

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลาย



นางสาวพาทีนิ พิพัฒน์กิจโชติ

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2560  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

QUALITY IMPROVEMENT OF USED LUBRICATING OIL BY SOLVENT EXTRACTION

Miss Patinee Pipatkitchot



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2017

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์    การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยการสกัด  
ด้วยตัวทำละลาย  
โดย    นางสาวพาทีณี พิพัฒนกิจโชติ  
สาขาวิชา    วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก      รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเจียร

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนุกูญ หนูจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเจียร)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.มานพ เจริญไชยตระกูล)

พาทีนี พิพัฒน์กิจโชติ : การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลาย (QUALITY IMPROVEMENT OF USED LUBRICATING OIL BY SOLVENT EXTRACTION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.สุธา ขาวเธียร, 96 หน้า.

การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นกระบวนการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะละลายในตัวทำละลาย และตัวทำละลายจะทำลายเสถียรภาพระหว่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและสิ่งปนเปื้อนเป็นผลทำให้สิ่งปนเปื้อนตกตะกอน ส่งผลทำให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานดีขึ้น งานวิจัยนี้ใช้ตัวทำละลาย 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน บิวทานอล เฮกซานอล และเฮกเซนผสมเฮกซานอล อัตราส่วนตัวทำละลายต่อ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 1:1 ถึง 5:1 อุณหภูมิในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C และการเติมและไม่เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยพารามิเตอร์ที่เปรียบเทียบได้แก่ ปริมาณโลหะ น้ำ และเถ้า จากการศึกษาพบว่าตัวทำละลายที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว คือ เฮกเซนและบิวทานอล โดยภาวะที่เหมาะสมในการใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย คือ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 4:1 อุณหภูมิในการสกัดคือ อุณหภูมิที่ 40°C จะได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ที่มีความหนืดอยู่ในมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN (28-33 cSt) และภาวะที่เหมาะสมในการใช้บิวทานอลเป็นตัวทำละลาย คือ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 3:1 อุณหภูมิในการสกัดคือ 40°C จะได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ที่มีความหนืดอยู่ในมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้บิวทานอลเป็นตัวทำละลาย จะได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ที่มีปริมาณสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ น้ำ โลหะ และเถ้า ต่ำกว่า น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้โดยใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

# # 5787201220 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: USED LUBRICATING OIL / SOLVENT EXTRACTION

PATINEE PIPATKITCHOT: QUALITY IMPROVEMENT OF USED LUBRICATING OIL BY SOLVENT EXTRACTION. ADVISOR: ASSOC. PROF.SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., 96 pp.

Quality improvement of used lubricant oil by solvent extraction is a process to separate contaminants and recover base oil from used oil. The base lubricant oil was dissolved in solvents, and the solvent brakedown the stability between the base oil and the contaminants. Thereafter, the contaminants were precipitated; as a result, the viscosity of the base oil was improved. In this study, 4 types of solvent were used, such as: hexane; butanol; hexanol and a mixture of hexane and hexanol. The ratio of solvent to used oil was varied in the range of 1:1 to 5:1 at room temperature. Then, the temperature of extraction process was also varied at 30°C 40°C, 50°C and 60°C with the effect of potassium hydroxide (KOH) on the quality of used oil was also done in this study. The parameters i.e. viscosity, heavy metals, water content and ash content were analyzed. According to the study, it was found that hexane and butanol were the suitable solvents to improve the quality of used oil. The optimal conditions for using hexane in the extraction process was at a ratio of solvent to used oil of 4:1 and temperature 40 °C. The viscosity of re-refining base oil was in the standard of base lubricant oil group -1 150SN (28-33 cSt). TIn case of using butanol as solvent extraction, the optimum condition was atratio of solvent to used lubricant oil of 3:1 and temperatures 40°C. At these conditions, the re-refining base oil quality meet viscosity standard of base lubricant oil group -1 150SN In addition, the use of butanol as solvent resulted in re-refining base oils with a lower content of contaminants such as water content, metals content and ash content than the re-refining base oils extracted using hexane.

Field of Study: Environmental Science Student's Signature .....

Academic Year: 2017 Advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเอียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ชี้แนะและแก้ไขข้อบกพร่องมาโดยตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณอาจารย์มา ณ ที่นี้ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาติ อิ่มยิ้ม ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงรองศาสตราจารย์ ดร.มานพ เจริญไชยตระกูล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และรองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ ที่กรุณาสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาและคำชี้แนะ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณ หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนบางส่วนในการทำวิทยานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทางานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงขอบคุณเจ้าหน้าที่ดูแลห้องปฏิบัติการ ที่ช่วยแนะนำและช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์เป็นอย่างดี ขอกราบขอบพระคุณ บริษัท เจริญชัยออยล์ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้การอบรมสั่งสอน ให้วิชาความรู้ ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจตลอดมา และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ และบุคคลอื่นที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 สมมติฐานงานวิจัย .....	3
1.4. ขอบเขตของงานวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย .....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	6
2.1 น้ำมันหล่อลื่น (lubricating oil).....	6
2.2 การผลิตน้ำมันหล่อลื่น .....	7
2.2.1 การผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (base oil) .....	7
2.2.2 สารเติมแต่ง (additives).....	9
2.3 ประเภทของน้ำมันหล่อลื่น.....	11
2.3.1 จำแนกตามลักษณะของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน .....	11
2.3.2 จำแนกตามลักษณะการใช้งาน .....	13
2.4 หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่น .....	15
2.5 สมบัติสำคัญของน้ำมันหล่อลื่น .....	16

2.5.1 ความหนืด (viscosity) .....	16
2.5.2 ดัชนีความหนืด (viscosity index).....	16
2.5.4 จุดวาบไฟ (flash point).....	17
2.5.5 ความเป็นกรด (total acid number).....	17
2.5.6 ปริมาณสารประกอบฟอสเฟตและซัลเฟต (phosphate and sulphate content).....	17
2.5.7 ปริมาณโลหะหนัก (heavy metal content).....	17
2.6 การใช้น้ำมันหล่อลื่นและปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว .....	18
2.6.1 กลุ่มยานยนต์.....	18
2.6.2 กลุ่มอุตสาหกรรม .....	19
2.6.3 กลุ่มเกษตรกรรม .....	20
2.6.4 กลุ่มประมง.....	21
2.6.5 กลุ่มข้าราชการและรัฐวิสาหกิจ .....	21
2.7 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น.....	22
2.7.1 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่น .....	22
2.7.2 สารเติมแต่งหมดไปหรือเสื่อมสภาพ .....	22
2.7.3 การปนเปื้อนของสิ่งปนเปื้อน.....	23
2.8 ผลกระทบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อสิ่งแวดล้อม .....	23
2.8.1 ผลกระทบทางอากาศ.....	24
2.8.2 ผลกระทบทางดิน.....	24
2.8.3 ผลกระทบทางแหล่งน้ำ .....	25
2.9 ผลกระทบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อสุขภาพ .....	25
2.9.1 ผลกระทบทางตรง.....	25



2.9.2 ผลกระทบทางอ้อม.....	25
2.10 การแก้ไขปัญหาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในอดีต .....	25
2.11 การจัดการน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว.....	30
2.11.1 การทิ้งและกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วอย่างผิดกฎหมาย .....	30
2.11.2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว .....	31
2.11.3 การใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง.....	32
2.11.4 การผลิตซ้ำ.....	33
2.12 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction).....	40
2.13 สมบัติของตัวทำละลายที่ใช้ในงานวิจัย .....	42
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	44
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย .....	47
3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ .....	48
3.1.1 อุปกรณ์ .....	48
3.1.2 เครื่องมือ .....	48
3.2 วัสดุดิบและสารเคมี .....	49
3.2.1 วัสดุดิบ .....	49
3.2.2 สารเคมี .....	49
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	50
3.3.1 ศึกษาชนิดของตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด .....	50
3.3.2 ศึกษาอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่น พื้นฐาน .....	51
3.3.3 ศึกษาอุณหภูมิต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน .....	53
3.3.4 ศึกษาการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน .....	54

3.4 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่เลือกทดสอบ .....	56
3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ .....	57
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	58
4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น .....	58
4.2 การหาภาวะในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย .....	62
4.2.1 ผลของชนิดตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด .....	62
4.2.2 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันใช้แล้วต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน .	64
4.2.3 ผลของอุณหภูมิต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน .....	71
4.2.4 ผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่น พื้นฐาน .....	77
4.2.5 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายและอุณหภูมิในการสกัดต่อลักษณะสมบัติของน้ำมัน ที่ได้จากการสกัด .....	79
4.3 การนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ไปใช้งานจริง .....	84
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	88
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	88
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	90
รายการอ้างอิง .....	91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	96

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อปริมาณการบริโภคของกลุ่ม อุตสาหกรรม .....	20
ตารางที่ 2.2 สัดส่วนของปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อปริมาณการบริโภคจำแนกตามกลุ่ม ผู้ใช้งาน .....	22
ตารางที่ 2.3 สมบัติของตัวทำละลายที่ใช้ในงานวิจัย .....	43
ตารางที่ 3.1 สมบัติของตัวทำละลายและ degrading agent ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว.....	49
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรการศึกษาผลของชนิดของตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด	51
ตารางที่ 3.3 ตัวแปรการศึกษาอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อการสกัด น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน .....	52
ตารางที่ 3.4 ตัวแปรการทดลองศึกษาอุณหภูมิต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน .....	54
ตารางที่ 3.5 ตัวแปรการทดลองศึกษาการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ .....	55
ตารางที่ 3.6 พารามิเตอร์และวิธีการทดสอบสมบัติน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัด .....	57
ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ใช้ในการสกัดและมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่น พื้นฐานกลิ่นใหม่ .....	59
ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ใช้ในการสกัดและมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่น พื้นฐานกรุป-1 150SN.....	59
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลเทคนิคเครื่องยนต์ดีเซล ฮอนด้า 9 แรงม้า จีเอ็กซ์ 270.....	84
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่และน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ต่อปริมาณ 1 ลิตร .....	86
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดและ น้ำมันหล่อลื่นใหม่.....	86

## สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 การผลิตน้ำมันหล่อลื่น (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2559).....	7
ภาพที่ 2.2 การกลั่นลำดับส่วน (fractional distillation).....	8
ภาพที่ 2.3 น้ำมันพืช (vegetable oil) (สิงห์บาง, 2556).....	12
ภาพที่ 2.4 น้ำมันแร่ (mineral oil) (สิงห์บาง, 2556).....	12
ภาพที่ 2.5 น้ำมันหล่อลื่นจำแนกตามลักษณะการใช้งาน (โรงงานอุตสาหกรรม, 2555).....	15
ภาพที่ 2.6 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว.....	23
ภาพที่ 2.7 การลักลอบทิ้งน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่จังหวัดอำนาจเจริญ (ควบคุมมลพิษ, 2552). 31	
ภาพที่ 2.8 concrete mould release oil (พรชนก และ ธารพงษ์, 2558).....	32
ภาพที่ 2.9 น้ำมันทดแทนน้ำมันเตา (ทองอาภรณ์, 2545).....	34
ภาพที่ 4.1 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่นำมาใช้ในการทดลอง .....	60
ภาพที่ 4.2 ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายในอัตราส่วนตัวทำละลาย ต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 1:1 .....	63
ภาพที่ 4.3 ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่าง ๆ.....	65
ภาพที่ 4.4 ส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและตัวทำละลายและกากตะกอนน้ำมันหลังจาก สกัด .....	66
ภาพที่ 4.5 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายในอัตราส่วนตัวทำ ละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่าง ๆ.....	68
ภาพที่ 4.6 ส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและเฮกเซนก่อนการสกัดแยกตัวทำละลาย .....	69
ภาพที่ 4.7 น้ำมันพื้นฐานหลังการสกัดด้วยเฮกเซน.....	69
ภาพที่ 4.8 ส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและบิวทานอลก่อนการสกัดแยกตัวทำละลาย....	70
ภาพที่ 4.9 น้ำมันพื้นฐานหลังการสกัดด้วยบิวทานอล .....	70

ภาพที่ 4.10 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%yield) ด้วยเฮกเซนในอัตราส่วนเฮกเซนต่อ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3:1 ถึง 5:1 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	72
ภาพที่ 4.11 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%yield) ด้วยบิวทานอลในอัตราส่วนบิวทานอลต่อ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3:1 ถึง 5:1 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	73
ภาพที่ 4.12 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซนในอัตราส่วนเฮกเซนต่อ น้ำมัน เป็น 3:1 ถึง 5:1 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ .....	75
ภาพที่ 4.13 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยบิวทานอลในอัตราส่วนบิวทานอล ต่อน้ำมัน เป็น 3:1 ถึง 5:1 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ .....	76
ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัด ด้วย .....	77
ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เดิม และ .....	78
ภาพที่ 4.16 ปริมาณโลหะในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและน้ำมันที่ผ่านกระบวนการสกัดด้วยตัวทำ ละลาย.....	81
ภาพที่ 4.17 เปอร์เซนต์การกำจัดโลหะ (%).....	81
ภาพที่ 4.18 ปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมัน.....	82
ภาพที่ 4.19 ร้อยละการกำจัดสิ่งปนเปื้อน (%).....	83
ภาพที่ 4.20 เครื่องยนต์ดีเซล ฮอนด้า 9 แรงม้า จีเอ็กซ์ 270 .....	85

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

น้ำมันหล่อลื่น (lubricating oil) คือผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (base oil) ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นชนิดต่าง ๆ เช่น น้ำมันหม้อแปลง น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันเครื่อง น้ำมันเกียร์ น้ำมันเทอร์ไบน์ เป็นต้น น้ำมันหล่อลื่นทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น ลดความฝืด การเสียดสี การสึกหรอ โดยน้ำมันหล่อลื่นทำหน้าที่เคลือบระหว่างผิวโลหะที่เสียดสีกัน เช่น ลูกสูบในกระบอกสูบรถยนต์ เป็นต้น

น้ำมันหล่อลื่นมีส่วนประกอบหลักคือน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (base oil) ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ น้ำมันสัตว์หรือน้ำมันพืช น้ำมันแร่และน้ำมันสังเคราะห์ โดยปัจจุบันน้ำมันที่ได้รับความนิยมสูงสุดคือน้ำมันสังเคราะห์ เพราะมีการตอบสนองต่อการใช้งานได้เป็นอย่างดี น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมีสมบัติหลักคือการหล่อลื่น โดยมีการเติมสารเติมแต่ง (additive) เพื่อรองรับการทำงานของเครื่องยนต์ เนื่องจากเครื่องยนต์ในปัจจุบันมีประสิทธิภาพสูง ทำให้เครื่องยนต์ต้องทำงานหนักขึ้น มีความเสี่ยงต่อการสึกหรอและเสียดสีมากขึ้น ดังนั้นการเติมสารเติมแต่งจะทำให้การทำงานของเครื่องยนต์มีประสิทธิภาพ เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ลดการสึกหรอ ช่วยยืดอายุการทำงาน of เครื่องยนต์ สารเติมแต่ง เช่น anti-oxidant, antifoaming และ extreme pressure เป็นต้น โดยปริมาณสารเติมแต่งมีตั้งแต่ 1-30% ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการใช้งาน

น้ำมันหล่อลื่นเมื่อผ่านการใช้งานจะไม่ได้ถูกเผาไหม้ทั้งหมดไปเหมือนน้ำมันเชื้อเพลิง แต่การใช้งานจะส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นมีการเสื่อมสภาพและปริมาณมีการสูญหายไปบ้างเล็กน้อย จึงต้องมีการเติมน้ำมันหล่อลื่นใหม่และเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วออกมา น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นของเสียอันตรายที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ซึ่งของเสียอันตรายจะต้องมีการควบคุมการเคลื่อนย้ายระหว่างประเทศตามอนุสัญญาบาเซล ทำให้ในหลายประเทศมีมาตรการในการควบคุมและจัดการของเสียดังกล่าว โดยมีการควบคุมการจัดการรวบรวมและการกำจัดที่ถูกต้องตามกฎหมาย

ในปัจจุบันประเทศที่เป็นผู้นำด้านการบริหารการจัดการน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว คือ กลุ่มสหภาพยุโรป จากการรายงานของ concawe พบว่าสหภาพยุโรปสามารถจัดเก็บรวบรวมปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้กว่า 80% โดยมีการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาปูนซีเมนต์ โรงงานผลิต

กระแสไฟฟ้า โรงงานหลอมเหล็ก และมีการนำมากลับใช้ใหม่ (Re-refined) เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีมาตรฐานเป็นที่ยอมรับของตลาดและผู้ใช้งาน แต่ทั้งนี้จากกฎหมายการเผาของเสียของสหภาพยุโรป (The waste incineration directive WID 2000/76/EC) ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างมากต่อการจัดการน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เนื่องจากกฎหมายดังกล่าวมีการกำหนดมาตรฐานการนำไปเผาที่สูงขึ้น ทำให้การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปเผาเป็นสิ่งที่ถูกควบคุมมากยิ่งขึ้น ดังนั้นหลายประเทศในสหภาพยุโรปจึงให้ความสำคัญกับการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปกลับใช้ใหม่ ในปัจจุบันประเทศที่เป็นผู้นำในการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมากลับใหม่ คือ ประเทศเยอรมนี อิตาลี และสเปน โดยใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยเรียกว่า Puralube และ Viscolube สามารถรับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเข้ามาสู่กระบวนการกลั่นได้สูงถึงประมาณ 80,000-100,000 ตัน/ปี มีโรงงานที่ดำเนินแล้วไม่น้อยกว่า 5 แห่งในยุโรปและกำลังมีการก่อสร้างโรงงานเพิ่มขึ้นอีก

ปีพ.ศ. 2531 ประเทศไทยก้าวเข้าสู่ประเทศอุตสาหกรรมใหม่ (newly industrialized countries, NICs) ความก้าวหน้าด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมส่งผลให้ความต้องการน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มสูงขึ้น จึงทำให้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วสูงขึ้น โดยเมื่อน้ำมันหล่อลื่นผ่านการใช้งานสักระยะเวลาหนึ่งจะเริ่มเสื่อมสภาพ โดยน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะไม่ถูกเผาไหม้หมดไปเหมือนกับน้ำมันเชื้อเพลิง จึงต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและเติมน้ำมันหล่อลื่นใหม่ทดแทน น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วถือเป็นของเสียอันตราย (hazardous waste) ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม ทำให้หลายประเทศมีการตื่นตัวและสร้างมาตรการขึ้นมาเพื่อจัดการและควบคุมน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ส่งผลให้มีการจัดเก็บรวบรวมและกำจัดอย่างถูกวิธี

ในปัจจุบันประเทศไทยนำเข้าน้ำมันหล่อลื่นจากต่างประเทศซึ่งมีต้นทุนสูง จึงควรใช้น้ำมันหล่อลื่นให้คุ้มค่า โดยแนวทางการจัดการน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมี 2 แนวทางที่ถูกต้องตามกฎหมายและนิยมใช้ในประเทศไทย ได้แก่ การนำไปกำจัดด้วยการเผาขยะอุตสาหกรรม และการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาในเตาเผาปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นเตาเผาอุณหภูมิสูงที่ทำให้มลพิษที่เกิดจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วอยู่ในรูปแบบของเถ้า ทำให้สามารถควบคุมการกระจายของมลพิษได้ง่ายขึ้น จากการศึกษาข้อมูลพบว่า น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วยังมีน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานหลงเหลืออยู่ถึง 60% (โรงงานอุตสาหกรรม, 2555) การกำจัดและนำไปใช้เป็นน้ำมันทดแทนน้ำมันเตาจึงไม่คุ้มค่าเพราะน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมีมูลค่าสูง การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลาย เป็นวิธีที่นำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่หลงเหลืออยู่ในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด มีข้อดีคือ ต้นทุนต่ำ กระบวนการไม่ยุ่งยากซับซ้อน และลดปริมาณของเสียอุตสาหกรรมที่จะถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยตัวทำละลายที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน (hexane) บิวทานอล (butanol) เฮกซานอล (hexanol) และเฮกเซนผสมเฮกซานอล (mixture of hexane and hexanol) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบความสามารถของตัวทำละลายที่มีความยาวสายโซ่คาร์บอนและหมู่ฟังก์ชันต่างกัน โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลายแบบผสมระหว่างตัวทำละลายแอลเคนและแอลกอฮอล์ และศึกษาภาวะในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ได้แก่ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว อุณหภูมิในการสกัด และการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็น degrading agent โดยกระบวนการนี้จะสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นได้ง่ายไม่ซับซ้อน มีประสิทธิภาพสูง ตะกอนที่เกิดจากการกระบวนการสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาในเตาเผาปูนซีเมนต์ และต้นทุนต่ำเนื่องจากสามารถกลั่นตัวทำละลายเพื่อนำมาใช้สกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้ในครั้งต่อไป ซึ่งจะช่วยประหยัดทรัพยากรที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และเป็นการลดจำนวนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วซึ่งเป็นของเสียอันตรายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาความสามารถในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเรือเดินสมุทรด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ที่มีความยาวสายโซ่คาร์บอนและหมู่ฟังก์ชันต่างกัน
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเรือเดินสมุทร ได้แก่ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว อุณหภูมิในการสกัด และการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
3. ศึกษาสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลั่นใหม่และมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรู๊ป-1 150SN

## 1.3 สมมติฐานงานวิจัย

1. การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีความยาวสายโซ่มากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการสกัดดีกว่าตัวทำละลายที่มีความยาวสายโซ่น้อยกว่า ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดมากขึ้น และตัวทำละลายที่มีหมู่ฟังก์ชันจะมีประสิทธิภาพในการสกัดดีกว่าตัวทำละลายที่ไม่มีหมู่ฟังก์ชัน



2. ภาวะในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเรือเดินสมุทร ได้แก่ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว อุณหภูมิในการสกัด และการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มีผลต่อกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นให้มีความหนืด ปริมาณโลหะ ปริมาณน้ำ และปริมาณเถ้า ใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่และมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN

#### 1.4. ขอบเขตของงานวิจัย

1.4.1 งานวิจัยนี้ดำเนินการทดลองในห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 26 ชั้น 4 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีขอบเขตดังนี้

1.4.2 วัตถุประสงค์คือน้ำมันหล่อลื่นที่ถ่ายออกจากเรือเดินสมุทรจาก บริษัท เจริญชัยออยล์ จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร

1.4.3 ตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน (hexane) เฮกซานอล (hexanol) บิวทานอล (butanol) และเฮกเซนผสมเฮกซานอล (mixture of hexane and hexanol)

1.4.4 อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมัน ได้แก่ 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 และ 5:1

1.4.5 อุณหภูมิในการสกัด ได้แก่ อุณหภูมิห้อง 40, 50 และ 60 °C

1.4.6 การเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH) 4.5 กรัม

1.4.7 สกัดด้วยความเร็วรอบในการกวน 200 rpm เป็นระยะเวลา 30 นาที

1.4.8 วิเคราะห์สมบัติและสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น ได้แก่ ความหนืด ปริมาณโลหะ ปริมาณน้ำ และปริมาณเถ้า ตามมาตรฐาน ASTM (American Standard Testing Methods) โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่และมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 ทราบชนิดของตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

1.5.2 ทราบความเป็นไปได้ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันโดยใช้ตัวทำละลายแบบผสมระหว่างตัวทำละลายแอลเคนและแอลกอฮอล์

1.5.3 ทราบภาวะที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว  
ได้แก่ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว อุณหภูมิในการสกัด และการเติมโพแทสเซียมไฮ  
ดรอกไซด์

1.5.4 ลดปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่จะถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

1.5.5 ลดปริมาณการนำเข้าน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นสำหรับ  
เครื่องยนต์รอบต่ำ

1.5.6 เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในประเทศ  
ไทย



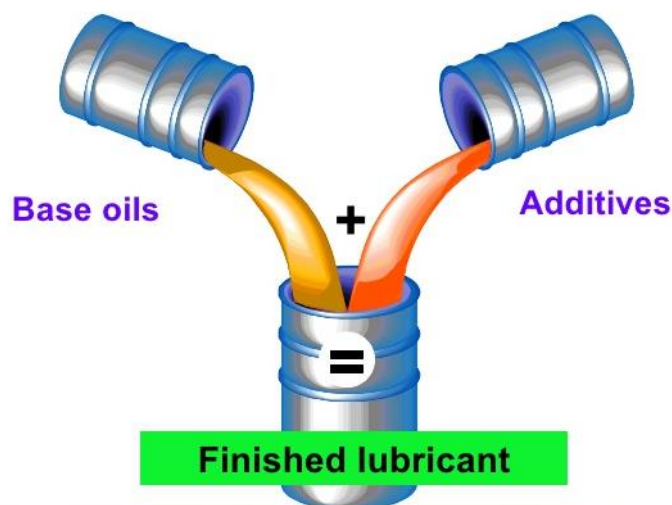
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำมันหล่อลื่น (lubricating oil)

น้ำมันหล่อลื่นเป็นสารลดความฝืดหรือลดการสึกหรอโดยเข้าไปเคลือบบริเวณผิวโลหะที่มีการเสียดสีกัน เช่น ในกระบอกสูบในเครื่องยนต์และเครื่องจักร การใช้น้ำมันหล่อลื่นมีประโยชน์ต่อชิ้นส่วนของเครื่องยนต์และเครื่องจักร เนื่องจาก 70% ของการชำรุดหรือสูญเสียความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์และเครื่องจักรมีผลมาจากการชำรุดเชิงกล ส่วน 30% เกิดจากความล้าสมัยของเครื่องยนต์และเครื่องจักร (ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2559) จึงสามารถกล่าวได้ว่าการชำรุดหรือสูญเสียความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์และเครื่องจักรส่วนใหญ่มาจากการชำรุดเชิงกลซึ่งเป็นการเสื่อมสภาพที่ผิวสัมผัส ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสึกหรอ เช่น การยึดติด การขูดขีด เป็นต้น สิ่งเหล่านี้สามารถป้องกันได้ด้วยการใช้น้ำมันหล่อลื่น หากนำน้ำมันหล่อลื่นมาใช้ประโยชน์แล้วจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงอันเกิดจากการชำรุดเชิงกลของอุปกรณ์ได้ น้ำมันหล่อลื่นมีหลายประเภท เช่น น้ำมันเครื่อง น้ำมันเกียร์ น้ำมันเบรก น้ำมันไฮดรอลิก เป็นต้น

น้ำมันหล่อลื่นคือส่วนผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (base oil) กับสารเติมแต่ง (additives) 1-30% แล้วแต่ความต้องการคุณสมบัติ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตน้ำมันหล่อลื่น มีคุณสมบัติหลักในการหล่อลื่นโดยสามารถนำไปใช้งานหล่อลื่นทั่วไปได้ การเติมสารเติมแต่งเข้าไปเพื่อทำให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานเฉพาะ สามารถรองรับการทำงาน of เครื่องยนต์และเครื่องจักรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์และเครื่องจักรสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างไม่สะดุด และยืดอายุการใช้งานของเครื่องยนต์และเครื่องจักรให้ยาวนานขึ้น



ภาพที่ 2.1 การผลิตน้ำมันหล่อลื่น (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2559)

## 2.2 การผลิตน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นเป็นสารลดความฝืดที่ใช้ในเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ ซึ่งทำให้เครื่องจักรหรือเครื่องยนต์สามารถทำงานได้ต่อเนื่องอย่างมีประสิทธิภาพ โดยน้ำมันหล่อลื่นผลิตจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและสารเติมแต่งเพื่อให้เหมาะสำหรับการใช้งาน

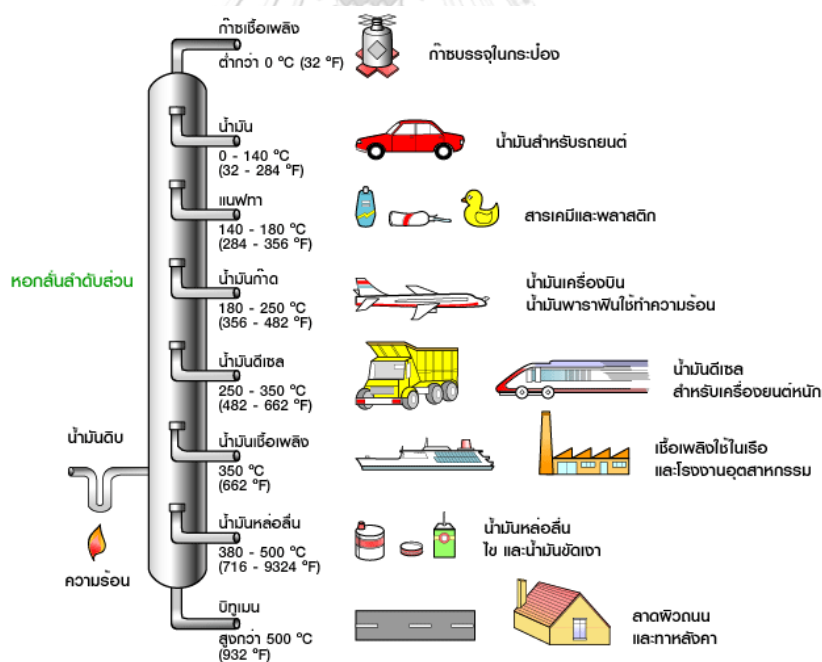
### 2.2.1 การผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (base oil)

น้ำมันดิบที่ผ่านกระบวนการแยกก๊าซ น้ำ และสิ่งสกปรกแล้วจะถูกส่งเข้าสู่หอกลั่นเพื่อทำการกลั่นลำดับส่วนโดยอาศัยสมบัติทางกายภาพ แยกเอาส่วนเบาที่เป็นเชื้อเพลิงออกก่อน เช่น ก๊าซหุงต้ม น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล เป็นต้น จะเหลือเพียงน้ำมันหนัก (heavy oil) ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

เครื่องกลั่นลำดับส่วน (fractional distillation) ในโรงกลั่นน้ำมัน จะแยกน้ำมันดิบออกมาเป็นส่วนตามจุดเดือดของไฮโดรคาร์บอน โดยน้ำมันดิบจะถูกส่งผ่านเตาเผา (furnace) ซึ่งทำให้น้ำมันดิบมีอุณหภูมิสูงจนทุกส่วนแปรสภาพกลายเป็นไอ ใอน้ำมันจะถูกส่งเข้าไปในหอกลั่นลำดับส่วน (fractionating tower) ภายในห้องกลั่นจะมีการแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ด้วยที่กั้นที่มีลักษณะเป็นแผ่นกลมเจาะรูเพื่อที่ไอน้ำมันจะสามารถทะลุผ่านขึ้นสู่ส่วนด้านบนของหอกลั่นได้ โดยมีท่อเพื่อนำน้ำมันที่กลั่นแล้วออกทางด้านข้างของหอกลั่น การบวนการระเหยและควบแน่นของไอน้ำมันมีอย่างต่อเนื่อง เมื่อไอน้ำมันที่มีอุณหภูมิสูงถูกส่งเข้าไปสู่หอกลั่นทางท่อ ไอน้ำมันนี้จะเคลื่อนตัวขึ้นไปสู่

ด้านบนของหอกลั่น โดยขณะที่ไอน้ำมันเคลื่อนตัวขึ้นไปจะมีบางส่วนเย็นตัวลงเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนและการควบแน่น ไอน้ำมันแต่ละส่วนจะกลั่นตัวเป็นของเหลวที่อุณหภูมิแตกต่างกันไปในหอกลั่น ตามคุณลักษณะการควบแน่นและการระเหยเป็นไอของไฮโดรคาร์บอนที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน

น้ำมันที่เบากว่า (lighter fractions) มีค่าอุณหภูมิของการควบแน่นต่ำจะทำให้ไอน้ำมันยังคงสภาพเป็นไอและกลั่นตัวเป็นของเหลวในชั้นบนของหอกลั่น น้ำมันที่หนักกว่าจะควบแน่นไม่เป็นไอและกลายเป็นของเหลวไต่ระดับลงมาจนเป็นส่วนของน้ำมันหนัก (heavy oil fractions) เช่น น้ำมันเตา เป็นต้น โดยน้ำมันที่จะนำมากลั่นเป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะนิยมใช้น้ำมันดิบชนิดพาราฟินิก เนื่องจากจะได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคุ้มค่ากับการลงทุน ซึ่งจะได้ yield ประมาณ 25-28% โดยหลังจากได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (base oil) แล้ว จะต้องนำมาผสมกับสารเติมแต่ง (additive) เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน



ภาพที่ 2.2 การกลั่นลำดับส่วน (fractional distillation)

(มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2559)

## 2.2.2 สารเติมแต่ง (additives)

สารเติมแต่ง คือ สารเคมีที่ใช้เติมในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเพื่อให้ได้คุณสมบัติเฉพาะตามที่ต้องการ ในปัจจุบันเครื่องยนต์และเครื่องจักรได้รับการออกแบบให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น และสามารถทำความเร็วรอบเครื่องยนต์ได้สูงขึ้น ในขณะที่ขนาดเครื่องยนต์เล็กลง ทำให้เครื่องยนต์ต้องรับภาระหนักมากขึ้น น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้จึงต้องสามารถทนกับสภาพการทำงานที่หนักในอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นจึงต้องมีการผสมสารเติมแต่งในปริมาณที่เหมาะสมลงในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเพื่อเพิ่มสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานมากยิ่งขึ้น โดยสารเติมแต่งสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

### 2.2.2.1 สารเติมแต่งคุณภาพทางด้านกายภาพ สามารถแบ่งตามคุณสมบัติ ดังนี้

- สารเติมแต่งเพิ่มค่าดัชนีความหนืด (viscosity index improvers) ใช้กับน้ำมันหล่อลื่นประเภทมัลติเกรด (multi-grade motor oil) เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป
- สารเติมแต่งลดจุดไหลเท (pour point depressants) การใช้น้ำมันหล่อลื่นในที่สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำจะทำให้เครื่องยนต์และเครื่องจักรออกตัวเดินเครื่องได้ยาก สารเติมแต่งจะช่วยลดจุดไหลเทหรือลดอุณหภูมิการแข็งตัวของน้ำมันหล่อลื่น จึงสามารถใช้น้ำมันหล่อลื่นในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำได้
- สารเติมแต่งเพิ่มแรงยึดเหนี่ยว (tackiness agents) ช่วยให้น้ำมันหล่อลื่นยึดติดกับพื้นผิวหน้าของโลหะได้ดีขึ้น ได้แก่ สารโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลยาว (long chain molecules)
- สารเติมแต่งทำให้น้ำผสมเข้ากับน้ำมันหล่อลื่น (emulsifiers) เพื่อทำให้น้ำเข้ากับน้ำมันหล่อลื่น เพราะหากน้ำแยกจากน้ำมันหล่อลื่นจะเป็นสาเหตุของการเกิดสนิม สารเติมแต่งชนิดนี้จะใช้น้ำมันหล่อเย็น (coolants) และน้ำมันหล่อลื่นสำหรับการตัด กิ่ง และเจาะโลหะ
- สารเติมแต่งสำหรับป้องกันการเกิดฟอง (antifoaming) ใช้ป้องกันการเกิดฟองเมื่อน้ำมันหล่อลื่นถูกหมุนเวียนในเครื่องยนต์และเครื่องจักร
- สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มความลื่นและความแข็งแรงของฟิล์มน้ำมัน (oiliness and film strength) ใช้เพิ่มความลื่นและความแข็งแรงให้กับฟิล์มน้ำมันและช่วยให้น้ำมันสามารถรวมกับน้ำได้บางส่วน

- สี (dyes) ใช้เติมเพื่อให้น้ำมันหล่อลื่นมีสีตามที่ต้องการ
- สารฆ่าเชื้อโรค (antiseptic or germicide) ใช้เติมเพื่อป้องกันสารหล่อลื่นที่มีน้ำเจือปนเกิดการบูด ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำมันหล่อลื่นแยกตัวออกจากน้ำ
- สารเพิ่มกลิ่น (odorants) ใช้สำหรับกลบกลิ่นของสารอื่นในน้ำมันหล่อลื่น และทำให้น้ำมันมีกลิ่นหอมตามที่ต้องการ

#### 2.2.2.2 สารเติมแต่งคุณภาพทางด้านเคมี สามารถแบ่งได้ตามคุณสมบัติ ดังนี้

- สารเติมแต่งต่อต้านการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (anti oxidants) ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดได้ช้าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 82°C และเกิดเร็วในอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งปกติการใช้งานในเครื่องยนต์จะมีอุณหภูมิสูงมากกว่า 100°C
- สารเติมแต่งลดการสึกกร่อน (corrosion inhibitors) เป็นสารลดการเกิดปฏิกิริยาของกรดที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่น เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของสารเคมีในน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้สำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กับเครื่องยนต์ที่มีการสันดาปภายใน
- สารเติมแต่งที่เป็นด่าง (alkaline agents) เป็นสารที่ช่วยทำลายกรดที่เกิดจากการเผาไหม้ให้อยู่ในสภาพเป็นกลาง
- สารขับน้ำ (water repellents) ช่วยให้น้ำมันหล่อลื่นสามารถแยกตัวจากน้ำได้เร็วขึ้น
- สารเติมแต่งชำระสิ่งสกปรก (detergents and dispersant) ทำหน้าที่ป้องกันสิ่งสกปรกที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือการเผาไหม้มาจับตัวบนผิวโลหะ โดยจะใช้ในเครื่องยนต์ที่มีการสันดาปภายใน

#### 2.2.2.3 สารเติมแต่งทางด้านอิทธิพลต่อผิวโลหะ สามารถแบ่งได้ตามคุณสมบัติ ดังนี้

- สารเติมแต่งรับแรงกดปานกลาง (anti-wear agents or mild extreme pressure additive) โมเลกุลของสารเติมแต่งจะเคลือบบริเวณผิวโลหะ ทำให้เกิดชั้นความหนาเคลือบโลหะซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของสารเคลือบผิว จึงทำให้พื้นผิวสามารถทนแรงกดชนิดสม่ำเสมอ (steady load) โดยไม่มีการทำลายผิวหน้า ได้แก่ สารประกอบอินทรีย์ เช่น กรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัว แอลกอฮอล์ เป็นต้น

- สารเติมแต่งรับแรงกดสูงมาก (extreme pressure additive) สารเติมแต่งจะทำให้ผิวหน้าของโลหะมีความเสถียรเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้ชั้นผิวหน้ามีความแข็งแรงทนทานต่อแรงเฉือน และป้องกันการสึกหรอของชั้นผิวที่ถูกเคลือบจากปฏิกิริยาระหว่างเหล็กกล้ากับตะกอนที่ยึดเกาะของเหล็กออกไซด์เหล็กซัลไฟด์หรือเหล็กฟอสเฟต

- สารเติมแต่งป้องกันสนิม (rust inhibitors) สารชนิดนี้มีการเติมลงในน้ำมันหล่อลื่นแทบทุกชนิดเพื่อช่วยลดการเกิดสนิมที่ผิวโลหะ โดยสารเติมแต่งจะเคลือบบนผิวโลหะเป็นชั้นบาง ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำสัมผัสกับผิวโลหะโดยตรงจึงทำให้ไม่เกิดสนิม

- สารเติมแต่งลดการสึกหรอ (anti wear agent) โมเลกุลของสารเติมแต่งเป็นแบบมีประจุทำให้เกิดแรงดึงดูด ทำให้น้ำมันหล่อลื่นถูกดึงดูดเข้ากับผิวโลหะได้เป็นอย่างดี และเกิดปฏิกิริยากับโลหะทำให้เกิดเป็นฟิล์มที่ช่วยชะลอการสึกหรอของผิวหน้าโลหะ สำหรับอุณหภูมิที่น้อยกว่า 250 °C

## 2.3 ประเภทของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและลักษณะของการใช้งาน

### 2.3.1 จำแนกตามลักษณะของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

2.3.1.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ (vegetable oil/animal oil) ในอดีตมีการใช้น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์เพื่อเป็นน้ำมันหล่อลื่น เช่น น้ำมันละหุ่ง น้ำมันปาล์ม น้ำมันหมู น้ำมันปลา เป็นต้น แต่เนื่องจากน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์มีค่าความร้อนและความคงตัวทางเคมีต่ำ จึงทำให้เกิดการเสื่อมสภาพง่ายและมีราคาสูง ในปัจจุบันจึงไม่นิยมนำน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์มาใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่น ดังภาพที่ 2.3





ภาพที่ 2.3 น้ำมันพืช (vegetable oil) (สิงห์บาง, 2556)

2.3.1.2 น้ำมันแร่ (mineral oil/paraffinic base oil/white oil) น้ำมันแร่เป็นน้ำมันที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ โดยจะอยู่ด้านล่างของหอกลั่นบรรยากาศ แล้วนำมาผ่านกระบวนการกลั่นอีกครั้งเพื่อให้ได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีความสะอาดและคุณภาพดีขึ้น จากนั้นเติมสารเติมแต่งเข้าไปเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 น้ำมันแร่ (mineral oil) (สิงห์บาง, 2556)

**2.3.1.3 น้ำมันสังเคราะห์ (synthetic base oil)** น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านกระบวนการผลิตด้วยวิธีการสังเคราะห์ทางเคมี เพื่อให้ได้โครงสร้างทางกายภาพและทางเคมีที่เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งมีคุณสมบัติที่ดีกว่าน้ำมันพื้นฐานที่ได้จากน้ำมันแร่ เช่น อัตราการระเหยต่ำ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันต่ำ เป็นต้น แม้ว่าน้ำมันสังเคราะห์จะมีราคาสูงแต่เป็นที่ต้องการของตลาดเนื่องจากมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าน้ำมันชนิดอื่น

## 2.3.2 จำแนกตามลักษณะการใช้งาน

### 2.3.2.1 น้ำมันหล่อลื่นยานยนต์ (automotive lubricant)

- น้ำมันเครื่อง (automotive engine oil) ใช้สำหรับเครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้ภายใน ซึ่งมีการจำแนกประเภทตามความหนืด (SAE) และตามสภาพการใช้งานของเครื่องยนต์ (APL)
- น้ำมันส่งกำลัง (automotive transmission fluid; ATF) เป็นน้ำมันส่งกำลังเกียร์อัตโนมัติซึ่งถูกออกแบบเพื่อประโยชน์ในการหล่อลื่นเกียร์
- น้ำมันเกียร์ (automotive gear oil) เป็นน้ำมันที่ได้รับการออกแบบพิเศษเพื่อการหล่อระบบเกียร์ ทั้งเกียร์ธรรมดาและเกียร์อัตโนมัติ เนื่องจากส่วนต่าง ๆ ของเกียร์ทำงานภายใต้แรงกดอย่างมาก ดังนั้นน้ำมันเกียร์ที่ใช้จึงมีหน้าที่ในการลดแรงเสียดทานและแรงยึดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในระบบเกียร์ธรรมดาที่มีกลไกการทำงานที่มีความเกี่ยวเนื่องกันมาก น้ำมันเกียร์จึงต้องสามารถใช้เพื่อหล่อลื่นได้เป็นอย่างดี
- น้ำมันเบรก (brake oil) ใช้เป็นตัวกลางในการส่งผ่านกำลังผ่านสายเบรกไปยังจานเบรกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหยุดรถและยืดอายุการใช้งานของระบบเบรก
- น้ำมันหล่อลื่นเพลาและลูกปืน (automobile and bearing lubricants) ใช้ในการหล่อลื่นและป้องกันฝุ่นผงและสิ่งสกปรกภายนอกเข้าไปขัดขวางการทำงานของเพลาและลูกปืน

**2.3.2.2 น้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรม (industrial lubricant)** อุตสาหกรรมหลายชนิดมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นที่แตกต่างกัน เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมขนส่ง อุตสาหกรรมแปรรูปโลหะและวัสดุ อุตสาหกรรมการเกษตร เป็นต้น ส่งผลทำให้น้ำมันหล่อลื่นสำหรับงานอุตสาหกรรมมีความหลากหลายมากกว่าน้ำมันหล่อลื่นยานยนต์ ดังนี้

- น้ำมันหล่อลื่นใช้งานทั่วไป (general purpose oil) เช่น น้ำมันเกียร์ น้ำมันหล่อลื่นรางแทน น้ำมันลูกปืน ใช้สำหรับการทำงานของเครื่องจักร ซึ่งต้องการคุณสมบัติในการ

หล่อลื่นที่ดีในอุณหภูมิสูงและสามารถระบายความร้อนจากการทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานาน เพื่อช่วยลดแรงเสียดทาน ป้องกันการสึกหรอ และสามารถดูแลเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพในการทำงานสูงสุด

- น้ำมันสำหรับเครื่องอัดอากาศ (compressor oil) ปกติคอมเพรสเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำให้ก๊าซหรืออากาศมีความดันสูงขึ้น ดังนั้น น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้จะใช้สำหรับการทำงานของเพลาส่งกำลังที่ต้องการรับแรงบิด ป้องกันการเกิดสนิมที่ชิ้นงาน ป้องกันอากาศเข้าระหว่างการทำงาน และหล่อลื่นลูกลอย (Universal Joint)

- น้ำมันไฮดรอลิก (hydraulic oil) น้ำมันไฮดรอลิกจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการถ่ายทอดกำลังไปยังส่วนต่าง ๆ ของระบบไฮดรอลิก ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับงานถ่ายทอดกำลังตลอดจนทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันการรั่วไหลของระบบ ซึ่งจะทำให้อัตราการไหลหรือความดันของระบบลดลง (leakage flow rate) และช่วยระบายความร้อน โดยทั่วไประบบไฮดรอลิกจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ เช่น ปั๊มสำหรับอัดน้ำมันไฮดรอลิกให้มีแรงดันสูงขึ้น วาล์วหรืออุปกรณ์สำหรับควบคุมแรงดัน ทิศทาง และปริมาณการไหลของน้ำมันไฮดรอลิก รวมถึงชุดลูกสูบและกระบอกสูบด้วย โดยปัจจุบันระบบไฮดรอลิกเป็นแบบไฮบริด คือ มีทั้งระบบใบพัดและลูกสูบ (vane pump and piston pump)

- น้ำมันหล่อเย็นและน้ำมันถ่ายความร้อน (coolant and heat transfer oil) ใช้สำหรับการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องจักร เพื่อป้องกันการสะสมตัวของความร้อนทำสูงจนหลอมละลายชิ้นส่วนเครื่องยนต์หรือเครื่องจักร ซึ่งลักษณะของน้ำมันถ่ายเทความร้อนจะต้องมีจุดวาบไฟต่ำ จุดหลอมเหลวสูง และความหนืดต่ำ

- น้ำมันชุบแข็ง (heat treating oil) ใช้สำหรับการชุบแข็งชิ้นงานโลหะเพื่อให้ได้โครงสร้างทางกายภาพตามที่ต้องการ ดังนั้นน้ำมันชุบแข็งควรมีจุดวาบไฟต่ำ จุดหลอมเหลวสูง และสามารถระบายความร้อนได้เร็ว

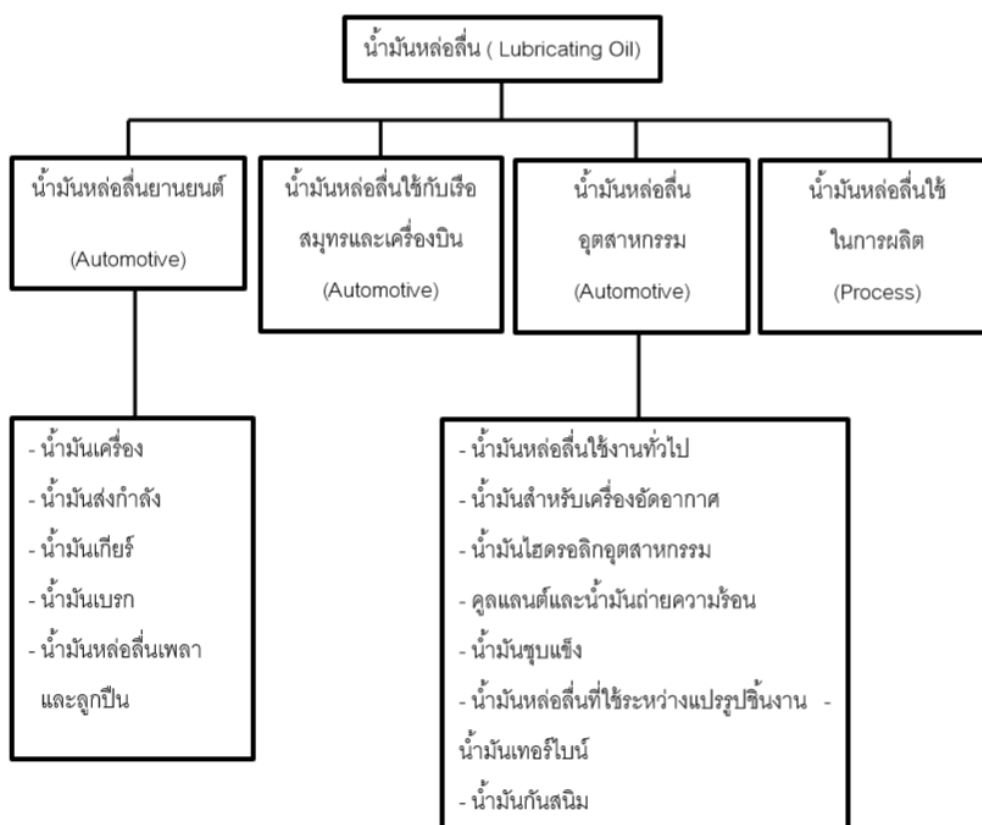
- น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ระหว่างแปรรูปชิ้นงาน เช่น การตัด การกลึง การไส ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่ในการระบายความร้อน ทำความสะอาดชิ้นงาน และสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ต้องการออกจากชิ้นงาน

- น้ำมันเทอร์ไบน์ (R&O turbine oils) ใช้สำหรับเทอร์ไบน์ทั้งที่มีความเร็วสูง ความเร็วต่ำ ระบบไฮดรอลิก และระบบเกียร์สำหรับงานเบา ใช้เพื่อป้องกันสนิมและการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

- น้ำมันกันสนิม เป็นน้ำมันที่ใช้ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งทำหน้าที่ในการเคลือบผิวชิ้นงานเพื่อป้องกันการเกิดสนิมและกระบวนการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของชิ้นงาน

2.3.2.3 น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กับเรือสมุทรและเครื่องบิน (marine and aviation lubricant)

2.3.2.4 น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในการผลิต (processing lubricant)



ภาพที่ 2.5 น้ำมันหล่อลื่นจำแนกตามลักษณะการใช้งาน (โรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

## 2.4 หน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่น

หน้าที่หลักของน้ำมันหล่อลื่น คือ การลดแรงเสียดทานระหว่างหน้าสัมผัสของชิ้นส่วนที่ใช้งาน ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นจะต้องทนทานต่อสภาพการใช้งานของเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรนั้น ๆ โดยปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นยังคงเท่าเดิม (incompressible) นอกจากนี้ยังมีน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้สำหรับงาน

พิเศษ เช่น น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนและเป็นฉนวนไฟฟ้าในหม้อแปลง เป็นต้น โดยหน้าที่ของน้ำมันหล่อลื่น มีดังนี้

**2.4.1 การหล่อลื่นเพื่อลดการสึกหรอลดแรงเสียดทานและลดแรงต้านทาน** น้ำมันหล่อลื่นจะทำหน้าที่เคลือบบริเวณผิวสัมผัสของผิวหน้าโลหะที่มีการเสียดสีกัน

**2.4.2 การระบายความร้อนที่เกิดจากการเสียดสีและการเผาไหม้เชื้อเพลิง** ทั้งความร้อนที่เกิดจากสภาวะการทำงานและสภาวะแวดล้อมที่ใช้งาน

**2.4.3 การทำความสะอาดชิ้นส่วนเครื่องยนต์และเครื่องจักร** เพื่อให้เครื่องยนต์หรือเครื่องจักรทำงานอย่างไม่มีติดขัด โดยเติมสารเติมแต่งที่มีคุณสมบัติในการทำความสะอาด (detergent additive) ซึ่งสารเติมแต่งจะช่วยชะล้างคราบเขม่าและสิ่งสกปรกที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง

**2.4.4 การเพิ่มกำลังอัดในระบบส่งกำลังของเครื่องยนต์และเพิ่มกำลังในระบบไฮดรอลิก** เพื่อป้องกันไม่ให้มีฟองอากาศเข้าไปในระหว่างการทำงาน

## 2.5 สมบัติสำคัญของน้ำมันหล่อลื่น

นอกจากสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี น้ำมันหล่อลื่นยังมีสมบัติอื่น ๆ ที่สำคัญต่อการใช้งาน ดังนี้

### 2.5.1 ความหนืด (viscosity)

ความหนืด คือ ความสามารถในการต้านทานการไหลเมื่อมีแรงมากระทำ โดยน้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดสูงจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูง น้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดต่ำจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลต่ำ ความหนืดจะแปรผกผันกับอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น โดยน้ำมันหล่อลื่นที่อุณหภูมิสูงจะมีความต้านทานการไหลต่ำทำให้น้ำมันหล่อลื่นไหลเร็ว โดยการทดสอบค่าความหนืดจะใช้มาตรฐาน ASTM D445

### 2.5.2 ดัชนีความหนืด (viscosity index)

ดัชนีความหนืด คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป โดยน้ำมันหล่อลื่นที่มีดัชนีความหนืดสูงจะเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยเมื่ออุณหภูมิการใช้งานเปลี่ยนไป ส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่มีดัชนีความหนืดต่ำนั้น ในขณะที่อุณหภูมิต่ำน้ำมันหล่อลื่นมักมีความหนืดสูง

ชิ้นส่วนเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรจะเคลื่อนไหวลำบากส่งผลทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความหนืดจะลดต่ำลงทำให้เครื่องยนต์หรือเครื่องจักรสึกหรอ ทั้งนี้ น้ำมันหล่อลื่นที่ดีควรมีค่าดัชนีความหนืดสูงและมีการเปลี่ยนแปลงน้อยเมื่ออุณหภูมิในการทำงานเปลี่ยนแปลงไป โดยการทดสอบดัชนีหนืดจะใช้มาตรฐาน ASTM D 2270

#### 2.5.4 จุดวาบไฟ (flash point)

จุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิต่ำที่สุดของน้ำมันหล่อลื่นที่ได้รับความร้อนแล้วระเหยกลายเป็นไอแต่ไม่ลุกติดไฟ แต่จะลุกติดไฟเมื่อถูกเปลวไฟหรือมีประกายไฟอยู่ในบริเวณข้างเคียง การทดสอบจุดวาบไฟใช้มาตรฐาน ASTM D93

#### 2.5.5 ความเป็นกรด (total acid number)

ความเป็นกรดบ่งบอกสมบัติในการกัดกร่อนชิ้นงาน มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อกรัม การทดสอบความเป็นกรดใช้มาตรฐาน ASTM D93974

#### 2.5.6 ปริมาณสารประกอบฟอสเฟตและซัลเฟต (phosphate and sulphate content)

ปริมาณสารประกอบฟอสเฟตและซัลเฟตมีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก สารประกอบทั้งสองเป็นสารประกอบที่มีอยู่ตามธรรมชาติในน้ำมันดิบ สามารถระเหยเป็นไอในขณะที่ใช้งานและทำลายระบบนิเวศเมื่อรั่วไหลสู่สิ่งแวดล้อม โดยการทดสอบปริมาณสารประกอบฟอสเฟตและซัลเฟตจะใช้มาตรฐาน ASTM D 874

#### 2.5.7 ปริมาณโลหะหนัก (heavy metal content)

โลหะมีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก ทั้งนี้โลหะหนักสามารถรวมตัวกับโครงสร้างน้ำมันหล่อลื่นทำให้เกิดโครงสร้างใหม่ที่ไม่ต้องการ โดยสามารถดูดซึมเข้าสู่สิ่งมีชีวิตและรั่วไหลลงสู่สิ่งแวดล้อมได้ การทดสอบการทดสอบโลหะหนักใช้มาตรฐาน ASTM D 5185

เนื่องจากสมบัติที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่น คือ การลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัสของโลหะที่มีการเสียดสี ดังนั้น น้ำมันหล่อลื่นจะต้องไม่จางจนต่อแรงที่มากระทำ และยังคงสมบัติของการบีบอัดตัวไม่ได้อยู่เสมอ

## 2.6 การใช้น้ำมันหล่อลื่นและปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

ตั้งแต่ปี พ.ศ.2531 ประเทศไทยได้เข้าสู่ประเทศอุตสาหกรรมใหม่ (newly industrialized countries) ความก้าวหน้าทางด้านอุตสาหกรรมส่งผลให้ปริมาณการใช้น้ำมันหล่อลื่นสูงขึ้น ปัจจุบันน้ำมันหล่อลื่นมีคุณภาพดีและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นตามเทคโนโลยีที่พัฒนามากขึ้นอีกทั้งการออกแบบเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

จากแนวทางการศึกษาการจัดเก็บน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย เดือนธันวาคม ปี พ.ศ. 2542 เมื่อพิจารณาข้อมูลในสัดส่วนการบริโภคและปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจำแนกตามกลุ่มผู้ใช้งาน พบว่าสัดส่วนของปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อปริมาณการบริโภค มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.6.1 กลุ่มยานยนต์

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในกลุ่มยานยนต์ เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้สำหรับรถยนต์นั่ง รถยนต์บรรทุกและรถยนต์ขนาดใหญ่ที่ใช้ในงานขนส่ง อันครอบคลุมถึงรถยนต์นั่งส่วนบุคคล รถยนต์นั่งรับจ้างทั่วไป รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล รถยนต์รับจ้างสามล้อ รถยนต์บริการ รถจักรยานยนต์ รถโดยสารประจำทางและรถโดยสารส่วนบุคคล โดยน้ำมันหล่อลื่นจะถูกนำไปใช้ในส่วนประกอบของเครื่องยนต์ต่างๆ ได้แก่ น้ำมันเครื่อง ซึ่งเป็นน้ำมันเครื่องสำหรับเครื่องยนต์ที่มีการสันดาปภายใน ทั้งเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เบนซิน น้ำมันเกียร์สำหรับระบบส่งกำลังซึ่งใช้หล่อลื่นชุดเฟือง และน้ำมันระบบส่งกำลังไฮดรอลิก ทั้งนี้ลักษณะการบริโภคน้ำมันหล่อลื่นในกลุ่มยานยนต์ ส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ ซึ่งมีปริมาณการบริโภคสูงและอายุการใช้งานสั้น (3.9 ลิตรทุก 10,000 กิโลเมตรหรือทุก 6 เดือน) น้ำมันหล่อลื่นชนิดอื่นที่ใช้กับเครื่องยนต์ มีอายุการใช้งานนานกว่าน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ เช่น น้ำมันเบรกปริมาณ 1 ลิตรเปลี่ยนถ่ายทุก 2-3 ปี พฤติกรรมการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นในกลุ่มยานยนต์ ส่วนใหญ่กระทำที่ศูนย์บริการรถยนต์ สถานีบริการน้ำมันที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น และอู่ซ่อมรถยนต์ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจากกลุ่มยานยนต์มีปริมาณการจัดเก็บสูงสุด เนื่องจากสถานบริการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นทำการเก็บน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว เพื่อทำการจำหน่ายให้ผู้นำไปใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตาม น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่จัดเก็บได้จากกลุ่มยานยนต์มีการผสมน้ำมันล้างเครื่องยนต์ ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วโดยรวมในกลุ่มยานยนต์เป็น 223.05 ล้านลิตรต่อปี คิดเป็น 61.30% ของการใช้น้ำมันหล่อลื่นทั้งหมด

## 2.6.2 กลุ่มอุตสาหกรรม

น้ำมันหล่อลื่นในงานอุตสาหกรรมมีการใช้ในปริมาณที่สูงเช่นเดียวกับภาคขนส่ง โดยมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นในโรงงานที่มีการใช้เครื่องจักรที่มีกำลังขับสูง คือ การรับแรงกดสูง อุณหภูมิในการทำงานสูง และมีการทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ในอุตสาหกรรมบางประเภทจำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่นเพื่อช่วยลดแรงเสียดทาน ป้องกันการสึกหรอ การสึกกร่อน และสามารถรักษาเครื่องยนต์ให้มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการทำงาน เพื่อหล่อลื่นชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวเสียดสีกัน โดยประเภทของน้ำมันหล่อลื่นในทางอุตสาหกรรมยังสามารถจำแนกประเภทตามประโยชน์ในการใช้งานได้ดังนี้

- น้ำมันหล่อลื่นทั่วไป ใช้สำหรับหล่อลื่นเครื่องจักรและระบบถ่ายเทกำลัง เช่น น้ำมันเกียร์ น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันเทอร์ไบน์ น้ำมันเครื่องอัดลม เป็นต้น
- น้ำมันหล่อลื่นในงานพิเศษ เช่น น้ำมันในการแลกเปลี่ยนความร้อน น้ำมันสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า น้ำมันป้องกันสนิม เป็นต้น

ทั้งนี้ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วในกลุ่มอุตสาหกรรมมี 2 ลักษณะ คือ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจากน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์และน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจากน้ำมันหล่อลื่นพิเศษที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีการนำไปใช้ประโยชน์ต่างกันตามคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว อาทิ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจากอุตสาหกรรมแปรรูปโลหะ เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในการทำความสะดวกและการระบายความร้อน จึงมีปริมาณน้ำผสมในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจำนวนมาก แต่น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจากระบบไฮดรอลิกจะมีคุณภาพสูง เนื่องจากเป็นน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณภาพสูงและอายุการใช้งานสั้น จึงทำให้มีศักยภาพในการไปใช้ประโยชน์ใหม่สูง



ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อปริมาณการบริโภคของกลุ่มอุตสาหกรรม

ประเภทอุตสาหกรรม	ปริมาณการบริโภค น้ำมันหล่อลื่น (ล้าน ลิตร)	ปริมาณ น้ำมันหล่อลื่นใช้ แล้ว (ล้านลิตร)	สัดส่วนของปริมาณ น้ำมันหล่อลื่นใช้ แล้วต่อปริมาณการ บริโภค (ล้านลิตร)
อาหาร	33.10	22.20	67.07
แปรรูปโลหะ	29.80	9.30	31.21
ชิ้นส่วนยานยนต์	19.30	9.60	49.74
พลาสติก	9.80	5.60	57.14
ยาง	3.90	1.60	41.03
สิ่งทอ	3.10	1.10	35.48
กระดาษ	2.60	1.80	69.23
เซรามิก แก้วและ กระจก	2.20	1.90	86.36
เครื่องใช้ไฟฟ้าและ อุปกรณ์ คอมพิวเตอร์	1.20	0.90	75.00
น้ำตาล	1.20	0.80	66.67
ปูนซีเมนต์และปูน ขาว	0.70	0.30	42.86
อื่น ๆ	35.60	18.30	51.40

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555)

### 2.6.3 กลุ่มเกษตรกรรม

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในกลุ่มเกษตรกรรมเป็นน้ำมันหล่อลื่นประเภทเดียวกับที่ใช้ในกลุ่มยานยนต์ เช่น เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ในเครื่องนวดข้าว เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น ซึ่งความถี่ในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นนั้นไม่แน่นอน โดยมากมักขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ฤดูกาลเกษตร เป็นต้น ทั้งนี้ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจากกลุ่มเกษตรกรรมจะมีการนำไปใช้ประโยชน์ใหม่ในทางอุตสาหกรรมน้อย เนื่องจากพฤติกรรมการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นที่กระทำด้วยตนเอง บางส่วนเป็นการเติม

น้ำมันหล่อลื่นใหม่ให้ได้ระดับแทนการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น และการเก็บรวบรวมน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไว้ใช้ประโยชน์เอง เช่น การนำไปขโหลมเครื่องมือทางการเกษตรเพื่อป้องกันสนิม เป็นต้น

#### 2.6.4 กลุ่มประมง

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในกลุ่มประมงครอบคลุมน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์และน้ำมันหล่อลื่นพิเศษบางประเภท สำหรับเรือเดินสมุทรมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นปริมาณมาก เนื่องจากเครื่องยนต์ของเรือเดินสมุทรมีขนาดใหญ่ โดยเรือเดินสมุทรจะมีขนาด 500 ตันกรอสขึ้นไป และมีจำนวนเรือเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในปี พ.ศ. 2558 มีเรือสมุทรตั้งแต่ 500 ตันกรอสขึ้นไป จำนวน 476 ลำ (ทองอาภรณ์, 2545) เรือประมงขนาดเล็กใช้เพียงน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ ส่วนเรือประมงขนาดใหญ่ต้องการน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์และน้ำมันหล่อลื่นบางประเภท เช่น น้ำมันไฮดรอลิกสำหรับระบบขนส่งสินค้าขนาดใหญ่ ทั้งนี้พฤติกรรมการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นในกลุ่มประมงนั้น หากเป็นเรือประมงขนาดเล็กมักมีการเติมน้ำมันหล่อลื่นเพื่อให้ได้ปริมาณที่ต้องการและทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นด้วยตนเอง เพื่อความสะดวกและมีการเก็บน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วไปใช้ประโยชน์อื่น เช่น ทาไม้ในเรือกันปลวก เป็นต้น ส่วนเรือเดินสมุทร เรือประมงขนาดใหญ่ และเรือโดยสารเพื่ออุตสาหกรรมการท่องเที่ยว จะทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นที่อู่ซ่อมเรือ

#### 2.6.5 กลุ่มข้าราชการและรัฐวิสาหกิจ

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในกลุ่มข้าราชการและรัฐวิสาหกิจนั้นมีทั้งน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในกลุ่มยานยนต์และน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรมตามลักษณะการใช้งาน เนื่องจากหน่วยงานราชการและรัฐวิสาหกิจทั้งหมดมีการบริโภคน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในกลุ่มยานยนต์สำหรับรถยนต์ใช้งาน และบางหน่วยงานบริโภคน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรม เช่น กรมชลประทาน กรมโยธาธิการ สำนักงานเร่งรัดพัฒนาชนบท เป็นต้น ส่วนการบริโภคน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องจักรกลหนักส่วนใหญ่จะเป็นการไฟฟ้าฝ่ายผลิตและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งเป็นน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรมสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่

**ตารางที่ 2.2** สัดส่วนของปริมาณน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อปริมาณการบริโภคจำแนกตามกลุ่มผู้ใช้งาน

ประเภทการใช้งาน	ปริมาณการบริโภค น้ำมันหล่อลื่น (ล้าน ลิตร)	ปริมาณ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว (ล้านลิตร)	สัดส่วนของปริมาณ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ต่อปริมาณการบริโภค (ร้อยละ)
กลุ่มยานยนต์	333.00	210.00	63.06
กลุ่มอุตสาหกรรม	142.00	73.20	51.54
กลุ่มเกษตรกรรม	35.00	16.70	47.71
กลุ่มประมง	15.00	10.90	72.66
กลุ่มข้าราชการและ รัฐวิสาหกิจ	10.00	5.20	52.00

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2555)

## 2.7 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดผลิตขึ้นมาเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งประกอบด้วยน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและสารเติมแต่ง เมื่อใช้งานน้ำมันหล่อลื่นไประยะเวลาหนึ่ง สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นจะเปลี่ยนแปลงไปทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานอีกต่อไป การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นมีสาเหตุหลายประการ ดังนี้

### 2.7.1 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่น

การเติมสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่นเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เมื่อสารเติมแต่งนี้เสื่อมสภาพลงน้ำมันหล่อลื่นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนทำให้เกิดสารประเภทกรดและคราบยางเหนียว โดยปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นได้เร็วในที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 82°C เป็นต้นไป ส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นเกิดความเป็นกรด ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เกิดคราบยางเหนียวเกาะตามช่องทางผ่านของน้ำมันหล่อลื่น และอาจกัดกร่อนเนื้อโลหะในเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรได้

### 2.7.2 สารเติมแต่งหมดไปหรือเสื่อมสภาพ

เมื่อใช้งานน้ำมันหล่อลื่นระยะเวลาหนึ่ง สารเติมแต่งจะเริ่มหมดไปหรือเสื่อมคุณภาพลง ทำให้น้ำมันไม่มีสมบัติเพียงพอที่จะใช้งานต่อไป

### 2.7.3 การปนเปื้อนของสิ่งปนเปื้อน

สิ่งปนเปื้อน เช่น น้ำ โลหะ เถ้า เป็นต้น เมื่อเข้ามาในเครื่องยนต์หรือเครื่องจักรจะทำให้สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงไป หากมีการสะสมของสิ่งปนเปื้อนมากเกินไปจะทำให้ น้ำมันหล่อลื่นไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานต่อไป เช่น เถ้าที่ปนเปื้อนในน้ำมันจะส่งผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้เครื่องยนต์หรือเครื่องจักรเคลื่อนไหวลำบาก ส่งผลให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

### 2.8 ผลกระทบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อสิ่งแวดล้อม

เมื่อใช้งานน้ำมันหล่อลื่นไปเป็นระยะเวลาหนึ่งน้ำมันหล่อลื่นจะเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งจะเรียกน้ำมันหล่อลื่นนี้ว่า น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ซึ่งจะถูกนำไปใช้ประโยชน์อื่นในเชิงพาณิชย์ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตา โดยนำไปใช้ทดแทนน้ำมันเตาในเตาเผาอุตสาหกรรมหรือเตาเผาปูนซีเมนต์ เป็นต้น ซึ่งการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้ทดแทนน้ำมันเตา จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วสลายไปพร้อมกับความร้อน แต่อาจปล่อยมลพิษออกมาจากปล่องระบายควันและสะสมในสิ่งแวดล้อมหากไม่มีมาตรการป้องกันที่เหมาะสม และยังเป็นการสูญเสียทรัพยากรเนื่องจากในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วยังมีน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานหลงเหลืออยู่ประมาณ 60% (โรงงานอุตสาหกรรม, 2559) โดยควรนำ

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่หลงเหลือเหล่านี้ก็กลับมาใช้ประโยชน์สูงสุด โดยวิธีการนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลับมาใช้จะมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมากลับใหม่ (re-refining process) โดยผ่านกระบวนการกรองฟอกแบบ acid/clay process และการกลั่นแบบ vacuum distillation ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะทำให้ได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกมาเพื่อใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นใหม่ได้

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วส่วนใหญ่มาจาก 2 แหล่งกำเนิด ได้แก่ กลุ่มยานยนต์และกลุ่มอุตสาหกรรม น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีสารพิษสะสมอยู่ซึ่งเกิดจากการใช้งาน อุบัติเหตุหรือความตั้งใจ สารพิษดังกล่าวได้แก่ สารพีซีบี (PCBs, polychlorinated biphenyls) ไดออกซิน (dioxin, polychlorinated dibenzodioxins, PCDDs) ฟิวแรน (furan, polychlorinated dibenzofurans, PCDF) พีเอเอช (PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbon) สารอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compounds, VOCs) และโลหะหนัก เช่น เหล็ก โครเมียม นิกเกิล อลูมิเนียม ทองแดง สังกะสี แบเรียม แคลเซียม แมกนีเซียม และซิลิกอน เป็นต้น สารเหล่านี้มักจะสะสมในสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตเป็นเวลานาน หากเข้าสู่ร่างกายจะก่อให้เกิดพิษเฉียบพลันและเรื้อรัง

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วหากถูกปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 3 ทาง ดังนี้

### 2.8.1 ผลกระทบทางอากาศ

หากนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปเผาจะเกิดก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ ไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ซึ่งก๊าซเหล่านี้จะไปทำลายชั้นโอโซนซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน (global warming) และหากใช้อุณหภูมิในการเผาไหม้ต่ำเกินไปจะก่อให้เกิดสารพิษ เช่น ไดออกซิน (dioxins) และ (polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)) เป็นต้น นอกจากนี้ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วบางส่วนอาจจะเหยเข้าสู่อากาศของสิ่งมีชีวิตผ่านทางระบบหายใจด้วย

### 2.8.2 ผลกระทบทางดิน

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะแทรกตัวในช่องว่างของดินแทนที่อากาศในดินทำให้ดินจับตัวกันเป็นก้อน ส่งผลทำให้สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในดิน เช่น ไส้เดือน กิ้งกือ แมลงขนาดเล็ก เป็นต้น ไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ส่วนพิษอาจดูดซึมโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ก่อให้เกิดการสะสมสารพิษภายในพืช หากบริโภคจะเป็นอันตรายต่อร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้

### 2.8.3 ผลกระทบทางแหล่งน้ำ

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่รั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำจะลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำในลักษณะคล้ายฟิล์มทำให้ออกซิเจนไม่สามารถซึมผ่านลงไปใต้น้ำได้ ทำให้สิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำที่อาศัยออกซิเจนในการหายใจไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ นอกจากนี้หากมีการรั่วซึมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วลงในแหล่งน้ำใต้ดินจะมีการตกค้างนาน เนื่องจากน้ำใต้ดินมีการเคลื่อนตัวช้า การบำบัดด้วยสารเคมีหรือแบคทีเรียทำได้ยากเนื่องจากน้ำใต้ดินไม่มีอากาศที่ช่วยในการเกิดปฏิกิริยาในการกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

## 2.9 ผลกระทบของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อสุขภาพ

นอกจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่กำจัดอย่างไม่ถูกวิธียังส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนี้

### 2.9.1 ผลกระทบทางตรง

การสัมผัสกับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยตรงจะส่งผลกระทบต่อระบบผิวหนังและการสูดดมไอระเหย (vapors) และไอละอองน้ำมัน (mists) ของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะส่งผลกระทบต่อระบบหายใจของสิ่งมีชีวิต

### 2.9.2 ผลกระทบทางอ้อม

การบริโภคอาหารหรือน้ำที่ปนเปื้อนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว สารเพิ่มคุณภาพในน้ำมันหล่อลื่นจะส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินอาหาร และหากสะสมในร่างกายเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดมะเร็งได้ ในทารกที่เกิดจากมารดาที่ได้รับสารพิษจะมีน้ำหนักตัวน้อยและเม็ดสีในร่างกายผิดปกติ

## 2.10 การแก้ไขปัญหาน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในอดีต

นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531 เป็นต้นมา ประเทศไทยได้พัฒนาตนเองเข้าสู่ประเทศอุตสาหกรรมใหม่แห่งหนึ่งในเอเชีย ผลของการพัฒนาส่งผลทำให้เศรษฐกิจของประเทศไทยขยายตัวสูงอย่างต่อเนื่อง ภาคการขนส่งขยายตัวสูงขึ้น การขนส่งวัตถุดิบจากแหล่งผลิตและสินค้าจากโรงงานอุตสาหกรรมสู่ตลาด ส่งผลทำให้ความต้องการใช้น้ำมันหล่อลื่นสำหรับรถยนต์และโรงงานอุตสาหกรรมเพิ่มสูงขึ้น ทำให้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถูกเปลี่ยนแปลงมีปริมาณสูงตามไปด้วย โดยทั่วไปสภาพของน้ำมันหล่อลื่นใช้

แล้วยังมีสมบัติในการหล่อลื่นอยู่ แต่สารเติมแต่งจะเสื่อมสภาพและมีสิ่งปนเปื้อนเข้ามาเจือปน เช่น น้ำ โลหะ เถ้า เป็นต้น โดยน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะมีค่าความร้อนสูงใกล้เคียงกับน้ำมันเตา ในขณะนั้น น้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาต่ำมากโดยเฉพาะน้ำมันเตาซึ่งนิยมใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตาจึงไม่เป็นที่นิยมมากนัก น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจึงถูกนำมาปรับสภาพใหม่เพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นใหม่ หรือนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถูกปรับสภาพนี้ไปผสมกับน้ำมันหล่อลื่นใหม่ กลายเป็นน้ำมันหล่อลื่นผสมที่มีต้นทุนต่ำลง และจำหน่ายเป็นน้ำมันหล่อลื่นคุณภาพต่ำหรือน้ำมันหล่อลื่นปลอมไปจำหน่ายในต่างจังหวัด เป็นผลเสียต่อเครื่องจักรหรือเครื่องยนต์ที่นำไปใช้งาน

### 2.10.1 แนวทางการกำจัดและการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้ประโยชน์ใหม่

**2.10.1.1 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและตะกอนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว** น้ำมันหล่อลื่นเมื่อใช้ไปสักระยะเวลาหนึ่งจะต้องมีการเปลี่ยนถ่ายออกตามกำหนดเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นจะเปลี่ยนแปลงไปและมีสิ่งปนเปื้อนสะสมในน้ำมัน เช่น โลหะ น้ำ เถ้า น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น เพื่อเป็นการรักษาสภาพเครื่องยนต์และเครื่องจักรให้สามารถใช้งานได้ยาวนานและมีประสิทธิภาพ

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีปริมาณเพิ่มสูงมากขึ้นทุกปีตามการใช้งานที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเติบโตของเศรษฐกิจ หากไม่มีการจัดการที่ถูกต้องหรือไม่มีการหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วย่อมกลายเป็นของเสียอันตราย (hazardous waste) ในสิ่งแวดล้อม ที่จะก่อให้เกิดปัญหามลพิษทั้งทางดิน น้ำ และอากาศ เพราะถ้าน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วปนเปื้อนลงดินหรือแหล่งน้ำจะเป็นอันตรายต่อพืชและสิ่งมีชีวิต ทำให้สูญเสียสภาพนิเวศวิทยา ซึ่งการกำจัดโดยการเผาทิ้งหรือนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำของโรงงานอุตสาหกรรมโดยการผสมในน้ำมันเตาจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เนื่องจากโลหะ คลอรีน ฟลูออรีนและสิ่งปนเปื้อนอื่นในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะแพร่ออกสู่บรรยากาศและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งมีชีวิตทั้งหลายในบริเวณนั้น

#### 2.10.1.2 การกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

การกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมสามารถกระทำได้หลายวิธี ดังนี้

- การใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นวัตถุดิบในโรงกลั่นน้ำมัน ซึ่งวิธีการนี้ยังไม่มี การปฏิบัติใช้ในประเทศไทย เนื่องจากราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในอดีตไม่สูงมากนัก จึงไม่อยู่ในจุดคุ้มทุนที่ โรงกลั่นน้ำมันจะลงทุนปรับปรุงอุปกรณ์การกลั่นเพื่อใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นวัตถุดิบ

- การผสมน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในน้ำมันเตาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงาน อุตสาหกรรม โดยต้องมีระบบการป้องกันมลพิษจากโลหะหนักที่ผสมอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วซึ่ง จะต้องถูกเผาไปด้วย

- การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปเป็นวัตถุดิบในขบวนการผลิตยางมะตอย ซึ่ง จะทำให้น้ำมันและโลหะหนักที่ผสมอยู่กลายเป็นของแข็งและไม่ก่อให้เกิดมลพิษ

- การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปเผาในเตาเผาของโรงงานปูนซีเมนต์หรือเผา ในเตาเผากากอุตสาหกรรม ซึ่งเคยมีการรายงานการศึกษาเรื่อง national hazardous waste Management plant (1986) โดย Engineering Science Inc. ระบุว่าน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วกว่าปี ละ 200,000 ตัน โดยในรายงานมีการเสนอการจัดโดยวิธีการเผาด้วยเตาเผา ซึ่งผู้เชี่ยวชาญของ UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) มีการศึกษางานวิจัยเพื่อ กำหนดรายละเอียดเตาเผากากอุตสาหกรรมที่เหมาะสมและไม่ก่อให้เกิดมลพิษให้กับโรงงาน อุตสาหกรรมเมื่อปี พ.ศ.2535-2536

- นำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาใช้เป็นวัตถุดิบในโรงกลั่นน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อ ผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (recycle) ซึ่งเรื่องนี้กระทรวงอุตสาหกรรมเคยได้รับความร่วมมือจาก องค์กร UNIDO ซึ่งส่งผู้เชี่ยวชาญมาศึกษาความเป็นไปได้สำหรับโครงการจัดตั้งโรงงานกลั่นน้ำมันหล่อ ลื่นใช้แล้วในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2532 ในรายงานผลการศึกษาผู้เชี่ยวชาญได้เสนอเทคโนโลยีใน การกลั่นน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยเสนอตัวอย่างของ KTL waste lube oil refining process (ประกอบด้วย high vacuum distillation และ hydro-finishing and fractionation) ต้องลงทุนค่า ก่อสร้างประมาณ 10 ล้านบาทสหรัฐ โดยมีกำลังผลิตในระยะแรก 20,000 ตัน/ปี (หลังจากจัดตั้ง โรงงานได้ 6 ปี จะขยายกำลังการผลิตเป็น 30,000 ตัน/ปี จะใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นวัตถุดิบ 42,000 ตัน) ระยะเวลาการใช้งานของโรงงานประมาณ 15 ปี ผลิตภัณฑ์ที่กลั่นได้จะมีคุณภาพ ใกล้เคียงกับน้ำมันพื้นฐานบริสุทธิ์ (vergin base oil)

ในปี พ.ศ.2533 กระทรวงอุตสาหกรรมได้เชิญบริษัทน้ำมันทั้งหลายมาประชุม เพื่อพิจารณาการศึกษาและเสนอข้อคิดเห็น ผลการหาเรื่องนี้ไม่สามารถหาข้อยุติได้ว่าควรจะมีการ ลงทุนหรือไม่เนื่องจากผลการตอบแทนการลงทุนค่อนข้างต่ำและขนาดของโรงงานใหญ่กว่าปริมาตร



น้ำมันหล่อลื่นที่คาดว่าจะจัดหาได้ แต่กระทรวงอุตสาหกรรมมีความเห็นว่าการนำน้ำมันหล่อลื่นมาใช้เป็นวัตถุดิบในโรงกลั่นน้ำมันเป็นการส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ และจะช่วยลดการสูญเสียเงินตราต่างประเทศจากการนำเข้าน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานซึ่งต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศ จึงควรสนับสนุนให้มีการจัดตั้งโรงกลั่นน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ได้มาตรฐานในประเทศไทย

### 2.10.1.3 การกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในประเทศตามการศึกษาในปี 2537

น้ำมันหล่อลื่นที่มีการใช้ในปี 2536 จำนวน 464 ล้านลิตร ซึ่งในจำนวนนี้ประมาณ 260 ล้านลิตรจะสูญเสียไปในเครื่องยนต์หรือถูกนำไปใช้ในขบวนการผลิตหรือถูกนำไปผสมกับน้ำมันเตาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนที่เหลือจำนวน 88 ล้านลิตรถูกนำกลับมาใช้ใหม่ (recycle) และอีก 116 ล้านลิตร ยังไม่ทราบข้อเท็จจริงที่ชัดเจน

### 2.10.1.4 โรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในประเทศ

ไทย ขณะนี้ในประเทศไทยมีโรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในประเทศไทย ซึ่งเป็นโรงงานที่ยังไม่ได้มาตรฐานสากล ซึ่งมีปริมาณการรับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วปีละประมาณ 88 ล้านลิตรไปผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ดังนี้

- น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจากสถานีบริการหรือโรงงานจะถูกเก็บไว้ในถังเพื่อจำหน่าย โดยสถานีบริการเกือบทุกแห่งจะมีถังเก็บน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

- ผู้รับซื้อจากสถานีบริการ อู่ซ่อมรถยนต์ และโรงงานอุตสาหกรรม จะมีผู้มารับซื้อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากสถานีบริการ อู่ซ่อมรถยนต์และโรงงาน โดยราคารับซื้ออยู่ที่ 2561 บาทต่อลิตรละ 2.50 บาท

- โรงงานรับซื้อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ในปัจจุบันมีโรงงานรับซื้อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจำนวนมาก โดยสามารถแยกได้เป็น 2 ประเภท คือ โรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคุณภาพต่ำจนไม่อาจนำมาใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นได้ และโรงงานผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้มาตรฐานที่สามารถนำกลับมาใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานสำหรับการผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปได้แต่เป็นน้ำมันหล่อลื่นเกรดต่ำ

สำหรับโรงงานประเภทผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานคุณภาพต่ำ โรงงานประเภทนี้จะใช้วิธีการผลิตที่ไม่ซับซ้อน โดยทั่วไปโรงงานประเภทนี้จะนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาต้มเพื่อไล่น้ำและเติมกรดซัลฟูริก (sulfuric acid) เพื่อให้สิ่งสกปรกต่าง ๆ ตกตะกอน จากนั้นจึงใช้ดินพอกสีใส่ลงไปใต้น้ำมันที่ผ่านการตกตะกอนแล้วเพื่อพอกสีให้ใสแล้วเข้าเครื่องกรองแยกกากตะกอนซึ่งมีสภาพเป็นกรด (acid sludge/acid tar) ออกมาทิ้งกองอยู่ในบริเวณโรงงานซึ่งมีปัญหาต่อ

สิ่งแวดล้อมอย่างมากเนื่องจากมีการดักจับฟลูอิดและโลหะหนักจะมีการปนเปื้อนในดินซึ่งทำการกำจัดได้ยาก ส่วนน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่กรองได้จะนำมาใส่ถังพักและมีการแต่งสีแล้วบรรจุถัง 200 ลิตร ส่งขายต่อไป โดยโรงงานประเภทนี้มีอยู่เป็นจำนวนมากและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรงเพราะขบวนการผลิตของโรงงานไม่ดีพอทั้งในเรื่องของการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศออกจากโรงงาน การกำจัดกากของเสียอันตรายและการระบายน้ำเสียที่เกิดจากการผลิต โดยผลิตภัณฑ์จากโรงงานเหล่านี้จะมีคุณภาพต่ำ โดยผู้ผลิตจะอ้างว่าผลิตภัณฑ์ของโรงงานจะใช้เป็นน้ำมันผสมสีทาไม้หรือน้ำมันผสมสีทาบาน โดยอ้างว่าไม่มีการนำไปผสมเป็นน้ำมันเครื่องสำเร็จรูปเพราะคุณภาพต่ำเกินไป

โรงงานอีกประเภทเป็นโรงงานที่สามารถแปรรูปน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้กลับมาเป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานซึ่งผลิตน้ำมันหล่อลื่นได้แต่เป็นน้ำมันหล่อลื่นเกรดต่ำ โรงงานประเภทนี้มีจำนวนไม่มาก โดยมีขั้นตอนการผลิตที่ยุ่งยากและต้นทุนสูง โดยเริ่มจากการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วก่อนเข้ากระบวนการโดยการใช้กรดซัลฟิวริกในการทดสอบจากนั้นทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เมื่อทำการตกตะกอนแล้วจะนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเข้าไปกลั่นในหอกกลั่นสุญญากาศเพื่อแยกน้ำมันโดยจะได้น้ำมันเบา น้ำมันหล่อลื่นและตะกอนน้ำมัน โดยแยกเอาส่วนน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกมาพอกด้วยกรดซัลฟิวริกเพื่อกำจัดสารเติมแต่งและสารที่ไม่อิมิตัวทั้งหลาย จากนั้นทำการใส่ดินพอกสีเพื่อพอกสีน้ำมันให้ใสขึ้นและทำการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) เพื่อปรับสภาพน้ำมันให้เป็นกลาง จากนั้นนำน้ำมันที่ได้ไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบ filter press จนได้น้ำมันที่มีลักษณะใสและมีความหนืดอยู่ในระดับ SEA 30 โดยนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการผลิตไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันหล่อลื่นที่มีเกรดไม่สูงกว่า SC สำหรับเครื่องยนต์เบนซินและ CC สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล (มาตรฐาน API) ผลผลิตที่ได้จากกระบวนการ ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน น้ำมันเบา และตะกอนน้ำมัน

**2.10.1.5 การผลิตน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป** น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้รับการพอกและกลั่นแล้วจากโรงงานจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในงานต่าง ๆ แต่ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป ทั้งนี้เพราะโรงงานเหล่านี้สามารถจำหน่ายน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากกระบวนการในราคาที่สูงมาก โดยน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปที่ผลิตจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีการนำไปจำหน่ายเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ จำหน่ายเป็นน้ำมันหล่อลื่นปลอม โดยอาศัยภาชนะที่บรรจุที่มีเครื่องหมายการค้าของบริษัทน้ำมันหล่อลื่นต่าง ๆ หากนำไปใช้จะทำให้เกิดผลเสียต่อเครื่องยนต์และ

เครื่องจักร และจำหน่ายเป็นน้ำมันหล่อลื่นประเภทอื่นซึ่งมีคุณภาพต่ำและก่อให้เกิดผลเสียต่อเครื่องยนต์และเครื่องจักรเช่นกัน

## 2.11 การจัดการน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

ปี พ.ศ.2531 ประเทศไทยก้าวเข้าสู่ประเทศอุตสาหกรรมใหม่ (newly industrialized countries, NICs) ความเจริญทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมส่งผลทำให้มีการใช้น้ำมันหล่อลื่นสูงขึ้น และเป็นผลให้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีปริมาณสูงขึ้นด้วย ซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการจัดเก็บรวบรวม จัดการ และกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว นอกจากนี้ปัญหาการรั่วไหลและการนำไปกำจัดหรือใช้ประโยชน์ที่ไม่ถูกต้องยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษซึ่งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในวงกว้าง

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการจัดการน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วในปัจจุบันมีด้วยกันหลายวิธี ดังนี้

### 2.11.1 การทิ้งและกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วอย่างผิดกฎหมาย (dumping and illegal disposal)

การกำจัดและทิ้งน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วอย่างไม่ถูกต้องสู่สิ่งแวดล้อมจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ว่าจะเป็นการเททิ้งลงพื้นดิน การกลบฝังแบบไม่ถูกต้อง และการทิ้งน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วออกมาทางท่อระบายน้ำจะทำให้น้ำผิวดินเกิดการปนเปื้อนของน้ำมัน และน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถูกทิ้งจะเป็นอุปสรรคทำให้การบำบัดน้ำเสียซึ่งจะทำให้การบำบัดน้ำเสียเป็นไปได้ยาก นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์ที่อาศัยอยู่ใต้ดิน พื้นดิน แหล่งน้ำธรรมชาติ และน้ำบาดาลที่มีการปนเปื้อน



ภาพที่ 2.7 การลักลอบทิ้งน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่จังหวัดอำนาจเจริญ (ควบคุมมลพิษ, 2552)

## 2.11.2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว (reclaiming)

**2.11.2.1 การทำความสะอาด (laundering)** การทำความสะอาดเป็นกระบวนการที่สำคัญในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ซึ่งวิธีนี้เหมาะกับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่รู้ที่มาและส่วนประกอบ ซึ่งการทำความสะอาดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะประกอบไปด้วย การให้ความร้อน การกรองแยกของแข็ง การแยกน้ำภายใต้ภาวะสุญญากาศ หลังจากปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเรียบร้อยแล้ว จะมีการนำน้ำมันไปทดสอบคุณภาพแล้วจึงเติมสารเติมแต่งเพื่อปรับปรุงคุณภาพให้น้ำมันมีประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น วิธีนี้จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและยังเป็นการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่าอีกด้วย โดยกระบวนการทำความสะอาดนี้ควรทำในระบบปิดเพราะจะก่อให้เกิดของเสียเพียงเล็กน้อย ซึ่งอุตสาหกรรมที่ใช้วิธีการนี้ ได้แก่ โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า อุตสาหกรรมต่อเนื่อง และหน่วยงานวิศวกรรมด้านต่าง ๆ

**2.11.2.2 การแก้ไขเพื่อนำไปใช้ใหม่ (reclamation)** การแก้ไขเพื่อนำกลับไปใช้ใหม่เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพสำหรับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ได้รับการคัดแยก ซึ่งนิยมใช้วิธีนี้กับน้ำมันไฮดรอลิก โดยน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะถูกนำไปแยกสิ่งเจือปนด้วยเครื่องปั่นแยกตะกอนด้วยแรงเหวี่ยง (centrifuge) และนำไปกรองอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านกระบวนการนี้จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อในหลายรูปแบบ เช่น น้ำมันทาแบบ (mould release oil) และน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (base oil)



ภาพที่ 2.8 concrete mould release oil (พรชนก และ ธราพงษ์, 2558)

### 2.11.3 การใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรง (direct burning options)

วิธีนี้เป็นการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยไม่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพใด ๆ ซึ่งการใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงนี้สามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภท ได้แก่

**2.11.3.1 การใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์** อุตสาหกรรมประเภทนี้มีการใช้เชื้อเพลิงในปริมาณมาก ซึ่งค่าเชื้อเพลิงและค่าไฟฟ้าคิดเป็นประมาณ 70% ของต้นทุน (การไฟฟ้านครหลวง, 2550) ของต้นทุนแปรผันในการผลิต โดยน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนโดยตรงหรืออยู่ในรูปแบบสารผสมกับสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ เช่น ตัวทำละลาย สี สารเติมแต่ง สารทำความสะอาด เป็นต้น โดยส่วนผสมแบบนี้เรียกว่าเชื้อเพลิงเหลวทุติยภูมิ (secondary liquid fuel) หรือเชื้อเพลิงด้อยคุณภาพในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ในสหภาพยุโรปมีการใช้เชื้อเพลิงชนิดนี้กว่า 3 ล้านตันในปีพ.ศ. 2537 โดยในปี พ.ศ. 2555 เชื้อเพลิงชนิดนี้ถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์กว่า 40% (โรงงานอุตสาหกรรม, 2555) เมื่อพิจารณาตามผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพบว่าเตาเผาปูนซีเมนต์เหมาะสมสำหรับใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากในเตาเผาปูนซีเมนต์จะมีอุณหภูมิสูงและใช้วัตถุดิบที่เป็นต่าง จึงสามารถกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้ เช่น โพลีไซคลิกอะโรเมติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbon), คลอรีเนตเต็ดไฮโดรคาร์บอน (chlorinated hydrocarbons) และโลหะหนัก

(heavy metal) โดยอุณหภูมิขณะทำการผลิตของเตาเผาปูนซีเมนต์อยู่ที่ 1,500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วินาที ซึ่งอุณหภูมินี้สูงกว่าเกณฑ์ข้อกำหนดของสหภาพยุโรป (EU Specifications) ซึ่งกำหนดการจัดการของเสียอันตรายเตาเผาจะต้องมีอุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 วินาที (โรงงานอุตสาหกรรม, 2559)

**2.11.3.2 การใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องทำความร้อน (burning in space heaters)** การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องทำความร้อนไม่ค่อยเป็นที่นิยม แต่จะมีการใช้บ้างในประเทศที่มีอากาศหนาวเย็น เช่น ในประเทศอังกฤษมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วภายในครัวเรือน เช่น การทำความอบอุ่นภายในโรงรถหรือเรือนปลูกต้นไม้ เป็นต้น แต่เนื่องจากการใช้น้ำมันหล่อลื่นเป็นเชื้อเพลิงภายในชุมชนจะส่งผลทำให้เกิดมลพิษจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น ยกเว้นจะมีระบบดักจับก๊าซ (gas scrubber) ซึ่งจะเป็นตัวดักจับไอระเหยของโลหะและสารประกอบคลอรีนได้

**2.11.3.3 การใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาขยะท้องถิ่นและเตาเผาสารเคมี (municipal waste and chemical waste incinerator)** โดยส่วนใหญ่องค์กรส่วนท้องถิ่นจะมีเตาเผาขยะเคมีไว้สำหรับเผาสารเคมีต่าง ๆ ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วนอกจากจะเป็นขยะแล้วยังเป็นเชื้อเพลิงในการเผาขยะอื่นได้อีกด้วย ซึ่งจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำมันเตาได้

#### 2.11.4 การผลิตซ้ำ (reprocessing)

**2.11.4.1 การใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงหลังจากการปรับปรุงคุณภาพบางส่วน (burning after mild reprocessing)** เป็นการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้ประโยชน์อื่น เช่น การนำไปผสมกับหินเพื่อทำถนน การทำเป็นเชื้อเพลิงผสม เป็นต้น โดยน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะผ่านกระบวนการปรับปรุงก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ การแยกน้ำและตะกอนออกด้วยการผสมสารติมัลซิไฟเออร์ (demulsifier) ในถังตกตะกอนโดยให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียสเพื่อเร่งการตกตะกอนให้เร็วขึ้น อาจมีการเพิ่มขั้นตอนด้วยการผ่านเครื่องหมุนเหวี่ยง (decanter) และเครื่องกรอง (filter) เพื่อทำให้น้ำมันมีสีใสและไม่มีตะกอน แต่กระบวนการนี้จะก่อให้เกิดน้ำและตะกอนซึ่งทำให้มีต้นทุนในการกำจัด

**2.11.4.2 การใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงโดยผสมน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วกับน้ำมันเตา (blending into fuel oil)** เป็นการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาผสมกับน้ำมันเตา โดยอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อน้ำมันเตาจะขึ้นอยู่กับค่าของปริมาณเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยปกติจะกำหนดค่าสูงสุดไม่เกิน 0.1% และสมบัติต่าง ๆ ต้องเป็นไปตามมาตรฐานกระทรวง

อุตสาหกรรม บัญชีแนบท้ายประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำหนดลักษณะของน้ำมันใช้  
แล้วที่ผ่านกระบวนการปรับคุณภาพและเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตา  
อุตสาหกรรมเพื่อทดแทนน้ำมันเตา พ.ศ. 2547 จุดประสงค์เพื่อให้น้ำมันมีความเหมาะสมสำหรับการ  
นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาอุตสาหกรรมและไม่ก่อให้เกิดมลพิษ นอกจากนี้จะนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว  
ไปใช้เป็นน้ำมันเตาผสม (the combined fuel oil) เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาอุตสาหกรรมแล้ว ยัง  
สามารถนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเรือเดินสมุทร (bunker fuels) ได้อีกด้วย  
ซึ่งวิธีการนี้ได้รับการยอมรับโดยองค์การปกป้องสิ่งแวดล้อม (environmental protection  
agency, EPA) ในประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีสมบัติบางประการที่  
เหมาะสมกับการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เช่น ปริมาณกำมะถันต่ำ (low sulfur content) และความ  
หนืดต่ำ (low viscosity) เป็นต้น ส่วนในทวีปยุโรปนิยมนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผสมกับน้ำมันเตาไป  
ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเรือเดินสมุทรมากกว่าการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาอุตสาหกรรม



ภาพที่ 2.9 น้ำมันทดแทนน้ำมันเตา (ทองอากรณ, 2545)

**2.11.4.3 การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผสมหินทำถนน (burning used oil in road stone plants)** โดยน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะถูกแยกน้ำและตะกอนที่ปนเปื้อนออกก่อนที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาเพื่อไล่ความชื้นออก จากนั้นนำไปผสมกับหินปูนและหินต่าง ๆ ที่เป็นวัตถุดิบในการทำถนน โดยกระบวนการนี้จะก่อให้เกิดกรด (acid contaminants) ซึ่งเป็นมลพิษ โดยมลพิษจะถูกดักจับอยู่ในหินปูนซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่าง วิธีการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาเป็นวัตถุดิบในการทำถนนมีมานานแล้วเพราะนอกจากจะเป็นการลดต้นทุนในการซื้อวัตถุดิบแล้วยังเป็นการกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วอีกด้วย โดยโรงงานผสมหินทำถนนจะต้องได้รับการตรวจสอบมลพิษอากาศที่ถูกปลดปล่อยออกปีละ 2 ครั้ง จากผลการตรวจสอบโรงงานผสมหินทำถนนจำนวน 26 โรงงาน มลพิษทางอากาศที่ถูกปลดปล่อยจะมีความมลพิษสูงกว่าเตาเผาปูนซีเมนต์ แต่ค่ามลพิษยังต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ยุโรปกำหนด (The European Emission Limit Values) ซึ่งวิธีการผลิตหินทำถนนจะมีมลพิษเกิดขึ้นโดยเฉพาะกรดและโลหะ ซึ่งมลพิษจะถูกดักจับอยู่ในก้อนหินและถูกห่อหุ้มด้วยยางมะตอยจึงไม่มีการรั่วไหลของมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่อุณหภูมิภายในเตาเผายังไม่สูงพอสำหรับการทำลายโพลีคลอริเนตเตดไบฟีนิล (polychlorinated biphenyls) และสารประกอบอินทรีย์ที่มีคลอรีน (chlorinated compounds)

**2.11.4.4 การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า (power stations)** ส่วนใหญ่โรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจะใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง โดยการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาใช้สำหรับโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจะใช้เพื่อจุดเตาถ่านหิน หรืออาจนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วไปผสมกับถ่านหินเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงหลักในการเผาไหม้

**2.11.4.5 การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหลังจากปรับปรุงคุณภาพอย่างเข้มงวด (burning after severe reprocessing)** วิธีการนี้เป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไป โดยมีกระบวนการดังต่อไปนี้

- การแยกน้ำออกด้วย flash column ทำให้น้ำที่เจือปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีการระเหยออกอย่างรวดเร็วภายใต้ความดันที่ลดลง
- การกลั่นในหอกกลั่นสุญญากาศในระดับต่ำเพื่อแยกน้ำมันส่วนเบา (gas oil) และน้ำมันส่วนที่ใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (automotive diesel oil) ออก



- การกลั่นในหอกลั่นสุญญากาศในระดับสูงเพื่อกำจัด distillate และ residue ซึ่งเป็นภาคตะกอนที่มีโลหะ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนหนัก และสารเติมแต่งเจือปนอยู่อกจากน้ำมัน

การกลั่นสุญญากาศสามารถทำให้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านกระบวนการมีปริมาณโลหะปนเปื้อนน้อยกว่า 1 ppm แต่สารประกอบอินทรีย์ที่มีคลอรีนจะไม่สามารถกำจัดได้โดยกระบวนการนี้ โดยกระบวนการปรับปรุงคุณภาพอย่างเข้มงวดจะมีด้วยกันหลายกระบวนการ ได้แก่

- กระบวนการแวกซอน (vaxon process) พัฒนาการกระบวนการโดย ENPROTEC ได้รับอนุญาตในชื่อ vaxon re-refining process โดยกระบวนการนี้ประกอบด้วย vacuum cyclone evaporator และกระบวนการทางเคมีเพื่อบำบัด distillate

ขั้นตอนที่ 1 การแยกน้ำ, แนฟทา (naphtha) และน้ำมันส่วนเบา (light ends)

ขั้นตอนที่ 2 การแยกน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (gas oil) spindle oil และน้ำมันเตาชนิดเบา (light fuel oil) ออก

ขั้นตอนที่ 3 และ 4 การแยก distillate จาก residue ซึ่งเป็นภาคตะกอนที่มีโลหะ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนหนัก และสารเติมแต่งเจือปนอยู่

น้ำมันที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำมันที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาอุตสาหกรรม โดยกระบวนการนี้สามารถพัฒนาเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็น re-refined base oil

- กระบวนการเทรลเบลเซอร์ (trailblazer process) น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะถูกแยกน้ำด้วย flash tower, heat soaked และการกลั่นสุญญากาศ โดยจะได้ผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ ดังนี้

- ไฮโดรคาร์บอนเบา ซึ่งประกอบไปด้วยน้ำมันเบนซิน (gasoline) และน้ำมันก๊าด (kerozene)

- vacuum distillate ประกอบด้วยไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในช่วงของน้ำมันดีเซลที่ไม่มีซีเถ้า (ash free hydrocarbon) น้ำมันที่ได้จะมีคุณภาพผ่านเกณฑ์

มาตรฐานน้ำมันดีเซลที่ใช้ในเรือเดินสมุทร (marine diesel oil)

- asphalt extender เป็นส่วนที่เหลืออยู่ใต้ หอก ล้น  
 สูญญากาศโดยจะมี residue ซึ่งเป็นกากตะกอนที่มีโลหะ  
 สารประกอบไฮโดรคาร์บอนหนัก และสารเติมแต่งเจือปน  
 อยู่ ในส่วนนี้ควรนำไปใช้ผสมหินทำถนน โดยกากตะกอน  
 จะถูกดักจับอยู่ในก้อนหินและถูกห่อหุ้มด้วยยางมะตอย  
 จึงไม่มีการรั่วไหลของมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อม

กระบวนการนี้มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้  
 แล้วให้มีคุณสมบัติอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในบรรยากาศทั่วไปได้โดยไม่  
 ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

#### 2.11.4.6 การนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาผลิตเป็นก๊าซ (gasification)

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการผลิตเพียงอย่างเดียวหรือผลิตร่วมกับวัตถุดิบอื่นใน  
 โรงงานผลิตก๊าซ (gasification plant) เพื่อเปลี่ยนสารประกอบคาร์บอนให้เป็นก๊าซสังเคราะห์  
 (synthesis gas) ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

#### 2.11.4.7 การกลั่นน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเพื่อใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (re-

refining used lubricating oil back to a virgin base oil substitute) ในช่วงปีพ.ศ. 2473  
 เริ่มมีการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมากลับใหม่เพื่อใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยเฉพาะช่วง  
 สงครามโลกครั้งที่ 2 เกิดปัญหาภาวะเศรษฐกิจโลก มีการแข่งขันทางการค้าอย่างรุนแรงที่ส่งผลให้  
 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วกลายเป็นวัตถุดิบที่เป็นพลังงานทดแทนราคาถูกซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง  
 หรือกลั่นใหม่ แต่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากเนื่องจากในอดีตยังไม่มีการที่ตีพอกที่จะไม่ส่งผล  
 กระทบต่อสิ่งแวดล้อม ต่อมาในช่วงปี พ.ศ. 2523 เริ่มมีกระแสกระตุ้นตัวในเรื่องผลกระทบต่อ  
 สิ่งแวดล้อม ในช่วงเวลานั้นมีการปิดโรงงานปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยกระบวนการ  
 กรองฟอก (acid/clay re-refining plants) เป็นจำนวนมาก ซึ่งภายหลังเริ่มมีการพัฒนากระบวนการ  
 ปรับปรุงคุณภาพให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด กระบวนการปรับปรุงคุณภาพหลาย  
 กระบวนการ โดยกระบวนการที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ได้แก่

- การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยกรดและดิน (acid-clay treatment) เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ในช่วงแรก

เป็นกระบวนการที่แพร่หลายทั่วโลก โดยกระบวนการนี้จะเริ่มต้นด้วยการไล่น้ำออกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วก่อน หลังจากนั้นจึงเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 93% เพื่อให้เกิดการสร้างตะกอนของสารเติมแต่ง โพลีเมอร์ และสารที่เกิดจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อให้สิ่งสกปรกตกตะกอน จากนั้นทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นด้วยดิน (clay treatment) เพื่อดูดซับสารที่มีโมเลกุลแบบมีขั้วและสารประกอบที่ไม่ต้องการอื่นที่ยังตกค้างอยู่ และนำไปกรองเพื่อแยกดินในขั้นตอนสุดท้าย ข้อดีของการกระบวนการนี้คือ การลงทุนในเครื่องจักรที่ต่ำ ดำเนินการง่ายและมีวิธีที่ไม่ซับซ้อน แต่น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านกระบวนการนี้จะมีคุณภาพต่ำกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยเทคโนโลยีอื่น และยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าเทคโนโลยีอื่น ๆ เพราะจะมีของเสียจากกระบวนการเป็นตะกอนเหนียว (sludge) และกากตะกอน (solids) จำนวนมาก จำเป็นต้องนำไปกำจัดอย่างถูกวิธี โดยตะกอนเหนียวจะประกอบไปด้วยน้ำมันดินที่มีฤทธิ์เป็นกรด (acid tars), โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)), กรดกำมะถัน และสารประกอบกำมะถัน ซึ่งไม่ควรนำไปกำจัดด้วยการฝังกลบ เนื่องจากของเสียมีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่ไม่เหมาะสมกับการกลบฝัง ควรกำจัดโดยการเผา เพราะจะก่อให้เกิดมลพิษในรูปแบบที่จัดการได้ง่ายกว่า

- การกลั่น (distillation) ในอดีตกระบวนการนี้เป็นที่นิยมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเนื่องจากสามารถทำได้ง่าย กระบวนการนี้จะประกอบไปด้วย pre-flash unit และการปรับปรุงด้วยดิน (clay treatment) สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีเสถียรต่ำและสามารถนำไปใช้อุตสาหกรรมได้อย่างจำกัด โดยของเสียที่เกิดจากกระบวนการส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก

- การระเหยแบบฟิล์มบางและการเติมไฮโดรเจน (TFE และ HDF) กระบวนการนี้อาศัยหลักการระเหยแบบฟิล์มเป็นหลัก เพื่อแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมัน และทำให้น้ำมันมีความบริสุทธิ์เพิ่มมากขึ้นด้วยหลักการไฮโดรจีเนชันเพื่อไม่ให้เกิดมลพิษทุติยภูมิ กระบวนการนี้จะเริ่มจากการไล่น้ำ กำจัดความชื้น และน้ำมันเบาออกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว จากนั้นจึงทำการแยกด้วยฟิล์มบางภายใต้อุณหภูมิสูง สุดท้ายจึงนำน้ำมันที่ได้ไปทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน (หลักการไฮโดรจีเนชัน) เพื่อแยกสารประกอบ เช่น ซัลเฟอร์ ไนโตรเจน คลอรีน และออกซิเจนออก

- การระเหยแบบฟิล์มบางและการปรับปรุงคุณภาพด้วยดิน (TFE และ clay finishing) กระบวนการนี้จะเริ่มจากการไล่น้ำ กำจัดความชื้น และน้ำมันเบาออกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้

แล้ว จากนั้นจึงทำการแยกด้วยฟิล์มบางภายใต้อุณหภูมิสูง สุดท้ายจึงนำน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไปปรับปรุงคุณภาพด้วยดิน (clay finishing)

- การระเหยแบบฟิล์มบางและการปรับปรุงคุณภาพด้วยตัวทำละลาย (TFE และ solvent finishing) กระบวนการนี้จะเริ่มจากการไล่ไอน้ำ กำจัดความชื้น และน้ำมันเบาออกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว จากนั้นจึงทำการแยกด้วยฟิล์มบางภายใต้อุณหภูมิสูง สุดท้ายจึงนำน้ำมันที่ได้จากกระบวนการไปปรับปรุงคุณภาพด้วยตัวทำละลาย (solvent finishing)

- การสกัดด้วยตัวทำละลายและกระบวนการไฮโดรฟินีซิง (solvent extraction และ hydrofinishing) กระบวนการนี้เป็นการรวมกันระหว่างการสกัดด้วยตัวทำละลายและการไฮโดรจีเนชัน โดยใช้กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว จากนั้นทำการปรับปรุงคุณภาพด้วยกระบวนการไฮโดรจีเนชัน ซึ่งในขั้นตอนแรกเริ่มด้วยการกำจัดน้ำและความชื้นจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วก่อน จากนั้นทำการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้โพรเพน (propane) ในการสกัด ส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและโพรเพนจะเข้าสู่การบำบัดด้วยไฮโดรเจนเพื่อกำจัดซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และออกซิเจน

- การปรับปรุงคุณภาพด้วยการใช้ความร้อนและดินกัมมันต์หรือการไฮโดรฟินีซิง (TDA + clay finishing และ TDA + HDF) น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะถูกกำจัดน้ำและความชื้นที่อุณหภูมิ 360 °C ภายใต้ภาวะสูญญากาศ โดยน้ำมันที่ผ่านกระบวนการจะแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ก๊าซออลส์สูญญากาศ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และกากตะกอนน้ำมัน โดยน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะถูกนำไปบำบัดด้วยไฮโดรเจนที่ความดัน 100 บาร์ และทำการบำบัดด้วยดิน (clay finishing)

- การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) กระบวนการนี้เป็นการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาผสมกับตัวทำละลาย โดยตัวทำละลายที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือโพรเพน เพราะมีราคาถูก จากนั้นทำการแยกส่วนผสมของน้ำมันและตัวทำละลายจากสิ่งปนเปื้อนที่ตกตะกอน ซึ่งตัวทำละลายจะถูกแยกออกจากน้ำมันด้วยวิธีการกลั่น โดยวิธีนี้เป็นวิธีที่มีความน่าสนใจ เนื่องจากมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน สามารถดำเนินการได้จริงในอุตสาหกรรม มีต้นทุนอยู่ในระดับปานกลางและมีของเสียออกจากกระบวนการไม่มาก

## 2.12 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแยกสาร เช่น การสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายเพื่อแยกน้ำมันออกจากสิ่งปนเปื้อน หลักการสกัดด้วยตัวทำละลาย คือ สารที่มีสภาพขั้วเหมือนกันย่อมละลายเข้ากันได้ดี (like dissolves like) โดยโมเลกุลไม่มีขั้วยอมละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว และโมเลกุลมีขั้วยอมละลายได้ดีในตัวทำละลายที่มีขั้ว โดยสาเหตุที่ตัวทำละลายและน้ำมันหล่อลื่นสามารถละลายเข้ากันได้ดีเพราะมีการทำลายแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย ซึ่งการละลายของสารจะขึ้นอยู่กับแรงกระทำระหว่างโมเลกุล (intermolecular forces) ถ้าแรงดึงดูดของสารใกล้เคียงกันจะละลายเข้าหากันได้ดี (รัชชศิริ, 2012) โดยแรงกระทำระหว่างโมเลกุลมี 3 ชนิด ได้แก่

- แรงกระทำระหว่างตัวทำละลายกับตัวทำละลาย (solvent – solvent interaction)
- แรงกระทำระหว่างตัวถูกละลายกับตัวถูกละลาย (solute – solute interaction)
- แรงกระทำระหว่างตัวทำละลายกับตัวถูกละลาย (solvent – solute interaction)

ซึ่งสารจะละลายเข้าหากันได้ดีหากแรงกระทำระหว่างตัวทำละลายกับตัวถูกละลาย มากกว่าแรงกระทำระหว่างตัวทำละลายกับตัวทำละลายและแรงกระทำระหว่างตัวถูกละลายกับตัวถูกละลาย หากน้อยกว่าอาจต้องใช้ความร้อนเพื่อให้โมเลกุลของสารมีพลังงานพอที่จะแยกตัวออกจากกันและทำให้การละลายดีขึ้น

โดยแรงที่ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเป็นแรงดึงดูดที่ช่วยยึดโมเลกุลเข้าหากันแบบอ่อน มี 3 ชนิด ได้แก่

- แรงแข้วคู่-ขั้วคู่ (dipole dipole forces) เป็นแรงกระทำระหว่างโมเลกุลมีขั้ว
- แรงแข้วคู่-ขั้วคู่เหนี่ยวนำ (dipole- induced dipole forces) เป็นแรงที่เกิดจากการที่โมเลกุลที่มีขั้วเหนี่ยวนำโมเลกุลอื่นมีขั้วไปด้วย โดยแรงจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความสามารถในการเกิดการมีขั้ว (polarizability) ของโมเลกุลที่ถูกเหนี่ยวนำ ปกติโมเลกุลขนาดใหญ่จะมีความสามารถในการเกิดการมีขั้วสูงกว่าโมเลกุลขนาดเล็ก

- แรงแม่กระจาย (dispersion forces หรือ london) เป็นแรงกระทำระหว่างโมเลกุลไม่มีขั้ว
- การสกัดสามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธี ดังนี้

- solid/liquid extraction เป็นการสกัดสารละลายออกจากสารผสมที่เป็นของแข็งโดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม หลักการนี้ไม่แตกต่างจากการตกผลึก โดยแค่สารผสมที่ต้องการสกัดในตัวทำ

ละลายที่เหมาะสมสักระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งส่วนใหญ่การสกัดสารละลายออกจากสารผสมที่เป็นของแข็ง จะใช้เครื่องมือแบบซอกเลต (soxhlet extractor) ที่ถูกออกแบบมาให้สกัดสารอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด การสกัดด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการคือให้ตัวทำละลายระเหยกลายเป็นไอ แล้วกลั่นตัวเป็นของเหลวผ่านลงไปนในสาร ตัวทำละลายที่สัมผัสกับสารจะไหลลงภาชนะรองรับ การแยกตัวทำละลายผสมกับสารที่ต้องการจะทำได้โดยกลั่นตัวลงบนสารซ้ำแล้วซ้ำอีกไปเรื่อย ๆ จนได้สารที่ต้องการ

- acid/base extraction การแยกสารอินทรีย์ที่มีสมบัติเป็นกรดแก่ กลาง อ่อน และเบสออกจากกันด้วยปฏิกิริยากรดเบส โดยทั่วไปสารจะอยู่ในรูปที่ไม่แตกตัวซึ่งจะละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับเบสหรือกรดที่เหมาะสมจะเกิดเป็นเกลือ ซึ่งอยู่ในรูปไอออนที่สามารถละลายน้ำได้ทำให้สามารถแยกออกจากสารที่ไม่แตกตัวอื่น ๆ

- liquid/liquid extraction เป็นการสกัดสารละลายออกจากสารผสมที่เป็นของเหลว โดยใช้ตัวทำละลายที่เหมาะสม กระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะใช้วิธีนี้ในการสกัด ตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดควรมีสมบัติเช่นเดียวกับตัวทำละลายที่ใช้ในการตกผลึกสาร ตัวทำละลายที่ดีควรมีจุดเดือดที่ไม่สูงมากเพื่อที่จะสามารถกำจัดตัวทำละลายออกจากตัวถูกละลายได้ง่าย โดยตัวทำละลายจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับตัวถูกละลาย ไม่ติดไฟง่าย ไม่มีพิษ และราคาถูก ตัวทำละลายที่นิยมใช้ในการสกัด เช่น 1-butanol, ethyl acetate และ diethyl ether เป็นต้น โดยตัวทำละลายจะรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับน้ำจึงสามารถแยกสารอินทรีย์ที่ละลายหรือแขวนลอยในวัฏภาคน้ำ สารผสมจะละลายอยู่ในชั้นตัวทำละลายและชั้นน้ำตามความสามารถในการละลาย โดยทั่วไปหลักเกณฑ์การละลายคือสารที่แตกตัวเป็นไอออนหรือสารที่มีพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้จะละลายอยู่ในชั้นน้ำ ในขณะที่สารไม่มีขั้วจะละลายอยู่ในชั้นตัวทำละลาย

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย 2 ปัจจัย ได้แก่

- การทำลายเสถียรของสิ่งปนเปื้อน สิ่งปนเปื้อน ได้แก่ โลหะ น้ำ และเถ้าที่กระจายตัวอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยแรงผลักทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) ที่เสถียรจึงทำให้สิ่งปนเปื้อนไม่มีโอกาสสัมผัสกันเป็นผลทำให้สิ่งปนเปื้อนรวมตัวกันไม่ได้จึงไม่ตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก การสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการมีขั้ว ยิ่งตัวทำละลายที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงยิ่งสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้ดียิ่งขึ้น โดยเมื่อเติมตัวทำละลายที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงจะส่งผลให้แรงผลักทางไฟฟ้าเป็นกลาง

(neutralization) ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรของสิ่งปนเปื้อน เป็นผลทำให้สิ่งปนเปื้อนรวมตัวและตกตะกอนลงมา ตัวทำละลายที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูง เช่น บิวทานอล เป็นต้น

นอกจากตัวทำละลายที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงจะทำลายเสถียรของสิ่งปนเปื้อนแล้วนั้น ยังมีโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ทำหน้าที่เป็น degrading agent โดยการแตกตัวให้หมู่  $\text{OH}^-$  ช่วยทำให้แรงผลักทางไฟฟ้าเป็นกลางซึ่งเป็นการทำลายเสถียรของสิ่งปนเปื้อน ส่งผลให้เกิดการรวมตัวกันและตกตะกอน (flocculation and sedimentation) ได้เร็วขึ้น (Diphare and Muzenda, 2513)

- อุณหภูมิในการสกัด การเพิ่มอุณหภูมิจะเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้แก่อนุภาคของสาร ทำให้อนุภาคของสารสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น จึงช่วยเพิ่มโอกาสในการชนกันของอนุภาคมากขึ้น (มหาวิทยาลัยมหิดล, 2559) เมื่ออนุภาคของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและตัวทำละลายสามารถสัมผัสกันได้มากขึ้นจึงทำให้ประสิทธิภาพของการสกัดเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมียังช่วยลดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและตัวทำละลายส่งผลทำให้น้ำมันน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและตัวทำละลายผสมเข้ากันได้ดีขึ้น

### 2.13 สมบัติของตัวทำละลายที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวทำละลายที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน (hexane) และ บิวทานอล (butanol) เฮกซานอล (hexanol) และเฮกเซนผสมเฮกซานอล (mixture of hexane and hexanol) โดยเฮกเซนและบิวทานอลเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ มีจุดเด่นคือจุดเดือดต่ำ ระเหยง่าย สามารถแยกจากตัวถูกละลายได้โดยการกลั่นและระเหย ส่วนเฮกซานอลเป็นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีจุดเดือดสูง มีกลิ่นเหม็น และราคาแพง ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมบางประเภทโดยตัวทำละลายทั้งหมดมีการต้านการละลาย (anti-solvent) ที่ดี ซึ่งจะส่งผลทำให้ต้านการละลายและมีการตกตะกอนของสิ่งปนเปื้อนได้ดี (Hamad และคณะ, 2005) จึงเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในการทดลอง

เฮกเซน (hexane) เป็นตัวทำละลายที่เป็นสารประกอบแอลเคนโซ่ตรงที่มีจำนวนคาร์บอน 6 อะตอม ซึ่งเป็นโมเลกุลโคเวเลนต์ชนิดไม่มีขั้วจึงแยกชั้นจากตัวถูกละลายที่มีขั้ว เช่น น้ำ เป็นต้น ส่วนตัวถูกละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น น้ำมัน เป็นต้น จะละลายในเฮกเซนได้ดี เฮกเซนถูกเลือกใช้ในงานนี้เนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่มีจำนวนคาร์บอน 6 อะตอม ซึ่งจะสามารถละลายได้ดีในน้ำมัน และนิยมใช้ในอุตสาหกรรมจึงมีราคาถูก (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2559)

บิวทานอล (butanol) เป็นตัวทำละลายประเภทแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นอนุพันธ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดหนึ่ง มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group ; -OH) เป็นหมู่ฟังก์ชัน ซึ่งจุดเดือดของแอลกอฮอล์จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนอะตอมคาร์บอนที่เพิ่มขึ้น เพราะเมื่อจำนวนอะตอมคาร์บอนเพิ่มขึ้นมีผลให้มวลโมเลกุลมีค่าสูงขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลจึงสูงขึ้นด้วย เนื่องจากแอลกอฮอล์เป็นโมเลกุลมีขั้ว จึงมีทั้งแรงลอนดอนและแรงดึงดูดระหว่างขั้ว เป็นแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล นอกจากนี้หมู่ -OH สามารถเกิด พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของแอลกอฮอล์ได้ แอลกอฮอล์จึงมีจุดเดือดสูงกว่าแอลเคนที่มีจำนวนอะตอมคาร์บอนเท่ากัน เนื่องจากแอลเคนเป็นโมเลกุลไม่มีขั้ว จึงมีเฉพาะแรงลอนดอนเท่านั้น ซึ่งบิวทานอลมีจำนวนคาร์บอนเพียง 4 อะตอม (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2559) บิวทานอลถูกเลือกใช้ในงานนี้เนื่องจากเป็นตัวทำละลายที่มีหมู่ฟังก์ชัน และมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) สูง

เฮกซานอล (hexanol) เป็นแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่มีคาร์บอน 6 อะตอม มีกลิ่นเหม็น ไม่นิยมใช้เพราะราคาสูงและมีจุดเดือดสูงจึงทำให้แยกตัวทำละลายและตัวถูกละลายออกได้ยากและต้องใช้พลังงานในการแยกเพิ่มมากขึ้น ปัจจุบันมีการนำเฮกซานอลไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ ใช้ผลิตพลาสติกไซเซออร์ (plasticizer) น้ำยาฆ่าเชื้อโรค สารปรุงแต่งกลิ่น เกสซ์ภัณฑ์ และสารตกแต่งสิ่งทอและหนังสำเร็จ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารแต่งกลิ่นและสารทำละลายสำหรับไขมัน ขี้ผึ้ง สีย้อมและสีอีกด้วย (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2559) ในงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาประสิทธิภาพของตัวทำละลายที่มีโซ่คาร์บอนยาวและมีหมู่ฟังก์ชัน และศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างเฮกเซนและเฮกซานอล ดังนั้นเฮกซานอลจึงถูกนำมาใช้ในงานนี้

### ตารางที่ 2.3 สมบัติของตัวทำละลายที่ใช้ในงานวิจัย

สมบัติของตัวทำละลาย	เฮกเซน	บิวทานอล	เฮกซานอล
สูตรเคมี	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> - CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub>	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> - OH	CH <sub>3</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> - CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> -CH <sub>3</sub> -OH
จุดเดือด	69°C	118°C	157°C



## 2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) เป็นกระบวนการสกัดแยกน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกับสิ่งปนเปื้อนออกจากกัน โดยอาศัยสมบัติของตัวทำละลายและเงื่อนไขในการสกัดต่าง ๆ โดยตัวทำละลายจะละลายเข้ากับน้ำมันเนื่องจากความมีขั้วของตัวทำละลาย (polarity) ค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) และน้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) เมื่อรวมกับภาวะในการสกัด เช่น อุณหภูมิในการสกัด, อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และการเติมและไม่เติม degrading agent จะมีผลส่งเสริมให้ผลของการสกัดด้วยตัวทำละลายดีขึ้น เมื่อตัวทำละลายถูกผสมเข้ากับน้ำมัน สิ่งปนเปื้อนจะรวมตัวกันและทำให้ตกตะกอนออกมา ซึ่งประสิทธิภาพของกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายสามารถตรวจสอบได้จากปริมาณและความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัด

**Hamad และคณะ (2005)** ศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยใช้ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) และ stabilized condensate ในอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 1:4, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 และ 5:1 ใช้ความเร็วในการกวน 500 rpm เป็นเวลา 10 นาที และใช้ demulsifier ความเข้มข้น 1% ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดด้วยตัวทำละลาย และวัดสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีของสิ่งปนเปื้อนที่คั่งค้างอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัด ได้แก่ จุดวาบไฟ ความหนาแน่น ความหนืด น้ำ เถ้า กากคาร์บอนและ asphaltene พบว่าชนิดของตัวทำละลาย อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมัน และการใช้ demulsifier มีผลต่อคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัด โดยการใช้ stabilized condensate ในอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 4:1 ร่วมกับการใช้ demulsifier ให้ผลดีที่สุด โดยน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดมีค่าจุดวาบไฟ 222°C เพิ่มขึ้นจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ค่าความหนาแน่น 0.861 ค่าความหนืด 37.8 °C 103.97 cSt ลดลงจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ปริมาณน้ำน้อยกว่า 0.01 ppm ปริมาณเถ้า 0.108 %(w/w) ปริมาณกากคาร์บอน 0.315 % และ ปริมาณ asphaltene 0.106 %(w/w) ลดลงจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

**Al-Zahrani และ Putra (2013)** ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยใช้การสกัดด้วยตัวทำละลาย 5 ชนิด ได้แก่ 2-โพรพานอล 1-บิวทานอล เมทิลเอทิลคีโตน (MEK) ไตรคลอโร ไตรฟลูออโรอีเทน (CFC-113) และไตรคลอโร ไตรฟลูออโรมีเทน (R-11) ในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วตั้งแต่ 0.8:1, 1:1, 1.2:1, 2:1, 3:1, 4:1 และ

5:1 ที่อุณหภูมิ 23, 30, 40 และ 50°C ใช้ความเร็วในการกวน 300 rpm เป็นเวลา 20 นาที ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมงจากนั้นกั่นเพื่อแยกเอาตัวทำละลายออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละของการสูญเสียน้ำมัน (% oil losses) จากนั้นนำไปวาดกราฟ เพื่อหาจุด critical clarifying ratio (CCR) ซึ่งเป็นจุดตัดระหว่างเส้นร้อยละการสูญเสียน้ำมันและเส้นอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เพื่อหาอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ดีที่สุด พบว่า R-11 ให้ผลดีที่สุด รองลงมาเป็น CFC-113, MEK, 1-บิวทานอล และ 2-โพรพานอล ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดและเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมัน จะทำให้ %oil losses ลดลงและมีร้อยละการกำจัดกากตะกอน (sludge) มากขึ้น

**Mohammed และคณะ (2013)** ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานโดยใช้การสกัดด้วยตัวทำละลายและการดูดซับ ซึ่งการศึกษานี้ใช้ตัวทำละลาย 6 ชนิด ได้แก่ เอ็น-เฮกเซน, 1-บิวทานอล, ปีโตรเลียมอีเทอร์, 1-เฮกซานอล, คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และอะซิโตน ในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 1:1 - 4:1 และเติมและไม่เติม โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) เป็น 1-3 กรัม การดูดซับใช้วัสดุดูดซับ 4 ชนิด ได้แก่ ผงเปลือกอัลมอนต์ ผงเปลือกวอลนัท ผงเปลือกไข่ และ acid activated clay ใช้ความเร็วในการกวน 350-400 rpm เป็นเวลา 15 นาที ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นกั่นเพื่อแยกเอาตัวทำละลายออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานด้วยเครื่องกั่นสุญญากาศ พบว่า 1-บิวทานอล ให้ผลในการสกัดดีที่สุด รองลงมาคือ เอ็น-เฮกเซน ปีโตรเลียมอีเทอร์ 1-เฮกซานอล คาร์บอนเตตระคลอไรด์ และอะซิโตนตามลำดับ และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เปอร์เซ็นต์การกำจัดกากตะกอน (sludge) จะเพิ่มขึ้น จนถึงอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3:1 และลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนเป็น 4:1 ส่วน KOH ใส่ปริมาณ 2 กรัมให้ผลดีที่สุด ส่วนวัสดุดูดซับ acid activated clay ให้ผลดีที่สุด รองลงมาคือ ผงเปลือกอัลมอนต์ เมื่อวัดสมบัติพบว่าค่าความหนืดเพิ่มขึ้นจาก 38.3 cSt เป็น 85 cSt ค่าจุดวาบไฟเพิ่มขึ้นจาก 178°C เป็น 238°C ค่าความหนาแน่นลดลงจาก 912 kg/m<sup>3</sup> เป็น 896 kg/m<sup>3</sup> ค่าจุดเทไหลลดลงจาก -6°C เป็น -13.2°C ค่าสีลดลงจาก 0.53 เป็น 0.12

**Pilusa และคณะ (2013)** ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพจารบีใช้แล้วเพื่อนำน้ำมันที่หลงเหลืออยู่ในจารบีกลับมาใช้อีกครั้งโดยใช้ thermal degradation โดยในงานนี้ใช้ degrading agent 2 ชนิด ได้แก่ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นตั้งแต่ 5-25% (w/w) กวนด้วยความเร็ว 2,000 rpm ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 15 นาที และการ

สกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อแยกสิ่งสกปรกออกจากจารบี โดยใช้ toluene เป็นตัวทำละลายในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 2:1 กวนด้วยความเร็ว 1,200 rpm ที่อุณหภูมิ 45°C ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 20 นาที ใช้ความเร็วในการกวน 350-400 rpm เป็นเวลา 15 นาที ตั้งตัวอย่างทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานด้วยการกลั่นลำดับส่วน จากการทดลองพบว่า KOH มีประสิทธิภาพในการสกัดน้ำมันมากกว่า NaOH โดยมีอัตราการตกตะกอนอยู่ที่ 30.49 กรัม/นาที และ 20.51 กรัม/นาทีตามลำดับ โดย KOH มีราคาแพงกว่า NaOH อยู่ 33% ส่วนการสกัดด้วยตัวทำละลายพบว่าการสกัดจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ

**Diphare และ Muzenda (2013)** ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพจารบีใช้แล้วเพื่อใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยใช้กระบวนการ thermal degradation การสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้ตัวทำละลาย 6 ชนิด ได้แก่ เอ็น-เฮกเซน โทลูอิน เฮปเทน บิวเทน เฮกซานอล และอะซิโตน และการเติมและไม่เติม degrading agent 3 ชนิด ได้แก่ โพรแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และลิเทียมไฮดรอกไซด์ ใช้ความเร็วในการกวน 1,000 rpm ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 นาที จากการศึกษาพบว่าเอ็น-เฮกเซนสามารถสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกมาได้มากที่สุดคิดเป็น 74.39% รองลงมาเป็นโทลูอิน บิวเทน เฮกซานอล และอะซิโตนตามลำดับ และ degrading agent ที่สามารถแยกน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกจากจารบีได้มากที่สุดคือ KOH คิดเป็น 39% รองลงมาคือ NaOH และ LiOH ตามลำดับ

**Osman และคณะ (2017)** ได้ศึกษาการรีไซเคิลน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายชนิดต่าง ๆ ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวทำละลายผสม 3 ชนิด ได้แก่ ตัวทำละลาย A (ส่วนผสมระหว่างโทลูอิน บิวทานอล และเมทานอล ตัวทำละลาย B (ส่วนผสมระหว่างโทลูอิน บิวทานอล และเอทานอล) และตัวทำละลาย C (ส่วนผสมระหว่างโทลูอิน บิวทานอล และไอโซโพรพานอล) ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 1:1 ถึง 3:1 ทั้งส่วนผสมไว้ 24 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่าตัวทำละลาย A ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3:1 สามารถกำจัดกากตะกอน (sludge) ได้มากที่สุด 52%

### บทที่ 3

#### แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถ่ายออกจากเรือเดินสมุทรโดยใช้กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีความยาวสายโซ่และหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ ได้แก่ เฮกเซน (hexane) บิวทานอล (butanol) เฮกซานอล (hexanol) และเฮกเซนผสมเฮกซานอล (mixture of hexane and hexanol) โดยศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ได้แก่ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว อุณหภูมิในการสกัด และการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ทำหน้าที่เป็น degrading agent ซึ่งภาวะดังกล่าวจะส่งผลต่อปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัด ได้แก่ ความหนืด ปริมาณโลหะ ปริมาณน้ำ และปริมาณแฉะ (Hamad และคณะ, 2005) ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. ค้นคว้าเอกสารและรวบรวมข้อมูล
2. เตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
3. ดำเนินการทดลอง

งานวิจัยนี้ดำเนินการในห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย อาคารวิศวกรรมศาสตร์ 26 ชั้น 4 โดยแบ่งขั้นตอนการศึกษาเป็น 2 ช่วง ดังนี้

การทดลองช่วงที่ 1 ศึกษาภาวะในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานด้วยตัวทำละลาย โดยการเปรียบเทียบปริมาณและความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1.1 ศึกษาชนิดของตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด
- 1.2 ศึกษาอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน
- 1.3 ศึกษาอุณหภูมิในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน
- 1.4 ศึกษาการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

การทดลองช่วงที่ 2 ศึกษาผลของอัตราส่วนตัวทำละลายและอุณหภูมิในการสกัดต่อลักษณะสมบัติของน้ำมันที่ได้จากการสกัด ได้แก่ โลหะ น้ำ และแฉะ โดยเลือกศึกษาตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ที่มีความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรู๊ป-1 150SN

4. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

### 3.1 อุปกรณ์และเครื่องมือ

#### 3.1.1 อุปกรณ์

3.1.1.1 เครื่องวัดความหนืด (viscometer) ชนิด canon-fenske

3.1.1.2 เครื่องให้ความร้อน (hot plate)

3.1.1.3 ตัวเสียบเทอร์โมมิเตอร์

3.1.1.4 กระจกบอกดวง (cylinder)

3.1.1.5 เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)

3.1.1.6 นาฬิกาจับเวลา

3.1.1.7 บีกเกอร์ (beaker)

3.1.1.8 โถพลาสติก

3.1.1.9 ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flask)

3.1.1.10 ลูกยางปิเปต (rubber pipette bulb)

3.1.1.11 ครุชีเปิล

3.1.1.12 คีมคีบ (forcep)

3.1.1.13 โถดูดความชื้น (desiccator)

3.1.1.14 ช้อนตักสารสแตนเลส (stainless spatula)

#### 3.1.2 เครื่องมือ

3.1.2.1 เครื่องชั่งหยาบ (mettler-tokyo รุ่น dragon 204, USA)

3.1.2.2 เครื่องชั่งสำหรับงานวิเคราะห์ (analytical balance)

3.1.2.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำ (Karl Fischer coulometer) (metrohm รุ่น KF 831, Switzerland)

3.1.2.4 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุและโลหะ (inductively coupled plasma) (Varian รุ่น JY 2000 Manual Jobin Yvon, USA)

3.1.2.5 เครื่องกลั่นสุญญากาศ (IKA รุ่น RV 10 control V, Germany)

3.1.2.6 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) (scipro รุ่น DH-30-110)

3.1.2.7 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบหมุนเวียน (JULABO รุ่น 2551337)

3.1.2.8 เตาเผา (furnace) (nabertherm รุ่น B 180, germany)

### 3.2 วัสดุดิบและสารเคมี

#### 3.2.1 วัสดุดิบ

3.2.1.1 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถ่ายออกจากเรือเดินสมุทร จากบริษัท หารินต่อเรือ จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร

3.2.1.2 น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซล PTT DYNAMIC SEMI-SYNTHETIC CI-4 PLUS)

#### 3.2.2 สารเคมี

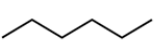
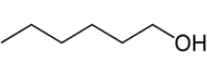
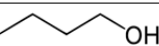
3.2.2.1 โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide, KOH) (บริษัท แอล เอส พี เคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด) commercial grade

3.2.2.2 บิวทานอล (butanol) (บริษัท แอล เอส พี เคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด) commercial grade

3.2.2.3 เฮกซานอล (hexanol) (บริษัท วีอาร์ ไบโอสายน์เอ็นซ์ จำกัด) commercial grade

3.2.2.4 เฮกเซน (hexane) (บริษัท แอล เอส พี เคมีคอล (ประเทศไทย) จำกัด) commercial grade

ตารางที่ 3.1 สมบัติของตัวทำละลายและ degrading agent ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

สารเคมี	สูตร	สูตรโครงสร้าง	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	จุดเดือด (°C)
ตัวทำละลาย				
เฮกเซน (Hexane)	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>		86.18	68
เฮกซานอล (hexanol)	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O		102.18	155
บิวทานอล (butanol)	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O		74.12	117.7
degrading agent				
โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide)	KOH	K – OH	56.11	1,327

ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2559)

### 3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาภาวะที่มีผลต่อการปรับปรุงน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถ่ายออกจากเรือเดินสมุทรด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ ชนิดของตัวทำละลาย (เฮกเซน บิวทานอล เฮกซานอล และเฮกเซนผสมเฮกซานอล) อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว (1:1, 2:1, 3:1, 4:1 และ 5:1) อุณหภูมิในการสกัด (อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C) และการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ทำหน้าที่เป็น degrading agent เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้ได้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่มีความหนืดอยู่ในค่ามาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรู๊ป-1 150SN โดยเก็บตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถ่ายออกจากเรือเดินสมุทร บริษัท ทรินต่อเรือ จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร โดยเก็บตัวอย่างปริมาณ 20 ลิตร ที่ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 สัปดาห์ เมื่อทิ้งน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นเวลา 1 สัปดาห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจะมีการตกตะกอน จึงทำการแยกส่วนที่เป็นน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วออกจากน้ำและตะกอนขนาดใหญ่ด้วยการริน โดยทำการตรวจเช็คความหนืดของตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วทุก 1 สัปดาห์และทำการเขย่าเพื่อให้ตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกันก่อนการทดลองทุกครั้ง เพื่อป้องกันไม่ใหตัวอย่างน้ำมันมีความหนืดที่แตกต่างกัน ซึ่งการทดลองแบ่งเป็น 2 ช่วงการทดลอง โดยมีรายละเอียดวิธีการทดลองดังนี้ (ดัดแปลงมาจาก Hamad และคณะ (2005), Mohammed และคณะ (2013) และ Al-Zahrani และ Patra (2013))

#### การทดลองช่วงที่ 1 ศึกษาภาวะในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย

##### 3.3.1 ศึกษาชนิดของตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด

ศึกษาผลของชนิดของตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองมี 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน บิวทานอล เฮกซานอล และเฮกเซนผสมเฮกซานอล ในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 1:1 จากนั้นวัดปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด

1) นำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่แยกน้ำและตะกอนขนาดใหญ่ออกแล้ว เทลงในกระบอกตวงปริมาณ 30 มิลลิลิตร จากนั้นเทใส่ในบีกเกอร์แล้วทำการเติมตัวทำละลายที่ต้องการศึกษาในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 1:1 ณ อุณหภูมิห้อง กวนที่ 200 rpm เป็นเวลา 30 นาที ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

2) นำส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและตัวทำละลายที่ต้องการศึกษาออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ แล้วทำการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ตกตะกอน เมื่อครบ 24

ชั่วโมงแล้วให้ทำการรินเพื่อแยกส่วนผสมของน้ำมันพื้นฐานและตัวทำละลายออกจากตะกอนที่ตกอยู่ด้านล่าง

3) นำส่วนผสมของน้ำมันพื้นฐานและตัวทำละลายไปกลั่นแยกตัวทำละลายที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายแต่ละชนิดในเครื่องกลั่นสุญญากาศ (rotary evaporator)

4) นำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้เทลงในกระบอกตวงเพื่อวัดปริมาณ ทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

5) บันทึกข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรการศึกษาผลของชนิดของตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรอิสระ	- ชนิดของตัวทำละลาย ได้แก่ เฮกเซน บิวทานอล เฮกซานอล และเฮกเซนผสมเฮกซานอล
ตัวแปรตาม	- ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัด
ตัวแปรคงที่	- อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ที่ 1:1 - น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถ่ายจากเรือเดินสมุทรปริมาณ 30 มิลลิลิตร - ความเร็วรอบในการกวน 200 rpm - ระยะเวลาในการกวน 30 นาที - อุณหภูมิห้อง

### 3.3.2 ศึกษาอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อการสกัด

#### น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

ศึกษาผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล ในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ได้แก่ 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 และ 5:1 จากนั้นทำการวัดปริมาณและวัดความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C เพื่อหาภาวะที่สามารถสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้มีความหนืดอยู่ในมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลุ่ม 150SN

1) นำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่แยกน้ำและตะกอนขนาดใหญ่ออกแล้ว เทลงในกระบอกตวงปริมาณ 30 มิลลิลิตร จากนั้นเทใส่ในบีกเกอร์แล้วทำการเติมตัวทำละลายในอัตราส่วนตัว



ทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ศึกษา ได้แก่ 1:1 2:1 3:1 4:1 และ 5:1 ณ อุณหภูมิห้อง กวนที่ 200 rpm เป็นเวลา 30 นาที ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

2) นำส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและตัวทำละลายออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ แล้วทำการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ตกตะกอน เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้วให้ทำการรินเพื่อแยกส่วนผสมของน้ำมันพื้นฐานและตัวทำละลายออกจากตะกอนที่ตกอยู่ด้านล่าง

3) นำส่วนผสมของน้ำมันพื้นฐานและตัวทำละลายไปกลั่นแยกตัวทำละลายที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายแต่ละชนิดในเครื่องกลั่นสุญญากาศ (rotary evaporator)

4) นำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้เทลงในกระบอกตวงเพื่อวัดปริมาณ

5) วัดความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C โดยนำน้ำมันตัวอย่างใส่ใน viscometer ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำ viscometer ไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 40 °C ทิ้งไว้จนกระทั่งน้ำมันมีอุณหภูมิ 40 °C ใช้ pressure หรือ suction ปรับให้ระดับบนของน้ำมันอยู่สูงกว่าจุดจับเวลาจุดแรกประมาณ 5 มิลลิเมตร จากนั้นปล่อยน้ำมันให้ไหลตามธรรมชาติ เริ่มจับเวลาเมื่อน้ำมันไหลจากจุดจับเวลาจุดแรกถึงจุดจับเวลาจุดที่สองภายใน viscometer นำค่าที่ได้มาคำนวณความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic Viscosity) ตามสมการ  $\mu = Kt$  (ASTM D445, 1970) ทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

6) บันทึกข้อมูลการทดลอง

**ตารางที่ 3.3** ตัวแปรการศึกษาอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรอิสระ	- อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมัน ได้แก่ 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 และ 5:1
ตัวแปรตาม	- ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C
ตัวแปรคงที่	- ชนิดของตัวทำละลาย ได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล - น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถ่ายจากเรือเดินสมุทร 30 มิลลิลิตร - ความเร็วรอบในการกวน 200 rpm - ระยะเวลาในการกวน 30 นาที - อุณหภูมิห้อง

### 3.3.3 ศึกษาอุณหภูมิต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล ในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ได้แก่ 3:1, 4:1 และ 5:1 โดยวัดความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C เพื่อหาภาวะที่สามารถสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้มีความหนืดอยู่ในมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรู๊ป-1 150SN

1) นำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่แยกน้ำและตะกอนขนาดใหญ่ออกแล้ว เทลงในกระบอกตวงปริมาณ 30 มิลลิลิตร จากนั้นเทใส่ในบีกเกอร์แล้วทำการเติมตัวทำละลายในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ศึกษา ได้แก่ 3:1 4:1 และ 5:1 ที่อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C กวนที่ 200 rpm เป็นเวลา 30 นาที ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

2) นำส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและตัวทำละลายที่ต้องการศึกษาออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ แล้วทำการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ตกตะกอน เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้วให้ทำการรินเพื่อแยกส่วนผสมของน้ำมันพื้นฐานและตัวทำละลายออกจากตะกอนที่ตกอยู่ด้านล่าง

3) นำส่วนผสมของน้ำมันพื้นฐานและตัวทำละลายไปกลั่นแยกตัวทำละลายที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายแต่ละชนิดในเครื่องกลั่นสุญญากาศ (rotary evaporator)

4) นำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้เทลงในกระบอกตวงเพื่อวัดปริมาณ

5) วัดความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C โดยนำน้ำมันตัวอย่างใส่ใน viscometer ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำ viscometer ไปแชวนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 40 °C ทิ้งไว้จนกระทั่งน้ำมันมีอุณหภูมิ 40 °C ใช้ pressure หรือ suction ปรับให้ระดับบนของน้ำมันอยู่สูงกว่าจุดจับเวลาจุดแรกประมาณ 5 มิลลิเมตร จากนั้นปล่อยน้ำมันให้ไหลตามธรรมชาติ เริ่มจับเวลาเมื่อน้ำมันไหลจากจุดจับเวลาจุดแรกถึงจุดจับเวลาจุดที่สองภายใน viscometer นำค่าที่ได้มาคำนวณความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic Viscosity) ตามสมการ  $\mu = Kt$  (ASTM D445, 1970) ทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

6) บันทึกข้อมูลการทดลอง เลือกภาวะที่สามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้มีความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรู๊ป-1 150SN ของแต่ละตัวทำละลาย ได้แก่ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและอุณหภูมิในการสกัด เพื่อนำไปใช้ต่อในข้อ 3.3.4

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรการทดลองศึกษาอุณหภูมิต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรอิสระ	- อุณหภูมิห้อง 40, 50 และ 60 °C - อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมัน 3;1, 4:1 และ 5:1
ตัวแปรตาม	- ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C
ตัวแปรคงที่	- น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถ่ายจากเรือเดินสมุทร 30 มิลลิลิตร - ชนิดของตัวทำละลาย ได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล - ความเร็วรอบในการกวน 200 rpm - ระยะเวลาในการกวน 30 นาที

### 3.3.4 ศึกษาการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

ศึกษาผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานด้วยตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและอุณหภูมิในการสกัดที่ดีที่สุด ตามผลการทดลองที่ 3.3.3 โดยวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดที่อุณหภูมิ 40 °C เพื่อหาภาวะที่สามารถสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้มีความหนืดอยู่ในมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN

1) นำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่แยกน้ำและตะกอนขนาดใหญ่ออกแล้ว เทลงในกระบอกตวงปริมาณ 30 มิลลิลิตร จากนั้นใส่ในบีกเกอร์แล้วทำการเติมตัวทำละลายในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและอุณหภูมิในการสกัดที่ดีที่สุดผลการทดลองข้อ 3.3.3 จากนั้นทำการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 4.5 กรัม กวนที่ 200 rpm เป็นเวลา 30 นาที ด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

2) นำส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและตัวทำละลายที่ต้องการศึกษาออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิ แล้วทำการตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องเพื่อให้ตกตะกอน เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้วให้ทำการรินเพื่อแยกส่วนผสมของน้ำมันพื้นฐานและตัวทำละลายออกจากตะกอนที่ตกอยู่ด้านล่าง

3) นำส่วนผสมของน้ำมันพื้นฐานและตัวทำละลายไปกลั่นแยกตัวทำละลายที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายแต่ละชนิดในเครื่องกลั่นสุญญากาศ (rotary evaporator)

4) นำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้เทลงในกระบอกตวงเพื่อวัดปริมาณ

5) วัดความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C โดยนำน้ำมันตัวอย่างใส่ใน viscometer ปริมาตร 10 มิลลิลิตร นำ viscometer ไปแขวนในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 40 °C ทิ้งไว้จนกระทั่งน้ำมันมีอุณหภูมิ 40 °C ใช้ pressure หรือ suction ปรับให้ระดับบนของน้ำมันอยู่สูงกว่าจุดจับเวลาจุดแรกประมาณ 5 มิลลิเมตร จากนั้นปล่อยน้ำมันให้ไหลตามธรรมชาติ เริ่มจับเวลาเมื่อน้ำมันไหลจากจุดจับเวลาจุดแรกถึงจุดจับเวลาจุดที่สองภายใน viscometer นำค่าที่ได้มาคำนวณความหนืดเชิงจลน์ (Kinematic Viscosity) ตามสมการ  $\mu = Kt$  (ASTM D445, 1970) ทดลองตัวอย่างละ 3 ซ้ำ

6) บันทึกข้อมูลการทดลอง นำน้ำมันที่มีความหนืดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรู๊ป-1 150SN ของแต่ละตัวทำละลายไปวัดโลหะ น้ำ และแก้ว ในการทดลอง ช่วงที่ 2

ตารางที่ 3.5 ตัวแปรการทดลองศึกษาการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
ตัวแปรอิสระ	- การเติมและไม่เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 4.5 กรัม
ตัวแปรตาม	- ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C
ตัวแปรคงที่	- น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ถ่ายจากเรือเดินสมุทร 30 มิลลิลิตร - ความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C - ความเร็วรอบในการกวน 200 rpm - ระยะเวลาในการกวน 30 นาที - อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ดีที่สุด ตามผลการทดลองที่ 3.3.3 - อุณหภูมิในการสกัดที่ดีที่สุด ตามผลการทดลองที่ 3.3.3

## การทดลองช่วงที่ 2 ศึกษาผลของอัตราส่วนตัวทำละลายและอุณหภูมิในการสกัดต่อลักษณะสมบัติของน้ำมันที่ได้จากการสกัด

ศึกษาอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและอุณหภูมิในการสกัดต่อลักษณะสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดจากการทดลองช่วงที่ 1 ด้วยการตรวจสอบปริมาณสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ โลหะ น้ำและเถ้า

1) นำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดจากการทดลองในช่วงที่ 1 ของแต่ละตัวทำละลาย วิเคราะห์หาปริมาณโลหะ น้ำและเถ้าของตัวอย่างน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM (American Standard Testing Methods) ทดลองแต่ละลักษณะสมบัติและตัวทำละลายชนิดละ 3 ซ้ำ

2) บันทึกข้อมูลการทดลอง

### 3.4 สมบัติของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่เลือกทดสอบ

ความหนืด (viscosity) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงประสิทธิภาพในการหล่อลื่นและลดการเสียดสีของเครื่องยนต์ เป็นสมบัติที่สำคัญในการทดสอบน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัด เนื่องจากความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญที่จะทำให้การสึกหรอของเครื่องยนต์ลดลง

ปริมาณน้ำ (water content) บอกระดับปริมาณน้ำที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วจะมีปริมาณน้ำมากขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้น้ำมันหล่อลื่นไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

ปริมาณโลหะ (metal content) บอกระดับปริมาณโลหะที่เกิดจากการสึกกร่อนของเครื่องยนต์หรือการเสื่อมสภาพของสารเติมแต่ง ซึ่งโลหะแม้จะมีปริมาณน้อยแต่ก็สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันให้เกิดขึ้นเร็ว ทำให้น้ำมันเกิดความข้นคราบยางเหนียว และความหนืดเพิ่มมากขึ้นจนไม่เหมาะสมต่อการใช้งาน

ปริมาณเถ้า (ash content) บอกระดับปริมาณสิ่งที่เหลือจากการเผาไหม้ สนิมหรือโลหะที่เกิดจากการสึกหรอของเครื่องจักร ทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีสีที่เข้มขึ้น

ตารางที่ 3.6 พารามิเตอร์และวิธีการทดสอบสมบัติน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัด

พารามิเตอร์	หน่วย	เครื่องมือ	วิธีทดสอบตามมาตรฐาน
ความหนืด (viscosity)	cSt	viscometer	ASTM D 445
น้ำ (water content)	%	karl fischer	ASTM D 95
โลหะ (metal content)	mg/kg	inductively coupled plasma	ASTM D 5185
เถ้า (ash content)	%	furnace	ASTM D 482

### 3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ completely randomized design (CRD) ทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลการทดลองที่ได้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่และมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN



## บทที่ 4

### ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยการสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีความยาวสายโซ่คาร์บอนและหมู่ฟังก์ชันต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน (hexane) บิวทานอล (butanol) เฮกซานอล (hexanol) และเฮกเซนผสมเฮกซานอล (mixture of hexane and hexanol) เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว อุณหภูมิในการสกัด และการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ที่ทำให้สิ่งปนเปื้อนตกตะกอนเร็วขึ้น โดยเปรียบเทียบความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้กับมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN ทำการศึกษาสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้โดยเปรียบเทียบปริมาณเถ้าและปริมาณน้ำของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้กับมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่ และเปรียบเทียบปริมาณโลหะของหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้กับมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN

#### 4.1 การวิเคราะห์สมบัติของสารตั้งต้น

##### ลักษณะสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

เมื่อน้ำมันหล่อลื่นจากเรือเดินสมุทรผ่านการใช้งานแล้วจะมีลักษณะสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 โดยลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าคือสีที่เปลี่ยนแปลงไปจากสีเหลืองใสเป็นสีดำ ดังภาพที่ 4.1 เนื่องจากในขณะที่เครื่องยนต์ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ดีเซลทำงานจะมีการจุดระเบิดหรือการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์เกิดขึ้น จึงทำให้เกิดคราบเขม่า และเถ้าซึ่งเป็นสิ่งสกปรกที่ติดอยู่ตามชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ เมื่อน้ำมันหล่อลื่นไหลเวียนไปยังส่วนต่าง ๆ ของเครื่องยนต์จะมีการชะล้างสิ่งสกปรกต่าง ๆ เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นจะมีการเติมสารเติมแต่งประเภทสารชะล้างจึงทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีสมบัติช่วยชะล้างสิ่งสกปรก ทำให้ชิ้นส่วนของเครื่องยนต์ต่าง ๆ สะอาดอยู่เสมอ (Durrani, et al., 2011) อีกประการหนึ่งคือ ระหว่างกระบอกสูบและแหวนลูกสูบจะมีระยะห่างอยู่เพื่อให้สามารถเคลื่อนไหวได้ ซึ่งในขณะที่จุดระเบิดเกิดการเผาไหม้จะมีแรงดันเขม่าบางส่วนที่รั่วออกมาลงสู่ห้องเครื่องทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีสีที่เปลี่ยนแปลงไป (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

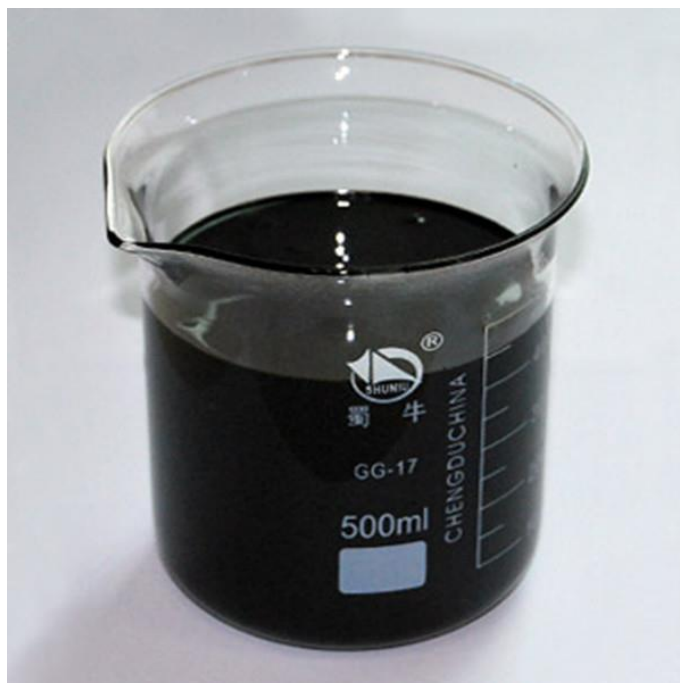
ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ใช้ในการสกัดและมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่น  
พื้นฐานกลั่นใหม่

พารามิเตอร์	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลั่นใหม่
สี	สีดำ	ไม่กำหนด
น้ำ (%)	1.73	ไม่เกิน 0.05
เถ้า (%)	0.71	ไม่เกิน 0.20

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ใช้ในการสกัดและมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่น  
พื้นฐานกรุป-1 150SN

พารามิเตอร์	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่น พื้นฐานกลั่นใหม่
ความหนืด (cSt)	59.16	28-30
สังกะสี (mg/kg)	701.00	น้อยกว่า 0.01
แมกนีเซียม (mg/kg)	150.00	น้อยกว่า 0.01
ตะกั่ว (mg/kg)	946.00	น้อยกว่า 0.01
เหล็ก (mg/kg)	76.00	น้อยกว่า 0.01
แคลเซียม (mg/kg)	1,357.00	น้อยกว่า 0.01





ภาพที่ 4.1 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่นำมาใช้ในการทดลอง

ค่าความหนืดมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN จะอยู่ระหว่าง 28-33 cSt ซึ่งเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในเครื่องยนต์ ทำให้ไม่สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและเครื่องยนต์ไม่สึกหรอ แต่เมื่อใช้งานน้ำมันหล่อลื่นไปสักระยะเวลาหนึ่งน้ำมันหล่อลื่นจะเริ่มมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นเป็น 59.16 cSt เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของออกซิเจนและน้ำมันที่จะก่อให้เกิดคราบยางเหนียว (asphaltene) ส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มมากขึ้น (Durrani, et al., 2011) เมื่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีความหนืดมากขึ้นจึงส่งผลทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน เนื่องจากน้ำมันที่มีความหนืดมากเกินไปจะทำให้เครื่องยนต์ทำงานลำบาก ต้องใช้กำลังมากในการขับเคลื่อนเป็นเหตุทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

ค่ามาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลั่นใหม่ กำหนดให้มีน้ำปนเปื้อนได้ไม่เกิน 0.02 % เนื่องจากน้ำมีผลทำให้ความหนืดเปลี่ยนแปลงไป แต่เมื่อใช้งานน้ำมันหล่อลื่นไปสักระยะเวลาหนึ่งน้ำมันหล่อลื่นจะเริ่มมีน้ำปนเปื้อนเพิ่มมากขึ้นเป็น 1.73 % โดยลักษณะการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเรือเดินสมุทรมักมีปัญหาเกี่ยวกับการปนเปื้อนน้ำซึ่งเป็นที่ทั้งน้ำทะเลและน้ำจืด เนื่องจากมาจาก 3 สาเหตุ ได้แก่ การกลั่นตัวของไอน้ำในห้องเครื่องเนื่องจากการจุดระเบิด การปนเปื้อนจากเครื่องทำความเย็น (cooler) และการฝู่กร่อนของเครื่องยนต์เนื่องมาจากกรดและเกลือที่พัดพามาจากทะเลเป็น

ตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดสนิมเร็วขึ้น ทำให้น้ำทะเลสามารถซึมเข้ามาปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น (ทองอาภรณ์, 2545)

ค่ามาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่ กำหนดให้มีเถ้าได้ไม่เกิน 0.2 % เนื่องจากเถ้ามีผลทำให้ความหนืดเพิ่มมากขึ้น โดยเมื่อใช้งานน้ำมันหล่อลื่นไปสักระยะเวลาหนึ่ง น้ำมันหล่อลื่นจะมีปริมาณเถ้าเพิ่มมากขึ้นเป็น 0.71 % เนื่องมาจากการเผาไหม้ภายในห้องเครื่อง เป็นผลทำให้น้ำมันมีความหนืดเพิ่มขึ้น

โลหะที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมีค่าน้อยกว่า 0.01 mg/kg ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาโลหะ 5 ชนิด ได้แก่ สังกะสี แมกนีเซียม ตะกั่ว เหล็ก และแคลเซียม โดยเมื่อใช้งานน้ำมันหล่อลื่นไปสักระยะเวลาหนึ่งน้ำมันหล่อลื่นจะมีปริมาณโลหะเพิ่มมากขึ้น ได้แก่ สังกะสี 701.00 mg/kg แมกนีเซียม 150.00 mg/kg ตะกั่ว 946.00 mg/kg เหล็ก 76.00 mg/kg และแคลเซียม 1,357.00 mg/kg ซึ่งการปนเปื้อนของโลหะเหล่านี้มีหลายสาเหตุ ได้แก่ สังกะสีมาจากการเติมสารเติมแต่งป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันและสารต้านการสึกหรอ (antioxidant and antiwear additives) แมกนีเซียมมาจากการเติมสารเติมแต่งทำความสะอาด (detergent additives) ตะกั่วปนเปื้อนจากการสึกกร่อนของตั้บลูกปืน (bearing wear) เหล็กมาจากการสึกหรอของเครื่องยนต์ (engine wear) และแคลเซียมมาจากการเติมสารเติมแต่งทำความสะอาด (detergent additives) ซึ่งการปนเปื้อนโลหะเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้เครื่องยนต์สึกกร่อนเสียหายทั้งสิ้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

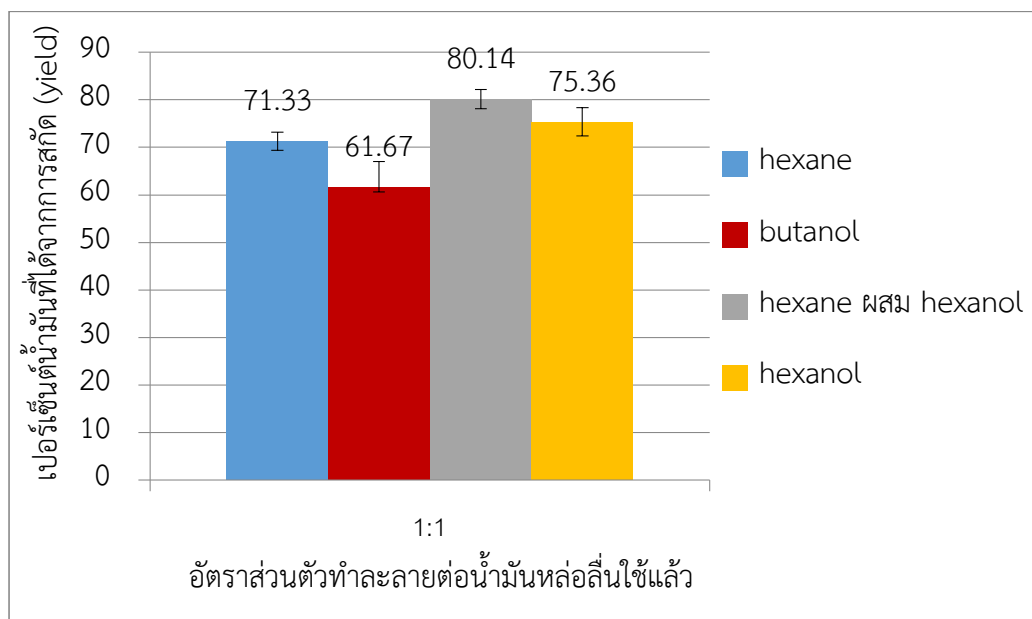
การเสื่อมสภาพและการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วส่งผลทำให้น้ำมันหล่อลื่นไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานอีกต่อไป เนื่องจากจะทำให้เครื่องยนต์สึกกร่อนเสียหาย และทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง จึงควรมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วออกจากเครื่องยนต์ แต่จากรายงานการศึกษาของสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ เรื่องการศึกษาแนวทางการกำจัดหรือนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ พบว่ามีน้ำมันพื้นฐานหลงเหลืออยู่ในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วถึง 60% จึงควรมานำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่หลงเหลืออยู่ในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วออกมาเพื่อใช้ประโยชน์สูงสุด ซึ่งการแยกน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกมาจะใช้กระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

## 4.2 การหาภาวะในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย

การทดลองนี้เป็นการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาสกัดเพื่อแยกน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน บิวทานอล เฮกซานอล และเฮกเซนผสมเฮกซานอล เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยในงานวิจัยนี้จะศึกษาอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว อุณหภูมิในการสกัด และการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองจากความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัด ซึ่งกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายจะส่งผลทำให้สิ่งปนเปื้อนที่ผสมอยู่ในน้ำมันมีการรวมตัวเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและแยกตัวออกมา เป็นผลทำให้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดมีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานรุ่นใหม่และมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรู๊ป-1 150SN

### 4.2.1 ผลของชนิดตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด

การหาปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน บิวทานอล เฮกซานอล และเฮกเซนผสมเฮกซานอล ในกระบวนการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย โดยตัวทำละลายจะเข้าไปละลายน้ำมัน เป็นผลทำให้สิ่งปนเปื้อนแยกตัวออกจากน้ำมัน ได้แก่ น้ำ เถ้าและโลหะ ซึ่งตัวทำละลายจะมีความสามารถในการละลายได้อย่างต่อเนื่องจนกว่าจะถึงจุดอิ่มตัวที่ไม่สามารถละลายได้อีก (Diphare และ Muzenda, 2013) เมื่อสกัดน้ำมันด้วยอัตราส่วนเฮกเซนต่อน้ำมันที่ 1:1 พบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้เท่ากับ 71.33% เมื่อสกัดด้วยอัตราส่วนบิวทานอลต่อน้ำมัน 1:1 พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับ 61.67% เมื่อสกัดด้วยอัตราส่วนเฮกเซนผสมเฮกซานอลต่อน้ำมัน 1:1 พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับ 80.14% และเมื่อสกัดด้วยอัตราส่วนเฮกซานอลต่อน้ำมัน 1:1 พบว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดได้เท่ากับ 75.36% ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 1:1

จากการทดลองพบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซนมากกว่าปริมาณน้ำมันที่สกัดด้วยบิวทานอล เนื่องจากเฮกเซนเป็นตัวทำละลายไม่มีขั้วและมีสายโซ่คาร์บอนยาว 6 ตำแหน่ง น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานซึ่งเป็นสารไม่มีขั้วเหมือนกันจึงสามารถละลายลงในเฮกเซนได้ดีกว่าในบิวทานอลที่เป็นสารมีสายโซ่คาร์บอนยาว 4 ตำแหน่ง (Diphare และ Muzenda, 2013) จึงทำให้น้ำมันสามารถละลายได้ดีในเฮกเซนมากกว่าบิวทานอล

ส่วนเฮกซานอลและเฮกซานอลผสมเฮกเซนเมื่อนำมาสกัดด้วยน้ำมันแล้ว แม้ว่าจะได้ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดมาก แต่พบว่าน้ำมันที่ได้ไม่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ เนื่องจากหลายสาเหตุ ได้แก่

- ขั้นตอนการสกัดต้องนำส่วนผสมของน้ำมันและตัวทำละลายไปผสมในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ซึ่งในการทดลองมีการใช้อุณหภูมิในการสกัดโดยใช้ ตั้งแต่ อุณหภูมิห้อง, 40 และ 60°C ตามลำดับ โดยการให้ความร้อนแก่ส่วนผสมของน้ำมันและตัวทำละลายอันได้แก่ เฮกซานอลและเฮกซานอลผสมเฮกเซน ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นรุนแรง ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้วิจัยและผู้ใช้ห้องปฏิบัติการอย่างมาก เช่น ปวดศีรษะ คลื่นไส้ คอแห้งผาก อ่อนเพลีย เป็นต้น โดยเกิดผลกระทบต่อสุขภาพโดยตรงโดยเฉพาะระบบทางเดินหายใจ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานจริง

- ในกระบวนการจะมีการใช้ความร้อนเพื่อแยกตัวทำละลายออกจากน้ำมัน ซึ่งเฮกซานอลเป็นตัวทำละลายที่มีจุดเดือดสูง 157°C เมื่อใช้เครื่องกลั่นสุญญากาศ (rotary evaporator) ปรากฏว่าไม่สามารถกลั่นได้เนื่องจากเครื่องกลั่นสุญญากาศสามารถกลั่นได้อุณหภูมิสูงสุดที่ 95°C เมื่อเปลี่ยนเทคนิคเป็นการต้มเพื่อกำจัดตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 170°C เป็นเวลา 30 นาที ผลปรากฏว่าน้ำมันที่ได้มีลักษณะเป็นของแข็งแข็งเกลวสีดำ ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานในเครื่องยนต์ได้ และหากใช้วิธีการแยกเฮกเซนและบิวทานอลโดยการกลั่นสุญญากาศ แต่แยกเฮกซานอลและเฮกเซนผสมเฮกซานอลด้วยการต้มเพื่อกำจัดตัวทำละลายอาจนำมาซึ่งผลการทดลองที่ไม่น่าเชื่อถือ

- ต้นทุนเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญ ซึ่งเฮกเซนราคาลิตรละ 70 บาท บิวทานอลลิตรละ 72 บาท แต่เฮกซานอลราคาลิตรละ 1,400 บาท

ผลกระทบที่เกิดขึ้นดังกล่าวข้างต้นจึงส่งผลกระทบต่อการใช้งานเฮกซานอลไปใช้ในงานวิจัย ผู้วิจัยจึงยุติการศึกษาการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิดดังกล่าว

จากการทดลองพบว่าตัวทำละลายที่สามารถสกัดน้ำมันได้ตามวัตถุประสงค์มี 2 ชนิด ได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล ซึ่งจะนำตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด ไปใช้ในการทดลองต่อไป

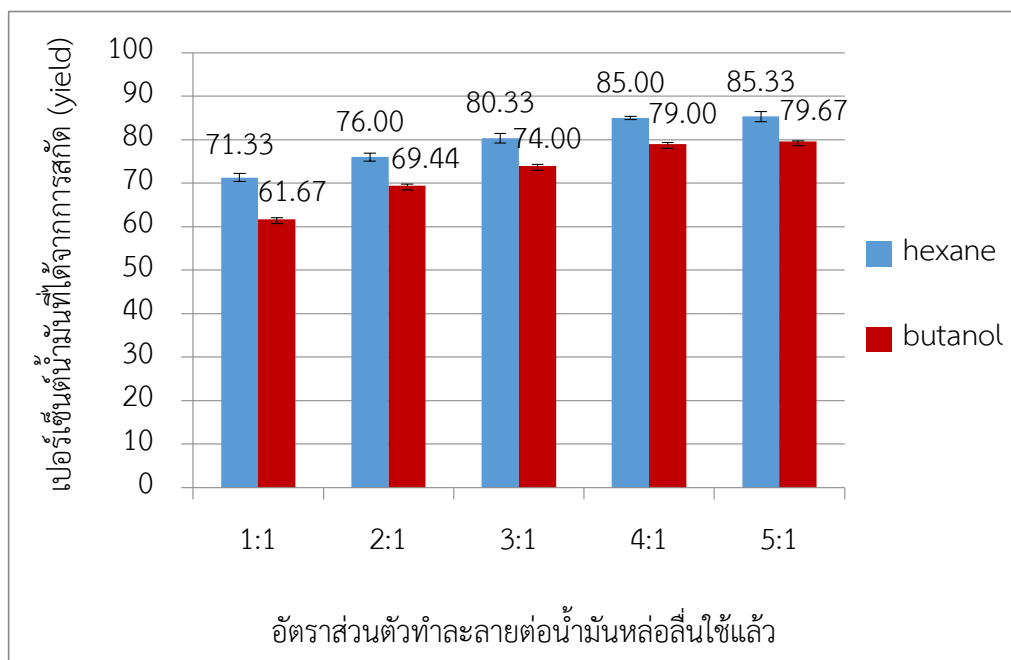
#### 4.2.2 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันใช้แล้วต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันเป็นปัจจัยสำคัญในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เพราะอัตราส่วนที่เหมาะสมย่อมส่งผลทำให้ได้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดมากที่สุดและน้ำมันที่ได้มีสมบัติตามที่ต้องการ

##### 4.2.2.1 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ (% yield)

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว จะสามารถสกัดน้ำมันได้มากขึ้น หากใช้อัตราส่วนที่น้อยเกินไปจะทำให้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานละลายในตัวทำละลายไม่หมดเนื่องจากตัวทำละลายอิ่มตัวและไม่สามารถละลายน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้อีก เป็นผลทำให้ได้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานน้อย แต่เมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันมากขึ้น ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (% yield) มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณตัวทำละลายเพียงพอที่จะละลายน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยอัตราส่วนของตัวทำละลายทั้งสองต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้

แล้วที่ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันจากการสกัดมากที่สุดในการทดลองนี้ คือ 5:1 ดังภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.3

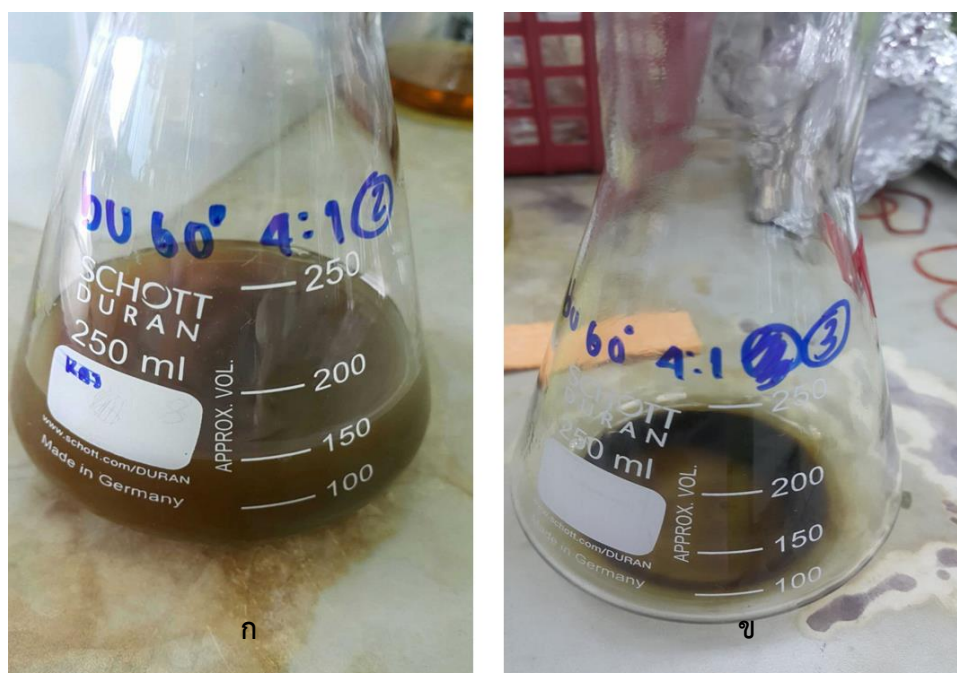


ภาพที่ 4.3 ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่าง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองพบว่าเมื่อใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่มีประสิทธิภาพในการสกัดดีกว่าการใช้บิวทานอล เพราะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันจากการสกัด (% yield) มากกว่าการใช้บิวทานอลเป็นตัวทำละลาย เนื่องจากเฮกเซนเป็นตัวทำละลายไม่มีขี้และมีสายโซ่คาร์บอนยาว 6 ตำแหน่ง น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานซึ่งเป็นสารไม่มีขี้เช่นเดียวกันจึงสามารถละลายลงในเฮกเซนได้ดีกว่าในบิวทานอลที่เป็นสารมีสายโซ่คาร์บอนยาว 4 ตำแหน่ง (Mohammed, et al., 2013)

น้ำหนักโมเลกุล (molecular weight) เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เนื่องจากเฮกเซนมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ที่ 86.18 g/mol และบิวทานอลมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ที่ 74.12 g/mol เห็นได้ว่า เฮกเซนมีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่าบิวทานอล จึงทำให้เฮกเซนสามารถละลายน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้ดีเนื่องจากมีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมากกว่าบิวทานอล ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 205.642 g/mol ซึ่งน้ำหนักโมเลกุลของเฮกเซนใกล้เคียงกว่าบิวทานอล น้ำมันที่ได้จากการสกัดจากเฮกเซนจึงมีปริมาณมากกว่าน้ำมันที่ได้จากการ

สกัดจากบิวทานอล อีกปัจจัยที่สำคัญคือความหนืด (viscosity) เพราะตัวทำละลายที่มีความหนืดต่ำจะสามารถละลายน้ำมันพื้นฐานได้ดี ซึ่งเฮกเซนมีความหนืดอยู่ที่ 0.48 cSt และบิวทานอลมีความหนืดอยู่ที่ 1.80 cSt จากการทดลองจะเห็นว่าปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซนมีปริมาณมากกว่าปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยบิวทานอลเนื่องจากเฮกเซนมีความหนืดต่ำกว่าบิวทานอล จึงละลายน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานได้ดีกว่า (Rincon, et al., 2005)



ก) ส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและตัวทำละลาย      ข) กากตะกอนน้ำมันหลังจากสกัด

ภาพที่ 4.4 ส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและตัวทำละลายและกากตะกอนน้ำมันหลังจากสกัด

นอกจากปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้แล้ว ลักษณะสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ยังส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของเครื่องยนต์ ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

#### 4.2.2.2 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อลักษณะสมบัติของน้ำมันที่สกัดได้

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วย่อมมีสมบัติหลายประการที่เปลี่ยนไปทำให้ไม่เหมาะสมสำหรับการใช้งานต่อ เนื่องจากส่งผลให้สิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและทำให้เครื่องยนต์สึกหรอ อายุการใช้งานของเครื่องยนต์จึงลดลง โดยมีสมบัติที่สำคัญต่อการใช้งานโดยตรง คือ ความหนืด

## 1) ผลต่อความหนืดของน้ำมันที่สกัดได้

ตัวทำละลายที่มีสายโซ่คาร์บอนยาวยิ่งละลายเข้ากับน้ำมันได้ดีเนื่องจากมีความคล้ายคลึงกับน้ำมัน (Rincon, et al., 2005) เฮกเซนและบิวทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีสายโซ่คาร์บอนยาว 6 และ 4 ตำแหน่งตามลำดับ ซึ่งน้ำมันสามารถละลายได้ดีในเฮกเซนมากกว่าบิวทานอลเนื่องจากมีสายโซ่คาร์บอนมากกว่าบิวทานอล แต่การที่น้ำมันสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายไม่ได้บ่งชี้ว่าตัวทำละลายนั้นจะสามารถสกัดให้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานมีสมบัติตามมาตรฐาน

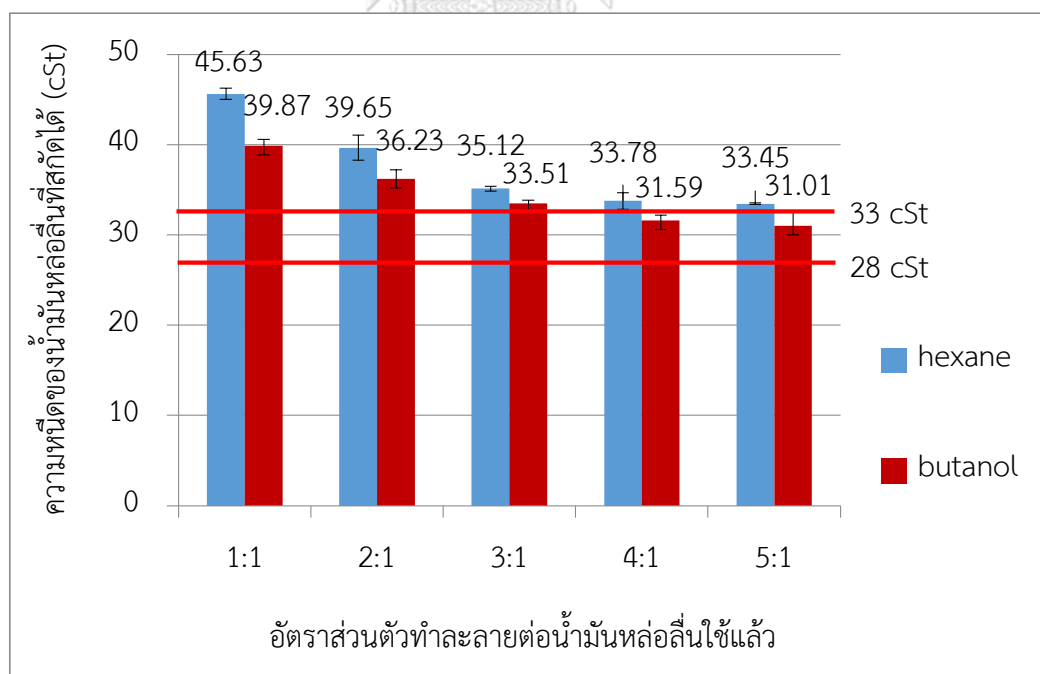
บิวทานอลเป็นตัวทำละลายที่มีสายโซ่คาร์บอน 4 อะตอมและมีหมู่ฟังก์ชัน โดยบิวทานอลจะทำลายเสถียรภาพของสิ่งปนเปื้อนที่กระจายตัวด้วยแรงผลักทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) ในน้ำมันมีการรวมตัวเป็นอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและตกตะกอนลงมา ส่วนน้ำที่ปนเปื้อนในน้ำมันจะไม่ละลายเข้ากับส่วนผสมของตัวทำละลายและน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน จึงมีการรวมตัวกันและแยกตัวออกมาเป็นชั้นอยู่บริเวณด้านล่าง ซึ่งสิ่งปนเปื้อนดังกล่าวเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำมันมีความหนืดที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการแยกสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำมันส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดที่ใกล้เคียงกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลุ่ม-1 150SN มากขึ้น และอีกประการหนึ่งคือบิวทานอลมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant) สูงกว่าเฮกเซน ซึ่งค่านี้บอกถึงสภาพขั้ว โดยบิวทานอลมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกอยู่ที่ 17.90 และเฮกเซนมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกอยู่ที่ 1.89 ซึ่งสิ่งปนเปื้อนกระจายตัวอยู่ในน้ำมันด้วยแรงผลักทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) เมื่อเติมตัวทำละลายที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงจะส่งผลให้แรงผลักทางไฟฟ้าเป็นกลาง (neutralization) ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรของสิ่งปนเปื้อน เป็นผลทำให้สิ่งปนเปื้อนรวมตัวและตกตะกอนลงมา ส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดด้วยบิวทานอลมีความหนืดที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลุ่ม-1 150SN มากขึ้น (Rincon, et al., 2005)

ส่วนเฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่มีสายโซ่คาร์บอน 6 อะตอม ทำให้ละลายเข้ากับน้ำมันได้ดี โดยเมื่อใช้เฮกเซนในการสกัดน้ำมันแล้วพบว่าได้น้ำมันที่มีความหนืดที่มากกว่าค่ามาตรฐาน เนื่องจากเฮกเซนสามารถละลายน้ำมันได้ดี แต่มีการทำลายเสถียรของสิ่งปนเปื้อน เช่น โลหะ น้ำ เถ้า ปนมาในน้ำมันน้อยกว่าบิวทานอล สิ่งปนเปื้อนเหล่านี้ส่งผลให้น้ำมันมีความหนืดเกินค่ามาตรฐาน

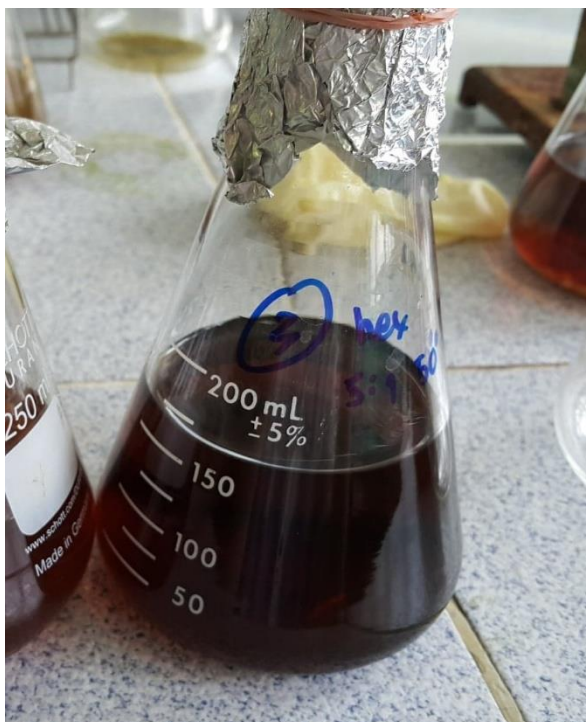
การเพิ่มอัตราส่วนเฮกเซนต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจาก 1:1 ถึง 5:1 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้จะลดลงเป็น 45.63, 39.65, 35.12, 33.78 และ 33.45 cSt



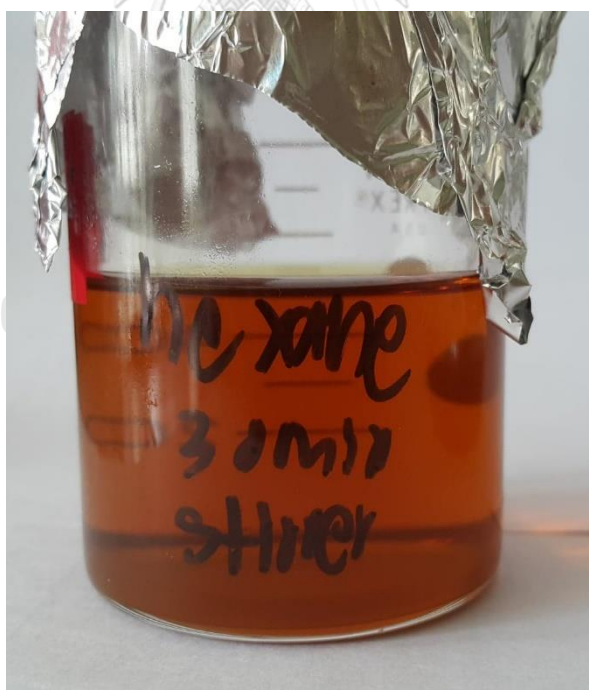
ตามลำดับ และการเพิ่มอัตราส่วนบิวทานอลต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจาก 1:1 ถึง 5:1 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้จะลดลงเป็น 39.87, 36.23, 33.51, 31.59 และ 31.01 cSt ตามลำดับ ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมัน เนื่องจากมีปริมาณตัวทำละลายเข้าไปผสมกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเพียงพอเป็นผลทำให้สิ่งปนเปื้อนแยกตัวจากผสมของน้ำมันและตัวทำละลายลงมาด้านล่าง ได้แก่ เถ้าและโลหะเกิดการรวมตัวกันและตกตะกอน (flocculation and sedimentation) ส่วนน้ำที่ปนเปื้อนในน้ำมันจะไม่ละลายเข้ากับส่วนผสมของตัวทำละลายและน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน จึงมีการรวมตัวกันและแยกตัวออกมาเป็นชั้นอยู่บริเวณด้านล่าง (Mohammed, et al., 2013) ส่งผลให้น้ำมันที่ได้จากการสกัดมีความหนืดที่ใกล้เคียงกับมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลุ่ม-1 150SN มากขึ้น (มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลุ่ม-1 150SN อยู่ระหว่าง 28-33 cSt) โดยไม่มีอัตราส่วนใดของเฮกเซนต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันอยู่ในเกณฑ์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลุ่ม-1 150SN ส่วนอัตราส่วนบิวทานอลต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลุ่ม-1 150SN ได้แก่ 4:1 และ 5:1 ดังภาพที่ 4.5 และตารางที่ 4.4



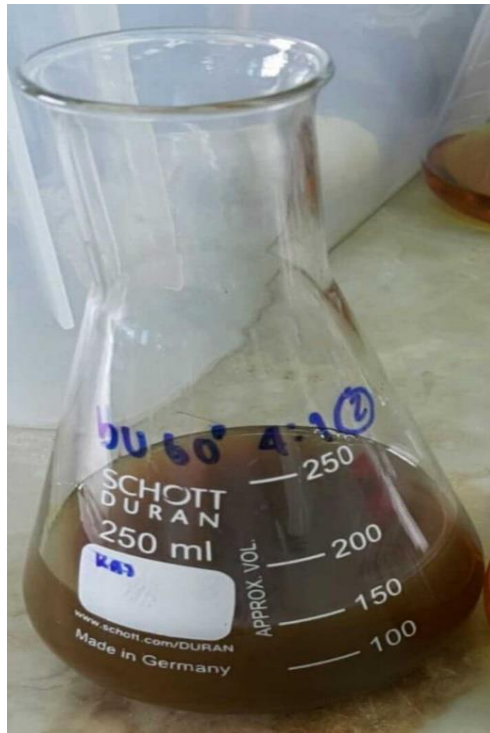
ภาพที่ 4.5 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่าง ๆ



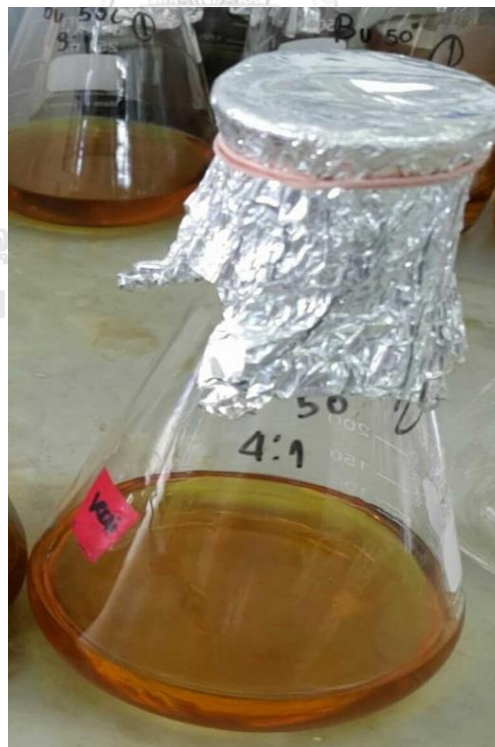
ภาพที่ 4.6 ส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและเฮกเซนก่อนการสกัดแยกตัวทำละลาย



ภาพที่ 4.7 น้ำมันพื้นฐานหลังการสกัดด้วยเฮกเซน



ภาพที่ 4.8 ส่วนผสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและบิวทานอลก่อนการสกัดแยกตัวทำละลาย



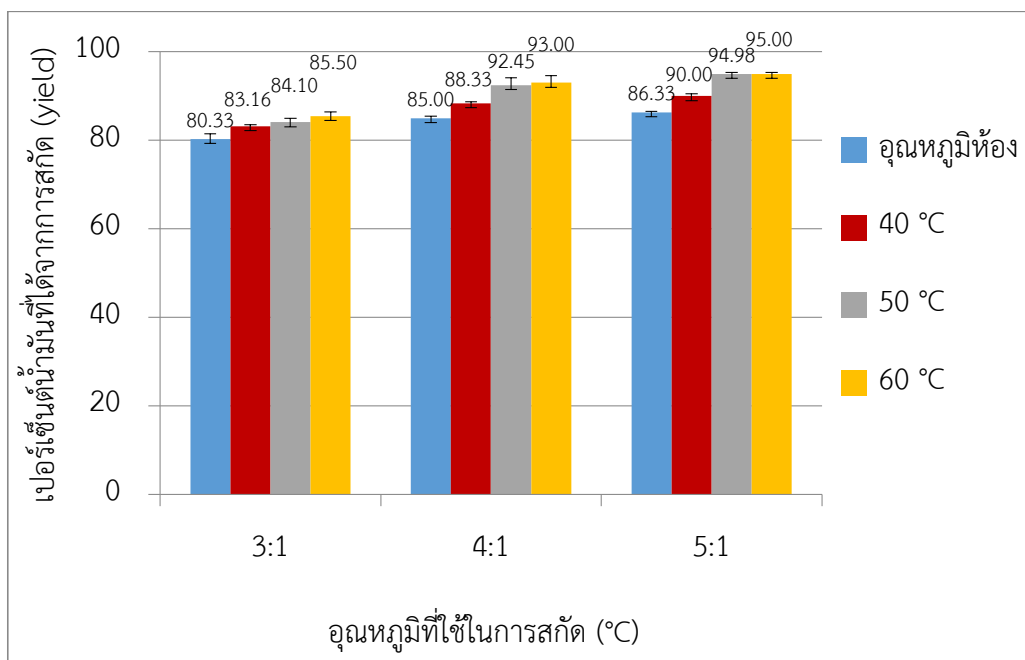
ภาพที่ 4.9 น้ำมันพื้นฐานหลังการสกัดด้วยบิวทานอล

### 4.2.3 ผลของอุณหภูมิต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

#### 4.2.3.1 ผลของอุณหภูมิต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ (% yield)

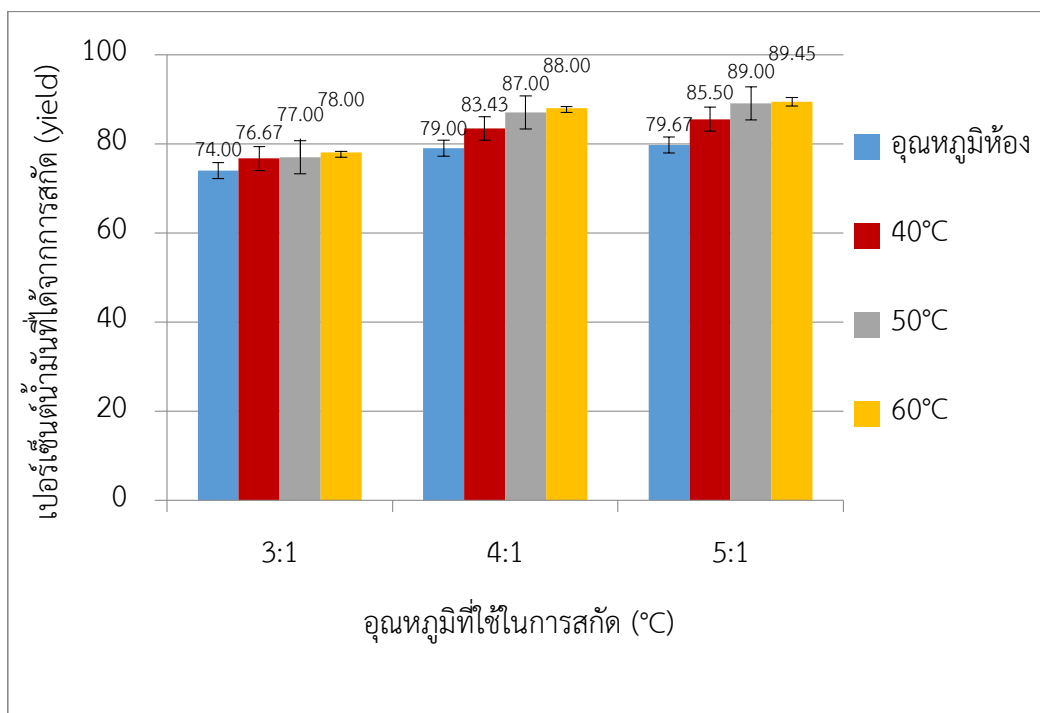
จากผลการทดลองผลของอัตราส่วนตัวทำละลายต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้และลักษณะสมบัติของน้ำมันที่สกัดได้ สรุปได้ว่าอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่สามารถสกัดน้ำมันพื้นฐานได้ตามมาตรฐาน คือ การใช้บิวทานอลเป็นตัวทำละลายที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 4:1 ดังนั้นการทดลองนี้จะนำเฉพาะอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 3:1 4:1 และ 5:1 มาทดลองเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดตั้งแต่อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C

เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดจะสามารถเพิ่มปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ โดยเมื่อใช้เฮกเซนในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยทดลองเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดตั้งแต่อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วตั้งแต่ 3:1 4:1 และ 5:1 พบว่าอัตราส่วนที่ 3:1 ที่อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C ได้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 80.33%, 83.16%, 84.10% และ 85.50% ตามลำดับ อัตราส่วนที่ 4:1 ที่อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C ได้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 85.00%, 88.33%, 92.45% และ 93.00% ตามลำดับและอัตราส่วนที่ 5:1 ที่อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C ได้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 86.33%, 90.00%, 94.98% และ 95.00% ตามลำดับ โดยการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลทำให้ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดเพิ่มมากขึ้น โดยอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและอุณหภูมิในการสกัดที่ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดสูงที่สุด คือ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 5:1 ณ อุณหภูมิ 60°C ดังภาพที่ 4.10 และตารางที่ 4.5



ภาพที่ 4.10 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%yield) ด้วยเฮกเซนในอัตราส่วนเฮกเซนต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3:1 ถึง 5:1 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เมื่อใช้บิวทานอลในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว โดยทดลองเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดตั้งแต่อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วตั้งแต่ 3:1 4:1 และ 5:1 พบว่าอัตราส่วนที่ 3:1 ที่อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C ได้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 74.00%, 76.67%, 77.00% และ 78.00% ตามลำดับ อัตราส่วนที่ 4:1 ที่อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C ได้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 79.00%, 83.43%, 87.00% และ 88.00% ตามลำดับ อัตราส่วนที่ 5:1 ที่อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C ได้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน 79.67%, 85.50%, 89.00% และ 89.45% ตามลำดับ โดยการเพิ่มอุณหภูมิส่งผลทำให้ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดเพิ่มมากขึ้น โดยอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและอุณหภูมิในการสกัดที่ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดสูงสุด คือ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 5:1 ณ อุณหภูมิ 60°C ดังภาพที่ 4.11 และตารางที่ 4.6



ภาพที่ 4.11 ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%yield) ด้วยบิวทานอลในอัตราส่วนบิวทานอลต่อ น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3:1 ถึง 5:1 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดตั้งแต่อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากการสกัด (%yield) เพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิจะเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้แก่อนุภาคของสาร ทำให้อนุภาคของสารสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น จึงช่วยเพิ่มโอกาสในการชนกันของอนุภาคมมากขึ้น (มหาวิทยาลัยมหิดล, 2560) เมื่ออนุภาคของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและตัวทำละลายสามารถสัมผัสกันได้มากขึ้นจึงทำให้ประสิทธิภาพของการสกัดเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมียังช่วยลดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและตัวทำละลายส่งผลให้น้ำมันน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและตัวทำละลายผสมเข้ากันได้ดีขึ้น โดยอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและอุณหภูมิในการสกัดที่ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดสูงที่สุดของทั้ง 2 ตัวทำละลาย คือ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 5:1 ณ อุณหภูมิ 60°C

การเพิ่มอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่ส่งผลทำให้ได้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดเพิ่มขึ้นและยังส่งผลต่อลักษณะสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้อีกด้วย ซึ่งจะกล่าวบรรยายอีกในหัวข้อถัดไป

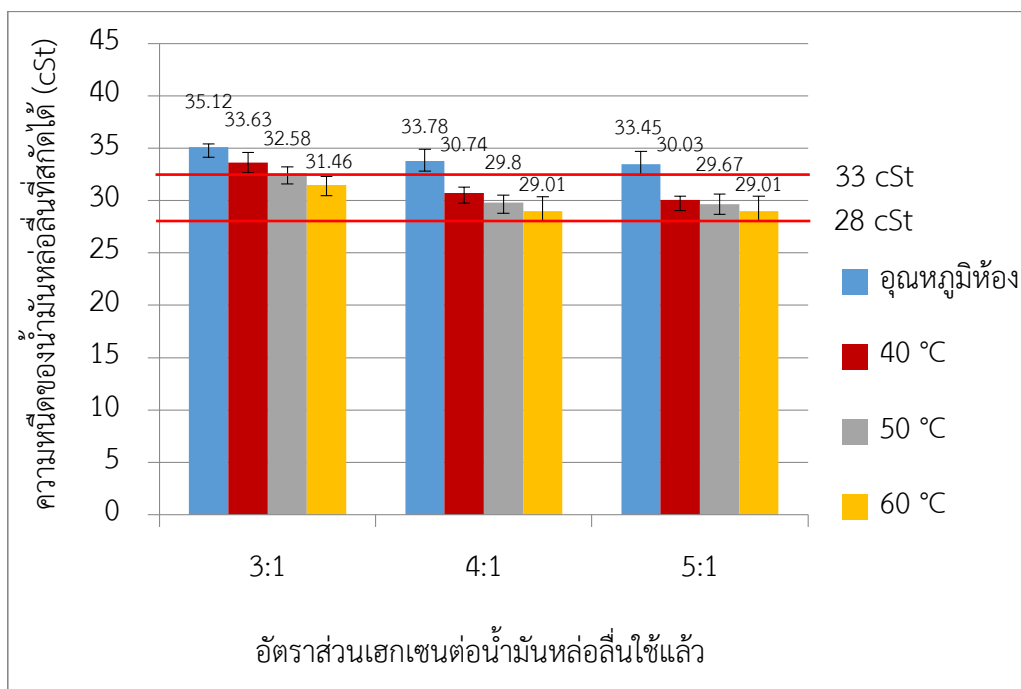
#### 4.2.3.2 ผลของอุณหภูมิต่อลักษณะสมบัติของน้ำมันพื้นฐานที่สกัดได้

##### 1) ผลต่อความหนืดของน้ำมันที่สกัดได้

จากการทดลองพบว่าการเพิ่มอุณหภูมิช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดทำให้ได้ปริมาณน้ำมันจากการสกัดเพิ่มมากขึ้น และส่งผลทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลง โดยที่อัตราส่วนเฮกเซนต่อน้ำมันเป็น 3:1 ณ อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C มีความหนืดเป็น 35.12 cSt, 33.63 cSt, 32.53 cSt, และ 31.46 cSt ตามลำดับ ที่อัตราส่วนเฮกเซนต่อน้ำมันเป็น 4:1 มีความหนืดเป็น 33.78 cSt, 30.74 cSt, 29.80 cSt และ 29.01 cSt ตามลำดับ และที่อัตราส่วนเฮกเซนต่อน้ำมันเป็น 5:1 มีความหนืดเป็น 33.45 cSt, 30.03 cSt, 29.67 cSt และ 29.01 cSt ตามลำดับ โดยความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนเฮกเซนต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 3:1 ที่อุณหภูมิ 50°C มีค่าอยู่ในเกณฑ์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ซึ่งเป็นอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่น้อยที่สุดที่ส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้มีความหนืดในเกณฑ์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN (28 – 33 cSt)

โดยอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 3:1 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเป็น 50°C และ 60°C จะได้ความหนืดอยู่ในเกณฑ์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 4:1 และ 5:1 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ 40°C 50°C และ 60°C จะได้ความหนืดอยู่ในเกณฑ์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ดังนั้นการใช้อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 3:1 จะต้องใช้อุณหภูมิในการสกัด 50°C ขึ้นไป ส่วนการใช้อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 4:1 และ 5:1 จะต้องใช้อุณหภูมิในการสกัด 40°C ขึ้นไป ดังภาพที่ 4.12 และตารางที่ 4.6





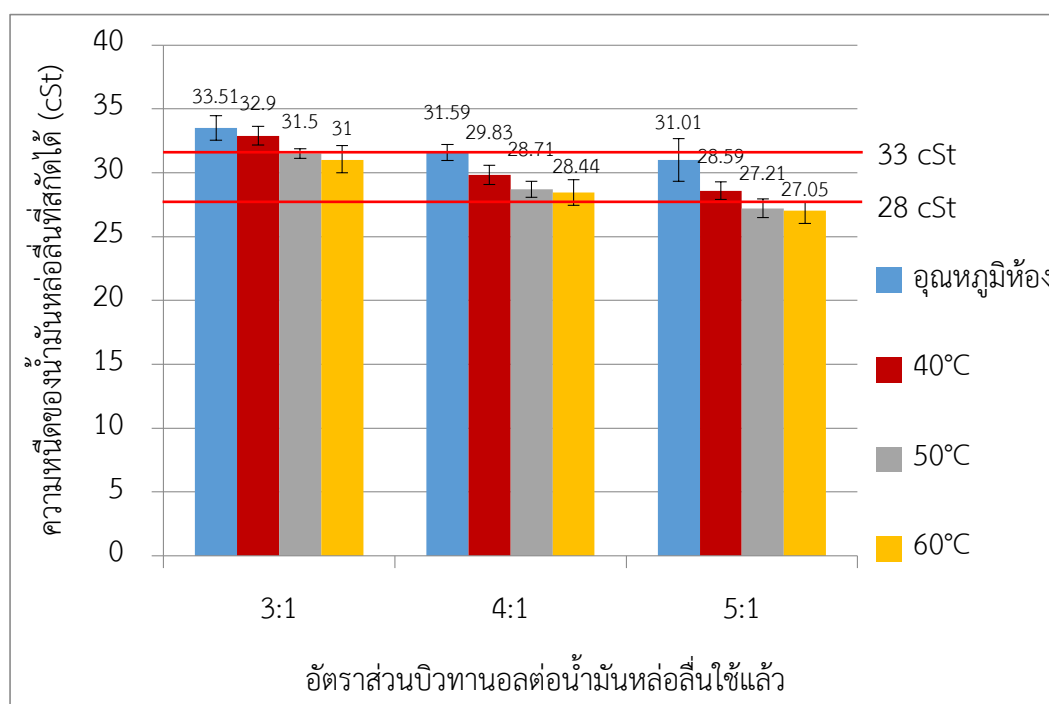
ภาพที่ 4.12 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซนในอัตราส่วนเฮกเซนต่อน้ำมัน เป็น 3:1 ถึง 5:1 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ผลของความหนืดจากการเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานด้วย บิวทานอลมีค่าลดลง จากผลการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน 3:1 ณ อุณหภูมิห้อง 40 50 และ 60°C มีความหนืดเป็น 33.51 cSt, 31.90 cSt, 31.50 cSt และ 31.00 cSt ตามลำดับ ที่อัตราส่วน 4:1 ณ อุณหภูมิห้อง 40 50 และ 60°C มีความหนืดเป็น 31.59 cSt, 29.83 cSt, 28.71 cSt และ 28.44 cSt ตามลำดับ และที่อัตราส่วน 5:1 ณ อุณหภูมิห้อง 40 50 และ 60°C มีความหนืดเป็น 31.01 cSt, 28.59 cSt, 27.21 cSt และ 27.05 cSt ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันและ อุณหภูมิในการสกัดมีผลทำให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงไป โดยอัตราส่วนบิวทานอล ต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 3:1 ที่อุณหภูมิ 40°C ความหนืดมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่น พื้นฐาน ซึ่งเป็นอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่น้อยที่สุดที่ส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่น พื้นฐานที่สกัดได้มีความหนืดในเกณฑ์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN (28–33 cSt)

โดยอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 3:1 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดเป็น 40°C 50°C และ 60°C จะได้ความหนืดอยู่ในเกณฑ์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ที่อัตรา ส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 4:1 ที่อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C จะได้ความ หนืดอยู่ในเกณฑ์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่



5:1 ที่อุณหภูมิห้องและ 40°C จะได้ความหนืดอยู่ในเกณฑ์ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน ดังนั้นการใช้ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 3:1 จะต้องใช้อุณหภูมิในการสกัด 40°C ขึ้นไป การใช้ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 4:1 สามารถใช้ได้ทุกอุณหภูมิ ส่วนการใช้ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 5:1 จะต้องใช้อุณหภูมิในการสกัดไม่เกิน 40°C ขึ้นไป ดัง ภาพที่ 4.13 และตารางที่ 4.7



ภาพที่ 4.13 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยบิวทานอลในอัตราส่วนบิวทานอลต่อ น้ำมัน เป็น 3:1 ถึง 5:1 ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

จากผลการทดลองข้างต้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกภาวะที่เหมาะสมในการสกัด น้ำมันหล่อลื่นด้วยตัวทำละลาย ได้แก่ การใช้เฮกเซนในอัตราส่วน 3:1 ที่อุณหภูมิ 50°C และการใช้ บิวทานอลในอัตราส่วน 3:1 ที่อุณหภูมิ 40°C เนื่องจากเป็นอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้ แล้วที่น้อยที่สุดที่ส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้มีความหนืดในเกณฑ์ของน้ำมันหล่อลื่น พื้นฐานกรุป-1 150SN (28 – 33 cSt) เพื่อนำไปศึกษาผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อการ สกัดน้ำมันหล่อลื่นด้วยตัวทำละลายในหัวข้อต่อไป

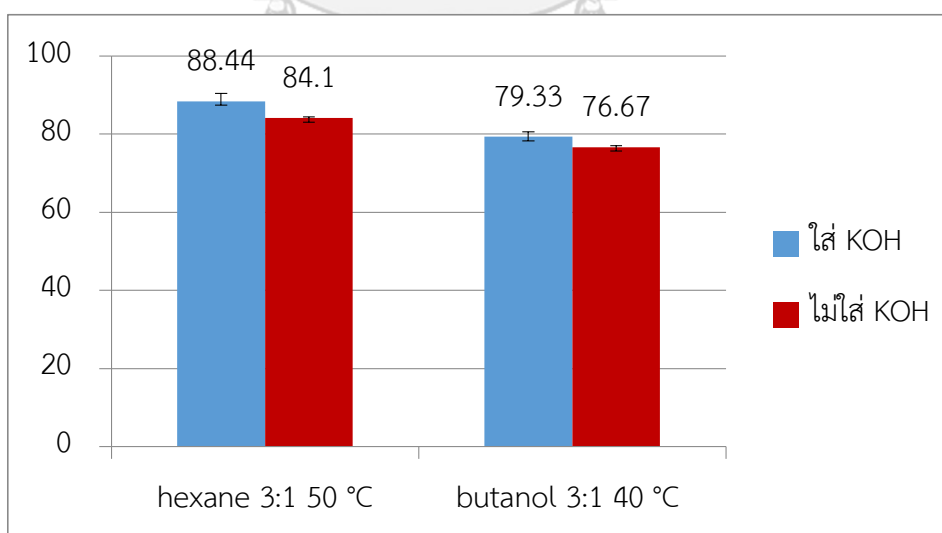
#### 4.2.4 ผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ต่อการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน

จากการทดลองที่ 4.2.3 พบว่าภาวะที่ส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดมีความหนืดตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN เมื่อใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3:1 ที่อุณหภูมิ 50°C และเมื่อใช้บิวทานอลเป็นตัวทำละลาย อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3:1 ที่อุณหภูมิ 40°C โดยการทดลองนี้จะใช้อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการทดลอง

##### 4.2.4.1 ผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ต่อปริมาณน้ำมันที่สกัดได้และความหนืดของน้ำมัน

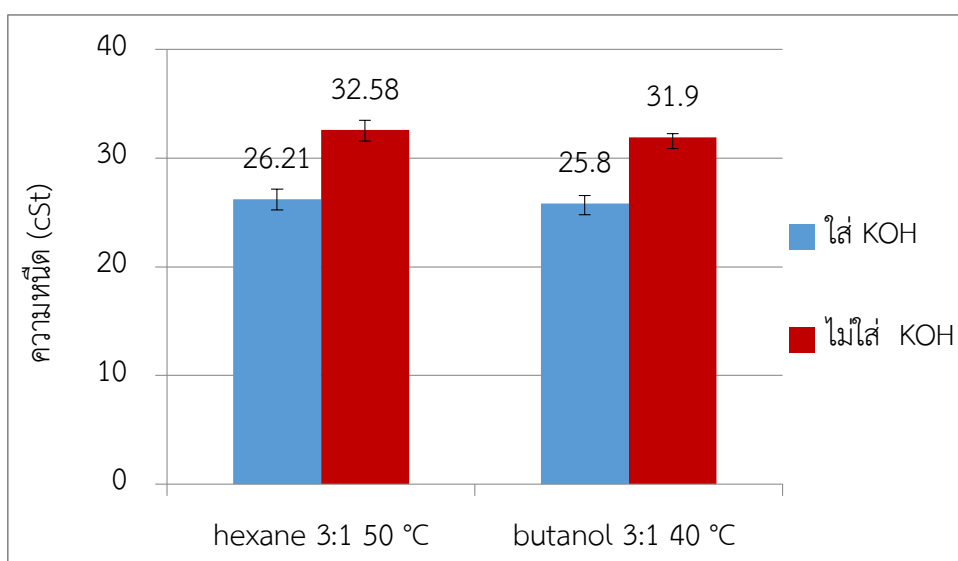
เมื่อนำอัตราส่วนและอุณหภูมิในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ดีที่สุดจากข้อ 4.2.3 มาทดลองการสกัดโดยเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 4.5 กรัม ลงในน้ำมัน และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันที่สกัดได้และความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัด

การเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ลงในน้ำมันช่วยให้ได้ปริมาณน้ำมันจากการสกัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับการไม่เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยพบว่าเพิ่มขึ้น 4.34% และ 2.66% ในกรณีที่ใช้เฮกเซนและบิวทานอลเป็นตัวทำละลายตามลำดับ ดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เติมและไม่เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

แต่การเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลทำให้ความหนืดของน้ำมันที่ได้จากการสกัดลดลง เนื่องจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์สามารถดูดความชื้นได้ดีจึงเป็นผลทำให้น้ำมันที่ได้จากการสกัดจึงมีความหนืดลดลงมาก โดยพบว่า การเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์มีค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ลดลงร้อยละ 19.55% และ 19.12% กรณีที่ใช้เฮกเซนและบิวทานอลเป็นตัวทำละลายตามลำดับ ซึ่งค่าความหนืดที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN ซึ่งอยู่ระหว่าง 28 - 33 cSt ดังภาพที่ 4.15 และตารางที่ 4.8



ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เติมและไม่เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

สิ่งปนเปื้อนที่กระจายอยู่ในน้ำมันด้วยแรงผลัทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) ที่เสถียรทำให้สิ่งปนเปื้อนไม่มีโอกาสสัมผัสกันเป็นผลทำให้สิ่งปนเปื้อนรวมตัวกันไม่ได้จึงไม่ตกตะกอน การเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ซึ่งทำหน้าที่เป็น degrading agent โดยการแตกตัวให้หมู่  $\text{OH}^-$  ช่วยทำให้แรงผลัทางไฟฟ้าเป็นกลางซึ่งเป็นการทำลายเสถียรของสิ่งปนเปื้อน ส่งผลทำให้เกิดการรวมตัวกันและตกตะกอน (flocculation and sedimentation) ได้เร็วขึ้น (Diphare and Muzenda, 2513)

ดังนั้นการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วสำหรับการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด ได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล จึงไม่เหมาะสมทาง

เทคนิคเนื่องจากส่งผลต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ลดลงต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นจึงไม่นำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้มาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติอื่น ๆ ต่อ

ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเมื่อใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลาย คือ อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3:1 ที่อุณหภูมิ 50°C และบิวทานอลที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3:1 ที่อุณหภูมิ 40°C โดยน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยภาวะดังกล่าวจะใช้ในการทดลองต่อไป

#### 4.2.5 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายและอุณหภูมิในการสกัดต่อลักษณะสมบัติของน้ำมันที่ได้จากการสกัด

จากการทดลองที่ 4.2.4 พบว่าการสกัดน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานด้วยตัวทำละลายโดยไม่เติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดที่มีความหนืดตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN โดยการทดลองนี้จะนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ เฮกเซนที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3:1 ที่อุณหภูมิ 50°C และบิวทานอลที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 3:1 ที่อุณหภูมิ 40°C มาใช้ในการตรวจสอบปริมาณสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ โลหะ น้ำและเถ้า

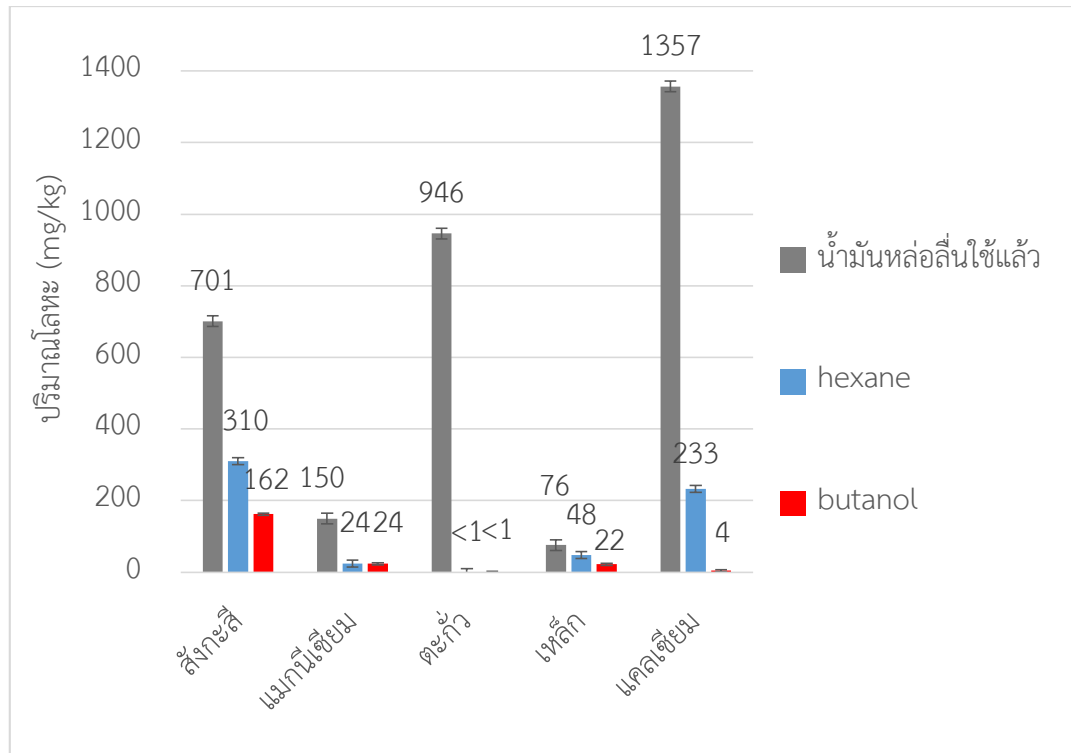
##### 4.2.5.1 ผลต่อปริมาณโลหะในน้ำมัน

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีปริมาณโลหะ 5 ชนิดที่พบในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมากที่สุด ได้แก่ สังกะสี 701.00 mg/kg แมกนีเซียม 150.00 mg/kg ตะกั่ว 946.00 mg/kg เหล็ก 76.00 mg/kg และแคลเซียม 1,357.00 mg/kg ซึ่งการปนเปื้อนของโลหะเหล่านี้มีหลายสาเหตุ ได้แก่ สังกะสีมาจากการเติมสารเติมแต่งป้องกันปฏิกิริยาออกซิเดชันและสารต้านการสึกหรอ (antioxidant and antiwear additives) แมกนีเซียมมาจากการเติมสารเติมแต่งทำความสะอาด (detergent additives) ตะกั่วปนเปื้อนจากการสึกกร่อนของตลับลูกปืน (bearing wear) เหล็กมาจากการสึกหรอของเครื่องยนต์ (engine wear) และแคลเซียมมาจากการเติมสารเติมแต่งทำความสะอาด (detergent additives) ซึ่งการปนเปื้อนโลหะเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้เครื่องยนต์สึกกร่อนเสียหายทั้งสิ้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555)

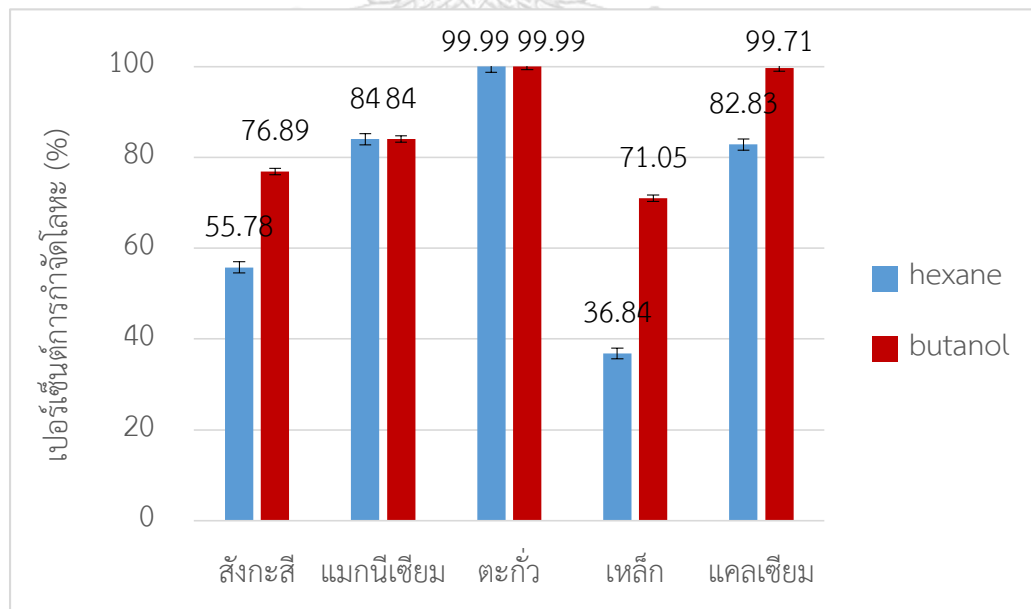
เมื่อนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายแล้วพบว่า ปริมาณโลหะที่หลงเหลืออยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเมื่อใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายปรากฏว่ามีปริมาณโลหะทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ สังกะสี แมกนีเซียม ตะกั่ว เหล็ก และแคลเซียมอยู่ที่ 310 mg/kg, 24 mg/kg, น้อยกว่า 1, 48 mg/kg และ 233 mg/kg ตามลำดับ เมื่อใช้บิวทานอลเป็นตัวทำละลายปรากฏว่ามีปริมาณโลหะทั้ง 5 ชนิด ได้แก่ สังกะสี แมกนีเซียม ตะกั่ว เหล็ก และแคลเซียมอยู่ที่ 162 mg/kg, 24 mg/kg, น้อยกว่า 1, 22 mg/kg และ 4 mg/kg ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดด้วยบิวทานอลมีปริมาณโลหะที่หลงเหลืออยู่ในน้ำมันน้อยกว่า น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดด้วยเฮกเซน ซึ่งตัวทำละลายทั้งสองชนิดสามารถลดค่าตะกั่วได้ดีที่สุด ส่วนโลหะชนิดอื่น ได้แก่ สังกะสี แมกนีเซียม เหล็ก และแคลเซียม ยังพบว่ามีสารปนเปื้อนอยู่ โดยเฉพาะ สังกะสีพบว่ากำจัดได้ค่อนข้างต่ำ หากต้องการกำจัดโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้มากขึ้นจะต้องใช้วิธีการกลั่นเพื่อแยกน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกจากสิ่งปนเปื้อน

เนื่องจากบิวทานอลมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (Dielectric Constant) สูงกว่าเฮกเซน โดยบิวทานอลมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกอยู่ที่ 17.90 และเฮกเซนมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกอยู่ที่ 1.89 ซึ่งสิ่งปนเปื้อนกระจายตัวอยู่ในน้ำมันด้วยแรงผลักทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) เมื่อเติมตัวทำละลายที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงจะส่งผลให้แรงผลักทางไฟฟ้าเป็นกลาง (neutralization) ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรของสิ่งปนเปื้อน เป็นผลทำให้สิ่งปนเปื้อนรวมตัวและตกตะกอนลงมา (Rincon, et al., 2005)

ปริมาณโลหะที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดด้วยเฮกเซนที่อัตราส่วน 3:1 อุณหภูมิ 50°C และบิวทานอลที่อัตราส่วน 3:1 อุณหภูมิ 40°C แสดงดังภาพที่ 4.9-4.10 และตารางที่ 4.16-4.17



ภาพที่ 4.16 ปริมาณโลหะในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและน้ำมันที่ผ่านกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

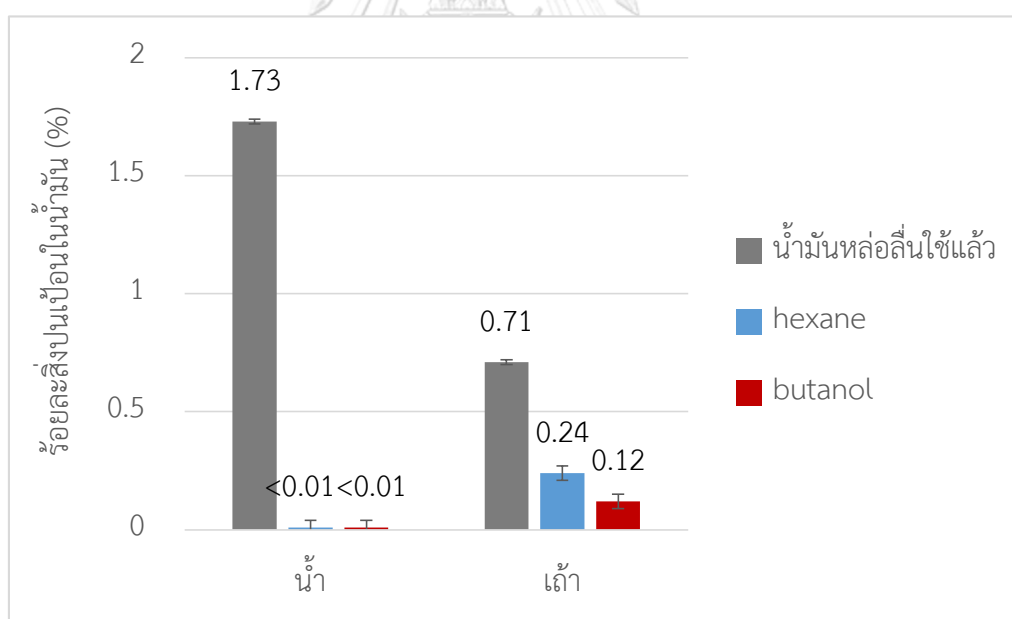


ภาพที่ 4.17 เปอร์เซ็นต์การกำจัดโลหะ (%)

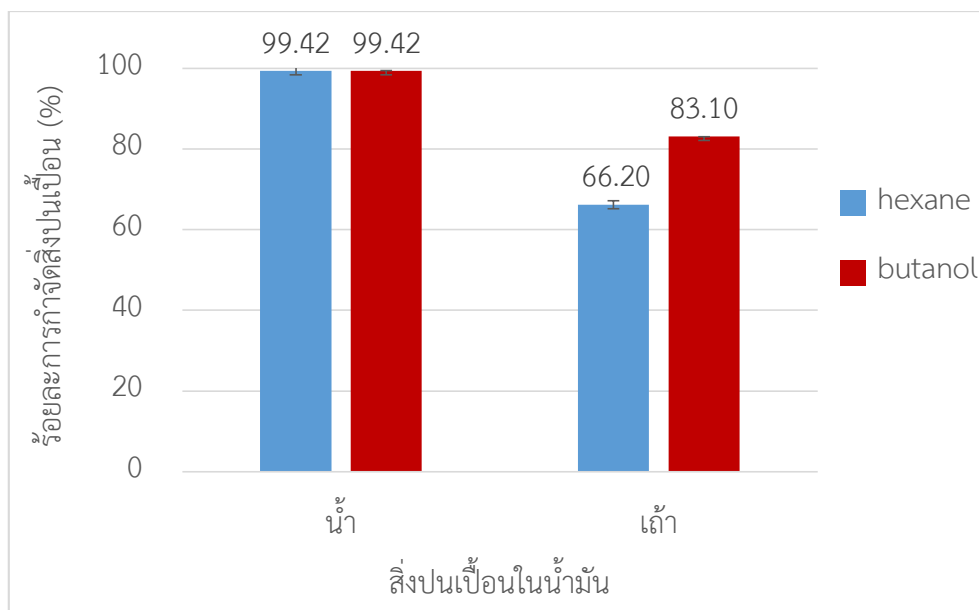
ลักษณะสมบัติที่ส่งผลต่อการใช้งานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานนอกจากปริมาณโลหะในน้ำมันแล้วยังมีปริมาณเถ้าและน้ำในน้ำมัน ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

#### 4.2.5.2 ผลต่อปริมาณเถ้าและน้ำในน้ำมัน

ปริมาณเถ้าในน้ำมันเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ยืนยันประสิทธิภาพการสกัดน้ำมันด้วยตัวทำละลาย เพราะน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมีปริมาณเถ้าสูงถึง 0.71 % แต่เมื่อผ่านกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้งสองชนิด ได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล พบว่าปริมาณเถ้าที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยปริมาณเถ้าของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซนมีปริมาณ 0.24 % และปริมาณเถ้าของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดด้วยบิวทานอลมีปริมาณ 0.12 % โดยพบว่าปริมาณเถ้าของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดด้วยบิวทานอลมีปริมาณต่ำกว่า และอยู่ในมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานรุ่นใหม่ ที่กำหนดให้มีเถ้าในน้ำมันไม่เกิน 0.2 % ดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.18 และ 4.19



ภาพที่ 4.18 ปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำมัน



ภาพที่ 4.19 ร้อยละการกำจัดสิ่งปนเปื้อน (%)

ส่วนการปนเปื้อนของน้ำในน้ำมันมาจาก 3 สาเหตุ ได้แก่ การกลั่นตัวของไอน้ำในห้องเครื่องเนื่องจากการจุดระเบิด การปนเปื้อนจากเครื่องทำความเย็น (cooler) และการผุกร่อนของเครื่องยนต์เนื่องมาจากกรดและเกลือที่พัดพามาจากทะเลเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดสนิมเร็วขึ้น ทำให้น้ำทะเลสามารถซึมเข้ามาปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น (วารสารกรมเจ้าท่า, 2545) โดยปริมาณน้ำในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็น 1.73 ppm หลังจากผ่านกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้งสองชนิด ได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล พบปริมาณน้ำหลังจากสกัดด้วยตัวทำละลายทั้งสองชนิดน้อยกว่า 0.01 ppm

ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยบิวทานอลมีสิ่งปนเปื้อน ได้แก่ โลหะ น้ำ และเถ้า น้อยกว่า เนื่องจากบิวทานอลมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริก (dielectric constant) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการมีขั้ว โดยบิวทานอลมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงกว่าเฮกเซน โดยบิวทานอลมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกอยู่ที่ 17.90 และเฮกเซนมีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกอยู่ที่ 1.89 ซึ่งสิ่งปนเปื้อนกระจายตัวอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วอย่างมีเสถียรภาพด้วยแรงผลักทางไฟฟ้า (electrostatic repulsion) เมื่อเติมตัวทำละลายที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสูงจะส่งผลให้แรงผลักทางไฟฟ้าเป็นกลาง (neutralization) ซึ่งเป็นการทำลายเสถียรภาพของสิ่งปนเปื้อน เป็นผลทำให้สิ่งปนเปื้อนรวมตัวและตกตะกอนลงมา (Rincon, et al., 2005)



### 4.3 การนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ไปใช้งานจริง

จากการทดลองพบว่าน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดด้วยบิวทานอล ในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว 3:1 ที่อุณหภูมิ 40°C สามารถใช้งานได้จริงเมื่อเทียบกับความหนืดของผลิตภัณฑ์ที่ได้กับมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรู๊ป-1 150SN และเทียบปริมาณเถ้าและน้ำกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่ และมีปริมาณโลหะตกน้อยลงจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ดังนั้นจึงได้ทดลองนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดด้วยสภาวะดังกล่าวไปทดลองใช้ในเครื่องยนต์อเนกประสงค์ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ดีเซล ฮอนด้า 9 แรงม้า จีเอ็กซ์ 270 โดยมีข้อมูลทางเทคนิค ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลเทคนิคเครื่องยนต์ดีเซล ฮอนด้า 9 แรงม้า จีเอ็กซ์ 270

ข้อมูลเทคนิค	เครื่องยนต์ดีเซล ฮอนด้า 9 แรงม้า จีเอ็กซ์ 270
รุ่น	GX270T2 QHT1
แบบเครื่องยนต์	ดีเซล 4 จังหวะ, สูบเฉียง, OHV ระบายความร้อนด้วยอากาศ
ความกว้างกระบอกสูบ×ช่วงชัก	77 × 58 มม.
ปริมาตรกระบอกสูบ	270 ซีซี
แรงบิดสูงสุด	19.1นิวตัน-เมตร/2500รอบต่อนาที (1.94 kg-m./2500 rpm)
ระบบสตาร์ท	ชุดเชือกดึงสตาร์ทแบบสปริงรั้งกลับ
ระบบจุดระเบิด	ดิจิตอล ซีดีไอ
ระบบหล่อลื่น	แบบวิดสาด
ความจุน้ำมันหล่อลื่น	1.00 ลิตร
ความจุถังน้ำมันเชื้อเพลิง	5.00 ลิตร
น้ำมันเชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล
ขนาดเครื่องยนต์ (กxยxส)	428x355x418 มม.
น้ำหนักสุทธิของเครื่องยนต์	25.8 กก



ภาพที่ 4.20 เครื่องยนต์ดีเซล ฮอนด้า 9 แรงม้า จีเอ็กซ์ 270

ที่มา : บริษัท นครินทร์กรุงเทพ จำกัด (2560)

โดยการทดสอบนั้นจะใช้เครื่องยนต์ดีเซล ฮอนด้า 9 แรงม้า จีเอ็กซ์ 270 ที่ปกติใช้งานในการดูดถ่ายน้ำมันวันละ 8 ชั่วโมง ทำงานวันจันทร์ถึงเสาร์ ปกติน้ำมันหล่อลื่นใหม่ที่ใช้กับเครื่องยนต์นี้จะเป็นน้ำมันสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยเมื่อใช้งานไปประมาณ 390 ชั่วโมง/ 1 ลิตร เครื่องจะเริ่มมีอาการที่บ่งชี้ว่าควรมีการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ได้แก่ อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) เพิ่มมากขึ้น สตาร์ทเครื่องยาก เครื่องยนต์ทำงานช้าลง เครื่องยนต์มีเสียงการทำงานดังขึ้น เครื่องสูบลูบุมุมของเครื่องยนต์เพิ่มสูงขึ้น เครื่องยนต์ทำงานไม่สม่ำเสมอ เป็นต้น ซึ่งอาการเหล่านี้จะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเครื่องยนต์ จึงต้องมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่อง

ก่อนเริ่มเติมน้ำมันน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ลงในเครื่องยนต์ ผู้วิจัยได้ทำการถ่ายน้ำมันหล่อลื่นค้างเก่าในเครื่องจนหมด และใช้น้ำมันล้างสำหรับล้างเครื่องยนต์ดีเซลล้างเครื่องยนต์ให้สะอาดมากที่สุด จากนั้นทำการเติมน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ลงในเครื่องยนต์ปริมาณ 1 ลิตร พบว่าน้ำมันมีอายุการใช้งานที่ 253 ชั่วโมง ประสิทธิภาพคิดเป็น 64.87% เมื่อเทียบกับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานใหม่ เครื่องยนต์จึงเริ่มมีอาการที่บ่งชี้ว่าควรเปลี่ยนน้ำมันเครื่องใหม่ และเมื่อทำการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใหม่อาการบ่งชี้ดังกล่าวไม่ปรากฏ

ปกติน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลอยู่ที่ลิตรละ 180 บาท (น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซล DYNAMIC SEMI-SYNTHETIC CI-4 PLUS) โดยการคำนวณต้นทุนจะเป็นการคำนวณในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Scale) ส่วนใหญ่ต้นทุนในการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายจะมี 2 ส่วน ได้แก่ ค่าน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและค่าสารเคมี แต่ยังไม่มีการคำนวณค่าไฟและค่าดำเนินการเนื่องจากยังอยู่ในระดับการทดลอง (lab scale) ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่นำมาใช้ในการทดลอง ราคาลิตรละ 2.50 บาท ต้องใช้น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วปริมาณ 1.30 ลิตร จึงได้น้ำมันที่ได้จากการสกัด 1 ลิตร คิดเป็นลิตรละ 3.26 บาท บิวทานอล (commercial grade) ที่ใช้ในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ราคาลิตรละ 72 บาท รวมทั้งสิ้นเป็นเงิน 75.26/ลิตร คิดเป็น 41.81% ของน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ถูกกว่า 58.19%

**ตารางที่ 4.4** การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่และน้ำมันหล่อลื่นใหม่ต่อปริมาณ 1 ลิตร

ค่าใช้จ่ายต่อน้ำมัน 1 ลิตร	น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ (บาท)	น้ำมันหล่อลื่นใหม่ (บาท)
ค่าน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	3.26	-
ค่าบิวทานอล	72.00	-
รวม	75.26	180.00

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Chulalongkorn University

**ตารางที่ 4.5** เปรียบเทียบประสิทธิภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดและน้ำมันหล่อลื่นใหม่

พารามิเตอร์	น้ำมันหล่อลื่นใหม่	น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้
อายุการใช้งาน (ชั่วโมง)	390	253
ต้นทุน/ลิตร (บาท)	180	75.26
จำนวนการเติม (ครั้ง)	1 (390 ชั่วโมง)	2 (506 ชั่วโมง)
ต้นทุนเมื่อเทียบกับอายุการใช้งาน (บาท)	180	150.52

จากการคำนวณพบว่าการเติมน้ำมันหล่อลื่นใหม่ปริมาณ 1 ลิตร สามารถใช้งานได้ 390 ชั่วโมง ส่วนน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดปริมาณ 1 ลิตร สามารถใช้งานได้ 253 ชั่วโมง คิดเป็น 64.87% ของน้ำมันหล่อลื่นใหม่ โดยน้ำมันหล่อลื่นใหม่ราคาลิตรละ 180 บาท ส่วนน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ต้นทุนอยู่ที่ลิตรละ 75.26 บาท คิดเป็น 41.81% ของน้ำมันหล่อลื่นใหม่ ถูกกว่า 58.19% และจากการทดลองพบว่าต้องเติมน้ำมันที่สกัดได้ 2 ครั้ง คิดเป็น 150.52 บาท จึงจะมีอายุการใช้งานเทียบเท่ากับน้ำมันใหม่ และเปรียบเทียบกับกำจัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ราคา 4.00 บาท/ลิตร พบว่าคุ้มค่ากับการลงทุน

สาเหตุที่น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดมีอายุการใช้งานน้อยกว่าน้ำมันหล่อลื่นใหม่ เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดเป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ปราศจากการเติมสารเติมแต่ง จึงส่งผลทำให้อายุการใช้งานไม่เท่ากับน้ำมันหล่อลื่นใหม่



## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษากระบวนการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเรือเดินสมุทรด้วยตัวทำละลายที่มีความยาวสายโซ่คาร์บอนและหมู่ฟังก์ชันต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน (hexane) บิวทานอล (butanol) เฮกซานอล (hexanol) และเฮกเซนผสมเฮกซานอล (mixture of hexane and hexanol) เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเรือเดินสมุทรโดยศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด และการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยเปรียบเทียบความหนืดของน้ำมันที่ได้กับมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่และมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN โดยทำการศึกษาสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพโดยเปรียบเทียบปริมาณเถ้าและน้ำกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่ และเปรียบเทียบปริมาณโลหะของน้ำมันที่ได้กับมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN

การสกัดด้วยตัวทำละลายได้แก่ เฮกเซน บิวทานอล เฮกเซนผสมเฮกซานอล และเฮกซานอล เพื่อละลายน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกจากสิ่งปนเปื้อน เมื่อเติมตัวทำละลายในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 1:1 พบว่าชนิดของตัวทำละลายมีผลทำให้ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%yield) โดยได้ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดร้อยละ 71.33, 61.67, 80.14 และ 75.36 ตามลำดับ แม้ว่าการใช้เฮกซานอลและเฮกเซนผสมเฮกซานอลจะส่งผลทำให้ได้ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดมาก แต่น้ำมันที่ได้จากการสกัดเป็นของแข็งแข็งกึ่งเหลวสีดำ มีไขของเหลวตามที่ต้องการ

การสกัดด้วยตัวทำละลายได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล เพื่อละลายน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกจากสิ่งปนเปื้อน เมื่อเติมตัวทำละลายในอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 1:1 ถึง 5:1 พบว่าการเพิ่มอัตราส่วนมีผลทำให้ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัด (%yield) เพิ่มมากขึ้น โดยอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ส่งผลทำให้ได้ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดมากที่สุดสำหรับตัวทำละลายทั้งสองอยู่ที่ 5:1 โดยได้ปริมาณน้ำมันที่ได้จากการสกัดร้อยละ 85.33 และ 79.67 ตามลำดับ

เมื่อวัดความหนืดของน้ำมันพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ตั้งแต่ 1:1 ถึง 5:1 พบว่า ได้ความหนืดเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมัน โดยไม่มีอัตราส่วนใดของ เฮกเซนต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN ซึ่งอยู่ระหว่าง 28-33 cSt ส่วนอัตราส่วนบิวทานอลต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN ได้แก่ 4:1 และ 5:1 ซึ่งความหนืดมีค่า 31.59 cSt และ 31.01 cSt

การสกัดด้วยตัวทำละลายได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล โดยเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดตั้งแต่ อุณหภูมิห้อง 40 50 และ 60°C ส่งผลให้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นจากการสกัด (%yield) เพิ่มขึ้นตามลำดับ โดยอุณหภูมิที่ส่งผลให้ได้ปริมาณน้ำมันจากการสกัดด้วยตัวทำละลายทั้งสองชนิดมากที่สุดคือ 60°C ซึ่งได้ปริมาณน้ำมันหล่อลื่นจากการสกัด (%yield) เป็น 95.00% และ 89.45% ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่า การสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล ที่อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันเป็น 3:1 ถึง 5:1 ณ อุณหภูมิห้อง 40°C 50°C และ 60°C พบว่า อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันเดียวกันที่อุณหภูมิต่างกันจะส่งผลทำให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดได้ลดลง โดยความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนเฮกเซนต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 3:1 ที่อุณหภูมิ 50°C ค่าความหนืดอยู่ที่ 32.58 cSt ส่วนอัตราส่วนบิวทานอลต่อน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ 3:1 ที่อุณหภูมิ 40°C มีค่าความหนืดอยู่ที่ 31.90 cSt โดยเกณฑ์น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN ซึ่งอยู่ระหว่าง 28-33 cSt

การเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ซึ่งทำหน้าที่เป็น degrading agent เพื่อเร่งการตะกอนให้เร็วขึ้น พบว่าการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ช่วยเพิ่มปริมาณน้ำมันหล่อลื่นจากการสกัด (%yield) เล็กน้อย ส่วนความหนืดหลังจากเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์แล้วพบว่าความหนืดของน้ำมันลดลงและไม่อยู่ในเกณฑ์น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกรุป-1 150SN

การสกัดด้วยตัวทำละลายทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ เฮกเซนและบิวทานอล ส่งผลให้น้ำมันมีคุณภาพที่ดีขึ้น เมื่อตรวจสอบสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันได้แก่ โลหะ เถ้าและน้ำ พบว่ามีปริมาณสิ่งปนเปื้อนดังกล่าวต่ำกว่าน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ซึ่งปริมาณเถ้าและน้ำในปนเปื้อนในน้ำมันมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่ และโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดด้วยบิวทานอลมีปริมาณน้อยกว่าน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกเซน แต่ยังคงมีโลหะที่

ปนเปื้อนน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่โดยเฉพาะสังกะสี หากต้องการกำจัดโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานให้มากขึ้นจะต้องใช้วิธีการกลั่นเพื่อแยกน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกจากสิ่งปนเปื้อน

เมื่อนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัดด้วยบิวทานอลไปทดสอบด้วยการใช้งานในเครื่องยนต์ดีเซลพบว่าสามารถใช้งานได้ปกติ โดยคิดเป็น 64.87% ของน้ำมันหล่อลื่นใหม่ เมื่อคำนวณต้นทุนพบว่าน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้จากการสกัดด้วยบิวทานอลมีต้นทุนถูกกว่าน้ำมันหล่อลื่นใหม่ 58.19% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพถือว่ามีความคุ้มค่ากับการนำน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วมาเข้ากระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้ควรนำไปเติมสารเติมแต่ง (additive) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและสามารถนำน้ำมันไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป
2. ในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายควรทำในระบบปิด เนื่องจากในกระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายจะมีการสูญเสียตัวทำละลาย ซึ่งตัวทำละลายเหล่านี้เมื่อใช้งานแล้วยังสามารถนำมากลับมาด้วยการกลั่นเพื่อนำกลับมาใช้ได้อีกครั้ง
3. ควรมีการทดลองนำน้ำมันชนิดอื่น เช่น น้ำมันไฮดรอลิก น้ำมันเกียร์ น้ำมันเทอร์ไบน์ น้ำมันเฟืองท้าย เป็นต้น มาเข้ากระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลาย เนื่องจากน้ำมันเหล่านี้มีส่วนประกอบหลักประมาณ 70-85% เป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน เมื่อน้ำมันเสื่อมสภาพก็ควรนำน้ำมันเหล่านี้มาเข้ากระบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายเพื่อแยกน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกมา เพื่อเป็นการประหยัดทรัพยากร
4. ควรมีการจัดการกับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วให้เป็นรูปแบบมากยิ่งขึ้น อาจมีการตั้งองค์กรกลางเพื่อเป็นการแนะนำหรือกำหนดราคาสำหรับน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานกลิ่นใหม่ ซึ่งควรได้รับการสนับสนุนจากภาคเอกชนและภาครัฐ

## รายการอ้างอิง

- Al-Zahrani, S. M., & Putra, M. D. (2013). Used lubricating oil regeneration by various solvent extraction techniques. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 19(2), 536-539.
- American Society for Testing and Materials (1970). Standard Method of Test for Viscosity of Transparent and Opaque Liquids. D445-65. U.S.A.
- American Society for Testing and Materials (2002). Standard Test Method for Water in Petroleum Products and Bituminous Materials by Distillation. D95-99. U.S.A.
- American Society for Testing and Materials (2003). Standard Test Method for Ash from Petroleum Products. D482-03. U.S.A.
- American Society for Testing and Materials (2005). Standard Test Method for Multielement Determination of Used and Unused Lubricating Oils and Base Oils by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES). D5185-18. U.S.A.
- Diphare, M., & Muzenda, E. (2013). Influence of Solvents on the Extraction of Oil from Waste Lubricating Grease: A Comparative Study. Paper presented at the 2nd International Conference on Agricultural, Environment and Biological Sciences (ICAEB'S'2013) Dec. 17-18, 2013 Pattaya (Thailand).
- Durrani, H. A., Panhwar, M. I., & Kazi, R. A. (2011). Re-refining of waste lubricating oil by solvent extraction. Mehran University Research Journal of Eng. & Tech, 30(2), 237-246.
- Durrani, H. A., Panhwar, M. I., & Kazi, R. A. (2012). Determining an efficient solvent extraction parameters for re-refining of waste lubricating oils. Mehran University Research Journal of Eng. & Tech, 31(2), 265-270.
- Elbashir, N. O., Al-Zahrani, S. M., Abdul Mutalib, M. I., & Abasaeed, A. E. (2002). A method of predicting effective solvent extraction parameters for recycling of used lubricating oils. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 41(9), 765-769.



- Fakhr Hoseini, S. M., Tavakkoli, T., & Hatamipour, M. S. (2009). Extraction of aromatic hydrocarbons from lube oil using n-hexane as a co-solvent. Separation and Purification Technology, 66(1), 167-170.
- Hamad, A., Al-Zubaidy, E., & Fayed, M. E. (2005). Used lubricating oil recycling using hydrocarbon solvents. Journal of Environmental Management, 74(2), 153-159.
- Kanit, R., Sophon, R., & Ratanavalee, I.-O. (1995). Reclaiming of used lubricating oil: 1995.
- Mohammed, R. R., Ibrahim, I. A. R., Taha, A. H., & McKay, G. (2013). Waste lubricating oil treatment by extraction and adsorption. Chemical Engineering Journal, 220, 343-351.
- Meullemiestre, A., Breil, C., Abert-Vian, M., & Chémat, F. (2015). Modern Techniques and Solvents for the Extraction of Microbial Oils. Cham: Springer.
- Natthineepon, S., Prasert, P., & Watts, D. J. (2001). Evaluation of available technologies for managing used automotive lubricating oil: 2001.
- Osman, D. I., Attia, S. K., & Taman, A. R. (2017). Recycling of used engine oil by different solvent. Egyptian Journal of Petroleum.
- Pilusa, T. J., Muzenda, E., & Shukla, M. (2013). Thermo-chemical extraction of fuel oil from waste lubricating grease. Waste Management, 33(6), 1509-1515.
- Rincon, J., Canizares, P., & Garcia, M. T. (2005). Regeneration of used lubricant oil by polar solvent extraction. Industrial & Engineering Chemistry Research, 44(12), 4373-4379.
- Rincón, J., Cañizares, P., & García, M. T. (2007). Regeneration of used lubricant oil by ethane extraction. The Journal of Supercritical Fluids, 39(3), 315-322.
- Sterpu, A.-E., Dumitru, A. I., & Popa, M.-F. (2012). Regeneration of used engine lubricating oil by solvent extraction. Analele Universitatii" Ovidius" Constanta-Seria Chimie, 23(2), 149-154.
- Yang, X., Chen, L., Xiang, S., Li, L., & Xia, D. (2013). Regeneration of waste lubricant oil by extraction–flocculation composite refining. Industrial & Engineering Chemistry Research, 52(36), 12763-12770.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. (2552). อันตรายจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว. Retrieved from [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/haz\\_lubri.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/haz_lubri.html)

- จิรพล รัชชศิริ (2003). การแยกน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นของเหลว: 2546.
- จิรพล รัชชศิริ (2012). การแยกน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วออกจากน้ำเสียโดยการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เป็นของเหลว. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546., Retrieved from <http://ezproxy.car.chula.ac.th/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsoai&AN=edsoai.946856737&site=eds-live>
- พรชนก แก้วเทวี และ ธราพงษ์ วิทิตสานต์ (2015). การเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเป็นเชื้อเพลิงเหลวบนตัวเร่งปฏิกิริยาเอพซีซีใช้แล้วในเครื่องปฏิกรณ์แบบต่อเนื่อง: 2558.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. (2555). อุตสาหกรรมการแปรสภาพตัวทำละลายและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว. Retrieved from [http://www2.diw.go.th/l\\_standard/Web/pane\\_files/Industry28.asp](http://www2.diw.go.th/l_standard/Web/pane_files/Industry28.asp)
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. (2558). ฐานข้อมูลโรงงานที่ได้รับอนุญาตประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535. Retrieved from <http://www.diw.go.th>
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. (2559). อุตสาหกรรมแปรสภาพตัวทำละลายและน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว. Retrieved from [http://www2.diw.go.th/l\\_standard/Web/pane\\_files/Industry28.asp](http://www2.diw.go.th/l_standard/Web/pane_files/Industry28.asp)
- ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, ก. (2559). แนวทางการจัดเก็บน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว. Retrieved from <http://www.deqp.go.th>
- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2003). แนวทางการจัดการน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว: กรุงเทพฯ : ศูนย์แลกเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้, 2546.
- สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง. (2555). การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ด้วยวิธี Used Oil Analysis. Retrieved from <http://www.doeb.go.th/v3/knowledge/data>
- สิงห์บาง, ส. (2556). รอบรู้เรื่องอุตสาหกรรม ตอน จาระบี (Grease). Retrieved from <http://thailandindustry.com/guru/view.php>
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. (2559). การผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจากปิโตรเลียม. Retrieved from <http://www.green.kmutt.ac.th>
- มหาวิทยาลัยมหิดล. (2559). ทฤษฎีการชน. Retrieved from [http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-chemistry2/kinetics/collision\\_theory.htm](http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ap-chemistry2/kinetics/collision_theory.htm)
- อุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, ก. (2551). บัญชีของเสียที่เป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน. Retrieved from <http://recycle.dpim.go.th/wastelist/waste-detail>

อนุชาติ ทองอารมณ์ (2545). น้ำมันในเรือที่เรียกว่า bilge, sludge, และ fuel oil. Retrieved from <http://www.mmtc.ac.th/km/index.php>





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพาทินี พิพัฒน์กิจโชติ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมจากโรงเรียนกรพิทักษ์ศึกษา กรุงเทพมหานคร และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต คณะวิทยาศาสตร์การ กิฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2556 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิทยาศาสตร มหาบัณฑิต หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557

