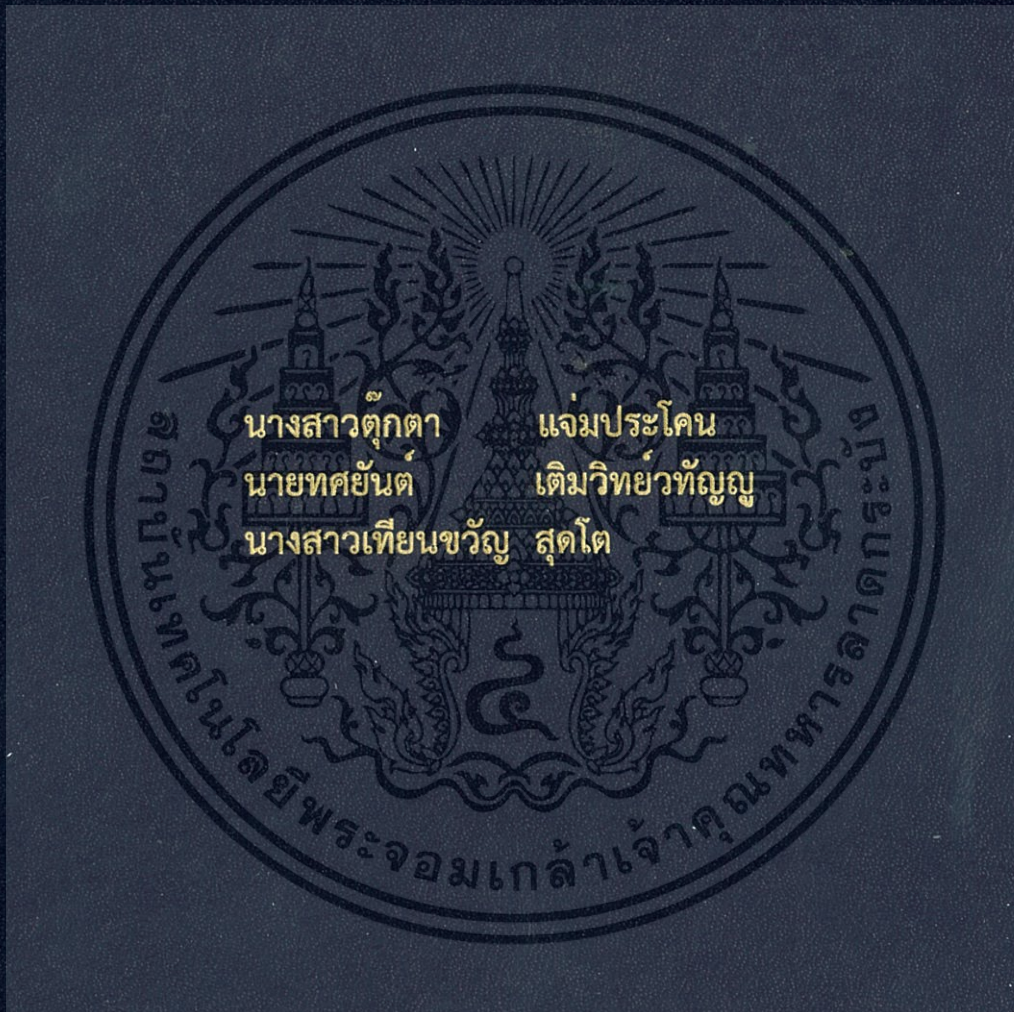


การบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วโดยการสกัดและการดูดซับ

WASTE LUBRICATING OIL TREATMENT BY EXTRACTION  
AND ADSORPTION



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

การบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วโดยการสกัดและการดูดซับ

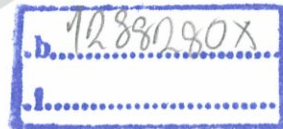
WASTE LUBRICATING OIL TREATMENT BY EXTRACTION  
AND ADSORPTION



T149310

นางสาวตุ๊กตา แจ่มประโคน  
นายทศยันต์ เต็มวิทย์วาทัญญู  
นางสาวเทียนขวัญ สุดโต

เลขที่ 149310  
เลขทะเบียน  
วัน เดือน ปี 12 ก.พ. 2561



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# WASTE LUBRICATING OIL TREATMENT BY EXTRACTION AND ADSORPTION



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ      การบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วโดยการสกัดและการดูดซับ  
 Waste Lubricating Oil Treatment by Extraction and Adsorption

ชื่อนักศึกษา      นางสาวตุ๊กตา แจ่มประโคน      รหัสนักศึกษา      55050667  
                          นายทศยนต์ เต็มวิทย์ทัญญู      รหัสนักศึกษา      55050669  
                          นางสาวเทียนขวัญ สุตโต      รหัสนักศึกษา      55050673

ปริญญา      วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
 ภาควิชา      เคมี  
 ปีการศึกษา      2558  
 อาจารย์ที่ปรึกษา      ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี  
 อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.การุณย์ สาดออน ประธานกรรมการ	
ดร.ณัฐธิดา นุ่มวงศ์ กรรมการ	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วโดยการสกัดและการดูดซับ Waste Lubricating Oil Treatment by Extraction and Adsorption
ชื่อนักศึกษา	นางสาวตุ๊กตา แจ่มประโคน รหัสนักศึกษา 55050667
	นายทศยนต์ เต็มวิทย์วาทัญญู รหัสนักศึกษา 55050669
	นางสาวเทียนขวัญ สุดโต รหัสนักศึกษา 55050673
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อทำการบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วโดยกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายและการดูดซับ ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ ชนิดของตัวทำละลาย (เอทิลอะซิเตท เอทิลโพรพานอเอท เอทิลบิวทิเรท และเททระไฮโดรฟูเรน) อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อตัวทำละลาย (1:1 ถึง 1:5) ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (0-3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และชนิดของตัวดูดซับ (ถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา) น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการบำบัดแล้วจะนำไปวิเคราะห์สี ค่าความร้อน ความหนืด ความหนาแน่น และหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบในน้ำมันหล่อลื่น

จากผลการวิจัยพบว่า น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่สกัดด้วยเอทิลโพรพานอเอท และเอทิลอะซิเตทเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการสกัดตะกอนออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ปริมาณตะกอนถูกกำจัดออกไปได้มากที่สุด เมื่อสกัดด้วยเอทิลโพรพานอเอท ที่อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อตัวทำละลาย 1:2 และเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เมื่อนำน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลายมาทำการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา จะมีสีใกล้เคียงกัน และสีจางลงกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการบำบัด นอกจากนี้ค่าความร้อน ความหนาแน่น ความหนืด หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบ ใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่ผ่านการใช้งาน

**คำสำคัญ :** การดูดซับ การบำบัด การสกัด น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

<b>Title</b>	Waste Lubricating Oil Treatment by Extraction and Adsorption		
<b>Students Name</b>	Miss Tukta Jamprakhon	Student ID	55050667
	Mr. Thosayun Termwitwatuny	Student ID	55050669
	Miss Theankwun Sutto	Student ID	55050673
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
<b>Department</b>	Chemistry, Faculty of Science		
<b>Faculty</b>	Science		
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
<b>Academic Year</b>	2015		
<b>Advisor</b>	Dr. Amnart Permsubscul		

### Abstract

The aim of this work was the treatment of used lubricating oil by solvent extraction and adsorption. In this study, several types of variable including types of solvent (ethyl acetate, ethyl propanoate, ethyl butyrate and tetrahydrofuran), ratio of used lubricating oil to solvent (1:1 to 1:5), the amount of potassium hydroxide (0-3 %wt) and type of adsorbents (activated carbon, silica and alumina). Color, heating value, viscosity and density of the treated lubricating oil were analyzed. In addition, characterization of functional group of compounds consisted in lubricating oil was also done.

The results showed that ethyl propanoate and ethyl acetate was found to be effective solvents for extraction of solid sludge from used lubricating oil. The maximum sludge removal was enhanced when using ethyl propanoate with oil to solvent ratio of 1:2 and adding 2 wt.% of potassium hydroxide. The extracted lubricating oil was decolorized by using activated carbon, silica and alumina. It can be observed that the color of treated lubricating oil was lighter than used lubricating oil. Moreover, heating value, density, viscosity and functional group were similar to those of new lubricating oil.

**Keywords :** adsorption , extraction , treatment , waste lubricating oil

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีได้ ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ให้คำชี้แนะและความรู้ ตลอดจนช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ตลอดการทำงาน

ขอขอบพระคุณ ดร.การุณย์ สาดอ่อน และ ดร.ณัฐธิดา นุ่มวงศ์ กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนขอชี้แนะ และตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ในโครงการพิเศษฉบับนี้ให้เป็นไปอย่างถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณปราณี บุญวัฒน์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความสะดวกต่อการทำงานอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงการขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูป.....	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน.....	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ</b> .....	<b>4</b>
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย</b> .....	<b>27</b>
3.1 สารเคมี.....	27
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	27
3.3 วิธีการทดลอง.....	27
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล</b> .....	<b>36</b>
4.1 ผลของอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย.....	36
4.2 ผลของชนิดตัวทำละลาย.....	40
4.3 ผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์.....	42
4.4 ผลของชนิดตัวดูดซับ.....	44
4.5 ผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพพื้นฐานที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่น.....	47
4.5.1 ผลของการวิเคราะห์ค่าความร้อน.....	47
4.5.2 ผลของการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น.....	48
4.5.3 ผลของการหาค่าความหนืด.....	50
4.5.4 ผลของการพิสูจน์เอกลักษณ์ของน้ำมันหล่อลื่นด้วยเทคนิค FT-IR.....	51
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b> .....	<b>56</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	56

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความหนืดน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรม ISO 3448.....	20
3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย.....	28
3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบหาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม .....	29
3.3 สภาวะที่ใช้ในการทดสอบหาชนิดตัวดูดซับที่เหมาะสม .....	30
4.1 ผลของอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อตัวทำละลายชนิดต่างๆที่มีต่อปริมาณตะกอนที่แยกได้จากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว.....	36
4.2 สูตรโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมีของตัวทำละลาย.....	41
4.3 ผลของปริมาณ KOH ที่มีต่อปริมาณตะกอนที่แยกได้จากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท และเอทิลโพรพาโนเอท .....	42
4.4 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว .....	44
4.5 การเปรียบเทียบสีของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายและน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลายและการดูดซับแล้ว .....	46
4.6 ค่าความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการทดลอง.....	47
4.7 ค่าความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการทดลอง .....	49
4.8 ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการทดลอง .....	50
4.9 แสดงผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบในน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดและการดูดซับ.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

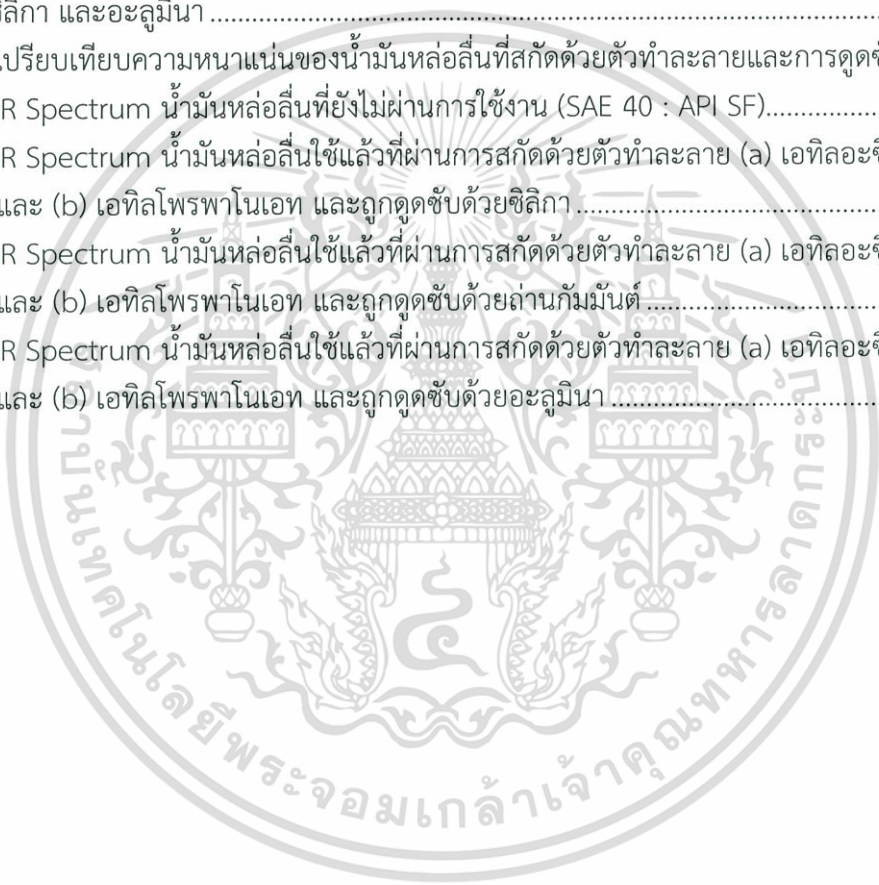
## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผนภาพแสดงการกลั่นน้ำมันที่ความดันปกติ.....	5
2.2 แผนภาพแสดงการกลั่นน้ำมันที่ความดันสุญญากาศ.....	6
2.3 หลักการของความหนืด.....	11
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นบางชนิด.....	12
2.5 ผลของความดันต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น SAE 40.....	13
2.6 การหาค่าดัชนีความหนืด.....	14
3.1 เครื่อง Adiabatic Bomb Calorimeter รุ่น C-5000.....	31
3.2 เครื่องมือ Ostwald Viscometer.....	31
3.3 แสดงการจัดเครื่องมือในการทดลองวัดค่าความหนืดโดยใช้ Ostwald Viscometer.....	32
3.4 เครื่องมือ GAY LUSSAC Pycnometer.....	33
3.5 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer รุ่น SPECTRUM GX.....	33
3.6 เครื่อง UV- Visible Spectrophotometer รุ่น Evolution 201.....	35
4.1 ปริมาณตะกอนกักบ่อตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำลาย เอทิลอะซิเตท.....	37
4.2 ปริมาณตะกอนกักบ่อตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำลาย..... เอทิลโพรพาโนเอท.....	38
4.3 ปริมาณตะกอนกักบ่อตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำลาย เอทิลบิวทิเรท.....	39
4.4 ปริมาณตะกอนกักบ่อตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำลาย เททระไฮโดรฟูเรน.....	39
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนกักบ่อตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ต่อตัวทำลาย.....	39
4.6 เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งที่ได้จากการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวทำลาย 4 ชนิด จากงานวิจัยของ V.Katihar และคณะ.....	42
4.7 ผลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อปริมาณตะกอนที่แยกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เมื่อใช้ตัวทำลายเอทิลอะซิเตท และตัวทำลายเอทิลโพรพาโนเอท.....	43
4.8 สีของ (a) น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำลาย (b) น้ำมันหล่อลื่น ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (SAE 40 : API SF).....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท และตัวดูดซับ ถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา ..... 45
4.10	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท และตัวดูดซับ ถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา ..... 45
4.11	เปรียบเทียบค่าความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย เอทิลอะซิเตท และตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท และถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา ..... 48
4.12	เปรียบเทียบความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลายและการดูดซับ..... 50
4.13	IR Spectrum น้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (SAE 40 : API SF)..... 51
4.14	IR Spectrum น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย (a) เอทิลอะซิเตท และ (b) เอทิลโพรพาโนเอท และถูกดูดซับด้วยซิลิกา ..... 52
4.15	IR Spectrum น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย (a) เอทิลอะซิเตท และ (b) เอทิลโพรพาโนเอท และถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ..... 53
4.16	IR Spectrum น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย (a) เอทิลอะซิเตท และ (b) เอทิลโพรพาโนเอท และถูกดูดซับด้วยอะลูมินา ..... 54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
$\eta$	ความหนืดเชิงจลศาสตร์
$\eta_l$	ความหนืดเชิงพลศาสตร์
$\eta_o$	ความหนืดเชิงพลศาสตร์ที่ความดันบรรยากาศ
$\eta_{sample}$	ความหนืดเชิงพลศาสตร์ของสารตัวอย่าง
$\eta_{D.W}$	ความหนืดเชิงพลศาสตร์ของสารอ้างอิง
$d_{sample}$	ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง
$t_{sample}$	เวลาที่สารตัวอย่างไหลจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง
$t_{D.W}$	เวลาที่สารอ้างอิงไหลจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง
$\rho_{D.W}$	ความหนาแน่นของสารอ้างอิง
$\rho$	ความหนาแน่น
$P$	ความดันของน้ำมันหล่อลื่น
A และ B	ค่าคงที่ (ขึ้นอยู่กับชนิดของของเหลว)
T	อุณหภูมิสัมบูรณ์
$\alpha$	สัมประสิทธิ์ของความดันกับความหนืด
e	ค่าคงที่ที่มีค่าประมาณ 2.71828
V.I.	ดัชนีความหนืด (viscosity index)
SAE	Society of Automotive Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
API	American Petroleum Institute หรือมาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา
S	Service oils หรือน้ำมันหล่อลื่นสำหรับสภาพการทำงานของเครื่องยนต์ตามศูนย์บริการทั่วไปซึ่งส่วนใหญ่เป็นเครื่องยนต์เบนซิน
C	Commercial oils หรือน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเชิงพาณิชย์ เช่น งานก่อสร้างและงานเกษตรกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

น้ำมันหล่อลื่นจัดเป็นสารที่มีการใช้งานมากในปัจจุบัน จึงทำให้ปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเพิ่มสูงขึ้นอยู่ตลอดเวลา โดยมีปริมาณมากกว่า 230 ล้านลิตรต่อปี น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเหล่านี้ได้มาจากน้ำมันเครื่องที่ใช้ในยานพาหนะ อุตสาหกรรมและกิจการอื่นๆ ซึ่งโดยปกติน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้จะประกอบไปด้วยน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และสารเพิ่มคุณภาพ หลังจากนั้นน้ำมันหล่อลื่นถูกใช้งานจะทำให้คุณสมบัติของสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำมันเปลี่ยนไปน้ำมันหล่อลื่นที่เสื่อมคุณภาพเหล่านี้ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอน สารเติมแต่ง โลหะหนัก ฯลฯ ซึ่งสารต่างๆ เหล่านี้เมื่อทำการทิ้งและกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีอาจส่งผลให้เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม สัตว์ พืช และมนุษย์ได้

การนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วมาสกัดด้วยตัวทำละลายจึงจัดเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อลดปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่เพิ่มมากขึ้นในทุกวัน ทั้งยังสามารถนำน้ำมันที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้

ในการบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วนั้นจะทำการสกัดเอาของแข็งแขวนลอยที่เกิดจากการกระบวนสันดาปของเครื่องยนต์สารเติมแต่ง และโลหะหนักขนาดเล็กจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่เราไม่ต้องการออกไปด้วยตัวทำละลาย ซึ่งความสามารถและประสิทธิภาพในการสกัดนั้นจะขึ้นอยู่กับความแรงที่เหมาะสมของสภาพขั้วในตัวทำละลายที่แตกต่างกันออกไปในสารแต่ละชนิดซึ่งส่งผลกับสภาพขั้วของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว การที่สามารถสกัดเอาของแข็งแขวนลอยต่างๆ ที่ไม่ต้องการออกจากน้ำมันหล่อลื่นได้นั้น อาศัยกระบวนการรวมตะกอน (Flocculation) คือ เมื่อเติมตัวทำละลายที่มีสภาพเป็นขั้วมากกว่าน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ส่งผลให้สภาพความเป็นขั้วของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วนั้นมากขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย ในขณะที่เดียวกันของแข็งแขวนลอยต่างๆ ที่ลอยกระจายในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นทั้งไอออนประจุบวก และประจุลบนั้นจะถูกลดเสถียรภาพลง และง่ายต่อการเกิดเกาะรวมกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเติมโพลีเอทิลีนออกไซด์ซึ่งเป็นสารช่วยการตกตะกอนให้เร็วขึ้น (Flocculate agent) ของแข็งแขวนลอยจะเกาะรวมกันใหญ่ขึ้น และตกตะกอนลงมาตามแรงโน้มถ่วงเมื่อตั้งทิ้งไว้

แต่อย่างไรก็ตามตัวทำละลายที่นำมาสกัดนั้นไม่ได้มีสภาพความเป็นขั้วที่เหมาะสมต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วทุกตัว โดยตัวทำละลายที่มีสภาพความเป็นขั้วมากเกินไป ยากที่จะละลายในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้ โอกาสการเกิดกระบวนการรวมตะกอนของของแข็งแขวนลอยจึงมีน้อยในทางตรงกันข้าม ตัวทำละลายที่มีสภาพความเป็นขั้วต่ำเกินไป ไม่สามารถเพิ่มสภาพความเป็นขั้วของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ของแข็งแขวนลอยจึงยังคงกระจายตัวในน้ำมันเนื่องจากความเสถียรไม่ได้ถูกลดลง และการตกตะกอนค่อนข้างต่ำ

ในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวทำละลายนั้นจะมีตะกอนของของแข็งแขวนลอยซึ่งมีทั้งในรูปไอออนประจุบวก และไอออนประจุลบ ตะกอนที่ได้นั้นอาจประกอบด้วย เขม่าที่เกิดจากการสันดาปของเครื่องยนต์ที่ไม่สมบูรณ์ สารเติมแต่งที่ประสิทธิภาพการลดลงตามระยะเวลาการใช้งาน เช่น ฟอสเฟส หรือ ซัลเฟตไอออน สารเติมแต่งกลุ่มพอลิเมอร์ และสารเติมแต่งประเภทกลุ่มคาร์บอนิล และโลหะหนักจากชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ที่อาจสึกหรอตกลงไปในน้ำมัน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากทำการแยกตะกอนที่ได้จากการสกัดออกไปแล้ว สามารถแยกตัวทำละลายบางส่วนที่ปนอยู่ในน้ำมันออกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ด้วยการกลั่นแบบธรรมดา หรือ การกลั่นแบบลดความดันโดยใช้เครื่องระเหยความดันต่ำ (rotary evaporator)

น้ำมันหล่อลื่นที่สกัดได้นั้นจะมีคุณสมบัติต่ำลง จึงไม่สามารถนำกลับไปเป็นน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์สำหรับรถยนต์ได้ แต่อาจนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ที่ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนักหรือสามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพเพื่อขายเป็นน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณภาพต่ำลงมาได้ จึงทำให้โครงการพิเศษนี้ถูกจัดทำขึ้น โดยได้นำน้ำมันหล่อลื่นที่มีการใช้งานกันมากดังที่ได้กล่าวมา มาบำบัดโดยวิธีการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายและปรับปรุงสีด้วยการดูดซับด้วยสารดูดซับชนิดต่างๆ ทั้งนี้ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ได้ผ่านการบำบัดแล้วเพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่บริสุทธิ์ ซึ่งจะช่วยให้ใช้น้ำมันหล่อลื่นให้ได้อย่างคุ้มค่าที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อทำการบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วให้นำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกโดยผ่านกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายและการดูดซับ
2. เพื่อศึกษาถึงผลของชนิดตัวทำละลายและตัวดูดซับ อัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่มีต่อวิธีการสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย เพื่อให้ได้มาซึ่งสภาวะที่ดีที่สุด
3. เพื่อศึกษาสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการบำบัดแล้ว

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดได้ และร้อยละของตะกอนรวมถึงหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่
  - ชนิดของตัวทำละลาย ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอทิลโพรพานอเอท เอทิลบิวทิเรท และเทระไฮโดรฟูเรน
  - อัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วกับตัวทำละลาย ช่วงที่ทำการศึกษาคือ 1:1 ถึง 1:5 โดยปริมาตร
  - ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ช่วงที่ทำการศึกษา คือ 0 1 2 และ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
  - ชนิดตัวดูดซับ (adsorbent) ได้แก่ activated carbon silica gel และ alumina
2. ทดสอบสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งสมบัติเหล่านั้น ได้แก่
  - ค่าความร้อน (Heating value)
  - ความหนืด (Kinematic test)
  - ความหนาแน่น (Density test)
  - การพิสูจน์เอกลักษณ์ของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดและการดูดซับด้วยเทคนิค FT-IR
  - การวัดค่าสี (Color Measurement) ด้วยเทคนิค UV- Visible spectrophotometry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	สัปดาห์ที่							
	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16
- ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	← →							
- ออกแบบการทดลองจัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี		↔						
- ทำการสกัดแยกน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆเพื่อหาอัตราส่วนที่ดีที่สุด			↔					
- ทำการสกัดแยกน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากตัวทำละลายในอัตราส่วนที่ดีที่สุด เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุด					↔			
- ทำการดูดซับด้วยตัวดูดซับกับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัด เพื่อหาชนิดของตัวดูดซับที่ให้สภาวะที่ดีที่สุด					↔			
- ทำการดูดซับด้วยตัวดูดซับกับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัด เพื่อหาปริมาณของตัวดูดซับที่ให้สภาวะที่ดีที่สุด					↔			
- ทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ให้สภาวะที่ดีที่สุด						↔		
- สรุป และรายงานผลการวิจัย							↔	↔

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวทำละลายและตัวดูดซับ
2. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้วซึ่งทำให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน
3. สามารถลดปริมาณมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

### 2.1 น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ [1]

เมื่อประมาณสี่สิบปีก่อน น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เกือบจะเป็นเพียงน้ำมันแร่ธรรมดาที่ไม่ได้มีการผสมสารเพิ่มคุณภาพ หรืออาจมีการผสมเพียงสารป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นเท่านั้น เครื่องยนต์ในสมัยนั้นต้องยกเครื่องใหม่เพื่อเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนที่สึกหรอเนื่องจากคราบเขม่าสะสมหลังจากการใช้งานประมาณ 45,000 กิโลเมตร ในขณะที่ผู้ใช้รถยนต์ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องทุกๆ 1,600 กิโลเมตรหรือน้อยกว่านั้น

ในปัจจุบันเครื่องยนต์ส่วนใหญ่จะมีอายุการใช้งานประมาณ 150,000 กิโลเมตรก่อนยกเครื่องเพื่อเปลี่ยนชิ้นส่วนที่สึกหรอ ในขณะที่ระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องยืดออกไปถึง 5,000 - 8,000 กิโลเมตร เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นเป็นผลจากการพัฒนาร่วมระหว่างผู้ผลิตเครื่องยนต์และผู้ผลิตน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันหล่อลื่นในปัจจุบันจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยผสมสารเพิ่มคุณภาพซึ่งได้จากสารสังเคราะห์หลายชนิดเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานในสภาพปัจจุบัน

น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์แก๊ซโซลีนในปัจจุบันต้องทำหน้าที่หล่อลื่นชิ้นส่วนเคลื่อนไหวทุกชิ้นเพื่อป้องกันการสึกหรอ ลดแรงเสียดทาน และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ น้ำมันหล่อลื่นยังต้องทำหน้าที่เป็นซีลเพื่อรักษากาลังอัดในกระบอกสูบและระบายความร้อนอีกด้วยหน้าที่หลักที่สำคัญอีกประการหนึ่งของน้ำมันเครื่อง คือ ต้องรักษาและป้องกันเครื่องยนต์จากของเสียที่ได้จากการเผาไหม้ เช่น เขม่าและกรดกำมะถัน น้ำมันเครื่องที่ดีจะต้องช่วยชะล้างและกระจายคราบเขม่าในเครื่องยนต์ และจะต้องมีคุณสมบัติเป็นด่างเพื่อทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันที่เกิดจากการเผาไหม้ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและสนิม โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญเพื่อที่จะทำหน้าที่ข้างต้นคือ

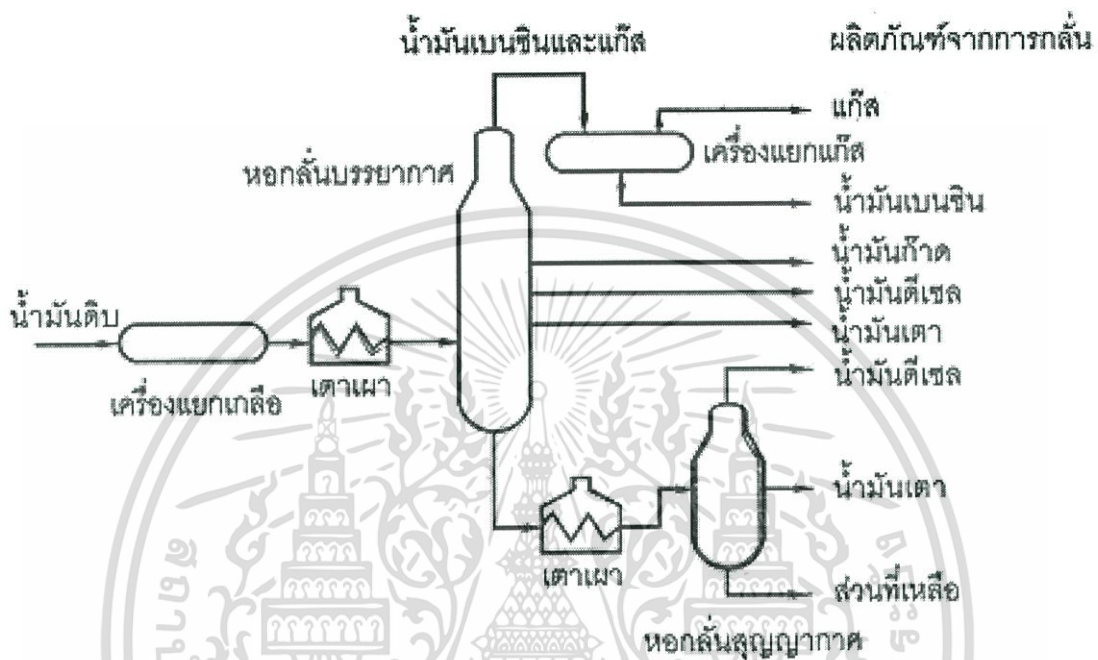
1. น้ำมันเครื่องจะต้องมีความหนืดที่เหมาะสมถูกต้อง
2. น้ำมันเครื่องจะต้องไม่เสื่อมสภาพเร็วเกินไป
3. น้ำมันเครื่องต้องสามารถปกป้องเครื่องยนต์ได้ในทุกสภาวะการทำงาน

การที่สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวนิยมใช้กันแพร่หลายมากนั้นเพราะสามารถแยกผิววัตถุทั้งสองได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถรับแรงที่กระทำได้มาก โดยของเหลวที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นมีสารละลายกับน้ำ (Aqueous solution) น้ำมันแร่ (Mineral oil) น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ และน้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic oil) ในบรรดาสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวนี้น้ำจะมีการใช้งานค่อนข้างจำกัด เช่น ใช้ในการหล่อลื่นแบริงไม้ หรือแบริงยางของกังหันวิดน้ำ หรือเครื่องสูบน้ำบางประเภท ส่วนสารละลายกับน้ำจะใช้เฉพาะในการหล่อลื่นชิ้นงานของเครื่องกลึง เครื่องเจียรไนและเครื่องไสเป็นหลัก สำหรับสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวที่ใช้กันมาก คือ น้ำมันหล่อลื่นซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดคือ น้ำมันแร่ และน้ำมันสังเคราะห์ ส่วนน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ไม่เป็นที่นิยมใช้กันมากนัก เนื่องจากมีราคาที่สูงกว่าค่อนข้างแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.1 น้ำมันแร่ [2]

น้ำมันแร่เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ (Crude oil) น้ำมันหล่อลื่นได้มาจากส่วนที่หนักของน้ำมันดิบซึ่งเหลือจากการกลั่นเอาส่วนที่เบาออกได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด และน้ำมันดีเซล ออกไปโดยหอกลั่นบรรยากาศ (Atmospheric tower) ตามที่แสดงใน รูปที่ 2.1

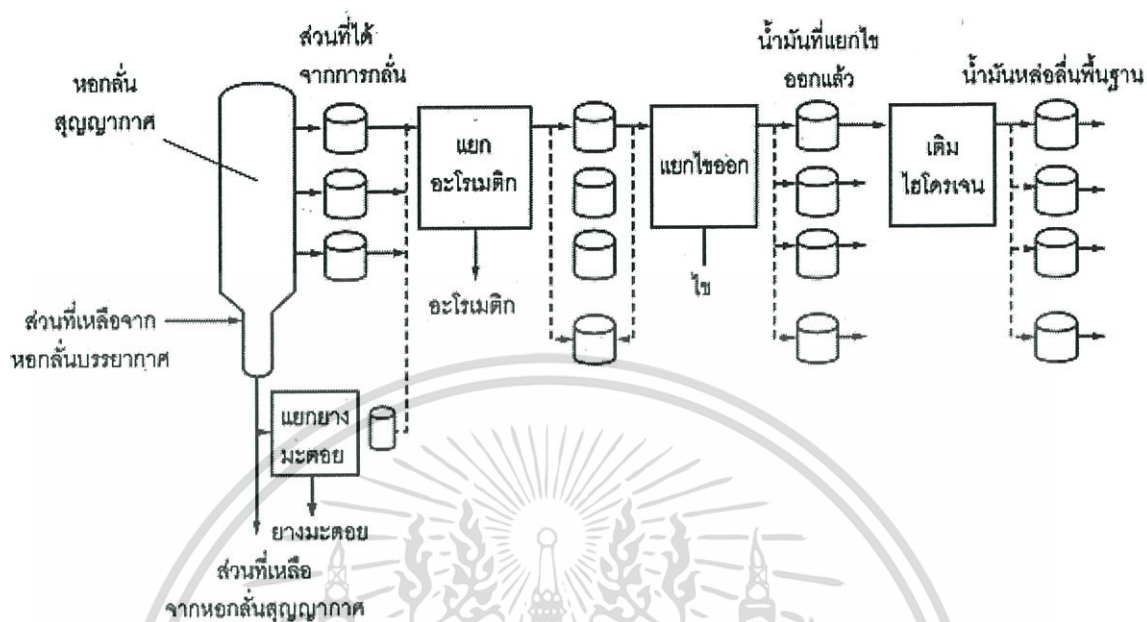


รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงการกลั่นน้ำมันที่ความดันปกติ [2]

กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันดิบเริ่มต้นจากการนำเอาส่วนที่เหลือจากหอกลั่นบรรยากาศเข้าไปกลั่นอีกครั้งหนึ่งในหอกลั่นสุญญากาศ (Vacuum tower) เพื่อแยกส่วนที่เหลือจากหอกลั่นบรรยากาศออก เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีจุดเดือด (Boiling point) เหมือนกันโดยความดันในหอกลั่นสุญญากาศจะมีค่าต่ำกว่าหนึ่งส่วนสิบของความดันบรรยากาศ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการแยกสลาย (Cracking) ที่อุณหภูมิสูง คุณสมบัติที่สำคัญที่ถูกควบคุมโดยการกลั่นสุญญากาศ คือ ความหนืด (Viscosity) จุดวาบไฟ (Flash point) และกากคาร์บอน (Carbon residue) ซึ่งก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่างๆ กันออกมา หลังจากที่อยู่จากหอกลั่นสุญญากาศแล้วจะนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกให้เหลือเป็นผลิตภัณฑ์หรือน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ตัวอย่างของกระบวนการเหล่านี้ได้แก่ กระบวนการแยกยางมะตอยโดยใช้โพรเพนเป็นสารละลาย (Propane deasphalting) กระบวนการแยกเอาสารประกอบพวก อะโรมาติก (Aromatic compounds) ออกจากพวกที่ไม่ใช่อะโรมาติก (Nonaromatic compound) ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นได้แก่ การเพิ่มเสถียรภาพในด้านความร้อนและการรวมตัวกับออกซิเจน และเพิ่มค่าดัชนีความหนืด (Viscosity index) กระบวนการต่อไปก็คือ กระบวนการแยกเอาไขออก (Dewaxing) เพื่อลดจุดไหลเทให้ต่ำลงเพื่อให้สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนกระบวนการสุดท้าย คือ การเติมไฮโดรเจน (Hydro - finishing) เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของโมเลกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสารที่ทำให้เกิดสีและสารที่ไม่เสถียรทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีสีจางลง และช่วยเพิ่มคุณสมบัติบางประการ กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นดังกล่าวได้แสดงไว้ตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงการกลั่นน้ำมันที่ความดันสุญญากาศ [2]

น้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการผลิตตามกระบวนการผลิตดังกล่าวข้างต้นเรียกว่าน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Lube base stock) ซึ่งโดยทั่วไปยังไม่สามารถนำไปใช้ในการหล่อลื่นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลได้ ทั้งนี้เนื่องจากยังมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเสียก่อน วิธีที่นิยมใช้กันมาก คือ การใส่สารเพิ่มคุณภาพ (Additives) เข้าไป

### 2.1.2 น้ำมันสังเคราะห์ [2]

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทน้ำมันแร่ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบนั้นแม้ว่าจะผ่านกระบวนการมากมายที่ใช้กำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกไปแต่น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้ออกมานั้นยังคงเป็นของผสมของสารประกอบหลายตัว ซึ่งไม่มีทางที่จะเลือกเอาเฉพาะสารที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุดได้ หรือถ้ามีก็จะได้ผลผลิตต่ำทำให้การผลิตไม่คุ้มค่า ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทน้ำมันแร่จึงมีคุณสมบัติเฉลี่ยของของผสมซึ่งประกอบด้วยสารประกอบที่เหมาะสมมากที่สุดและน้อยที่สุดเป็นผลให้น้ำมันแร่มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงได้มีการพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทน้ำมันสังเคราะห์ขึ้นมา น้ำมันสังเคราะห์เป็นน้ำมันพื้นฐานที่ได้จากกระบวนการทางเคมี ซึ่งเป็นการรวม ตัวของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำให้ได้น้ำมันที่มีความหนืดเพียงพอที่จะใช้เป็นสารหล่อลื่น โดยสารประกอบเริ่มต้นที่ใช้ในการผลิตน้ำมันสังเคราะห์มักจะได้มาจากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและเนื่องจากน้ำมันสังเคราะห์เป็นน้ำมันที่ทำขึ้นจากกระบวนการเคมี จึงสามารถควบคุมให้มีโครงสร้างโมเลกุลตามที่ต้องการและมีคุณสมบัติตามที่คาดหวังไว้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อได้เปรียบที่สำคัญของน้ำมันสังเคราะห์เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันแร่ก็คือสามารถนำไปใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่กว้างกว่าน้ำมันแร่ คือ ใช้ได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าและสูงกว่าของน้ำมันแร่ นอกจากนี้ น้ำมันสังเคราะห์บางประเภทยังให้คุณสมบัติเฉพาะ เช่น ผสมเข้ากันกับน้ำได้และไม่ติดไฟ เป็นต้น สำหรับน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ที่ใช้กันอยู่ สามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม คือ

1. ไฮโดรคาร์บอนสังเคราะห์ (Synthesized hydrocarbons) ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ได้มาจากน้ำมันดิบที่ใช้กันมากมียอยู่ 3 ชนิด คือ โอลิฟินโอลิโกเมอร์ (Olefin oligomers) อัลคิลเลเตดอะโรมาติก (Alkylated aromatics) และโพลิบิวทีนส์ (Polybutenes) ข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับน้ำมันแร่ก็คือ มีความมั่นคงที่อุณหภูมิสูงอายุการใช้งานยาวมีดัชนีความหนืดสูง มีการไหลที่อุณหภูมิต่ำ ไม่มีไข และมีการระเหยต่ำ

2. เอสเทอร์อินทรีย์ (Organic esters) เป็นสารหล่อลื่นที่ได้มีการนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น ใช้เป็นสารหล่อลื่นของเครื่องยนต์เจ็ทของอากาศยาน และใช้ในระบบไฮดรอลิก เป็นต้น เอสเทอร์อินทรีย์ที่ใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด ชนิดแรก คือ ไดเบสิกแอซิดเอสเทอร์ (Dibasic acid esters) ซึ่งบางครั้งเรียกว่า ไดเอสเทอร์ (Diester) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างไดเบสิกแอซิด (Dibasic acid) กับ โมโนไฮดริคแอลกอฮอล์ (Monohydric alcohol) อีกชนิดหนึ่ง คือ พอลิโอลเอสเทอร์ (polyol esters) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างพอลิไฮดริคแอลกอฮอล์ (Polyhydric alcohol) กับโมโนเบสิกแอซิด (Monobasic acid) ข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับน้ำมันแร่ ก็คือ มีความมั่นคงที่อุณหภูมิสูง มีการไหลที่อุณหภูมิต่ำและมีอายุการใช้งานยาว

3. พอลิไกลคอลส์ (Polyglycols) เป็นสารหล่อลื่นที่มีจุดเดือดสูงและจุดไหลเทต่ำเหมาะสำหรับสภาพการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่น ใช้เป็นน้ำมันเบรกและน้ำมันไฮดรอลิกที่ติดไฟได้

4. ฟอสเฟตเอสเทอร์ (Phosphate esters) เป็นสารหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติทนไฟ จึงใช้เป็นน้ำมันไฮดรอลิกสำหรับอากาศยานและน้ำมันไฮดรอลิกที่ไม่ติดไฟด้วย

5. น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์อื่นๆ ได้แก่ ซิลิโคน ซึ่งเป็นสารหล่อลื่นที่มีดัชนีความหนืดที่สูงมาก (300 หรือมากกว่า) และมีจุดไหลเทต่ำ จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงอุณหภูมิกว้าง และใช้เป็นน้ำมันไฮดรอลิกในกรณีพิเศษ เช่น ใช้เป็นสปริงของเหลว และซิลิเกตเอสเทอร์ (Silicate esters) เป็นสารหล่อลื่นที่มีดัชนีความหนืดสูงและมีจุดไหลเทต่ำเช่นกัน

แม้ว่าน้ำมันสังเคราะห์จะมีคุณสมบัติโดยทั่วไปดีกว่าน้ำมันแร่ก็ตามแต่สำหรับการนำไปใช้งานบางประเภทน้ำมันสังเคราะห์ก็อาจจะยังไม่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมทุกด้านจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันสังเคราะห์โดยการใส่สารเพิ่มคุณภาพเข้าไปเช่นเดียวกับการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันแร่

### 2.1.3 น้ำมันหล่อลื่นปลอม [2]

น้ำมันเครื่องปลอมจะมาจากการนำน้ำมันเครื่องใช้แล้วที่ซื้อจากสถานีบริการและแหล่งเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องต่างๆ มาทำการกรองและฟอก โดยใช้กรดกำมะถัน (Sulphuric acid) แล้วนำไปทำให้ใสจากนั้นนำน้ำมันส่วนที่ใสไปบรรจุเพื่อจำหน่ายต่อไป ซึ่งผู้ซื้อไม่สามารถทราบได้เลยว่าน้ำมันดังกล่าวมีกรดกำมะถันหลงเหลืออยู่ และกรดกำมะถันนี้เองจะกัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆของเครื่องยนต์ ให้ได้รับความเสียหาย นอกจากนี้การนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานไปบรรจุจำหน่ายโดยไม่มีสารเพิ่มคุณภาพ (Additive) ให้มีความเหมาะสมก่อน ก็จะเป็นผลเสียหายต่อเครื่องยนต์เช่นเดียวกัน

น้ำมันเครื่องปลอมที่นำออกจำหน่ายจะมีวิธีการในการหลอกลวงผู้บริโภคในลักษณะต่างๆ เช่น ระบุว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นน้ำมันอเนกประสงค์ แต่มีรูปเครื่องยนต์หรือรูปมอเตอร์ไซค์หรือข้อความที่สื่อให้ทราบว่าสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ได้ แต่ไม่มีรายละเอียดบอกถึงการนำไปใช้งานและไม่ได้ระบุชื่อที่อยู่ของผู้ผลิตใดๆทั้งสิ้น ซึ่งถือเป็นการเลี่ยงกฎหมายวิธีหนึ่ง หรือบางครั้งยังพบว่ามีการนำน้ำมันที่ด้อยคุณภาพหรือน้ำมัน ใช้แล้วมาบรรจุใหม่ในภาชนะที่ใช้แล้วของน้ำมันเครื่อง ยี่ห้อต่างๆ หรือบรรจุภาชนะใหม่ที่มีชื่อผลิตภัณฑ์ เครื่องหมายการค้าคล้ายกับของยี่ห้อที่มีชื่อเสียง แล้วนำไปขายในราคาที่ถูกลงกว่า ซึ่งถือเป็นการปลอมแปลงลอกเลียนแบบผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งดังนั้นผู้บริโภคควรพิจารณาก่อนเลือกน้ำมันไปใช้ซึ่งควรจะระบุเกรดหรือมาตรฐานการใช้งานและเบอร์ความหนืดของน้ำมัน ราคาที่เหมาะสมกับคุณภาพของน้ำมัน คือ เกรดที่สูงกว่าควรมีราคาที่สูงกว่าเกรดต่ำ และไม่ควรมีราคาถูกลงกว่าราคาที่ระบุบนภาชนะจำหน่ายมาก ซึ่งอาจเป็นน้ำมันปลอมได้รวมทั้งพิจารณาในเรื่องสถานที่จำหน่ายควรเป็นสถานที่เปิดเผยหรือนำเชื่อถือหรือเป็นร้านค้าตัวแทนจำหน่ายของบริษัทโดยตรง

## 2.2 สารเพิ่มคุณภาพ [2]

สารเพิ่มคุณภาพที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยทั่วไปเป็นสารประกอบทางเคมีซึ่งที่ใช้นั้นอยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายตัว สารเพิ่มคุณภาพแต่ละตัวจะมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเฉพาะอย่างโดยพอที่จะแบ่งตามผลที่มีต่อน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกได้เป็น 3 พวก คือ พวกแรกจะเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ทำให้คุณสมบัติใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน พวกที่สองเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ปรับปรุงคุณสมบัติที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้นและพวกสุดท้ายเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ทำหน้าที่ในการลดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการซึ่งเกิดขึ้นในช่วงการทำงาน

การที่จะเติมสารเพิ่มคุณภาพตัวใดและจำนวนเท่าใดลงไปน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะ ของการนำไปใช้งานโดยจะต้องคำนึงถึงผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นด้วย เนื่องจากสารเพิ่มคุณภาพบางตัวแม้ว่าจะทำให้คุณสมบัติประการใดประการหนึ่งดีขึ้นแต่ก็อาจจะทำให้คุณสมบัติบางประการอื่นเสื่อมลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใส่เข้าไปมากเกินไป หรือถ้าสารเพิ่มคุณภาพนั้นไปทำปฏิกิริยากับสารเพิ่มคุณภาพแต่ละตัวจึงต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้ น้ำมันหล่อลื่นทำงานได้อย่างดีที่สุด และจะต้องมีการทดสอบให้แน่ใจว่าจะไม่มีผลข้างเคียงที่ไม่ต้องการเกิดขึ้นซึ่งในกรณีทั่วไปจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเติมสารเพิ่มคุณภาพเข้าไปอีก

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเมื่อเติมสารเพิ่มคุณภาพเข้าไปแล้ว เรียกว่า น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป ซึ่งบริษัทผู้ผลิตแต่ละรายมักจะตั้งชื่อเฉพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมา สำหรับสารเพิ่มสารคุณภาพที่นิยมใช้กันมีดังต่อไปนี้

1. สารลดจุดไหลเท (Pour point depressants) เป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดผลึกไขที่ป้องกันไม่ให้น้ำมันไหลที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นสารนี้จึงช่วยให้จุดไหลเทของน้ำมันหล่อลื่นต่ำลง ทำให้สามารถ ใช้งานที่อุณหภูมิต่ำๆ ได้ สารที่ใช้ลดจุดไหลเทจะเป็นพวกพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งที่ใช้นั้นอยู่มี 2 ชนิด คือ อัลคิลอะโรมาติกพอลิเมอร์(Alkylaromatic polymers) ทำหน้าที่ในการดูดกลืนผลึกของไขเมื่อเกิดขึ้นเพื่อป้องกันไม่ให้ผลึกเติบโตและยึดติดกัน ชนิดที่สองคือ พอลิเมทาคริเลต (Polymethacrylates) ทำหน้าที่ตกผลึกร่วมกับไขเพื่อป้องกันไม่ให้ผลึกเติบโต สำหรับอุณหภูมิของจุดไหลเทของน้ำมันหล่อลื่นเมื่อเติมสารนี้เข้าไปแล้ว โดยทั่วไปจะลดลงประมาณ  $11^{\circ}\text{C}$  ถึง  $17^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารเพิ่มค่าดัชนีความหนืด (Viscosity index improvers) เป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ช่วยไม่ให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงสารเพิ่มค่าดัชนีความหนืดจะเป็นพวกพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีโครงสร้างเป็นลูกโซ่ยาว (long chain) ซึ่งจะทำให้หน้าตัดในการเพิ่มความหนืดสัมผัสของน้ำมันหล่อลื่นที่อุณหภูมิสูงมากกว่าการเพิ่มความหนืดสัมผัสที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะเป็นผลมาจากการที่พอลิเมอร์ดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลจะยืดออกและมีปฏิกิริยากันระหว่างโมเลกุลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น สำหรับสารที่นิยมใช้เป็นสารเพิ่มค่าดัชนีความหนืดมีหลายตัว เช่น เมทาคริเลตพอลิเมอร์ (Methacrylate polymers) โอลิฟินพอลิเมอร์ (Olefin polymers) และอะคริเลตพอลิเมอร์ (Acrylate polymers) เป็นต้น

3. สารป้องกันการเกิดฟอง (Defoamants) ใช้ป้องกันการเกิดฟองอากาศที่ผสมอยู่กับน้ำมันหล่อลื่นเมื่อน้ำมันถูกหมุนเวียนใช้ในระบบ สารนี้จะทำหน้าที่โดย โมเลกุลของสารจะเข้าไปติดกับฟองอากาศทำให้ฟองอากาศเล็กๆรวมตัวกันเป็นฟองอากาศที่ใหญ่ขึ้นลอยขึ้นผิวและแตกออกในที่สุด สำหรับสารที่นิยมใช้เป็นสารป้องกันการเกิดฟอง คือ ซิลิโคนพอลิเมอร์ (Silicone polymer) และพวกพอลิเมอร์อินทรีย์ (Organic polymer)

4. สารป้องกันออกซิเดชัน (Oxidation inhibitors) เมื่อน้ำมันหล่อลื่นร้อนและสัมผัสกับอากาศก็จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันหล่อลื่นและออกซิเจนในอากาศที่เรียกว่าออกซิเดชันขึ้นผลของการเกิดออกซิเดชันจะทำให้ความหนืดและความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดวานิชและตะกอนสารป้องกันออกซิเดชัน คือ สังกะสีไดไทโอฟอสเฟต (Zinc dithiophosphate)

5. สารป้องกันการกัดกร่อน (Corrosion inhibitors) การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในระบบหล่อลื่นโดยน้ำมันหล่อลื่นนั้นมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญที่สุดมี 2 ชนิด คือ การกัดกร่อนซึ่งเกิดจากกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในตัวของน้ำมันเอง และการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากสารปนเปื้อนที่ถูกนำและพาไปโดยน้ำมัน สำหรับสารป้องกันการกัดกร่อนที่ใช้กันทั่วไปเป็นสารตัวเดียวกับสารป้องกันออกซิเดชัน ซึ่งก็คือ สังกะสีไดไทโอฟอสเฟต แต่สารที่มีซัลเฟอร์และฟอสฟอรัสก็ถูกนำมาใช้ด้วย

6. สารป้องกันสนิม (Rust inhibitor) ใช้เพื่อป้องกันสนิมที่อาจเกิดขึ้นผิวของชิ้นส่วนโลหะที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมันสารที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบที่มีการยึดติดกับผิวของโลหะได้ดี โดยสารป้องกันสนิมจะทำปฏิกิริยากับผิวโลหะเกิดเป็นฟิล์มเกาะติดกับผิวเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าถึงผิวโลหะ สารที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ เอมีนซัคซิเนต (Amine succinates) และอัลคาไลเอิร์ทซัลโฟเนต (Alkaline earth sulfonates)

7. สารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรก (Detergents and dispersants) ใช้เพื่อชะล้างสิ่งสกปรกออกจากผิวของชิ้นส่วนและกระจายมิให้รวมตัวกันเป็นโคลนหรือตะกอน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ได้แก่ เครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซลโคลนหรือตะกอนที่เกิดขึ้นจะอุดช่องทางน้ำมันหล่อลื่น และจะไปรวมกันอยู่ด้านหลังของแหวนลูกสูบ ซึ่งอาจทำให้แหวนติดตายได้สารชะล้างจะทำหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้เกิดโคลนหรือตะกอน สารที่เป็นตัวชะล้างที่ใช้กันในปัจจุบันได้แก่ สบู่อินทรีย์ (Organic soaps) และแบเรียม (Barium) แคลเซียมและแมกนีเซียมซัลโฟเนต (Magnesium sulfonates) เป็นต้น ส่วนสารกระจายสิ่งสกปรกจะทำหน้าที่ในการกระจายหรือทำให้สารที่จะรวมตัวกันเป็นโคลนแขวนลอยอยู่ในน้ำมัน สาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

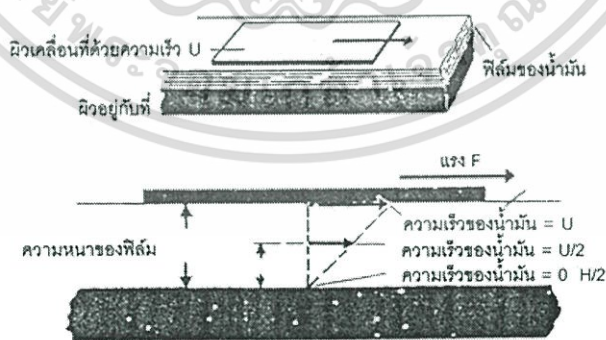
ที่เป็นตัวกระจายที่ใช้กันได้แก่พอลิเมอร์อิมิด (Polymeric succinimides) และ เบนซิลอไมด์ (Benzylamides) เป็นต้น

8. สารป้องกันการสึกหรอ (Antiwear additives) เป็นสารที่ช่วยลดความเสียหายและการสึกหรอภายใต้สภาวะการหล่อลื่นแบบเบาน์ดารี (Boundary lubrication) ซึ่งก็คือในสภาวะที่ฟิล์มของน้ำมันที่จะแยกผิวสัมผัสได้อย่างสมบูรณ์ไม่สามารถคงอยู่ได้ สารป้องกันการสึกหรอที่ใช้กันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามความต้องการของการใช้งานประเภทแรกเป็นสารที่ใช้ลดความเสียหายและการสึกหรอสำหรับสภาวะการทำงานเบา สารนี้บางครั้งเรียกว่า สารเพิ่มคุณภาพสำหรับการหล่อลื่นแบบเบาน์ดารี (Boundary lubrication additives) ได้แก่ กรดไขมัน (Fatty acids) และ น้ำมันไขมัน (Fatty oils) ประเภทที่สองเป็นสารที่ใช้ลดความเสียหายและการสึกหรอภายใต้สภาวะความดันสูงมาก เรียกว่า Extreme Pressure Additive (EP) ซึ่งจะทำหน้าที่โดยทำปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวโลหะ โดยจะเกิดเป็นฟิล์มเคลือบที่ผิวโลหะป้องกันการสัมผัสโดยตรงของผิวโลหะ สาร EP โดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบของ ซัลเฟอร์ คลอรีน หรือฟอสฟอรัส ตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายตัวรวมกัน

### 2.3 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น [2]

น้ำมันหล่อลื่นประเภทน้ำมันแร่มีหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกใช้จึงจำเป็นต้องรู้ถึงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น และในการผลิตก็จะต้องมีการควบคุมคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นให้ได้ตามต้องการ สำหรับคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่สำคัญทั้งคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์และเคมีมีดังต่อไปนี้

1. ความหนืด (Viscosity) ถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของน้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างผิวสัมผัส และมีผลต่อการเกิดความร้อนขึ้นในระหว่างผิวสัมผัสที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมัน ความหนืด หมายถึง ความข้นหรือความใสของน้ำมันเป็นคุณสมบัติของของไหลซึ่งวัดในรูปของความต้านทานในการไหลหลักการของความหนืดตามที่ได้แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หลักการของความหนืด [2]

ประกอบด้วยแผ่นวัตถุถูกดึงไปบนฟิล์มของน้ำมันด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ฟิล์มของน้ำมันติดอยู่กับตัววัตถุที่เคลื่อนที่และที่อยู่กับที่ ซึ่งเมื่อพิจารณาให้น้ำมันประกอบขึ้นด้วยชั้นน้ำมันหลายๆชั้น ชั้นน้ำมันที่ติดอยู่กับผิวที่เคลื่อนที่ก็เคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเดียวกับผิวที่เคลื่อนที่ (U) ส่วนชั้นนอกสารน้ำมันที่ติดอยู่กับผิวที่อยู่กับที่ก็จะมีความเร็วเป็นศูนย์ชั้นน้ำมันที่อยู่ระหว่างชั้นบนสุดและชั้นล่างสุดก็ค้ำไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะถูกดึงไปด้วยชั้นน้ำมันที่อยู่ด้านบนถัดไปให้มีความเร็วส่วนหนึ่งของความเร็ว  $U$  ซึ่งความเร็วของแต่ละชั้นของน้ำมันดังกล่าวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากผิววัตถุที่อยู่กับที่แรง ( $F$ ) ที่ต้องใช้ในการดึงให้ผิววัตถุอันบนเคลื่อนที่ไปนี้ ก็คือ แรงที่ต้องเอาชนะความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นน้ำมันนั่นเอง และเนื่องจากแรงนี้เป็นผลมาจากความหนืด โดยแรงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความหนืด ดังนั้นความหนืดก็สามารถได้จากการวัดแรงที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะความเสียดทานของน้ำมัน ความหนืดที่หาได้ในที่นี้เรียกว่า ความหนืดสัมบูรณ์ (Absolute viscosity) หรือความหนืดเชิงพลศาสตร์ (Dynamic viscosity) หน่วยความหนืดเชิงพลศาสตร์ที่นิยมใช้กัน คือ หน่วยเป็น Poise (P) ซึ่งเป็นหน่วยในระบบ CGS (Centimeter Gram Second) โดย

$$1 \text{ Poise} = 1 \text{ dyne s} / \text{cm}^2 = 1 \text{ g} / \text{cm.s}$$

$$1 \text{ Centipoise (cP)} = 1 \times 10^{-2} \text{ poise (P)}$$

แต่ค่าของความหนืดเชิงพลศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่นค่อนข้างกว้าง คือมีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 400 cP และ โดยทั่วไปเครื่องมือวัดความหนืดจะไม่สามารถวัดค่าความหนืดเชิงพลศาสตร์ได้โดยตรง ดังนั้น จึงได้มีการกำหนดค่าความหนืดในอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งเรียกว่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (Kinematic viscosity) โดยให้ความหนืดเชิงจลนศาสตร์เท่ากับความหนืดเชิงพลศาสตร์หารด้วยความหนาแน่นของน้ำมันหรือของไหลนั้น ๆ ซึ่งเขียนเป็น สมการได้คือ

$$\nu = \eta / \rho \quad (2.1)$$

$\nu$  = ความหนืดเชิงจลนศาสตร์

$\eta$  = ความหนืดเชิงพลศาสตร์

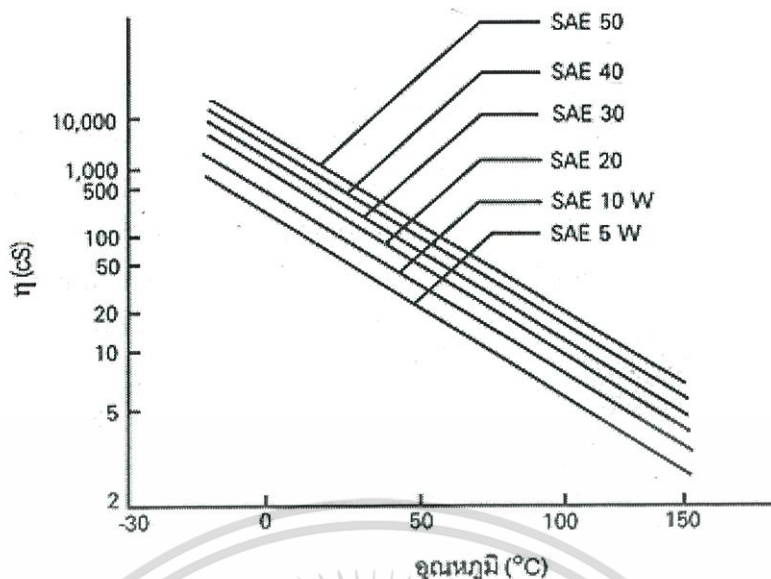
$\rho$  = ความหนาแน่น

หน่วยความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่นิยมใช้กัน ก็คือ หน่วย Stoke (St) ซึ่งเป็นหนึ่งในระบบ CGS เช่นเดียวกัน โดย

$$1 \text{ stoke (St)} = 1 \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$1 \text{ centistoke (cSt)} = 1 \times 10^{-2} \text{ stoke (St)}$$

นอกจากหน่วยของความหนืดที่ใช้กันข้างต้นแล้วยังมีการวัดความหนืดในหน่วยอื่นอีกได้แก่ Saybolt Universal Seconds (SUS), Saybol Furlo Seconds (SFS), Redwood Seconds และ Engler Degree ซึ่งความหนืดในหน่วยเหล่านี้กำหนดขึ้นตามชนิดของเครื่องมือที่ใช้วัดความหนืด (Viscometer) และสภาวะการทดสอบ (อุณหภูมิ ของการทดสอบ) แต่อย่างไรก็ตามค่าความหนืดในหน่วยต่าง ๆ ข้างต้นก็สามารถที่จะแปลงเป็นค่าในหน่วยความหนืดเชิงจลนศาสตร์ได้



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นบางชนิด [2]

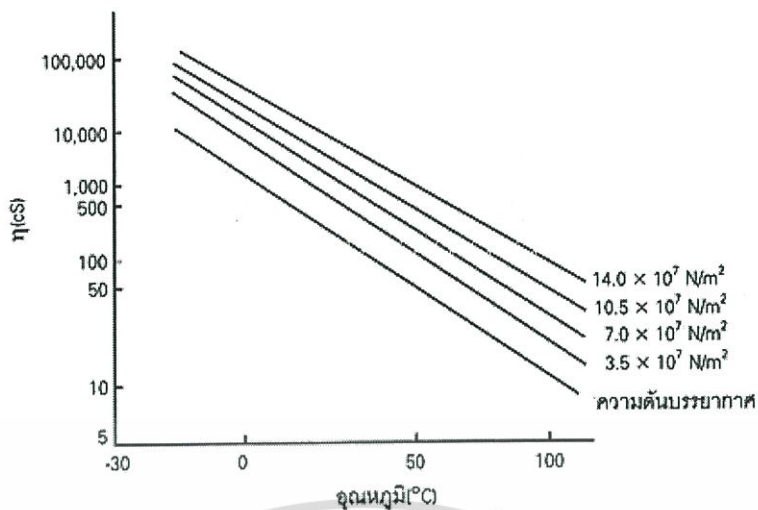
ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะไม่คงที่ แต่จะแปรผันตามสภาวะการใช้งานโดยเฉพาะอย่างยิ่งจะแปรผัน กับอุณหภูมิและความดันในการใช้งาน ในด้านของอุณหภูมิความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำมัน ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของเหลวจะขยายตัว โมเลกุลของน้ำมันจะเคลื่อนออกจากกัน ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลงและเป็นผลให้ความหนืดลดลงด้วย รูปที่ 2.4 เป็นกราฟแสดงถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดเชิงพลศาสตร์ ของน้ำมันหล่อลื่น และเนื่องจากความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงน้อยมากกับอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดเชิงพลศาสตร์ได้ด้วย นอกจากแสดงด้วยกราฟแล้วผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดก็ยังสามารถแสดงได้ด้วยสมการ แต่เป็นเพียงสมการโดยประมาณเท่านั้น คือ

$$\log \eta = A + B / T \quad (2.2)$$

- $\eta$  = ความหนืดเชิงพลศาสตร์  
 $A$  และ  $B$  = ค่าคงที่ (ขึ้นอยู่กับชนิดของของเหลว)  
 $T$  = อุณหภูมิสัมบูรณ์

สำหรับผลของความดันต่อความหนืดนั้น จะเห็นได้ชัดเจนก็ต่อเมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้นมาก ซึ่งเมื่อความดันของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้น โมเลกุลของน้ำมันก็จะถูกบีบให้เข้าใกล้กัน ทำให้แรงยึดติดระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น และเป็นผลให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นด้วย รูปที่ 2.5 แสดงถึงผลของความดันที่มีต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น SAE 40 ซึ่งความหนืดจะเปลี่ยนแปลงจนเห็นได้ชัดเจนเมื่อความดันเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ  $2 \times 10^7 \text{ N / m}^2$  (Pascal)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ผลของความดันต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น SAE 40 [2]

และเมื่อความดันเพิ่มเป็น  $3.5 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  ความหนืดก็จะเพิ่มเป็นสองเท่าของความหนืดที่ความดันบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงของความหนืดอันเนื่องมาจากความดันสามารถแสดงได้ด้วยสมการโดยประมาณ คือ

$$\eta = \eta_0 e^{\epsilon P} \quad (2.3)$$

$\eta$  = ความหนืดเชิงพลศาสตร์ที่ความดัน P

$\eta_0$  = ความหนืดเชิงพลศาสตร์ที่ความดันบรรยากาศ

P = ความดันของน้ำมันหล่อลื่น

$\epsilon$  = สัมประสิทธิ์ของความดันกับความหนืด

e = 2.71828

ความหนืดเชิงพลศาสตร์ของน้ำมันที่อุณหภูมิที่ทำการทดลอง [15] สามารถหาได้จากสมการ

$$\frac{\eta_{\text{sample}}}{\eta_{D,W}} = \frac{d_{\text{sample}} \times t_{\text{sample}}}{\rho_{D,W} \times t_{D,W}} \quad (2.4)$$

$\eta_{D,W}$  = ความหนืดเชิงพลศาสตร์ของสารอ้างอิง

$d_{\text{sample}}$  = ความหนาแน่นของสารตัวอย่าง

$t_{\text{sample}}$  = เวลาที่สารตัวอย่างไหลจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง

$t_{D,W}$  = เวลาที่สารอ้างอิงไหลจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง

$\rho_{D,W}$  = ความหนาแน่นของสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนืดเชิงจลศาสตร์ของน้ำมันที่อุณหภูมิที่ทำการทดลอง [15] สามารถหาได้จากสมการ

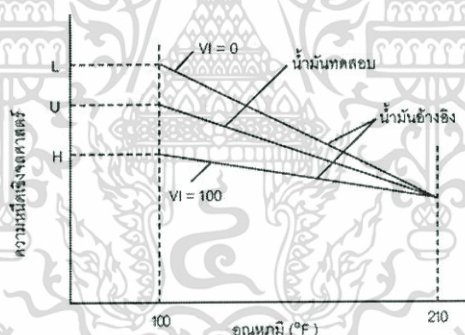
$$v = \frac{\eta}{d} \quad (2.5)$$

2. ดัชนีความหนืด (viscosity index) น้ำมันหล่อลื่นต่างชนิดกันจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืด อันเนื่องมาจากอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดดัชนีความหนืดขึ้นมาเพื่อใช้แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดอันเนื่องมาจากอุณหภูมิโดยใช้การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่จะหาดัชนีความหนืดกับน้ำมันหล่อลื่นที่เลือกสองชนิด เช่น น้ำมันหล่อลื่น Gulf Coast ซึ่งความหนืดเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิมาก ให้มีดัชนีความหนืดเท่ากับศูนย์ และน้ำมันหล่อลื่น Pennsylvanian ซึ่งความหนืดเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิน้อย ให้มีดัชนีความหนืดเท่ากับ 100 การหาดัชนีความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกระทำได้โดยการหาความหนืดเชิงจลศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่น ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 100°F และ 210°F แล้วหาค่าดัชนีความหนืดตามสมการ คือ

$$V.I. = \frac{L-U}{L-H} \times 100 \quad (2.6)$$

V.I. = ดัชนีความหนืด (viscosity index)

ค่า L, U และ H สามารถดูตาม รูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การหาค่าดัชนีความหนืด [2]

3. กากคาร์บอน (Carbon residue) หมายถึง สิ่งที่ตกค้างอยู่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ภายหลังจากเผาไหม้น้ำมันหล่อลื่นในสภาวะที่กำหนด ปริมาณกากคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นจะไม่ค่อยมีความสำคัญนัก สำหรับการใช้งาน เนื่องจากจะไม่มี การเผาไหม้โดยตรงของน้ำมันหล่อลื่นในการนำไปใช้งาน แต่ปริมาณกากคาร์บอนจะมีความสำคัญสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงเพราะจะมีการเผาไหม้โดยตรง ดังนั้น การหาปริมาณกากคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นโดยทั่วไปจึงเป็นการหาสำหรับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเพื่อดูว่าขบวนการผลิตเป็นไปตามกำหนดหรือไม่

4. สี (Color) สีของน้ำมันหล่อลื่นที่เห็นเมื่อมีแสงผ่านนั้นจะมีสีต่างๆกัน ตั้งแต่ใสมากจนถึงดำ ซึ่งอาจมีสีเหลือง แดง และน้ำตาล เป็นต้น ความแตกต่างกันของสีของน้ำมันหล่อลื่นเป็นผลมาจากชนิดของน้ำมันดิบที่นำมาผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นแตกต่างกันทั้งวิธีการกลั่นและผลิต จำนวนและชนิดของสารเติมคุณภาพ ดังนั้น สีของน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปจึงไม่มีความสำคัญนักในด้านการใช้งาน ยกเว้นกรณีที่เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ (Density and Gravity) ความหนาแน่นหมายถึงมวลของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนด ส่วนความถ่วงจำเพาะ (ความหนาแน่นสัมพัทธ์) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของน้ำมันและความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน ในสหรัฐอเมริกา มักนิยม กำหนดค่าความถ่วงจำเพาะในรูปของหน่วยองศา API (API Scale : American Petroleum Institute) [15] ซึ่งหาได้จากสมการ

$$API\ Scale = \frac{141.5}{Sp.\ gr.(15^\circ C)} - 131.5 \quad (2.7)$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อค่าองศา API เพิ่มขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะนี้จะเป็นตัวช่วยในการตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่นโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว ซึ่งถ้ามีค่าความถ่วงจำเพาะลดลง (ค่าองศา API เพิ่มขึ้น) ก็อาจแสดงว่ามีน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ามาผสมกับน้ำมันหล่อลื่นและถ้ามีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นก็อาจแสดงว่ามีสิ่งแปลกปลอมเช่นเขม่าหรือสารที่เกิดจากการรวมตัวกับออกซิเจนผสมอยู่กับน้ำมันหล่อลื่น

6. จุดวาบไฟและจุดติดไฟ (Flash and Fire points) หมายถึงอุณหภูมิที่น้ำมันระเหยกลายเป็นไอเพียงพอที่ผิวและสามารถลุกไหม้ได้เมื่อโดนเปลวไฟ แต่ที่อุณหภูมินี้การระเหยกลายเป็นไอจะไม่เพียงพอที่จะทำให้การลุกไหม้คงอยู่ต่อไป เปลวไฟจึงดับลงเองทันที แต่หากมีการให้ความร้อนแก่น้ำมันต่อไปอีก อุณหภูมิก็จะสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่การระเหยกลายเป็นไอเพียงพอที่จะทำให้เกิดลุกไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง อุณหภูมินี้ เรียกว่า จุดติดไฟ จุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นใหม่จะแปรผันกับความหนืดโดยน้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดสูงก็จะมีจุดวาบไฟสูงด้วยนอกจากนี้ชนิดของน้ำมันดิบที่นำมาใช้ผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก็มีผลต่อจุดวาบไฟด้วย จุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำมันจะใช้ในการควบคุมการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและจะใช้ในการพิจารณาในด้านความปลอดภัยในการใช้งาน

โดยปกติจุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นจะอยู่ในช่วง 160 ถึง 320°C แล้วแต่ว่าเป็นน้ำมันใสหรือน้ำมันข้น น้ำมันหล่อลื่นใสมักจะจุดวาบไฟต่ำกว่าน้ำมันข้น ส่วนเชื้อเพลิงนั้นมีจุดวาบไฟต่ำมาก เช่น น้ำมันเบนซินมีจุดวาบไฟราว -43°C และน้ำมันโซลามีจุดวาบไฟราว 86°C หากมีเชื้อเพลิงลงไปปะปนในน้ำมันหล่อลื่น จุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นจะลดลงมาก และความหนืดก็จะลดลงด้วย การทดสอบนี้ใช้กับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เท่านั้น เพราะเชื้อเพลิงมีโอกาสเข้ามาปะปนกับน้ำมันหล่อลื่นโดยเส็ดลอดผ่านแหวนลูกสูบและซีลใน Injection Pump ในเครื่องดีเซล จุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์วัดโดยวิธี ASTM D-93 (PMCC) ไม่ควรต่ำกว่าของใหม่เกิน 45°C

7. จุดไหลเท (pour point) หมายถึง อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันหล่อลื่นจะเริ่มไหลภายใต้สภาวะที่กำหนด ซึ่งน้ำมันทั่วไปจะมีไขส่วนหนึ่งละลายอยู่ด้วย เมื่อน้ำมันเย็นไขก็จะตกผลึกและเกาะกันเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงโดยกักเอาน้ำมันไว้และเมื่อผลึกของไขเกิดขึ้นมากพอ น้ำมันก็จะไม่สามารถไหลได้ต่อไป ความสำคัญของจุดไหลเทจะขึ้นอยู่กับสภาวะของการใช้งาน ตัวอย่างเช่น ในประเทศหนาวจะต้องเลือกใช้น้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำ เพื่อให้ น้ำมันสามารถไหลได้ ถึงแม้อุณหภูมิของอากาศโดยรอบจะต่ำในทางตรงกันข้ามน้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำก็ไม่มีผลสำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูงตลอดเวลา



- ประสิทธิภาพในการกระจายเขม่า
- ต่อต้านการสึกหรอที่เกิดจากการขัดสีบริเวณชุดขับเคลื่อนวาล์ว (valve train)
- รักษาความสะอาดบริเวณลูกสูบและร่องแหวนได้ดี
- คงความหนืดได้คงที่ตลอดอายุการใช้งาน

2. API CH-4 เริ่มใช้ตั้งแต่เดือนธันวาคม ค.ศ.1998 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลในปัจจุบัน สภาพงานหนักสามารถใช้ได้ดีกับน้ำมันดีเซล ทั้งชนิดที่มีกำมะถันต่ำและสูง (ไม่เกิน 0.5% โดยน้ำหนัก) น้ำมันที่ได้มาตรฐานนี้เพิ่มประสิทธิภาพจาก API CG-4 ในด้านการควบคุมและกระจายตัวของเขม่า ลดคราบสกปรกที่ลูกสูบซึ่งเกิดขึ้นขณะใช้งานที่อุณหภูมิสูง ป้องกันการสึกหรอ และลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเครื่อง เหมาะกับเครื่องยนต์ที่ผ่านมาตรฐานมลพิษไอเสียปี 1998 และสามารถใช้แทนน้ำมันมาตรฐาน CD, CE, CF-4 และ CG-4

3. API CG-4 เริ่มใช้ในปี ค.ศ. 1994 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลสภาพงานหนัก ใช้งานภายใต้สภาวะความเร็วรอบสูงที่ใช้งานทั้งบนทางหลวง (ใช้น้ำมันดีเซลปริมาณกำมะถัน 0.05% โดยน้ำหนัก) และนอกทางหลวง (ใช้น้ำมันดีเซลปริมาณกำมะถันน้อยกว่า 0.5%โดยน้ำหนัก) น้ำมันระดับคุณภาพนี้จะลดคราบสกปรกที่ลูกสูบที่เกิดขึ้นขณะใช้งานที่อุณหภูมิสูง ป้องกันการสึกหรอและการกัดกร่อนด้านทานการเกิดฟองและการรวมตัวกับออกซิเจนและป้องกันการสะสมของเขม่า เหมาะกับเครื่องยนต์ที่ผ่านมาตรฐานมลพิษไอเสียปี1994 และเครื่องยนต์ที่ได้รับแนะนำให้ใช้น้ำมันมาตรฐาน CD , CE และ CF-4

4. API CF-2 เริ่มใช้ในปี ค.ศ. 1994 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ ที่ใช้งานทั่วไป สามารถป้องกันการเกิดรอยขีดข่วนในกระบอกสูบและหน้าแหวนลูกสูบ และการเกิดคราบสกปรกสามารถใช้กับเครื่องที่แนะนำให้ใช้น้ำมันมาตรฐาน API CD-II

5. API CF เริ่มใช้ในปี ค.ศ.1994 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีห้องเผาไหม้ (Indirect-injected diesel engines) เครื่องยนต์ดีเซลธรรมดา และเครื่องยนต์ซูเปอร์ชาร์จหรือเทอร์โบชาร์จ สามารถใช้ได้กับน้ำมันดีเซลที่มีกำมะถันต่ำสูง เช่นสูงกว่า0.5%โดยน้ำหนักน้ำมันที่ได้มาตรฐานนี้ได้ดี จะควบคุมการเกิดคราบสกปรกที่ลูกสูบ ป้องกันการสึกหรอและการกัดกร่อนของแบเร็งโดยเฉพาะแบเร็งที่มีทองแดงผสมอยู่และสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ที่แนะนำให้ใช้ได้กับเครื่องยนต์ที่แนะนำให้ใช้น้ำมันมาตรฐานน้ำมัน

6. API CF-4 เริ่มใช้ในปี ค.ศ.1990 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูง น้ำมันที่ได้มาตรฐานนี้มีคุณสมบัติสูงกว่า API CE ช่วยลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเครื่องและลดคราบสกปรกที่ลูกสูบ สามารถใช้แทน API CE เหมาะอย่างยิ่งกับรถบรรทุกงานหนักที่ใช้บนทางหลวง น้ำมันที่ผ่านระดับคุณภาพนี้เมื่อใช้ร่วมกับระดับคุณภาพ "S" (น้ำมันเครื่องเบนซิน) จะสามารถใช้ได้ทั้งเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล เช่นรถยนต์นั่ง รถบรรทุกขนาดเล็ก และรถตู้ เป็นต้น ภายใต้คำแนะนำการใช้งานของผู้ผลิตหรือ เครื่องยนต์นั้นๆ

7. API CE สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลสภาพงานหนักมีซูเปอร์ชาร์จ หรือเทอร์โบชาร์จ ผลิตในปี 1983 และทำงานภายใต้สภาวะความเร็วรอบต่ำ-ภาระสูง และความเร็วสูง-ภาระสูง สามารถใช้แทนน้ำมันระดับคุณภาพ API CD

8. API CD II เริ่มใช้ในปี ค.ศ.1987 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ ที่ต้องการสมบัติในการป้องกันการสึกหรอ ป้องกันการเกิดคราบสกปรก และยังมีคุณสมบัติที่ครบถ้วนตาม API CD

9. API CD เริ่มใช้ในปี ค.ศ.1985 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลธรรมดา มีเทอร์โบชาร์จหรือซูเปอร์ชาร์จ ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพแตกต่างกัน รวมทั้งน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันสูง น้ำมันระดับนี้มีสมบัติในการป้องกันการสึกหรอ ป้องกันการเกิดสกปรกที่อุณหภูมิสูง และป้องกันการกัดกร่อนที่แข็งแรงได้ดี

10. API CC เริ่มใช้ในปี ค.ศ.1961 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลธรรมดา เทอร์โบชาร์จ หรือซูเปอร์ชาร์จ ทำงานปานกลางและงานหนักมาก รวมทั้งเครื่องยนต์เบนซินสภาพงานหนักบางชนิด น้ำมันระดับคุณภาพนี้มีสมบัติป้องกันการเกิดคราบสกปรกที่อุณหภูมิสูงและการกัดกร่อนของแบริ่งในเครื่องยนต์ดีเซล ป้องกันการเกิดสนิมและการกัดกร่อน รวมทั้งการเกิดคราบสกปรกที่อุณหภูมิต่ำในเครื่องยนต์เบนซิน

11. API CB ใช้ในปี ค.ศ.1949-1960 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลธรรมดา สภาพงานเบาและปานกลาง ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพต่ำกว่า (ปริมาณกำมะถันสูง) จึงต้องการการป้องกันการสึกหรอและคราบสกปรกสูงกว่าที่ใช้ในเกรด CA รวมทั้งเครื่องยนต์เบนซินใช้งานเบา น้ำมันในระดับนี้สามารถป้องกันการกัดกร่อนที่แข็งแรงและป้องกันการเกิดคราบสกปรกที่อุณหภูมิสูง

12. API CA ใช้ในปี ค.ศ.1940-1950 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลธรรมดา สภาพงานเบาและงานปานกลาง ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงคุณภาพสูง รวมทั้งเครื่องยนต์เบนซินใช้งานเบา น้ำมันนี้มีคุณสมบัติป้องกันการกัดกร่อนและเกิดคราบสกปรก (deposit) โดยเฉพาะการกัดกร่อนที่แบริ่ง และคราบสกปรกบริเวณแถบแหวนลูกสูบในเครื่องยนต์ดีเซลบางชนิดที่ใช้งานสภาวะปกติ น้ำมันในระดับนี้ไม่ควรใช้กับเครื่องยนต์ในปัจจุบัน ยกเว้นบริษัทผู้ผลิตเครื่องยนต์นั้นๆ แนะนำให้ใช้

ซึ่งมาตรฐานที่ใช้ในปัจจุบันได้แก่ API CF , CF-4 , CF-2 , CG-4 , CH-4 และ CI-4 ส่วนมาตรฐานอื่นๆ เป็นมาตรฐานที่ API ยกเลิกแล้ว แต่ก็ยังคงมีการใช้กันอยู่ เช่น API CC และ CD เป็นต้น

นอกจากมาตรฐาน API แล้วยังมีมาตรฐานอื่นๆ ที่เป็นที่ยอมรับและแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่ มาตรฐานของสมาคมผู้ผลิตยานยนต์ในทวีปยุโรป ACEA มาตรฐานของญี่ปุ่น JASO และมาตรฐาน VOLVO , MERCEDES BENZ และ VOLKSWAGEN เป็นต้น การที่จะเทียบว่าน้ำมันหล่อลื่นชนิดใดได้มาตรฐานนั้นจะต้องนำน้ำมันมาทดสอบกับเครื่องยนต์ทดสอบต่างๆ หรือวิธีการทดสอบตามที่ API หรือผู้ออกมาตรฐานนั้นๆ กำหนดไว้ในแต่ละระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการเลือกซื้อน้ำมันเครื่องนอกจากการพิจารณาโดยใช้มาตรฐาน API แล้วยังสามารถใช้มาตรฐานอื่นๆ ดังที่กล่าวมาเป็นข้อมูลในการพิจารณาด้วย และที่สำคัญคือ ต้องเลือกระดับคุณภาพและเกรดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นให้ถูกต้องและเหมาะสมกับการใช้งาน โดยพิจารณาจากคำแนะนำของผู้ผลิตรถยนต์หรือเครื่องยนต์เป็นเกณฑ์

#### 2.4.1 มาตรฐานความหนืดน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรม ISO 3448 [4]

ความหนืดเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญที่สุดที่จะต้องนำมาพิจารณาเป็นอย่างแรกในการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นให้เหมาะสมกับงาน น้ำมันที่มีความหนืดต่ำจะให้ฟิล์มหล่อลื่นที่บางทำให้ไม่สามารถรับภาระน้ำหนักได้มาก แต่สามารถแทรกตัวไปตามส่วนต่างๆ ที่ต้องการ การหล่อลื่น ได้อย่างรวดเร็วและระบายความร้อนได้ดี ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดสูงจะให้ฟิล์มหล่อลื่นที่หนาจึงสามารถรับแรงกดได้ดีกว่า แต่จะต้องเสียพลังงานในการเฉือนฟิล์มน้ำมันมากขึ้นและระบายความร้อนได้ช้า ความหนืดจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของน้ำมัน กล่าวคือ หนืดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงและหนืดน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความหนืดที่นิยมใช้กันแพร่หลายมากที่สุดในปัจจุบัน ได้แก่ ค่าความหนืดจลน์ศาสตร์ (Kinematic viscosity) ที่มีหน่วยเป็นเซ็นติสโตก (cSt)

เนื่องจากในปัจจุบันมีระบบในการควบคุมคุณภาพมากมายทำให้มีการกำหนดมาตรฐานความหนืดน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรมโดยระบบ ISO ด้วยทั้งนี้จะแสดงผลดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความหนืดน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรม ISO 3448 [4]

เบอร์ ISO	ความหนืดเฉลี่ยที่ 40 °C	
	ต่ำสุด	สูงสุด
ISO 2	2.2	2.42
ISO 3	3.2	3.52
ISO 5	4.6	5.06
ISO 7	6.8	7.48
ISO 10	10	11.00
ISO 15	15	16.50
ISO 22	22	24.20
ISO 32	32	35.20
ISO 46	46	50.60
ISO 68	68	74.80
ISO 100	100	110.00
ISO 150	150	165.00
ISO 220	220	242.00
ISO 320	320	352.00
ISO 460	460	506.00
ISO 680	680	748.00
ISO 1000	1,000	1,100.00
ISO 1500	1,500	1,650.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น

ความหนืดเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญที่สุดของน้ำมันหล่อลื่น การที่น้ำมันมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม จึงใช้เป็นเครื่องบ่งชี้ได้ทางหนึ่งว่าน้ำมันนั้นมีสภาพเหมาะสมสำหรับการใช้งานต่อไปได้อีกหรือไม่ความหนืดที่ใช้ในการเปรียบเทียบส่วนใหญ่จะวัดที่อุณหภูมิ 40°C หรือ 100°C โดยวิธี ASTM D-445

ปัจจัยที่ทำให้น้ำมันข้นขึ้น ได้แก่

- ตัวเนื่อน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเสื่อมสภาพไปมาก สาเหตุนี้จะทำให้ค่าความ เป็นกรดรวมของน้ำมันสูงขึ้นด้วย
- มีสิ่งสกปรก เช่น ฝุ่นละอองหรือเขม่า (จากการเผาไหม้ - น้ำมันเครื่องยนต์) และเศษโลหะ จากการสึกหรอและสิ่งสกปรกอื่น ๆ สาเหตุนี้จะทำให้ค่าตะกอนในน้ำมันสูงขึ้นด้วย
- น้ำมันถูกใช้งานที่อุณหภูมิสูงมากตลอดเวลา (เช่น ใช้เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายความร้อนใน เตาอบปลาป่น) ของเบาระเหยหายไปบางส่วน
- มีน้ำเข้ามาปะปนในปริมาณที่มากพอและเกิดการผสมเข้าหากันเป็นลักษณะเหมือนน้ำมัน

ปัจจัยที่ทำให้น้ำมันใสลง ได้แก่

- มีการเจือปนของน้ำมันที่ใสกว่า เช่น พวกเชื้อเพลิงหรือน้ำมันที่ใสกว่าเดิมมาผสม
- เกิดการเสื่อมสลายตัวของสารเคมีเพิ่มค่าดัชนีความหนืด (ในน้ำมันพวกมัลติเกรด และน้ำมัน เกียร์อัตโนมัติบางตัว)

## 2.6 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กันในปัจจุบันนี้ส่วนมากเป็นพวกน้ำมันแร่ (Mineral oil) ซึ่งเป็น ผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันดิบพวกที่เป็นน้ำมันสังเคราะห์ (Synthetic oil) ก็มีใช้อยู่บ้าง แต่เป็น จำนวนน้อยและใช้ในงานพิเศษๆ เท่านั้น ในที่นี้จะขอกกล่าวเฉพาะการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น ชนิดน้ำมันแร่เท่านั้น

น้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดถูกออกแบบและผลิตมาให้เหมาะสมกับงานแต่ละชนิด ซึ่งประกอบ ไปด้วยการนำน้ำมันพื้นฐานที่มีความหนืดเหมาะสมมาเติมสารเพิ่มคุณภาพ เพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษ เหมาะสมกับการใช้งานเช่น สารต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารป้องกันการสึกหรอ สารป้องกัน สนิม สารรับแรงกดสูง เป็นต้น ซึ่งเมื่อมีการใช้งานน้ำมันไปแล้ว คุณภาพต่างๆของ น้ำมันจะลดลงจน ไม่เหมาะกับการใช้งานโดยการเกิดการเสื่อมสภาพมีจากหลายสาเหตุ ดังนี้

1. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่น ตามปกติน้ำมันจะมีการเติมสารเพิ่ม คุณภาพป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอยู่แล้วหากสารนี้ถูกใช้หมดไปหรือเสื่อมสภาพ น้ำมันหล่อลื่น ก็จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ เมื่อน้ำมันมีการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนใน อากาศจะเกิดเป็นสารประเภทกรดและคราบยางเหนียวปฏิกิริยานี้จะเกิดได้เร็วถ้าอุณหภูมิสูง น้ำมันหล่อลื่นจะเสื่อมสภาพเกิดความเป็นกรด ความหนืดเพิ่ม ถ้าความเป็นกรดมีสูงจะทำให้เนื้อ น้ำมันเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เกิดยางเหนียวเกาะตามร่องรูทางผ่านของน้ำมันหล่อลื่นและเกิดการกัด กร่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารเพิ่มคุณภาพถูกใช้หมดไปหรือเสื่อมสภาพ เมื่อมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นเป็นระยะเวลาสั้น สารเพิ่มคุณภาพจะถูกใช้หมดไปหรือเสื่อมสภาพ หรืออาจจะมีการเปลี่ยนเป็นสารอื่นที่ไม่ช่วยเพิ่มคุณภาพนั้นอีกต่อไปทำให้น้ำมันหล่อลื่นไม่มีคุณสมบัติที่พอที่จะทำงานได้อีกต่อไป

3. มีสิ่งสกปรกจากภายนอกเข้าไปปนเปื้อนอยู่ในระบบ สารปนเปื้อนที่เมื่อเข้าไปปะปนกับระบบ อาจทำให้เกิดความเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น เช่น น้ำ เมื่อมีการปนเปื้อนเข้าไปของน้ำ อุณหภูมิของน้ำจะเข้าไปแทรกตัวในเนื้อน้ำมัน ทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีลักษณะขาว ขุ่น ความหนืดจะเปลี่ยนไปทำให้ไม่เหมาะสมที่จะใช้งานได้อีกต่อไป เศษโลหะ เมื่อมีเศษโลหะเป็นปริมาณมากในเนื้อน้ำมัน เศษโลหะจะไปขัดกับผิวโลหะของเครื่องจักร ทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องจักรเกิดขึ้น น้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อน้ำมันเชื้อเพลิง เข้าไปปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นจะทำให้จุดวาบไฟของ น้ำมันหล่อลื่นลดลง ทำให้อาจเกิดอันตรายได้ รวมถึงความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นก็จะลดลงด้วย

### ปฏิกิริยาออกซิเดชันของ น้ำมันหล่อลื่น

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่น คือ น้ำมันหล่อลื่นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ เมื่อน้ำมันมีการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะเกิดเป็นสารประเภทกรดและคราบยางเหนียว ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้เร็วถ้าอุณหภูมิสูง น้ำมันหล่อลื่นจะเสื่อมสภาพเกิดความเป็นกรด ความหนืดเพิ่ม ถ้าความเป็นกรดมีสูงจะทำให้เนื้อน้ำมันเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เกิดยางเหนียวเกาะตามร่องรูทางผ่านของน้ำมันหล่อลื่น และในที่สุดอาจเกิดการกัดกร่อนเนื้อโลหะในเครื่องจักร

## 2.7 ทฤษฎีเกี่ยวกับตัวทำละลาย

### 2.7.1 คุณสมบัติของตัวทำละลาย

1. สามารถละลายสารที่ต้องการได้มาก และละลายสิ่งเจือปนได้ง่าย
2. มีจุดเดือดต่ำ ระเหยง่าย จึงแยกออกจากสารที่สกัดได้ง่าย
3. ไม่ทำปฏิกิริยากับสารที่ต้องการแยก
4. หาง่าย ราคาถูก

การละลายของสารละลายจะเป็นไปตามกฎของ "Like dissolves like" คือ สารที่ไม่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ส่วนสารที่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว ดังนั้นเราสามารถวัดความเป็นขั้วของตัวทำละลายได้จาก

1. Dipole moment
2. Dielectric constant
3. Miscibility with water

สารที่มีค่า dipole moment และ dielectric constant สูงมักมีความเป็นขั้วมาก ส่วนสารที่มีค่า dipole moment และค่า dielectric constant ต่ำ จัดเป็นสารที่ไม่มีขั้ว และ สารที่สามารถละลายน้ำได้ก็จัดเป็นสารที่มีขั้วเช่นกัน ซึ่งตัวทำละลาย แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. Polar protic
2. Dipolar aprotic
3. Non-polar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Polar protic solvents

Protic หมายถึง H-atom ที่เข้าทำปฏิกิริยากับ Electronegative atom ซึ่งโดยส่วนมากแล้ว Electronegative atom มักจะเป็นอะตอมของออกซิเจน ในอีกความหมายหนึ่ง Polar protic solvents คือ สารประกอบแอลคิลไฮดรอกซิล ที่มีสูตรทั่วไปเป็น ROH ความเป็นขั้วของ Polar protic solvents ได้มาจากหมู่ไฮดรอกซิล (OH<sup>-</sup> group) ตัวอย่างของตัวทำละลายประเภทนี้ เช่น water (H<sub>2</sub>O), methanol (CH<sub>3</sub>OH) และ acetic acid (CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>H)

## Dipolar Aprotic Solvents

Aprotic หมายถึง โมเลกุลที่ไม่มีหมู่ไฮดรอกซิล (OH<sup>-</sup> group) อยู่ในโครงสร้าง ตัวทำละลายประเภทนี้มักจะมีพันธะ dipole ขนาดใหญ่อยู่ เช่น โมเลกุลที่มีพันธะเดี่ยวของอะตอมคาร์บอนกับออกซิเจน (C-O) หรือ พันธะเดี่ยวของอะตอมคาร์บอนกับไนโตรเจน (C-N) ซึ่ง Dipolar aprotic solvents ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยพันธะคู่ของอะตอมคาร์บอนกับออกซิเจน (C=O) ตัวอย่างของตัวทำละลายประเภทนี้ เช่น acetone [(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>C=O] และ ethyl acetate (CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)

## Non-Polar Solvents

ตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว จัดเป็นสารที่มีค่า Dielectric constants ต่ำ และไม่สามารถละลายได้ในน้ำ ตัวอย่างของตัวทำละลายประเภทนี้ เช่น benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), carbon tetrachloride (CCl<sub>4</sub>) diethyl ether (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OCH<sub>2</sub>CH<sub>3</sub>)

### 2.7.2 สมบัติของตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลอง

ตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองนี้จะเป็นตัวทำละลายพวกเอสเทอร์ซึ่งได้แก่

1. Ethyl acetate
2. Ethyl propionate
3. Ethyl Butyrate
4. Tetrahydrofuran (THF)

ตัวทำละลายแต่ละตัวนั้นจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามโครงสร้างที่แตกต่างกันของสายโซ่ที่ต่อกับหมู่ฟังก์ชันซึ่งจะทำให้ตัวทำละลายแสดงสภาพความเป็นขั้วและความแรงของขั้วที่แตกต่างกันออกไปด้วยรวมถึงชื่อของสารละลายก็มีการเรียกที่แตกต่างกันออกไปดังจะแสดงดังนี้

สมบัติทั่วไปของตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท [5]

ชื่อเรียกอื่นๆ	Acetic ether; Acetic acid ethyl ester; Vnegar naphtha; Ethyl acetic ester; Ethyl ethanoate; Acetidin
สูตรโมเลกุล	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>
คุณลักษณะ	ของเหลวมีกลิ่นคล้ายผลไม้ ไม่มีสี ระเหยได้ ติดไฟง่าย
จุดหลอมเหลว	-83.6 °C
จุดเดือด	77 °C
ความหนาแน่น	0.902 g/ cm <sup>3</sup>
จุดวาบไฟ	-4 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทั่วไปของตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท [6]

ชื่อเรียกอื่นๆ	Ethyl propionate
สูตรโมเลกุล	$C_5H_{10}O_2$
คุณลักษณะ	ของเหลว ไม่มีสี
จุดหลอมเหลว	$-73.6\text{ }^{\circ}\text{C}$
จุดเดือด	$98.9\text{ }^{\circ}\text{C}$
ความหนาแน่น	$0.884325\text{ g/cm}^3$
จุดวาบไฟ	$12\text{ }^{\circ}\text{C}$

สมบัติทั่วไปของตัวทำละลายเอทิลบิวทิเรท [7]

ชื่อเรียกอื่นๆ	Ethyl n-butanoate, Ethyl n-butyrate, Butanoic acid ethyl ester, Butyric acid ethyl ester, Butyric ether
สูตรโมเลกุล	$C_6H_{12}O_2$
คุณลักษณะ	ของเหลวใส ไม่มีสี กลิ่นฉุน
จุดหลอมเหลว	$-93\text{ }^{\circ}\text{C}$
จุดเดือด	$120 - 121\text{ }^{\circ}\text{C}$
ความหนาแน่น	$0.879\text{ g/cm}^3$
จุดวาบไฟ	$26\text{ }^{\circ}\text{C}$

สมบัติทั่วไปของตัวทำละลายเทระไฮโดรฟูเรอ [8]

ชื่อเรียกอื่นๆ	THF, Tetrahydrofuran, 1,4-Epoxybutane, Butylene oxide, Cyclotetramethylene oxide, Oxacyclopentane, Diethylene oxide, Furanidine, Hydrofuran, Tetra-methylene oxide
สูตรโมเลกุล	$C_4H_8O$
คุณลักษณะ	ของเหลวใส ไม่มีสี
จุดหลอมเหลว	$-108.4\text{ }^{\circ}\text{C}$
จุดเดือด	$66\text{ }^{\circ}\text{C}$
ความหนาแน่น	$0.8892\text{ g/cm}^3$
จุดวาบไฟ	$-14\text{ }^{\circ}\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rincon, J. และคณะ (2003) [9] ศึกษาการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย propane ซึ่งเป็นของเหลว และเป็น supercritical ได้ถูกใช้เป็นตัวทำละลายในการรีไซเคิล น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุถึงสภาวะของกระบวนการที่ดีที่สุดเพื่อใช้ในการแยก base oil ออกมา และพัฒนาเป็นน้ำมันหล่อลื่นใหม่โดยที่ไม่ต้องการให้เกิดการออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์ และสารประกอบของโลหะ นั่นคือต้องการศึกษาอิทธิพลของความดัน ( $30-60 \text{ kg/cm}^2$ ) และอุณหภูมิ ( $20-140^\circ\text{C}$ ) ที่มีต่อประสิทธิภาพของการแยกและผลผลิตที่ได้ พบว่าในช่วงของความดันที่ใช้วิเคราะห์แทบจะไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตและการกำจัดสารประกอบของโลหะเลย แต่มีผลกับการแยกผลิตภัณฑ์ที่ถูกออกซิไดซ์โดยจะมีการแยกที่ดีที่ความดันต่ำ ในด้านของอุณหภูมิ (ขณะที่มีการให้ความดันด้วย) ก็เช่นเดียวกัน คือพบว่าผลผลิตที่ได้จากการสกัดจะไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ราบเท่าที่ทำละลาย propane ยังคงเป็นสารละลายอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นที่ความดันคงที่จะทำให้ตัวทำละลาย propane กลายเป็นก๊าซ หรือ เป็น supercritical fluid ผลผลิตที่ได้จากการสกัดจะลดลง ทั้งนี้มีผลมาจากความหนาแน่นนั่นคือ ยิ่งตัวทำละลาย propane ความหนาแน่นสูงก็จะทำให้ได้ผลผลิตจากการสกัดเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้มีการกำจัดสารประกอบของโลหะและสารประกอบของการออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น และสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย propane คือ ที่ความดัน  $30 \text{ kg/cm}^2$  และอุณหภูมิ  $90^\circ\text{C}$

Rincon, J. และคณะ (2005) [10] ศึกษาการนำน้ำมันหล่อลื่นกลับมาใช้ใหม่โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมชนิดมีขั้ว ได้ทำการเลือกหาสัดส่วนองค์ประกอบที่เหมาะสมของตัวทำละลายเพื่อใช้ในการสกัด base oil จากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยตัวทำละลายผสมประกอบด้วย methyl ethyl ketone (MEK) และ 2-propanol ผลการสกัดที่ดีที่สุดได้เมื่อสัดส่วนของ 2-propanol/ MEK เป็น 3 g/g อย่างไรก็ตามตัวทำละลายนี้ยังไม่สามารถกำจัดโลหะและผลิตภัณฑ์ที่ถูกออกซิไดซ์ได้อย่างสมบูรณ์ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้มีการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณเล็กน้อย (1-7 g/kg ของตัวทำละลาย) ลงในตัวทำละลายผสม โดยพบว่าโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 g/kg ของตัวทำละลายจะให้ผลดีที่สุด น้ำมันที่ได้จากการกลั่นแบบสูญญากาศซึ่งผ่านการบำบัดด้วยตัวทำละลายผสมที่มีอัตราส่วนของ 2-propanol/MEK เป็น 3 g/g และมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 g/kg ของตัวทำละลาย มีความคล้ายคลึงกับน้ำมันบริสลูธ SN-130 อย่างมาก

Rincon, J. และคณะ (2005) [11] ศึกษาการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยการสกัดของตัวทำละลายมีขั้ว [3] การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งในการรีไซเคิลน้ำมันใช้แล้ว โดยมีการใช้ตัวทำละลายบางตัว เช่น 2-propanol , 2-butanol , 2-pentanol , methyl ethyl ketone และ methyl n-propyl ketone โดยคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้จะประเมินจากการวัดความเข้มข้นของโลหะพอลิเมอร์และสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันที่สกัดได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลผลิตที่ได้จากการสกัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันจนถึงจุดที่ทั้งสองตัวเกิดเสถียรภาพ เมื่อเปรียบเทียบแอลกอฮอล์และคีโตนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเท่ากันนั้นมีผลผลิตที่ได้จากการสกัดปริมาณค่อนข้างใกล้เคียงกัน และผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเมื่อตัวทำละลายมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น ในทางกลับกันพบว่าโลหะและสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะถูกกำจัดได้พอๆ สำหรับแอลกอฮอล์ และคีโตนที่มีจำนวนคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ควรกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะตอมเท่ากันแต่แอลกอฮอล์จะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าคีโตนเมื่อพิจารณาถึงการกำจัดสารเติมแต่งที่เป็นพอลิเมอร์ จากผลที่ได้สามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความหนืด ความเข้มข้นของสารเติมแต่ง และความแตกต่างระหว่าง solubility parameter ของแต่ละองค์ประกอบ

ปิยะนุช จันทวสุ และคณะ [12] ในปี พ.ศ. 2548 ศึกษาการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ได้แก่ 1-butanol, 1-pentanol, n-hexanol และ cyclohexanol จากการทดลองพบว่า ตัวทำละลายที่ดีที่สุดคือ 1-butanol เพราะตัวทำละลายชนิดนี้ สามารถแยกไฮโดรคาร์บอนหนักออกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้มากที่สุด สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 4:1 อุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  และเวลา 5 วัน

พรพรรณ วุฒิสารพัฒนา และคณะ [13] ในปี พ.ศ.2549 ศึกษาการผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆ ได้แก่ 2-propanol และ methyl ethyl ketone ร่วมกับการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จากการทดลองพบว่า สำหรับตัวทำละลาย 2-propanol สภาวะในการสกัดที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเป็น 9:1 อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  และความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร สำหรับตัวทำละลาย methyl ethyl ketone สภาวะในการสกัดที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนระหว่างตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 1:1 อุณหภูมิ  $30^{\circ}\text{C}$  และความเข้มข้นโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 10 กรัมต่อลิตร โดยน้ำมันดีเซลที่ผสมกับน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วย methyl ethyl ketone ในอัตราส่วน 98:2 จะให้ค่าความหนืดและจุดวาบไฟใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลบริสุทธิ์

จุฑามาศ สาสยากุลม และคณะ [14] ในปี พ.ศ.2549 ศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย และอัตราส่วนของน้ำมันดีเซลและน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้ว เพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลบริสุทธิ์ โดยน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว นำมาสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดมีขั้วทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ pentanol, isopentanol และ Hexanol ในอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นต่อตัวทำละลายต่างๆ ณ อุณหภูมิห้อง และเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่ต่างกัน หลังจากนั้นนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สามารถสกัดได้มาผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่แตกต่าง พร้อมนำไปตรวจสอบคุณภาพน้ำมัน จากผลที่ได้ทำให้สามารถสรุปได้ว่า น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่สกัดด้วยตัวทำละลาย pentanol ในอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย 1:4 และมีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 2 g/L ให้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ดีที่สุด ซึ่งเมื่อนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 5:95 ทำให้ได้ค่า ความหนืด ค่าความร้อน และจุดวาบไฟ อยู่ในเกณฑ์การใช้งาน

Vineet K. and Sattar H. (2010) [15] ศึกษาการบำบัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายราคาถูก และมีประสิทธิภาพในกระบวนการบวกรสกัด ได้แก่ 1-butanol, methyl ethyl ketone (MEK), methyl isobutyl ketone (MIBK) และ 2-propanol ที่อัตราส่วนต่อน้ำมันหล่อลื่น และอุณหภูมิแตกต่างกัน ได้แก่ 20, 30, 40, 48, 50 และ  $52^{\circ}\text{C}$  จากการทดลองพบว่า 1-butanol สกัดได้ตะกอนมากที่สุด ตามด้วย methyl ethyl ketone (MEK), methyl isobutyl ketone (MIBK) และ 2-propanol เป็นอันดับสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ketone (MIBK) และ 2- propanol โดย MEK เป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพราะได้เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่สูญเสียขณะการสกัดน้อยที่สุด ตามด้วย 2- propanol, 1-butanol และ MIBK และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการสกัดมากขึ้น เปอร์เซ็นต์ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่สูญเสียขณะการสกัดจะน้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

1. น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว จากสถานีเปลี่ยนน้ำมันเครื่อง
2. เอทิล อะซิเตท ( $C_4H_8O_2$ ) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท ITALMAR
3. เอทิล โพรพาโนเอท ( $C_5H_{10}O_2$ ) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท ITALMAR
4. เอทิล บิวทิเรท ( $C_6H_{12}O_2$ ) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท ITALMAR
5. เทตระไฮโดรฟูเรน ( $C_4H_8O$ ) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท ITALMAR
6. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เกรดวิเคราะห์จากบริษัท S.R. Lab
7. Charcoal Activated Carbon เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท ITALMAR
8. Silica 99.8% ( $SiO_2$ ) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท ITALMAR
9. Aluminum Oxide 90 active neutral (activity stage I) ( $Al_2O_3$ ) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท ITALMAR

#### 3.2 อุปกรณ์

1. ปีกเกอร์ ขนาด 150 mL 600 mL
2. กระจกบอทดวง ขนาด 500 mL
3. กระจกบอทดวง ขนาด 100 mL
4. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
5. เครื่องปั่นกวนและให้ความร้อน (Stirrer and Heater rod)
6. ตู้อบ (Oven)
7. ขวดก้นกลม (Round bottom flask)
8. เครื่องกลั่นระเหยสารสูญญากาศแบบหมุน (Rotary Evaporator)
9. Adiabatic Bomb Calorimeter รุ่น C-5000
10. Ostwald Viscometer
11. GAY LUSSAC Pycnometer ขนาด 10 mL
12. Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) รุ่น SPECTRUM GX
13. UV- Visible Spectrophotometer รุ่น Evolution 201

#### 3.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้จะแบ่งการศึกษออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ การสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย และการนำน้ำมันที่สกัดได้มาผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ ที่อัตราส่วนที่เหมาะสม และวิเคราะห์หาสมบัติพื้นฐานที่สำคัญ ซึ่งในแต่ละส่วนของการทดลองนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลที่ได้อีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตอนที่ 1 การสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย

### 1.1 ขั้นตอนในการทดลองหาอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย

#### วิธีการทดลอง

1. ตวงและชั่งน้ำหนักน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ตัวทำละลาย ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.1 ใส่ในบีกเกอร์ และเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 1% ของน้ำหนักน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยทำการละลายในตัวทำละลายก่อน แล้วจึงผสมกับน้ำมันที่เตรียมไว้
2. ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที
3. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์
4. ทำการกรองเพื่อแยกสารละลายออกจากตะกอนด้วยชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
5. นำตะกอนที่ได้ และบีกเกอร์ที่มีตะกอนติดอยู่เข้าตู้อบเพื่อระเหยตัวทำละลายและความชื้นที่อุณหภูมิ 125 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้
6. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งจากสมการที่ 3.1
7. ส่วนของน้ำมันซึ่งมีตัวทำละลายปนอยู่ จะถูกนำไปแยกด้วยวิธีการกลั่นแบบสุญญากาศ ด้วยเครื่องกลั่นสุญญากาศแบบหมุน จะทำให้ได้น้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้วกับตัวทำละลายที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่
8. ทำการเลือกตัวทำละลาย 2 ชนิด จากเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้ง โดยควรเป็นอัตราส่วนที่ให้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งมากที่สุด

เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้ง โดยคำนวณจาก

$$\frac{\text{น้ำหนักของตะกอนที่สกัดได้หลังจากระเหยตัวทำละลายแล้ว (g)}}{\text{น้ำหนักของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัด (g)}} \times 100 \quad (3.1)$$

#### ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย

ชนิดตัวทำละลาย	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย (โดยปริมาตร)	ปริมาณ KOH (โดยน้ำหนัก)
Ethyl acetate	1:1	1%
Ethyl propanoate	1:2	
Ethyl butyrate	1:3	
	1:4	
THF	1:5	

## 1.2 ขั้นตอนในการทดลองหาปริมาณการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

### วิธีการทดลอง

1. เลือกสภาวะที่ได้จากการหาอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายที่ดีที่สุดที่ 2 ชนิด (จากขั้นที่ 1.1)
2. ตวงและชั่งน้ำหนักน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและตัวทำละลายตามอัตราส่วนของสภาวะที่เลือก
3. หลังจากนั้นเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปตามปริมาณที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.2 โดยทำการละลายในตัวทำละลายก่อน แล้วจึงผสมกับน้ำมันที่ เตรียมไว้
4. ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที
5. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์
6. ทำการกรองเพื่อแยกสารละลายออกจากตะกอนด้วยชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
7. นำตะกอนที่ได้ และบีกเกอร์ที่มีตะกอนติดอยู่เข้าตู้อบเพื่อระเหยตัวทำละลายและความชื้น ที่อุณหภูมิ 125 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้
8. คำนวณหาร้อยละตะกอนแห้งจากสมการที่ 3.1
9. ส่วนของน้ำมันซึ่งมีตัวทำละลายปนอยู่ จะถูกนำไปแยกด้วย เครื่องกลั่นสุญญากาศแบบหมุนจะทำให้ได้น้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้วกับตัวทำละลายที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่
10. ทำการเลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุดจากร้อยละตะกอนแห้ง โดยควรเป็นอัตราส่วนที่ให้ปริมาณตะกอนแห้งมากที่สุด

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลองหาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

ชนิดตัวทำละลาย	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย (โดยปริมาตร)	ปริมาณ KOH (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
ตัวทำละลายที่ให้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งมากเป็นอันดับที่ 1	อัตราส่วนของสภาวะที่ดีที่สุด	0
		1
		2
		3
		3
ตัวทำละลายที่ให้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งมากเป็นอันดับที่ 2		0
		1
		2
		3
		3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตอนที่ 2 การนำน้ำมันที่สกัดได้มาผ่านการดูดซับด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ ที่อัตราส่วนที่เหมาะสม

### 2.1 ขั้นตอนในการทดลองหาชนิดตัวดูดซับที่เหมาะสม

#### วิธีการทดลอง

1. น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและตัวทำละลายตามอัตราส่วนของสภาวะที่ดีที่สุดที่ 2 ชนิด (จากขั้นที่ 1.2)
2. หลังจากนั้นเติมตัวดูดซับแต่ละชนิดที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.3 โดยเติม ปริมาณ 5% ของน้ำหนักน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและตัวทำละลายตามอัตราส่วนของสภาวะที่ดีที่สุดที่ 2 ชนิด
4. ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที
5. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการกระบวนการดูดซับอย่างสมบูรณ์
6. ทำการกรองเพื่อแยกสารละลายออกจากตัวดูดซับด้วยชุดเครื่องกรองแบบลดความดัน
7. ถ้าหากสารละลายมีความหนืดมากเกินไป สามารถเติมตัวทำละลายอื่นๆ ได้
8. ส่วนของน้ำมันซึ่งมีตัวทำละลายปนอยู่ จะถูกนำไปแยกด้วย เครื่องกลั่นสุญญากาศแบบหมุนจะทำให้ได้น้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้วกับตัวทำละลายที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่
9. นำน้ำมันหล่อลื่นไปวัดสีโดยใช้เครื่อง UV- Visible Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 850 nm เพื่อดูความเข้มของสี

ตารางที่ 3.3 สภาวะที่ใช้ในการทดลองหาชนิดตัวดูดซับที่เหมาะสม

ชนิดตัวทำละลาย	ชนิดตัวดูดซับ	ปริมาณตัวดูดซับ (โดยน้ำหนัก)
Ethyl acetate	Activated carbon	5 %
	Silica	
	Alumina	
Ethyl propanoate	Activated carbon	
	Silica	
	Alumina	

### ตอนที่ 3 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพพื้นฐานที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่น

#### 3.1 การหาค่าความร้อน

ใช้เพื่อหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเหลว โดยใช้เครื่อง Adiabatic Bomb Calorimeter รุ่น C-5000

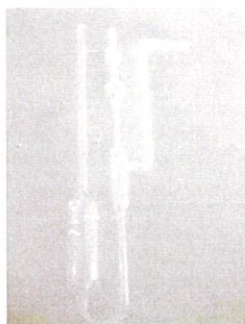


รูปที่ 3.1 เครื่อง Adiabatic Bomb Calorimeter รุ่น C-5000

1. เปิดเครื่อง วาล์วแก๊สออกซิเจน วาล์วควบคุมความดัน และทำการตั้งค่าเครื่อง Adiabatic Bomb Calorimeter รอจนเครื่องพร้อมทำงานเป็นเวลา 20 นาที
2. ชั่งตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นซึ่งเติมลงในถ้วย Bomb น้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม
3. ผูกด้ายจุดไฟกับขาเหล็กของชุด Bomb แล้วใส่ถ้วย Bomb ที่ใส่ตัวอย่างลงกับชุด Bomb โดยให้ด้ายจุดไฟยื่นลงไปถ้วย Bomb แล้วนำทั้งชุดใส่ลงในแก้ว Bomb
4. ป้อนน้ำหนักของตัวอย่างที่อยู่ในถ้วย Bomb ลงในโปรแกรมของเครื่อง นำแก้ว Bomb ใส่ลงในเครื่อง
5. เมื่อทำการ Bomb เสร็จแล้วจะมีสัญญาณเตือน พร้อมแสดงค่าความร้อนของตัวอย่างนั้นๆ และเครื่องจะพิมพ์ข้อมูลออกมา
6. เมื่อทำตัวอย่างตัวต่อไป ให้นำแก้ว Bomb ออกจากเครื่อง Bomb Calorimeter แล้วเริ่มตามขั้นตอนที่ 2-6 อีกครั้ง

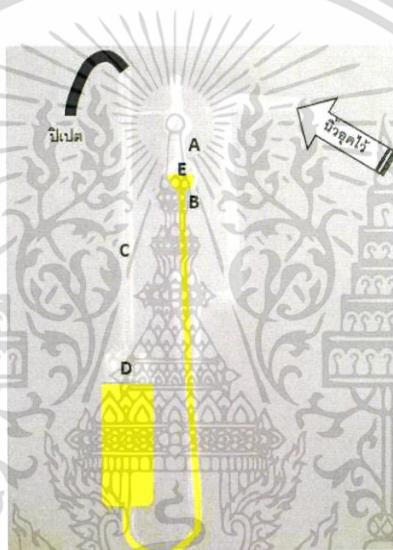
#### 3.2 ความหนืด (Kinematic test)

โดยใช้เครื่องมือออสท์วาลด์ วิสโคมิเตอร์ (Ostwald Viscometer) วัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.2 เครื่องมือ Ostwald Viscometer ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ล้าง Ostwald Viscometer ให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นให้สะอาด 2-3 ครั้ง
- เช็ดผิวแก้วด้านนอกของ Viscometer ให้แห้ง แล้วทำให้ผิวด้านในแห้งโดยการล้างด้วยอะซิโตน ด้วยปริมาณ ครั้งละน้อย ๆ สองครั้ง จากนั้นเป่าด้วยอากาศเย็นเพื่อให้อะซิโตนระเหยออกจนหมด
- เตรียมตัวอย่างในความเข้มข้นต่างๆ โดยเตรียมน้ำหนักน้ำมันหล่อลื่นต่อตัวทำละลาย เฮกเซน 100 mL ดังนี้ 4 g/100 mL, 2 g/100 mL, 1 g/100 mL, 0.5 g/100 mL และ ทำละลายเฮกเซนอย่างเดียวกันที่ 100 mL
- ยัด Viscometer ให้แน่นและอยู่ในตำแหน่งคงที่ จากนั้นปีเปิดสารละลายตัวอย่างที่เตรียมใส่ลงใน Viscometer ทางปลาย C แล้วดูสารละลายตัวอย่างไปจนเลยระดับ A เล็กน้อย ถ้าระดับ สารละลายตัวอย่างที่ปลายอีกข้างหนึ่งยังไม่ถึงระดับล่างของกระเปาะ D ให้ปีเปิดสารละลายตัวอย่างลงไปอีก จนระดับของสารละลายอยู่ที่ระดับล่างของกระเปาะ D



รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งในการทดลองวัดค่าความหนืดโดยใช้ Ostwald Viscometer

- จับเวลาที่สารละลายตัวอย่างนี้ไหลจากระดับ A ถึงระดับ B ของกระเปาะ E แล้วทำซ้ำอีกสองครั้ง เวลาที่สารละลายตัวอย่างไหลจาก ระดับ A ถึงระดับ B เรียกว่าอัตราการไหล (Flow time) ของของเหลว
- เมื่อเสร็จสิ้นการทดลองให้ทำการล้าง Viscometer ด้วยสารละลายเมทานอล หรือ สารละลายเฮกเซน หลาย ๆ ครั้ง เพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายตัวอย่างแห้งติดค้างอยู่ภายใน Viscometer

### 3.3 ความหนาแน่น (Density test)

โดยใช้เครื่องมือเกย์ลุสแซค พิคโนมิเตอร์ ( GAY LUSSAC Pycnometer) วัดความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่องมือ GAY LUSSAC Pycnometer

1. ชั่งน้ำหนักขวดพิคโนมิเตอร์ (100 mL) และจดบันทึกน้ำหนัก
2. ดึงที่เสียบแทงแก้วออกแล้วเติมสารที่ต้องการวัดลงไปให้เต็มขวดพิคโนมิเตอร์
3. เสียบแทงแก้วลงไปซึ่งจะทำให้สารล้นออกมาให้เช็ดด้านนอกขวดที่สารล้นออกมาให้สะอาดและแห้งที่สุดจากนั้นก็นำไปชั่งและจดน้ำหนักไว้

### 3.4 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดและการดูดซับด้วยเทคนิค FT-IR โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) รุ่น SPECTRUM GX



รูปที่ 3.5 เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) รุ่น SPECTRUM GX

1. เปิดเครื่อง UPS และเครื่อง Computer เข้าโปรแกรมควบคุมการ Run คือ Spectrum (สัญญาณช่อง 7 สี)
2. เมื่อเข้าสู่โปรแกรมควบคุมจะปรากฏหน้าจอขึ้น Please enter your login details ให้ Click OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. คลิกเมนู INSTRUMENT ด้านบน เลือก Scan Background เครื่องจะขึ้น Instrument Initialization is required Initialize? ให้ Click Yes แล้วรอนกระทั่งหน้าต่าง Scan Background ปรากฏออกมา(ห้ามClick ที่ Halt เด็ดขาดเพราะเป็นการสั่ง Stop)
4. เมื่อหน้าต่าง Scan background ปรากฏออกมา ให้ตั้งค่าสัญญาณที่จะ Scan เป็น Single beam(เป็นวงกลมสีดำหน้าข้อความ)พร้อมทั้งตั้งชื่อ File ที่จะเก็บข้อมูลของการ Scan และให้ตั้งค่าใน Parameters ต่างๆได้แก่
  - Range คือช่วงความยาวคลื่นของการ Scan ตั้งเป็น  $4000-400\text{cm}^{-1}$
  - Number of scan คือจำนวนรอบของการ Scan ตั้งเป็น 6
  - Resolution คือ ความละเอียดของสัญญาณการ Scan เป็น 4
 เมื่อตั้งค่าเรียบร้อยแล้วให้เปิดเช็คดูภายในช่องที่ใส่ Sample ต้องไม่มี Sample วางอยู่ ให้ Click ที่ OK เครื่องจะทำการ Scan Background
5. ให้ Calibration เครื่องก่อนโดยใช้ฟิล์ม Polystyrene เป็น Standard โดยใส่เสียบลงไป ในช่อง Sample Compartment ปิดฝาเครื่อง FT-IR ให้เรียบร้อย แล้วคลิกเมนู INSTRUMENT ด้านบน เลือก Save Sample หน้าต่าง Scan Sample ปรากฏออกมา ให้ตั้งค่าสัญญาณที่จะ Scan เป็น Ratio(เป็นวงกลมสีดำหน้าข้อความ)คือการหักค่า Background ออกพร้อมทั้งตั้งชื่อ File ที่จะเก็บข้อมูลของการ Scan และให้ตั้งค่าใน Parameters ต่างๆ ได้แก่
  - Range คือช่วงความยาวคลื่นของการ Scan ตั้งเป็น  $4000-400\text{cm}^{-1}$
  - Number of scan คือจำนวนรอบของการ Scan ตั้งเป็น 6
  - Resolution คือ ความละเอียดของสัญญาณการ Scan เป็น 4 เมื่อตั้งค่าเรียบร้อยแล้ว Click ที่ OK เครื่องจะทำการ Scan Standard แล้วเสร็จให้เช็คดู Spectrum ที่เครื่อง run ได้ โดยจะต้องเหมือน Spectrum ที่ติดด้านหลังเครื่องถือว่าเครื่องสอบเทียบผ่านสามารถวัด Sample ได้ ถ้าหากไม่ได้ลอง Scan Background อีกครั้งและ Polystyrene
6. หลังการ Calibrate ก็สามารที่จะทำการ Scan Sample ได้โดยการเตรียมตัวอย่างซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง แต่ที่สำคัญตัวอย่างที่นำมาตรวจจะต้องปราศจากน้ำ จะไปละลาย Window ไม่สามารถกำจัดน้ำออกจากตัวอย่างน้ำได้ก็สามารถใช้เทคนิคอื่นที่น้ำไม่มีผลกับ Sample
7. เตรียมตัวอย่าง โดยน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการทดลองมาป้ายบางๆ คล้ายฟิล์มบนแผ่น KBr จากนั้นประกบกับแผ่นแม่เหล็กอีกแผ่น
8. เมื่อเตรียมตัวอย่างเรียบร้อยแล้วนำใส่ช่องของ Sample Compartment เลื่อน Mouse คลิกที่ Instrument ด้านบน จะปรากฏหน้าจอเลือกคลิกที่ Scan Sample จะเข้าสู่หน้าต่าง Scan Sample ในส่วนของการ Scan Sample จะมี Mode
9. หลังจากสแกนได้ Spectrum แล้วให้คลิก Peaks จะมีตัวเลขบอกความยาวคลื่นในแต่ละยอดพีค
10. จากนั้นเก็บบันทึกข้อมูลที่ได้หรือสั่งพิมพ์ข้อมูลออกมาได้ เมื่อสิ้นสุดการใช้เครื่อง ให้นำแผ่น KBr มาล้างด้วยตัวทำละลายอะซิโตนเพื่อทำความสะอาดและไล่ความชื้น และจัดเก็บอุปกรณ์ให้เรียบร้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 การวัดค่าสี (Color Measurement) ด้วยเทคนิค UV- Visible spectrophotometry โดยใช้เครื่อง UV- Visible Spectrophotometer รุ่น Evolution 201



รูปที่ 3.6 เครื่อง UV- Visible Spectrophotometer รุ่น Evolution 201

1. คลิกที่ Fixed
2. คลิกที่ Setting เพื่อเลือก Parameter ต่างๆของเครื่อง เช่น Mode หรือความยาวคลื่นที่จะวัด
3. คลิกที่ Measure Fixed
4. ใส่สารละลาย Blank ลงในช่อง Sample compartment และ Reference compartment แล้วคลิก Zero ที่จอหรือกดปุ่ม Zero/Base ที่ด้านล่างหน้าจอ
5. นำสารละลาย Blank ออกจากช่อง Sample compartment แล้วนำน้ำมันหล่อลื่นตัวอย่างที่ต้องการจะวัดใส่ลงไปแทน จากนั้นคลิกที่ Measure หรือกดปุ่ม Run ที่ด้านล่างจอ เพื่อวัดค่า ซึ่งค่าที่วัดได้จะแสดงผลที่หน้าจอ
6. บันทึกค่า Color Absorption Code เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลของอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย

ในส่วนของการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายนั้นจะทำการศึกษาเกี่ยวกับความแตกต่างของชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด ดังนี้

1. เอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate)
2. เอทิลโพรพาโนเอท (Ethyl propanoate)
3. เอทิลบิวทิเรท (Ethyl butyrate)
4. เททระไฮโดรฟูเรน (Tetrahydrofuran)

ทำการทดลองสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายแต่ละชนิดโดยเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปปริมาณ 1% โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิห้อง แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งดังตารางที่ 4.1 เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งกับอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายจะได้ผล ดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.5 จากผลการทดลองที่ได้ ทำให้สามารถเลือกอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย โดยดูจากเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งที่สามารถสกัดออกมาได้มากที่สุด และความเหมาะสมของชนิดตัวทำละลาย เพื่อใช้ในการหาผลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อไป

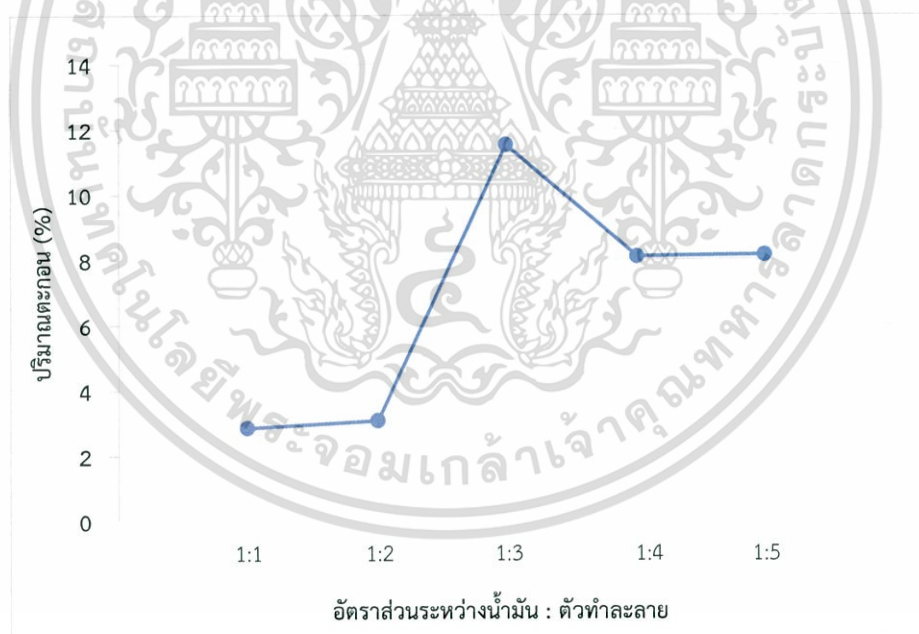
ตารางที่ 4.1 ผลของอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อตัวทำละลายชนิดต่างๆ ที่มีต่อปริมาณตะกอนแห้งที่สกัดได้จากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

ตัวทำละลาย	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ต่อตัวทำละลาย (โดยปริมาตร)	ปริมาณตะกอน (%)
Ethyl acetate	1:1	2.85
	1:2	3.08
	1:3	11.52
	1:4	8.10
	1:5	8.15
Ethyl propanoate	1:1	1.93
	1:2	15.91
	1:3	12.56
	1:4	13.80
	1:5	13.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

ตัวทำละลาย	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ต่อตัวทำละลาย (โดยปริมาตร)	ปริมาณตะกอน (%)
Ethyl butyrate	1:1	2.31
	1:2	3.36
	1:3	2.33
	1:4	2.17
	1:5	2.56
Tetrahydrofuran	1:1	0.99
	1:2	1.17
	1:3	1.56
	1:4	1.27
	1:5	1.10



รูปที่ 4.1 ปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

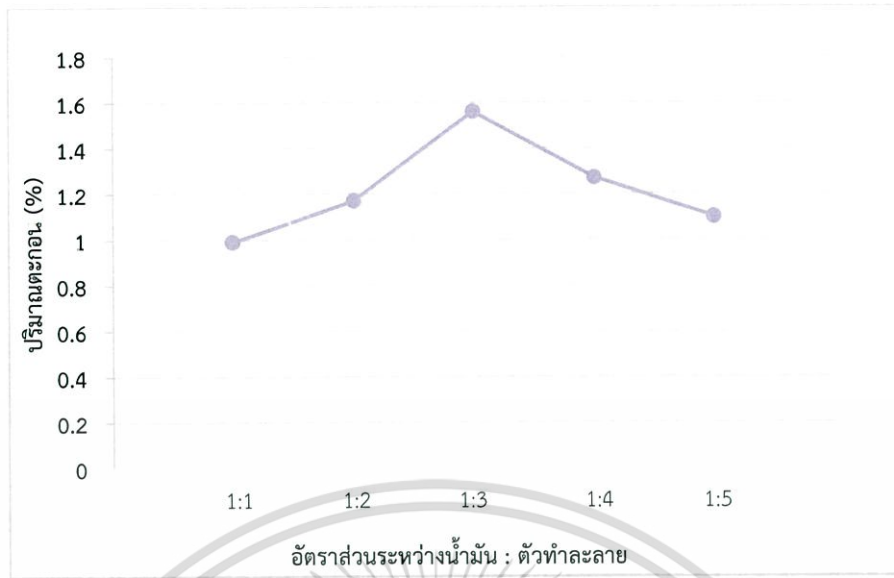


รูปที่ 4.2 ปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท (Ethyl propanoate)

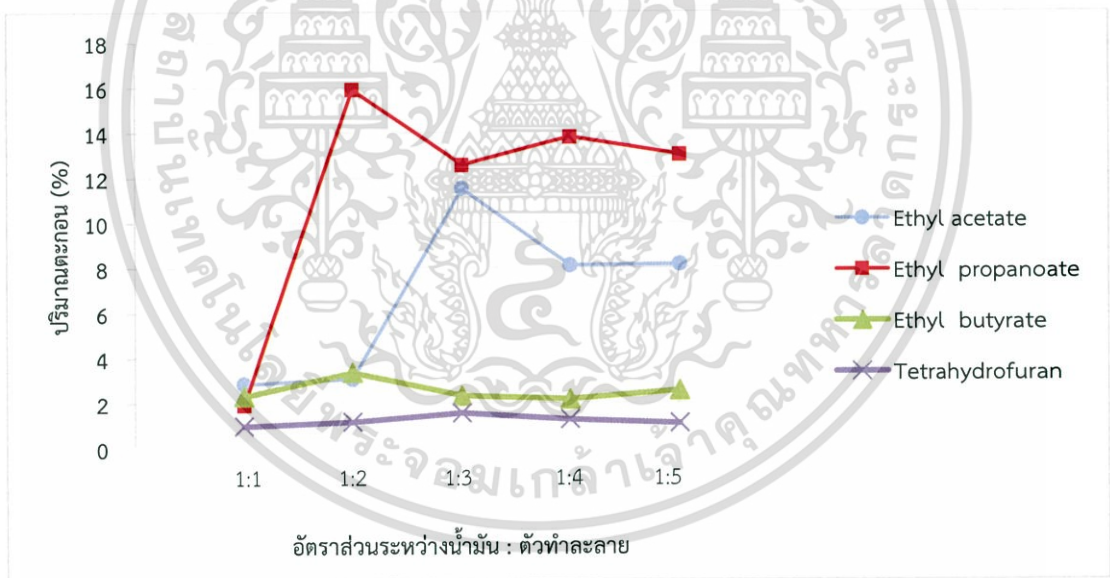


รูปที่ 4.3 ปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเอทิลบิวทิเรท (Ethyl Butyrate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเทตระไฮโดรฟูเรน (Tetrahydrofuran)



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย

จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวทำละลายและอัตราส่วนต่างๆ จะได้ปริมาณตะกอนแห่งที่แตกต่างกัน โดยเอทิลโพรพาโนเอทที่อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นต่อตัวทำละลาย 1:2 จะให้ปริมาณตะกอนแห่ง 15.91% ซึ่งเป็นปริมาณที่มากที่สุดเมื่อเทียบกับสารละลายอื่น รองลงมาเป็นตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท ที่อัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:3 โดยปริมาตร ซึ่งได้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห่ง 11.52 % สำหรับตัวทำละลายเอทิลบิวทิเรทและเทตระไฮโดรฟูเรนจะให้ปริมาณตะกอนแห่งน้อยมากโดยเอทิลบิวทิเรทสกัดตะกอนได้มากที่สุดเพียง 3.36% ที่อัตราส่วน 1:2 ขณะที่เทตระไฮโดรฟูเรนที่อัตราส่วน 1:3 ให้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนมากที่สุดเพียง 1.56% ดังนั้นถ้ามองในด้านความคุ้มค่าของการสกัดและต้นทุนของการใช้ตัวทำละลาย เอทิลอะซิเตทและเอทิลโพรพาโนเอท น่าจะเป็นตัวทำละลายที่มีความคุ้มค่า

จากผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย พบว่า การเพิ่มปริมาณตัวทำละลายจะทำให้สามารถสกัดเอาตะกอนต่างๆ ออกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้มากขึ้นทำให้ น้ำมันที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ซึ่งเกิดจากการที่ตะกอนสามารถละลายในตัวทำละลายได้มากขึ้นและเกิดการแยกออกจากน้ำมันพื้นฐานได้มากกว่า ในขณะที่เดียวกัน น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดโดยใช้อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นน้อย ๆ จะมีสีค่อนข้างดำ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้น่าจะมาจากปัจจัย 2 ประการ คือ

1. เนื่องจากในน้ำมันหล่อลื่นจะมีการเติมสารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรก (Detergent dispersant additive) ซึ่งทำหน้าที่ชะล้างสิ่งสกปรกออกจากผิวชิ้นส่วนเครื่องจักร และกระจายมิให้รวมตัวเป็นโคลนหรือตะกอน โดยมักเป็นสารประเภทเมทัลซัลเฟต (Metallic sulphate) หรือเมทัลฟอสเฟต (Metallic phosphate) [11] ดังนั้นสิ่งสกปรกจะแขวนลอยในน้ำมันหล่อลื่นโดยไม่เกิดการตกตะกอน เมื่อเติมตัวทำละลายในปริมาณที่น้อย ตัวทำละลายจะไม่สามารถเข้าไปเจือจางสารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรกเพียงพอที่จะลดความเสถียรของสิ่งสกปรกที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมันได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นสิ่งสกปรกจะไม่เกิดการรวมกลุ่มกันได้ทั้งหมดและตกตะกอนลงมา และบางส่วนจะยังคงแขวนลอยอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้ว [12]

2. การรวมกลุ่มของสิ่งสกปรกและตกตะกอนลงมาอาจจะถูกขัดขวาง เนื่องจากผลของความหนืด เมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายที่น้อยจะทำให้ความหนืดของน้ำมันที่ผสมตัวทำละลายยังคงค่อนข้างมากอยู่ ดังนั้นสิ่งสกปรกที่รวมกลุ่มและตกตะกอนลงมาจะเป็นไปได้ยาก สิ่งสกปรกเหล่านี้ก็จะปะปนและติดไปกับน้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้ว แต่ถ้าใช้อัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายที่มาก จะทำให้น้ำมันที่ผสมกับตัวทำละลายมีความหนืดลดลงมาก การตกตะกอนของสิ่งสกปรกก็จะเป็นไปได้ง่าย ดังนั้นสีของน้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้วจะใสและมีสิ่งสกปรกแขวนลอยอยู่น้อยมาก

หลังจากจุดที่ได้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งมากที่สุดของแต่ละตัวทำละลาย พบว่าการเพิ่มปริมาณของตัวทำละลายต่อไปจะไม่ช่วยให้สามารถสกัดเอาตะกอนออกมาได้เพิ่มขึ้น อันน่าจะเป็นผลมาจากปริมาณตัวทำละลายที่มากเกินไปจะไปลดความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอยในน้ำมันหล่อลื่นทำให้อนุภาคเกาะกลุ่ม (Flocculation) และตกตะกอนลงมาได้ยากขึ้น [15]

#### 4.2 ผลของชนิดตัวทำละลาย

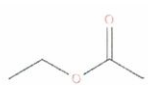

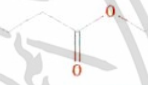

ตัวทำละลายที่เลือกใช้ในการทดลองนี้เป็นสารประกอบประเภทเอสเทอร์ ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอทิลโพรพาโนเอท เอทิลบิวทิเรท และสารประเภทอีเทอร์ ได้แก่ เททระไฮโดรฟูเรน โดยเอสเทอร์และอีเทอร์จัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการทำละลายเพื่อสกัดและตกตะกอนได้ดี (Extraction - flocculation solvent) เนื่องจากสามารถละลายเข้ากันได้กับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ทั้งยังสามารถแยกสิ่งเจือปนประเภทสารเติมแต่งและอนุภาคแขวนลอยให้เกิดการรวมกลุ่มกันจนมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะเกิดการตกตะกอนลงมาได้ [14]

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งที่ได้จากการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท และจะมีค่ามากที่สุด (15.91%) ตามด้วยเอทิลอะซิเตท (11.52%) ส่วน

เอทิลบิวทิเรท และเททระไฮโดรฟูเรนนั้น จะเห็นว่ามีเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งที่ได้ใกล้เคียงกัน และน้อยกว่าเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งจากตัวทำละลายสองอันดับแรก

สำหรับตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิดที่ใช้ในการสกัดตะกอนออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว มีสูตรโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมี ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สูตรโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมีของตัวทำละลาย

ตัวทำละลาย	สูตรโมเลกุล	โครงสร้างทางเคมี
เอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate)	$C_4H_8O_2$	
เอทิลโพรพาโนเอท (Ethyl propanoate)	$C_5H_{10}O_2$	
เอทิลบิวทิเรท (Ethyl Butyrate)	$C_6H_{12}O_2$	
เททระไฮโดรฟูเรน (Tetrahydrofuran)	$C_4H_8O$	

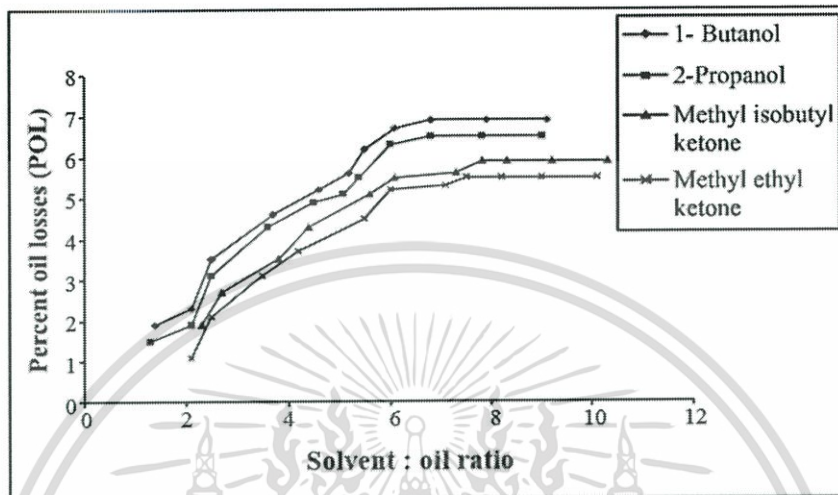
จากตารางที่ 4.1 พบว่าการใช้ตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท ในอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 โดยปริมาตร ปริมาณตะกอนแห้งที่สกัดได้จะมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณตะกอนแห้งที่สกัดได้จากตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท เอทิลบิวทิเรท และเททระไฮโดรฟูเรน เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท เป็นสายโซ่ตรงที่มีห้าคาร์บอนอะตอม เมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายที่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรงเช่นเดียวกันซึ่งได้แก่ เอทิลอะซิเตท และเอทิลบิวทิเรท แต่เป็นโซ่ตรงที่มีสี่คาร์บอนอะตอม และหกคาร์บอน ตามลำดับ โดยพิจารณาจำนวนคาร์บอนอะตอม เป็นผลให้เอทิลโพรพาโนเอทมีขั้วมากกว่าเอทิลบิวทิเรท เมื่อเปรียบเทียบเอทิลโพรพาโนเอทกับเททระไฮโดรฟูเรนซึ่งเป็นเป็นสารประเภทอีเทอร์แต่มีโครงสร้างเป็นวงที่มีสี่คาร์บอนอะตอม จึงเป็นผลให้เอทิลโพรพาโนเอทมีความเป็นขั้วสูงกว่า ดังนั้นเอทิลโพรพาโนเอท จึงสามารถสกัดตะกอนซึ่งมีขั้วออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วได้มาก ถึงแม้ว่าเอทิลอะซิเตทจะมีขั้วมากกว่าเอทิลโพรพาโนเอท แต่เนื่องจากความเป็นขั้วที่มีมากเกินไปอาจจะเข้ากันได้กับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วได้น้อยกว่า ดังนั้นจึงสกัดตะกอนออกมาได้น้อยกว่าตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท

สรุปชนิดตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการสกัดอนุภาคของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว เรียงตามลำดับดังนี้

Ethyl propanoate > Ethyl acetate > Ethyl butyrate > Tetrahydrofuran

ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิจัยของ V. Katiyar และคณะ [15] ที่ทำการสกัดอนุภาคของแข็งแขวนลอยออกจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด ได้แก่ 1-butanol, 2-propanol, ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

methyl isobutyl ketone (MIBK) และ methyl ethyl ketone (MEK) โดยพบว่า 1-butanol ให้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งมากกว่า 2-propanol ทั้งๆ ที่ความเป็นขี้ตัวต่ำกว่า โดย MIBK และ MEK ให้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งต่ำกว่า 1-butanol และ 2-propanol เนื่องจากมีความเป็นขี้ตัวที่ต่ำนั่นเอง ด้วยผลการทดลองในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งที่ได้จากการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด จากงานวิจัยของ V.Katiyar และคณะ [15]

#### 4.3 ผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

จากผลของการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย สามารถเลือกอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายที่ให้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งที่มากที่สุดสองอันดับแรก เพื่อนำมาหาผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ได้แบ่งการศึกษาออกเป็นลำดับและได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของปริมาณ KOH ที่มีต่อปริมาณตะกอนที่แยกได้จากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท และเอทิลโพรพาโนเอท

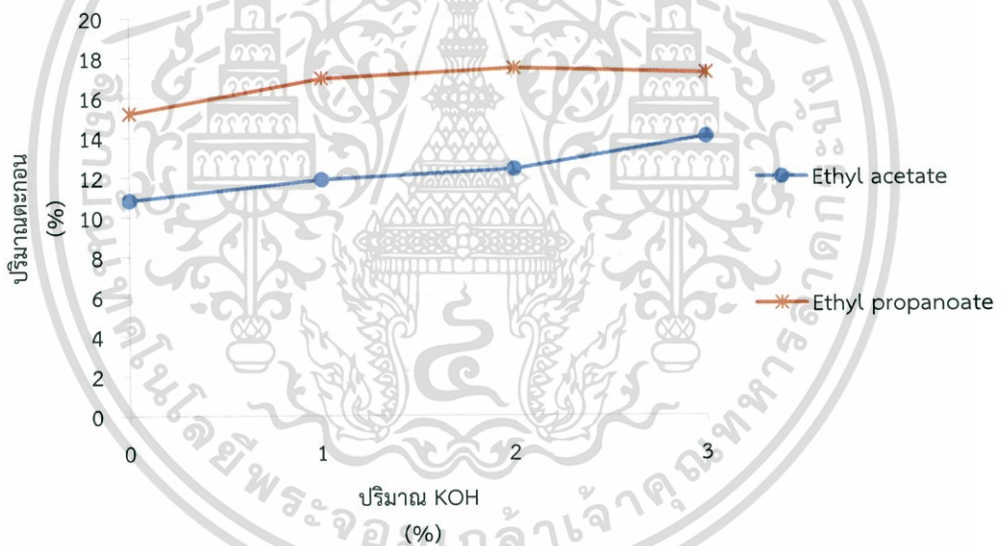
ตัวทำละลาย	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นต่อตัวทำละลายที่เหมาะสม	ปริมาณ KOH (%)	ปริมาณตะกอน (%)
Ethyl acetate	1:3	0	10.82
		1	11.85
		2	12.36
		3	13.98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ตัวทำละลาย	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่น ต่อตัวทำละลายที่ เหมาะสม	ปริมาณ KOH (%)	ปริมาณตะกอน (%)
Ethyl propanoate	1:2	0	15.19
		1	16.94
		2	17.43
		3	17.18

เมื่อนำข้อมูลที่ได้อ่านไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ตะกอนเทียบกับปริมาณการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะสามารถทำนายแนวโน้มของปริมาณตะกอนแห้งเมื่อมีการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อปริมาณตะกอนที่แยกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเมื่อใช้ตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท และตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการบำบัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทและเอทิลโพรพาโนเอท จะทำให้ได้ปริมาณตะกอนแห้งเพิ่มขึ้น

การตกตะกอนที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายในตัวทำละลายและแตกตัวเป็นโพแทสเซียมไอออน ( $K^+$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) โดยโพแทสเซียมไอออนจะเข้าไปจับกับหมู่ซัลเฟต ( $SO_4^{2-}$ ) และฟอสเฟต ( $PO_4^{3-}$ ) ที่เป็นองค์ประกอบของสารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรกซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบประเภทโลหะหนักซัลเฟตหรือโลหะหนักฟอสเฟต ในขณะที่

ไฮดรอกไซด์ไอออนจะทำหน้าที่ในการจับกับไอออนของโลหะหนักนี้แทน ตะกอนจึงเกิดการเสียเสถียรภาพในการแขวนลอยรวมตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่และตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงของโลกในที่สุด

เมื่อพิจารณาที่ตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท พบว่า ปริมาณตะกอนมีแนวโน้มคงที่เมื่อโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มากขึ้นจาก 2% เป็น 3% ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากการละลายของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท มีค่าจำกัด หรือละลายได้ไม่สิ้นกเมื่อเทียบกับตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท ดังนั้น เมื่อการละลายของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ถึงจุดอิ่มตัวแล้วการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นจึงไม่มีผลต่อการตกตะกอนเพิ่มอีก ดังนั้นปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วสำหรับตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทและเอทิลโพรพาโนเอท คือ 3% และ 2% โดยน้ำหนักตามลำดับ

จากผลการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย และปริมาณการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้สามารถเลือกสภาวะที่จะใช้ในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เพื่อนำไปทำการดูดซับสีด้วยตัวดูดซับชนิดต่างๆ ที่อัตราส่วนที่เหมาะสม ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

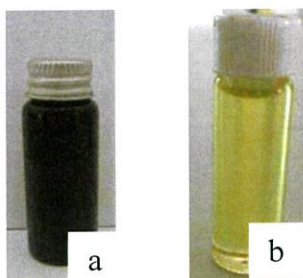
ตัวทำละลาย	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อตัวทำละลาย (โดยปริมาตร)	ปริมาณ KOH (%)
Ethyl acetate	1:3	3
Ethyl propanoate	1:2	2

#### 4.4 ผลของชนิดตัวดูดซับ

เมื่อได้รับสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วดังตารางที่ 4.4 ต่อไปจะนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทและเอทิลโพรพาโนเอท มาทำการปรับปรุงสีด้วยการเติมตัวดูดซับชนิดต่างๆ ในปริมาณ 5% โดยน้ำหนักเพื่อนำมาหาชนิดตัวดูดซับที่มีผลต่อลักษณะทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการบำบัดได้แก่ สี ค่าความร้อน ความหนาแน่น และความหนืด โดยชนิดของตัวดูดซับที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

1. ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)
2. ซิลิกา (Silica)
3. อะลูมินา (Alumina)

ทำการทดลองเพื่อหาชนิดตัวดูดซับที่เหมาะสม โดยเติมตัวดูดซับแต่ละชนิดในปริมาณ 5 % โดยน้ำหนักลงในน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ดังตารางที่ 3.3 จากการสังเกตพบว่า น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายจะมีสีดำเข้ม สำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลายและการดูดซับแล้วนั้นจะมีสีที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าเป็นสีเหลืองน้ำตาล ดังรูปที่ 4.8 ถึง 4.10 และตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.8 (a) น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย (b) น้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (SAE 40 : API SF)



รูปที่ 4.9 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทและตัวดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา ตามลำดับ (จากซ้ายไปขวา)



รูปที่ 4.10 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลโพรพานอเอท และตัวดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา ตามลำดับ (จากซ้ายไปขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบสีของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายและน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลายและการดูดซับแล้ว

สารตัวอย่าง	อัตราส่วน น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ แล้วต่อ ตัวทำละลาย (โดยปริมาตร)	ปริมาณ KOH (%)	ชนิดตัวดูดซับ ในปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก	สี	Color Absorption Code (850 nm)
น้ำมันหล่อลื่น ใช้แล้ว	-	-	-	ดำเข้ม	1.057
น้ำมันหล่อลื่นที่ ยังไม่ผ่านการใช้ งาน	-	-	-	ใส	0.514
น้ำมันหล่อลื่น ใช้แล้วที่สกัด ด้วย Ethyl acetate	1:3	3	Activated carbon	เหลือง น้ำตาล	0.470
			Silica	เหลือง น้ำตาล	0.522
			Alumina	เหลือง น้ำตาล	0.380
น้ำมันหล่อลื่น ใช้แล้วที่สกัด ด้วย Ethyl propanoate	1:2	2	Activated carbon	เหลือง น้ำตาล	0.610
			Silica	เหลือง น้ำตาล	0.651
			Alumina	เหลือง น้ำตาล	0.677

จากการสังเกตสีพบว่า น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท และเอทิลโพรพาโนเอท ที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา เมื่อเปรียบเทียบกับสายดานั้นมีสีที่คล้ายกันและมีสีอ่อนกว่าน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดและการดูดซับอย่างชัดเจน

เมื่อนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว น้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่สกัดด้วยตัวทำละลายและการดูดซับ ไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 850 nm [17] พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดและการดูดซับมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน แสดงให้เห็นว่าสีของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วได้ถูกปรับปรุงจนมีความใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นก่อนการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 ผลของการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพพื้นฐานที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่น

ในการทดลองนี้จะทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพพื้นฐานที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่นดังนี้

- ค่าความร้อน (Heating value)
- ความหนาแน่น (Density)
- ความหนืด (Viscosity)
- ชนิดและหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบ

##### 4.5.1 การวิเคราะห์ค่าความร้อน

จากการวัดค่าความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายและดูดซับโดยใช้เครื่อง Adiabatic Bomb Calorimeter โดยเปรียบเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่ไม่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายและน้ำมันดีเซลหมุนเร็วได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6 และเมื่อนำข้อมูลไปเขียนกราฟแสดงค่าความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายและการดูดซับแสดงดังรูปที่ 4.10

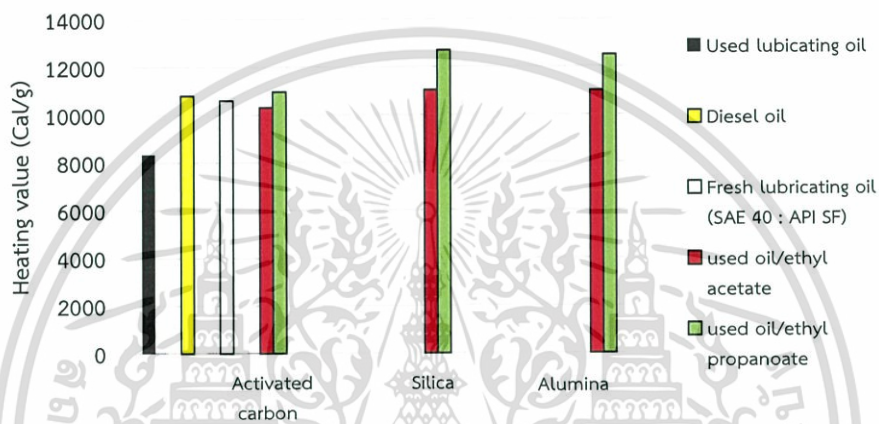
ตารางที่ 4.6 ค่าความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการทดลอง

ตัวทำละลาย	อัตราส่วน น้ำมันหล่อลื่นที่ ใช้แล้วต่อ ตัวทำละลาย (โดยปริมาตร)	เปอร์เซ็นต์ ตะกอน แห้ง	ชนิดตัวดูดซับใน ปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก	ค่าความร้อน (Ca/g)
Ethyl acetate	1:3	13.98	Activated carbon	10305.06
			Silica	11030.82
			Alumina	11000.48
Ethyl propanoate	1:2	17.43	Activated carbon	10967.03
			Silica	12700.19
			Alumina	12501.91
น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดและการดูดซับ				8326.78
น้ำมันดีเซล (ชนิดหมุนเร็ว) [14]				10799.79
น้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (SAE 40 : API SF)				10598.65

จากตารางที่ 4.6 ค่าความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท และดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา มีค่าเฉลี่ย 10778.79 Cal/g ในขณะที่การสกัดด้วยตัวทำละลายที่เอทิลโพรพาโนเอท มีค่าเฉลี่ย 12056.38 Cal/g จะเห็นได้ว่าทั้งสองตัวทำละลายสามารถสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่มีค่าความร้อนมากกว่าน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดและการดูดซับถึงร้อยละ 20.75 และ 30.93 ตามลำดับ โดยน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยเอทิลโพรพาโนเอท จะให้ค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยเอทิลอะซิเตท ซึ่งค่าความร้อนที่ได้จากการวัด

โดยเครื่อง Adiabatic bomb calorimeter นี้อาศัยหลักการเผาไหม้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งพบในโมเลกุลของน้ำมัน ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่น้อย(เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งมีค่าสูง)จะมีปริมาณbase oilที่เป็นไฮโดรคาร์บอนอยู่มาก ดังนั้นจึงเผาไหม้และให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยอยู่มาก (เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งมีค่าต่ำ) ด้วยผลการทดลองในตารางที่ 4.6

ค่าความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายและตัวดูดซับ มีแนวโน้มดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท และตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท และถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายและดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินามีค่าความร้อนที่ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่อาจจะนำน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการบำบัดแล้วผสมกับน้ำมันดีเซลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ

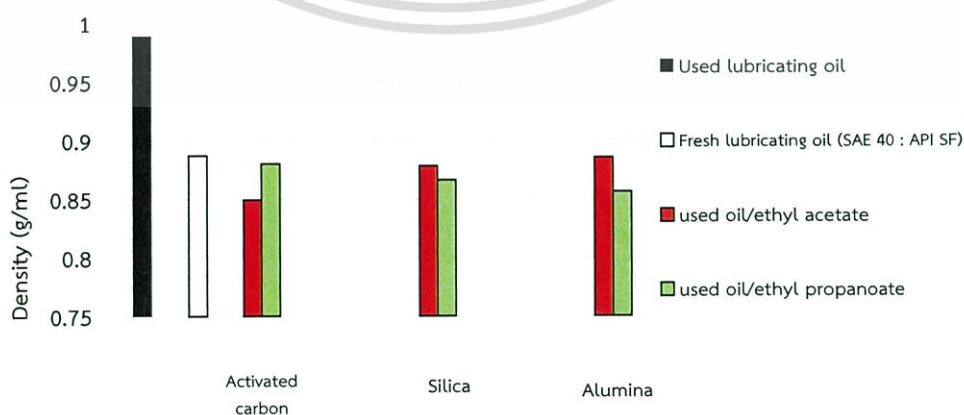
#### 4.5.2 การวิเคราะห์ค่าความหนาแน่น

จากการวัดค่าความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายและดูดซับโดยใช้เครื่องมือเกย์รุสแซค พิคโนมิเตอร์ ( GAY LUSSAC Pycnometer) จะได้ผลดังตารางที่ 4.7 และเมื่อนำข้อมูลไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับน้ำมันหล่อลื่นการทดลองที่สกัดด้วยตัวทำละลายและตัวดูดซับ แสดงดังรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.7 ค่าความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการทดลอง

น้ำมันหล่อลื่น ใช้แล้วสกัด ด้วยตัวทำ ละลาย	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่น ที่ใช้แล้วต่อ ตัวทำละลาย (โดยปริมาตร)	เปอร์เซ็นต์ ตะกอน แห้ง	ชนิดตัวดูดซับใน ปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก	ค่าความ หนาแน่น (g/mL)
Ethyl acetate	1:3	13.98	Activated carbon	0.849
			Silica	0.878
			Alumina	0.885
Ethyl propanoate	1:2	17.43	Activated carbon	0.880
			Silica	0.866
			Alumina	0.856
น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดและการดูดซับ				0.989
น้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (SAE 40 : API SF)				0.887

จากผลของค่าความหนาแน่น แสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่า ความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท และตัวดูดด้วยถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา มีความหนาแน่นเฉลี่ย 0.871 g/mL ในขณะที่การสกัดด้วยตัวทำละลายที่เอทิลโพรพาโนเอท มีค่าความหนาแน่นเฉลี่ย 0.867 g/mL ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้งสองชนิดมีความหนาแน่นใกล้เคียงกันและมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซลที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (SAE 40 : API SF) โดยค่าความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่ไม่ผ่านการสกัดและการดูดซับมีค่าสูงถึง 0.989 g/mL ซึ่งความหนาแน่นที่สูงมาจากคราบยางเหนียวที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์ สิ่งสกปรกจากภายนอกเข้าไปปน มีน้ำหรือความชื้นแทรกตัวในเนื้อน้ำมันทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีลักษณะขาวขุ่น หรือเศษโลหะที่อาจไปขูดกับผิวโลหะของเครื่องจักรแล้วหล่นปะปนในน้ำมันหล่อลื่น ดังนั้นการนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วไปผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายและการดูดซับสามารถลดค่าความหนาแน่นลงได้



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลายและการดูดซับ  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.3 ผลของการหาค่าความหนืด

จากการวัดค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายและดูดซับ โดยใช้เครื่องมือ ออสท์วาลด์ วิสโคมิเตอร์ (Ostwald Viscometer) จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ทำการทดลอง

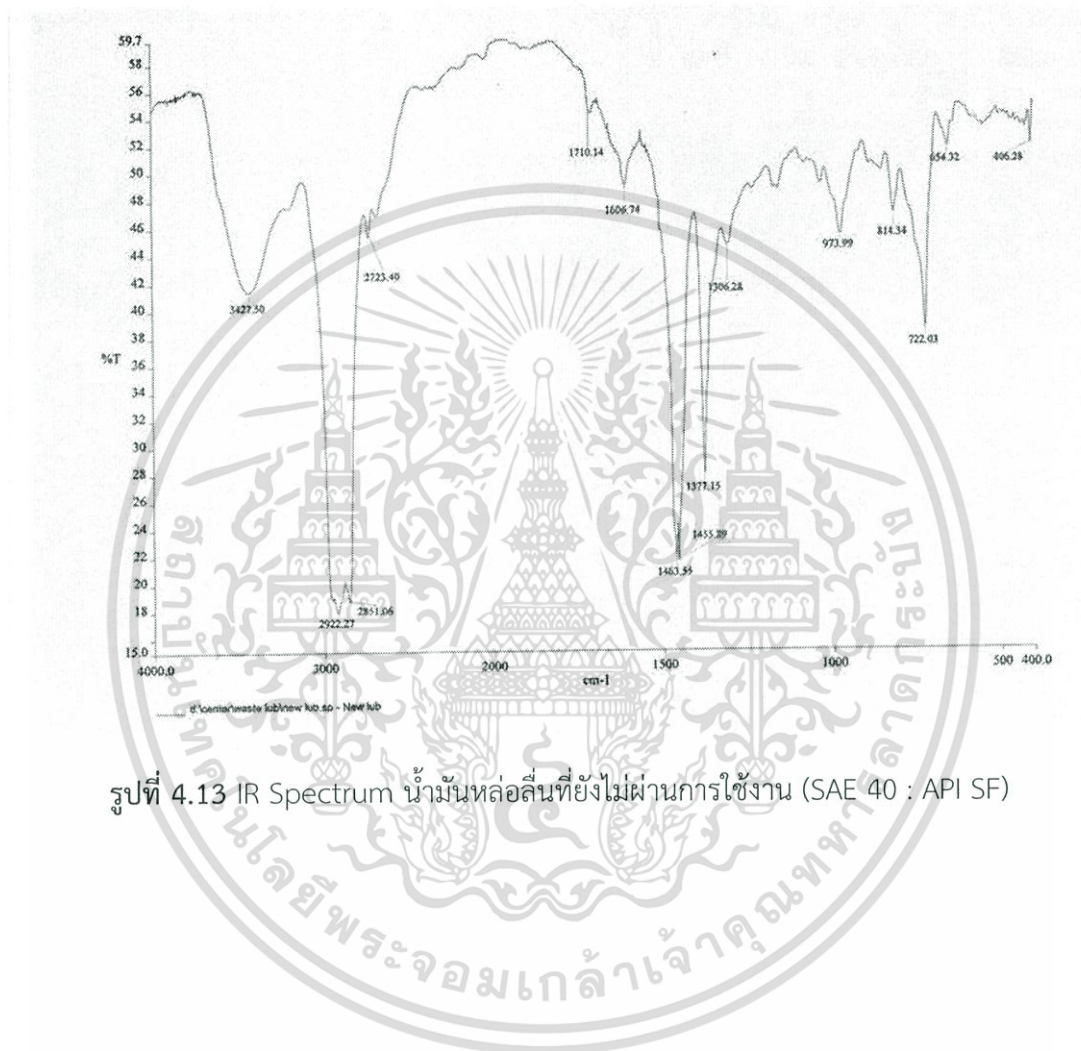
ตัวทำละลาย	อัตราส่วน น้ำมันหล่อลื่น ที่ใช้แล้วต่อ ตัวทำละลาย (โดย ปริมาตร)	ปริมาณ KOH (%)	ชนิดตัวดูด ซับใน ปริมาณ 5 % โดยน้ำหนัก	ค่าความหนืด	
				Dynamic (absolute) viscosity ( $\eta$ ) (Poise)	Kinematics viscosity ( $\nu$ ) (cSt)
Ethyl acetate	1:3	3	Activated carbon	0.3916	47.9061
			Silica	0.4105	47.8769
			Alumina	0.4041	46.2713
Ethyl propanoate	1:2	2	Activated carbon	0.4041	47.5850
			Silica	0.3995	48.2564
			Alumina	0.3928	46.8843
น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดและการดูดซับ [15]				1.4559	227.8404
น้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (SAE 40 : API SF)				0.4097	46.1910

จากตารางที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดและการดูดซับ (Used lubricating oil) จะมีความหนืดสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (Fresh lubricating oil) ถึงประมาณ 5 เท่า โดยความหนืดที่สูงขึ้นของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งาน เกิดจากการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก เช่น ฝุ่นละออง เหมะ และเศษโลหะ รวมถึงสารอื่นๆ เช่น น้ำ เมื่อมีการปนเปื้อนเข้าไป อนุภาคของน้ำจะเข้าไปแทรกตัวในเนื้อน้ำมัน ทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีลักษณะขาวขุ่น ความหนืดจึงเปลี่ยนไป ซึ่งสาเหตุเหล่านี้ทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีความหนืดสูงขึ้น ไม่เหมาะที่ใช้งานได้อีกต่อไป เมื่อนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วมาผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท และดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา พบว่ามีความหนืดเฉลี่ย 47.3514 cSt ในขณะที่การสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลโพรพานอเอท มีค่าค่าความหนืดเฉลี่ย 47.5752 cSt ซึ่งแสดงให้เห็นว่า น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีความหนืดใกล้เคียงกันเคียงกับน้ำมันที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน

#### 4.5.4 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดและการดูดซับด้วยเทคนิค

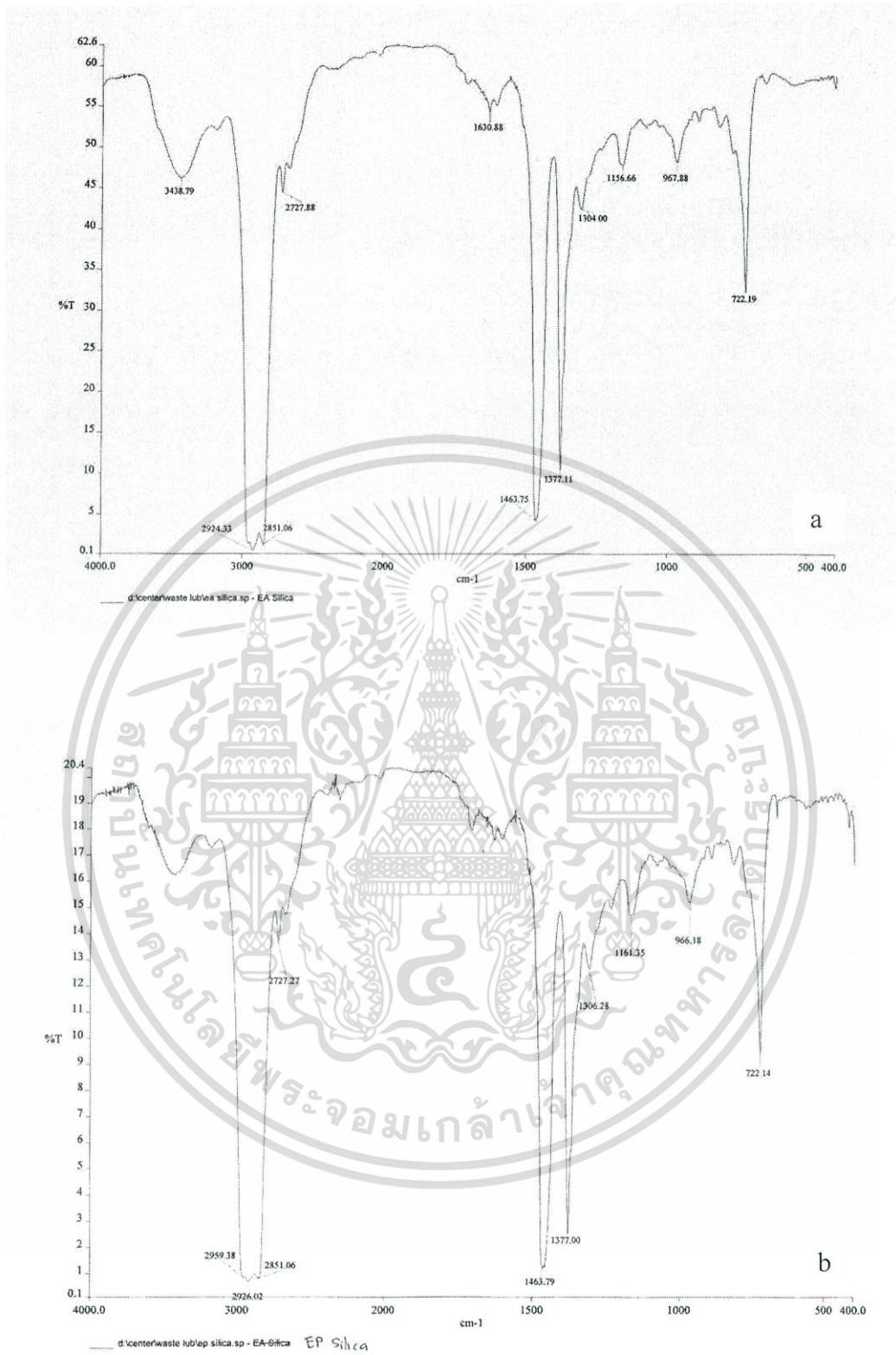
##### FT-IR

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่ผ่านสกัดด้วยตัวทำละลายและการดูดซับจะถูกนำมาวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง Fourier Transfer Infrared Spectrometer ซึ่ง FT-IR สเปกตรัมแสดงดังรูปที่ 4.13-4.16 และทำการสรุปเลขคลื่นและหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ในตารางที่ 4.9



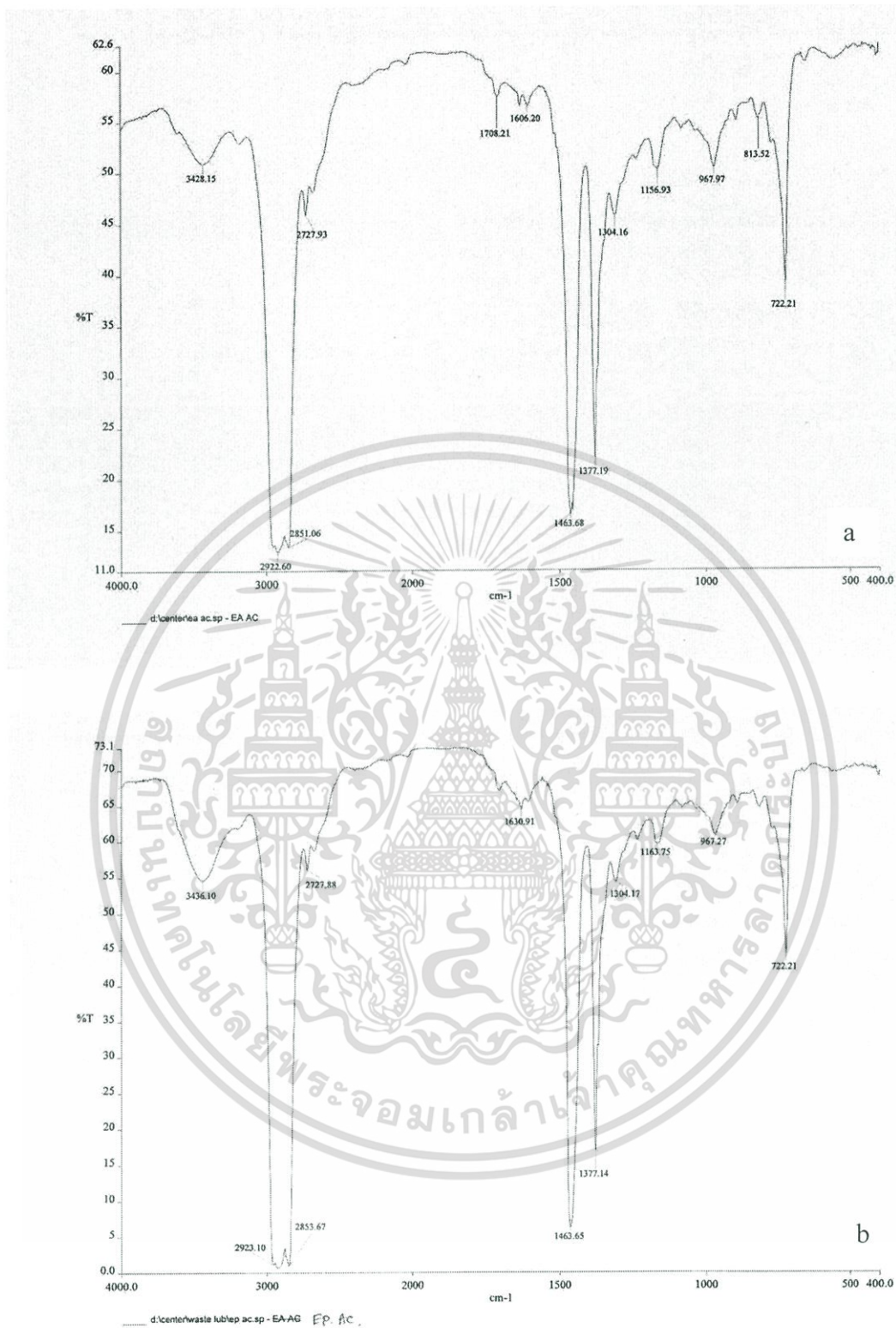
รูปที่ 4.13 IR Spectrum น้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (SAE 40 : API SF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



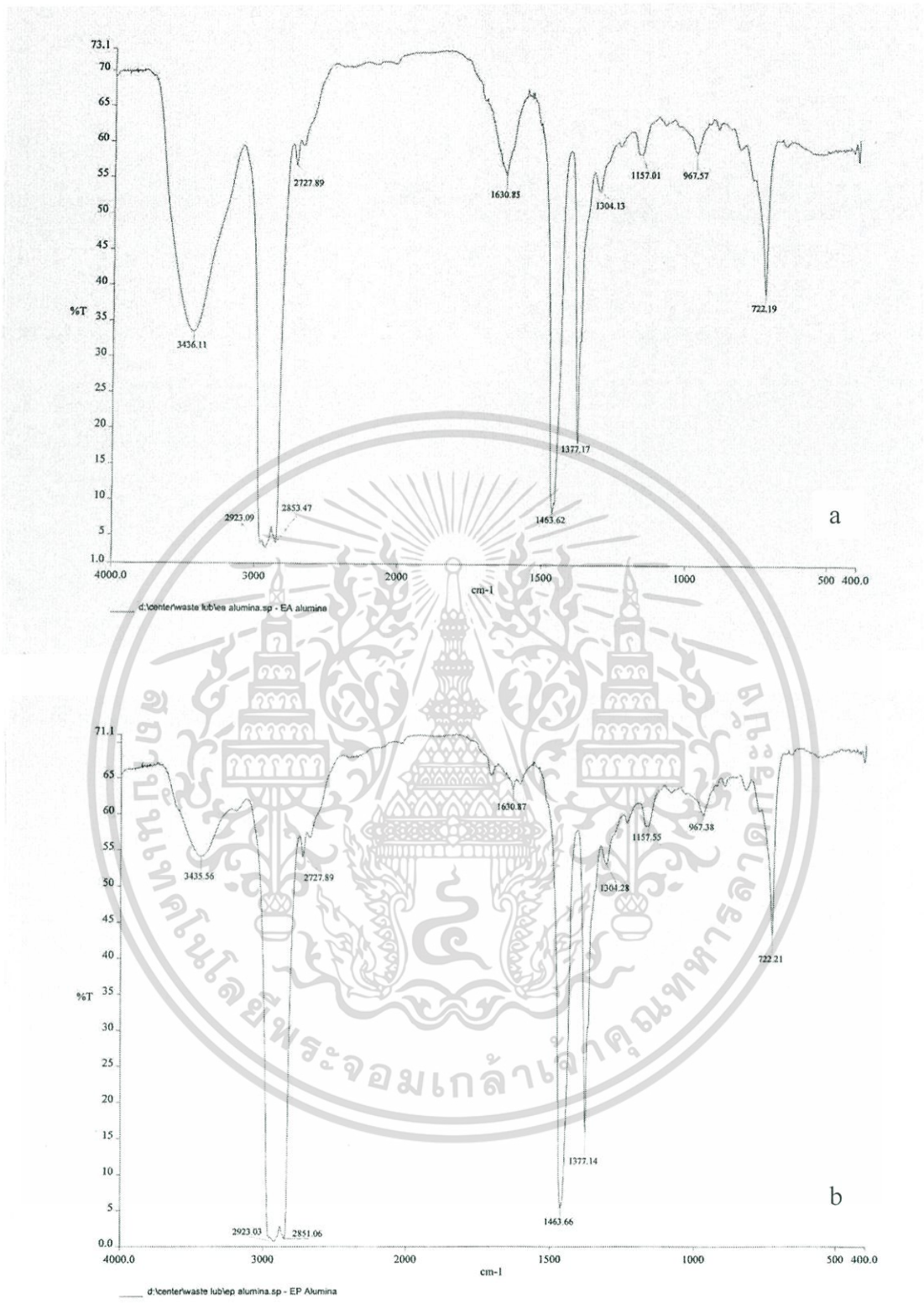
รูปที่ 4.14 IR Spectrum น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย (a) เอทิลอะซิเตท และ (b) เอทิลโพรพาโนเอท และถูกดูดซับด้วยซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 IR Spectrum น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย (a) เอทิลอะซิเตท และ (b) เอทิลโพรพาโนเอท และถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 IR Spectrum น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย (a) เอทิลอะซิเตท และ (b) เอทิลโพรพานอเอท และถูกดูดซับด้วยอะลูมินา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารประกอบในน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดและการดูดซับ (จากรูปที่ 4.13 - 4.16)

หมู่ฟังก์ชัน	ลักษณะการเกิดการสั่น	ช่วงเลขคลื่น (cm <sup>-1</sup> )	ความเข้ม	เกิดจาก
Alcohol				
O-H	stretch, H-bonded	3200-3600	strong, broad	แผ่น KBr มีความชื้นทำให้ป็นในน้ำมันหล่อลื่นที่ทดสอบจากเครื่อง FT-IR
O-H	stretch, free	3500-3700	strong, sharp	
C-O	stretch	1050-1150	strong	
Alkane				
C-H	stretch	2850-3000	strong	สารประกอบไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันหล่อลื่น
-C-H	bending	1350-1480	variable	
Aldehyde				
C=O	stretch	1740-1720	strong	Dithiophosphoric acid (ester-aldehyde) สารเพิ่มคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นประเภทป้องกันการเกิดออกซิเดชัน และป้องกันการกัดกร่อน
=C-H	stretch	2820-2850 & 2720-2750	medium, two peaks	
Alkyl Halide				
C-Cl	stretch	600-800	strong	สารเพิ่มคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นประเภทป้องกันการสึกกร่อน

จากตารางที่ 4.9 พบว่า น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทและเอทิลโพรพาโนเอท มีพีคที่ความยาวคลื่น และหมู่ฟังก์ชันคล้ายกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (SAE 40 : API SF) แสดงให้เห็นว่าน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการบำบัดมีองค์ประกอบใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการหาสถานะที่เหมาะสม ในการสกัดตะกอนออกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วย ตัวทำละลายและการดูดซับ เพื่อให้ได้มาซึ่งน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ผ่านการบำบัดให้มีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยตัวทำละลายที่ใช้มีอยู่ด้วยกัน 4 ชนิด ได้แก่ เอทิลอะซิเตท เอทิลโพรพาโนเอท เอทิลบิวทิเรต และเททระไฮโดรฟูเรน และตัวดูดซับ 3 ชนิด ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

1. เมื่อนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอทที่อัตราส่วน น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 จะให้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งมากกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ ในขณะที่การสกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท จะได้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งมากที่สุด ที่อัตราส่วนเป็น 1:3 โดยมีการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1% โดยน้ำหนักสำหรับเอทิลบิวทิเรต และเททระไฮโดรฟูเรน เป็นตัวทำละลายที่ให้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งน้อยมาก ดังนั้นเอทิลโพรพาโนเอท และเอทิลอะซิเตท จึงเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว
2. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติมลงไปในช่วงตอนการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เพื่อช่วยลดเสถียรภาพของอนุภาคแขวนลอย และเร่งการตกตะกอนให้เร็วขึ้น โดยปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งสูงสุด สำหรับการสกัดด้วยเอทิลโพรพาโนเอท (อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย 1:2) และเอทิลอะซิเตท (อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย 1:3) คือ 2% และ 3% โดยน้ำหนัก
3. น้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลายเอทิลโพรพาโนเอท และเอทิลอะซิเตท เมื่อนำมาปรับปรุงสีด้วยการดูดซับกับถ่านกัมมันต์ ซิลิกา และอะลูมินา พบว่าสีของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีเหลืองน้ำตาล โดยสีของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการบำบัดจะใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน
4. ค่าความร้อน ความหนาแน่น ความหนืด ชนิดและหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดและการดูดซับ มีค่าใกล้เคียงกันกับของน้ำมันหล่อลื่นที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการทดสอบสมบัติทางเชื้อเพลิงอื่นๆ ของน้ำมันหล่อลื่น เช่น จุดวาบไฟ จุดไหลเท ปริมาณคาร์บอน และ ค่าการกลั่น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนสำหรับการนำน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการบำบัดแล้วไปใช้งานต่อไป
2. ศึกษาตัวทำละลายมีขั้วชนิดอื่นๆ เช่น ตัวทำละลายในกลุ่มแอลกอฮอล์ และคีโตน
3. ควรศึกษาตัวแปรอื่นๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่บำบัดได้ เช่น เวลาในการตกตะกอนในขั้นตอนของการสกัด ปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในขั้นตอนของการดูดซับ และ อุณหภูมิในขั้นตอนของการสกัด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การศึกษาการนำน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการบำบัด ไปผสมกับน้ำมันดีเซลที่อัตราส่วนต่างๆ เพื่อเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงที่นำไปใช้กับพวกเครื่องยนต์ดีเซลที่ไม่ต้องการบำรุงรักษาคุณภาพมากนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Mofidi A.M., Eladat M. 2006. A simplified thermodynamic modeling procedure for predicting asphaltene precipitation, Fuel. 85 : 2616-2621.
- [2] LAMPANGTC [อินเทอร์เน็ต]. น้ำมันหล่อลื่น; 2550 [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ธ.ค. 2558]; [ประมาณ 1 น.]. จาก: <http://www.lampangtc.ac.th/~auto/oil.htm&hl=th&lr=&strip=0>
- [3] PTTPLC [อินเทอร์เน็ต]. น้ำมันหล่อลื่น, 2549 [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ธ.ค. 2558]; [ประมาณ 1น.]. จาก: [http://www.pttplc.com/th/ptt\\_core.asp?page=ps\\_pr\\_oi](http://www.pttplc.com/th/ptt_core.asp?page=ps_pr_oi)
- [4] SGL1 [อินเทอร์เน็ต]. สารพันเรื่องราว เกี่ยวกับ น้ำมันหล่อลื่น น้ำมันเครื่อง, 2550 [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ธ.ค. 2558]; [ประมาณ 1 น.]. จาก:<http://www.sgl1.com/>
- [5] WIKIPEDIA [อินเทอร์เน็ต]. ข้อมูล ethyl acetate, 2550 [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ธ.ค. 2558]; [ประมาณ 1 น.]. จาก: [http://de.wikipedia.org/wiki/ethyl\\_acetate](http://de.wikipedia.org/wiki/ethyl_acetate)
- [6] WIKIPEDIA [อินเทอร์เน็ต]. ข้อมูล ethyl propanoate, 2550 [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ธ.ค. 2558]; [ประมาณ 1 น.]. จาก: [http://de.wikipedia.org/wiki/ethyl\\_propanoate](http://de.wikipedia.org/wiki/ethyl_propanoate)
- [7] WIKIPEDIA [อินเทอร์เน็ต]. ข้อมูล ethyl butyrate, 2550 [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ธ.ค. 2558]; [ประมาณ 1 น.]. จาก: [http://de.wikipedia.org/wiki/ethyl\\_butyrate](http://de.wikipedia.org/wiki/ethyl_butyrate)
- [8] WIKIPEDIA [อินเทอร์เน็ต]. ข้อมูล tetrahydrofuran, 2550 [สืบค้นเมื่อวันที่ 5 ธ.ค. 2558]; [ประมาณ 1 น.]. จาก: <http://de.wikipedia.org/wiki/tetrahydrofuran>
- [9] Rincon J., Canizares P., Garcia M. T., Gracia I. 2003. Regeneration of Used Lubricant Oil by Propane Extraction, Ind. Eng. Chem. Res.42: 4867-4873.
- [10] Rincon J., Canizares P., Garcia M. T., Gracia I. 2003. Regeneration of Used Lubricant Oil by Polar Solvent Extraction, Ind. Eng. Chem. Res.44: 4867-4873.
- [11] Rincon J., Canizares P., Garcia M. T.2005. Waste Oil Recycling Using Mixtures of Polar Solvents, Ind. Eng. Chem. Res.44: 4373-4379.
- [12] ปิยะนุช จันทวสุ และเมธาวี ทวีชาติ. 2548. การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์. โครงการพิเศษ คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีปิโตรเคมี (นานาชาติ) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- [13] พรพรรณ วุฒิสารพัฒนา, เขมิกาผางามวิจิตร และภัทรมนัส ลอยทะเล. 2549. การสังเคราะห์เชื้อเพลิงจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว. โครงการพิเศษ คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีปิโตรเคมี (นานาชาติ) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] จุฑามาศ สาสยากุลม, ชมพูนุท เจริญวุฒิลาภ และปฏิพัทธ์ พรหมวิทักษ์. 2549. การผลิตเชื้อเพลิงผสมจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและน้ำมันดีเซล. โครงการงานพิเศษ คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
- [15] V. Katiyar and S. Husain. 2010. Recycling of Used Lubricating Oil Using 1-Butanol. *Int. J. Chem. Sci.* 8(3): 1999-2012.
- [16] Luma Majeed Ahmed. 2007. Determination of Some Physical and Chemical Properties for Different Samples of Petroleum Lubricants. *National Journal of Chemistry.* 25: 139-147.
- [17] Elina.H., Foo Chwan Yee., Rosil Mohd.Y., Lim Lee Ping., A. Ripin. 2001. Decolorization of Recovered Based Oil from Used Lubricant Oil: A Study on The Performance of Composite Adsorbents. 15<sup>th</sup> Symposium of Malaysian Chemical Engineers.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้