหมาะสมกับการใช้งานด้านการหล่อลื่นที่อุณหภูมิต่ำ

Madankar และคณะ (2013) ศึกษาการเตรียมสารหล่อลื่นชีวภาพ (biolubricant based stock) จากน้ำมันคาโนลา (canola oil) รวมไปถึงการปรับปรุงคุณสมบัติในการใช้งานสารหล่อลื่นชีวภาพ ภายใต้อุณหภูมิต่ำ ผลจากการศึกษาพบว่าน้ำมันคาโนลาที่ผ่านกระบวนการทางเคมีซึ่งประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอนต่อเนื่องกัน คือการเติมออกซิเจนเข้าไปในโมเลกุลของน้ำมันคาโนลาตรงบริเวณพันธะคู่ของ กรดโอเลอิกเพื่อให้เกิดเป็นวงแหวนอีพอกไซด์ หรือ หมู่ oxirane โดยผ่านปฏิกิริยาอีพอกซิเดชัน (epoxidation) เพื่อทำให้มีความเป็นขั้วและการละลายของโมเลกุลเพิ่มสูงขึ้น หลังจากนั้นวงแหวนอีพอกไซด์จะถูกเปิดออกด้วยปฏิกิริยา Acid-Catalyzed Ring Opening โดยใช้ชนิดของแอลกอฮอล์ที่แตกต่างกันซึ่งได้แก่ n-butanol, amyl alcohol, และ 2-ethyl hexanol เพื่อให้ได้หมู่ไฮดรอกซิลในอนุพันธ์ของ น้ำมันคาโนลาเกิดเป็นสารประกอบไฮดรอกซิลเอสเทอร์ ซึ่ง 2-ethyl hexanol ส่งผลให้สารชีวภาพนี้มี pour point และ cloud point ต่ำที่สุด และสามารถนำไปใช้งานภายใต้อุณหภูมิต่ำได้เป็นอย่างดี

จากการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมงานวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาการสังเคราะห์และปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นทางชีวภาพ พบว่า ต้องอาศัยกระบวนการทางเคมี และตัวแปรที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากพืช ได้แก่ เวลาในการทำปฏิกิริยา อุณหภูมิ อัตราส่วนโดยโมลของสารตั้งต้น ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา และชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากมะเขือเทศ เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันหล่อลื่นจากปิโตรเลียม ที่จะต้องมีการปรับปรุงคุณภาพเพื่อกำจัดสารที่ไม่อึดตัวจำพวกอะโรมาติก กำมะถันสารประกอบไนโตรเจน และน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ที่มีราคาค่อนข้างสูง โดยทำการศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากน้ำมันมะเขือเทศ ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติและตัวแปรที่เหมาะสมของน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากมะเขือเทศด้วยกระบวนการทางเคมี รวมถึงการทดสอบการใช้งานจริงในเครื่องยนต์เกษตร

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากน้ำมันมะเขือ

ส่วนที่ 2 ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือด้วย

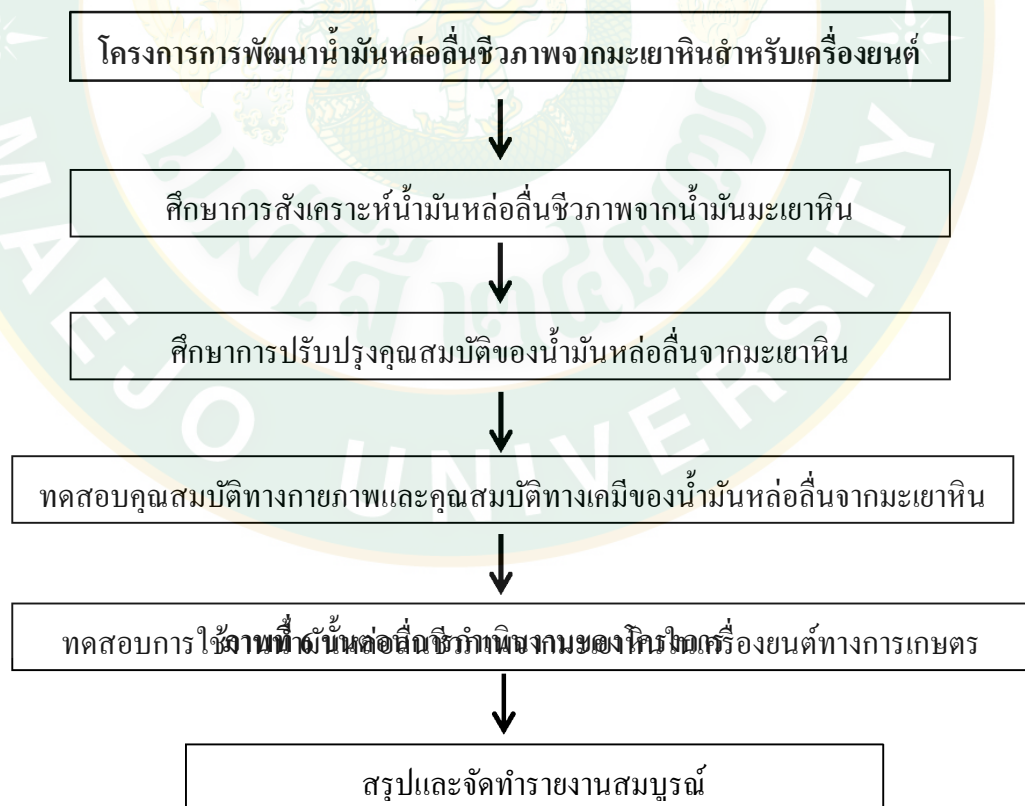
กระบวนการทางเคมี

ส่วนที่ 3 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือ

ส่วนที่ 4 ทดสอบการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากมะเขือในเครื่องยนต์ทางการเกษตร

ส่วนที่ 5 สรุปและจัดทำรายงานสมบูรณ์

โดยในแต่ละส่วนมีขั้นตอนดำเนินงานดังนี้



ส่วนที่ 1 ศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพน้ำมันมะเขือเทศ

ในขั้นตอนนี้จะศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันมะเขือเทศหล่อลื่นชีวภาพจากน้ำมันมะเขือเทศ โดยจะทำการศึกษาตัวแปรที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันมะเขือเทศอีพอกไซด์ ดังนี้

- เวลาในการทำปฏิกิริยา
- อุณหภูมิ
- อัตราส่วนโดยโมลของสารตั้งต้น
- ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา
- ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา

ส่วนที่ 2 ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศด้วยกระบวนการทางเคมี

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศด้วยกระบวนการทางเคมี ประกอบด้วยกระบวนการอีพอกไซด์และกระบวนการเปิดวง epoxidized oil ด้วย acid catalyst ดังนี้

2.1 กระบวนการอีพอกไซด์

- 2.1.1. นำน้ำมันมะเขือเทศใส่ขวดก้นกลม 4 คอ ขนาด 500 มิลลิลิตร
- 2.1.2. เติมกรด formic ลงไปในขวดก้นกลม 4 คอที่มีน้ำมันมะเขือเทศอยู่
- 2.1.3. เติม 1% Sulphuric acid catalyst ลงไปในสารละลาย
- 2.1.4. กวนสารละลายผสมในขวดก้นกลมนี้ด้วยชุดกวนมอเตอร์และควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 0-10 องศาเซลเซียสด้วย ice bath
- 2.1.5. หลังจากนั้นค่อยๆ หยด 30 % hydrogen peroxide ลงไปไปในสารละลายผสม ก่อนหน้านี้นี้เป็นเวลาต่อเนื่องกัน 15 นาที และมีการควบคุมความเร็วรอบของการกวนไว้ที่ 300 รอบต่อนาที
- 2.1.6. เมื่อเกิดปฏิกิริยา อุณหภูมิของสารละลายผสมขึ้นอย่างช้าๆ จนถึง 55-60 องศาเซลเซียส และทำการควบคุมอุณหภูมิของสารละลายผสมไว้ในช่วงนี้ตลอดการสิ้นสุดของการเกิดปฏิกิริยา
- 2.1.7. ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกทำให้เย็นลงและทำการแยกน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ (epoxidation oil)

2.2 กระบวนการเปิดวง epoxidized oil ด้วย acid catalyst

- 2.2.1. epoxidized oil จะถูกปรับสภาพด้วยเมทานอลกับน้ำในอัตราส่วน 1:4:2 ซึ่งใช้ para-toluene sulphonic acid เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 2.2.2. ในช่วงของกระบวนการเปิดวง oxirane สารตัวอย่างจะถูกเก็บและนำไปวัด % oxirane และค่าไอโอไดน

- 2.2.3. สารตัวอย่างที่ได้ถูกล้างด้วยน้ำอุ่นเพื่อกำจัดความเป็นกรด
- 2.2.4. แยกสารตัวอย่างออกด้วยการใช้กรวยแยก
- 2.2.5. ทำให้สารตัวอย่างแห้งด้วย rotary evaporator

ส่วนที่ 3 ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขายาหิน

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขายาหิน โดยทำการทดสอบคุณสมบัติ ดังนี้

3.1 Viscosity Index (ดัชนีความหนืด) และ Kinematic Viscosity (ความหนืดแบบไคเนมาติก)

- 3.1.1. นำของเหลวที่ต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์ความหนืดมาบรรจุลงในกระบอกแก้วจนเต็ม
- 3.1.2. กำหนดระยะ Δx ที่จะวัดหาอัตราเร็วคงที่ V_t บนกระบอกแก้ว ให้มีระยะทาง $\Delta x \approx 25$ ซม. และให้อยู่ในช่วงล่างๆ ของหลอดแก้ว
- 3.1.3. นำวัตถุทรงกลมมาหย่อนลงบริเวณกึ่งกลางผิวหน้าของของเหลวแล้วปล่อยให้เคลื่อนที่ลงไป จับเวลาขณะที่วัตถุผ่านระยะ Δx ที่กำหนดไว้ บันทึกผลเป็น Δt ทำซ้ำ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยออกมา
- 3.1.4. เปลี่ยนไปใช้วัตถุทรงกลมรัศมีอื่น ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง บันทึกผลทั้งหมด
- 3.1.5. เปลี่ยนไปใช้ของเหลวอื่นที่กำหนดแล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 4 – 5
- 3.1.6. วัดสัมประสิทธิ์ความหนืดของของเหลวจากเครื่องวัดโดยตรง บันทึกข้อมูล

3.2 Flash Point (จุดวาบไฟ)

- 3.2.1. เทตัวอย่างลงในถ้วย Cleveland ให้เต็มจนถึงขีดกำหนด
- 3.2.2. วางถ้วย Cleveland Open ลงบนฐานรองรับ
- 3.2.3. ใช้เตาเผาซึ่งมีขนาดมาตรฐานตามที่กำหนด เปิดไฟให้ตัวอย่างได้รับความร้อนในขั้นแรกให้อัตราความร้อนประมาณ 25 ถึง 30 °F (14 ถึง 16 °C) ต่อนาทีจนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างสูงขึ้นถึง 250 °F จึงลดอัตราความร้อนเหลือเพียง 9 °F ถึง 11 °F ต่อนาที
- 3.2.4. ตรวจอุณหภูมิของตัวอย่างเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 300 °F จึงเริ่มทำการทดลองหาจุดวาบไฟ การทดลองต้องกระทำทุกๆ ครั้ง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5 °F
- 3.2.5. การทดลองหาจุดวาบไฟ สามารถกระทำได้โดยยานเปลวไฟไปมาบนผิวหน้าของถ้วย ประมาณ 1 วินาที กระทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเกิดจุดวาบไฟ บันทึกอุณหภูมิโดย อ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์

- 3.2.6. หากต้องการหาจุดติดไฟ ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างต่อไป ด้วยอัตรา 9 -11 °F ต่อ นาที ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับการทดลองหาจุดวาบไฟ จนกระทั่งถึงจุดติดไฟซึ่ง จะถูกไหม้อยู่ประมาณ 5 วินาที บันทึกอุณหภูมิที่ตัวอย่างติดไฟ

3.3 Pour Point (จุดไหลเท)

- 3.3.1. เขย่าตัวอย่างและเทใส่หลอดแก้วทดสอบเท่ากับขีดบอกระดับ (45 มิลลิเมตร)
- 3.3.2. ปิดฝาด้วยจุกค็อกพร้อมกับใส่เทอร์โมมิเตอร์โดยให้ตำแหน่งช่วง capillary ของ เทอร์โมมิเตอร์ต่ำกว่าผิวหน้าของตัวอย่าง
- 3.3.3. อุณหภูมิให้ได้อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงถึงอุณหภูมิห้อง
- 3.3.4. ให้ความควบคุมการลดลงของอุณหภูมิตัวอย่างดังนี้

เมื่ออุณหภูมิตัวอย่างได้	ย้ายหลอดแก้วสู่อ่างแอลกอฮอล์
27	0
9	-18
-6	-33
-24	-51
-42	-69

หมายเหตุ : การปรับอุณหภูมิอ่างแอลกอฮอล์ ใช้น้ำแข็งแห้งใส่ทางฝาเปิดอ่าง เปิดมอเตอร์จับใบกวนให้ระดับอุณหภูมิในอ่างสม่ำเสมอ

- 3.3.5 เมื่ออุณหภูมิของตัวอย่างได้ 9 องศาเซลเซียส เหนือจุดไหลเท (คาดการณ์) ให้ยกหลอดแก้ว ขึ้นจากอ่างทดสอบเอียงหลอดแก้ว ถ้าตัวอย่างยังไหลได้ให้คืนหลอดแก้วลงสู่อ่างเหมือนเดิม เหมือนเดิม (ขั้นตอนนี้ไม่เกิน 3 วินาที)
- 3.3.6 กระทำซ้ำเหมือนข้อ 5 ทุกๆ อุณหภูมิที่ลดลง 3 องศาเซลเซียส จนกระทั่งพบว่าตัวอย่างเป็นแข็งตัว (100%) ให้เอียงหลอดแก้วในแนวระนาบต่อเนื่อง 5 วินาที ถ้าตัวอย่างไม่มีการไหลตัวให้หยุดการทดสอบ
- 3.3.7 การรายงานผลให้เอาอุณหภูมิสุดท้ายที่ตัวอย่างเป็นไขแข็งตัวเป็นอุณหภูมิจุดไหลเท

ส่วนที่ 4 ทดสอบการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากมะเขือในเครื่องยนต์ทางการเกษตร

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือ การทดสอบน้ำมันหล่อลื่นกับเครื่องยนต์จริง ในเครื่องยนต์ทางการเกษตร เปรียบเทียบระดับคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นยานยนต์มาตรฐานต่างๆ API มาตราของน้ำมันหล่อลื่นดีเซล ซึ่งใช้สัญลักษณ์ “C” (Commercial oil) หรือน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเชิงพาณิชย์ เช่น งานขนส่ง งานอุตสาหกรรม งานก่อสร้างและงานเกษตร เป็นต้น ในปัจจุบันมี 12 ระดับคุณภาพ (กรมธุรกิจพลังงาน, 2555) และมีการประเมินผลหลังการทดสอบโดยการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว (Used oils) มาทดสอบคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ ดังนี้

- Flash Point คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่ของน้ำมันหล่อลื่นเกิดลุกวาวขึ้นแล้วดับลงเมื่อสัมผัส
- Fuel Dilution เป็นการวัดปริมาณการปนเปื้อนของเชื้อเพลิงในน้ำมันหล่อลื่น
- Particle เป็นการวัดปริมาณอนุภาคที่มีขนาดต่างๆ ในเนื่อน้ำมัน แสดงถึงความสะอาดของน้ำมัน
- Pentane Insoluble เป็นการวัดปริมาณของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื่อน้ำมัน ได้แก่ เถ้า ผุ่นละออง และตะกอนที่ไม่ละลายในตัวเพนเทน
- Toluene เป็นการวัดปริมาณของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนอยู่ในเนื่อน้ำมัน ได้แก่ เถ้า ผุ่นละออง และตะกอนที่ไม่ละลายในตัวโทลูอิน
- Total Acid Number (TAN) คือการวัดความเป็นกรดของน้ำมันหล่อลื่นหลังจากการใช้งาน
- Total Base Number (TBN) คือการวัดความเป็นด่างของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว
- Viscosity Content @100 °C คือ การวัดความข้น-ใสของน้ำมัน
- Water Content เป็นการวัดปริมาณน้ำมันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว
- Wear Metal Contents เป็นการวัดปริมาณโลหะสึกหรอที่ปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากน้ำมันมะเขยาคิน (การสังเคราะห์แบบ 1 ขั้นตอน) น้ำมันมะเขยาคิน (การสังเคราะห์แบบ 2 ขั้นตอน) ที่นำมาทำปฏิกิริยากับสารตัวเติม ได้แก่ เอทิลีนไกลคอล ไตรเมทิลอลโพรเพน เพนตะอริทริทอล ใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาคับกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

4.1 ผลการศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเขยาคิน

การวิเคราะห์คุณสมบัติก่อนทำการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพนั้น คุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันมะเขยาคินเป็นสารตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากวัตถุดิบแต่ละชนิดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป จึงจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบก่อนที่จะนำมาทำการสังเคราะห์เพื่อหาคำนวณหาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการทำปฏิกิริยาของสารตั้งต้นและตัวทำปฏิกิริยาแต่ละชนิด ซึ่งสามารถอธิบายคุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการสังเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

การศึกษาศักยภาพการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขยาคิน โดยทำการศึกษาดัชนีที่เหมาะสมในการสังเคราะห์น้ำมันมะเขยาคิน ผลการหาปริมาณกรดไขมันอิสระ และการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยการใช้กรดและด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันตามด้วยทรานส์เอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ร้อยละต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จากการทำปฏิกิริยาพบว่า การใช้เมทานอลให้ผลผลิตและความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลสูงกว่าเอทานอล ดังตารางที่ 10 แสดงว่า เมทานอลมีประสิทธิภาพสูงกว่าเอทานอลในการทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน เนื่องจากเอทานอลไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์จึงทำให้ผลผลิตไบโอดีเซลน้อยมาก ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน และความบริสุทธิ์ไม่ผ่านมาตรฐานไบโอดีเซล ส่วนปริมาณกลีเซอรอล พบว่าการใช้เมทานอลและเอทานอลให้ผลผลิตกลีเซอรอล (วิชัย และคณะ (มปป.))

ตารางที่ 10 ผลปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อผลผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

Alcohol (type & quantity)	Biodiesel		Glycerol%
	Yield%	Ester content %	
Methanol	82.36	94.04	25.18
Ethanol	45.71	62.75	35.76

4.1.1 ผลของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา

ในการทดลองได้ศึกษาโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปตัสเซียมอัตรา 0.9 และ 1.0% ให้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุดประมาณ 88.03, 87.93 และ 79.91, 78.90% ซึ่งสอดคล้องกับการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์ม ที่พบว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์และโปตัสเซียมที่อัตรา 1.0% ให้ผลผลิตไบโอดีเซลสูงสุด 91.87% (นุชรีย์, 2002) เช่นการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันดอกคำฝอยให้ผลผลิตสูงถึง 97.7% เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่อัตรา 1.0% (Isigigur *et al.*, 1994)

สารเคมีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาจะแบ่งเป็น 2 ประเภท คือสารเคมีที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ (เมทานอลและโซเดียม) และสารเคมีที่เป็นตัวสารตัวเติมได้แก่ เอทิลีนไกลคอล ไตรเมทิลลออลโพรเพน เพนตะอริทริทอล ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl, -OH) เกาะอยู่กับแอลฟาดีคาร์บอน มีสูตรทั่วไป คือ R-OH แอลกอฮอล์มีหลายชนิดจะแบ่งตามจำนวนหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลออกเป็น 4 ชนิด โดยคุณสมบัติของสารเคมีที่จะนำมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจะแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 คุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์

สารเคมี	สูตรเคมี	มวล โมเลกุล (g/mol)	ความ หนาแน่น (g/cm ³)	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
Ethylene Glycol	C ₂ H ₆ O ₂	62.07	1.113	-12.9	197.3
TrimethylolPropane	C ₆ H ₁₄ O ₃	134.17	1.084	58	289
Pentaerythritol	C ₅ H ₁₂ O ₄	136.15	1.396	260.5	276
Methanol	CH ₃ OH	32.04	0.792	-97	64.7
Sodium Hydroxide	NaOH	39.99	2.1	318	1,390

ในการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อัตรา 0.9 และ 1.0% ความบริสุทธิ์ไบโอดีเซลมีค่าที่ 94.04 และ 91.87% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานไบโอดีเซลต่างประเทศที่กำหนดไว้ 96.5% ในขณะที่การใช้โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ที่อัตรา 0.9 และ 1.0% ความบริสุทธิ์ไบโอดีเซลมีค่าที่ 79.19 และ 78.90% ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน และเมื่อเพิ่มอัตราสารเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชนิดพบว่า ความบริสุทธิ์ของไบโอดีเซลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 12 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาต่อการสังเคราะห์ไบโอดีเซล

Catalyst %	Sodium hydroxide			Potassium hydroxide		
	Biodiesel		Glycerol%	Biodiesel		Glycerol%
	Yield%	Ester content %		Yield%	Ester content %	
0.9	88.03	94.04	25.18	82.36	79.19	35.76
1.0	87.93	91.87		79.91	78.90	

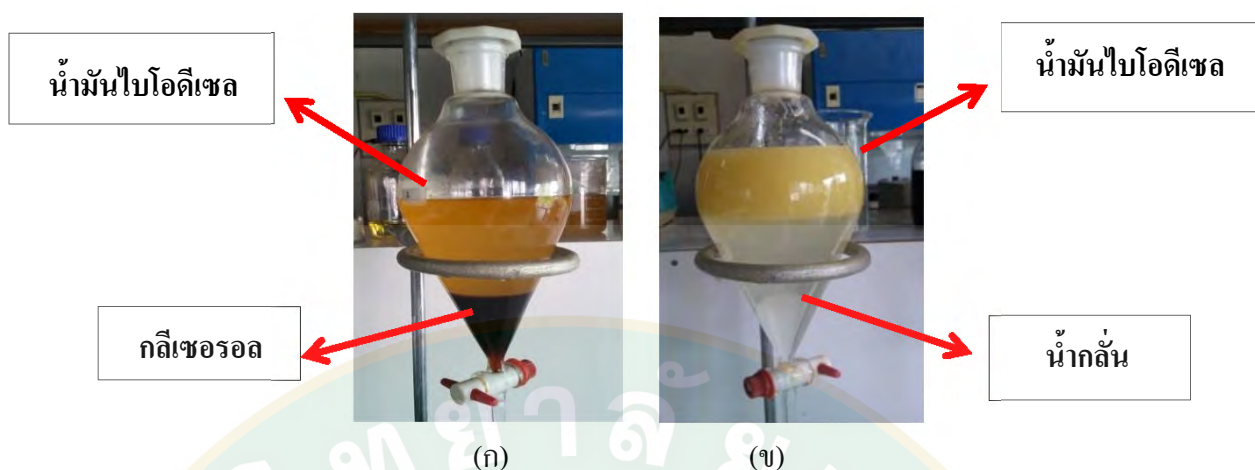
4.1.2 ผลการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้ต่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษาสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน พบว่าน้ำมันมะเขือเทศที่สังเคราะห์ได้มีความข้นเกิดขึ้น เมื่อดำเนินปฏิกิริยาไปสักระยะหนึ่งจะพบว่ามิใช่บริเวณผิวหน้าของน้ำมัน และทำปฏิกิริยาเสร็จแล้ว นำไปแยกในกรวยแยกพบว่า น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเขือเทศสามารถทำปฏิกิริยาได้ดี โดยอัตราส่วนโดยมวลของเมทานอลต่อน้ำมันมะเขือเทศ และต่อปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา (NaOH) เท่ากับ 1:5: 0.9 ตามลำดับ จากนั้นจึงนำน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเขือเทศที่ได้ทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเปรียบเทียบกับสมบัติทางกายภาพของน้ำมันน้ำมันไบโอดีเซลตามมาตรฐานการทดสอบตามมาตรฐานของ API ที่ได้กำหนดมาตรฐานของน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อแบ่งประเภทตามสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ และให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีการผลิตเครื่องยนต์ที่มีการอย่างต่อเนื่อง

จากการทดสอบหาปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะเขือเทศโดยวิธีการไตเตรท พบว่าน้ำมันมะเขือเทศมีปริมาณกรดไขมันเฉลี่ยที่ 0.98% ดังแสดงในตาราง 13 ทั้งนี้ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกรดไขมันอิสระด้วย หากน้ำมันที่นำมาผลิตมีปริมาณกรดไขมันสูงก็ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยามากขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 13 ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ใช้ในการผลิตน้ำมัน

ครั้งที่	ปริมาณ NaOH (ml)	% ปริมาณกรดไขมัน
1	0.7	0.79
2	1.0	1.13
3	0.9	1.01
เฉลี่ย		0.98



ภาพที่ 13 น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้
น้ำมันมะเขือเทศ (ก) แยกชั้นหลังทำปฏิกิริยา (ข) ล้างน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศชั้นตอนแรก



ภาพที่ 14 น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเขือเทศที่ใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การเกิดปฏิกิริยาที่เร็วขึ้นกว่านี้มีการผสมที่รุนแรง และหลังจากได้รับความร้อนด้วยการควบแน่น ที่อุณหภูมิที่ 60-65 °C น้ำมันจะใสขึ้นและแยกเป็นสองชั้น ดังภาพที่ 13 (ก) ชั้นล่างเป็นกลีเซอรอลที่มีความหนาแน่นมากกว่าน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศที่อยู่ชั้นบน

น้ำมันไบโอดีเซลจากมะเขือเทศ (ชั้นบน) ถูกนำไปล้างและไล่ความชื้นออกทางกายภาพ พบว่ามีสีที่อ่อนลงเมื่อเทียบกับน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยาดังแสดงในภาพที่ 13 (ข) อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างการทดลองที่ได้ยังไม่ทราบว่าปฏิกิริยาดำเนินไปข้างหน้ามากน้อยเพียงใด จึงทำการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศทางกระบวนการเคมีโดยกระบวนการอีพอกซิเดชัน และกระบวนการการเปิดวง epoxidized oil ด้วย acid catalyst ต่อไป

4.1.3 ผลการสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

จากการศึกษาสังเคราะห์น้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้กรดซัลฟูริก 1 % และ 3% กับเมทานอล โดยทำปฏิกิริยาแบบทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน พบว่าน้ำมันมะเขือเทศจะมีสีเข้มขึ้น และเมื่อดำเนินปฏิกิริยา

ต่อไปน้ำมันก็จะมี ความขุ่นเกิดขึ้น โดยน้ำมันที่ได้จากการทำปฏิกิริยานี้จะมีความหนืดค่อนข้างมาก และมีไขเกิดขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของน้ำมันที่ทำปฏิกิริยา และเมื่อทำปฏิกิริยานานขึ้นก็ทำให้ได้ไขมากขึ้น ซึ่งเมื่อนำน้ำมันที่ทำปฏิกิริยาเสร็จแล้วใส่ลงกรวยแยกก็พบว่าน้ำมันไม่สามารถแยกชั้นได้เนื่องจากน้ำมันมีการแข็งตัวเกิดเป็นไขทั้งกรวย ดังรูปที่ 15 ซึ่งในการทดลองในเบื้องต้นพบว่าการใช้กรดซัลฟูริกในการทำปฏิกิริยาไม่สามารถแยกเป็นน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเขือเทศได้



ภาพที่ 15 น้ำมันที่ได้จากปฏิกิริยาทรานเอสเทอร์ฟิเคชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

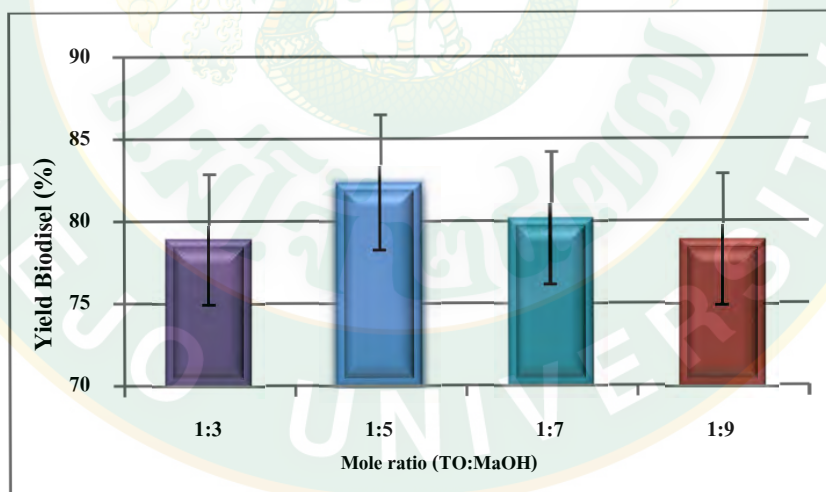
ตารางที่ 14 ผลทางคุณสมบัติของวัตถุดิบน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ น้ำมันมะเขือเทศเป็นวัตถุดิบที่ผ่านการทำปฏิกิริยาต่างๆ

properties	น้ำมันมะเขือเทศ	Transesterification (เบสเป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยา)	Transesterification (กรดเป็นตัวเร่ง ปฏิกิริยา)	วิธีทดสอบ
pH (ก่อนล้าง)	5.25 (ก่อนทำ ปฏิกิริยา)	6.9	น้ำมันเป็นไขไม่ สามารถวัดคุณสมบัติ ต่างๆ ได้	pH meter
pH (หลังล้าง)		7		pH meter
Kin. Viscosity @ 40 C ° (cSt)	5.28	7.08		ASTN D445
Flash point (C°)	129	193		ASTM D92
Fire point (C°)	132	210		ASTM D97
Heating Value (KJ/kg)	9,340	30,520		ASTM D240
Density (Kg/m ³)	873	846		ASTM D445

ดังนั้นในการศึกษาชนิดและปริมาณของสารเร่งปฏิกิริยา ในการทำปฏิกิริยาต่อการทำปฏิกิริยาต่อการผลิตไบโอดีเซล จึงเลือกเมทานอล เนื่องจากสามารถทำปฏิกิริยาได้ดี ราคาถูก และใช้ปริมาณน้อยกว่า เอทานอลและใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อัตรา 0.9%

4.1.4 ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลที่เหมาะสม

จากการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลที่อัตราส่วน 1:3 1:5 1:7 และ 1:9 และใช้เมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 0.9 % โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลที่อัตราส่วน 1:5 ส่งผลให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่ 82.36% โดยน้ำหนัก รองลงมาที่อัตราส่วน 1:7 1:9 และ 1:3 ให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ 80.21 79.91 และ 78.91% ตามลำดับ (ภาพที่ 16) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ผลิตได้ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$ และรายงานการวิจัยของ กิตติกร และคณะ (2554) พบว่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันกับเมทานอลที่อัตราส่วน 1:8 ให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่ 88.21 % โดยน้ำหนัก และรายงานวิจัยของชินขวัญ และ สมใจ (2556) พบว่าอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันเมล็ดกระทิงต่อเมทานอลที่ 1:12 ให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่ 94.04 % เนื่องจากอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณของน้ำมันที่ได้เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากสภาวะที่เหมาะสมและค่ามาตรฐาน EN 14214 ของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้มีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้



ภาพที่ 16 ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันมะเขือเทศต่อเมทานอล

การทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ จะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมระหว่างน้ำมันกับเมทานอลซึ่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันเป็นปฏิกิริยาที่ผันกลับได้เนื่องจากปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นค่อนข้างรวดเร็วและบ่อยๆทั้งที่ และเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพิจารณาเป็นอันดับแรกเนื่องจากถ้าเวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยจนเกินไปปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นไม่

สมบูรณ์ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่ต้องการและจะเหลือสารตั้งต้นที่ไม่เกิดปฏิกิริยามีปริมาณมาก หรืออีกนัยหนึ่งถ้าเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามากจนเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน (Shu et al., 2010) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันมะเขือเทศต่อเมทานอลที่อัตราส่วน 1:3 1:5 1:7 และ 1:9 พบปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันมะเขือเทศโดยใช้โซเดียมเมทอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาพบว่า อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลที่ 1:3 1:5 1:7 และ 1:9 พบว่ามีปริมาณกรดไขมันอิสระที่ 0.68 0.98 1.30 และ 1.46 % ตามลำดับ ซึ่งรายงานการวิจัยของ Ma and Hanna, 1991 พบว่าคุณภาพน้ำมันที่ดีจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระน้อยกว่า 0.10 หากมีค่าที่สูงมากเกินไปจะมีผลต่อไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้น

4.1.5 ผลการทดสอบทางกายภาพ

ความหนืดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันที่ใช้แสดงลักษณะของการไหลของของเหลวหรืออาจหมายถึงความต้านทานการไหลของของเหลว โดยของเหลวที่มีความหนืดต่ำจะไหลได้ง่ายกว่าของเหลวที่มีค่าความหนืดสูง โดยสมบัติของความหนืดจะแปรผกผันกับอุณหภูมิของสารหล่อลื่นประเภทของเหลว หากสารหล่อลื่นมีความหนืดสูงมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดแรงเสียดทานภายในทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และมีอายุการใช้งานลดลง (วีราภรณ์ และคณะ 2554) ซึ่งจากการทดลองหาค่าความหนืดของน้ำมันที่ผลิตได้ที่ 40°C ตามมาตรฐาน ASTM D445 (ตารางที่ 14) พบว่า ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเขือเทศทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมเมทอกไซด์ ซึ่งส่งผลให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น เมื่อทำการเปรียบเทียบความหนืดของน้ำมันมะเขือเทศบริสุทธิ์ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลที่ 1:3 1:5 1:7 และ 1:9 มีค่าความหนืดที่ 4.08 5.04 5.54 และ 5.54 cSt ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าไบโอดีเซลที่ผลิตได้ผ่านมาตรฐานคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง ASTM ที่เปรียบเทียบได้กับมาตรฐาน EN14214 ของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าความหนืดที่ 3.5-5.0 cSt ซึ่งน้ำมันไบโอดีเซลมะเขือเทศที่ผลิตได้มีค่าความหนืดที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน

ตารางที่ 15 คุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้

คุณสมบัติ	น้ำมัน มะเขือเทศ	อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมัน ต่อเมทานอล				มาตรฐานไบโอดีเซล EN14214
		1:3	1:5	1:7	1:9	
ปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFAs) (%wt)	0.79	0.68	0.98	1.30	1.46	nd
ค่าความหนืด Viscosity@40°C (cSt)	5.28	4.08	5.04	5.54	5.3	3.5-5.0
ค่าความร้อน Heating value (KJ/kg)	22.1	30.5	35.7	41.9	50.7	nd

คุณสมบัติ	น้ำมัน มะเขือเทศ	อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมัน ต่อเมทานอล				มาตรฐานไบโอดีเซล EN14214
		1:3	1:5	1:7	1:9	
ค่าจุดวาบไฟ Flash point (°C)	129	201	193	204	198	≥ 101
ค่าจุดติดไฟ Fire point (°C)	132	213	208	216	211	≥ 120
ค่าความหนาแน่น Density (kg/m ³)	873	895	867	846	840	860-900

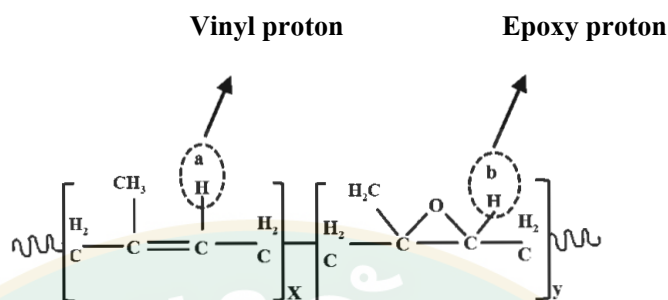
หมายเหตุ nd = ตรวจไม่พบ (Not detected)

จุดวาบไฟและจุดติดไฟถือเป็นข้อกำหนดทางกฎหมายเพื่อความปลอดภัยจากการเกิดอัคคีภัย การเก็บรักษา และการขนถ่าย และใช้เป็นเกณฑ์ตัดสินในการใช้งานในสภาวะต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าน้ำมันมะเขือเทศต่อเมทานอลที่อัตราส่วนที่ 1:3 1:5 1:7 และ 1:9 ที่อุณหภูมิ 60°C ส่งผลให้จุดวาบไฟมีค่าที่ใกล้เคียงกันและมีค่าจุดวาบไฟและจุดติดไฟสูงกว่ามาตรฐาน EN14214 ของน้ำมันไบโอดีเซลที่มีค่าจุดวาบไฟที่ $\geq 101^{\circ}\text{C}$ ดังตารางที่ 14 ซึ่งเป็นผลมาจากการที่สารประกอบเมทิลเอสเทอร์ถูกเปลี่ยนสถานะไปเป็นสารประกอบไตรเอสเทอร์ที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้ยาก เนื่องจากอัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันมะเขือเทศต่อเมทานอลเป็นผลมาจากการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับทำให้น้ำมันที่ผลิตได้มีค่าลดลงซึ่งเป็นผลมาจากการประกอบไตรเอสเทอร์เปลี่ยนไปเป็นโมโนเอสเทอร์ (Yunus et al, 2003, วีราภรณ์ และคณะ 2554) ซึ่งโมโนเอสเทอร์ที่ได้จะเปลี่ยนเป็นเมทิลเอสเทอร์เหมือนเดิม (ประเสริฐ และ ปานเพชร, 2548)

4.2 ผลการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศด้วยกระบวนการเคมี

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเขือเทศด้วยกระบวนการทางเคมี ประกอบด้วยกระบวนการอีพอกซิเดชัน และการเปิดวง epoxidized oil ด้วย acid catalyst ซึ่งผลการวิเคราะห์หาปริมาณออกไซด์ของน้ำมันมะเขือเทศที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลที่ 1:5 โดยใช้เทคนิคสเปกโตรสโกปีด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกนีเรโซแนนซ์สเปกโตรสโกปี (¹H-NMR) เป็นสเปกตรัมของน้ำมันมะเขือเทศที่สำคัญที่ตำแหน่ง $\delta_{5.3 - 5.6}$ ppm ซึ่งบ่งบอกถึงพันธะคู่ (C=C) ภาพที่ 17 (ก-ง) เป็นสเปกตรัมของน้ำมันไบโอดีเซลมะเขือเทศพบว่า ตำแหน่งที่ $\delta_{5.3 - 5.6}$ ppm ในน้ำมันมะเขือเทศมีความเข้มข้นของสัญญาณที่ค่อนข้างน้อย ในขณะที่เดียวกันจะมีพีคที่ตำแหน่งเกิดขึ้นที่ $\delta_{2.7}$ ppm ซึ่งเป็นตำแหน่งของอีพอกไซด์ไปนตอน พีคนี้จะไม่ปรากฏในสเปกตรัมของน้ำมันหล่อลื่นมะเขือเทศ ปริมาณอีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้ (อ้างอิง REF-RES-NMR-029)

$$\% \text{ Epoxidation} = \frac{\text{Integration value of epoxy proton}^{(a)}}{\text{Integration value of vinyl proton} + \text{Integration value of epoxy proton}^{(b)}} \times 100$$

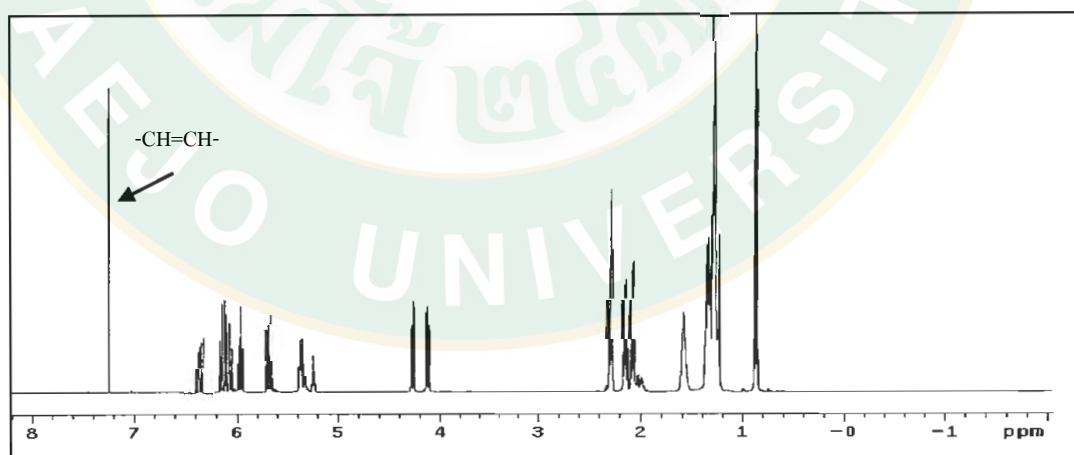


เมื่อ

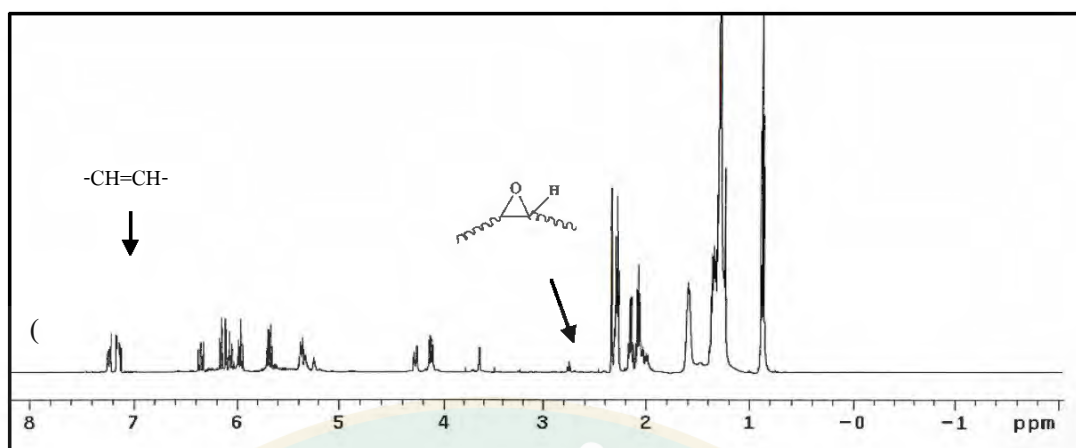
Vinyl proton เมื่อปรากฏสัญญาณที่ 5.3-5.6 ppm

Epoxy proton เมื่อปรากฏสัญญาณที่ 2.7 ppm

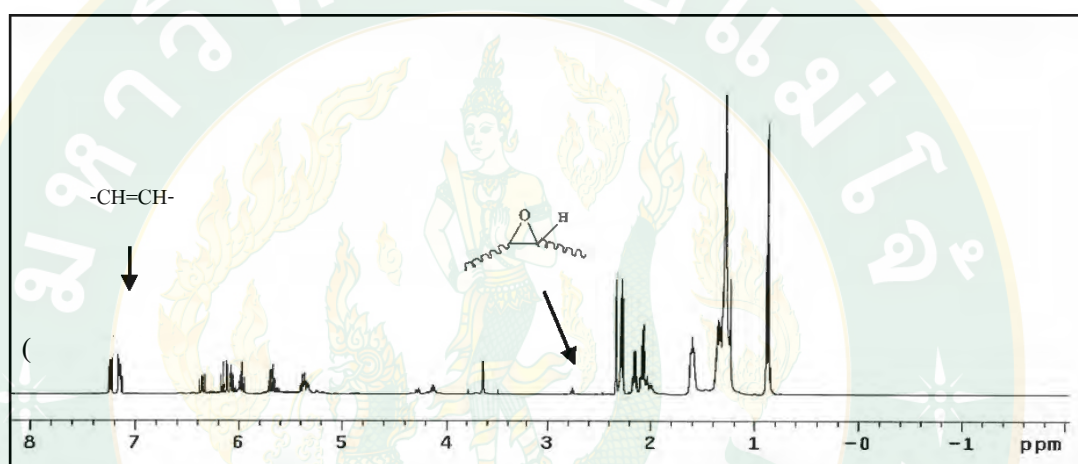
โดยที่ Integration value of epoxy proton^(a) คือความเข้มข้นที่ตำแหน่ง δ 2.7 ppm และ Integration value of epoxy proton^(b) คือความเข้มข้นที่ตำแหน่ง δ 5.3 -5.6 ppm เมื่อความเข้มข้นของสัญญาณได้จากการอินทิเกรตความสูงของพีคที่คำนวณจากโปรแกรมจากเครื่องมือ ซึ่งหลักการคำนวณคือว่าปริมาณหมู่อีพอกไซด์ที่เกิดขึ้นเทียบกับปริมาณของพันธะคู่ที่หายไป โครงสร้างทางเคมีของน้ำมันมะเขือเทศที่พันธะคู่ทั้งหมดถูกเปลี่ยนเป็นวงแหวนอีพอกไซด์แสดงในภาพที่ 17 ผลการทดลองพบว่าปริมาณอีพอกไซด์ที่มีค่ามากกว่า 10 % อัตราส่วนโดยโมลของพันธะคู่ต่อกรดแอซิดิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:0.25:0.79



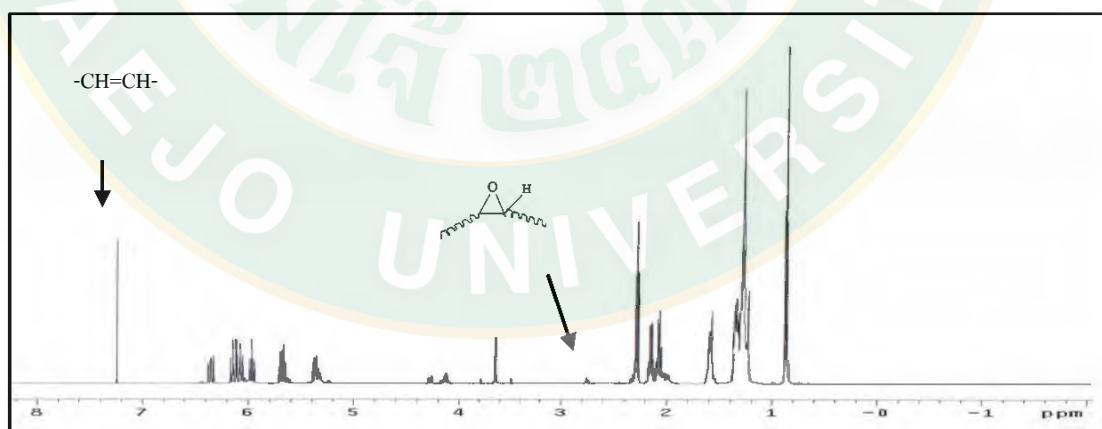
(ก)



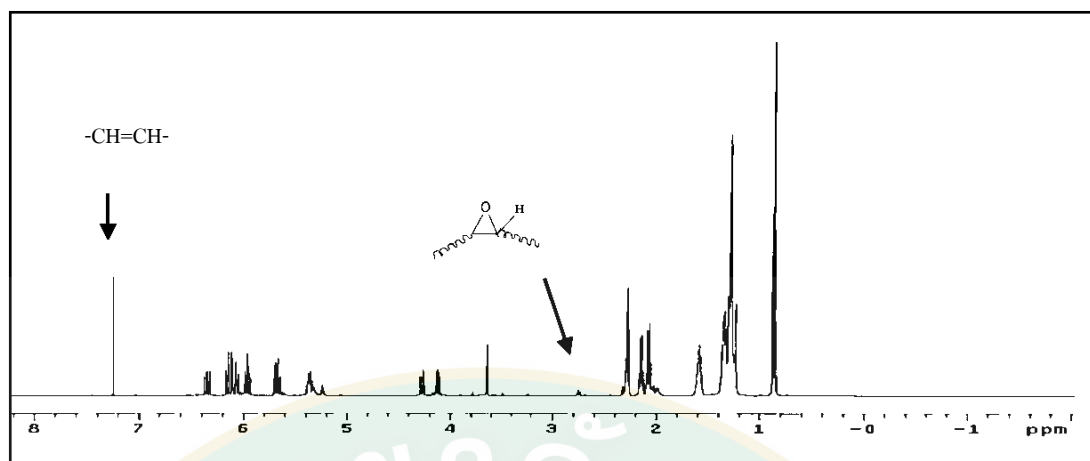
(b)



(c)



(d)



(จ)

ภาพที่ 17 สเปกตรัมจาก ^1H NMR ของ (ก) น้ำมันมะเขือเทศ (ข) อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลที่ 1:5 (ค) อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลที่ 1:7 (ง) อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลที่ 1:9 (จ) อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อเมทานอลที่ 1:3

จากการวิเคราะห์ค่าไอโอดีน ซึ่งเป็นอีกค่าหนึ่งที่บ่งบอกความมีเสถียรภาพทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่น ถ้ามีค่าไอโอดีนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานจะมีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงคุณสมบัติได้ง่ายขึ้น ในข้อกำหนดของน้ำมันหล่อลื่นประเภทเมทิลเอสเทอร์ กรมธุรกิจพลังงาน ให้ทดสอบตามวิธี EN 14111 ซึ่งผลจากการวัดค่าต้องไม่สูงกว่า 120 กรัมไอโอดีนต่อ 100 กรัมน้ำมันวิธีการทดสอบทำโดยวิธีการไตเตรทของ Pcarson ซึ่งทำการทดสอบพบว่าน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศมีค่าไอโอดีนที่ 99.6 ± 2.6 กรัมไอโอดีนต่อน้ำมันหนักตัวอย่าง 100 กรัม ซึ่งค่าที่ไอโอดีนที่วิเคราะห์มีค่าที่ผ่านมาตรฐานเมื่อเทียบกับตารางเทียบค่าไอโอดีน (ตัวอย่างของน้ำมันหล่อลื่น) ดังตารางที่ 16 และ 17

ตารางที่ 16 เทียบค่าไอโอดีน (ตัวอย่างของน้ำมันหล่อลื่น)

ปริมาณรวมของ สารละลาย I_2 (มิลลิลิตร)	ค่าไอโอดีน	ผ่าน/ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
2	มากกว่า 139	ไม่ผ่าน
4.2	139-> 120	ไม่ผ่าน
6	120->103	ผ่าน
8	103->85	ผ่าน
10	85-> 67	ผ่าน
12	97-> 48	ผ่าน
14	48->30	ผ่าน
16	30-> 12	ผ่าน
18	น้อยกว่า 12	ผ่าน

ที่มา สำนักงานจัดการสิทธิเทคโนโลยี (TLO), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

https://www.nstda.or.th/tlo/inside.php?option=view_technology&id=172

ตารางที่ 17 เทียบค่าไอโอดีนน้ำมันหล่อลื่นมะเขือเทศ

ปริมาณรวมของ สารละลาย I3 (มิลลิลิตร)	ค่าไอโอดีน	ผ่าน/ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน
Ratio 1:3	98.2±3.2	ผ่าน
Ratio 1:5	99.6±2.6	ผ่าน
Ratio 1:7	97.0±5.4	ผ่าน
Ratio 1:9	96.1±3.1	ผ่าน

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือเทศ

จากการศึกษา น้ำมันหล่อลื่น พบว่า ปัจจัยที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันหล่อลื่น คือที่อัตราส่วนระหว่างน้ำมันมะเขือเทศต่อเมทานอลที่อัตราส่วนโดยโมลที่ 1: 5 และโซเดียมเมทอกซิเรซิน 0.9% โดยน้ำหนักน้ำมันมะเขือเทศ ที่อุณหภูมิ 60 °C เวลาทำปฏิกิริยา 2 ชั่วโมง ความเร็ว 350-450 รอบ/นาที และนำไปปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลให้เป็นน้ำมันหล่อลื่นด้วยกระบวนการทางเคมี ประกอบด้วยกระบวนการอีพอกซิเดชัน และกระบวนการเปิดวง epoxidized oil โดยใช้กรดเป็นตัวเร่งจากการนำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นมาตรฐาน ซึ่งผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

4.3.1 ดัชนีความหนืด (Viscosity Index) และค่าความหนืดแบบไคเนมาติก

ความหนืดเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญที่สุดที่จะต้องทำการพิจารณาเป็นอันดับแรกสำหรับการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นให้เหมาะกับงาน น้ำมันที่มีความหนืดต่ำจะให้ฟิล์มหล่อลื่นที่บางทำให้ไม่สามารถรับภาระน้ำหนักได้มาก แต่สามารถแทรกตัวไปตามส่วนต่างๆ ที่ต้องการหล่อลื่นได้อย่างรวดเร็ว และสามารถระบายความร้อนได้ดี ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดสูงจะให้ฟิล์มหล่อลื่นที่หนาจึงสามารถรับภาระน้ำหนักได้ดีกว่า แต่จะต้องเสียพลังงานในการเคลื่อนฟิล์มน้ำมันมากขึ้นและระบายความร้อนได้ช้า ความหนืดจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของน้ำมันคือ น้ำมันหล่อลื่นจะหนืดมากเมื่ออุณหภูมิลดลง และหนืดน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยวิธีการทดสอบค่าความหนืดแบบ Kinematic Viscosity ที่อุณหภูมิ 40 °C และ 100 °C เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D445

จากการปรับปรุงน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเขือเทศให้เป็นฐานในการผลิตน้ำมันหล่อลื่น โดยใช้มาตรฐานของ SAE 40 ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมสำหรับการใช้กับเครื่องยนต์ทางเกษตร ดังนั้นการจะผสมน้ำมันให้ได้มาตรฐานนี้ อันดับแรกต้องคำนึงถึงค่าความหนืดตามมาตรฐาน SAE 40 ที่อุณหภูมิ 100 °C มีค่าอยู่ที่ 12.5-16.3 cSt และจากการศึกษาน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศพบว่ามีค่าความหนืดที่ 40 และ 100 °C และดัชนีความหนืดแสดงดังตาราง 18

ตารางที่ 18 ค่าความหนืด และดัชนีความหนืด

น้ำมัน	ค่าความหนืดที่ 40 °C (cSt)	ค่าความหนืดที่ 100 °C (cSt)	ดัชนีความหนืด
น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม (Base Oil: 150-SN)	28.0-33.0	5.13	29.21
น้ำมันหล่อลื่นจากมะเยาหิน	14.02	3.60	145
น้ำมันหล่อลื่นจากบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) V-120	151.60	15.00	99.00

การเพิ่มหรือลดลงของค่าดัชนีความหนืด ส่วนมากจะมีเหตุเนื่องมาจากการปนเปื้อนของน้ำมันชนิดอื่น นอกจากนี้ค่าดัชนีความหนืดอาจลดลง เนื่องจากมีแรงเฉือนที่ไปทำให้โครงสร้างของโมเลกุลของสารเพิ่มคุณภาพที่ผสมอยู่น้ำมันหล่อลื่นบางชนิด แตกสลายลงในบางครั้งค่าดัชนีความหนืดก็อาจเพิ่มขึ้นจากน้ำมันเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ

จากผลการทดสอบค่าความหนืดและค่าดัชนีความหนืดของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันทั้ง 3 ชนิด พบว่าผลิตภัณฑ์มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นจากผลิตภัณฑ์ก่อนทำการสังเคราะห์ โดยสารตัวเติมที่ทำปฏิกิริยาแล้วได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความหนืดและดัชนีความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นซึ่งเป็นสารประกอบที่โมเลกุลมีหมู่ของไฮดรอกซิล มากกว่าสามหมู่ ทำให้เกิดการทำให้ปฏิกิริยาที่สมบูรณ์กว่าเอทาไลน์ไกลคอลเป็นสารประกอบที่โมเลกุลมีหมู่ของไฮดรอกซิล จำนวน 2 หมู่ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์จึงมีค่าความหนืดที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากตัวทำปฏิกิริยาชนิดอื่นและเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดที่เป็นปัจจัยสำคัญที่สุดใน การหล่อลื่นของวิธีการทำปฏิกิริยาทั้ง 2 วิธี พบว่าการทำปฏิกิริยาแบบ 1 ขั้นตอน ได้ผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ที่มีค่าความหนืดสูงกว่าการทำปฏิกิริยา 2 ขั้นตอน

ผลการทดสอบของผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ที่ใช้เอทิลีนไกลคอลเป็นสารตัวเติมเพื่อทำปฏิกิริยาพบว่าเมื่อเอทิลีนไกลคอลทำปฏิกิริยากับน้ำมันมะเยาหินแล้วจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความหนืดโดยเฉลี่ยที่ 40 °C และ 100 °C สูงที่สุดเท่ากับ 3.60 และ 14.02 cSt ค่าดัชนีความหนืดเท่ากับ 145 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Ivan et al., 2014 พบว่าผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากน้ำมันปาล์ม โอเลอินร่วมกับเอทิลีไกลคอลมีค่าความหนืดที่ 40 °C และ 100 °C เท่ากับ 14.13 และ 4.00 cSt ค่าดัชนีความหนืดเท่ากับ 171

การทดสอบค่าดัชนีความหนืดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D2270 ค่าดัชนีความหนืด คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความหนืด เมื่อน้ำมันหล่อลื่นอุณหภูมิเปลี่ยนไป โดยน้ำมันหล่อลื่นมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยเรียกว่ามีดัชนีความหนืดสูง และน้ำมันหล่อลื่นที่มีอัตรา การเปลี่ยนแปลงความหนืดมากเรียกว่ามีดัชนีความหนืดต่ำ ซึ่งผลการทดสอบค่าความหนืด และ ค่าดัชนีความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้

4.3.2 จุดวาบไฟ (Flash point)

จุดวาบไฟ (Flash point) เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่สารจะให้ไอระเหยออกมาได้มากพอ และสามารถลุกติดไฟได้เมื่อมีแหล่งกำเนิดไฟ และเมื่อไอระเหยของสารหมดไป ไฟก็จะดับ แต่หากอุณหภูมิของสารสูงขึ้นเกินกว่าจุดวาบไฟ ทำให้สารให้ไอระเหยออกมาได้อีก ก็จะเกิดการลุกติดไฟต่อเนื่องไปเรื่อยๆ ที่อุณหภูมินี้ จะเรียกว่า จุดไหม้ไฟ (Fire point) มักจะสูงกว่าจุดวาบไฟประมาณ 10-20 °C และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเลยจุดไหม้ไฟไปอีก ก็จะถึง จุดลุกติดไฟได้เอง (Auto-ignition temperature) ซึ่งที่อุณหภูมินี้ สารนั้นจะสามารถลุกติดไฟได้เองโดยไม่ต้องมีแหล่งกำเนิดไฟ

จากการทดสอบค่าจุดวาบไฟ พบว่า น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขายาหิมีจุดวาบไฟสูงใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นนี้มีกริยาขัดเกาะกันของโมเลกุลอย่างหนาแน่น และเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลต่างๆที่รุนแรงด้วยซึ่งผลจากการทดสอบ พบว่าน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขายาหิมีจุดวาบไฟที่ 249 °C และน้ำมันที่ขายตามท้องตลาดมีจุดวาบไฟที่ 256 °C เมื่อเทียบกับน้ำมันมาตรฐาน SAE 40 พบว่า ค่าจุดวาบไฟที่กำหนดไว้จะต้องมีค่ามากกว่า 199 °C ดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่าจุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมัน	จุดวาบไฟ °C
น้ำมันปิโตรเลียม	204
น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขายาหิ	249
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	256

4.3.3 จุดไหลเท (Pour point)

อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังคงสภาพไหลได้ตามวิธีทดสอบ ASTM D97 ขึ้นกับชนิดและปริมาณของไข (wax) ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมัน เป็นข้อกำหนดคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงที่จำเป็นเมื่อต้องใช้งานในภาวะอุณหภูมิต่ำ ไขที่แยกตัวออกมาอุดตันท่อส่งเชื้อเพลิงและหม้อกรองน้ำมัน ไบโอดีเซลผลิตจากน้ำมันพืชหรือไขสัตว์ที่มีกรดไขมันอิ่มตัว (saturated fatty acid) โมเลกุลใหญ่ปริมาณมาก มีจุดเริ่มไหลสูง มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลของประเทศไทยไม่ได้กำหนดจุดเริ่มไหลของน้ำมันไบโอดีเซลชนิด B100 แต่กำหนดจุดเริ่มไหลของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว, น้ำมันดีเซลหมุนเร็วชนิด B5 และน้ำมันดีเซลหมุนช้าไว้ไม่เกิน 10, 10 และ 16 °C ตามลำดับ

จากการทดสอบจุดไหลเทตามมาตรฐาน ASTM 97 ผลจากการทดสอบจุดไหลเทของน้ำหล่อลื่นจากมะเขายาหิที่ผลิตได้มีค่า 19 °C

ตารางที่ 20 ค่าจุดไหลเทของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมัน	จุดไหลเท °C
น้ำมันปิโตรเลียม	-9
น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือ	19
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	16

จากการทดสอบที่แสดงในตาราง 19 พบว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีจุดไหลเทที่ 19 °C เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้กับงานวิจัยที่เสนอโดย Yunus *et al.*, 2005 พบว่าจุดไหลเทของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีค่าสูงกว่า ทั้งนี้อาจเกิดจากน้ำมันมะเขือ ซึ่งเป็นสารตั้งต้นมีปริมาณไขมันที่ละลายอยู่มาก จึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีปริมาณไขมันที่หลงเหลืออยู่มากเช่นกัน อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ที่ได้เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากกรดไขมันยาวที่พันธะเดี่ยวเป็นสายใหญ่ ซึ่งการมีพันธะเดี่ยวปริมาณมากในโมเลกุลแสดงให้เห็นว่าโมเลกุลมีความอึดตัวสูง และมีลักษณะโครงสร้างที่ซับซ้อนทับกันของโมเลกุลได้ง่าย Mortier *et al.*, 1997 ส่งผลให้เมื่ออุณหภูมิลดลงโมเลกุลส่วนที่เป็นสายยาวจะเกิดการเรียงตัวซ้อนกันทำให้น้ำมันเกิดการแข็งตัวได้ง่าย

4.3.4 การระเหย (Noack volatility)

การระเหย เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของน้ำมันหล่อลื่น เมื่อน้ำมันถูกความร้อนโมเลกุลที่เบาจะลอยขึ้นเหลือแต่ส่วนที่เป็น โมเลกุลหนัก ซึ่งขณะที่น้ำมันหล่อลื่นถูกใช้ระบายความร้อนให้แก่เครื่องยนต์ ก็จะมีบางส่วนที่ระเหยไป ดังตารางที่ 21 พบว่าปริมาณการสูญเสียไปจากการระเหยกลายเป็นไอของน้ำมันหล่อลื่นมะเขือ มีค่าน้อยกว่าน้ำมันหล่อลื่นจากบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) V-120 แสดงว่า ขนาดของโมเลกุลน้ำมันที่ผสมมีค่าสม่ำเสมอ ซึ่งตามมาตรฐาน JASO T903 กำหนดไว้ว่า การระเหยของน้ำมันจะต้องไม่เกิน 20% wt

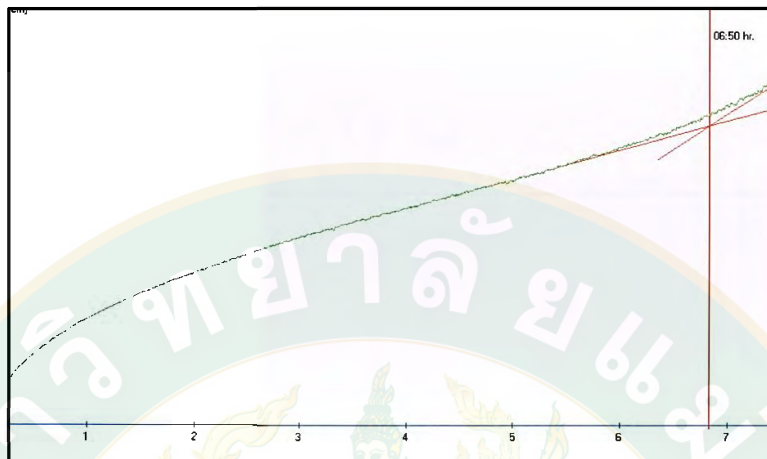
ตารางที่ 21 การหาปริมาณการระเหยของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมัน	ปริมาณการระเหยของน้ำมัน (%wt)
น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือ	2.46
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	3.07

4.3.5 ความคงทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation stability)

เนื่องจากการปรับปรุงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือที่ผลิตได้ มีคุณสมบัติที่สามารถเกิดออกซิเดชัน และพอลิเมอร์เชนที่อุณหภูมิสูงได้ ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นที่มีความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำ ทำให้เกิดการก่อตัวของคราบเหนียวและเกิดสภาวะที่เป็นกรดขึ้นได้ และจากการทดสอบความคงทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่น พบว่ามีค่า 6.83 (ภาพที่ 18) ทั้งนี้

เนื่องจากองค์ประกอบเอสเทอร์ของกรดไขมันมีสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัว : กรดไขมันไม่อิ่มตัว ประมาณ 1:1 น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศจึงมีความคงทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Tyson, 2004) และ ผ่านตามมาตรฐาน SAE 40 ที่มีค่า >6



ภาพที่ 18 ความคงทนต่อปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่นมะเขือเทศ

4.3.6 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของ Oxidation oil และ oxirane ด้วย FTIR

เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Infrared spectroscopy) สเปกโตรสโคปี (spectroscopy) หมายถึงเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นแถบพลังงาน (spectrum) โดยมีความยาวคลื่นตั้งแต่ในช่วงของคลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ คลื่น อินฟราเรด คลื่นในช่วงที่ตามองเห็น (visible) ไปจนถึงคลื่นอัลตราไวโอเลต

สำหรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงอินฟราเรด จะมีเลขคลื่นในช่วง $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ หรือมีความยาวคลื่นในช่วง $15.4 - 2.5 \text{ }\mu\text{m}$ ซึ่งเมื่อแสงอินฟราเรดตกกระทบบโมเลกุลสารพอลิเมอร์จะเกิดแรงกระทำ (interaction) ระหว่างแสงกับโมเลกุลสาร โดยที่แสงอินฟราเรดในบางช่วงที่ซึ่งมีความถี่ตรงกันกับ ความถี่ของการสั่นของพันธะในโมเลกุลพอลิเมอร์จะถูกดูดกลืนไป (เรียกว่าเกิดเรโซแนนซ์ [resonance]) ดังนั้นความเข้มของแสงอินฟราเรดที่ทะลุผ่านสารตัวอย่าง (transmitted Infrared) จึงมีความเข้มแสงลดลงใน บางช่วงของความถี่ทั้งหมดของอินฟราเรด

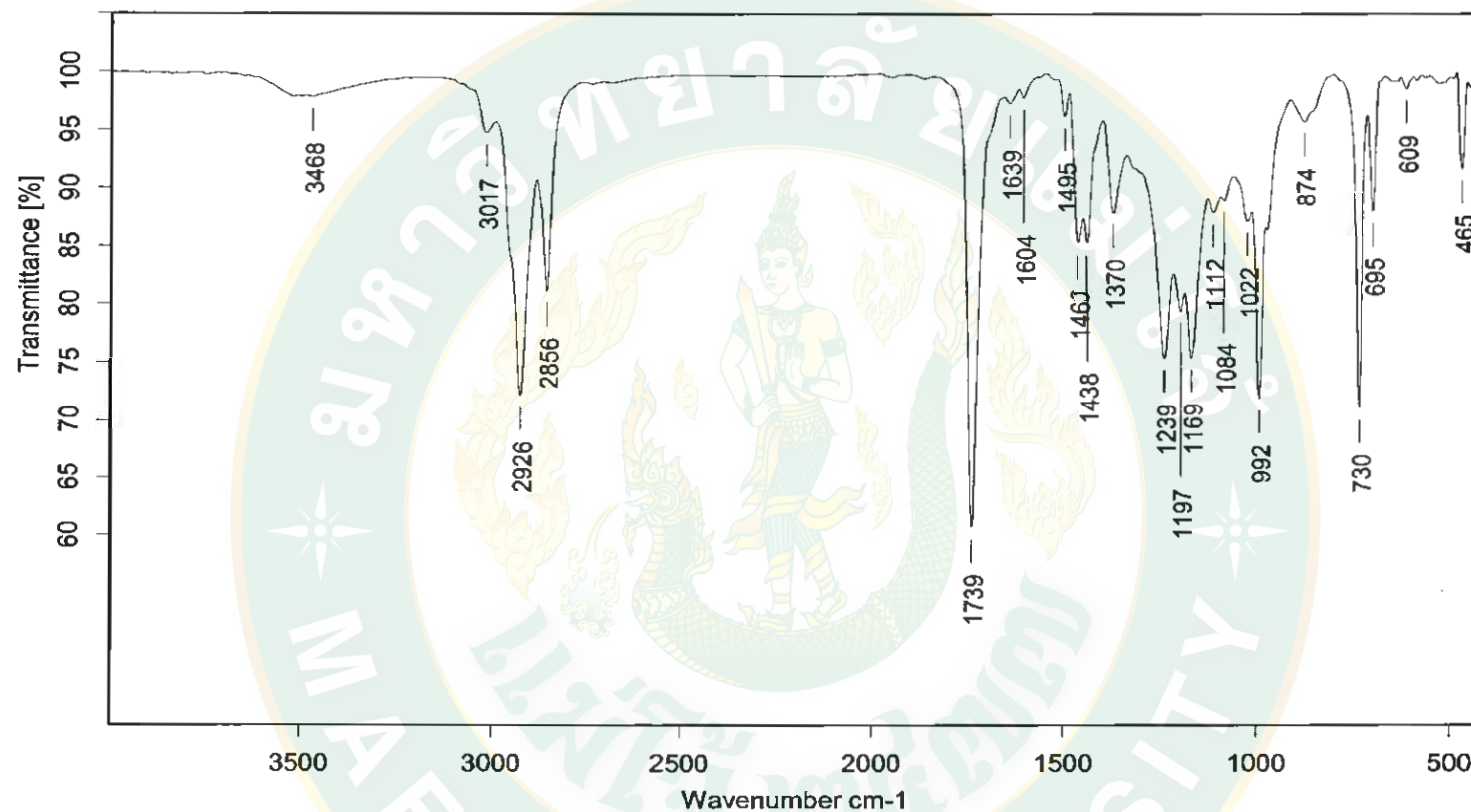
เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงอินฟราเรดที่ทะลุผ่านสารตัวอย่างกับความถี่หรือเลขคลื่น (ซึ่งเลขคลื่นหรือ wave number จะมีค่าเท่ากับส่วนกลับของความถี่แสง) จะได้สเปกตรัม อินฟราเรดที่มีลักษณะตัวอย่างดังภาพ 19

จะสังเกตเห็นได้ว่ามีพีคที่แสดงถึงการดูดกลืนแสงในช่วงความถี่ต่างๆ ที่มีความสูงของพีค (หรือ ปริมาณแสงที่ทะลุผ่านสารตัวอย่าง) ที่หลากหลาย และเป็นจำนวนลายพีค ทั้งนี้เนื่องจากใน

โมเลกุลของ สารอินทรีย์จะมีพันธะมากกว่า 1 พันธะ และแต่ละพันธะจะมีการสั่น (vibration) ในความถี่ที่ต่างกันและมี รูปแบบของการสั่นได้หลายรูปแบบ



Scientific Equipment Center , PSU.



Sample :Mayaohin oil		Frequency Range :4000-400 cm-1		Measured on : 01/11/2016	
File name:4331RUNGTAWAN	Resolution : 4		Instrument : Vertex70		Sample Scans : 32
Analyst :WACHIRAPORN	Zerofilling : 2		Acquisition Mode Double Sided,Forward-Backward		

FT-IR Spectroscopy

ภาพที่ 19 โครงสร้างทางเคมีของ oxirane ด้วย FTIR

4.4 ผลการทดสอบการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากน้ำมันมะเขือในเครื่องยนต์ทางการเกษตร

การทดสอบการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นกับเครื่องยนต์ทางการเกษตรทดสอบ โดยใช้เครื่องยนต์ทางการเกษตร ยี่ห้อศรียนต์ รุ่น ET 110 โดยให้วิ่งบนลูกกลิ้งเป็นระยะเวลา 100 ชั่วโมงที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm โดยใช้ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล จากบริษัทปตท. จำกัด (มหาชน) ดังภาพ 20 โดยก่อนติดเครื่องยนต์จะทำเครื่องหมายระดับปริมาณน้ำมันที่อยู่เต็มถึง เมื่อทดลองเสร็จทุก 8 ชั่วโมง จะหยุดพักเครื่องให้เครื่องเย็นแล้วเติมน้ำมันเชื้อเพลิงให้ถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ในถังเชื้อเพลิง จะทำให้ทราบถึงปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ไป จากการทดลองจะเห็นได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือมีอัตราการสิ้นเปลืองที่ใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นจากท้องตลาด เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตตามท้องตลาด จึงทำให้ใช้แรงในการเคลื่อนที่ลูกสูบไป-มา ใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด ส่งผลให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเผาไหม้น้อยกว่า แสดงว่าน้ำมันมีคุณสมบัติช่วยประหยัดพลังงาน เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีสภาพทนทานต่อการเสียดสี ทนทานต่ออุณหภูมิสูง เมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือ จะทำให้ได้ระยะทางในการเดินทางมากกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ขายตามท้องตลาดโดยทั่วไป เมื่อเติมน้ำมันที่ 1 ลิตรเท่ากัน ซึ่งแตกต่างกันถึง 7.32 % อีกทั้งมีการทดสอบหาสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน และการสึกหรอตามมาตรฐาน ASTM G 133-95 ต่ำกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดโดยทั่วไป หากนำไปใช้กับชิ้นส่วนเฟือง เกียร์ ก็จะทำให้ลดอุณหภูมิในห้องเกียร์ลงได้ เป็นผลทำให้ลูกสูบใช้แรงในการเคลื่อนที่ไปกลับน้อยมีประสิทธิภาพในการทำงานอย่างเต็มที่ ทำให้เชื้อเพลิงที่ใช้ในการจุดระเบิดในลูกสูบน้อย จึงสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาด



ภาพที่ 20 เครื่องยนต์ทางการเกษตร ยี่ห้อศรียนต์ รุ่น ET 110 ที่ใช้ในการทดลอง

4.4.1 การทดสอบปริมาณก๊าซที่ออกมาจากท่อไอเสียจากเครื่องยนต์เครื่องยนต์ทางการเกษตร

เครื่องยนต์ทางการเกษตร ยี่ห้อศรียนต์ รุ่น ET 110 โดยติดเครื่องยนต์อยู่กับที่ด้วยอัตราเร็วรอบที่แล้ววัดปริมาณก๊าซที่ออกมาจากท่อไอเสียทุก 1 ชั่วโมง โดยใช้เครื่อง Testo 350- XL (Abgas-Analysegerät Flue gas analyzer) ได้ค่าเฉลี่ยของก๊าซที่ออกมาจากท่อไอเสียดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ปริมาณก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียเครื่องยนต์

น้ำมันหล่อลื่น	(%) O ₂	CO (ppm)	CO ₂ (%)	NO (ppm)	NO ₂ (ppm)	NO _x (ppm)
น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศ	11.62	7721.23	7.53	28.27	1.30	29.31
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด	12.56	7910.48	7.46	27.80	1.05	28.91

จากตารางที่ 22 จะพบว่า ปริมาณก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือเทศ เทียบกับน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาดแล้ว พบว่า น้ำมันมะเขือเทศปล่อยออกซิเจนและควันพิษออกมาใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Blandine (2546) ซึ่งกล่าวว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผลิตจากน้ำมันพืช ต่างก็มีลักษณะทางเทคนิคที่เหมือนกับน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากแร่ธาตุการที่ NO₂ ของน้ำมันหล่อลื่นส่วนผสมที่ 9 มีค่าน้อยกว่าของน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด แสดงว่าน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือเทศ มีการแตกตัวและการรวมตัวของ NO₂ ดีกว่าน้ำมันหล่อลื่นทั่วไป ดังสมการที่ 2 (Irvin, 1977)



ไอเสียของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟโดยทั่วไปประกอบด้วยสารที่ถือว่าเป็นมลพิษ คือ ออกไซด์ของไนโตรเจน ได้แก่ NO_x ซึ่งส่วนใหญ่เป็นไนตริกออกไซด์ (NO) และมีไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) อยู่ในปริมาณเล็กน้อย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้หรือเผาไหม้ไปบางส่วน (HC) โดยปริมาณสัมพัทธ์ของมลพิษแต่ละชนิดจะขึ้นอยู่กับ การออกแบบเครื่องยนต์ และสภาวะการทำงาน แต่โดยทั่วไปก็จะอยู่ในระดับต่อไปนี้ ค่า NO_x อยู่ในช่วง 500 ppm ถึง 1000 ppm หรือ 20 g/kg fuel ค่า CO อยู่ในช่วง 1- 2% หรือ 200 g/kg fuel และค่า HC ประมาณ 3000 ppm หรือ 25 g/kg fuel (อุตสาหกรรม และเชื้อ, 2527)

นอกจากมลพิษที่ออกมากับไอเสียแล้ว การรั่วของก๊าซผ่านลูกสูบและการระเหยของเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศโดยผ่านทางระบบในถังเชื้อเพลิง และคาร์บูเรเตอร์ยังเป็นแหล่งของไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้อีกด้วย แต่ในปัจจุบันได้มีการควบคุมแหล่งมลพิษที่ไม่ได้ออกมากับไอเสียได้อย่างเป็นผลก่อกำเนิดทำให้เกิดมลพิษในกระบอกสูบของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟเกิดขึ้นในแต่ละช่วงของวัฏจักรการทำงานของเครื่องยนต์ คือ ช่วงการอัด การเผาไหม้ การขยายตัว และการคาย ซึ่งกลไกการเกิดมลพิษแต่ละชนิดนั้น เกิดขึ้นได้ดังนี้

ไนตริกออกไซด์เกิดขึ้นในก๊าซที่เผาไหม้แล้ว ซึ่งมีอุณหภูมิสูงที่อยู่ข้างหลังเปลวไฟโดยปฏิกิริยาเคมีของไนโตรเจนและออกซิเจน ซึ่งไม่อยู่ในสภาวะสมดุลเคมี อัตราการเกิด NO จะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิของก๊าซ

ที่เผาไหม้แล้วสูงขึ้น เมื่อก๊าซที่เผาไหม้แล้วเย็นลงในจังหวะขยายตัวปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับ NO ก็จะหยุด และเหลือความเข้มข้นของ NO ไว้สูงกว่าระดับที่สอดคล้องกับสมดุลที่สภาวะการคายสำหรับ คาร์บอนมอนอกไซด์นั้นจะเกิดขึ้นในระหว่างการเผาไหม้เช่นกัน โดยเกิดขึ้นเมื่อสารผสมหนา ทำให้มี ออกซิเจนไม่เพียงพอที่จะเผาไหม้คาร์บอนทั้งหมดในเชื้อเพลิงให้เป็น CO_2 และเกิดขึ้นในก๊าซที่เผาไหม้แล้ว ซึ่งมีอุณหภูมิสูง แม้ว่าจะเป็นกาเผาไหม้สารผสมที่บางก็ตาม โดยเกิดขึ้นจากการแตกตัวของ CO_2 เป็นหลัก หลังจากนั้นในจังหวะขยายตัว กระบวนการออกซิเดชันของ CO ก็จะหยุดเมื่ออุณหภูมิของก๊าซที่เผาไหม้ แล้วลดลง

ส่วนการเกิดไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้จะมาจากแหล่งต่างๆ หลายแหล่ง แหล่งแรกมาจากการ ไหลเข้าและออกจากชอกหรือส่วนแคบๆ ที่ต่อเข้ากับห้องเผาไหม้ ซึ่งชอกที่ใหญ่ที่สุดก็คือชอกระหว่าง ลูกสูบ แหวนลูกสูบ และผนังกระบอกสูบ ในช่วงการอัดและเผาไหม้ ความดัน กระบอกสูบที่เพิ่มขึ้นจะดัน ให้ก๊าซบางส่วนในกระบอกสูบเข้าไปในชอก (ส่วนใหญ่ของก๊าซนี้จะเป็นสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่ยัง ไม่เผาไหม้) และก๊าซที่อยู่ในชอกนี้ส่วนใหญ่จะไม่ถูกเผาไหม้ในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น เนื่องจากทางเข้าของชอกเหล่านี้แคบเกินกว่าที่เปลวไฟเข้าไปได้ (อิสราวจัน, 2550)

แหล่งที่สองที่เป็นไปได้ก็คือผนังของห้องเผาไหม้ เมื่อเปลวไฟดับในขณะที่ไปใกล้ผนัง ก็จะเหลือ ชั้นที่ติดกับผนังซึ่งมีสารผสมเชื้อเพลิงกับอากาศที่ยังไม่เผาไหม้ และเผาไหม้บางส่วน

แหล่งที่สามของไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้ก็คือฟิล์มหรือชั้นบางๆ ของน้ำมันหล่อลื่น (น้ำมันเครื่อง) ที่เหลืออยู่บนผนังกระบอกสูบ ลูกสูบ และอาจเหลืออยู่บนฝาสูบด้วย ชั้นของน้ำมันหล่อลื่น เหล่านี้สามารถดูดซับและปล่อยไฮโดรคาร์บอนได้ก่อน และหลังการเผาไหม้ ตามลำดับ เป็นผลให้เชื้อเพลิง ไฮโดรคาร์บอนที่ถูกดูดซับไว้ก่อนการเผาไหม้นั้น ไม่ถูกเผาไหม้ในระหว่างกระบวนการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น และหลังจากกระบวนการเผาไหม้ ไอเชื้อเพลิงในก๊าซที่เผาไหม้แล้วหมดไป ทำให้ไอเชื้อเพลิงที่ถูกดูดซับไว้ ในชั้นของน้ำมันหล่อลื่นถูกปล่อยออกมาแม้ว่า ไอเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกมาในช่วงการขยายตัวจะผสมกับ ก๊าซที่เผาไหม้แล้วที่มีอุณหภูมิสูง และถูกออกซิไดส์ แต่บางส่วนที่อยู่ในชั้นขอบนอกที่เย็นหรือที่ผสมกับ ก๊าซที่เย็นก็จะไม่ถูกออกซิไดส์อย่างเต็มที่

แหล่งสุดท้ายของไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้ในเครื่องยนต์ จูกระเบิดด้วยประกายไฟ ก็คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ที่เกิดมาจากการดับของเปลวไฟก่อนที่เปลวไฟด้านหน้าทั้งหมดไปถึงผนัง ซึ่งมักจะ เกิดขึ้นในช่วงการเปลี่ยนแปลงการทำงานของเครื่องยนต์ คือ เมื่ออัตราส่วนระหว่างอากาศต่อเชื้อเพลิง จังหวะการจูกระเบิด และส่วนของไอเสียที่นำกลับมาใช้อีก อาจไม่สอดคล้องกัน ทำให้อัตราการเผาไหม้ เกิดขึ้นช้ามาก

เมื่อเครื่องยนต์เย็น การกลายเป็นไอของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นช้า การไหลของเชื้อเพลิงก็จะถูกเร่งขึ้น เพื่อให้ได้สารผสมหนาที่เผาไหม้ได้ง่ายในกระบอกสูบ ดังนั้นก่อนที่เครื่องยนต์จะอุ่นและก่อนมีการลด ความหนาของสารผสมลง CO และ HC ที่ออกไปกับไอเสียจะมีปริมาณสูง

ในสภาวะภาระบางส่วนซึ่งสามารถใช้สารผสมบางได้ก็จะเป็นผลให้ปริมาณของ HC และ CO ที่ออกไปกับไอเสียต่ำลง (อย่างน้อยจนกระทั่งคุณภาพของการเผาไหม้ลดลง) และปริมาณของ NO ที่ออกไปก็จะไม่มากนัก (ปานกลาง) การนำเอาไอเสียกลับเข้ามาใช้อีก เพื่อเจือจางสารผสมที่นำเข้าจะช่วยลด NO ลง แต่จะทำให้คุณภาพของการเผาไหม้ลดลง ซึ่งในสภาวะที่เครื่องยนต์ให้กำลังเต็มที่ เครื่องยนต์จะต้องทำงานด้วยสารผสมค่อนข้างหนาและจะต้องไม่มี การใช้ไอเสียมาเจือจางสารผสมที่นำเข้า ในงานวิจัยชิ้นนี้ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์วัด จึงวัดมลพิษได้เพียง O_2 CO CO_2 NO NO_2 และ NO_x โดยไม่สามารถวัด HC ได้

เพื่อตรวจสอบการสึกหรอและการกัดกร่อนของชิ้นส่วน และทำนายกลไกที่เกิดขึ้น การวิเคราะห์เศษโลหะในน้ำมันหล่อลื่นเป็นวิธีการหนึ่งที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งเศษโลหะเหล่านั้นจะมีรูปร่างแตกต่างกันตามแต่ละกลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้น ทำให้ทราบได้ว่ากลไกเป็นแบบใดมีความรุนแรงระดับใด และอาจจะทำให้ทราบถึงสาเหตุของการสึกหรอ สิ่งแปลกปลอมที่ทำให้เกิดการสึกหรอ และแนวทางในการป้องกันและแก้ไข เพื่อชะลอกลไกการเสื่อมสภาพของชิ้นส่วนเครื่องจักรกล สามารถจำแนกกลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนเครื่องยนต์ได้ ดังต่อไปนี้

4.4.2 ผลการทดสอบ Fuel Dilution และ Wear Metal Contents

การสึกหรอแบบแรกเกิดจากกลไกการสึกหรอแบบยึดติดแบบปกติ และแบบรุนแรง การสึกหรอแบบนี้เกิดขึ้นโดยปกติในขณะที่เริ่มต้นใช้งาน หรือขณะกำลังจะหยุดใช้งานชิ้นส่วนทางกลทุกครั้ง ทั้งนี้เนื่องจากก่อให้เกิดรูปแบบการหล่อลื่นแบบบาวนด์ดารี (Boundary Lubrication Regime) ซึ่งมีผลทำให้มีโอกาสเกิดการสัมผัสตัวกันของผิวโลหะแบบหยาบในระดับจุลภาค นอกจากนี้หากมีการใช้งานที่ภาระและความเร็วรอบที่รุนแรงมากเกินไปจะทำให้มีการสูญเสียสภาวะการหล่อลื่นแบบสมบูรณ์ที่เกิดขึ้นกับร่องลื่นแบบกลิ้งตัว (Elastohydrodynamic Lubrication Regime) ซึ่งเศษโลหะที่ได้จะมีขนาดโตกว่า 50 ไมครอนและมีลักษณะผิวหน้าที่มีร่องรอยการขีดข่วนรวมถึงมีลักษณะเป็นแผ่นแนวยาว (Striation and Elongated Wear Particles) และในบางส่วนของเศษโลหะที่เกิดการยึดติดจะมีลักษณะเป็นเศษโลหะที่มีผิวหน้าขรุขระ และมีสีน้ำเงินแกมม่วงหรือเป็นสีดำ ทั้งนี้เกิดจากการยึดติดอย่างรุนแรงทำให้มีการเชื่อมตัวของเนื้อโลหะและมักเกิดขึ้นในรูปแบบการหล่อลื่นแบบแห้ง (Dry Lubrication)

การตรวจหาปริมาณของอนุภาคเศษโลหะตามมาตรฐาน ASTM D 6595 สามารถตรวจสอบขนาดของอนุภาคได้ 2 แบบคือ อนุภาคขนาดละเอียด (Rotating Disc Electrode หรือ RDE) เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะที่มีขนาดละเอียด (Fine) ซึ่งมีขนาดโดยประมาณเล็กกว่า 8 ไมครอน และ อนุภาคขนาดหยาบ (Rotating Filter Spectroscopy หรือ RFS) เป็นวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุโลหะที่มีขนาดหยาบ (Coarse) ซึ่งมีขนาดโดยประมาณ จาก 5-150 ไมครอน

ผลที่ได้จากการทดสอบการวิเคราะห์ธาตุโลหะในน้ำมันหล่อลื่น ของน้ำมันที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไป และน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขาก่อนและหลังการใช้งานในเครื่องยนต์ทางการเกษตร แสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 อนุภาคเศษโลหะสึกหรอที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น

ธาตุโลหะ	น้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาด ที่ใช้แล้ว (ppm)	น้ำมันมะเขาก่อนที่ใช้แล้ว (ppm)
เหล็ก (Fe)	11.9	102
โครเมียม (Cr)	1.0	15
ตะกั่ว (Pb)	0.0	2
ทองแดง (Cu)	0.7	1
อะลูมิเนียม (Al)	1.6	8

โลหะหรือธาตุที่เกิดจากการสึกหรอ (Wear Metals) ยกตัวอย่างเช่น อะลูมิเนียม เหล็ก และทองแดง การที่มีค่าอะลูมิเนียมสูงหรือมีค่าเกิน 75 ppm แสดงให้ทราบว่ามีการสึกหรอของลูกสูบมาก ซึ่งปกติจะมีค่าประมาณ 20 ppm (สุรพล, 2549) อนุภาค เศษอะลูมิเนียมที่มีในน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขาก่อน ที่ผ่านการใช้งานแล้วมีค่าเท่ากับ 8 ppm ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปที่ใช้แล้วเท่ากับ 1.6 ppm และไม่เกินค่ามาตรฐาน สำหรับค่ามาตรฐานของธาตุเหล็กจะต้องไม่เกิน 600 ppm ซึ่งอนุภาคเศษเหล็กที่มีในน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขาก่อนที่ผ่านการใช้งาน มีค่าเท่ากับ 102 ppm ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปที่ใช้แล้วเท่ากับ 11.9 และ ppm และไม่เกินค่ามาตรฐาน ในระดับการทำงานปกติ ปริมาณเหล็กอาจจะมีความแตกต่างกันค่อนข้างมากเช่นกัน ในกรณีที่พบปริมาณของทองแดงมีค่าสูงๆ แสดงให้ทราบว่ามีการสึกหรอของแบร้งที่มีส่วนผสมของทองแดงหรือตะกั่ว ซึ่งจะต้องไม่เกิน 1 ppm โดยอนุภาคเศษทองแดงที่มีขนาดละเอียดและหยาบของน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขาก่อนที่ผ่านการใช้งานแล้ว มีค่าเท่ากับ 1 ppm ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่วางขายตามท้องตลาดทั่วไปที่ใช้แล้วเท่ากับ 0.7 ppm ในกรณีทั่วไป ปริมาณของทองแดงอาจจะมีความประมาณ 50 ppm (สุรพล, 2549) หากอนุภาคเศษโลหะมีขนาดใหญ่ จะส่งผลให้เกิดการขัดสีแบบขูดขีดเป็นร่องอย่างรุนแรงในชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว ควรทำการเปลี่ยนไส้กรอง และน้ำมันหล่อลื่นโดยทันที (อิสราวัจน์, 2550)

4.4.3 ผลการทดสอบ Flash point

จากการทดสอบค่าจุดวาบไฟ พบว่า น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขาก่อนมีจุดวาบไฟสูงใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นนี้มีการยึดเกาะกันของโมเลกุลอย่างหนาแน่น และเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลต่างๆที่รุนแรงด้วยซึ่งผลจากการทดสอบ พบว่าน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขาก่อนมีจุด

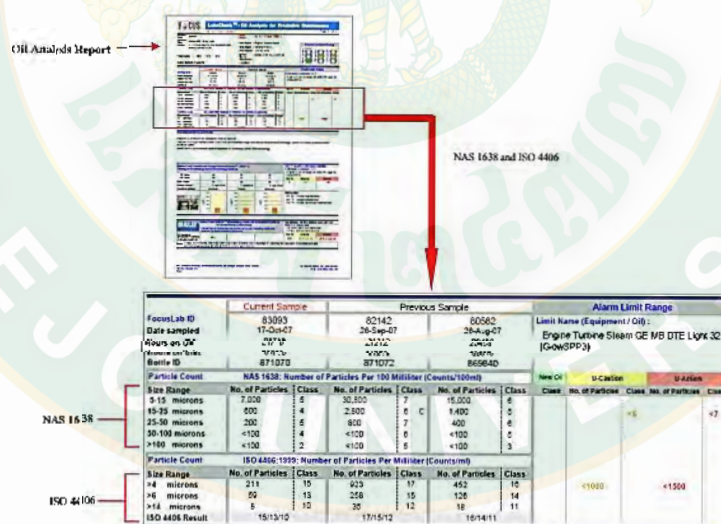
วาล์วไฟฟ้าที่ 249 °C และน้ำมันที่ขายตามท้องตลาดมีจุดวาล์วไฟฟ้าที่ 256 °C เมื่อเทียบกับน้ำมันมาตรฐาน SAE 40 พบว่า ค่าจุดวาล์วไฟฟ้าที่กำหนดไว้จะต้องมีค่ามากกว่า 199 °C ดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ค่าจุดวาล์วไฟฟ้าของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมัน	จุดวาล์วไฟฟ้า °C
น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศ (ใหม่)	170
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด (ใหม่)	178
น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศ (ที่ใช้แล้ว)	240
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด (ที่ใช้แล้ว)	256

4.4.4 ผลการทดสอบ Particle

อนุภาคสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือเทศ และเครื่องจักรกลต่างอื่น จะเป็นสาเหตุและเร่ง ก่อให้เกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ในระบบ อัตราการสึกหรอที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับช่องว่างภายในระบบ ขนาดและปริมาณของอนุภาคสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อน และระดับแรงดันในระบบ อนุภาคสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำมัน จะตรวจวิเคราะห์โดยหลักการ Particle Count โดยใช้มาตรฐานการวัด NAS 1638 ดังแสดงในภาพ 21



4.4.5 ผลการทดสอบ Viscosity Kinematic

คุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นที่ควรพิจารณาคือความคงทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน คุณสมบัตินี้บ่งชี้ว่าน้ำมันหล่อลื่นสามารถต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ดีเพียงใด เมื่อน้ำมันหล่อลื่นทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะเกิดสารประเภทกรดและคราบยางเหนียวซึ่งไม่สามารถละลายในน้ำมันได้ ส่งผลให้น้ำมันเสื่อมสภาพเร็ว โดยปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นจากสารต่างๆ เหล่านี้ทำให้ความหนืดมีค่าสูงขึ้น และอาจทำให้เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ได้ จากผลการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D445-11a โดยทำการหาค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่อุณหภูมิ 100 °C ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมัน	Viscosity Kinematic	Viscosity Kinematic	Viscosity
	@ 40 °C	@100 °C	Kinematic
น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือหิน (ใหม่)	118.3	20.9	204.0
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด (ใหม่)	151.6	15.0	99.0
น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือหิน (ที่ใช้แล้ว)	207.0	24.5	229.0
น้ำมันหล่อลื่นตามท้องตลาด (ที่ใช้แล้ว)	110.0	13.0	150

จากผลการทดลองในตารางที่ 23 พบว่าค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือหินที่อุณหภูมิ 40 และ 100 °C ก่อนและหลังการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่ขายตามท้องตลาด โดยค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นเป็นสิ่งบ่งชี้ว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้นั้นเกิดการออกซิเดชันเล็กน้อยเพียงใดซึ่งหากค่าที่ได้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้มีคุณสมบัติในการต้านทานการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดี เนื่องจากโครงสร้างของ เอสเทอร์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากน้ำมันมะเขือหินนั้นมีโครงสร้างของโมเลกุลส่วนสายยาวที่มีพันธะเดี่ยวเป็นส่วนใหญ่จึงทำให้โมเลกุลมีความอึดตัวสูง ส่งผลให้อะตอมของออกซิเจนเข้าไปเกาะที่โมเลกุลได้ยากผลิตภัณฑ์จึงเกิดการออกซิเดชันต่ำ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด

4.4.6 ผลการทดสอบ Total Acid Number – TAN

ค่าความเป็นกรดที่วัดออกมาเป็นหน่วยมิลลิกรัมด่าง KOH/กรัมน้ำมัน เช่นเดียวกับกับค่าความด่างแสดงถึงปริมาณของกรดทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นวัดได้ 2 วิธีคือ โดยวิธี ASTM D - 664 และ ASTM D-974 สำหรับน้ำมันหล่อลื่นไม่ว่าจะเป็นงานหล่อลื่นชนิดใดต้องไม่มีกรดแก่อยู่ในน้ำมัน เพราะกรดแก่จะทำการกัดกร่อนโลหะทำให้เกิดความเสียหาย ตรวจสอบค่าปริมาณกรดแก่ในน้ำมันโดยวิธี ASTM D -

664 หรือ ASTM D-974 เช่นกัน โดยแสดงค่าเป็น Strong Acid Number (SAN) สำหรับกรดอ่อนที่มีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นนั้นมาจากหลายแหล่งดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 การวัดค่าความเป็นกรด (Total Acid Number - TAN) ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

น้ำมัน	Total Acid Number – TAN
น้ำมันหล่อลื่นจากมะเยาหิน (ที่ใช้แล้ว)	2.21

จากผลการทดลองพบว่า ตัวน้ำมันหล่อลื่นจากมะเยาหิน มีสารพวก Oxygenated Hydrocarbon ปกติน้ำมันพื้นฐานที่ผ่านขบวนการผลิตอย่างดีจะมีค่าความเป็นกรดน้อยมากไม่เกิน 0.05 ถึง 0.10 มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำมัน และเกิดจากสารเพิ่มคุณภาพซึ่งมีสภาพเป็นกรดอ่อนที่ใส่ในน้ำมันเพื่อช่วยทำหน้าที่ต่างๆ เช่น สารป้องกันสนิม สารรับแรงกดสูง และอื่นๆ ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นคุณภาพดีที่ยังมิได้ใช้งานอาจมีค่าความเป็นกรดรวมได้สูงถึง 5 บางชนิดก็มีค่าความเป็นกรดต่ำแล้วแต่ประเภทของสารเพิ่มคุณภาพที่ใส่ ค่า TAN จากแหล่งนี้ลดลงได้ตามระยะเวลาการใช้งาน

โดยที่ตัวเนื่อน้ำมันหล่อลื่นจากมะเยาหินที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศในระหว่างการใช้งาน หากเกิดขึ้นมากความหนืดของน้ำมันจะเพิ่มขึ้นด้วย และปริมาณตะกอนที่ไม่ละลายในสารละลายก็จะสูงขึ้น เช่นกันกรดที่เกิดปฏิกิริยาในเบื้องต้นมักจะไม่น่าจะเป็นอันตรายต่อชิ้นส่วนเครื่องจักรกลเพราะยังมีความเข้มข้นต่ำอยู่ หากการเกิดปฏิกิริยาจะมีความเป็นกรดสูงพอที่จะเริ่มกัดกร่อนผิวชิ้นส่วนโลหะเกิดเป็นกรดเกลือโลหะที่จะเร่งปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันกับออกซิเจนอีก ทำให้น้ำมันเสื่อมสภาพลงอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นตะกอนยางเหนียวและแลคเกอร์เกาะติดตามทางเดินของน้ำมันในเครื่องจักรกล อาจอุดตันทางเดินของน้ำมัน ทำให้ขาดการหล่อลื่นและเครื่องจักรกลสึกหลอในที่สุด น้ำมันที่เสื่อมลงจะมีสีคล้ำเข้มขึ้น ความหนืดของน้ำมันจะสูงขึ้น ค่าความเป็นกรดก็สูงขึ้นด้วย ปริมาณของกรดที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันนี้จะยอมให้เกิดขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องจักรกลที่ใช้ เช่น น้ำมันประเภทหล่อลื่นเทอร์ไบน์ ควรจับตามองเมื่อมีปริมาณเกิน 0.3 มิลลิกรัม KOH/กรัม น้ำมัน พวกน้ำมันหล่อลื่นเบริง น้ำมันไฮดรอลิก เครื่องอัดลมและเกียร์ ควรจับตามองเมื่อมีปริมาณเกิน 1.0 มิลลิกรัม

4.4.7 ผลการทดสอบ Total Base Number (TBN)

Total Base Number (TBN) คือ ค่าปริมาณของอัลคาไลน์ (alkaline) ในน้ำมันเครื่องกรดในเครื่องยนต์ เป็นสิ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ โดยเกิดขึ้นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเครื่องยนต์ เพราะเชื้อเพลิงมีกำมะถันเป็นส่วนประกอบ เมื่อรวมตัวกับไอน้ำในเครื่องยนต์ จะกลายเป็นกรดกำมะถัน ซึ่งสามารถกัดกร่อนชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ ดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 การวัดค่าความเป็นเบส (Total Base Number- TBN) ในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

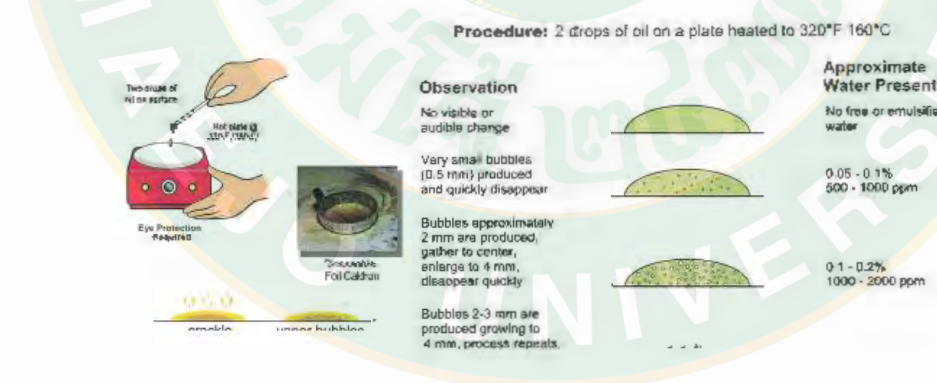
น้ำมัน	Total Base Number - TBN
น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศ (ที่ใช้แล้ว)	2.21

ผลการทดสอบคุณสมบัติเกี่ยวกับค่าความเป็นด่าง แสดงดังตารางที่ จะเห็นได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือเทศมีค่า ความเป็นด่างอยู่ที่ 4.50 mgKOH/g ส่วนค่าความเป็นด่างของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานอยู่ที่ 2.21 mgKOH/g

ตัวอัลคาไลน์ (สภาพเป็นด่าง) ในน้ำมันเครื่องจะทำหน้าที่ป้องกันการกัดกร่อนของกรด โดยสะเทินกรด(ทำให้กลายเป็นกลาง) แต่ทุกครั้งที่มีการสะเทินกรดจะทำให้ ค่า TBN ลดต่ำลง เมื่อมีค่าต่ำลงมากก็หมายถึงการหมดอายุของน้ำมันเครื่อง เพราะไม่สามารถสะเทินกรดได้ ดังนั้นค่า TBN ที่สูงกว่า ก็หมายถึงความสามารถในการสะเทินกรดที่ดีกว่า และยืดอายุการใช้งานน้ำมันเครื่องได้นานกว่า ตัวเลข TBN เป็นสิ่งหนึ่งที่คนใช้รถควรรู้และตรวจสอบก่อนซื้อน้ำมันเครื่องมาใช้

4.4.8 ผลการทดสอบ Water Content

การทดสอบหาปริมาณความชื้นในน้ำมันหล่อลื่น โดยการทำ Crackle Test เพื่อสังเกตปริมาณน้ำอิสระหรือน้ำที่ผสมในน้ำมันหล่อลื่นว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด ดำเนินการทดสอบ โดยหยดตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นประมาณ 2 หยด ลงบนภาชนะร้อนอุณหภูมิประมาณ 160 °C แล้วสังเกตการเกิดฟองอากาศ และเสียงที่เกิดขึ้นจากการทดสอบ ผลการทดสอบแสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ผลการทดสอบปริมาณน้ำโดยวิธี Crackle Test

ที่มา: น.ท.หญิง ธัชพร รุประสูต.การทดสอบและตรวจสอบ น้ำมันหล่อลื่นใช้การภาคสนาม, 2550

การเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องของอุณหภูมิน้ำมันเป็นสาเหตุให้เกิดการควบแน่น อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำมันมีผลอย่างมากในการทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันโดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ทองแดง (Cu) หรือ เหล็ก (Fe) ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดอย่างต่อเนื่องยาวนานขึ้นกว่าเดิม ระดับค่า

ความเป็นกรดของน้ำมัน (TAN) เพิ่มขึ้น เมื่อระดับค่าความเป็นกรดถึงปริมาณ 2,000 mg KOH/g อาจต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์เครื่องจักร

เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนในเครื่องจักรที่ทันสมัยมักมีน้อยมาก ทำให้ชิ้นส่วน ที่เคลื่อนไหวยึดกัน สร้างแรงดันและสูญญากาศขึ้นมากภายในสูญญากาศ ความชื้นจะขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างมาก (สูงสุด 1/5000 ด้วยอุณหภูมิ 70 °C) และจะก่อให้เกิดการระเบิดบนบริเวณพื้นผิวของชิ้นส่วนเครื่องจักร (จิตโสภิน, 2550)

ซึ่งจากผลการทดสอบปริมาณความชื้นในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว พบว่า น้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือเทศไม่มีปริมาณความชื้นที่ปนในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ในทางกลับกันสิ่งนี้จะสร้างอนุภาคสึกหรอใหม่ และส่งผลให้บริเวณพื้นผิว สูญเสียการเคลือบของน้ำมันหล่อลื่น น้ำจะทำลายพื้นผิวโลหะ (กัดกร่อน) และจะค่อยๆเจาะรูพรุนขนาดเล็กเป็นสาเหตุ ให้เครื่องจักรสึกหรอและอ่อนล้า ความชื้นที่กักเก็บไว้ใน อาจก่อสนิมภายในที่ถึงน้ำมัน การสันตะเทียน ระหว่าง การทำงานของระบบจะไปเกาะให้อนุภาคสนิมตกลงไปในน้ำมัน และถูกดูดขึ้นโดยปั๊มและส่งกระจายไปทั่วทั้งระบบ

4.5 ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของกระบวนการ

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของกระบวนการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากน้ำมันมะเขือเทศ จะทำการวิเคราะห์จากต้นทุนในการผลิตตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการ จะนำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติผ่านมาตรฐาน คือ ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นชีวภาพที่สังเคราะห์มาวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตและนำราคาค่าต้นทุนในการผลิตของผลิตภัณฑ์ มาเปรียบเทียบกับราคาน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานปิโตรเลียม Base Oil: 150-SN ที่ยังไม่มี การเพิ่มสารคุณภาพ

4.5.1. การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตทางด้านไฟฟ้า

ในการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นชีวภาพด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน 1 ครั้ง มีต้นทุนในการผลิตตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.5.1.1 เครื่องให้ความร้อนและแท่งกวนแม่เหล็ก (Hotplate and Stirrer) ที่มีฮีตเตอร์ กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 1,000W และมอเตอร์ในการกวนกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 15 W

4.5.1.2 ชุดควบแน่นสารระเหยที่มีปั๊มน้ำเย็นที่ต่อกับชุดคอนเดนเซอร์ในการควบแน่นสารระเหย กำลังไฟฟ้าเท่ากับ 78 W

สูตรในการคำนวณค่าไฟฟ้า

$$\frac{\text{กำลังไฟฟ้า (watt)} * \text{จำนวนชั่วโมง}}{1000}$$

สมการ 3

4.5.1.3 จัดเตรียมน้ำมัน 300 g ลงในบีกเกอร์ จากนั้นเปิดสวิทช์ฮีตเตอร์ให้ความร้อน 110 °C เป็นเวลา

$$\text{ฮีตเตอร์} = \frac{1,000W \times 0.33hr}{1,000} = 0.33 \text{ kWhr}$$

4.5.1.4 นำน้ำมันที่เป็นสารตั้งต้นมาผสมกับตัวทำปฏิกิริยาและตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อทำปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 130 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้ฮีตเตอร์และแท่งกวนแม่เหล็กที่ต่อกับชุดควบคุมแรงดันสารระเหย

$$\text{ฮีตเตอร์} = \frac{1,000W \times 3hr}{1,000} = 3 \text{ kWhr}$$

$$\text{มอเตอร์การกวน} = \frac{15W \times 3hr}{1,000} = 0.05 \text{ kWhr}$$

$$\text{ปั๊ม} = \frac{78W \times 3hr}{1,000} = 0.23 \text{ kWhr}$$

$$\text{ฮีตเตอร์} + \text{มอเตอร์} + \text{ปั๊ม} = 3.28 \text{ kWhr}$$

4.5.1.4 นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำปฏิกิริยามาแยกชั้นและล้าง จากนั้นไล่ความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ได้ที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 30 นาที

$$\text{ฮีตเตอร์} = \frac{1,000W \times 0.5hr}{1000} = 0.5 \text{ kWhr}$$

จะได้กำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ทุกชนิดเท่ากับ 4.11 kWhr

เมื่อกำหนดราคาค่าไฟฟ้าเท่ากับ 4 Baht/kWhr (กระทรวงพลังงาน, 2558)

ดังนั้น รวมต้นทุนในการผลิตทางด้านไฟฟ้าเท่ากับ 16.44 Baht ต่อการสังเคราะห์ 1 ครั้ง

4.5.2. การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตทางด้านวัตถุดิบ

4.5.2.1 น้ำมันมะเขือเทศ 1 l เท่ากับ 956 g ราคา 20 Baht โดยในการสังเคราะห์ 1 ครั้ง จะใช้น้ำมันมะเขือเทศ 300 g คิดเป็นราคาเท่ากับ 6.28 Baht

4.5.2.2 สารตัวเติมเอทาลีนไกลคอล 1,000 g ราคา 153 Baht

4.5.2.3 น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน Base Oil: 150-SN 1,000 l ราคา 1,590 Baht

เพราะฉะนั้น ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ 0.9% เท่ากับ สามารถคำนวณได้ดังนี้

4.5.2.3 โซเดียมเมทอกไซด์ คือ เมทานอล 25 ml (19.80 g) + โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.5 g

4.5.2.4 เมทานอล 2.5 l (1,980 g) ราคา 700 Baht ในการผสม 1 ครั้งใช้ 25 ml (19.80 g) คิดเป็นราคา 7 Baht และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 kg ราคา 195 Baht ในการผสม 1 ครั้งใช้ 1.5 g คิดเป็นราคา 0.29 Baht

4.5.2.6 รวมราคาสารเคมีทั้ง 2 ชนิด ในการผสม 1 ครั้ง จะได้โซเดียมเมทอกไซด์ 21.3 g คิดเป็นราคา 7.29 Baht
ดังนั้น ในการทำปฏิกิริยาจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโซเดียมเมทอกไซด์ 0.9% คือ 2.7 g คิดเป็นราคา 0.92 Baht

4.5.3. การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตทั้งหมด

จากการคำนวณต้นทุนในการผลิตทางด้านไฟฟ้าและทางด้านวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์หล่อลื่นสังเคราะห์ที่ผ่านมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 28 และ 29

ตารางที่ 28 ต้นทุนในการสังเคราะห์ผลิตภัณฑ์หล่อลื่นที่สังเคราะห์ได้ต่อครั้งที่สังเคราะห์

ผลิตภัณฑ์	ไฟฟ้า (Baht)	น้ำมันที่ใช้ (Baht)	สารเคมี (Baht)	รวม (Baht)
น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเขือ	16.44	6.28	21.3	44.02
น้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือ	16.44	6.28	90.13	112.85

ตารางที่ 29 การวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตต่อลิตร

ผลิตภัณฑ์	ผลผลิตเฉลี่ยต่อครั้งที่สังเคราะห์ (g)	ต้นทุนต่อครั้งที่สังเคราะห์ (Baht)	ผลผลิตเฉลี่ย (l)	ต้นทุนต่อลิตร (Baht)
น้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเขือ	284.20	44.02	946.67	138.91
น้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือ	290.55	85.17	968.50	281.41

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขยหิน โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้ ประกอบด้วย ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา ชนิดของปฏิกิริยา อัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมระหว่างน้ำมันต่อเมทานอล และทำการศึกษาการปรับปรุงผลิตภัณฑ์โดยการเติมสารเติมแต่ง เพื่อพิจารณาความเหมาะสมต่อการใช้งาน ซึ่งสรุปผลดังต่อไปนี้

5.1 ผลของอัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอล

จากการสังเคราะห์น้ำมันมะเขยหินด้วยกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่อัตราส่วน 1:5 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ 0.9% เทียบโดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงสุดที่ร้อยละ 82.36 รองลงมาที่อัตราส่วน 1:7 1:9 และ 1:3 ให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ 80.21 79.91 และ 78.91 % ตามลำดับ

5.2 ผลชนิดและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา

ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีผลต่อการผลิตเมทิลเอสเทอร์ที่ 0.9% เทียบโดยน้ำหนักให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์สูงสุด โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อปริมาณตัวเร่งมากเกินไปเกินค่าความเหมาะสมจะทำให้ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ลดลง ทั้งนี้เพราะปริมาณตัวเร่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำมันจะทำให้เกิดฟองสบู่ ส่งผลให้ผลผลิตเมทิลเอสเทอร์ลดลง

5.3 ผลการทดสอบน้ำมันไบโอดีเซล

ไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเขยหินที่ได้จากการสังเคราะห์ที่อัตราส่วนโดยโมลระหว่างน้ำมันต่อเมทานอลที่ 1:5 มีค่าความหนืดที่ 5.04(°C) จุดวาบไฟที่ 193(°C) จุดติดไฟที่ 213 (°C) ค่าความร้อนที่ 35.7 และความหนาแน่นที่ 895 (kg/m³) ตามลำดับ

5.4 ผลการปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขยหินด้วยกระบวนการเคมี

จากการนำน้ำมันไบโอดีเซลจากมะเขยหินด้วยกระบวนการทางเคมีประกอบด้วยกระบวนการอีพอกซิเดชัน และเปิดวง epoxidized oil ด้วย acid catalyst เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เป็นน้ำมันหล่อลื่น จากการวิเคราะห์หาปริมาณอีพอกไซด์ของน้ำมันมะเขยหินที่ผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคสเปกโตรสโกปีด้วยเครื่องนิวเคลียร์แมกนีเรโซแนนซ์สเปกตรอสโกปี (¹H-NMR) ที่ตำแหน่งฟิค 5.3-5.6 ppm ซึ่งบ่งบอกถึงพันธะคู่ (C=C) ซึ่งพบว่ามีปริมาณอีพอกไซด์ที่มีค่ามากกว่า 10% อัตราส่วนโดยโมลของพันธะคู่ต่อกรดแอซิดิกต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 1:0.25:0.79

5.5 ผลการทดสอบการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากน้ำมันมะเขือในเครื่องยนต์ทางการเกษตร

การทดสอบการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง เมื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นกับเครื่องยนต์ทางการเกษตรทดสอบ โดยใช้เครื่องยนต์ทางการเกษตร ยี่ห้อศรียนต์ รุ่น ET 110 โดยให้วิ่งบนลูกลิ่งเป็นระยะเวลา 100 ชั่วโมงที่ความเร็วรอบ 1,500 rpm พบว่า น้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือมีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่ใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นจากท้องตลาด มีคุณสมบัติช่วยประหยัดพลังงาน เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีสภาพทนทานต่อการเสียดสี ทนทานต่ออุณหภูมิสูง

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีของน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือ พบว่าการเติมชุดสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือ มีความสามารถในการต้านทานการสึกกร่อน การต้านทานต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีขึ้น ส่งผลให้ค่าความหนืด ดัชนีความหนืด จุดวาบไฟ มีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่ขายตามท้องตลาด

5.6 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาผลของปัจจัยอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้โดยใช้การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Computer simulation)
2. ศึกษาในระดับ Pilot scale รวมถึงในส่วนของคุณสมบัติทางเศรษฐศาสตร์ของน้ำมันที่สังเคราะห์ได้

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน.สถานการณ์พลังงานปี 2556 และแนวโน้มปี 2557. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา

http://webkc.dede.go.th/testmax/sites/default/files/kb00_a125_Thank%20Press%209.01.2014.pdf
(7 สิงหาคม 2557)

การกลั่นน้ำมันหล่อลื่น [ออนไลน์]. แหล่งที่มา <http://www.vcharkarn.com/blog/37277/7507> (วันที่ 15 กันยายน 2559)

การวัดปริมาณอนุภาคที่มีขนาดต่างๆ ในเนื่อน้ำมันโดยใช้มาตรฐานการวัด NAS 1638 [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก[ออนไลน์]. แหล่งที่มา. <http://www.focuslab.co.th/en/home.php> (20 ธันวาคม 2559)

กิตติกร สาธุจิตต์ นิกราน หอมดวง และณัฐวุฒิ คุยฎี. 2554. การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันมะเขือเทศด้วยคลีนอัลตราโซนิกร่วมกับไมโครเวฟ และผลกระทบต่อการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการเครื่องข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25. 19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่.

โครงสร้างของไตรกลีเซอไรด์. 2557. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา
<http://www.vcharkarn.com/lesson/view.php?id=1044> (วันที่ 7 สิงหาคม 2557)

จิตโสภิน นิยมสกุล. 2550. การสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นคุณภาพสูงจากกระบวนการทรานเอสเทอร์ฟิเคชันของสารประกอบเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันปาล์มโดยใช้ไตรเมทิลอลโฟรเพน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 73 หน้า.

ณัฐวุฒิ กิตติกร สาธุจิตต์ นิกราน หอมดวง และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. 2554. สักยภาพในการปลุกมะเขือเทศเพื่อควบคุมอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมแบบครบวงจรและการผลิตไบโอดีเซลด้วยเทคนิคไมโครเวฟ/อัลตราโซนิก. รายงานฉบับสมบูรณ์, สำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

น.ท.หญิง ชัยพร รูปะสุด. 2550. การทดสอบและตรวจสอบ น้ำมันหล่อลื่นใช้การภาคสนาม. แผนกเชื้อเพลิงและหล่อลื่น กองวิเคราะห์และทดสอบ กรมวิทยาศาสตร์ทหารเรือ. วารสารทหารเรือ. ปีที่ 7(4): 21-26.

นพปราชค์ พลคิด. 2554. การเตรียมน้ำมันหล่อลื่นชนิดพอลิออลเอสเทอร์จาก

ปฏิกิริยาการเปิดวง. 2557. แหล่งที่มา oxirane <http://yourmomislike.wordpress.com/2012/12/06/your-mom-is-like-an-epoxide/> (7 สิงหาคม 2557)

ประเสริฐ เทียนนิมิต และปานเพชร ชินินทร. 2548. **เชื้อเพลิงและสารหล่อลื่น**. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. หน้า 228-330.

เปรียบเทียบคุณสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน. 2559. แหล่งที่มา Evolution of Base Oil Technology, Chevron Texaco Products Company (วันที่ 15 กันยายน 2559)

พิชัย โตวิชัย. (2538). **สารเคมีในน้ำมันเครื่อง**. วารสารวิทยาศาสตร์. 41(9): 495-499.

พิมพ์ชนก ไส้ไทย, สุพันธ์ จรเจนเกียรติ, วัชนิดา ชินผา และวราภรณ์ ดันรัต. 2550. **การสังเคราะห์น้ำมันถั่วเหลือง**. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. ฉบับพิเศษ ปีที่ 30 ฉบับที่ 4 ตุลาคม-ธันวาคม 2550.

วงรอบการทำงานของเครื่องยนต์สี่จังหวะ. 2559. แหล่งที่มา

http://www.9engineer.com/index.php?a=print&article_id=407&m=article (วันที่ 15 กันยายน 2559)

วิชัย ออมทรัพย์สิน วัชร ศรีรักษา เพ็ญศิริ จำรัสฉาย วราวุธ ชูธรรมรัช และชาย โฆรวิส (ม.ป.ป.). **การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ**. ศูนย์วิจัยปาล์มสุราษฎร์ธานี. สำนักวิจัยและพัฒนากเกษตร เขตที่ 7.108- 120. แหล่งที่มา.

<http://www.doa.go.th/palm/pdf/performance1/research/crude%20palm%20oil.pdf>

วีราภรณ์ ผิวสะอาด วราวุธ ศาตะสาร สุริยา ศรีระอุดม สมหมาย ผิวสะอาด และสิงโต สกุลเขมฤทัย. 2554. **การสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตจากไขมันวัวด้วยกระบวนการทรานเอสเทอร์ริฟิเคชัน**. 3-5 พฤษภาคม 2554, โรงแรม Phuket Orchid Resort and Spa หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต. หน้า 1083-1088.

สุรพล ราษฎร์

Blandine Cailliez. Vegetal oil in machinery and engines, cleaner oil. 2546. แปลโดยกองบรรณาธิการ.
น้ำมันหล่อลื่นจากพืชพลังงานสะอาด สำหรับเครื่องจักรและเครื่องยนต์. กรุงเทพมหานคร:
สำนักงานข่าวเทคโนโลยีฝรั่งเศส.

Changhwan W., K. Sanghoon, Hawkes E.R., Rogers P.L. and Marquis C. .2016 . Dependency of
engine combustion on blending ratio variations of lipase-catalysed coconut oil biodiesel and
petroleum diesel. **fuel**. 169 (1),146–157.

Costa H.L., Hutchings I.M. .2007. Hydrodynamic lubrication of textured steel surfaces under
reciprocating sliding conditions. **Tribology International**. 4 (8), 1227–1238.

Dong, J., & Migdal, C. 2009. **Antioxidant**. In L. Rudnick, **Lubricant Additives Chemistry and
Application** (pp. 4-33). US: CRC Press.

Irvin Glassman. 1977. **Combustion**. 3rd ed. New York: Academic Press,

Isigigur, A., F. Karaosmanoglu and H.A. Aksoy. 1994. Methyl ester from safflower seed oil of Turkish
origin as a biofuel for diesel engines. **Appl. Biochem. Biotechnol**. 45-46: 103-112.

Kajdas C. 2001. Key tribochemical aspects of the boundary lubrication. **Tribology Series**. 39. 233–252.

Knothe, G. 2005. Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl ester. **Fuel
processing Technology**. 86 .1059-1070.

Ma, F. and M.A. Hanna. 1999. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technol*. 70(1),1-15.

Madamkar C.S., Dalai A.K., Naik S.N. 2013 . Green synthesis of biolubricant base stock from
canola oil. **Industrial Crops and Products**. 44, 139-144.

Mottier.R.M. and Orszulok. S.T. 1997. chemistry and technology of lubricants. 2nd ed. London: Blackie
academic and professional.

Nagendramma P., Kaul S. 2012. Development of ecofriendly/biodegradable lubricants: An overview.
Renewable and Sustainable Energy Reviews. **Tribology International**. 16, 764-774.

Rajendiran A., Sumathi A. , Krishnasamy K. , Kabilan S. and Ganguli D. 2016. Antiwear study on
petroleum base oils with esters. **Tribology International**. 99,47–56.

- Shu, Q., Gao, J.X., Nawaz, Z., Liao, Y.H., Wang, D.Z., Wang, J.F., 2010. Synthesis of biodiesel from waste vegetable oil with large amounts of free fatty acids using a carbon-based solid acid catalyst. **Appl. Energy** 87, 2589–2596.
- Srivastava, A. and R. Prasad. 2000. Triglycerides based diesel fuels. *Renewable and sustainable energy Reviews. Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 4, 111- 133.
- Tyson, K.S., Bozell, J., Wallace, R., Petersen, E. & Moens, L. 2004. **Biomass Oil Analysis: Research Needs and Recommendations.** NREL/TP-510-34796, National Renewable Energy Laboratory, 1617 Cole Boulevard, Golden, Colorado 80401-3393, US.
- Wang E., Ma X., Tang S., Yan R., Wang Y., Riley W.W., Reaney M.J.T. 2014. Synthesis and oxidation stability of trimethylolpropane fatty acid triester as a biolubricant base oil from waste cooking oil. **Biomass and Bioenergy**, 66, 371-378.
- William Reusch, epoxidation reaction, **Virtual Textbook of Organic Chemistry**, Professor Emeritus Michigan State University.
- Xuedong W, Xingang Z, Shengrong Y, Haigang C, and Dapu W. 2000. **The Study of Epoxidized Rapeseed Oil Used as a Potential Biodegradable Lubricant.** School of Chemistry and Chemical Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai.
- Yunus R, Fakhru-Razi A, Ooi TL, Iyuke SE, Idris A. Development of optimum synthesis method for transesterification of palm oil methyl esters and trimethylolpropane to environmentally acceptable palm oil-based lubricant. **J Oil Palm Res.** 15,35–41
- Yunus. R. A Fakhru l-razi T.L. ooi , S.E. Iyuke and A Iidris. 2003 development of optimum synthesis method for transesterification of plam oil methy esters and trimrthylolpropane to environmentally acceptable palm oil-basesd lubricant. **J. of oil plam research.** 15(2), 35-41.



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทดลอง การสังเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันมะเขือหิน



ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลอง การศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติน้ำมันมะเขือเทศด้วยกระบวนการทางเคมี



ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลอง การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของ
น้ำมันหล่อลื่นจากมะเขือหิน



ภาคผนวก ง

ข้อมูลการทดลอง การทดสอบการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นชีวภาพจากมะเขือหิน
ในเครื่องยนต์ทางการเกษตร