

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตเชื้อเพลิงผสมจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและน้ำมันดีเซล



T107814



นางสาวจุฑามาศ สาสยากุล

นางสาวชมพูนุท เจริญวุฒิลาภ

นายปฏิพัทธ์ พรหมวิทักษ์

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 107814

วัน,เดือน,ปี... 14 พ.ค. 2553

b. 12212155  
i. ....

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Production of Blending Fuel from Used Lubricating Oil and Diesel Oil



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การผลิตเชื้อเพลิงผสมจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและน้ำมันดีเซล

นักศึกษา นางสาวจุฑามาศ สาสยากุล  
นางสาวชมพูนุท เจริญวุฒิลาภ  
นายปฏิพัทธ์ พรหมวิทักษ์

ภาควิชา เคมี  
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา 2549  
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ	
กรรมการ ดร.ภิเษก รุ่งโรจน์ชัยพร	
กรรมการ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล	

( ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี )  
หัวหน้าภาควิชา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การผลิตเชื้อเพลิงผสมจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและน้ำมันดีเซล

นักศึกษา นางสาวจุฑามาศ สาสยากุล  
นางสาวชมพูนุท เจริญวุฒิลาภ  
นายปฏิพัทธ์ พรหมวิทักษ์

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เฟื่องทรัพย์สกุล

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย และอัตราส่วนของน้ำมันดีเซลและน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้ว เพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลบริสุทธิ์

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว นำมาสกัดด้วยตัวทำละลายชนิดมีขั้วทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ เพนทานอล ไอโซเพนทานอล และเฮกซานอล ในอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นต่อตัวทำละลาย ตั้งแต่ 1:1 ถึง 1:5 ณ อุณหภูมิห้อง เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการสกัด ทั้งยังได้มีการเติม โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ เพื่อช่วยให้ความสามารถในการตกตะกอนของสิ่งสกปรกเพิ่มมากขึ้น ในปริมาณ 2 4 6 8 กรัมต่อลิตร ซึ่งทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมต่อการตกตะกอนมากที่สุด หลังจากนั้นนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สามารถสกัดได้มาผสมเข้ากับน้ำมันดีเซล ใน 6 อัตราส่วน ได้แก่ 5:95 7:93 9:91 10:90 15:85 และ 20:80 เมื่อได้น้ำมันผสมแล้ว นำไปตรวจสอบคุณภาพน้ำมัน โดยวิเคราะห์จาก ค่าความหนืด ค่าความร้อน และจุดวาบไฟ

จากผลที่ได้ทำให้สามารถสรุปได้ว่า น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่สกัดด้วยตัวทำละลายเพนทานอล ในอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย 1:4 และมีปริมาณโพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 2 กรัมต่อลิตร ให้น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ดีที่สุด ซึ่งเมื่อนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล ในอัตราส่วน 5:95 ทำให้ได้ค่า ความหนืด ค่าความร้อน และจุดวาบไฟ อยู่ในเกณฑ์การใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Special Project Title** Production of Blending Fuel from Used Lubricating Oil and Diesel Oil

**Name** Miss Juthamart Sartyakoon  
Miss Chompunoot Chareonwutilap  
Mr. Patipat Promvitak

**Department** Chemistry

**Program** Industrial Chemistry

**Acedemic Year** 2006

**Special Project Advisor** Dr.Amnat Permsubscul

### ABSTRACT

The aim of this project is to study the suitable condition in solvent extraction of used lubricating oil and the ratio of mixing between diesel oil and used lubricating oil which obtained from solvent extraction by various solvents. The properties of this blended fuel must be nearly diesel oil.

Used lubricating oil is extracted by 3 polar solvents such as Pentanol , Isopentanol and Hexanol. The oil-to-solvent ratio is about 1:1 to 1:5 at room temperature. These are for the suitable ratio in solvent extraction. The addition of Potassium Hydroxide to solvent increases their capability to remove sludge from waste oil. The additional volume is 2 4 6 8 g/L which make us know the condition of removal most sludge. Blend the treated lubricating oil with diesel oil by various the treated oil-to-diesel oil ratio in 6 ratios such as 5:95 7:93 9:91 10:90 15:85 and 20:80.And then test these samples for 3 properties such as viscosity , heating value and flash point.

From the results we can conclude that the treated lubricating oil from Pentanol solvent extraction in 1:4 the oil-to-solvent ratio with 2 g/L KOH is the best lubricating base oil. Blend it with diesel oil in 5:95 the treated oil-to-diesel oil ratio, its viscosity , heating value and flash point are in the rule.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีได้ ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา  
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ให้คำชี้แนะและความรู้ ตลอดจนช่วยแก้ปัญหาต่างๆตลอดการทำงาน

ขอขอบพระคุณ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และดร.ภิเชก รุ่งโรจน์ชัยพร กรรมการสอบ  
โครงการพิเศษที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะ และตรวจสอบข้อมูลต่าง ๆ ในโครงการ  
พิเศษฉบับนี้ให้เป็นไปอย่างถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วันฉัตร ชื่นชม ที่กรุณาแนะนำในทุกๆเรื่องที่เป็นประโยชน์ต่อ  
โครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการบริษัท ปตท. จำกัด ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ความ  
ช่วยเหลือ ตลอดจนอุปกรณ์เครื่องมือในการทดสอบคุณสมบัติของเชื้อเพลิงผสม

ขอขอบพระคุณ คุณปราณี บุญวิวัฒน์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ให้ความสะดวกต่อ  
การทำงานอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ดีตลอดมา  
สำหรับประโยชน์และคุณค่าอันพึงมีจากโครงการพิเศษฉบับนี้ ขอมอบให้กับครอบครัว  
สาสยกุล ครอบครัวเจริญวุฒิลาภ และครอบครัวพรหมวิทักษ์ ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ได้  
ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้เสมอมา

จุฑามาศ

สาสยกุล

ชมพูนุท

เจริญวุฒิลาภ

ปฏิพัทธ์

พรหมวิทักษ์

ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	4
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์	5
2.1.1 น้ำมันแร่	6
2.1.2 น้ำมันสังเคราะห์	8
2.1.3 น้ำมันหล่อลื่นปลอม	9
2.2 สารเพิ่มคุณภาพ	10
2.3 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น	13
2.4 มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่น	19
2.4.1 มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซล	20
2.4.2 มาตรฐานความหนืดน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรม ISO 3448	23
2.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น	24
2.6 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น	25
2.7 น้ำมันดีเซล	26
2.7.1 การแบ่งชั้นคุณภาพน้ำมันดีเซลทั่วไป	27
2.7.2 เครื่องยนต์ดีเซล	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับตัวทำละลาย	29
2.8.1 คุณสมบัติของตัวทำละลาย	29
2.8.2 สมบัติของตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลอง	30
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 สารเคมี	34
3.2 อุปกรณ์	34
3.3 วิธีการทดลอง	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	
4.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัด และน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลายแล้ว	45
4.2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลาย แต่ละชนิด	46
4.2.1 ความแตกต่างของสี	46
4.2.2 ความแตกต่างของความหนืด	48
4.3 ผลของอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย	48
4.4 ผลของชนิดตัวทำละลาย	53
4.5 ผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	54
4.6 ของการผสมน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดเข้ากับน้ำมันดีเซล	58
4.6.1 ลักษณะทางกายภาพที่มองเห็นด้วยตาเปล่าของน้ำมันผสม	58
4.6.2 ความหนืดของน้ำมันผสม	62
4.6.3 จุดวาบไฟของน้ำมันผสม	65
4.6.4 ผลของการหาค่าความร้อน	69
4.7 สภาวะที่เหมาะสม	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	73
5.2 ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารอ้างอิง	75
ภาคผนวก	77



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความหนืดน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรม ISO 3448	24
2.2	สมบัติทั่วไปของตัวทำละลายเพนทานอล	30
2.3	สมบัติทั่วไปของตัวทำละลายไอโซเพนทานอล	31
2.4	สมบัติทั่วไปของตัวทำละลายเฮกซานอล	31
3.1	สถานะที่ใช้ในการทดสอบการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย	36
3.2	สถานะที่ใช้ในการทดสอบหาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม	38
3.3	ปริมาณการผสมน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้วกับน้ำมันดีเซล	39
3.4	การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันผสมซึ่งสกัดด้วยตัวทำละลายเพนทานอล	40
3.5	การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันผสมซึ่งสกัดด้วยตัวทำละลายไอโซเพนทานอล	40
3.6	การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันผสมซึ่งสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกซานอล	40
4.1	การเปรียบเทียบน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดและน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลาย	45
4.2	ผลของอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายชนิดต่างๆ ที่มีต่อปริมาณตะกอนที่แยกได้จากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	49
4.3	ผลการทดสอบหาปริมาณ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม	55
4.4	สถานะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	58
4.5	กำหนดของกรมธุรกิจพลังงานซึ่งกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล	61
4.6	ค่าความหนืดของน้ำมันผสม ที่อุณหภูมิ 40 °C	62
4.7	จุดวาบไฟของน้ำมันผสม	66
4.8	ค่าความร้อนของน้ำมันผสม	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แผนภาพแสดงการกลั่นน้ำมันที่ความดันปกติ	6
2.2	แผนภาพแสดงการกลั่นน้ำมันที่ความดันสุญญากาศ	7
2.3	หลักการของความหนืด	13
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นบางชนิด	15
2.5	ผลของความดันต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น SAE 40	16
2.6	การหาค่าดัชนีความหนืด	17
3.1	เครื่องหาจุดวาบไฟ ISL FP 935G2	40
3.2	ถ้วยสำหรับหาจุดวาบไฟ	40
3.3	การเทน้ำมันลงในถ้วยสำหรับหาจุดวาบไฟ	40
3.4	การประกอบชุดอุปกรณ์	41
3.5	การตั้งค่าอุณหภูมิของจุดวาบไฟ (E.F.P)	41
3.6	อุณหภูมิของจุดวาบไฟ (FLASH)	41
3.7	สภาวะที่ใช้วัดความหนืดที่ 40 °C	42
3.8	หลอดแก้วสำหรับบรรจุสาร	42
3.9	การทำงานของเครื่องหาความหนืด	42
3.10	เครื่อง Adiabatic bomb calorimeter (PARR 1281 bomb calorimeter)	43
3.11	การชั่งน้ำหนักน้ำมันที่ทำการทดสอบ	43
3.12	การเปิดฝาของเครื่อง	44
3.13	การประกอบชุดอุปกรณ์ทดสอบ	44
4.1	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัด	45
4.2	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัด	45
4.3	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเพนทานอล	47
4.4	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายไอโซเพนทานอล	47
4.5	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกซานอล	47
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย	50
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเพนทานอล	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนระหว่างน้ำมัน หล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายไอโซเพนทานอล	52
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนระหว่างน้ำมัน หล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเฮกซานอล	53
4.10	ผลของปริมาณ โฟเทสซีเอ็ม ไฮดรอกไซด์ที่มีต่อปริมาณตะกอนที่ แยกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเมื่อใช้ตัวทำละลายเพนทานอล	56
4.11	ผลของปริมาณ โฟเทสซีเอ็ม ไฮดรอกไซด์ที่มีต่อปริมาณตะกอนที่ แยกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเมื่อใช้ตัวทำละลายไอโซเพนทานอล	56
4.12	ผลของปริมาณ โฟเทสซีเอ็ม ไฮดรอกไซด์ที่มีต่อปริมาณตะกอนที่ แยกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเมื่อใช้ตัวทำละลายเฮกซานอล	57
4.13	การแยกชั้นของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยไอโซเพนทานอล	59
4.14	การแยกชั้นของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วย เฮกซานอล	59
4.15	การแยกชั้นของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเพนทานอล	60
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ สกัดแล้วต่อน้ำมันดีเซล	63
4.17	แนวโน้มค่าความหนืดของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเพนทานอล	64
4.18	แนวโน้มค่าความหนืดของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วย ไอโซเพนทานอล	64
4.19	แนวโน้มค่าความหนืดของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกซานอล	65
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างจุดวาบไฟกับปริมาณของน้ำมันที่สกัดแล้ว นำมาผสมกับน้ำมันดีเซล	67
4.21	แนวโน้มจุดวาบไฟของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเพนทานอล	68
4.22	กราฟแสดงแนวโน้มจุดวาบไฟของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วย ไอโซเพนทานอล	68
4.23	กราฟแสดงแนวโน้มจุดวาบไฟของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วย เฮกซานอล	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.24	ค่าความร้อนของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเพนทานอล	71
4.25	ค่าความร้อนของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยไอโซเพนทานอล	71
4.26	ค่าความร้อนของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกซานอล	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

น้ำมันหล่อลื่นจัดเป็นสารที่มีการใช้งานมากในปัจจุบัน จึงทำให้ปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเพิ่มสูงขึ้นอยู่ตลอดเวลา โดยมีปริมาณมากกว่า 230 ล้านลิตรต่อปี น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วเหล่านี้ได้มาจากน้ำมันเครื่องที่ใช้ในยานพาหนะ อุตสาหกรรมและกิจกรรมอื่นๆ ซึ่งโดยปกติ น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้จะประกอบไปด้วยน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและสารเพิ่มคุณภาพ หลังจากน้ำมันหล่อลื่นถูกใช้งานจะทำให้คุณสมบัติของสารประกอบที่มีอยู่ในน้ำมันเปลี่ยนไป น้ำมันหล่อลื่นที่เสื่อมคุณภาพเหล่านี้ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ประเภทไฮโดรคาร์บอน ตัวทำละลาย โลหะหนัก ฯลฯ ซึ่งสารต่างๆเหล่านี้เมื่อทำการทิ้งและกำจัดอย่างไม่ถูกวิธีจึงอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สัตว์ พืช และมนุษย์ได้

การนำน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วมาสกัดด้วยตัวทำละลายจึงจัดเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อลดปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วที่เพิ่มมากขึ้นในทุกวัน ทั้งยังสามารถนำน้ำมันที่บำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ เพื่อลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้

ในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วนั้นจะทำการสกัดเอาสารประกอบที่เกิดจากกระบวนการสันดาปของเครื่องยนต์ที่เราไม่ต้องการออกไปด้วยตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้ว ซึ่งความสามารถและประสิทธิภาพในการสกัดนั้นจะขึ้นอยู่กับความแรงของสภาพขั้วในตัวทำละลายที่แตกต่างกันออกไปในสารแต่ละชนิด การที่สามารถสกัดเอาสารประกอบต่างๆที่ไม่ต้องการออกจากน้ำมันหล่อลื่นได้นั้น อาศัยทฤษฎีเกี่ยวกับการละลายที่ว่า สารละลายจะเป็นไปตามกฎของ "Like dissolves like" คือ สารที่ไม่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ส่วนสารที่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว โดยปกติแล้วผลิตภัณฑ์น้ำมันจะไม่แสดงสมบัติความเป็นขั้ว ดังนั้นน้ำมันที่นำมาสกัดด้วยตัวทำละลายจำพวกแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นขั้วอยู่ จึงไม่ละลายออกมาเป็นตัวทำละลาย แต่ในทางตรงกันข้ามสารประกอบที่เกิดจากกระบวนการสันดาปของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ต้องการนั้นกลับแสดงสภาพความเป็นขั้วออกมาทำให้ตัวทำละลายจำพวกแอลกอฮอล์สามารถละลายเอาสารประกอบเหล่านั้นออกจากน้ำมันที่นำมาสกัดได้

แต่อย่างไรก็ตามตัวทำละลายที่นำมาสกัดนั้นไม่ได้แสดงสมบัติความเป็นขั้วทั้งหมดทุกโมเลกุล ยกตัวอย่างเช่น ตัวทำละลายจำพวกแอลกอฮอล์ที่ต่อกับสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน โมเลกุลที่แสดงความเป็นขั้วนั้นจะเป็นเพียงส่วนของแอลกอฮอล์ หรือ หมู่ไฮดรอกซิล (OH group) เท่านั้น การละลายของสารประกอบที่เกิดจากกระบวนการสันดาปของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นส่วนที่มีความเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจึงน่าจะละลายออกมากับส่วนของแอลกอฮอล์เท่านั้น ซึ่งส่วนนี้เอง คือ ตะกอนที่แยกออกมาจาก ส่วนของน้ำมัน ในทางเดียวกันส่วนของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอนที่ต่อกับหมู่ไฮดรอกซิล (OH group) ก็น่าจะละลายอยู่ในน้ำมันซึ่งเป็นส่วนของน้ำมันที่มีตัวทำละลายบางส่วนปนอยู่

ในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายนั้นจะมีตะกอนของสารประกอบที่ได้ จากการสกัดลอยปะปนอยู่ในตัวน้ำมัน ซึ่งสามารถแยกออกได้โดยการใช้เครื่องปั่นแยก (centrifuge) หรือตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการตกตะกอน ตะกอนที่ได้นี้จะเรียกว่า “Asphaltene” ซึ่งจะไม่ละลายใน สารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอนโมเลกุลเล็กๆ แต่จะสามารถละลายในสารประกอบพวกโพลูอิน เบนซีน และไซลีน ซึ่งก็คือ สารประกอบ หรือ ตัวทำละลายที่มีขี้นั่นเอง [1]

หลังจากทำการแยกตะกอนที่ได้จากการสกัดออกไปแล้ว สามารถแยกตัวทำละลายบางส่วน ที่ปนอยู่ในน้ำมันออกเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ด้วยการกลั่นแบบธรรมดา หรือ การกลั่นแบบลด ความดันโดยใช้เครื่องระเหยความดันต่ำ (rotary evaporator)

น้ำมันหล่อลื่นที่สกัดได้นั้นจะมีคุณสมบัติต่ำลง จึงไม่สามารถนำกลับไปเป็นน้ำมันหล่อลื่น เครื่องยนต์สำหรับรถยนต์ได้ แต่อาจนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์ที่ไม่ต้องการการบำรุงรักษามากนัก หรือสามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพเพื่อขายเป็นน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณภาพต่ำลงมาได้

การใช้งานของน้ำมันดีเซลจัดว่าอยู่ในวงกว้างเพราะเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมสำหรับ เครื่องยนต์ชนิดต่างๆ เช่น รถยนต์โดยสาร รถบรรทุก เรือ เรือเดินสมุทร และรถไฟ ทั้งยังเหมาะ สำหรับเครื่องยนต์ที่ต้องทำงานหนักและเหมาะกับการใช้งานในอุตสาหกรรม น้ำมันดีเซลจึงมีการ ใช้งานมากกว่าน้ำมันเบนซิน ที่นับวันจะมีราคาเพิ่มสูงขึ้นและมีปริมาณลดลงเรื่อยๆ

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบกับปัญหาน้ำมันราคาแพง ทำให้โรงงานพิเศษนี้ถูก จัดทำขึ้น เพื่อค้นคว้าถึงวิธีการลดปริมาณการใช้ น้ำมันดีเซลบริสุทธิ์ลง โดยได้นำน้ำมันหล่อลื่นที่มี การใช้งานกันมากดังที่ได้กล่าวมา มาบำบัดโดยวิธีการสกัดแยกด้วยตัวทำละลายและผสมกับน้ำมัน ดีเซล ทั้งนี้ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติของน้ำมันผสมที่ได้เพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล บริสุทธิ์ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณการใช้ น้ำมันดีเซลในปัจจุบันลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อผลิตเชื้อเพลิงผสมจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วและน้ำมันดีเซล
2. เพื่อศึกษาถึงผลของชนิดตัวทำละลาย อัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่มีต่อวิธีการสกัดแยกด้วยตัวทำละลาย เพื่อให้ได้มาซึ่งสภาวะที่ดีที่สุด
3. เพื่อศึกษาสมบัติของน้ำมันที่ได้จากการผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้วกับน้ำมันดีเซล

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อร้อยละของน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดได้ และร้อยละของตะกอนรวมถึงหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด โดยตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่
  - ชนิดของตัวทำละลาย ได้แก่ เพนทานอล ไอโซเพนทานอล และ เฮกซานอล
  - อัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วกับตัวทำละลาย ช่วงที่ทำการศึกษาคือ 1:1 ถึง 1:5 โดยปริมาตร
  - ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ช่วงที่ทำการศึกษาคือ 0 2 4 6 และ 8 กรัมต่อลิตร
2. การผสมน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดแล้วกับน้ำมันดีเซลจากสภาวะที่เหมาะสมที่สุด โดยศึกษาถึงผลของอัตราส่วนน้ำมันดีเซล ต่อ น้ำมันหล่อลื่นที่สกัดแล้ว ช่วงที่ทำการศึกษา คือ 95:5 ถึง 80:20 โดยปริมาตร
3. ทดสอบสมบัติของน้ำมันดีเซลผสม ซึ่งสมบัติเหล่านั้น ได้แก่
  - ความหนืด (viscosity)
  - จุดวาบไฟ (flash point)
  - ค่าความร้อน (calorific value)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ม.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.
- ศึกษาหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	↔									
- ออกแบบการทดลอง จัดเตรียมอุปกรณ์และสารเคมี		↔	↔							
- ทำการสกัดแยกน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวทำละลายชนิดต่างๆเพื่อหาสถานะและอัตราส่วนที่ดีที่สุด					↔	↔				
- ทำการสกัดและผสมน้ำมันหล่อลื่นจากสถานะที่ดีที่สุดกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนต่างๆ								↔		
- ทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันผสม									↔	
- สรุป และรายงานผลงานวิจัย										↔

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย
2. ทราบถึงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผสมน้ำมันดีเซลกับน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้ว ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลในทางการค้า
3. ช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลให้กับประเทศ
4. สามารถลดปริมาณมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์

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

ในปัจจุบันเครื่องยนต์ส่วนใหญ่จะมีอายุการใช้งานประมาณ 150,000 กิโลเมตรก่อนยกเครื่องเพื่อเปลี่ยนชิ้นส่วนที่สึกหรอ ในขณะที่ระยะเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องยืดออกไปถึง 5,000 - 8,000 กิโลเมตร เหตุการณ์นี้เกิดขึ้นเป็นผลจากการพัฒนาความร่วมมือระหว่างผู้ผลิตเครื่องยนต์และผู้ผลิตน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันหล่อลื่นในปัจจุบันจึง ได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยผสมสารเพิ่มคุณภาพซึ่งได้จากสารสังเคราะห์หลายชนิดเพื่อให้เหมาะกับการใช้งานในสภาพปัจจุบัน

น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เก๊าะโซลินในปัจจุบันต้องทำหน้าที่หล่อลื่นชิ้นส่วนเคลื่อนไหวทุกชิ้นเพื่อป้องกันการสึกหรอ ลดแรงเสียดทาน และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ นอกจากนี้ น้ำมันหล่อลื่นยังต้องทำหน้าที่เป็นซีลเพื่อรักษาแก๊สอัดในกระบอกสูบและระบายความร้อนอีกด้วยหน้าที่หลักที่สำคัญอีกประการหนึ่งของน้ำมันเครื่อง คือ ต้องรักษาและป้องกันเครื่องยนต์จากของเสียที่ได้จากการเผาไหม้ เช่น เขม่าและกรดกำมะถัน น้ำมันเครื่องที่ดีจะต้องช่วยชะล้างและกระจายคราบเขม่าในเครื่องยนต์ และจะต้องมีคุณสมบัติเป็นด่างเพื่อทำปฏิกิริยากับกรดกำมะถันที่เกิดจากการเผาไหม้ เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและสนิม โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญเพื่อที่จะทำหน้าที่ข้างต้นคือ

1. น้ำมันเครื่องจะต้องมีความหนืดที่เหมาะสมถูกต้อง
2. น้ำมันเครื่องจะต้องไม่เสื่อมสภาพเร็วเกินไป
3. น้ำมันเครื่องต้องสามารถปกป้องเครื่องยนต์ได้ในทุกสภาวะการทำงาน

การที่สารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวนิยมใช้กันแพร่หลายมากนั้นเพราะสามารถแยกผิววัตถุทั้งสองได้อย่างสมบูรณ์ และสามารถรับแรงที่กระทำได้มาก ของเหลวที่ใช้เป็นสารหล่อลื่นมีสารละลายกับน้ำ (aqueous solution) น้ำมันแร่ (mineral oil) น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ และน้ำมันสังเคราะห์ (synthetic oil) ในบรรดาสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวนี้นี้จะมีการใช้งานค่อนข้าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำกัด เช่น ใช้ในการหล่อลื่นแบริงไม้ หรือแบริงยางของกังหันวิดน้ำ หรือเครื่องสูบน้ำบางประเภท ส่วนสารละลายกับน้ำจะใช้เฉพาะในการหล่อลื่นชิ้นงานของเครื่องกลึง เครื่องเจียรไน และเครื่องไสเป็นหลัก สำหรับสารหล่อลื่นที่เป็นของเหลวที่ใช้กันมาก คือ น้ำมันหล่อลื่นซึ่งมีอยู่ 2 ชนิดคือ น้ำมันแร่ และน้ำมันสังเคราะห์ ส่วน น้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ไม่เป็นที่นิยมใช้กันมากนัก เนื่องจากมีราคาแพง [2]

### 2.1.1 น้ำมันแร่ [2]

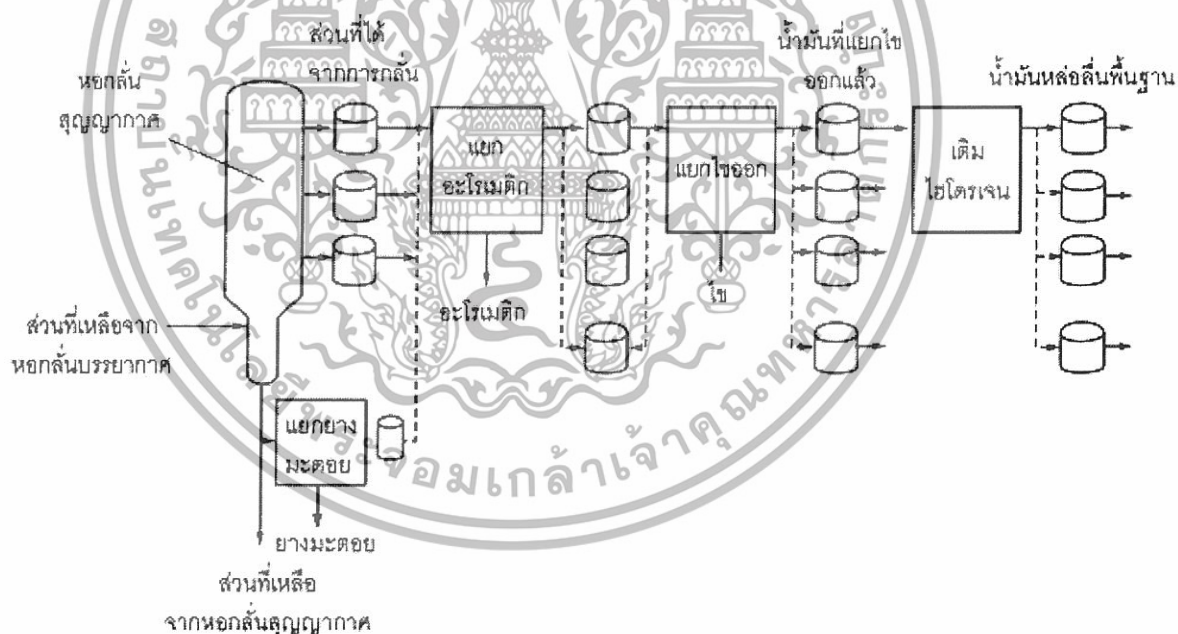
น้ำมันแร่เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ (crude oil) น้ำมันหล่อลื่น ได้มาจากส่วนที่หนักของน้ำมันดิบซึ่งเหลือจากการกลั่นเอาส่วนที่เบาออกได้แก่ น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด และน้ำมันดีเซล ออกไปโดยหอกลั่นบรรยากาศ (atmospheric tower) ตามที่แสดงใน รูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงการกลั่นน้ำมันที่ความดันปกติ [2]

กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นจากน้ำมันดิบเริ่มต้นจากการนำเอาส่วนที่เหลือจากหอกลั่นบรรยากาศเข้าไปกลั่นอีกครั้งหนึ่งในหอกลั่นสุญญากาศ (vacuum tower) เพื่อแยกส่วนที่เหลือจากหอกลั่นบรรยากาศออก เพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ที่มีจุดเดือด (boiling point) เหมือนกัน โดยความดันในหอกลั่นสุญญากาศจะมีค่าต่ำกว่าหนึ่งส่วนสิบของความดันบรรยากาศ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการแตกสลาย (cracking) ที่อุณหภูมิสูง คุณสมบัติที่สำคัญที่ถูกควบคุมโดยการกลั่นสุญญากาศ คือ ความเอกลสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนืด (viscosity) จุดวาบไฟ (flash point) และกากคาร์บอน (carbon residue) ซึ่งก็จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนืดต่างๆ กันออกมา หลังจากที่ออกจากหอกลั่นสุญญากาศแล้วจะนำไปผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อแยกส่วนที่ไม่ต้องการออกให้เหลือเป็นผลิตภัณฑ์หรือน้ำมันหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติตามต้องการ ตัวอย่างของกระบวนการเหล่านี้ได้แก่ กระบวนการแยกยางมะตอยโดยใช้โพรเพนเป็นสารละลาย (propane deasphalting) กระบวนการแยกเอาสารประกอบพวงอะโรมาติก (aromatic compounds) ออกจากพวกที่ไม่ใช่อะโรมาติก (nonaromatic compound) ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น ได้แก่ การเพิ่มเสถียรภาพในด้านความร้อนและการรวมตัวกับออกซิเจน และเพิ่มค่าดัชนีความหนืด (viscosity index) กระบวนการต่อไปก็คือ กระบวนการแยกเอาไขออก (dewaxing) เพื่อลดจุดไหลเทให้ต่ำลงเพื่อให้สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำ ส่วนกระบวนการสุดท้าย คือ การเติมไฮโดรเจน (hydro - finishing) เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างของโมเลกุลของสารที่ทำให้เกิดสีและสารที่ไม่เสถียรทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีสีจางลง และช่วยเพิ่มคุณสมบัติบางประการ กระบวนการผลิตน้ำมันหล่อลื่นดังกล่าวได้แสดงไว้ตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงการกลั่นน้ำมันที่ความดันสุญญากาศ [2]

น้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการผลิตตามกระบวนการผลิตดังกล่าวข้างต้นเรียกว่าน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (lube base stock) ซึ่งโดยทั่วไปยังไม่สามารถนำไปใช้ในการหล่อลื่นชิ้นส่วนของเครื่องจักรกลได้ ทั้งนี้เนื่องจากยังมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน ดังนั้นจึงจำเป็นต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเสียก่อน วิธีที่นิยมใช้กันมาก คือ การใส่สารเพิ่มคุณภาพ (additives) เข้าไป

### 2.1.2 น้ำมันสังเคราะห์ [2]

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทน้ำมันแร่ที่ได้จากกระบวนการกลั่นน้ำมันดิบนั้นแม้ว่าจะผ่านกระบวนการมากมายที่ใช้กำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกไปแต่น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้ออกมา นั้นยังคงเป็นของผสมของสารประกอบหลายตัว ซึ่งไม่มีทางที่จะเลือกเอาเฉพาะสารที่มีคุณสมบัติดีที่สุดได้ หรือถ้ามีก็จะได้ผลผลิตต่ำให้การผลิตไม่คุ้มค่า ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทน้ำมันแร่จึงมีคุณสมบัติเฉลี่ยของของผสมซึ่งประกอบด้วยสารประกอบที่เหมาะสมมากที่สุดและน้อยที่สุดเป็นผลให้น้ำมันแร่มีข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงได้มีการพัฒนาน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานประเภทน้ำมันสังเคราะห์ขึ้นมา น้ำมันสังเคราะห์เป็นน้ำมันพื้นฐานที่ได้จากกระบวนการทางเคมี ซึ่งเป็นการรวมตัวของสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำให้ได้น้ำมันที่มีความหนืดเพียงพอที่จะใช้เป็นสารหล่อลื่น โดยสารประกอบเริ่มต้นที่ใช้ในการผลิตน้ำมันสังเคราะห์มีก็จะได้จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และเนื่องจากน้ำมันสังเคราะห์เป็นน้ำมันที่สร้างขึ้นจากกระบวนการเคมี จึงสามารถควบคุมให้มีโครงสร้างโมเลกุลตามที่ต้องการและมีคุณสมบัติตามที่คาดหวังไว้ได้

ข้อได้เปรียบที่สำคัญของน้ำมันสังเคราะห์เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันแร่ก็คือสามารถนำไปใช้งานในช่วงอุณหภูมิที่กว้างกว่าน้ำมันแร่ คือ ใช้ได้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าและสูงกว่าของน้ำมันแร่ นอกจากนี้ น้ำมันสังเคราะห์บางประเภทยังให้คุณสมบัติเฉพาะ เช่น ผสมเข้ากันกับน้ำได้และไม่ติดไฟ เป็นต้น

สำหรับน้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์ที่ใช้กันอยู่ สามารถแบ่งได้เป็น 5 กลุ่ม คือ

1. ไฮโดรคาร์บอนสังเคราะห์ (synthesized hydrocarbons) ซึ่งเป็นไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่ได้มาจากน้ำมันดิบที่ใช้กันมากมีอยู่ 3 ชนิด คือ โอลิฟิน โอลิโกเมอร์

(olefin oligomers) อัลคิลเลตอะโรมาติก (alkylated aromatics) และ โพลิบิวทีนส์ (polybutenes)

ข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับน้ำมันแร่ก็คือ มีความมั่นคงที่อุณหภูมิสูง

อายุการใช้งานยาว มีดัชนีความหนืดสูง มีการไหลที่อุณหภูมิต่ำ ไม่มีไข และมีการระเหยต่ำ

2. เอสเทอร์อินทรีย์ (organic esters) เป็นสารหล่อลื่นที่ได้มีการนำไปใช้งานอย่าง

กว้างขวาง เช่น ใช้เป็นสารหล่อลื่นของเครื่องยนต์เจ็ทของอากาศยาน และใช้ในระบบไฮดรอลิก

เป็นต้น เอสเทอร์อินทรีย์ที่ใช้กันมีอยู่ 2 ชนิด ชนิดแรก คือ ไดเบสิกเอซิดเอสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(dibasic acid esters) บางครั้งเรียกว่า ไดเอสเทอร์ (diesters) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่าง ไดเบสิกแอซิด (dibasic acid) กับ โมโนไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ (monohydric alcohol) อีกชนิดหนึ่ง คือ พอลิโออลเอสเทอร์ (polyol esters) ซึ่งได้จากปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างพอลิไฮดรอลิกแอลกอฮอล์ (polyhydric alcohol) กับ โมโนเบสิกแอซิด (monobasic acid) ข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับน้ำมันแร่ ก็คือ มีความมันคงที่อุณหภูมิสูง มีการไหลที่อุณหภูมิต่ำและมีอายุการใช้งานยาว

3. พอลิไกลคอลส์ (polyglycols) เป็นสารหล่อลื่นที่มีจุดเดือดสูงและจุดไหลต่ำเหมาะสำหรับสภาพการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่น ใช้เป็นน้ำมันเบรกและน้ำมันไฮดรอลิกที่ติดไฟได้

4. ฟอสเฟตเอสเทอร์ (phosphate esters) เป็นสารหล่อลื่นที่มีคุณสมบัติทนไฟ จึงใช้เป็น น้ำมันไฮดรอลิกสำหรับอากาศยานและน้ำมันไฮดรอลิกที่ไม่ติดไฟด้วย

5. น้ำมันหล่อลื่นสังเคราะห์อื่นๆ ได้แก่ ซิลิโคน ซึ่งเป็นสารหล่อลื่นที่มีดัชนีความหนืดสูงมาก (300 หรือมากกว่า) และมีจุดไหลต่ำ จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในช่วงอุณหภูมิกว้าง และใช้เป็นน้ำมันไฮดรอลิกในกรณีพิเศษ เช่น ใช้เป็นสปริงของเหลวและซิลิเกตเอสเทอร์

(Silicate esters) เป็นสารหล่อลื่นที่มีดัชนีความหนืดสูงและมีจุดไหลต่ำเช่นกัน

แม้ว่าน้ำมันสังเคราะห์จะมีความสมบัติโดยทั่วไปดีกว่าน้ำมันแร่ก็ตามแต่สำหรับการนำไปใช้งานบางประเภทน้ำมันสังเคราะห์ก็อาจจะยังไม่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมทุกด้านจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันสังเคราะห์โดยการใส่สารเพิ่มคุณภาพเข้าไปเช่นเดียวกับการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันแร่

### 2.1.3 น้ำมันหล่อลื่นปลอม [2]

น้ำมันเครื่องปลอมจะมาจากการนำน้ำมันเครื่องใช้แล้วที่ซื้อจากสถานบริการและแหล่งเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องต่างๆ มาทำการกรองและฟอก โดยใช้กรดกำมะถัน (sulphuric acid) แล้วนำไปทำให้ใสจากนั้นนำน้ำมันส่วนที่ใสไปบรรจุเพื่อจำหน่ายต่อไป ซึ่งผู้ซื้อไม่สามารถทราบได้เลยว่า น้ำมันดังกล่าวมีกรดกำมะถันหลงเหลืออยู่ และกรดกำมะถันนี้เองจะกัดกร่อนชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ ให้ได้รับความเสียหาย นอกจากนี้การนำน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานไปบรรจุจำหน่ายโดยไม่มีสารเพิ่มคุณภาพ (additive) ให้มีความเหมาะสมก่อน ก็จะเป็นผลเสียหายต่อเครื่องยนต์เช่นเดียวกัน น้ำมันเครื่องปลอมที่นำออกจำหน่ายจะมีวิธีการในการหลอกลวงผู้บริโภคในลักษณะต่างๆ เช่น ระบุว่า เป็นน้ำมันอเนกประสงค์ แต่มีรูปเครื่องยนต์หรือรูปมอเตอร์ไซค์หรือข้อความที่สื่อให้ทราบว่าสามารถนำไปใช้กับเครื่องยนต์ได้ แต่ไม่มีรายละเอียดบอกถึงการนำไปใช้งานและไม่ได้ระบุชื่อที่อยู่ของผู้ผลิตใดๆทั้งสิ้น ซึ่งถือเป็นการเล็งกฎหมายวิธีหนึ่ง หรือบางครั้งยังพบว่ามีการนำน้ำมันที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือคุณภาพหรือน้ำมัน ใช้แล้วมาบรรจุใหม่ในภาชนะที่ใช้แล้วของน้ำมันเครื่อง ยี่ห้อใดๆ หรือบรรจุภาชนะใหม่ที่มีชื่อผลิตภัณฑ์ เครื่องหมายการค้าคล้ายกับของยี่ห้อที่มีชื่อเสียง แล้วนำไปขายในราคาที่ถูกกว่า ซึ่งถือเป็นการปลอมแปลงลอกเลียนแบบผลิตภัณฑ์อย่างหนึ่งดังนั้นผู้บริโภคควรพิจารณาก่อนเลือกน้ำมันไปใช้ซึ่งควรจะระบุเกรดหรือมาตรฐานการใช้งานและเบอร์ความหนืดของน้ำมัน ราคาที่เหมาะสมกับคุณภาพของน้ำมัน คือ เกรดที่สูงกว่าควรมีราคาที่สูงกว่าเกรดต่ำ และไม่ควรมีราคาถูกกว่าราคาที่ระบุบนภาชนะจำหน่ายมาก ซึ่งอาจเป็นน้ำมันปลอมได้รวมทั้งพิจารณาในเรื่องสถานที่จำหน่ายควรเป็นสถานที่เปิดเผยหรือนำเชื่อถือหรือเป็นร้านค้าตัวแทนจำหน่ายของบริษัทโดยตรง

## 2.2 สารเพิ่มคุณภาพ [2]

สารเพิ่มคุณภาพที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน โดยทั่วไปเป็นสารประกอบทางเคมีซึ่งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีอยู่หลายตัว สารเพิ่มคุณภาพแต่ละตัวจะมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเฉพาะอย่าง โดยพอที่จะแบ่งตามผลที่มีต่อน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานออกได้เป็น 3 พวก คือ พวกแรกจะเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ให้คุณสมบัติใหม่ที่เป็นประโยชน์ต่อน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน พวกที่สองเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ปรับปรุงคุณสมบัติที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้นและพวกสุดท้ายเป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ทำหน้าที่ในการลดการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ต้องการซึ่งเกิดในช่วงการทำงานลง

การที่จะเติมสารเพิ่มคุณภาพตัวใดและจำนวนเท่าใดลงไป ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะ ของการนำไปใช้งาน โดยจะต้องคำนึงถึงผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นด้วย เนื่องจากสารเพิ่มคุณภาพบางตัวแม้ว่าจะทำให้ คุณสมบัติประการใดประการหนึ่งดีขึ้นแต่ก็อาจจะทำให้คุณสมบัติประการอื่นเสื่อมลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าใส่เข้าไปมากเกินไป หรือถ้าสารเพิ่มคุณภาพนั้นไปทำปฏิกิริยากับสารเพิ่มคุณภาพแต่ละตัวจึงต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้ น้ำมันหล่อลื่นทำงานได้อย่างดีที่สุด และจะต้องมีการทดสอบให้แน่ใจว่าจะไม่มีผลข้างเคียงที่ไม่ต้องการเกิดขึ้น ซึ่งในกรณีทั่วไปจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเติมสารเพิ่มคุณภาพเข้าไปอีก

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเมื่อเติมสารเพิ่มคุณภาพเข้าไปแล้ว เรียกว่า น้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูป ซึ่งบริษัทผู้ผลิตแต่ละรายมักจะตั้งชื่อเฉพาะของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมา สำหรับสารเพิ่มคุณภาพที่นิยมใช้กันมีดังต่อไปนี้

1. สารลดจุดไหลเท (pour point depressants) เป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ใช้ในการยับยั้งการเกิดผลึกไขที่ป้องกันไม่ให้น้ำมันไหลที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นสารนี้จึงช่วยให้จุดไหลเทของน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หล่อลื่นต่ำลง ทำให้สามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำๆได้ สารที่ใช้ลดจุดไหลเทจะเป็นพวกพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งที่ใช้กันอยู่มี 2 ชนิด คือ อัลคิลอะโรมาติกพอลิเมอร์

(alkylaromatic polymers) ทำหน้าที่ในการดักกลืนผลึกของไขเมื่อเกิดขึ้นเพื่อป้องกันไม่ให้ผลึกเติบโตและยึดติดกัน ชนิดที่สองคือ พอลิเมทาคริเลต (polymethacrylates) ทำหน้าที่ดักผลึกร่วมกับไขเพื่อป้องกันไม่ให้ผลึกเติบโต สำหรับอุณหภูมิของจุดไหลเทของน้ำมันหล่อลื่นเมื่อเติมสารนี้เข้าไปแล้ว โดยทั่วไปจะลดลงประมาณ 11 ถึง 17 องศาเซลเซียส

2. สารเพิ่มค่าดัชนีความหนืด (viscosity index improvers) เป็นสารเพิ่มคุณภาพที่ช่วยไม่ให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง สารเพิ่มค่าดัชนีค่าความหนืดจะเป็นพวกพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงและมีโครงสร้างเป็นลูกโซ่ยาว (long chain) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการเพิ่มความหนืดสัมพัทธ์ของน้ำมันหล่อลื่นที่อุณหภูมิสูงมากกว่าการเพิ่มความหนืดสัมพัทธ์ที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะเป็นผลมาจากการที่พอลิเมอร์ดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิสูงขึ้นโมเลกุลจะยืดออกและมีปฏิริยากันระหว่างโมเลกุลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น สำหรับสารที่นิยมใช้เป็นสารเพิ่มค่าดัชนีความหนืดมีหลายตัว เช่น เมทาคริเลตพอลิเมอร์ (methacrylate polymers) โอลิฟินพอลิเมอร์ (olefin polymers) และอะคริเลตพอลิเมอร์ (acrylate polymers) เป็นต้น

3. สารป้องกันการเกิดฟอง (defoamants) ใช้ป้องกันการเกิดฟองอากาศที่ผสมอยู่กับน้ำมันหล่อลื่นเมื่อน้ำมันถูกหมุนเวียนใช้ในระบบ สารนี้จะทำหน้าที่โดย โมเลกุลของสารจะเข้าไปติดกับฟองอากาศทำให้ฟองอากาศเล็กๆรวมตัวกันเป็นฟองอากาศที่ใหญ่ขึ้นลอยขึ้นผิวและแตกออกในที่สุด สำหรับสารที่นิยมใช้เป็นสารป้องกันการเกิดฟอง คือ ซิลิโคนพอลิเมอร์ (silicone polymer) และพวกพอลิเมอร์อินทรีย์ (organic polymer)

4. สารป้องกันออกซิเดชัน (oxidation inhibitors) เมื่อน้ำมันหล่อลื่นร้อนและสัมผัสกับอากาศก็จะเกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำมันหล่อลื่นและออกซิเจนในอากาศที่เรียกว่าออกซิเดชันขึ้น ผลของการเกิดออกซิเดชันจะทำให้ความหนืดและความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดวานิชและตะกอนสารป้องกันออกซิเดชัน คือ สังกะสีไดไทโอเฟสเฟต (zinc dithiophosphate)

5. สารป้องกันการกัดกร่อน (corrosion inhibitors) การกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในระบบหล่อลื่นโดยน้ำมันหล่อลื่นนั้นมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญที่สุดมี 2 ชนิด คือ การกัดกร่อนซึ่งเกิดจากกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในตัวของน้ำมันเอง และ การกัดกร่อนอันเนื่องมาจากสารปนเปื้อนที่ถูกนำและพาไปโดยน้ำมัน สำหรับสารป้องกันการกัดกร่อนที่ใช้กันทั่วไปเป็นสารตัวเดียวกับสารป้องกันออกซิเดชัน ซึ่งก็คือ สังกะสีไดไทโอเฟสเฟต แต่สารที่มีซัลเฟอร์และฟอสฟอรัสก็ถูกนำมาใช้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สารป้องกันสนิม (rust inhibitor) ใช้เพื่อป้องกันสนิมที่อาจเกิดขึ้นผิวของชิ้นส่วนโลหะที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมันสารที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบที่มีการยึดติดกับผิวของโลหะได้ดี โดยสารป้องกันสนิมจะทำปฏิกิริยากับผิวโลหะเกิดเป็นฟิล์มเกาะติดกับผิวเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าถึงผิวโลหะ สารที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ เอมีนซัคซิเนต (amine succinates) และ อัลคาไลเอิร์ทซัลโฟเนต (alkaline earth sulfonates)

7. สารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรก (detergents and dispersants) ใช้เพื่อชะล้างสิ่งสกปรกออกจากผิวของชิ้นส่วนและกระจายมิให้รวมตัวกันเป็นโคลนหรือตะกอน ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน ได้แก่ เครื่องยนต์เบนซิน และเครื่องยนต์ดีเซล โคลนหรือตะกอนที่เกิดขึ้นจะอุดช่องทางน้ำมันหล่อลื่น และจะไปรวมกันอยู่ด้านหลังของแหวนลูกสูบ ซึ่งอาจทำให้แหวนติดตายได้ สารชะล้างจะทำหน้าที่ในการป้องกันไม่ให้เกิดโคลนหรือตะกอน สารที่เป็นตัวชะล้างที่ใช้กันในปัจจุบันได้แก่ สบู่อินทรีย์ (organic soaps) และแบเรียม (barium) แคลเซียมและแมกนีเซียมซัลโฟเนต (magnesium sulfonates) เป็นต้น ส่วนสารกระจายสิ่งสกปรกจะทำหน้าที่ในการกระจายหรือทำให้สารที่จะรวมตัวกันเป็นโคลนแขวนลอยอยู่ในน้ำมัน สารที่เป็นตัวกระจายที่ใช้กัน ได้แก่ พอลิเมอร์ซัคซิไมด์ (polymeric succinimides) และ เบนซิลอไมด์ (benzylamides) เป็นต้น

8. สารป้องกันการสึกหรอ (antiwear additives) เป็นสารที่ช่วยลดความเสียดทานและการสึกหรอภายใต้สภาวะการหล่อลื่นแบบเบาน์ดารี (boundary lubrication) ซึ่งก็คือในสภาวะที่ฟิล์มของน้ำมันที่จะแยกผิวสัมผัสได้อย่างสมบูรณ์ไม่สามารถคงอยู่ได้ สารป้องกันการสึกหรอที่ใช้กันแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามความต้องการของการใช้งานประเภทแรกเป็นสารที่ใช้ลดความเสียดทานและการสึกหรอสำหรับสภาวะการทำงานเบา สารนี้บางครั้งเรียกว่า สารเพิ่มคุณภาพสำหรับการหล่อลื่นแบบเบาน์ดารี (boundary lubrication additives) ได้แก่ กรดไขมัน (fatty acids) และน้ำมันไขมัน (fatty oils) ประเภทที่สองเป็นสารที่ใช้ลดความเสียดทานและการสึกหรอภายใต้สภาวะความดันสูงมาก เรียกว่า Extreme Pressure Additive (EP) ซึ่งจะทำหน้าที่โดยทำปฏิกิริยาทางเคมีกับผิวโลหะ โดยจะเกิดเป็นฟิล์มเคลือบที่ผิวโลหะป้องกันการสัมผัสโดยตรงของผิวโลหะ สาร EP โดยทั่วไปจะเป็นสารประกอบของ ซัลเฟอร์ คลอรีน หรือ ฟอสฟอรัส ตัวใดตัวหนึ่งหรือหลายตัวรวมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น [2]

น้ำมันหล่อลื่นประเภทน้ำมันแร่มีหลายชนิด แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกใช้จึงจำเป็นที่จะต้องรู้ถึงคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น และในการผลิตก็จะต้องมีการควบคุมคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นให้ได้ตามต้องการ สำหรับคุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่นที่สำคัญทั้งคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์และเคมีมีดังต่อไปนี้

1. ความหนืด (viscosity) ถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของน้ำมันหล่อลื่น เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดฟิล์มของน้ำมันหล่อลื่นระหว่างผิวสัมผัส และมีผลต่อการเกิดความร้อนขึ้นในระหว่างผิวสัมผัสที่มีการหล่อลื่นด้วยน้ำมัน ความหนืด หมายถึง ความข้นหรือความใสของน้ำมัน เป็นคุณสมบัติของของไหลซึ่งวัดในรูปของความต้านทานในการไหลหลักการของความหนืดตามที่แสดงใน รูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 หลักการของความหนืด [2]

ประกอบด้วยแผ่นวัตถุถูกดึงไปบนฟิล์มของน้ำมันด้วยความเร็วสม่ำเสมอ ฟิล์มของน้ำมันติดอยู่กับผิววัตถุที่เคลื่อนที่และที่อยู่กับที่ ซึ่งเมื่อพิจารณาให้น้ำมันประกอบขึ้นด้วยชั้นน้ำมันหลายๆ ชั้น ชั้นน้ำมันที่ติดอยู่กับผิวที่เคลื่อนที่ก็จะเคลื่อนที่ไปด้วยความเร็วเดียวกับผิวที่เคลื่อนที่ (U) ส่วนชั้นน้ำมันที่ติดอยู่กับผิวที่อยู่กับที่ก็จะมีความเร็วเป็นศูนย์ชั้นน้ำมันที่อยู่ระหว่างชั้นบนสุดและชั้นล่างสุดก็จะถูกดึงไปด้วยชั้นน้ำมันที่อยู่ด้านบนถัดไปให้มีความเร็วส่วนหนึ่งของความเร็ว U ซึ่งความเร็วของแต่ละชั้นของน้ำมันดังกล่าวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากผิววัตถุที่อยู่กับที่แรง (F) ที่ต้องใช้ในการดึงให้ผิววัตถุอันบนเคลื่อนที่ไปนี้ ก็คือ แรงที่ต้องเอาชนะความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นน้ำมันนั่นเอง และเนื่องจากแรงนี้เป็นผลมาจากความหนืด โดยแรงจะเป็นสัดส่วน

โดยตรงกับความหนืด ดังนั้นความหนืดก็สามารถวัดได้จากการวัดแรงที่ต้องใช้เพื่อเอาชนะความเสียดทานนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทานของน้ำมัน ความหนืดที่ทำได้ในที่นี้เรียกว่า ความหนืดสัมบูรณ์ (absolute viscosity) หรือความหนืดเชิงพลศาสตร์ (dynamic viscosity) หน่วยความหนืดเชิงพลศาสตร์ที่นิยมใช้กัน คือ หน่วยเป็น Poise (P) ซึ่งเป็นหน่วยในระบบ CGS (centimetre gram second) โดย

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

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

แต่ค่าของความหนืดเชิงพลศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่นค่อนข้างกว้าง คือมีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง 400 cP และ โดยทั่วไปเครื่องมือวัดความหนืดจะไม่สามารถวัดค่าความหนืดเชิงพลศาสตร์ได้โดยตรง ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดค่าความหนืดในอีกรูปแบบหนึ่งที่เรียกว่าความหนืดเชิงจลนศาสตร์ (kinematic viscosity) โดยให้ความหนืดเชิงจลนศาสตร์เท่ากับความหนืดเชิงพลศาสตร์หารด้วยความหนาแน่นของน้ำมันหรือของไหลนั้น ๆ ซึ่งเขียนเป็น สมการ ได้คือ

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

$\nu$  = ความหนืดเชิงจลนศาสตร์

$\eta$  = ความหนืดเชิงพลศาสตร์

$\rho$  = ความหนาแน่น

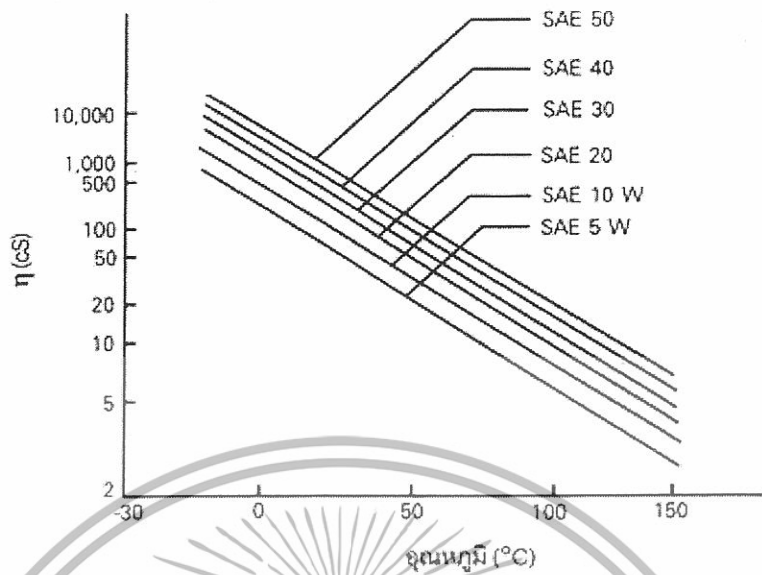
หน่วยความหนืดเชิงจลนศาสตร์ที่นิยมใช้กัน ก็คือ หน่วย Stoke (St) ซึ่งเป็นหนึ่งในระบบ CGS เช่นเดียวกัน โดย

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

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

นอกจากหน่วยของความหนืดที่ใช้กันข้างต้นแล้วยังมีการวัดความหนืดในหน่วยอื่นอีก ได้แก่ Saybolt Universal Seconds (SUS), Saybol furlo Seconds (SFS), Redwood Seconds และ Engler Degree ซึ่งความหนืดในหน่วยเหล่านี้กำหนดขึ้นตามชนิดของเครื่องมือที่ใช้วัดความหนืด (viscometer) และสภาวะการทดสอบ (อุณหภูมิ ของการทดสอบ) แต่อย่างไรก็ตามค่าความหนืดในหน่วยต่าง ๆ ข้างต้นก็สามารถที่จะแปลงเป็นค่าในหน่วยความหนืดเชิงจลนศาสตร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นบางชนิด [2]

ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะไม่คงที่ แต่จะแปรผันตามสภาวะการใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะแปรผัน กับอุณหภูมิและความดันในการใช้งาน ในด้านของอุณหภูมิความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำมัน ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นของเหลวจะขยายตัว โมเลกุลของน้ำมันจะเคลื่อนออกจากกัน ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่าง โมเลกุลลดลงและเป็นผลให้ความหนืดลดลงด้วย รูปที่ 2.4 เป็นกราฟแสดงถึงผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดเชิงพลศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่น และเนื่องจากความหนาแน่นของน้ำมันหล่อลื่นเปลี่ยนแปลงน้อยมากกับอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดเชิงพลศาสตร์ได้ด้วย นอกจากแสดงด้วยกราฟแล้วผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดก็ยังสามารถแสดงได้ด้วยสมการ แต่เป็นเพียงสมการโดยประมาณเท่านั้น คือ

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

$\eta$  = ความหนืดเชิงพลศาสตร์

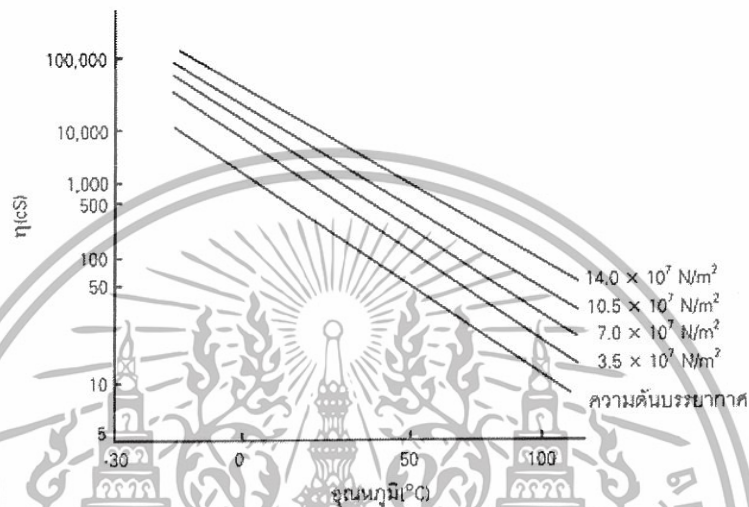
A และ B = ค่าคงที่ (ขึ้นอยู่กับชนิดของของเหลว)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

สำหรับผลของความดันต่อความหนืดนั้น จะเห็นได้ชัดเจนก็ต่อเมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้นมาก ซึ่งเมื่อความดันของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้น โมเลกุลของน้ำมันก็จะถูกบีบให้เข้าใกล้กัน ทำให้แรงยึด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติระหว่างโมเลกุลเพิ่มขึ้น และเป็นผลให้ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นด้วย รูปที่ 2.5 แสดงถึงผลของความดันที่มีต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น SAE 40 ซึ่งความหนืดจะเปลี่ยนแปลงจนเห็นได้ชัดเจนเมื่อความดันเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ  $2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  (pascal)



รูปที่ 2.5 ผลของความดันต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น SAE 40 [2]

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

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

$\eta$  = ความหนืดเชิงพลศาสตร์ที่ความดัน P

$\eta_0$  = ความหนืดเชิงพลศาสตร์ที่ความดันบรรยากาศ

P = ความดันของน้ำมันหล่อลื่น

$\alpha$  = สัมประสิทธิ์ของความดันกับความหนืด

$e = 2.71828$

2. ดัชนีความหนืด (viscosity index) น้ำมันหล่อลื่นต่างชนิดกันจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืด อันเนื่องมาจากอุณหภูมิแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดดัชนีความหนืดขึ้นมาเพื่อใช้แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงความหนืดอันเนื่องมาจากอุณหภูมิโดยใช้การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่จะหาดัชนีความหนืดกับน้ำมันหล่อลื่นที่เลือกสองเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

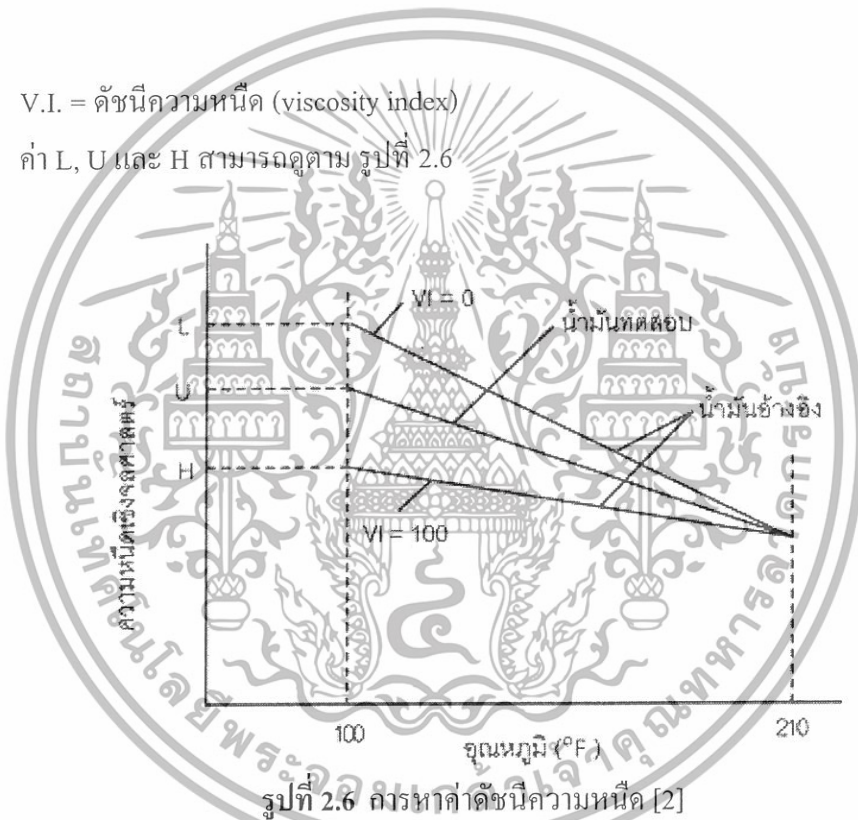
## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชนิด เช่น น้ำมันหล่อลื่น Gulf Coast ซึ่งความหนืดเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิมาก ให้มีดัชนีความหนืดเท่ากับ 0 และน้ำมันหล่อลื่น Pennsylvanian ซึ่งความหนืดเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิน้อยให้มีดัชนีความหนืดเท่ากับ 100 การหาดัชนีความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกระทำได้โดยการหาความหนืดเชิงจลศาสตร์ของน้ำมันหล่อลื่น ตัวอย่างที่อุณหภูมิ  $100^{\circ}\text{F}$  และ  $210^{\circ}\text{F}$  แล้วหาค่าดัชนีความหนืดตามสมการ คือ

$$V.I. = \frac{L-U}{L-H} \times 100 \quad (2.4)$$

V.I. = ดัชนีความหนืด (viscosity index)

ค่า L, U และ H สามารถดูตาม รูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การหาค่าดัชนีความหนืด [2]

3. กากคาร์บอน (carbon residue) หมายถึง สิ่งที่ตกค้างอยู่คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ภายหลังจากเผาไหม้น้ำมันหล่อลื่นในสภาวะที่กำหนด ปริมาณกากคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นจะไม่ค่อยมีความสำคัญนัก สำหรับการใช้งาน เนื่องจากจะไม่มีกรเผาไหม้โดยตรงของน้ำมันหล่อลื่นในการนำไปใช้งาน แต่ปริมาณกากคาร์บอนจะมีความสำคัญสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงเพราะจะมีการเผาไหม้โดยตรง ดังนั้นการหาปริมาณกากคาร์บอนในน้ำมันหล่อลื่นโดยทั่วไปจึงเป็นการหาสำหรับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเพื่อคว่าขบวนการผลิตเป็นไปตามกำหนดหรือไม่

4. สี (color) สีของน้ำมันหล่อลื่นที่เห็นเมื่อมีแสงผ่านนั้นจะมีสีต่างๆกัน ตั้งแต่ใสมากจนถึงดำ ซึ่งอาจมีสีเหลือง แดง และน้ำตาล เป็นต้น ความแตกต่างกันของสีของน้ำมันหล่อลื่นเป็นผลมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

107814

จากชนิดของน้ำมันดิบที่นำมาผลิตเป็นน้ำมันหล่อลื่นแตกต่างกันทั้งวิธีการกลั่นและผลิต จำนวน และชนิดของสารเพิ่มคุณภาพ ดังนั้น สีของน้ำมันหล่อลื่นสำเร็จรูปจึงไม่มีความสำคัญนักในด้านการใช้งานยกเว้นกรณีที่เป็นน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา

**5. ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ (density and gravity)** ความหนาแน่นหมายถึง มวลของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรที่อุณหภูมิมาตรฐานที่กำหนดส่วนความถ่วงจำเพาะ(ความหนาแน่นสัมพัทธ์) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของน้ำมันและความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน ในสหรัฐอเมริกา มักนิยม กำหนดค่าความถ่วงจำเพาะในรูปของหน่วยของสภา API (american petroleum institute) ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\text{องศา API} = \text{องศา API ที่ } 60^{\circ}\text{F Sp gr } 60/60^{\circ}\text{F} = \text{ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันที่ } 60^{\circ}\text{F} \quad (2.5)$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นว่าเมื่อค่าองศา API เพิ่มขึ้น ค่าความถ่วงจำเพาะจะลดลง ค่าความถ่วงจำเพาะนี้จะเป็นตัวช่วยในการตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว ซึ่งถ้ามีค่าความถ่วงจำเพาะลดลง (ค่าองศา API เพิ่มขึ้น) ก็อาจแสดงว่ามีน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ามาผสมกับน้ำมันหล่อลื่นและถ้ามีค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นก็อาจแสดงว่ามีสิ่งแปลกปลอมเช่นเขม่าหรือสารที่เกิดจากการรวมตัวกับออกซิเจนผสมอยู่กับน้ำมันหล่อลื่น

**6. จุดวาบไฟและจุดติดไฟ (flash and fire points)** หมายถึงอุณหภูมิที่น้ำมันระเหยกลายเป็นไอเพียงพอที่ผิวและสามารถถูกไหม้ได้เมื่อโดนเปลวไฟ แต่ที่อุณหภูมินี้การระเหยกลายเป็นไอจะไม่เพียงพอที่จะทำให้การลุกไหม้คงอยู่ต่อไป เปลวไฟจึงดับลงเองทันที แต่หากมีการให้ความร้อนแก่น้ำมันต่อไปอีก อุณหภูมิก็จะสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่การระเหยกลายเป็นไอเพียงพอที่จะทำให้เกิดการลุกไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง อุณหภูมินี้ เรียกว่า จุดติดไฟ จุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นใหม่จะแปรผันกับความหนืด โดยน้ำมันหล่อลื่นที่มีความหนืดสูงก็จะมีจุดวาบไฟสูงด้วยนอกจากนี้ชนิดของน้ำมันดิบที่นำมาใช้ผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานก็มีผลต่อจุดวาบไฟด้วย

จุดวาบไฟและจุดติดไฟของน้ำมันจะใช้ในการควบคุมการผลิตน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและจะใช้ในการพิจารณาในด้านความปลอดภัยในการใช้งาน

โดยปกติจุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นจะอยู่ในช่วง 160 ถึง 320°C แล้วแต่ว่าเป็นน้ำมันใสหรือน้ำมันข้น น้ำมันหล่อลื่นใสมักจะมีจุดวาบไฟต่ำกว่าน้ำมันข้น ส่วนเชื้อเพลิงนั้นก็มีจุดวาบไฟต่ำมาก เช่น น้ำมันเบนซินมีจุดวาบไฟราว -43°C และน้ำมันโซลามีจุดวาบไฟราว 86°C หากมีเชื้อเพลิงลงไปปะปนในน้ำมันหล่อลื่น จุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นจะลดลงมาก และความหนืดก็จะลดลงด้วย การทดสอบนี้ใช้กับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์เท่านั้น เพราะเชื้อเพลิงมีโอกาสเข้ามาปะปนกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันหล่อลื่น โดยเด็ดลอดผ่านแหวนลูกสูบและซีลใน Injection Pump ในเครื่องดีเซล จุดวาบไฟของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์โดยวิธี ASTM D-93 (PMCC) ไม่ควรต่ำกว่าของใหม่เกิน 45°C

7. จุดไหลเท (pour point) หมายถึง อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันหล่อลื่นจะเริ่มไหลภายใต้สภาวะที่กำหนด ซึ่งน้ำมันทั่วไปจะมีไขส่วนหนึ่งละลายอยู่ด้วย เมื่อน้ำมันเย็นไขก็จะตกผลึกและเกาะกันเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงโดยกักเอาน้ำมันไว้และเมื่อผลึกของไขเกิดขึ้นมากพอ น้ำมันก็จะไม่สามารถไหลได้ต่อไป ความสำคัญของจุดไหลเทจะขึ้นอยู่กับสภาวะของการใช้งาน ตัวอย่างเช่น ในประเทศหนาวจะต้อง เลือกใช้น้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำ เพื่อให้ น้ำมันสามารถไหลได้ ถึงแม้อุณหภูมิของอากาศโดยรอบจะต่ำในทางตรงกันข้ามน้ำมันที่มีจุดไหลเทต่ำก็ไม่มีควมจำเป็นสำหรับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูงตลอดเวลา

8. ตัวเลขความเป็นกลาง (neutrallization number) น้ำมันหล่อลื่นโดยทั่วไปจะมีสภาพความเป็นกรดอยู่เล็กน้อย ซึ่งสภาพความเป็นกรดนี้จะวัดเป็นปริมาณของเบสมาตรฐานที่ต้องใช้ในการทำให้น้ำมันมีสภาพเป็นกลาง สภาพความเป็นกรดของน้ำมันหล่อลื่นโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มขึ้นทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นเกิดปฏิกิริยารวมตัวกับออกซิเจน (oxidation) ซึ่งทำให้เกิดกรดอินทรีย์ขึ้น สภาพความเป็นกรดนี้อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนที่เป็นโลหะได้ ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่น โดยเฉพาะน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซล จึงนิยมเติมสารเพิ่มคุณภาพที่มีสารที่เป็นด่างเข้าไป เพื่อให้สารที่เกิดจากการเผาไหม้ซึ่งมีสภาพเป็นกรดให้มีสภาพเป็นกลาง และเมื่อน้ำมันหล่อลื่นไปใช้งาน อัตราการสิ้นเปลือง สารที่เป็นด่างที่ตรวจสอบได้ก็จะเป็นตัวชี้ถึงอายุการใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น การวัดความเป็นด่างนี้จะวัดในรูปของจำนวนเบสทั้งหมด (total base number)

#### 2.4 มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่น [3]

การแยกประเภทน้ำมันหล่อลื่นโดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ แยกตามความหนืด แยกตามสภาพการใช้งาน ข้อความดังกล่าวข้างต้นเป็นตัวบ่งบอกถึงระดับคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งได้จากการแยกประเภทตามสภาพการใช้งาน โดยผ่านการทดสอบกับเครื่องยนต์แล้วเทียบเป็นมาตรฐานต่างๆ มาตรฐานที่เป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ได้แก่ มาตรฐานของสถาบันปิโตรเลียมแห่งสหรัฐอเมริกา (american petroleum institute) หรือ API ซึ่งเริ่มในปี 2513 โดย API , SAE (society of automotive engineers) และ ASTM (american society for testing and materials) ได้ร่วมมือกันกำหนดมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นขึ้นมาเพื่อแบ่งประเภทน้ำมันตามสภาพการทำงาน of เครื่องยนต์ และให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีของเครื่องที่พัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

API ได้แบ่งระดับคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นเป็น 2 ประเภทตามชนิดของเครื่องยนต์คือ ประเภทที่ใช้กับเครื่องยนต์เบนซิน ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ “S” (service oils) หรือน้ำมันหล่อลื่นสำหรับสภาพการทำงาน of เครื่องยนต์ตามศูนย์บริการทั่วไปซึ่งส่วนใหญ่เป็นเครื่องยนต์เบนซิน และประเภทที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลใช้สัญลักษณ์ “C” (commercial oils) หรือน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเชิงพาณิชย์ เช่นงานก่อสร้างและงานเกษตรกรรม

#### 2.4.1 มาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซล [3]

มาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งใช้สัญลักษณ์ “C” (commercial oils) หรือน้ำมันหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ดีเซลเชิงพาณิชย์ เช่น งานขนส่ง งานอุตสาหกรรม งานก่อสร้าง และงานเกษตรกรรม เป็นต้น ในปัจจุบันมี 12 ระดับคุณภาพคือ

1. API CI-4 มาตรฐานคุณภาพระดับสูงสุดของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ โดยสถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งประกาศใช้เมื่อเดือนตุลาคม ปี 2002 โดย API CI-4 เป็นมาตรฐานหล่อลื่นที่ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลงานหนัก ซึ่งเพิ่มคุณสมบัติหล่อลื่นให้สูงขึ้นในด้านต่างๆ ดังนี้

- มีสารต่อต้านกรดที่เพียงพอ จึงป้องกันการสึกหรอที่เกิดจากการกัดกร่อน
- มีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิการใช้งานทั้งสูงมากและต่ำมาก
- ประสิทธิภาพในการกระจายเขม่า
- ต่อต้านการสึกหรอที่เกิดจากการขัดสีบริเวณชุดขับเคลื่อน วาล์ว (valve train)
- รักษาความสะอาดบริเวณลูกสูบและร่องแหวนได้ดี
- คงความหนืดได้คงที่ตลอดอายุการใช้งาน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

4. **API CF-2** เริ่มใช้ในปี 1994 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ ที่ใช้งานทั่วไป สามารถป้องกันการเกิดรอยขีดข่วนในกระบอกสูบและหน้าแหวนลูกสูบ และการเกิดคราบสกปรก สามารถใช้กับเครื่องที่แนะนำให้ใช้น้ำมันมาตรฐาน API CD-II

5. **API CF** เริ่มใช้ในปี 1994 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีห้องเผาไหม้ (indirect-injected diesel engines) เครื่องยนต์ดีเซลธรรมดา และเครื่องยนต์ซูเปอร์ชาร์จหรือเทอร์โบชาร์จ สามารถใช้ได้กับน้ำมันดีเซลที่มีกำมะถันต่ำสูง เช่น สูงกว่า 0.5% โดยน้ำหนัก น้ำมันที่ได้มาตรฐานนี้ ได้ดีจะควบคุมการเกิดคราบสกปรกที่ลูกสูบ ป้องกันการสึกหรอและการกัดกร่อนของแบร็งโดยเฉพาะแบร็งที่มีทองแดงผสมอยู่และสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ที่แนะนำให้ใช้ได้กับเครื่องยนต์ที่แนะนำให้ใช้น้ำมันมาตรฐานน้ำมัน

6. **API CF-4** เริ่มใช้ในปี 1990 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลที่มีความเร็วรอบสูง น้ำมันที่ได้มาตรฐานนี้มีคุณสมบัติสูงกว่า API CE ช่วยลดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเครื่องและลดคราบสกปรกที่ลูกสูบ สามารถใช้แทน API CE เหมาะอย่างยิ่งกับรถบรรทุกงานหนักที่ใช้บนทางหลวง น้ำมันที่ผ่านระดับคุณภาพนี้เมื่อใช้ร่วมกับระดับคุณภาพ "S" (น้ำมันเครื่องเบนซิน) จะสามารถใช้ได้ทั้งเครื่องยนต์เบนซินและดีเซล เช่น รถยนต์นั่ง รถบรรทุกขนาดเล็ก และรถตู้ เป็นต้น ภายใต้คำแนะนำการใช้งานของผู้ผลิตหรือเครื่องยนต์นั้นๆ

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

8. **API CD II** เริ่มใช้ในปี 1987 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะ ที่ต้องการสมบัติในการป้องกันการสึกหรอ ป้องกันการเกิดคราบสกปรก และยังมีคุณสมบัติที่ครบถ้วนตาม API CD เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. API CD เริ่มใช้ในปี 1985 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลธรรมดาเทอร์โบชาร์จหรือซูเปอร์ชาร์จใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพแตกต่างกัน รวมทั้งน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันสูง น้ำมันระดับนี้มีสมบัติในการป้องกันการสึกหรอ ป้องกันการเกิดสกปรกที่อุณหภูมิสูง และป้องกันการกัดกร่อนที่แท้จริงได้ดี

10. API CC เริ่มใช้ในปี 1961 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลธรรมดาเทอร์โบชาร์จหรือซูเปอร์ชาร์จทำงานปานกลางและงานหนักมาก รวมทั้งเครื่องยนต์เบนซินสภาพงานหนักบางชนิด น้ำมันระดับคุณภาพนี้มีสมบัติป้องกันการเกิดคราบสกปรกที่อุณหภูมิสูงและการกัดกร่อนของเบรคในเครื่องยนต์ดีเซล ป้องกันการเกิดสนิมและการกัดกร่อน รวมทั้งการเกิดคราบสกปรกที่อุณหภูมิต่ำในเครื่องยนต์เบนซิน

11. API CB ใช้ในปี 1949-1960 สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลธรรมดา สภาพงานเบาและปานกลางที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพต่ำกว่า (ปริมาณกำมะถันสูง) จึงต้องการการป้องกันการสึกหรอและคราบสกปรกสูงกว่าที่ใช้ในเกรด CA รวมทั้งเครื่องยนต์เบนซินใช้งานเบา น้ำมันในระดับนี้สามารถป้องกันการกัดกร่อนที่เบรคและป้องกันการเกิดคราบสกปรกที่อุณหภูมิสูง

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในการเลือกซื้อน้ำมันเครื่องนอกจากการพิจารณาโดยใช้มาตรฐาน API แล้วยังสามารถใช้มาตรฐานอื่นๆ ดังที่กล่าวมาเป็นข้อมูลในการพิจารณาด้วย และที่สำคัญคือ ต้องเลือกระดับคุณภาพและเกรดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นให้ถูกต้องและเหมาะสมกับการใช้งาน โดยพิจารณาจากคำแนะนำของผู้ผลิตรถยนต์หรือเครื่องยนต์เป็นเกณฑ์

#### 2.4.2 มาตรฐานความหนืดน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรม ISO 3448 [4]

ความหนืดเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญที่สุดที่จะต้องนำมาพิจารณาเป็นอันดับแรกในการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นให้เหมาะสมกับงาน น้ำมันที่มีความหนืดต่ำจะให้ฟิล์มหล่อลื่นที่บางทำให้ไม่สามารถรับภาระน้ำหนักได้มาก แต่สามารถไหลไปตามส่วนต่างๆ ที่ต้องการ การหล่อลื่น ได้อย่างรวดเร็วและระบายความร้อนได้ดี ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดสูงจะให้ฟิล์มหล่อลื่นที่หนาจึงสามารถรับแรงกดได้ดีกว่า แต่จะต้องเสียพลังงานในการเคลื่อนฟิล์มน้ำมันมากขึ้นและระบายความร้อนได้ช้า ความหนืดจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิของน้ำมัน กล่าวคือ หนืดมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงและหนืดน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความหนืดที่นิยมใช้กันแพร่หลายมากที่สุดในปัจจุบัน ได้แก่ ค่าความหนืดคิเนมาติก (kinematic viscosity) ที่มีหน่วยเป็นเซ็นติสโตค (cSt)

เนื่องจากในปัจจุบันมีระบบในการควบคุมคุณภาพมากมายทำให้มีการกำหนดมาตรฐานความหนืดน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรมโดยระบบ ISO ด้วยทั้งนี้จะแสดงผลดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความหนืดน้ำมันหล่อลื่นอุตสาหกรรม ISO 3448 [4]

เบอร์ ISO	ความหนืดเฉลี่ยที่ 40 °C	ความหนืดเฉลี่ยที่ 40 °C	
		ต่ำสุด	สูงสุด
ISO 2	2.2	1.98	2.42
ISO 3	3.2	2.88	3.52
ISO 5	4.6	4.14	5.06
ISO 7	6.8	6.12	7.48
ISO 10	10	9.00	11.00
ISO 15	15	13.50	16.50
ISO 22	22	19.80	24.20
ISO 32	32	28.80	35.20
ISO 46	46	41.20	50.60
ISO 68	68	61.20	74.80
ISO 100	100	90.00	110.00
ISO 150	150	135.00	165.00
ISO 220	220	198.00	242.00
ISO 320	320	288.00	352.00
ISO 460	460	414.00	506.00
ISO 680	680	612.00	748.00
ISO 1000	1,000	900.00	1,100.00
ISO 1500	1,500	1,350.00	1,650.00

## 2.5 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่ทำให้น้ำมันข้นขึ้น ได้แก่

- ตัวเนื่อน้ำมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศเสื่อมสภาพไปมาก สาเหตุนี้จะทำให้ค่าความเป็นกรดรวมของน้ำมันสูงขึ้นด้วย
- มีสิ่งสกปรก เช่น ฝุ่นละอองหรือเขม่า (จากการเผาไหม้ – น้ำมันเครื่องยนต์) และเศษโลหะจากการสึกหรอและสิ่งสกปรกอื่น ๆ สาเหตุนี้จะทำให้ค่าตะกอนในน้ำมันสูงขึ้นด้วย
- น้ำมันถูกใช้งานที่อุณหภูมิสูงมากตลอดเวลา (เช่น ใช้เป็นตัวกลางในการส่งถ่ายความร้อนในเตาอบปลาป่น) ของเบาระเหยหายไปบางส่วน
- มีน้ำเข้ามาปะปนในปริมาณที่มากพอและเกิดการผสมเข้าหากันเป็นลักษณะเหมือนน้ำมัน

ปัจจัยที่ทำให้น้ำมันใสลง ได้แก่

- มีการเจือปนของน้ำมันที่ใสกว่า เช่น พวกเชื้อเพลิงหรือน้ำมันใส กว่าเดิมมาผสม
- เกิดการเสื่อมสลายตัวของสารเคมีเพิ่มค่าดัชนีความหนืด (ในน้ำมันพวกมัลติเกรดและน้ำมันเกียร์อัตโนมัติบางตัว)

## 2.6 การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กันในปัจจุบันนี้ส่วนมากเป็นพวกน้ำมันแร่ (mineral oil) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากการกลั่นน้ำมันดิบพวกที่เป็นน้ำมันสังเคราะห์ (synthetic oil) ก็มีใช้อยู่บ้าง แต่เป็นจำนวนน้อยและใช้ในงานพิเศษๆ เท่านั้น ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะการเสื่อมคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่นชนิดน้ำมันแร่เท่านั้น

น้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดถูกออกแบบและผลิตมาให้เหมาะสมกับงานแต่ละชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยการนำน้ำมันพื้นฐานที่มีความหนืดเหมาะสมมาเติมสารเพิ่มคุณภาพ เพื่อให้มีคุณสมบัติพิเศษเหมาะสมกับการใช้งานเช่น สารต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารป้องกันการสึกหรอ สารป้องกันสนิม สารรับแรงกดสูง เป็นต้น ซึ่งเมื่อมีการใช้งานน้ำมันไปแล้ว คุณภาพต่างๆ ของน้ำมันจะลดลงจนไม่เหมาะกับการใช้งานโดยการเกิดการเสื่อมสภาพมีจากหลายสาเหตุ ดังนี้

1. การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่น ตามปกติน้ำมันจะมีการเติมสารเพิ่มคุณภาพป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอยู่แล้วหากสารนี้ถูกใช้หมดไปหรือเสื่อมสภาพ น้ำมันหล่อลื่น ก็จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ เมื่อน้ำมันมีการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศจะเกิดเป็นสารประเภทกรดและคราบยางเหนียวปฏิกิริยานี้จะเกิดได้เร็วถ้าอุณหภูมิสูง น้ำมันหล่อลื่นจะเสื่อมสภาพเกิดความเป็นกรด ความหนืดเพิ่ม ถ้าความเป็นกรดมีสูงจะทำให้เนื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำมันเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เกิดยางเหนียวเกาะตามร่องรูทางผ่านของน้ำมันหล่อลื่นและในที่สุดอาจเกิดการกัดกร่อนเนื้อโลหะในเครื่องจักร

2. สารเพิ่มคุณภาพถูกใช้หมดไปหรือเสื่อมสภาพ เมื่อมีการใช้น้ำมันหล่อลื่นเป็นระยะเวลาเวลานาน สารเพิ่มคุณภาพจะถูกใช้หมดไปหรือเสื่อมสภาพ หรืออาจจะมีการเปลี่ยนเป็นสารอื่นที่ไม่ช่วยเพิ่มคุณภาพนั้นอีกต่อไปทำให้น้ำมันหล่อลื่นไม่มีคุณสมบัติดีพอที่จะทำงานได้ดีอีกต่อไป

3. มีสิ่งสกปรกจากภายนอกเข้าไปปนเปื้อนอยู่ในระบบ สารปนเปื้อนที่เมื่อเข้าไปปะปนกับระบบ อาจทำให้เกิดความเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น เช่น น้ำ เมื่อมีการปนเปื้อนเข้าไปของน้ำ อนุภาคของน้ำจะเข้าไปแทรกตัวในเนื้อน้ำมัน ทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีลักษณะขาว ขุ่น ความหนืดจะเปลี่ยนไปทำให้ไม่เหมาะสมที่จะใช้งานได้อีกต่อไป เศษโลหะ เมื่อมีเศษโลหะเป็นปริมาณมากในเนื้อน้ำมัน เศษโลหะจะไปจับกับผิวโลหะของเครื่องจักร ทำให้เกิดการสึกหรอของเครื่องจักรเกิดขึ้น น้ำมันเชื้อเพลิงเมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าไปปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นจะทำให้จุดวาบไฟของ น้ำมันหล่อลื่นลดลง ทำให้อาจเกิดอันตรายได้ รวมถึงความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นก็จะลดลงด้วย

### ปฏิกิริยาออกซิเดชันของ น้ำมันหล่อลื่น

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของน้ำมันหล่อลื่น คือ น้ำมันหล่อลื่นจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ เมื่อน้ำมันมีการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ จะเกิดเป็นสารประเภทกรดและคราบยางเหนียว ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้เร็วถ้าอุณหภูมิสูง น้ำมันหล่อลื่นจะเสื่อมสภาพเกิดความเป็นกรด ความหนืดเพิ่ม ถ้าความเป็นกรดมีสูงจะทำให้เนื้อน้ำมันเสื่อมสภาพเร็วขึ้น เกิดยางเหนียวเกาะตามร่องรูทางผ่านของน้ำมันหล่อลื่น และในที่สุดอาจเกิดการกัดกร่อนเนื้อโลหะในเครื่องจักร

## 2.7 น้ำมันดีเซล (diesel fuels)

น้ำมันดีเซล (diesel fuels) คือ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้เป็นพลังงานในเครื่องยนต์ชนิดต่างๆ เช่น รถยนต์โดยสาร รถบรรทุก เรือ เรือเดินสมุทร และรถไฟ ทั้งนี้ น้ำมันดีเซลนั้นมักจะใช้กับเครื่องยนต์ที่ต้องทำงานหนักเป็นระยะเวลายาวนาน และต้องการกำลังที่สูงกว่าในเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันเบนซิน

น้ำมันดีเซลมีการระเหยต่ำและเป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมที่ได้จากส่วนล่างของหอก้นปิโตรเลียมการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นเป็นการจุดระเบิดให้เกิดแรงอัดให้เป็นพลังงานใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบอกสูบของเครื่องยนต์ การแบ่งชั้นคุณภาพนั้น แบ่งออกตาม ค่าออกเทน (octane) ที่เรียกตามหมายเลขค่าซีเทน (cetane number)

### 2.7.1 การแบ่งชั้นคุณภาพน้ำมันดีเซลทั่วไป

1. **Diesel No.1** มีการระเหยและจุดระเบิดปกติ (C8-C19) เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลอื่นๆ มักใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลความเร็วสูงโดยมีค่าความแตกต่างของความเร็ว และน้ำหนักบรรทุก ตัวอย่างในสหรัฐอเมริกา คือ มาตรฐานของ ดีทรอยต์ดีเซลซีรีส์ 71 ของเครื่องยนต์ที่ใช้ในรถโดยสารประจำทางที่วิ่งในชุมชนเมือง (detroit diesel series 71 engines)

2. **Diesel No.2** มีการระเหยและจุดระเบิดต่ำกว่า No.1 และมีค่าองค์ประกอบปิโตรเลียมที่สูงกว่า (C9-C21) No.1 ใช้ในเครื่องยนต์ที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกสูง และมีความเร็วสม่ำเสมอที่ เช่น รถยนต์ทั่วไป และรถบรรทุก

3. **Diesel No.4** มีความหนืดสูงที่สุด และมีการระเหยและจุดระเบิดต่ำที่สุด เป็นส่วนผสมของน้ำมันดีเซลหมุนช้ากับกาน้ำมันเตา (C25+) ใช้ในเครื่องยนต์ที่มีความเร็ว ต่ำ-ปานกลาง ที่มีน้ำหนักบรรทุกและความเร็วที่แน่นอนและคงที่ ส่วนใหญ่ใช้ในการเดินเครื่องปั่นไฟขนาดใหญ่ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า รถไฟ เรือ และเรือเดินสมุทร

ดังนั้น สามารถแบ่งน้ำมันดีเซลออกเป็น 2 ชั้นคุณภาพ คือ น้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (light diesel) คือ ชนิด Diesel No.1 และ No.2 และน้ำมันดีเซลหมุนช้า (heavy diesel) คือ ชนิด Diesel No.4

น้ำมันดีเซลหมุนเร็วใช้สำหรับเครื่องยนต์รอบสูง ที่มีค่าการจุดระเบิด (ignition) สูง ได้แก่ น้ำมันดีเซลที่เราสามารถขับรถยนต์เข้าไปเติมได้ตามปั้มน้ำมันที่มีอยู่ทั่วไปนั่นเอง

ตัวอย่างคุณสมบัติน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (C12.3 H22.2) น้ำหนักโมเลกุล 170 ค่าความร้อน 42,500 kJ/kg มี เลขซีเทน 40-55

น้ำมันดีเซลหมุนช้าใช้สำหรับเครื่องยนต์รอบต่ำที่ต้องการมีความเร็วคงที่เป็นเวลานาน เช่น เครื่องยนต์ของเรือเดินสมุทรขนาดใหญ่ที่ต้องเดินเครื่องตลอดเวลาเป็นระยะเวลานาน แรมเดือน จุดด้อยของการใช้น้ำมันดีเซลหมุนช้า คือ จุดระเบิดยากเพราะมีความหนืดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้เครื่องยนต์ติดยากในการเริ่มต้นเดินเครื่องนั้น ต้องใช้น้ำมันดีเซลหมุนเร็วเป็นตัวนำร่อง ก่อนการใช้ น้ำมันดีเซลหมุนช้าเดินเครื่องยนต์ในระยะเวลาต่อไป

ตัวอย่างคุณสมบัติน้ำมันดีเซลหมุนช้า (C14.6H 24.8) น้ำหนักโมเลกุล 200 ค่าความร้อน 41,400 kJ/kg มี เลขซีเทน 35-50

## 2.7.2 เครื่องยนต์ดีเซล [4]

เครื่องยนต์ดีเซลในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามรอบการทำงาน ของเครื่องยนต์ คือ เครื่องยนต์ดีเซลรอบสูง รอบปานกลาง และรอบช้า โดยทั่วไปขนาดของเครื่องยนต์จะเป็นสัดส่วนผกผันกับรอบของเครื่อง กล่าวคือ เครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้าจะมีขนาดใหญ่ และเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็วจะมีขนาดเล็ก เป็นต้น โดยเครื่องยนต์จะมีรอบเครื่องแบ่งได้ดังนี้

1. เครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า รอบเครื่องต่ำกว่า 350 รอบ/นาที
2. เครื่องยนต์ดีเซลหมุนปานกลาง รอบเครื่องประมาณ 350 -1,000 รอบ/นาที
3. เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว รอบเครื่องสูงกว่า 1,000 รอบ/นาที

**เครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า** เครื่องยนต์ดีเซลชนิดนี้นิยมใช้ในการขนส่งทางทะเล เช่น เรือเดินสมุทรขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องยนต์ 2 จังหวะแบบแบ่งการหล่อลื่นลูกสูบ และแบริงข้อเหวี่ยงออกจากกัน เนื่องจากเครื่องยนต์ประเภทนี้ใช้น้ำมันเตาซึ่งมีปริมาณกำมะถันสูงเป็นเชื้อเพลิง ในระหว่างเครื่องยนต์ทำงานจะเกิดการกัดกำมะถันซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงขึ้นสูงมากภายในห้องเผาไหม้บริเวณผนังลูกสูบและแหวนลูกสูบจะมีค่าความเป็นด่างสูงกว่าน้ำมันหล่อลื่นแบริงข้อเหวี่ยงมากซึ่งน้ำมันในส่วนนี้ของลูกสูบจะถูกเผาไหม้ไปพร้อมกับเชื้อเพลิงส่วนน้ำมันหล่อลื่นแบริงข้อเหวี่ยงจะเป็นระบบหมุนเวียน

**เครื่องยนต์ดีเซลรอบปานกลาง** เครื่องยนต์รอบปานกลางจะพบได้ในการขนส่งทางรถไฟ เช่น เป็นตัวจักรต้นกำลังของรถไฟ เป็นต้น เครื่องยนต์ประเภทนี้ใช้เชื้อเพลิงที่มีกำมะถันไม่สูงมากนัก จึงมีระบบหล่อลื่นเป็นแบบหมุนเวียน ระบบน้ำมันหล่อลื่นลูกสูบและแบริงข้อเหวี่ยงใช้ร่วมกัน สำหรับเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงมีกำมะถันค่อนข้างสูงควรใช้น้ำมันเครื่องที่มีค่าความเป็นด่าง (TBN) ค่อนข้างสูงหรือตามที่ผู้ผลิตแนะนำไว้

**เครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว** เครื่องยนต์ชนิดนี้นิยมใช้ในการขนส่งทางรถยนต์ทั่วไป เช่น รถกะบะหรือรถบรรทุก ระบบหล่อลื่นจะเป็นระบบหมุนเวียน น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้จะมีค่าความเป็นด่างไม่สูงมากนัก เนื่องจากเครื่องยนต์ชนิดนี้ใช้น้ำมันโซล่า (diesoline) ที่มีกำมะถันต่ำกว่าเชื้อเพลิงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีเซลประเภทอื่น แต่อย่างไรก็ตาม ควรเลือกใช้น้ำมันเครื่องที่มีมาตรฐานตามที่ผู้ผลิตเครื่องยนต์ได้แนะนำไว้

## 2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับตัวทำละลาย

### 2.8.1 คุณสมบัติของตัวทำละลาย

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

การละลายของสารละลายจะเป็นไปตามกฎของ "Like dissolves like" คือ สารที่ไม่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ส่วนสารที่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว ดังนั้นเราสามารถวัดความเป็นขั้วของตัวทำละลายได้จาก

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

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

1. polar protic
2. dipolar aprotic
3. non-polar

### Polar Protic Solvents

Protic หมายถึง H-atom ที่เข้าทำปฏิกิริยากับ electronegative atom ซึ่งโดยส่วนมากแล้ว electronegative atom มักจะเป็นอะตอมของออกซิเจน ในอีกความหมายหนึ่ง polar protic solvents คือ สารประกอบที่มีสูตรทั่วไปเป็น ROH ความเป็นขั้วของ polar protic solvents ได้มาจากพันธะระหว่าง O-H ตัวอย่างของตัวทำละลายประเภทนี้ เช่น water ( $\text{H}_2\text{O}$ ), methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) และ acetic acid ( $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Dipolar Aprotic Solvents

aprotic หมายถึง โมเลกุลที่ไม่มีพันธะระหว่าง O-H อยู่ในโครงสร้าง ตัวทำละลายประเภทนี้มักจะมีพันธะ dipole ขนาดใหญ่อยู่ เช่น พันธะระหว่าง C-O หรือ C-N ซึ่ง dipolar aprotic solvents ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยพันธะคู่ของ C=O ตัวอย่างของตัวทำละลายประเภทนี้ เช่น acetone  $[(\text{CH}_3)_2\text{C}=\text{O}]$  และ ethyl acetate  $(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CH}_2\text{CH}_3)$

### Non-Polar Solvents

ตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว จัดเป็นสารที่มีค่า dielectric constants ต่ำ และไม่สามารถละลายได้ในน้ำ ตัวอย่างของตัวทำละลายประเภทนี้ เช่น benzene  $(\text{C}_6\text{H}_6)$ , carbon tetrachloride  $(\text{CCl}_4)$  และ diethyl ether  $(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3)$

### 2.8.2 สมบัติของตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลอง [5, 6, 7]

ตัวทำละลายที่ใช้ในการทดลองนี้จะเป็นตัวทำละลายพวกแอลกอฮอล์ซึ่งได้แก่

1. 1-pentanol
2. Isopentanol
3. 1-hexanol

ตัวทำละลายแต่ละตัวนั้นจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามโครงสร้างที่แตกต่างกันของสายโซ่ที่ต่อกับหมู่ฟังก์ชันซึ่งจะทำให้ตัวทำละลายแสดงสภาพความเป็นขั้วและความแรงของขั้วที่แตกต่างกันออกไปด้วย รวมถึงชื่อของสารละลายก็มีการเรียกที่แตกต่างกันออกไปดังจะแสดงดังนี้

#### ตารางที่ 2.2 สมบัติทั่วไปของตัวทำละลายเพนทานอล

ชื่อเรียกอื่นๆ	1-Pentol , n-butylcarbinol , n-pentan-1-ol , n-pentyl alcohol , n-pentanol n-amyl alcohol , Pentan-1-ol , Amyl alcohol , Pentyl alcohol , pentanol-1
สูตรโมเลกุล	$\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$
คุณลักษณะ	ของเหลวใส ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน
จุดหลอมเหลว	$-108.4\text{ }^\circ\text{C}$
จุดเดือด	$137.9 - 139\text{ }^\circ\text{C}$
ความหนาแน่น	$0.815\text{ g/cm}^3$
จุดวาบไฟ	$32\text{ }^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางที่ 2.3 สมบัติทั่วไปของตัวทำละลายไอโซเพนทานอล

ชื่อเรียกอื่นๆ	2-methyl-4-butanol , 3-methyl butanol , 3-methyl-4-butanol , 3-methylbutan-1-ol , 3-metil-butanolo , alcool amilico , alcool isoamylique , amyloxy alcohol , isoamyl alcohol , isoamylol , isobutyl carbinol , isopentanol , primary isoamyl alcohol
สูตรโมเลกุล	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$
คุณสมบัติ	ติดไฟได้
จุดหลอมเหลว	$88.14968^\circ\text{C}$
จุดเดือด	$112^\circ\text{C}$
ความหนาแน่น	$0.81\text{ g/cm}^3$
จุดวาบไฟ	$30^\circ\text{C}$

### ตารางที่ 2.4 สมบัติทั่วไปของตัวทำละลายเฮกซานอล

ชื่อเรียกอื่นๆ	amylcarbinol , caproyl alcohol , 1-hexanol , n-hexanol , n-hexyl alcohol , hexyl alcohol , pentyl carbinol , 1-hydroxyhexane
สูตรโมเลกุล	$\text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}$
คุณสมบัติ	ของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย
จุดหลอมเหลว	$-52^\circ\text{C}$
จุดเดือด	$156.5^\circ\text{C}$
ความหนาแน่น	$0.814\text{ g/cm}^3$
จุดวาบไฟ	$60^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Rincon, J. และคณะ (2003) [8] การสกัดน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วด้วยโพรเพน โพรเพนซึ่งเป็นของเหลวและเป็น supercritical ได้ถูกใช้เป็นตัวทำละลายในการรีไซเคิลน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุถึงสถานะของกระบวนการที่ดีที่สุดเพื่อใช้ในการแยก base oil ออกมาและพัฒนาเป็นน้ำมันหล่อลื่นใหม่โดยที่ไม่ต้องการให้เกิดการออกซิเดชันของผลิตภัณฑ์และสารประกอบของโลหะ นั่นคือต้องการศึกษาอิทธิพลของความดัน ( $30-60 \text{ kg/cm}^2$ ) และอุณหภูมิ ( $20-140 \text{ }^\circ\text{C}$ ) ที่มีต่อประสิทธิภาพของการแยกและผลผลิตที่ได้ พบว่าในช่วงของความดันที่ใช้วิเคราะห์แทบจะไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตและการกำจัดสารประกอบของโลหะเลย แต่มีผลกับการแยกผลิตภัณฑ์ที่ถูกออกซิไดซ์ โดยจะมีการแยกที่ดีที่ความดันต่ำ ในด้านของอุณหภูมิ (ขณะที่มีการให้ความดันด้วย) ก็เช่นเดียวกัน คือพบว่าผลผลิตที่ได้จากการสกัดจะไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ราบเท่าที่โพรเพนยังคงเป็นสารละลายอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นที่ความดันคงที่จะทำให้โพรเพนกลายเป็นก๊าซหรือเป็น supercritical fluid ผลผลิตที่ได้จากการสกัดจะลดลง ทั้งนี้มีผลมาจากความหนาแน่น นั่นคือ ยิ่งโพรเพนความหนาแน่นสูงก็จะทำให้ได้ผลผลิตจากการสกัดเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันพบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะทำให้มีการกำจัดสารประกอบของโลหะและสารประกอบของการออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้น และในขั้นสุดท้ายได้มีการนำน้ำมันที่ถูกสกัดด้วยตัวทำละลายโพรเพนที่สถานะที่เหมาะสมคือ ที่ความดัน  $30 \text{ kg/cm}^2$  และอุณหภูมิ  $90 \text{ }^\circ\text{C}$  มาเปรียบเทียบกับน้ำมันที่ถูกกลั่นแบบสุญญากาศคือที่ความดัน  $5 \text{ mmHg}$  2 ตัวอย่าง ซึ่งหนึ่งในนั้น ได้ผ่านการบำบัดขั้นต้นด้วยโพรเพนที่สถานะที่เหมาะสมแล้ว

Rincon, J. และคณะ (2005) [9] ศึกษาการนำน้ำมันหล่อลื่นกลับมาใช้ใหม่โดยการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมชนิดมีขั้ว ได้ทำการเลือกหาสัดส่วนองค์ประกอบที่เหมาะสมของตัวทำละลาย เพื่อใช้ในการสกัด base oil จากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว โดยตัวทำละลายผสมประกอบด้วย methyl ethyl ketone (MEK) และ 2-propanol ผลการสกัดที่ดีที่สุดได้เมื่อสัดส่วนของ 2-propanol/ MEK เป็น 3 g/g อย่างไรก็ตามตัวทำละลายนี้ยังไม่สามารถกำจัดโลหะและผลิตภัณฑ์ที่ถูกออกซิไดซ์ได้อย่างสมบูรณ์ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้มีการเติม โพลีเอทเธนไฮดรอกไซด์ปริมาณเล็กน้อย ( $1-7 \text{ g/kg}$  ของตัวทำละลาย) ลงในตัวทำละลายผสม โดยพบว่า โพลีเอทเธนไฮดรอกไซด์เข้มข้น  $2 \text{ g/kg}$  ของตัวทำละลายจะให้ผลดีที่สุด น้ำมันที่ได้จากการกลั่นแบบสุญญากาศซึ่งผ่านการบำบัดด้วยตัวทำละลายผสมที่มีอัตราส่วนของ 2-propanol/MEK เป็น 3 g/g และมีโพลีเอทเธนไฮดรอกไซด์เข้มข้น  $2 \text{ g/kg}$  ของตัวทำละลาย มีความคล้ายคลึงกับน้ำมันบริสุทธี SN-130 อย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Rincon, J. และคณะ (2005) [10] การเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยการสกัดของตัวทำละลายมีขี้ [3]. การสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นวิธีที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งในการรีไซเคิลน้ำมันใช้แล้ว โดยมีการใช้ตัวทำละลายบางตัว เช่น 2-propanol , 2-butanol , 2-pentanol , methyl ethyl ketone และ methyl n-propyl ketone โดยคุณภาพของน้ำมันที่สกัดได้จะประเมินจากการวัดความเข้มข้นของโลหะพอลิเมอร์และสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันที่สกัดได้ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผลผลิตที่ได้จากการสกัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของตัวทำละลายต่อน้ำมันจนถึงจุดที่ทั้งสองตัวเกิดเสถียรภาพ เมื่อเปรียบเทียบแอลกอฮอล์และคีโตน พบว่าผลผลิตที่ได้จากตัวทำละลายที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเท่ากันค่อนข้างใกล้เคียงกัน และผลผลิตจะเพิ่มขึ้นเมื่อตัวทำละลายมีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น ในทางกลับกันพบว่าโลหะและสารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันจะถูกกำจัดได้พอๆ สำหรับแอลกอฮอล์และคีโตนที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเท่ากันแต่แอลกอฮอล์จะมีประสิทธิภาพเหนือกว่าคีโตนเมื่อพิจารณาถึงการกำจัดสารเติมแต่งที่เป็นพอลิเมอร์ จากผลที่ได้สามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความหนืด ความเข้มข้นของสารเติมแต่ง และความแตกต่างระหว่าง solubility parameter ของแต่ละองค์ประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมี

1. น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว จากสถานีรถไฟบางซื่อ
2. เพนทานอล ( $C_5H_{12}O$ ) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท SR.LAB
3. ไอโซเพนทานอล ( $C_5H_{12}O$ ) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท SR.LAB
4. เฮกซานอล ( $C_6H_{14}O$ ) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท SR.LAB
5. โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท MERCK
6. อะซิโตน (Acetone) เกรดวิเคราะห์ จากบริษัท SR.LAB

#### 3.2 อุปกรณ์

1. บีกเกอร์ ขนาด 100 ml 250 ml 500 ml
2. ขวดรูปหม้อ ขนาด 250 ml
3. กระบอกตวง ขนาด 500 ml
4. กระบอกตวง ขนาด 100 ml
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer)
7. Water bath
8. เครื่องปั่นกวน (Stirrer rod)
9. เครื่องปั่นแยก (Centrifuge)
10. ตู้อบ (Oven)
11. ขาตั้ง และ ที่จับ (Stand and Camp)
12. เครื่องควบแน่น (Condenser)
13. ขวดก้นกลม (Round bottom flash)
14. Auto Flash Point- Pensky-Martens Closed Cup รุ่น ISL FP 935G2
15. Automatic Digital Kinematic Viscometer-ERTCO รุ่น CAV-2000
16. Adiabatic Bomb Calorimeter-PARR 1281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการทดลอง

ในการทดลองนี้จะแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆด้วยกัน คือ การสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย และการนำน้ำมันที่สกัดได้มาผสมกับน้ำมันดีเซล ซึ่งในแต่ละส่วนของการทดลองนั้นจะทำการวิเคราะห์ผลที่ได้อีกครั้งหนึ่ง

#### ตอนที่ 1 การสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย

ในส่วนของ การสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายนั้น จะทำการศึกษาเกี่ยวกับความแตกต่างของชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด อัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย และ ผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

#### 1.1 ขั้นตอนในการทดลองหาอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ต่อ ตัวทำละลาย

##### วิธีการทดลอง

1. ตวงและชั่งน้ำหนักน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ตัวทำละลาย ตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ดังตารางที่ 3.1 ใสไว้ในขวดรูปชมพู่
2. ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน ที่อุณหภูมิ 30 °C (อุณหภูมิห้อง) เป็นเวลา 30 นาที
3. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้เกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้น ทำการปั่นแยกตะกอนด้วยเครื่องปั่นแยก (Centrifuge) โดยใช้เวลา ประมาณ 15 นาที
4. เทแยกสารละลายออกจากตะกอน
5. นำตะกอนที่ได้ และ ขวดรูปชมพู่ที่มีตะกอนส่วนแรกติดอยู่เข้าตู้อบเพื่อระเหยตัวทำละลายออก ชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้
6. กำหนดหาเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งจากสมการที่ 3.1
7. ส่วนของน้ำมันซึ่งมีตัวทำละลายปนอยู่ จะถูกนำไปแยกด้วยวิธีการกลั่นแบบธรรมดา จะทำให้ได้น้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้วกับตัวทำละลายที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่
8. ทำการเลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุด จากเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้ง โดยควรเป็นอัตราส่วนที่ให้ปริมาณตะกอนแห้งมากที่สุด

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการทดลองการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย

ลำดับที่ การทดลอง	ตัวทำละลาย	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อตัวทำละลาย (โดยปริมาตร)
1	1-pentanol	1:1
2		1:2
3		1:3
4		1:4
5		1:5
1	Isopentanol	1:1
2		1:2
3		1:3
4		1:4
5		1:5
1	1-hexanol	1:1
2		1:2
3		1:3
4		1:4
5		1:5

หมายเหตุ ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง

### 1.2 ขั้นตอนในการทดลองหาปริมาณการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

การทดลองหาปริมาณการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสมในการสกัดนั้น ทำการทดลองเช่นเดียวกับการหาอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อตัวทำละลาย แต่จะเลือกใช้สภาวะที่ได้จากการหาอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อตัวทำละลายที่ดีที่สุด และทำการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ลงไปตามปริมาณที่กำหนดดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### วิธีการทดลอง

1. เลือกสภาวะที่ได้จากการหาอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ต่อ ตัวทำละลายที่ดีที่สุด (จากขั้นที่ 1.1)
2. ตวงและชั่งน้ำหนักน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและตัวทำละลายตามอัตราส่วนของสภาวะที่เลือก
3. หลังจากนั้นเติม โพลีเอทเธียมไฮดรอกไซด์ลงไปตามปริมาณที่กำหนดไว้ดังตารางที่ 3.2 โดยทำการละลายโพลีเอทเธียมไฮดรอกไซด์ในตัวทำละลายก่อน แล้วจึงผสมกับน้ำมันที่เตรียมไว้
4. ทำการปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวน ที่อุณหภูมิ 30 °C (อุณหภูมิห้อง) เป็นเวลา 30 นาที
5. ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้เกิดการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์ หลังจากนั้นทำการปั่นแยกตะกอนออกด้วยเครื่องปั่นแยก (Centrifuge) ใช้เวลาในการปั่นแยกประมาณ 15 นาที
6. เทแยกสารละลายออกจากตะกอน
7. นำตะกอนที่ได้ และ ขวดรูปชมพู่ที่มีตะกอนส่วนแรกติดอยู่เข้าตู้อบเพื่อระเหยตัวทำละลายออก ชั่งน้ำหนักตะกอนที่ได้
8. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งจากสมการที่ 3.1
9. ส่วนของน้ำมันซึ่งมีตัวทำละลายปนอยู่ จะถูกนำไปแยกด้วยวิธีการกลั่นแบบธรรมดา จะทำให้ได้น้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้วกับตัวทำละลายที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่
10. ทำการเลือกอัตราส่วนที่ดีที่สุด จากเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้ง โดยควรเป็นอัตราส่วนที่ให้ปริมาณตะกอนแห้งมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการทดลองหาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

ลำดับที่ การทดลอง	ตัวทำละลาย	ปริมาณ KOH (g/L)
1	1-pentanol	0
2		2
3		4
4		6
5		8
1	Isopentanol	0
2		2
3		4
4		6
5		8
1	1-hexanol	0
2		2
3		4
4		6
5		8

หมายเหตุ ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง

ตอนที่ 2 การนำน้ำมันที่สกัดได้มาผสมกับน้ำมันดีเซลและวิเคราะห์หาสมบัติพื้นฐานที่สำคัญ

การผสมน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดเข้ากับน้ำมันดีเซลนั้นจำเป็นที่จะต้องทราบถึงสมบัติทางกายภาพ ที่มีอยู่ภายในน้ำมันทั้งสองชนิด ซึ่งในการทดลองนี้จะทำการผสมน้ำมันทั้งสองชนิดเข้าด้วยกัน โดยให้น้ำมันผสมที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด

หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบน้ำมันผสมกับน้ำมันดีเซลในทางการค้า ซึ่งจำเป็นที่จะต้องทราบสมบัติทางกายภาพของน้ำมันดีเซลผสมเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1 ขั้นตอนในการผสมน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดได้กับน้ำมันดีเซล

การผสมน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดเข้ากับน้ำมันดีเซลในปริมาณต่างๆ เป็นการลดปริมาณการใช้ น้ำมันดีเซลลง โดยได้ทำการทดลองผสมน้ำมันหล่อลื่นที่มาจาก การสกัดด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกันสามชนิดเข้ากับน้ำมันดีเซลตามปริมาณต่างๆที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ปริมาณการผสมน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้วกับน้ำมันดีเซล

ลำดับที่ การทดลอง	ปริมาตรน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่าน การสกัดแล้ว (ml)	ปริมาตรน้ำมันดีเซล (ml)
1	5	95
2	7	93
3	9	91
4	10	90
5	15	85
6	20	80

หมายเหตุ น้ำมันหล่อลื่นที่นำมาผสมจะมาจากสถานะการสกัดด้วยตัวทำละลายที่ให้ น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานซึ่งมีความบริสุทธิ์มากที่สุด

### วิธีการทดลอง

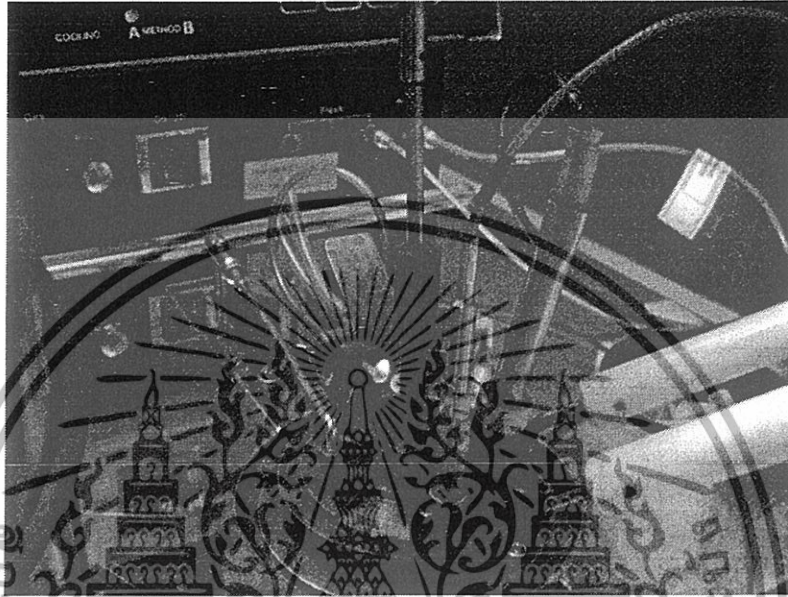
1. ตวงน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดและน้ำมันดีเซลตามปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.3 ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 500 ml 6 ใบ
2. ปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนประมาณ 20 นาที
3. ได้น้ำมันผสมระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้วและน้ำมันดีเซล ตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.3
4. ทำการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเป็นชนิดต่อไป แล้วทำการทดลองเช่นเดิมจนครบ
5. นำน้ำมันผสมที่ได้ ไปวิเคราะห์หาสมบัติพื้นฐานต่างๆตามที่ได้กำหนดไว้

หลังจากทำการผสมเรียบร้อยแล้ว ทำการแบ่งวิเคราะห์หาสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของน้ำมันที่ได้ผสมไว้ คือ ค่าความหนืด จุดวาบไฟ และค่าความร้อน เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ขั้นตอนการหาจุดวาบไฟ

ในการหาจุดวาบไฟเครื่องที่ใช้คือ เครื่อง Auto Flash Point- Pensky-Martens Closed Cup รุ่น ISL FP 935G2 ดังรูปที่ 3.1 โดยมีขั้นตอนในการทดลองหาจุดวาบไฟ ดังนี้

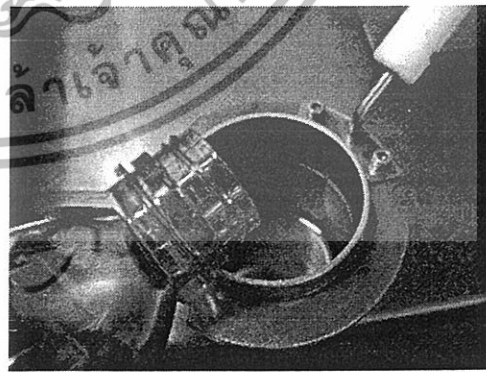


รูปที่ 3.1 เครื่องหาจุดวาบไฟ รุ่น ISL FP 935G2

1. เทน้ำมันใส่ลงในถ้วยสำหรับหาจุดวาบไฟ โดยให้ปริมาณของน้ำมันอยู่บริเวณขอบบอกระดับพอดี ดังแสดงในรูปที่ 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 ถ้วยสำหรับหาจุดวาบไฟ

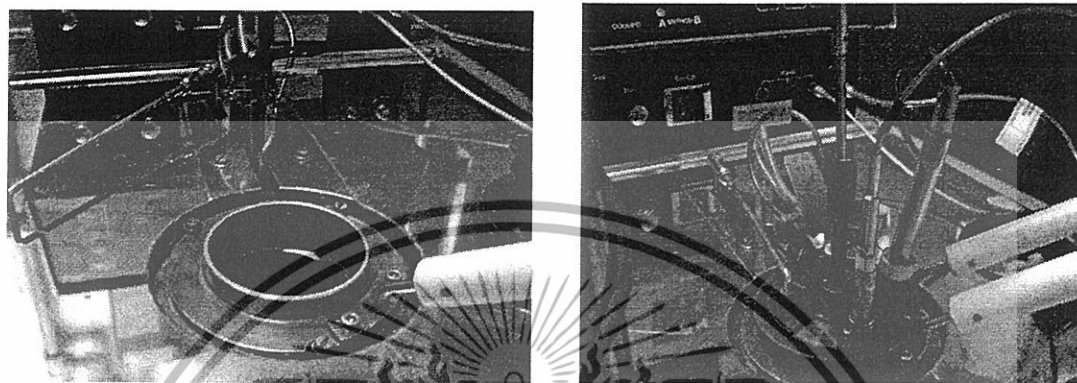


รูปที่ 3.3 การเทน้ำมันลงในถ้วยสำหรับหาจุดวาบไฟ

2. ทำการประกอบถ้วยเข้ากับเครื่องอย่างระมัดระวัง พร้อมทั้งปิดฝาและประกอบอุปกรณ์ปั่นกวน หัวจุดไฟ ให้เข้าที่ ดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตั้งค่าอุณหภูมิของจุดวาบไฟ (E.F.P) ของน้ำมันที่ได้ประมาณขึ้น และทำการกดให้เครื่องทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ รอจนเครื่องวัดจุดวาบไฟเลื่อนออกมา หลังจากนั้นทำการล้างทำความสะอาดด้วยใส่น้ำมัน แล้วจึงทำการทดลองต่อไป



รูปที่ 3.4 การประกอบชุดอุปกรณ์



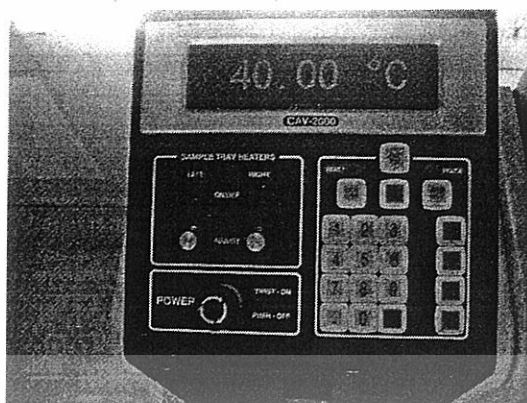
รูปที่ 3.5 การตั้งค่าอุณหภูมิของจุดวาบไฟ (E.F.P)

รูปที่ 3.6 อุณหภูมิของจุดวาบไฟ (FLASH)

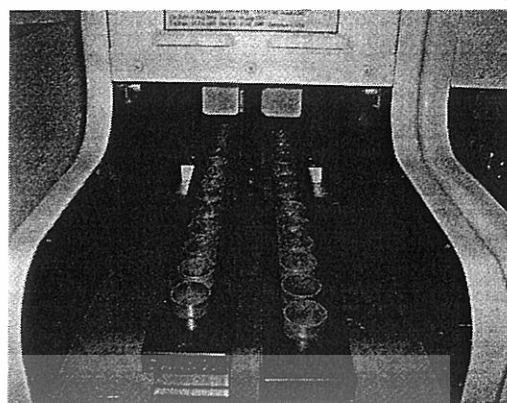
### 2.3 ขั้นตอนในการหาความหนืด

การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้เพื่อศึกษาถึงค่าความหนืดไคเนมาติก (Kinematic viscosity) ของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมเหลว โดยใช้เครื่อง Automatic Digital Kinematic Viscometer-ERTCO รุ่น CAV-2000 ซึ่งจะทำการวัดจากเวลาที่ได้ เมื่อปริมาณของเหลวที่กำหนดไว้ ไหลลงตามหลอดแก้วคาปิลารี (Calibrated glass capillary viscometer) ด้วยแรงโน้มถ่วงโลก ซึ่งขั้นตอนการทำงานเป็นดังนี้

1. กำหนดสถานะที่ใช้วัดความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C และ เทน้ำมันที่ต้องการทดสอบลงในหลอดแก้วสำหรับบรรจุสาร ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และ 3.8ตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 สภาวะที่ใช้วัดความหนืดที่ 40 °C



รูปที่ 3.8 หลอดแก้วสำหรับบรรจุสาร

2. นำหลอดแก้วสำหรับบรรจุสารเข้าเครื่องวัดความหนืดอัตโนมัติ กรอกข้อมูลของตัวอย่าง และกดปุ่ม START เพื่อเริ่มการทดสอบ โดยเครื่องจะทำการดำเนินงานตามโปรแกรมที่ได้ตั้งไว้ โดยเวลาในการไหลจะต้องไม่น้อยกว่า 200 วินาที และไม่เกิน 1,000 วินาที

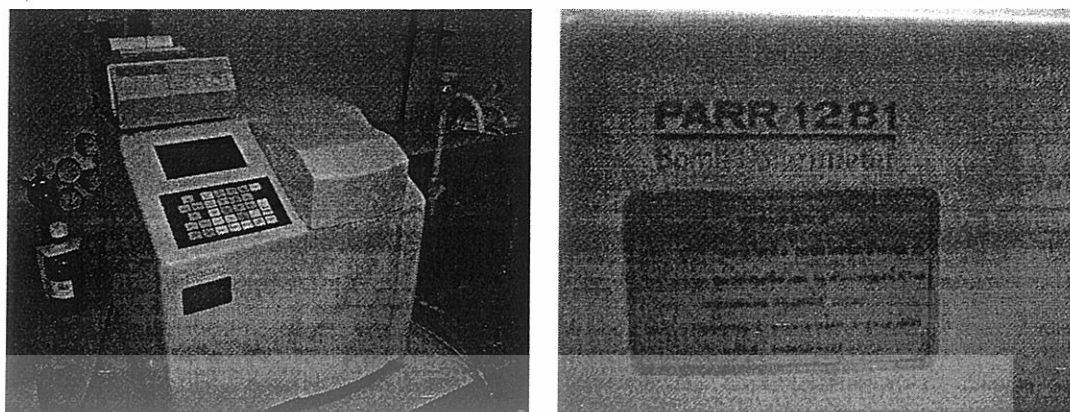


รูปที่ 3.9 การทำงานของเครื่องหาความหนืด

#### 2.4 ขั้นตอนในการหาค่าความร้อน

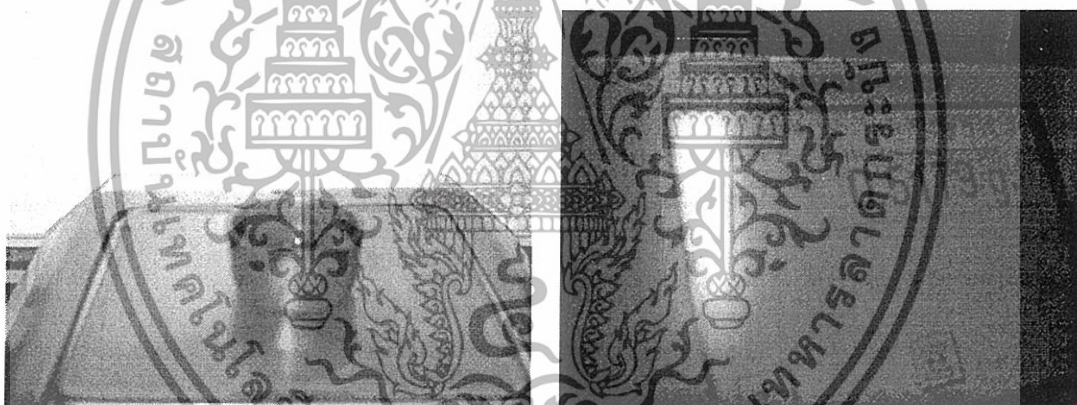
การทดสอบด้วยวิธีนี้ ใช้เพื่อหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเหลวจากเครื่อง Adiabatic bomb calorimeter (PARR 1281 bomb calorimeter) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 และมีขั้นตอนการทำดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 เครื่อง Adiabatic bomb calorimeter (PARR 1281 bomb calorimeter)

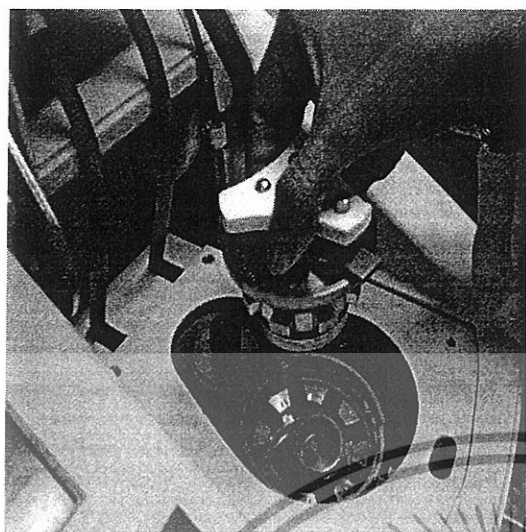
1. ชั่งน้ำหนักของน้ำมันที่จะทำการทดสอบลงในถ้วยครุชเชิล ให้ได้น้ำหนักประมาณ 0.5 กรัม จดบันทึกน้ำหนักที่ชั่งไว้ ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การชั่งน้ำหนักน้ำมันที่จะทำการทดสอบ

2. เปิดฝาเครื่อง เพื่อนำเอาชุดอุปกรณ์การทดสอบมาประกอบเข้ากับถ้วยครุชเชิล พร้อมทั้งทำการมัดเชือกให้แน่น แล้วจุ่มปลายเชือกที่มัดไว้ลงในน้ำมันที่อยู่ในถ้วยครุชเชิล ดังแสดงในรูปที่ 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การเปิดฝาของเครื่อง



รูปที่ 3.13 การประกอบชุดอุปกรณ์ทดสอบ

3. ทำการปิดฝาเครื่องให้สนิท และป้อนค่าน้ำหนักที่บันทึกไว้ หลังจากนั้นกดปุ่มให้เครื่องเริ่มการทดสอบ เมื่อเครื่องทำงานครบขั้นตอน จะมีการรายงานผลออกมา
4. ในการทำการทดลองครั้งต่อไป ให้เช็คชุดอุปกรณ์การทดสอบให้แห้ง และเปลี่ยนถ้วยครุชเบิลใหม่ทุกครั้งก่อนทำการทดสอบ

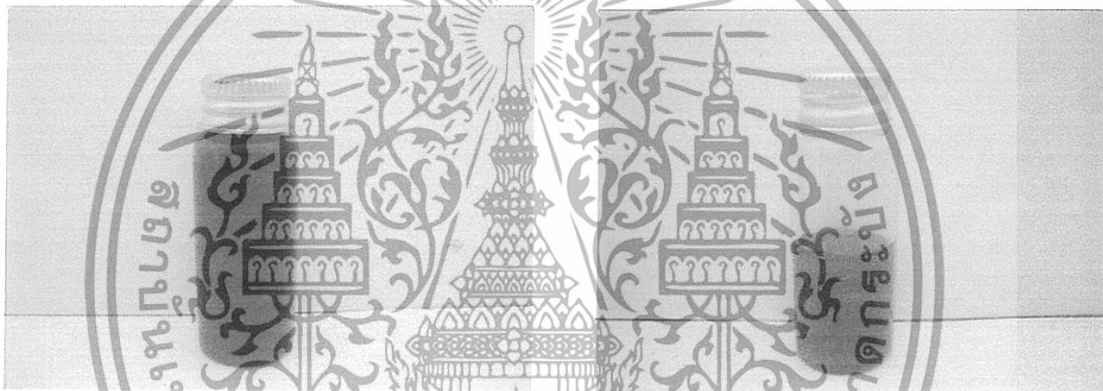
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัด และน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลายแล้ว

น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัดและน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลายแล้วนั้นจะมีลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.1, 4.2 และ ตารางที่ 4.1 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัด      รูปที่ 4.2 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัด

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัด และ น้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลาย

ลักษณะทางกายภาพ	น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ยังไม่ผ่านการสกัด	น้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลาย
สี	ดำเข้ม	เหลืองน้ำตาล
ความหนืด	สูง	ต่ำ
ตะกอน	มีตะกอนจับกันเป็นก้อน	ไม่มีตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสังเกตลักษณะทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นทั้งสองชนิดทำให้ทราบว่าน้ำมันที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายนั้นน่าจะมีสมบัติที่ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายต่างชนิดกันนั้นยังจะได้ผลที่แตกต่างกันออกไปด้วย

#### 4.2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดด้วยตัวทำละลายแต่ละชนิด

ในส่วนของการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายนั้นจะทำการศึกษาเกี่ยวกับความแตกต่างของชนิดตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด ดังนี้

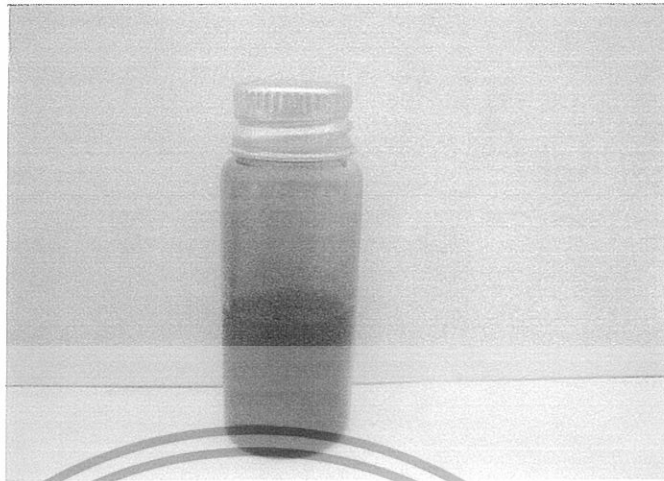
1. เพนทานอล (1-pentanol )
2. ไอโซเพนทานอล ( Isopentanol )
3. เฮกซานอล( 1-Hexanol )

จากการทดลองผลการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายที่แตกต่างกันนั้น พบว่าน้ำมันที่ผ่านการสกัดจะมีลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตได้แตกต่างกัน ดังนี้

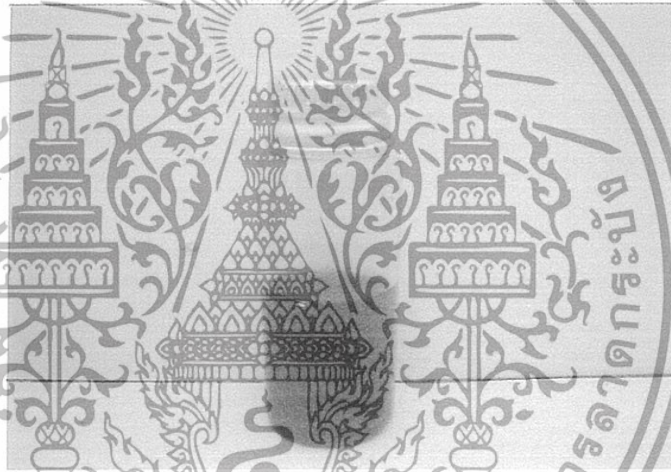
##### 4.2.1 ความแตกต่างของสี

จากการสังเกตพบว่า น้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเพนทานอลจะมีความเข้มของสีมากเป็นอันดับที่หนึ่ง น้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกซานอลจะมีความเข้มของสีเป็นอันดับที่สอง ส่วนน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายไอโซเพนทานอลจะมีความเข้มของสีเป็นอันดับที่สาม น้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายไอโซเพนทานอลและเฮกซานอลนั้นแม้จะมีความเข้มของสีที่น้อยกว่าน้ำมันที่สกัดได้จากตัวทำละลายเพนทานอล แต่ก็มิได้ถือว่ามีคุณภาพดีที่สุดในส่วนของน้ำมันที่สกัดด้วยตัวทำละลายเพนทานอลซึ่งมีความเข้มของสีมากที่สุด นั้น อาจเกิดจากปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดมีมากที่สุด ดังนั้นช่วงเวลาที่ใช้ในกระบวนการกลั่นซึ่งใช้อุณหภูมิสูงจึงต้องใช้เวลาานาน ทำให้ส่วนผสมบางตัวในน้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงของสีขึ้น น้ำมันที่ได้จึงมีสีเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเพนทานอล



รูปที่ 4.4 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลาย ไอโซเพนทานอล



รูปที่ 4.5 น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกซานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ความแตกต่างของความหนืด

น้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกซานอลจะมีความหนืดสูงเป็นอันดับที่หนึ่ง น้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายไอโซเพนทานอลจะมีความหนืดสูงเป็นอันดับที่สอง ส่วนน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเพนทานอลจะมีความหนืดสูงเป็นอันดับที่สาม สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เกิดเนื่องมาจากตะกอนที่สกัดแยกออกไปได้จากตัวทำละลายเฮกซานอลมีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับตะกอนที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเพนทานอลและไอโซเพนทานอล ดังนั้นตะกอนที่ไม่ได้ถูกสกัดออกจะยังคงอยู่ในส่วนของน้ำมันหล่อลื่น ทำให้น้ำมันหล่อลื่นที่สกัดได้มีความหนืดสูง

#### 4.3 ผลของอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย

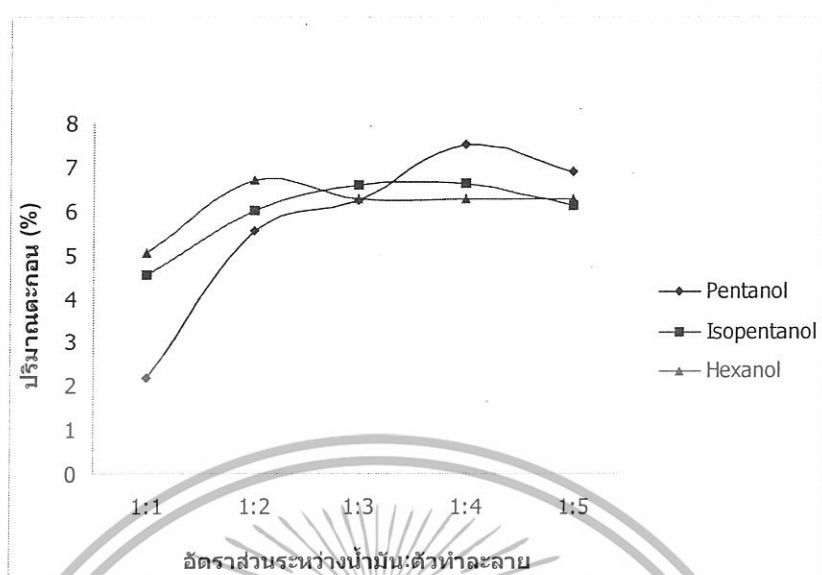
หลังจากทำการทดลองสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายแต่ละชนิดโดยที่ไม่มีการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ลงไป ทำการทดลองที่อุณหภูมิห้อง แล้วคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งจากสมการที่ (3.1) ทำให้ได้ผลของเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งดังตารางที่ 4.2 เมื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งกับอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายจะได้ผล ดังรูปที่ 4.6 จากผลการทดลองที่ได้ ทำให้สามารถเลือกอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย โดยดูจากเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งที่สามารถสกัดออกมาได้มากที่สุดและความเหมาะสมของปริมาณตัวทำละลาย เพื่อใช้ในการหาผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อไปได้ ดังนี้

ตัวทำละลายเพนทานอลจะให้ผลที่ดีที่สุดจากลำดับการทดลองที่ 4 ซึ่งมีอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย เท่ากับ 1:4 โดยปริมาตร โดยเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งที่ได้มีมากถึง 7.51 %

ตารางที่ 4.2 ผลของอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อตัวทำละลายชนิดต่างๆที่มีต่อปริมาณตะกอนที่แยกได้จากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

ลำดับที่ การทดลอง	ตัวทำละลาย	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว ต่อตัวทำละลาย (โดยปริมาตร)	ปริมาณตะกอน (%)
1	1-pentanol	1:1	2.15
2		1:2	5.54
3		1:3	6.24
4		1:4	7.51
5		1:5	6.86
1	Isopentanol	1:1	4.53
2		1:2	5.98
3		1:3	6.58
4		1:4	6.61
5		1:5	6.10
1	1-hexanol	1:1	5.01
2		1:2	6.70
3		1:3	6.28
4		1:4	6.28
5		1:5	6.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย

ตัวทำละลายไอโซเพนทานอล จะให้ผลที่ดีที่สุดจากลำดับการทดลองที่ 4 ซึ่งมีอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:4 โดยปริมาตร ซึ่งได้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งมากถึง 6.61 % แต่เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งที่ได้จากลำดับการทดลองที่ 4 นั้นมีความใกล้เคียงกับลำดับการทดลองที่ 3 ซึ่งมีอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:3 โดยปริมาตร ซึ่งได้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งใกล้เคียงกันคือ 6.58 % ดังนั้นถ้ามองในด้านความคุ้มค่าของการสกัดและต้นทุนของการใช้สารละลาย ลำดับการทดลองที่ 3 น่าจะมีความคุ้มค่ามากกว่า

ตัวทำละลายเฮกซานอลจะให้ผลที่ดีที่สุดจากลำดับการทดลองที่ 2 ซึ่งมีอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:2 โดยปริมาตร ซึ่งได้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งมากถึง 6.70 %

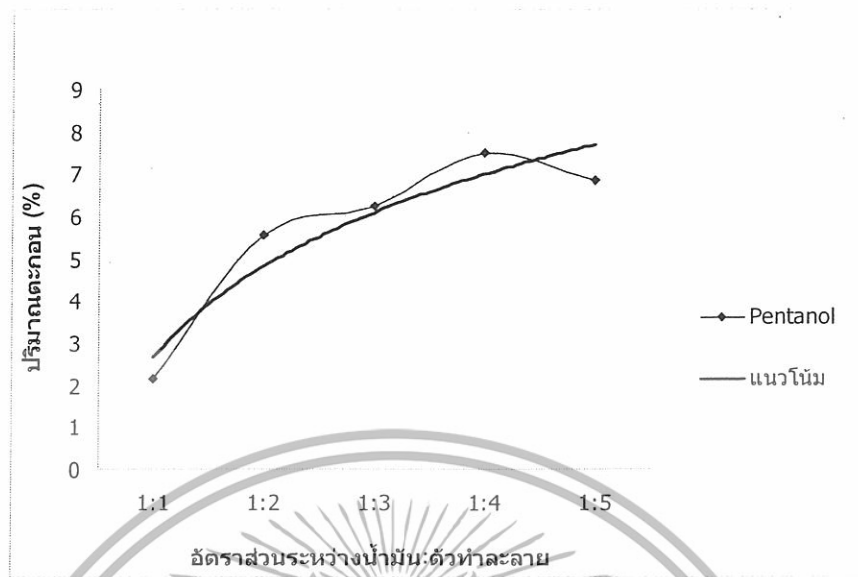
จากผลการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย พบว่า การเพิ่มปริมาณตัวทำละลายจะทำให้สามารถสกัดเอาตะกอนต่างๆ ออกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วได้มากขึ้น ทำให้น้ำมันที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ซึ่งเกิดจากการที่ตะกอนสามารถละลายในตัวทำละลายได้มากขึ้นและเกิดการแยกออกจากน้ำมันพื้นฐานได้มากกว่า ในขณะที่เดียวกัน น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดโดยใช้อัตราส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันหล่อลื่นน้อย ๆ จะมีสีค่อนข้างดำ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้น่าจะมาจากปัจจัย 2 ประการ คือ

1. เนื่องจากในน้ำมันหล่อลื่นจะมีการเติมสารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรก (detergent dispersant additive) ซึ่งทำหน้าที่ชะล้างสิ่งสกปรกออกจากผิวชิ้นส่วนเครื่องจักร และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

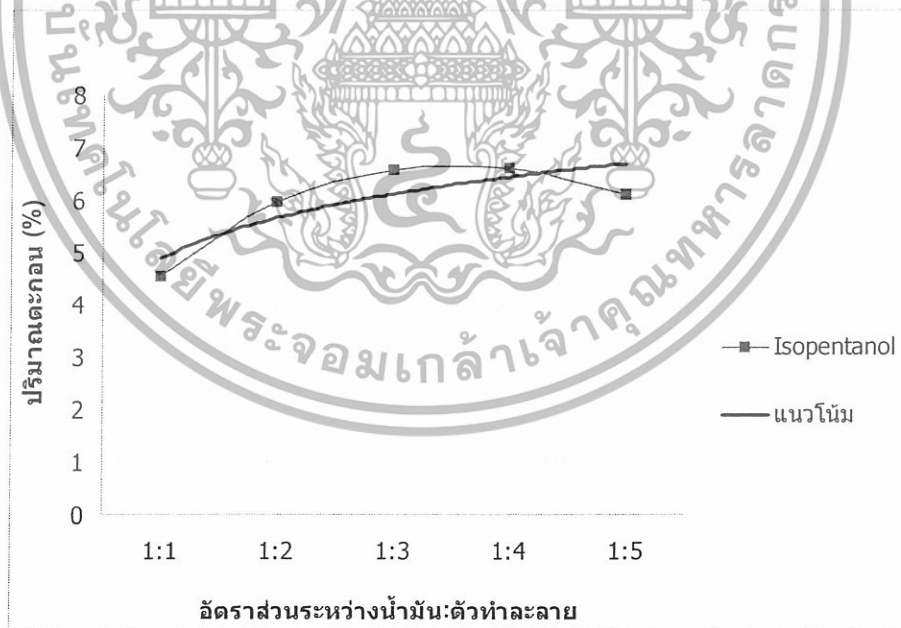
กระจายมิให้รวมตัวเป็น โคลนหรือตะกอน โดยมักเป็นสารประเภทเมทัลซัลเฟต (metallic sulphate) หรือเมทัลฟอสเฟต (metallic phosphate) [11] ดังนั้นสิ่งสกปรกจะแขวนลอยในน้ำมันหล่อลื่นโดยไม่เกิดการตกตะกอน เมื่อเติมตัวทำละลายในปริมาณที่น้อย ตัวทำละลายจะไม่สามารถเข้าไปเจือจางสารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรกเพียงพอที่จะลดความเสถียรของสิ่งสกปรกที่แขวนลอยอยู่ในน้ำมันได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นสิ่งสกปรกจะไม่เกิดการรวมกลุ่มกันได้ทั้งหมดและตกตะกอนลงมา และบางส่วนจะยังคงแขวนลอยอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้ว [12]

2. การรวมกลุ่มของสิ่งสกปรกและตกตะกอนลงมาอาจจะถูกขัดขวาง เนื่องจากผลของความหนืด เมื่อใช้อัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายที่น้อยจะทำให้ความหนืดของน้ำมันที่ผสมตัวทำละลายยังคงค่อนข้างมากอยู่ ดังนั้นสิ่งสกปรกที่รวมกลุ่มและตกตะกอนลงมาจะเป็นไปได้น้อย สิ่งสกปรกเหล่านี้ก็จะปะปนและติดไปกับน้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้ว แต่ถ้าใช้อัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายที่มาก จะทำให้น้ำมันที่ผสมกับตัวทำละลายมีความหนืดลดลงมาก การตกตะกอนของสิ่งสกปรกก็จะเป็นไปได้ง่าย ดังนั้นสิ่งของน้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้วจะใสและมีสิ่งสกปรกแขวนลอยอยู่น้อยมาก [12]

หลังจากจุดที่ได้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งมากที่สุดของแต่ละตัวทำละลาย พบว่าการเพิ่มปริมาณของตัวทำละลายต่อไปจะไม่ช่วยให้สามารถสกัดเอาตะกอนออกมาได้เพิ่มขึ้น อันน่าจะเป็นผลมาจากปริมาณตัวทำละลายนั้นเพียงพอที่จะเจือจางสารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรกซึ่งมีผลทำให้สิ่งสกปรกไม่สามารถแขวนลอยในน้ำมันได้อีกต่อไป โดยสามารถดูแนวโน้มได้จาก รูปที่ 4.7 , 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

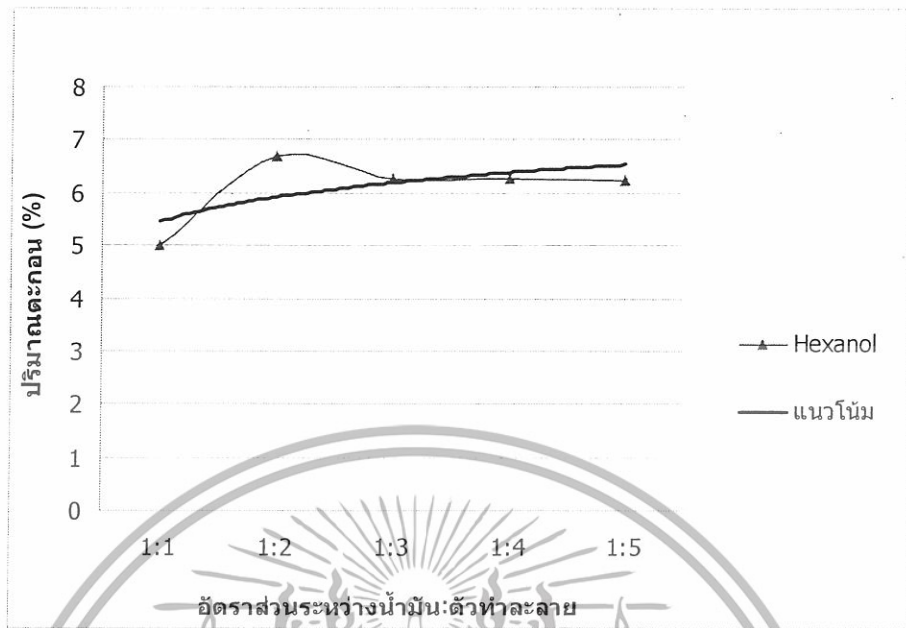


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเพนทานอล



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายไอโซเพนทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตะกอนกับอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเฮกซานอล

ในบางลำดับการทดลองของตัวทำละลายบางชนิดนั้น พบว่าน้ำหนักของตะกอนที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกัน เช่น การสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกซานอลและเพนทานอล การใช้ตัวทำละลายเฮกซานอลในอัตราส่วนเพียง 1:2 สามารถสกัดเอาตะกอนออกมาได้เท่ากับการใช้ตัวทำละลายเพนทานอลในอัตราส่วน 1:5 แต่ในความเป็นจริงแล้วนั้น น้ำมันที่สกัดได้จากตัวทำละลายเฮกซานอล จะมีปริมาณตะกอนปนอยู่ในน้ำมันมากกว่า ซึ่งการที่ได้น้ำหนักตะกอนมากพอๆกับการสกัดด้วยตัวทำละลายเพนทานอลนั้น เป็นผลมาจากการมีส่วนของน้ำมันปนมาในตะกอนที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกซานอลเป็นจำนวนมาก จนทำให้ตะกอนมีลักษณะเป็นครีมขึ้น ยากต่อการทำให้แห้ง น้ำหนักของตะกอนจึงมากกว่าความเป็นจริง

#### 4.4 ผลของชนิดตัวทำละลาย

ตัวทำละลายที่เลือกใช้ในการทดลองนี้เป็นสารประเภทแอลกอฮอล์ ซึ่งได้แก่ เพนทานอล ไอโซเพนทานอล และเฮกซานอล โดยแอลกอฮอล์จัดเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการทำละลายเพื่อสกัดและตกตะกอนได้ดี (extraction-flocculation solvent) เนื่องจากสามารถละลายเข้ากันได้กับน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว ทั้งยังสามารถแยกสิ่งเจือปน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทสารเติมแต่งและอนุภาคแขวนลอยให้เกิดการรวมกลุ่มกันจนมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะเกิดการตกตะกอนลงมาได้ [13]

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งที่ได้จากการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลายเพนทานอลจะมีค่ามากที่สุด ตามด้วยไอโซเพนทานอลและเฮกซานอล ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.2 พบว่าการใช้ตัวทำละลายเพนทานอลในอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเป็น 1:4 โดยปริมาตร ปริมาณตะกอนแห้งที่สกัดได้จะมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับปริมาณตะกอนแห้งที่สกัดได้จากตัวทำละลายไอโซเพนทานอลและเฮกซานอล เนื่องจากโครงสร้างทางเคมีของตัวทำละลายเพนทานอลเป็นสายโซ่ตรงมีหัวคาร์บอนอะตอมในหนึ่งสายโซ่เมื่อเปรียบเทียบกับตัวทำละลายไอโซเพนทานอลซึ่งมีหัวคาร์บอนอะตอมเช่นเดียวกันแต่มีโครงสร้างเป็นสายโซ่กิ่ง และตัวทำละลายเฮกซานอลซึ่งมีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรงเช่นเดียวกับตัวทำละลายเพนทานอลแต่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเท่ากับหก จึงเป็นผลให้ตัวทำละลายเพนทานอลมีความเป็นขั้วสูงที่สุด มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสายโซ่มากที่สุด ทำให้ตัวทำละลายเพนทานอลสามารถดึงเอาตะกอนซึ่งมีขี้มาไว้กับตัวทำละลายดีขึ้น

สำหรับไอโซเพนทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่มีขี้มากกว่าเฮกซานอล เนื่องจากหมู่อัลคิลที่เกาะกับหมู่ไฮดรอกซิลมีจำนวนอะตอมคาร์บอนน้อยกว่า ดังนั้นไอโซเพนทานอลจึงสามารถดึงเอาตะกอนซึ่งมีขี้มาไว้กับตัวทำละลายได้ดีกว่าเฮกซานอล

#### 4.5 ผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

จากผลของการศึกษาอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย สามารถเลือกอัตราส่วนของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายที่ให้เปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งที่มากที่สุดเพื่อนำมาหาผลของการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ได้แบ่งการศึกษาออกเป็นลำดับและได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

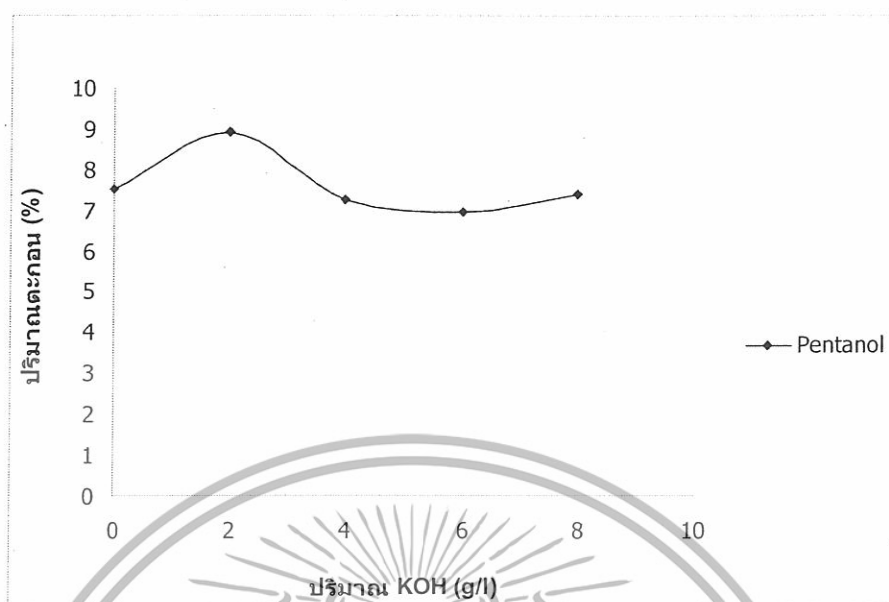
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองหาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เหมาะสม

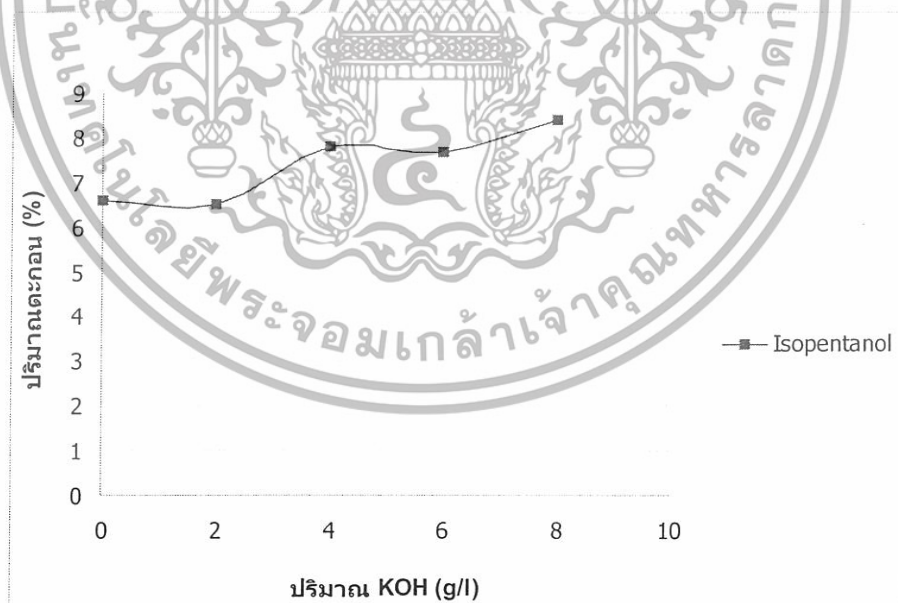
ลำดับที่ การทดลอง	ตัวทำละลาย	อัตราส่วน น้ำมันหล่อลื่นต่อตัว ทำละลายที่เหมาะสม	ปริมาณ KOH (g/L)	ปริมาณตะกอน (%)
1	1-pentanol	1:4	0	7.51
2			2	8.89
3			4	7.23
4			6	6.93
5			8	7.37
1	Isopentanol	1:3	0	6.58
2			2	6.51
3			4	7.81
4			6	7.67
5			8	8.41
1	1-hexanol	1:2	0	6.70
2			2	8.48
3			4	8.63
4			6	9.49
5			8	10.23

เมื่อนำข้อมูลที่ได้อ่านไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ตะกอนแห้งกับปริมาณการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะสามารถทำนายแนวโน้มของปริมาณตะกอนแห้งเมื่อมีการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 , 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

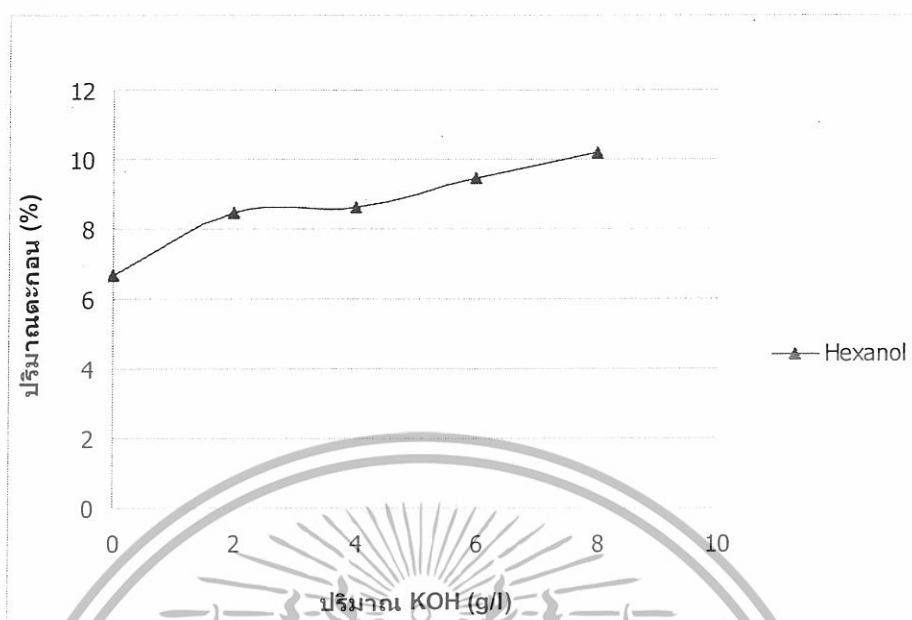


รูปที่ 4.10 ผลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อปริมาณตะกอนที่แยกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เมื่อใช้ตัวทำละลายเพนทานอล



รูปที่ 4.11 ผลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อปริมาณตะกอนที่แยกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เมื่อใช้ตัวทำละลายไอโซเพนทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ผลของปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีต่อปริมาณตะกอนที่แยกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วเมื่อใช้ตัวทำละลายเฮกซานอล

จากกราฟและผลการทดลอง พบว่า ในตัวทำละลายเพนทานอลเมื่อมีการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ในช่วงแรกได้ปริมาณของตะกอนแห้งเพิ่มมากขึ้นและจะค่อยๆ ลดลงจนเริ่มคงที่ แต่ในส่วนของตัวทำละลายไอโซเพนทานอลและเฮกซานอล พบว่าแนวโน้มของตะกอนแห้งที่สามารถตกตะกอนได้จะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อมีการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณมากขึ้น

การตกตะกอนที่เพิ่มขึ้นนี้เป็นผลมาจากโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายในตัวทำละลายและแตกตัวเป็นโพแทสเซียมไอออน และไฮดรอกไซด์ไอออน โดยโพแทสเซียมไอออนที่มีความว่องไวจะเข้าไปจับกับหมู่ซัลเฟตและฟอสเฟตที่เป็นองค์ประกอบของสารชะล้างและกระจายสิ่งสกปรกซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารประกอบประเภทโลหะหนักซัลเฟตหรือโลหะหนักฟอสเฟต ในขณะที่ไฮดรอกไซด์ไอออนจะทำหน้าที่ในการจับกับไอออนของโลหะหนักนี้แทน ตะกอนจึงเกิดการเสียดสีรบกวนในการแขวนลอยรวมตัวเป็นก้อนขนาดใหญ่และตกตะกอนตามแรงโน้มถ่วงของโลกในที่สุด [13]

แต่เมื่อพิจารณาที่ตัวทำละลายเพนทานอล พบว่า ปริมาณตะกอนจะลดลงเมื่อปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้จะเป็นผลมาจากการละลายของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในตัวทำละลายเพนทานอลมีค่าจำกัด หรือละลายได้ไม่คืนกเมื่อเทียบกับตัวทำละลายไอโซเพน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทานอลและเฮกซานอล ดังนั้นเมื่อการละลายของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ถึงจุดอิ่มตัวแล้วการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นจึงไม่มีผลต่อการตกตะกอนเพิ่มอีก

จากผลการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย และปริมาณการเติมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ทำให้สามารถเลือกสภาวะที่จะใช้ในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว เพื่อนำไปทำการผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลได้ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

ตัวทำละลาย	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วต่อตัวทำละลาย (โดยปริมาตร)	ปริมาณ KOH (g/L)
1-pentanol	1:4	2
Isopentanol	1:3	8
1-hexanol	1:2	8

#### 4.6 ผลของกรรมผสมน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดเข้ากับน้ำมันดีเซล

ในการทดลองนี้จะทำการผสมน้ำมันหล่อลื่นที่ได้จากการสกัดเข้ากับน้ำมันดีเซลในปริมาณต่างๆ และทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพที่มองเห็นด้วยตาเปล่า และ สมบัติพื้นฐานที่สำคัญของน้ำมันที่ทำการผสม ดังนี้

- ความหนืด (viscosity)
- จุดวาบไฟ (flash point)
- ค่าความร้อน (heating value)

การเทียบมาตรฐานของน้ำมันผสมจะทำการเทียบกับค่าตามกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน ซึ่งกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล ไว้ดังตารางที่ 4.5

##### 4.6.1 ลักษณะทางกายภาพที่มองเห็นด้วยตาเปล่าของน้ำมันผสม

หลังจากที่ทำการผสมน้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้วแต่ละชนิดเข้ากับน้ำมันดีเซล พบว่าน้ำมันผสมมีเข้มนตามสีของน้ำมันที่สกัดแล้วโดยความเข้มนยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือ มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 5 แต่ค่าที่ได้นี้ใช้ได้กับเครื่องยนต์หมุนช้าเท่านั้น เนื่องจากค่าที่กำหนดของกรมธุรกิจพลังงานสำหรับน้ำมันดีเซลหมุนช้ามีค่าระหว่าง 4.5 - 7.5 หลังจากตั้งทิ้งไว้ประมาณ 5-7 วัน พบว่าน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายไอโซเพนทานอลและเฮกซานอล ไม่ว่าจะเป็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราส่วนใดๆก็ตาม ได้เกิดการแยกชั้นออกจากน้ำมันดีเซลอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งผลที่เกิดขึ้นนี้อาจจะมาจากสมบัติในการเข้ากันได้ของน้ำมันทั้งสองชนิด ทำให้เกิดการแยกชั้นของน้ำมันทั้งสองชั้น

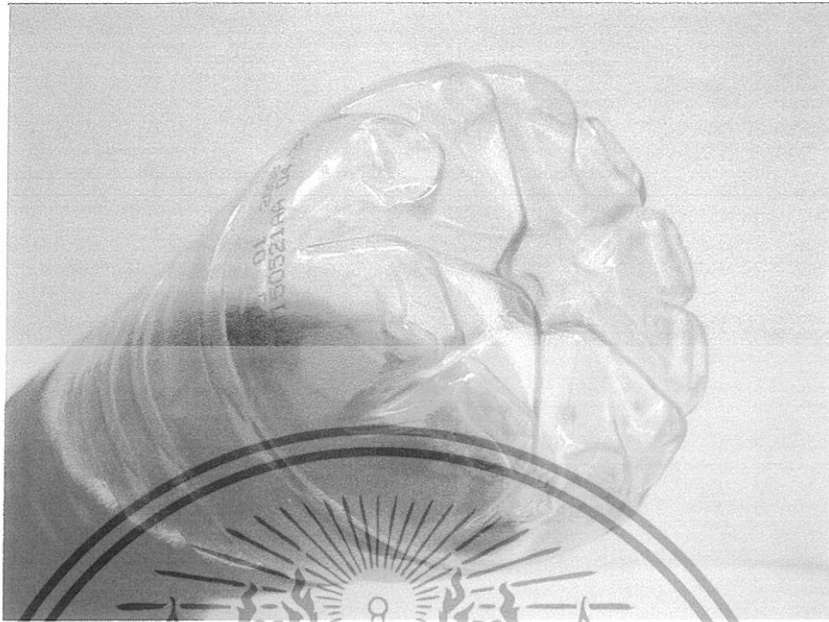


รูปที่ 4.13 การแยกชั้นของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยไอโซเพนทานอล



รูปที่ 4.14 การแยกชั้นของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกซานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 การแยกชั้นของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเพนทานอล

ส่วนน้ำมันที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเพนทานอล พบว่าเข้ากันได้ดีในทุกๆ อัตราส่วน ไม่เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันทั้งสองชนิด ดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 กำหนดของกรมธุรกิจพลังงานซึ่งกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันดีเซล

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ	น้ำมันดีเซล		วิธีทดสอบ
			หมุนเร็ว	หมุนช้า	
1	ความถ่วงจำเพาะ ณ อุณหภูมิ 15.6/15.6 °C (Specific Gravity at 15.6/15.6 °C)	ไม่ต่ำกว่า ไม่สูงกว่า	0.81 0.87	- 0.920	ASTM D 1298
2	จำนวนซีเทน (Cetane Number) หรือ ดัชนีซีเทน (Calculated Cetane Index)	ไม่ต่ำกว่า	47	45	ASTM D 613 ASTM D 976
3	ความหนืด (เซนติสโตกส์) (Viscosity, cSt.) 3.1 ณ อุณหภูมิ 40 °C (at 40 °C) 3.2 ณ อุณหภูมิ 50 °C (at 50 °C)	ไม่ต่ำกว่า ไม่สูงกว่า ไม่ต่ำกว่า ไม่สูงกว่า	1.8 4.1 - -	- 8.0 - 6.0	ASTM D 445
4	จุดไหลเท (°C) (Pour Point, °C)	ไม่สูงกว่า	10	16	ASTM D 97
5	ปริมาณกากถ่าน (ร้อยละโดยน้ำหนัก) (Carbon Residue, %wt)	ไม่สูงกว่า	0.05	-	ASTM D 189
6	ปริมาณน้ำและตะกอน (ร้อยละโดยปริมาตร) (Water and Sediment, %vol)	ไม่สูงกว่า	0.05	0.3	ASTM D 2709
7	จุดวาบไฟ (°C) (Flash Point, °C)	ไม่ต่ำกว่า	52	52	ASTM D 93
8	การกลั่น (°C) (Distillation, °C) อุณหภูมิของส่วนที่กลั่นได้โดยปริมาตรในอัตรา ร้อยละเก้าสิบ (90% Recovered)	ไม่สูงกว่า	357	-	ASTM D 86
9	สี (Colour)	ไม่ต่ำกว่า ไม่สูงกว่า	- 4.0	4.5 7.5	ASTM D 1500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6.2 ความหนืดของน้ำมันผสม

จากการวัดค่าความหนืดของน้ำมันผสม ที่อุณหภูมิ 40 °C จะได้ผลดังตารางที่ 4.6 และเมื่อนำข้อมูลไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดแล้วต่อ น้ำมันดีเซล จะได้กราฟดังรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.6 ค่าความหนืดของน้ำมันผสม ที่อุณหภูมิ 40 °C

ลำดับที่	ตัวทำละลายที่ใช้สกัด น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดแล้ว ต่อน้ำมันดีเซล (โดยปริมาตร)	ค่าความหนืด (cSt)
1	1-pentanol	5:95	3.797
2		7:93	4.017
3		9:91	4.209
4		10:90	4.341
5		15:85	4.875
6		20:80	5.568
1	Isopentanol	5:95	3.829
2		7:93	3.940
3		9:91	4.187
4		10:90	4.316
5		15:85	4.849
6		20:80	5.600
1	1-hexanol	5:95	3.851
2		7:93	4.056
3		9:91	4.292
4		10:90	4.343
5		15:85	4.994
6		20:80	5.697
Diesel (ชนิดหมุนเร็ว)			3.301
น้ำมันที่สกัดได้จาก 1-pentanol			9.135
น้ำมันที่สกัดได้จาก Isopentanol			9.674
น้ำมันที่สกัดได้จาก 1-hexanol			10.284

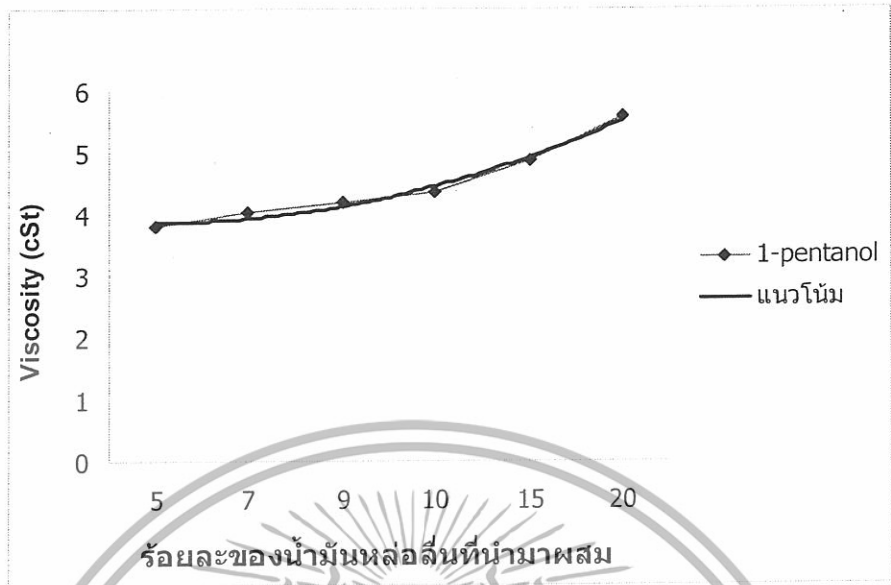
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลของค่าความหนืดพบว่าค่าความหนืดของน้ำมันผสมจะเป็นไปตามค่าความหนืดของน้ำมันที่มีความหนืดสูงกว่า ดังรูปที่ 4.16 , 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ กล่าวคือน้ำมันผสมจะมีความหนืดมากขึ้นเมื่อมีการผสมน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้วเพิ่มขึ้น โดยเมื่อเติมน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้วในช่วง 5-7 % โดยปริมาตร พบว่าความหนืดของน้ำมันผสมจะอยู่ในช่วงความหนืดของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (1.8-4.1 cSt) ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว เช่น รถยนต์ เป็นต้น และเมื่อเติมน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้วในช่วง 9-20 % โดยปริมาตร พบว่าความหนืดของน้ำมันผสมจะมากขึ้น โดยอยู่ในช่วงของความหนืดของน้ำมันดีเซลหมุนช้า (ไม่สูงกว่า 8) ซึ่งเหมาะที่จะนำไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า เช่น รถบรรทุก เครื่องสูบน้ำ เป็นต้น

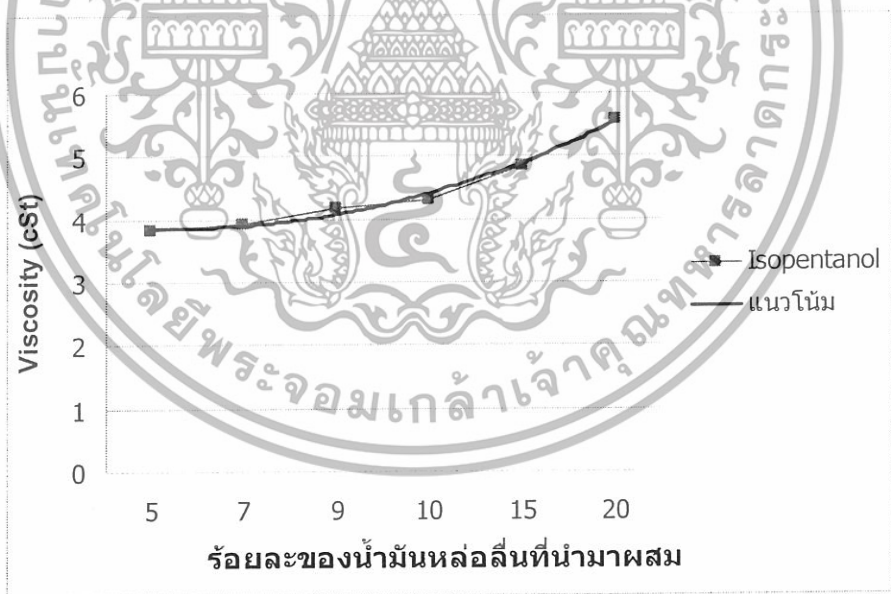


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดแล้วต่อน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

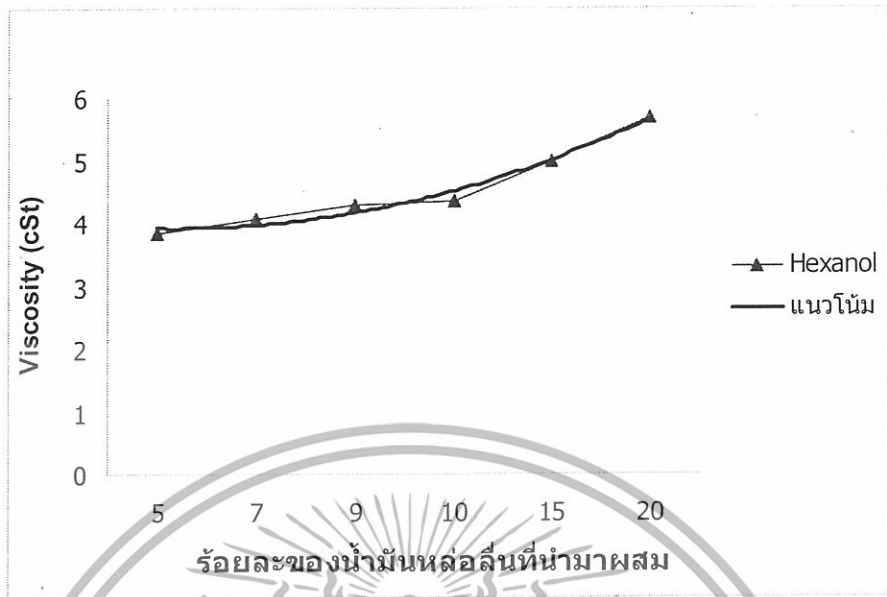


รูปที่ 4.17 แนวโน้มค่าความหนืดของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเพนทานอล



รูปที่ 4.18 แนวโน้มค่าความหนืดของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยไอโซเพนทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แวนโธล์ค่าความหนืดของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกซานอล

#### 4.6.3 จุดวาบไฟของน้ำมันผสม

การหาจุดวาบไฟของตัวอย่างน้ำมันผสม ใช้เครื่อง ISL FP 935G2 ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4.7 จากตารางจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลที่นำมาผสมมีค่าเท่ากับ  $69.5^{\circ}\text{C}$  และจากกำหนดของกรมธุรกิจพลังงานที่ให้จุดวาบไฟของน้ำมันดีเซลมีค่าไม่ต่ำกว่า  $52^{\circ}\text{C}$  นั้น ทำให้สามารถบอกได้ว่าน้ำมันผสมทุกตัวมีความปลอดภัย ยกเว้น น้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยไอโซเพนทานอล ในอัตราส่วน 20:80 ซึ่งมีจุดวาบไฟที่ต่ำกว่ากำหนด

ตารางที่ 4.7 จุดวาบไฟของน้ำมันผสม

ลำดับที่	ตัวทำละลายที่ใช้สกัด น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดแล้ว ต่อน้ำมันดีเซล (โดยปริมาตร)	จุดวาบไฟ (°C)
1	1-pentanol	5:95	70.0
2		7:93	72.0
3		9:91	70.0
4		10:90	71.0
5		15:85	69.0
6		20:80	69.0
1	Isopentanol	5:95	57.5
2		7:93	54.5
3		9:91	65.5
4		10:90	66.5
5		15:85	64.5
6		20:80	48.5
1	1-hexanol	5:95	70.5
2		7:93	69.5
3		9:91	70.5
4		10:90	70.5
5		15:85	70.5
6		20:80	70.5
Diesel			69.5

จากรูปที่ 4.20 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจุดวาบไฟกับปริมาณของน้ำมันที่ผ่านการสกัดแล้วนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล จากข้อมูลที่ได้ พบว่าจุดวาบไฟของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเพนทานอลและเฮกซานอลค่อนข้างคงที่ ส่วนน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยไอโซเพนทานอลมีแนวโน้มลดลง ดังรูปที่ 4.21 , 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ

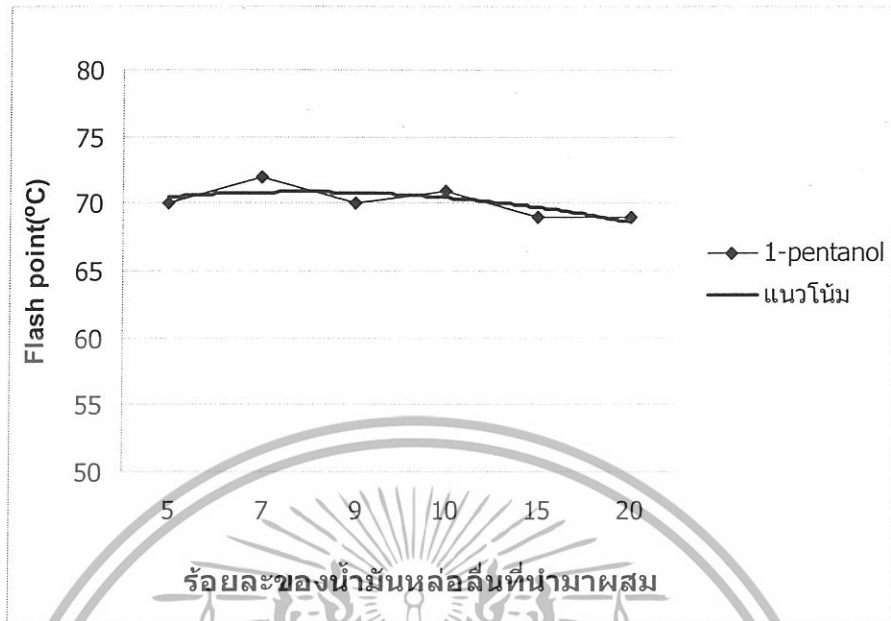
จุดวาบไฟของน้ำมันผสมมีค่าใกล้เคียงกับจุดวาบไฟของน้ำมันดีเซล เพราะจุดวาบไฟ คือ อุณหภูมิแรกที่น้ำมันผสมเกิดการวาบไฟ ซึ่งน้ำมันผสมมีส่วนผสมหนึ่งเป็นน้ำมันดีเซล มีจุดวาบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟต่ำกว่าน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้ว ดังนั้นเมื่อถึงอุณหภูมิที่น้ำมันดีเซลเกิดการวาวไฟ น้ำมันผสมจึงเกิดการวาวไฟได้ แต่จากผลการทดลองพบว่าน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายไอโซเพนทานอลจุดวาวไฟมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการกลั่นเอาตัวทำละลายออกมาได้ไม่หมด ทำให้ในน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้วยังคงมีตัวทำละลายตกค้างอยู่ ซึ่งจุดวาวไฟของตัวทำละลายไอโซเพนทานอลมีค่าต่ำกว่าจุดวาวไฟของน้ำมันดีเซล คือ มีค่าเท่ากับ  $30^{\circ}\text{C}$  [6] ดังนั้น เมื่อถึงอุณหภูมิที่ตัวทำละลายไอโซเพนทานอลวาวไฟได้น้ำมันผสมจึงเกิดการวาวไฟขึ้น



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างจุดวาวไฟกับปริมาณของน้ำมันที่สกัดแล้วนำมาผสมกับน้ำมันดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

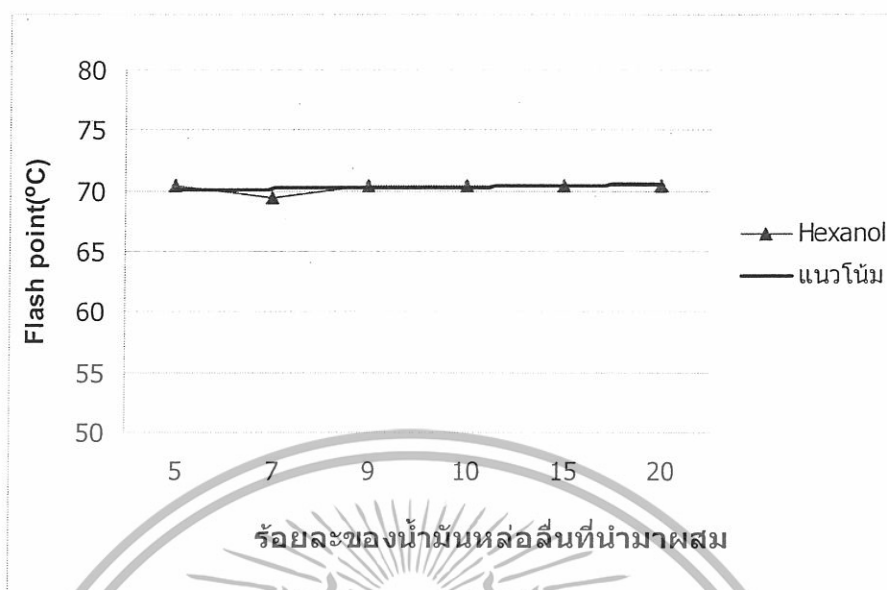


รูปที่ 4.21 แนวโน้มจุดวาบไฟของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเพนทานอล



รูปที่ 4.22 กราฟแสดงแนวโน้มจุดวาบไฟของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยไอโซเพนทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงแนวโน้มจุดวาบไฟของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกซานอล

#### 4.6.4 ผลของการหาค่าความร้อน

จากตารางที่ 4.8 และภาคผนวก แสดงค่าความร้อนของน้ำมันผสม พบว่า ค่าความร้อนของน้ำมันผสมมีค่าสูงกว่าค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล แม้ว่าค่าความร้อนของน้ำมันหล่อลื่นมีค่าต่ำกว่าน้ำมันดีเซลเล็กน้อย แต่เมื่อน้ำมันหล่อลื่นได้รับความร้อน จะเกิดการเผาไหม้และคายความร้อนออกมา เสริมกับความร้อนที่น้ำมันดีเซลคายออกมา ส่งผลให้น้ำมันผสมมีค่าความร้อนสูงขึ้น แต่เมื่อปริมาณน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้วในน้ำมันผสมเพิ่มขึ้น กลับส่งผลให้ค่าความร้อนของน้ำมันผสมมีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากระยะเวลาในการจุดระเบิดที่แตกต่างกันของน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้วกับน้ำมันดีเซล ทำให้ตำแหน่งในการจุดระเบิดของน้ำมันผสมมีหลายตำแหน่ง แรงระเบิดที่เกิดขึ้นจึงส่งผลหักล้างกันเอง ค่าความร้อนของน้ำมันผสมจึงลดลง[14]

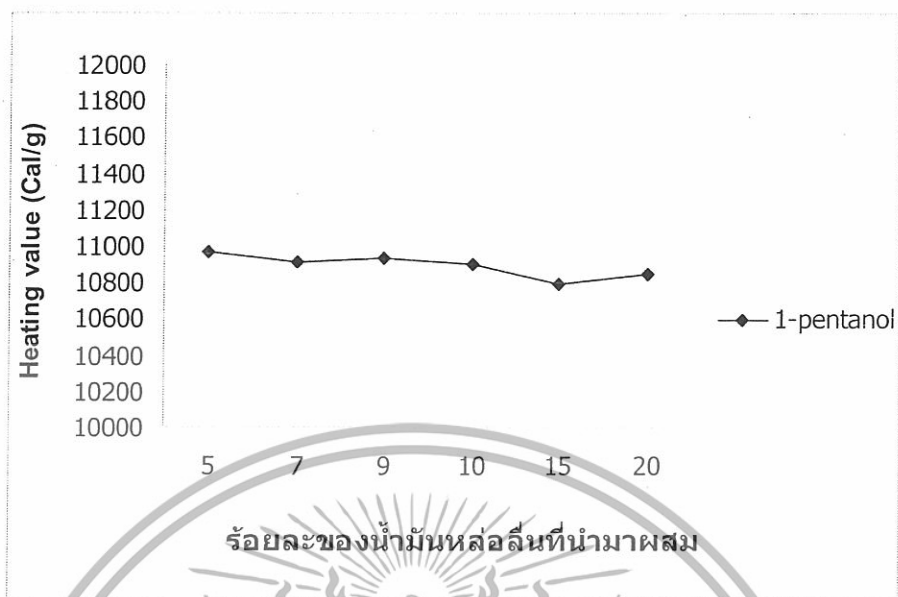
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าความร้อนของน้ำมันผสม

ลำดับที่	ตัวทำละลายที่ใช้สกัด น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดแล้ว ต่อน้ำมันดีเซล (โดยปริมาตร)	ค่าความร้อน (Cal/g)
1	1-pentanol	5:95	10964.009
2		7:93	10914.929
3		9:91	10937.135
4		10:90	10897.161
5		15:85	10791.894
6		20:80	10847.062
1	Isopentanol	5:95	10876.947
2		7:93	10821.416
3		9:91	10897.487
4		10:90	10811.061
5		15:85	10765.461
6		20:80	10687.678
1	1-hexanol	5:95	10930.186
2		7:93	10839.510
3		9:91	10790.299
4		10:90	10895.292
5		15:85	10834.343
6		20:80	10790.756
Diesel oil (ชนิดหมุนเร็ว)			10799.794

ค่าความร้อนของน้ำมันผสมแต่ละชนิดจะมีค่าค่อนข้างคงที่ แม้ว่าจะมีการเพิ่มปริมาณการผสมน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปมากขึ้นก็ตาม ดังแสดงในรูปที่ 4.24 , 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

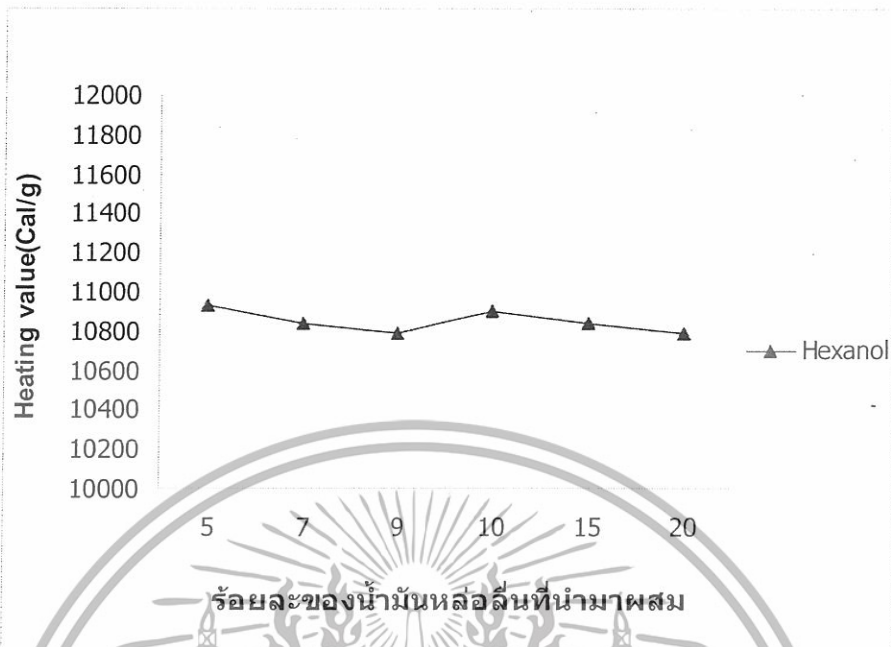


รูปที่ 4.24 ค่าความร้อนของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเพนทานอล



รูปที่ 4.25 ค่าความร้อนของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยไอโซเพนทานอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ร้อยละของน้ำมันหล่อลื่นที่นำมาผสม

รูปที่ 4.26 ค่าความร้อนของน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยเฮกซานอล

#### 4.7 สภาพที่เหมาะสม

จากผลการทดลองที่ได้ พบว่าสภาพที่เหมาะสมในการสกัดตะกอนออกจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว คือ การใช้ตัวทำละลายเพนทานอล ในอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเป็น 1:4 โดยปริมาตร ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติม คือ 2 กรัมต่อลิตร และน้ำมันผสมที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากที่สุด มีอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการสกัดแล้วต่อน้ำมันดีเซลเป็น 5:95 โดยปริมาตร ซึ่งมีค่าความหนืด 3.797 cSt จุดวาบไฟ 70.0 °C และมีค่าความร้อน 10964.009 แคลอรีต่อกรัม จัดว่าเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์การใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดตะกอนออกจาก น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วด้วยตัวทำละลาย เพื่อให้ได้มาซึ่งน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สามารถนำกลับมา ผสมกับน้ำมันดีเซลและสามารถนำไปใช้ได้ตามเกณฑ์การใช้งาน โดยตัวทำละลายที่ใช้มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่ เพนทานอล ไอโซเพนทานอล และเฮกซานอล จากการทดลองพบว่าในการสกัดโดยใช้ตัวทำละลายต่างชนิดกันจะใช้สภาวะที่แตกต่างกัน เพื่อให้เกิดการตกตะกอนในปริมาณมากที่สุด ดังนี้

1. ตัวทำละลายเพนทานอล อัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเป็น 1:4 โดยปริมาตร ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติม คือ 2 กรัมต่อลิตร
2. ตัวทำละลายไอโซเพนทานอล อัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลาย เป็น 1:3 โดยปริมาตร ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติม คือ 8 กรัมต่อลิตร
3. ตัวทำละลายเฮกซานอล อัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเป็น 1:2 โดยปริมาตร ปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่เติม คือ 8 กรัมต่อลิตร

น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่สกัด ได้นำมาผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่น พื้นฐานต่อน้ำมันดีเซลเป็น 5:95, 7:93, 9:91, 10:90, 15:85 และ 20:80 เมื่อนำไปทดสอบคุณสมบัติ ต่าง ๆ ได้แก่ ความหนืด จุดวาบไฟ และค่าความร้อน พบว่าน้ำมันผสมที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำ ละลายต่างชนิดกันจะให้สมบัติที่แตกต่างกัน เป็นดังนี้

1. เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายเพนทานอล ทุกอัตราส่วนให้ค่าความหนืดที่อยู่ในเกณฑ์การ ใช้งานตามกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน โดยอัตราส่วน 5:95 และ 7:93 มีค่าอยู่ใน ช่วงการใช้งานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ส่วนอัตราส่วน 9:91, 10:90, 15:85 และ 20:80 มีค่าอยู่ในช่วงการใช้งานของน้ำมันดีเซลหมุนช้า ในส่วนของจุดวาบไฟ พบว่า ทุกอัตราส่วนมีจุดวาบไฟสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด สำหรับค่าความร้อน พบว่า ในทุก อัตราส่วนให้ค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันดีเซล
2. เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายไอโซเพนทานอล ทุกอัตราส่วนให้ค่าความหนืดที่อยู่ใน เกณฑ์การใช้งานตามกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน โดยอัตราส่วน 5:95 และ 7:93 มี ค่าอยู่ในช่วงการใช้งานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ส่วนอัตราส่วน 9:91, 10:90, 15:85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 20:80 มีค่าอยู่ในช่วงการใช้งานของน้ำมันดีเซลหมุนช้า ในส่วนของจุดควบไพบว่าทุกอัตราส่วน มีจุดควบไพบสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด ยกเว้นอัตราส่วน 20:80 สำหรับค่าความร้อน พบว่า ในทุกอัตราส่วนให้ค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ยกเว้นสองอัตราส่วนสุดท้าย คือ 15:85 และ 20:80 ที่มีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

3. เมื่อสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกซานอล ทุกอัตราส่วนให้ค่าความหนืดที่อยู่ในเกณฑ์การใช้งานตามกำหนดของกรมธุรกิจพลังงาน โดยอัตราส่วน 5:95 และ 7:93 มีค่าอยู่ในช่วงการใช้งานของน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว ส่วนอัตราส่วน 9:91, 10:90, 15:85 และ 20:80 มีค่าอยู่ในช่วงการใช้งานของน้ำมันดีเซลหมุนช้า ในส่วนของจุดควบไพบว่าทุกอัตราส่วน มีจุดควบไพบสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด สำหรับค่าความร้อน พบว่า ในทุกอัตราส่วนให้ค่าความร้อนสูงกว่าน้ำมันดีเซล ยกเว้นอัตราส่วน 9:91 และ 20:80 ที่มีค่าความร้อนต่ำกว่าน้ำมันดีเซล

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้มา สามารถสรุปได้ว่า ตัวทำละลายที่เหมาะสมสำหรับการสกัดน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว คือ ตัวทำละลายเพนทานอล ในอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วต่อตัวทำละลายเป็น 1:4 และมีปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 2 กรัมต่อลิตร ทำให้สามารถสกัดตะกอนออกมาได้มากที่สุด โดยน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานที่ได้เมื่อนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงผสม ในอัตราส่วนระหว่างน้ำมันหล่อลื่นที่สกัดได้น้ำมันดีเซล เท่ากับ 5:95 จะทำให้น้ำมันผสมที่ได้มีคุณสมบัติทางด้านความหนืด จุดควบไพบ และค่าความร้อน อยู่ในเกณฑ์การใช้งานมากที่สุด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรจะทดสอบคุณสมบัติของน้ำมันดีเซลอื่นๆ เช่น ดีเซลซีเทน จุดไหลเท ปริมาณกำกวน ค่าการกลั่น หรือสี เพื่อให้เหมาะแก่การนำไปใช้งานและได้ผลการทดลองที่ถูกต้องมากขึ้น
2. ศึกษาตัวทำละลายมีขั้วชนิดอื่นๆ เช่น คีโตน เอสเทอร์ เป็นต้น
3. น้ำมันผสมที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายไอโซเพนทานอลและเฮกซานอล เมื่อผ่านไปเป็นเวลา 5-7 วัน จะเกิดการแยกชั้นของน้ำมันผสมอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นอาจต้องมีการเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป (surfactant)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Amir Mohsen Mofidi and Mohsen Edalat. **A simplified thermodynamic modeling procedure for predicting asphaltene precipitation**, Fuel 85 .2006, 2616-2621
- [2] น้ำมันหล่อลื่น, 2003 [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
[http://www.google.com/search?q=cache:\\_jEniQF8kbsJ:www.lampangtc.ac.th/~auto/oil.htm&hl=th&lr=&strip=0](http://www.google.com/search?q=cache:_jEniQF8kbsJ:www.lampangtc.ac.th/~auto/oil.htm&hl=th&lr=&strip=0)
- [3] น้ำมันหล่อลื่น, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
[http://www.pttplc.com/th/ptt\\_core.asp?page=ps\\_pr\\_oil](http://www.pttplc.com/th/ptt_core.asp?page=ps_pr_oil)
- [4] สารพันเรื่องราว เกี่ยวกับ น้ำมันหล่อลื่น น้ำมันเครื่อง, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
<http://www.sgll.com/>
- [5] ข้อมูล 1-pentanol, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
<http://de.wikipedia.org/wiki/1-Pentanol>  
<http://en.wikipedia.org/wiki/Pentanol>
- [6] ข้อมูล isopentanol, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
<http://www.chemexper.com/index.shtml?main=http://www.chemexper.com/search/cas/598-75-4.html>
- [7] ข้อมูล 1-hexanol, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Hexanol>  
[http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/products/icsc/dtasht/\\_icsc10](http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/products/icsc/dtasht/_icsc10)  
<http://ptcl.chem.ox.ac.uk/~hmc/hsci/chemicals/1-hexanol.html>
- [8] Jesusa Rincon , Pablo Canizares , Maria Teresa Garcia and Ignacio Gracia.  
**Regeneration of Used Lubricant Oil by Propane Extraction** , Ind. Eng. Chem. Res. 42. 2003, 4867 -4873.
- [9] Jesusa Rincon , Pablo Canizares and Maria Teresa Garcia. **Regeneration of Used Lubricant Oil by Polar Solvent Extraction** , Ind. Eng. Chem. Res. 44. 2005, 4373 -4379.
- [10] Jesusa Rincon , Pablo Canizares and Maria Teresa Garcia. **Waste Oil Recycling Using Mixtures of Polar Solvents** , Ind. Eng. Chem. Res. 44. 2005, 7854 – 7859.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [11] ช้าง โชตะมังสะ และสุจิตต์ สมองคุณ. เชื้อเพลิงและวัสดุหล่อลื่น, สำนักพิมพ์เม็ดทราย กรุงเทพฯ
- [12] Jesusa Rincon, Pablo Canizares and Maria Teresa Garcia, **Regeneration of Used Lubricating Oil by Polar Solvent Extraction**, Ind. Eng. Chem. Res. 44. 2005, 4373-4379.
- [13] M.Alves dos Reis and M.Silva Jeronimo, **Waste Lubricating Oil Rerefining by Extraction-Flocculation. 1. A Scientific Basis To Design Efficient Solvents**, Ind. Eng. Chem. Res. 27. 1988, 1222-1228.
- [14] Galen J. Suppes and Mohanprasad A. Dasari, **Synthesis and Evaluation of Alkyl Nitrates from Triglycerides as Cetane Improvers**, Ind. Eng. Chem. Res. 42. 2003, 5042-5053.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางแสดงผลการทดลองหาค่าความร้อน

ตัวทำละลายที่ใช้ สกัด	อัตราส่วนน้ำมันหล่อลื่นที่ สกัดแล้วต่อน้ำมันดีเซล	น้ำหนักทดสอบ (g)	ค่าความร้อน (Cal/g)
1-pentanol	5:95	0.5027	10964.009
	7:93	0.5201	10914.929
	9:91	0.5077	10937.135
	10:90	0.5161	10897.161
	15:85	0.5127	10791.894
	20:80	0.5012	10847.062
Isopentanol	5:95	0.5033	10876.947
	7:93	0.5072	10821.416
	9:91	0.5183	10897.487
	10:90	0.5168	10811.061
	15:85	0.5244	10765.461
	20:80	0.5179	10687.678
1-hexanol	5:95	0.5109	10930.186
	7:93	0.5147	10839.510
	9:91	0.5253	10790.299
	10:90	0.5223	10895.292
	15:85	0.5197	10834.343
	20:80	0.5177	10790.756
Diesel oil		0.5015	10799.794

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้