

ปัจจัยการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องกึ่งสังเคราะห์สำหรับเครื่องยนต์แก๊ซอลีน-ซีเอ็นจี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ สาขาวิชาปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEGRADATION FACTORS OF SEMI-SYNTHETIC LUBRICANT OIL FOR GASOLINE-CNG
ENGINE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Petrochemistry and Polymer Science
Field of Study of Petrochemistry and Polymer Science
FACULTY OF SCIENCE
Chulalongkorn University
Academic Year 2021
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัจจัยการเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องกึ่งสังเคราะห์สำหรับ เครื่องยนต์แก๊ซอลีน-ซีเอ็นจี
โดย	น.ส.กณิกนันต์ ถิ่นพฤษ์งาม
สาขาวิชา	ปิโตรเคมีและวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุคคณิศ ตุงคะสมิต
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงกมล ตุงคะสมิต

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต งามจรัสศรีวิชัย)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุคคณิศ ตุงคะสมิต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงกมล ตุงคะสมิต)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ ชวศิริ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.พงศ์ชาติ บุรณะประเสริฐสุข)

6272029023 : MAJOR PETROCHEMISTRY AND POLYMER SCIENCE

KEYWORD:

Kanikanon Thinpruekgam : DEGRADATION FACTORS OF SEMI-SYNTHETIC LUBRICANT OIL FOR GASOLINE-CNG ENGINE. Advisor: Asst. Prof. SUKKANESTE TUNGASMITA, Ph.D. Co-advisor: Asst. Prof. Duangamol Tungasmita, Ph.D.

Compressed natural gas (CNG) as alternative energy has gained attention in public transport. The CNG is clean energy, high octane, and less expensive than other fuels and can be operated in a dual-fuel engine system. This research studied various factors that affect the degradation of semi-synthetic engine lubricants for the gasoline-CNG engine. Samples were collected by distances. The lubricant oil analysis was conducted based on various ASTM methods. The kinematic viscosity (KV) analysis is an important property of Lubricant oil. It was measured at the temperatures of 40 and 100 °C. At 100 °C, the KV decreased from the heating phase, causing the intramolecular bonds to break, making the oil film thinner and leading to a catalytic oxidation reaction. The Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy showed that the lubricants undergo chemical changes in their properties due to the increasing of the carbonyl functional (C=O) concentration by oxidation product. The result indicated increased acid content and KV. It affects the corrosion of the internal engine parts. The total base number analysis indicates the cleaning agent performance of the lubricant. It was found that at the distance over 15,000 km, the concentration of alkaline additive reduces half the amount of additive. This demonstrated that additives have been degraded from contaminations, such as dirt, water, metal, and soot.

Field of Study: Petrochemistry and
Polymer Science

Student's Signature

Academic Year: 2021

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุกคณิศ ตุงคะสมิต และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ดวงกมล ตุงคะสมิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆตั้งแต่ต้นจนเสร็จสมบูรณ์ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ขวลิต งามจรัสศรีวิชัย ประธานสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรินทร์ ชวศิริ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ดร.พงศ์ชาติ บุรณะประเสริฐสุข กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่ได้ให้เกียรติมาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์รวมถึงให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยฉบับนี้ตลอดมาและขอขอบพระคุณ นายวันเฉลิม ศรีระชาต ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเตรียมตัวอย่างและให้คำแนะนำเกี่ยวกับข้อมูลในการทำวิจัยฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้ศึกษาขอขอบคุณประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยฉบับนี้ให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านและขอขอบพระคุณแหล่งข้อมูลที่ผู้ศึกษาได้ใช้ในการอ้างอิง อาทิเช่น บทความ วารสาร และเจ้าของทฤษฎีต่างๆในงานวิจัยที่นำมาอ้างอิงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....ค	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง	ง
กิตติกรรมประกาศ.....จ	จ
สารบัญ.....ฉ	ฉ
สารบัญตาราง.....ณ	ณ
สารบัญรูปภาพ.....ญ	ญ
บทที่ 1..... 1	1
1.1. มूलเหตุจูงใจ..... 1	1
1.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 1	1
1.2. วัตถุประสงค์..... 3	3
1.3. ขอบเขตงานวิจัย..... 3	3
1.4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 3	3
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4	4
บทที่ 2..... 5	5
2.1. น้ำมันหล่อลื่น..... 5	5
2.2. ชนิดของน้ำมันหล่อลื่น..... 5	5
2.3. มาตรฐานการแบ่งเกรดของน้ำมันหล่อลื่น (Grade of lubricant oil)..... 6	6
2.3.1 The Society of Automotive Engineers (SAE)..... 8	8
2.3.2. American Petroleum institute (API)..... 9	9
2.3.3. Japanese Automobile Standard Organization (JASO)..... 11	11

2.3.4. International committee for the standardization and approbation of motor oil (ILSAC).....	11
2.4. กระบวนการทำงานของเชื้อเพลิงแก๊ซโซลีน-ซีเอ็นจี	11
2.5. กระบวนการทำงานระบบควบคุมเชื้อเพลิงแก๊ซธรรมชาติและแก๊ซโซลีน	12
2.6. ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น.....	14
2.7. ปัญหาที่เกิดจากการใช้น้ำมันหล่อลื่นที่เสื่อมคุณภาพ.....	16
2.8. การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น [25]	17
บทที่ 3	21
3.1. เครื่องมือและอุปกรณ์ดำเนินงานวิจัย.....	21
3.2. สารเคมี.....	21
3.3. การดำเนินงานวิจัย.....	22
3.3.1. การเตรียมตัวอย่างและเก็บตัวอย่าง	22
3.3.2. การวิเคราะห์ค่าความหนืด Kinematic viscosity (D 445).....	23
3.3.3. การวิเคราะห์ปริมาณค่าความเป็นด่าง Total base number (D 4739)	23
3.3.4. การวิเคราะห์ปริมาณกรด Total acid number (D664)	24
3.3.5. การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเดชันและไนเตรชันด้วยเทคนิค FTIR.....	26
3.3.6. การวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่ง (additive content) ด้วยเทคนิค ICP-OES.....	27
3.3.7 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะปนเปื้อน (Wear metal) ด้วยเครื่อง ICP-OES.....	28
บทที่ 4	30
4.1 การวิเคราะห์ค่าความหนืดจลนศาสตร์ (Kinematic viscosity).....	30
4.2. การวิเคราะห์ปริมาณเบส (TBN).....	32
4.3. การวิเคราะห์ปริมาณกรด (TAN).....	33
4.4. การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเดชันและไนเตรชัน.....	35
4.5. การวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่ง.....	38

4.6. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะสีกหรือ	41
บทที่ 5	43
5.1 สรุปผลการทดลอง	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	44
คำถาม.....	45
บรรณานุกรม	49
ประวัติผู้เขียน	54



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ตารางแสดงเบอร์ความหนืดของน้ำมันที่อุณหภูมิเขตหนาว [12].....	7
ตารางที่ 2 ตารางแสดงเบอร์ความหนืดของน้ำมันที่อุณหภูมิเขตร้อน [12].....	8
ตารางที่ 3 ตารางแสดงมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นแกโซลีนอ้างอิงตามเกณฑ์ API [13].....	9
ตารางที่ 4 ตารางแสดงมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นดีเซลอ้างอิงตามเกณฑ์ API [13].....	10
ตารางที่ 5 ตารางแสดงมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นดีเซลอ้างอิงตามเกณฑ์ ILSAC [15].....	11
ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ [2], [20].....	14
ตารางที่ 7 ช่วงความยาวคลื่นของธาตุ [31].....	20
ตารางที่ 8 น้ำหนักการชั่งตัวอย่างของปริมาณกรด.....	25
ตารางที่ 9 ตารางแสดงช่วงการดูดกลืนคลื่นแสง.....	26
ตารางที่ 10 การเตรียมความเข้มข้นของสารมาตรฐานสำหรับ additive content.....	27
ตารางที่ 11 การเตรียมความเข้มข้นของสารมาตรฐานสำหรับ wear metal.....	28
ตารางที่ 12 ผลการทดสอบค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 และ 100 °C (mm ² /s).....	31
ตารางที่ 13 ผลการทดสอบปริมาณต่างในน้ำมันหล่อลื่น.....	33
ตารางที่ 14 ผลการทดสอบปริมาณกรด.....	34
ตารางที่ 15 ตารางแสดงปริมาณออกซิเดชันและไนโตรเจนด้วยเทคนิค FTIR (Abs/cm).....	37
ตารางที่ 16 ตารางแสดงปริมาณสารเติมแต่งในน้ำมันใหม่.....	40
ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น.....	40
ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์โลหะสึกหรอปนเปื้อนในน้ำมัน.....	42
ตารางที่ 19 คุณสมบัติของน้ำมันใหม่ทั้ง 3 ยี่ห้อ.....	46
ตารางที่ 20 ตารางแสดงการเปรียบเทียบการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น A และ C.....	47
ตารางที่ 21 ตารางแสดงการเปรียบเทียบการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น B และ C.....	48



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของมีเทน (Methane) [17].....	12
รูปที่ 2.2 แผนผังการทำงานของระบบเครื่องยนต์ CNG-gasoline [18].....	13
รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดออกซิเดชัน[22].....	16
รูปที่ 2.4 การจำลองการวัดค่าความหนืด [26].....	18
รูปที่ 2.5 การทำงานของเครื่อง FTIR [29].....	19
รูปที่ 2.6 องค์ประกอบเครื่อง ICP-OES [31].....	20
รูปที่ 3.1 วิธีการเก็บตัวอย่าง	22
รูปที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดจลนศาสตร์.....	23
รูปที่ 3.3 เครื่องไทเทรตสำหรับวิเคราะห์ปริมาณต่างและกรด	25
รูปที่ 3.4 เครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (Perkin Elmer model 1).....	26
รูปที่ 3.5 เครื่อง ICP-OES Avio500	29
รูปที่ 4.1 กราฟการวิเคราะห์ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ KV 40 และ 100 °C	31
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการวิเคราะห์ปริมาณต่างในน้ำมันหล่อลื่น	32
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการวิเคราะห์ปริมาณกรดในน้ำมันหล่อลื่น.....	34
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานในระยะทางดังนี้	36
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเดชันและไนเตรชัน	37
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น.....	39
รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น	42

บทที่ 1

บทนำ

1.1. มุลเหตุจูงใจ

เนื่องจากวิกฤตการณ์น้ำมันในปี ค.ศ. 1973 ส่งผลให้ราคาน้ำมันในตลาดโลกพุ่งสูงขึ้นและหันมาใช้เชื้อเพลิงแก๊สแทนน้ำมัน[1] ปัจจุบันความนิยมในการใช้เชื้อเพลิงทดแทนมีความนิยมสูงส่งผลให้ภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือนใช้เชื้อเพลิงทางเลือกในการผลิตกระแสไฟฟ้าและภาครัฐได้พัฒนาคุณภาพของแก๊สธรรมชาติเพื่อช่วยกระตุ้นให้ระบบขนส่งสาธารณะเปลี่ยนมาใช้พลังงานแก๊สเป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนเนื่องจากมีราคาถูกและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสามารถช่วยลดต้นทุนโดยเครื่องยนต์แก๊สโซลีนที่ดัดแปลงมาใช้ระบบแก๊สส่งผลให้มีอุณหภูมิการเผาไหม้ที่สูงถึง 800 องศาเซลเซียส[2] ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นเกิดการเสื่อมสภาพและการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นมีผลต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การเกิดฝนกรด, ทินถูกกักกร่อนและควันพิษ เป็นต้น [3] งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยการเสื่อมสภาพขององค์ประกอบในน้ำมันเครื่องกึ่งสังเคราะห์สำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน-ซีเอ็นจี

1.2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Heredia Cancino และคณะ (2018)[4] ได้ศึกษาความเสื่อมสภาพในน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานจริงและจำลองการเสื่อมสภาพจากการผสมน้ำมันใช้แล้วกับน้ำมันใหม่ตามอัตราส่วนต่างๆ ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อความเสื่อมสภาพอยู่ 4 ปัจจัย คือ ความหนืด, การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน, การเกิดปฏิกิริยาไนเตรชัน และปริมาณโลหะสึกหรอผลที่ได้คือค่าความหนืดเมื่อน้ำมันใช้งานในอุณหภูมิที่สูงความหนืดของน้ำมันลดลงเนื่องจากความร้อนจะส่งผลให้เนื้อฟิล์มน้ำมันมีความใสขึ้นและมีผลต่อการสึกหรอของชิ้นส่วนโลหะในเครื่องยนต์เนื่องจากการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนโลหะเกิดการกระทบกันขณะทำงานส่งผลให้ปริมาณโลหะหลังการใช้งานมีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้น, การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการปฏิกิริยาเกิดไนเตรชัน (NO_x) เนื่องจากการทำงานภายใต้ความร้อนและการสึกหรอของชิ้นส่วนโลหะเพิ่มสูงขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันและไนเตรชันเกิดง่ายขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดกรดในน้ำมัน

Zzeyani และคณะ (2017)[5] ได้ศึกษาการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นจากการวิเคราะห์การเกิดออกซิเดชันด้วยเทคนิค FTIR ผลการวัดจากเทคนิคนี้แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง

สารไฮโดรคาร์บอนเนื่องจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR มีช่วงแสดงการดูดกลืนคลื่นแสงระหว่าง $4000-400\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งช่วงที่โมเลกุลเปลี่ยนแปลงจะอยู่ระหว่างหมู่ฟังก์ชันดังต่อไปนี้

- $2954, 1461, 1377\text{ cm}^{-1}$ หมู่ฟังก์ชันของสารไฮโดรคาร์บอนของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน
- 722 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชันของ Poly-alpha-olefins
- 967 cm^{-1} หมู่ฟังก์ชันของ Zinc dialkyl dithiophosphate (ZDDP)

เมื่อเก็บน้ำมันมาทดสอบตามระยะทางที่กำหนดแสดงลักษณะสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันที่วิเคราะห์มีปริมาณการดูดกลืนตามช่วงความยาวคลื่นที่ลดลงตามระยะทางการใช้งานที่เพิ่มขึ้นซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสื่อมสภาพของน้ำมันและโครงสร้างของน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไป

Vicente Macian และคณะ, 2021[6] ได้วัดปริมาณเบสในน้ำมันหล่อลื่นด้วยเทคนิค Potentiometric titration เนื่องจากการผลิตน้ำมันหล่อลื่นมีการเติมสารเติมแต่งที่มีฤทธิ์เป็นเบสเพื่อช่วยในการทำความสะอาดชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันผ่านการใช้งานปริมาณเบสจะลดลงเนื่องจากสารเติมแต่งเกิดการเสื่อมสภาพงานวิจัยถัดมา Beatriz Leal De Rivas และคณะ (2017) [7] วิเคราะห์ปริมาณกรดในน้ำมันหล่อลื่นด้วยเทคนิค Potentiometric titration โดยอิงตามมาตรฐาน ASTM D664 เนื่องจากสภาพการทำงานภายใต้ความร้อนที่สูงและการทำปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจนกับน้ำมันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรด

Jefferson R. de Souza และคณะ (2011)[8] วิเคราะห์ปริมาณโลหะด้วยเทคนิค Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) ในน้ำมันหล่อลื่นเนื่องจากโลหะแคลเซียม, แมกนีเซียมที่มาจากสารเติมแต่งมีผลต่อโครงสร้างภายในเครื่องยนต์

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าปัจจัยที่ส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมสภาพมีอยู่ 6 ปัจจัย ดังนี้ อุณหภูมิ, การเกิดกรด, ค่าเบสลดลง, การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน, การเสื่อมสภาพของสารเติมแต่งและการปนเปื้อนของโลหะ ปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สมบัติการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นมีประสิทธิภาพลดลงเนื่องจากอุณหภูมิที่สูงส่งผลให้ความหนาของฟิล์มน้ำมันลดลงส่งผลต่อการหล่อลื่นชิ้นส่วนระหว่างเครื่องยนต์ทำงานได้อย่างไม่เต็มประสิทธิภาพแต่เมื่ออุณหภูมิต่ำส่งผลให้ความหนาของฟิล์มมีขนาดเพิ่มขึ้นส่งผลการเคลื่อนตัวหล่อลื่นชิ้นส่วนเครื่องยนต์จะช้าลง, ปริมาณเบสที่เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำความสะอาดและชะล้างคราบเขม่าของชิ้นส่วนของเครื่องยนต์แต่เมื่อถูกใช้งานความสามารถในการทำความสะอาดลดลง, ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นกลไกหลักต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันเนื่องจากการทำงานภายใต้ความร้อนที่สูงและ

ชั้นส่วนโลหะที่สึกหรอเป็นตัวที่เร่งให้เกิดการทำปฏิกิริยาระหว่างโครงสร้างของน้ำมันและออกซิเจนในระบบเครื่องยนต์ทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีลักษณะเหนียวข้นขึ้น, เกิดกรดและเกิดการบวมเหียวเกาะบริเวณชั้นส่วนของเครื่องยนต์ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญต่อการทำลายชั้นส่วนของเครื่องยนต์, การเกิดปฏิกิริยาในเตชันที่เกิดจากสารเติมแต่ง และ Non-hydrocarbon ในน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานจึงเป็นสาเหตุสำคัญต่อการเกิดกรด HNO_3 ซึ่งเป็นตัวแปรที่กัดกร่อนชั้นส่วนของเครื่องยนต์และการเสื่อมสภาพของสารเติมแต่งเมื่อน้ำมันผ่านการใช้งาน เกิดจากสารเติมแต่งถูกเปลี่ยนรูปไปเนื่องจากสารเติมแต่งเหล่านี้มีสมบัติต่อการยับยั้งการกัดกร่อน, ลดการสึกหรอและช่วยทำความสะอาด เป็นต้น ซึ่งปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นเป็นตัวแปรสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นและลดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

1.2. วัตถุประสงค์

ศึกษาและวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของน้ำมันเครื่องกึ่งสังเคราะห์สำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน-CNG

1.3. ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นมาตรฐานกึ่งสังเคราะห์ที่ใช้งานด้วยเครื่องยนต์แก๊สโซลีน -CNG

1.4. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1. รวบรวมข้อมูลเชิงวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2. เตรียมตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นมาตรฐานกึ่งสังเคราะห์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์

1.4.3. เก็บตัวอย่างน้ำมันเครื่องจากเครื่องยนต์ตามระยะทาง 0 5,000 7,500 10,000 15,000 km ซึ่งการเก็บตัวอย่างที่ระยะทาง 0 km เริ่มจากการเติมน้ำมันลงในเครื่องยนต์และทำการเดินเครื่องยนต์ด้วยกำลังที่เบาเพื่อให้น้ำมันสามารถทำการผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงทำการเก็บตัวอย่างที่ระยะ 0 km

1.4.4. วิเคราะห์ตัวอย่างจากน้ำมันเครื่องจากเครื่องยนต์ตามระยะทาง 0 5,000 7,500 10,000 15,000 km โดยทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

1.4.4.1. วิเคราะห์ค่าความหนืด (Kinetic Viscosity at 40 °C และ 100 °C) อิงตามมาตรฐาน ASTM D445

1.4.4.2. วิเคราะห์ค่าความเป็นด่าง (Total Base Number) อิงตามมาตรฐาน ASTM D4739

1.4.4.3. วิเคราะห์ค่าความเป็นกรด (Total Acid Number) อิงตามมาตรฐาน ASTM D664

1.4.4.4. วิเคราะห์ FTIR (วิเคราะห์ค่า Oxidation และ Nitration)

1.4.4.5. วิเคราะห์ปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมัน (Wear metal elemental) อิงตามมาตรฐาน ASTM D5185

1.4.5. รวบรวมผลการวิเคราะห์สรุปผลแนวโน้มการเสื่อมสภาพ

1.4.6. สรุปผล นำเสนอและเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงปัจจัยความเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น ที่มาจากองค์ประกอบต่างๆในน้ำมันเครื่อง



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันเครื่องยนต์ที่ใช้พลังงานแก๊สธรรมชาติอัด *Compressed Natural Gas (CNG)* ในประเทศไทยได้รับความนิยมสูงในระบบขนส่งสาธารณะและรถนั่งส่วนบุคคล เป็นต้น เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงพลังงานสะอาดและมีราคาที่ถูก ข้อเสียของการใช้เครื่องยนต์แก๊สอุดมหมู่มีห้องเครื่องในการสันดาปสูงถึง 800 องศาเซลเซียสซึ่งสูงกว่าการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนถึง 2 เท่าต้องใช้สารที่มีสมบัติในการช่วยระบายความร้อนและลดการสึกหรอของเครื่องยนต์ น้ำมันหล่อลื่นดังกล่าวต้องมีคุณสมบัติเสถียรต่อความร้อนสูงและปกป้องการสึกหรอของเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำมันหล่อลื่นผ่านการใช้งานช่วงระยะหนึ่งจะส่งผลให้คุณภาพในการหล่อลื่นรวมทั้งสารเติมแต่งและน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานเกิดการแปรสภาพทำให้เกิดผลเสียต่อชิ้นส่วนของเครื่องยนต์และปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมในรูปแบบของควันพิษ

2.1. น้ำมันหล่อลื่น [9]

น้ำมันชนิดหนึ่งที่มีองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานและสารเติมแต่งเป็นองค์ประกอบทำให้น้ำมันสามารถทำการหล่อลื่นและปกป้องเครื่องยนต์ให้ทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพโดยมีลักษณะเป็นของเหลวค่อนข้างหนืดหรือใสขึ้นกับชนิดของน้ำมันพื้นฐานที่เป็นองค์ประกอบมีหน้าที่หลักในการช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างโลหะ ป้องกันการสึกหรอ กระจายความร้อน ช่วยทำความสะอาดเครื่องยนต์และช่วยเคลือบช่องว่างระหว่างผิวสัมผัส เช่น แหวนลูกสูบและกระบอกสูบ เป็นต้น

2.2. ชนิดของน้ำมันหล่อลื่น [10]

น้ำมันหล่อลื่นสามารถแบ่งออก 3 กลุ่มหลัก ดังนี้

1. น้ำมันแร่ เป็นน้ำมันพื้นฐานที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบโดยตรงและมีอายุการใช้งานเฉลี่ย 7000 กิโลเมตรซึ่งน้ำมันแร่จะมีการแบ่งความหนืด ดังนั้นความหนืดสูงคือน้ำมันที่มีองค์ประกอบของพาราฟินิก (Paraffinic) และความหนืดปานกลางถึงต่ำจะมีองค์ประกอบของกลุ่มแนฟทานิก (Naphthenic)
2. น้ำมันกึ่งสังเคราะห์ เป็นน้ำมันที่ผสมจากน้ำมันแร่จากการกลั่นน้ำมันดิบและน้ำมันสังเคราะห์โครงสร้างทางเคมีให้มีคุณสมบัติพิเศษทนต่อความร้อน ยืดอายุการใช้งานได้นานขึ้นและมีคุณสมบัติพิเศษ เช่น ต้านทานการเกิดออกซิเดชันและป้องกันการพ่นอง

ของน้ำมันขณะใช้งานซึ่งน้ำมันในกลุ่มนี้มีอายุการใช้งานเฉลี่ย 10,000 – 15,000 กิโลเมตร

3. น้ำมันในกลุ่มสังเคราะห์แท้ เป็นน้ำมันพื้นฐานที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี 100% ทำให้มีคุณสมบัติทนทานต่อความร้อน มีอัตราการระเหยต่ำ และทนต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีแต่มีข้อเสียมีราคาที่สูงโดยมีระยะเวลาการใช้งานเฉลี่ย 15,000 – 20,000 กิโลเมตรโดยน้ำมันในกลุ่มสังเคราะห์แท้ปัจจุบันได้รับความนิยม ได้แก่ Polyalphaolefins (PAO), Estes (Diester and complex Ester), Polyglycols, Silicone, Halogenated hydrocarbon และ Polypheny ethers

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ถึงการเสื่อมสภาพของน้ำมันในกลุ่มกึ่งสังเคราะห์ เนื่องจากเป็นน้ำมันที่มีอายุการใช้งานเฉลี่ยสูงถึง 10000-15000 กิโลเมตร ราคาถูกและมีคุณสมบัติเทียบเคียงกับน้ำมันในกลุ่มสังเคราะห์แท้ ทำให้ได้รับความนิยมในการเลือกใช้ในภาคขนส่งสาธารณะและรถนั่งส่วนบุคคล

2.3. มาตรฐานการแบ่งเกรดของน้ำมันหล่อลื่น (Grade of lubricant oil) [11]

สถาบันที่กำหนดมาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นในปัจจุบันมีประมาณ 4 เกรดที่เป็นที่นิยมใช้ในการกำหนดมาตรฐานน้ำมันในท้องตลาดเพื่อแสดงถึงชนิดเครื่องยนต์ เบอร์ความหนืดและมาตรฐานที่มีผลต่อการปล่อยมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อม เป็นต้น โดยปกติการแบ่งชนิดตามความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นสามารถแบ่งได้ 2 แบบคือน้ำมันเกรดเดี่ยว (Single grade) และน้ำมันเกรดรวม (Multiple grade) โดยน้ำมันสองชนิดนี้มีความแตกต่างกัน ดังนี้

1. เกรดเดี่ยว (Single grade) เป็นน้ำมันที่สามารถใช้งานภายใต้อุณหภูมิต่ำหรือสูงอย่างใดอย่างหนึ่งเนื่องจากน้ำมันในกลุ่มนี้เมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนฤดูส่งผลให้น้ำมันไม่สามารถทำการหล่อลื่นเนื่องจากน้ำมันไม่มีการเติมสารเติมแต่งที่มีคุณสมบัติต่อการป้องกันการเกิดไข (Wax) เรียกว่า Pourpoint dispersant ที่ส่งผลให้น้ำมันไม่สามารถต้านการแข็งตัวที่อุณหภูมิต่ำได้จึงทำให้ผู้ใช้งานน้ำมันต้องเกิดความสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายต่อการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหลังฤดูการเปลี่ยนแปลง
2. เกรดรวม (Multiple grade) น้ำมันเกรดรวมที่สามารถใช้งานได้ทั้ง 2 สภาพอากาศโดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนถ่ายเนื่องจากผู้ผลิตทำการเติมสารเคมีที่มีชื่อว่า Pourpoint dispersant มีคุณสมบัติให้น้ำมันสามารถหล่อลื่นแม้อุณหภูมิเกิดการเปลี่ยนแปลง

ซึ่งน้ำมันทั้งสองเกรดสามารถอธิบายตามเลขชุดได้ดังนี้ XXW-XX สัญลักษณ์ W ย่อมาจากคำว่า Winter อธิบายว่าน้ำมันสามารถทำงานในเขตหนาวโดยไม่เกิดไขขึ้นอยู่กับเลขหน้าตัวอักษร W โดยเมื่อมีค่าน้อยสามารถคงความข้นใสได้มากกว่าเมื่อสภาวะอากาศต่ำลงและเลขชุดหลังแทนค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ยิ่งเลขชุดหลังมากแสดงถึงความหนืดที่สูงแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ตารางแสดงเบอร์ความหนืดของน้ำมันที่อุณหภูมิเขตหนาว [12]

เบอร์ความ หนืดเขตหนาว	Low temp cranking viscosity (cP)		Low temp pumping viscosity (cP)		Kinematic viscosity (cSt) at 100 °C
	Max	Temp. °C	Max	Temp. °C	Min
0 W	6,200	-35	60,000	-40	3.8
5 W	6,600	-30	60,000	-35	3.8
10 W	7,000	-25	60,000	-30	4.1
15 W	7,000	-20	60,000	-25	5.6
20 W	9,500	-15	60,000	-20	5.6
25 W	13,000	-10	60,000	-15	9.3

- Low temp cranking viscosity (CCS) ASTM D5293
- Low temp pumping viscosity (MRV) ASTM D 4684
- Kinematic viscosity (KV) ASTM D445

ตารางที่ 2 ตารางแสดงเบอร์ความหนืดของน้ำมันที่อุณหภูมิเขตร้อน [12]

Grade	Kinematic viscosity (cSt) at 100 °C (min)	Kinematic viscosity (cSt) at 100 °C (max)	HTHS viscosity (cP) at 150 °C (min)
8	4.0	<6.1	1.7
12	5.0	<7.1	2.0
16	6.1	<8.2	2.3
20	5.6	<9.3	2.6
30	9.3	<12.5	2.9
40	12.5	<16.3	3.5 (0W-40, 5W-40, 10W-40)
40	12.5	<16.3	3.7 (15W-40, 20W-40, 25W-40, 40 monograde)
50	16.3	<21.9	3.7
60	21.9	<26.1	3.7

- Kinematic viscosity (KV) ASTM D445
- High temperature high shear rate viscosity (HTHS) ASTM D 4683, ASTM D4741, ASTM D5481 หรือ CECL-036-90

โดยสถาบันกำหนดมาตรฐานของน้ำมันหล่อลื่นมี ดังนี้

2.3.1 The Society of Automotive Engineers (SAE) [12]

สมาคมวิศวกรยานยนต์ของอเมริกาใช้เกรดการแยกประเภทของน้ำมันหล่อลื่นตามความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นซึ่งน้ำมันที่มีเบอร์ความหนืดน้อยจะมีความใสที่มากกว่าน้ำมันที่มีเบอร์ความหนืดมากเรียงลำดับความหนืดจากมากไปน้อย ดังนี้ 30, 40 และ 50 โดยน้ำมันในชุดตัวเลขนี้จะแสดงถึง

ความหนืดที่อุณหภูมิ 100 °C และอีกชุดตัวเลขแสดงถึงน้ำมันที่ใช้งานในสภาวะอากาศเย็นได้โดยไม่เกิดไขซึ่งแสดงดังตารางที่ 1

2.3.2. American Petroleum institute (API) [13]

เริ่มก่อตั้งในปี 1970 โดยมาตรฐาน API ช่วยในเรื่องของการแยกประเภทน้ำมันเครื่องให้เหมาะกับชนิดเครื่องยนต์เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกประเภทของน้ำมันได้อย่างถูกต้องโดย S แทนน้ำมันแก๊ซโซลีนและ C แทนน้ำมันดีเซลซึ่งน้ำมันแต่ละชนิดแสดงมาตรฐานควบคุมการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 ตารางแสดงมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นแก๊ซโซลีนอ้างอิงตามเกณฑ์ API [13]

ชนิด	ปีที่ประกาศ	ข้อกำหนดการใช้งาน
SA	-	ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์แก๊ซโซลีนที่ผลิตหลังจากปี ค.ศ. 1930 ทำให้เครื่องยนต์ชำรุดเนื่องจากไม่สารเสริมเติมแต่ง
SB	-	ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์แก๊ซโซลีนที่ผลิตหลังจากปี ค.ศ. 1951 ทำให้เครื่องยนต์ชำรุดเนื่องจากมีสารเติมแต่งน้อย
SC	-	เหมาะกับเครื่องยนต์ที่ผลิตในปี 1964-1967 และมีการเติมสารควบคุมการเกิดเขม่า
SD	-	เหมาะกับเครื่องยนต์ที่ผลิตในปี 1968-1971 และมีการเติมสารเติมแต่งมากกว่า SC
SE	-	เหมาะกับเครื่องยนต์ที่ผลิตในปี 1971-1979 และมีการเติมสารเติมแต่งเพิ่มจากมาตรฐาน SC SD ซึ่งสามารถใช้แทนได้
SF	-	เหมาะกับเครื่องยนต์ที่ผลิตในปี 1980-1988 ทนความร้อนได้สูงขึ้นและช่วยชะล้างเขม่าได้ดี
SG	ค.ศ. 1988	มีคุณสมบัติป้องกันการเกิดสนิม กัดกร่อน ป้องกันการเสื่อมสภาพจากความร้อนและชะล้างขี้เขม่าได้ดีขึ้น
SH	ค.ศ. 1994	ตอบสนองเครื่องยนต์รุ่นใหม่ที่มีการดัดแปลงระบบ เช่น Catalytic convertor, Twin cam และ Fuel injector เป็นต้น
SI	ค.ศ. 1997	ประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงที่มากขึ้นรวมทั้งลดปริมาณฟอสฟอรัสเพื่อทำให้ตัวกรองสามารถทำงานได้ยาวนานขึ้น
SJ	ค.ศ. 2001	สำหรับเครื่องยนต์รุ่นเก่า
SK	ค.ศ. 2004	สำหรับเครื่องยนต์รุ่นเก่า

SM	ค.ศ. 2010	สำหรับเครื่องยนต์รุ่นเก่า
SN	ค.ศ. 2010-11	สำหรับเครื่องยนต์รุ่นเก่าและลดการสิ้นเปลืองพลังงานรวมทั้งป้องกันชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ขณะทำงานภายใต้อุณหภูมิสูง
SP	ค.ศ. 2017	เหมาะกับเครื่องยนต์รุ่นใหม่ ป้องกัน turbocharger ลดมลภาวะและยังเหมาะสมกับเชื้อเพลิงที่ผสม ethanol (E85)

ตารางที่ 4 ตารางแสดงมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นดีเซลอ้างอิงตามเกณฑ์ API [13]

ชนิด	ปีที่ประกาศ	ข้อกำหนดการใช้งาน
CA	-	ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่มีอายุมากกว่า ค.ศ. 1959
CB	-	ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่มีอายุมากกว่า ค.ศ. 1961
CC	-	ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่มีอายุมากกว่า ค.ศ. 1990
CD	-	ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่มีอายุมากกว่า ค.ศ. 1994
CD-II	-	ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่มีอายุมากกว่า ค.ศ. 1994
CE	-	ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่มีอายุมากกว่า ค.ศ. 1994
CF	-	ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่มีอายุมากกว่า ค.ศ. 2009
CF-2	-	ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่มีอายุมากกว่า ค.ศ. 2009
CF-4	-	ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่มีอายุมากกว่า ค.ศ. 2009
CG-4	-	ไม่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ที่มีอายุมากกว่า ค.ศ. 2009
CH-4	ค.ศ. 1998	ออกแบบมาใช้กับเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของกำมะถันไม่เกิน 0.05% และรองรับมาตรฐานไอเสีย ค.ศ. 1998
CI-4	ค.ศ. 2002	ออกแบบให้เหมาะสมกับระบบเครื่องยนต์ EGR ออกแบบมาใช้กับเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของกำมะถันไม่เกิน 0.05% และรองรับมาตรฐานไอเสีย ค.ศ. 2004
CJ-4	ค.ศ. 2010	ออกแบบมาใช้กับเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของกำมะถันไม่เกิน 0.05% แต่หากมีปริมาณเกิน 0.0015% มีผลต่อระบบไอเสีย
CK-4	ค.ศ. 2017	ออกแบบมาใช้กับเชื้อเพลิงที่มีองค์ประกอบของกำมะถันไม่เกิน 0.05% แต่หากมีปริมาณเกิน 0.0015% มีผลต่อระบบไอเสีย ออกแบบป้องกันการเกิดออกซิเดชัน สูญเสียความหนืด ป้องกันการสึกหรอและอากาศในน้ำมัน

2.3.3. Japanese Automobile Standard Organization (JASO) [14]

มาตรฐานเครื่องยนต์สำหรับรถญี่ปุ่นซึ่งต่อมาได้ทำการเปลี่ยนมาใช้ ISO สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้ JSE (ISO-L-EJGE) และ JSG (ISO-L-EJDD) สำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนช่วยป้องกันการสึกหรอบริเวณวาล์วและอีกหนึ่งชนิด คือ JASO CC (ISO -L-EJDC) และ JASO CD (ISO -L-EJDD) สำหรับเครื่องยนต์ดีเซล

2.3.4. International committee for the standardization and approbation of motor oil (ILSAC) [15]

องค์กรสำหรับอนุมัติมาตรฐานน้ำมันระหว่างประเทศ ก่อตั้งในปี ค.ศ. 1992 เพื่อกำหนดข้อตกลงไตรภาคีระหว่าง 3 กลุ่มมาตรฐาน ได้แก่ API ASTM และ SAE โดยมาตรฐานแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางแสดงมาตรฐานน้ำมันหล่อลื่นดีเซลอ้างอิงตามเกณฑ์ ILSAC [15]

ชนิด	ปีที่ประกาศ	ข้อกำหนดการใช้งาน
ILSAC GF-1	ค.ศ. 1996	ตอบสนองเครื่องยนต์รุ่นใหม่ที่มีการดัดแปลงระบบ เช่น Catalytic convertor, Twin cam และ Fuel injector เป็นต้น
ILSAC GF-2	ค.ศ. 1997	คุณสมบัติใกล้เคียงกับมาตรฐาน SJ
ILSAC GF-3	ค.ศ. 2001	ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
ILSAC GF-4	ค.ศ. 2004	ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ด้านทานการเกิดออกซิเดชัน ลดการยืดเกาะของคราบเขม่าและทำความสะอาดได้ดีขึ้น
ILSAC GF-5	ค.ศ. 2010	เพิ่มคุณสมบัติเข้ากันได้ดีกับอีลาสโตเมอร์รวมทั้งป้องกันการปนเปื้อนจากกระบวนการสันดาปภายในกระบวนการเผาไหม้
ILSAC GF-6	ค.ศ. 2020	ประหยัดเชื้อเพลิงและปกป้องเครื่องยนต์ได้ดีขึ้น

2.4. กระบวนการทำงานของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน-ซีเอ็นจี [16]

ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกที่ได้รับความนิยมในระบบขนส่งสาธารณะเนื่องจากมีราคาที่ถูกเฉลี่ยที่ลิตรละ 16 บาทต่อกิโลกรัม (ราคาปี พ.ศ. 2565) และประเทศไทยสามารถผลิตแก๊ส

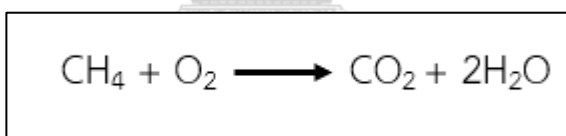
ธรรมชาติได้เองโดยในปี พ.ศ.2554 ปริมาณรถที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สเฉลี่ยที่ 256,000 คันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในทุกปี โดยเครื่องยนต์ที่ใช้งานด้วยระบบ CNG มีทั้งหมด 3 แบบ

2.4.1. Dedicated เป็นการใช้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติในกระบวนการสันดาปเพียงชนิดเดียว แต่มีความต่างจากการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน คือ อัตราเชื้อเพลิงกับอากาศจะมีการใช้ในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการสิ้นเปลืองและผู้ใช้งานต้องทำการเติมเชื้อเพลิงบ่อยขึ้น

2.4.2. Dual fuel ใช้เชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซลและแก๊สธรรมชาติในกระบวนการสันดาปซึ่งสามารถช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงดีเซลได้ถึง 75-80 % แต่เมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สหมดระบบจะทำการเปลี่ยนมาใช้เชื้อเพลิงดีเซลในการขับเคลื่อน

2.4.3. Bi-Fuel ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีนของเครื่องยนต์ร่วมกับเชื้อเพลิง CNG ซึ่งอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจะเทียบเคียงการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน

องค์ประกอบของแก๊สธรรมชาติประกอบด้วย มีเทน (CH_4) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ซึ่งมีเพียงสารไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนประกอบจึงเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดและลดการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่นซึ่งมีปฏิกิริยาการเผาไหม้ของมีเทนแสดงรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของมีเทน (Methane) [17]

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเผาไหม้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ซึ่งออกซิเจนที่ใช้ในกระบวนการเผาไหม้นั้นมาจากออกซิเจนในอากาศที่เป็นส่วนประกอบเท่ากับ 21% และอีก 79% คือไนโตรเจน แสดงให้เห็นว่าหากต้องการการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์โดยไม่เกิดอากาศส่วนเกินต้องใช้องค์ประกอบ $\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} : \text{N}_2$ เท่ากับ 1 : 2 : 7.52 ตารางเมตร

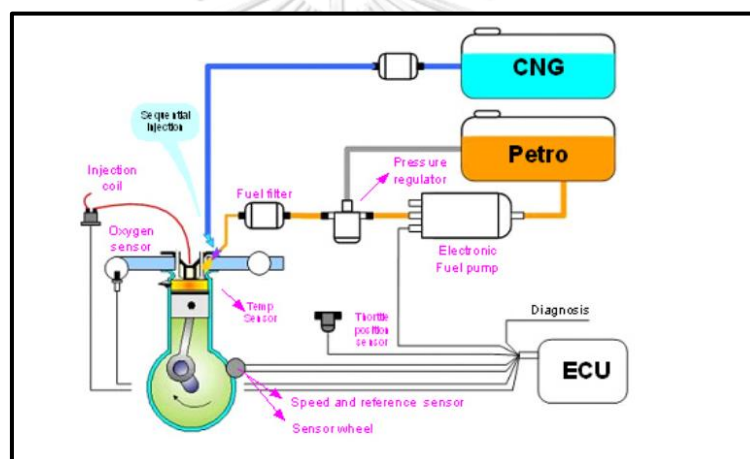
2.5. กระบวนการทำงานระบบควบคุมเชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติและแก๊สโซลีน [18]

ชิ้นส่วนหลักที่ใช้ควบคุมระบบทั้งหมด คือ Electronic control unit (ECU) เป็นองค์ประกอบสำคัญต่อการควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดและเป็นตัวตรวจสอบสถานะการทำงานของชิ้นส่วนภายในระบบเครื่องยนต์การทำงานของระบบแก๊สต้องทำการติดตั้งองค์ประกอบหลักอยู่ 3 องค์ประกอบหลักเรียกว่า Conversion Kit ได้แก่ อุปกรณ์ก๊าซ

ถังบรรจุก๊าซและอุปกรณ์ควบคุม ซึ่งอุปกรณ์ก๊าซและถังบรรจุแก๊สจะผลิตจากวัสดุที่ทนแรงดันสูง เช่น เหล็กกล้าและอลูมิเนียม เป็นต้น เนื่องจากแก๊ส CNG จะถูกอัดให้มีสถานะเป็นของเหลวด้วยแรงดัน 3000 ปอนด์/ตารางนิ้ว เพื่อให้สะดวกต่อการขนส่งและเติมลงในเครื่องยนต์

2.5.1. กระบวนการทำงานของระบบแก๊ส CNG

เริ่มจาก ECU ทำการสั่งงานไปที่หัวฉีด (Emulator) จากระบบ sensor เมื่อระบบภายในพร้อมทำงาน switch gas จะเปิดวาล์วเพื่อทำการปล่อยแก๊สโดยตัวหัวฉีดจะมีสายต่อไปที่ ECU 2 สาย คือ สาย ECU น้ำมันที่ต่อกับเครื่องยนต์และสายที่ต่อกับระบบ ECU ของแก๊สจากนี้ ECU จะทำการคำนวณปริมาณเชื้อเพลิงที่เหมาะสมและทำการปล่อยออกมาให้เครื่องยนต์สามารถขับเคลื่อนดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนผังการทำงานของระบบเครื่องยนต์ CNG-gasoline [18]

2.5.2. ข้อดีและข้อเสียของการใช้งานระบบซีเอ็นจี-แก๊ส

การทำงานของระบบแก๊สธรรมชาติเป็นพลังงานสะอาดเนื่องจากมีองค์ประกอบของคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเพียง 1 อะตอมเมื่อถูกเผาไหม้จึงไม่เหลือกากเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงแก๊สและดีเซลเมื่อมองในด้านความปลอดภัยแก๊สธรรมชาติมีอุณหภูมิในการติดไฟที่สูงถึง 540°C จึงยากที่จะเกิดการลุกติดไฟขณะใช้งานและเชื้อเพลิง CNG ช่วยให้ผู้ใช้งานเครื่องยนต์สามารถประหยัดงบในการเติมเชื้อเพลิงเพราะมีราคาที่ถูกลงแต่การใช้เชื้อเพลิง CNG นั้นมีข้อเสียคือต้องทำการติดตั้งระบบที่มีราคาสูงประมาณ 40000 บาท [19] และอุณหภูมิในการสันดาปที่สูงส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมสภาพเร็วกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นแสดงคุณสมบัติของแก๊สธรรมชาติแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ [2], [20]

List	Gasoline	LPG	CNG
Cost (THB)	50	17	16
Octane number	91	105	120
State	Liquid	Gas & Liquid	Gas
T combustion Room (°C)	400	600	800
Age of lubricant oil	Normal	Decrease	Decrease
Engine acceleration	Normal	3 – 5%	15-25 %

2.6. ปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น[21]

การทำงานของน้ำมันหล่อลื่นในระบบสันดาปเครื่องยนต์มีอุณหภูมิในการทำงานที่สูงและเกิดการสะสมของเขม่าในปริมาณที่สูงส่งผลให้น้ำมันหล่อลื่นมีประสิทธิภาพลดลงทั้งทางกายภาพและเคมี จากกฎของ Arrhenius equation กล่าวว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิทุก 10 °C ส่งผลเร่งให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า โดยตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อความเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นมี 4 ปัจจัย ดังนี้

2.6.1. ความร้อน [4]

ระบบภายในเครื่องยนต์มีการควบคุมอุณหภูมิในการทำงานเมื่อเกิดการปล่อยความร้อนมากกว่าอุณหภูมิปกติของการทำงานส่งผลให้น้ำมันระเหยและโมเลกุลภายในเกิดการแตกตัวส่งผลให้ความหนืดของน้ำมันลดลงและความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการเกิดออกซิเดชันในน้ำมันส่งผลต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์

2.6.2. การเกิดออกซิเดชัน[22]

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของน้ำมันเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันมีผลต่อการเพิ่มความหนืดและทำให้เกิดกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) ในน้ำมันซึ่งส่งผลต่อเสียดขึ้นส่วนภายในเครื่องยนต์และสามารถอธิบายการเกิดออกซิเดชันได้จากรูปปฏิกิริยาที่ 2.3 นำไฮโดรเจนแยกออกจาก triglyceride (RH) เกิดสารอนุมูลอิสระ (Free radical) ในระบบทำปฏิกิริยากับออกซิเจนได้ผลิตภัณฑ์คือ Peroxide radical (ROO^{*}) ซึ่งถือว่าการสิ้นสุดระยะแพร่กระจาย (Propagation) โดยขั้นสุดท้าย Peroxide radical (ROO^{*}) จะทำปฏิกิริยา RH ได้คีโตนและแอลก

ฮอลล์เป็นผลิตภัณฑ์และเมื่อทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในระบบส่งผลให้เกิดกรดคาร์บอกซิลิก สะสมในน้ำมันหากเกิดการสะสมในปริมาณที่สูงสามารถส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนภายในระบบเครื่องยนต์

2.6.3. การปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น

การปนเปื้อนในระบบเครื่องยนต์สามารถเกิดจากภายในระบบและภายนอกระบบเครื่องยนต์ ขึ้นอยู่กับสภาพของเครื่องยนต์และการรักษาของผู้ใช้งานการปนเปื้อนในน้ำมันสามารถเกิดได้จากสิ่งแปลกปลอม เช่น น้ำ ฝุ่น เหม่า และเศษโลหะ เป็นต้น โดยการปนเปื้อนเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ทำให้ น้ำมันหล่อลื่นเกิดการแปรสภาพและทำให้ชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์เกิดปัญหาซึ่งสิ่งแปลกปลอมที่มาปนเปื้อนมี ดังนี้

2.6.3.1. น้ำ[21]

สามารถเกิดจากภายนอกและภายในเครื่องยนต์โดยการปนเปื้อนของน้ำจากภายในเครื่องยนต์สามารถเกิดจากการรั่วของระบบน้ำหล่อเย็นและความชื้นที่สะสมอยู่ในระบบและการปนเปื้อนของน้ำจากภายนอกสามารถเกิดได้จากการเก็บตัวอย่างน้ำมันที่ผิดวิธีและการใช้งานในสภาวะที่มีน้ำขังจนมีน้ำเข้าไปปนเปื้อนในบริเวณห้องเครื่องยนต์ซึ่งการปนเปื้อนของน้ำมีผลทำให้ น้ำมันในระบบเกิดการควบแน่น โคลน กรดและความหนืดของน้ำมันเปลี่ยนแปลง

2.6.3.2. เศษโลหะ[23]

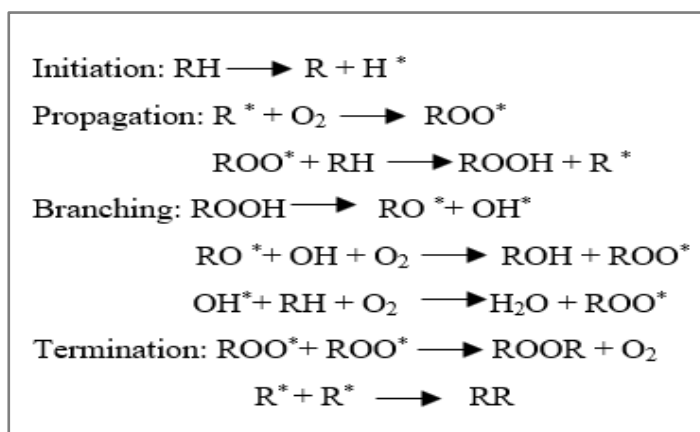
ปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นสามารถเกิดได้หลายปัจจัย อาทิเช่น การสึกหรอที่เกิดจากการใช้งานของเครื่องยนต์ที่มีอายุการใช้งานที่สูง การเลือกใช้ความหนืดของน้ำมันที่ไม่เหมาะสมต่ออายุการใช้งานของเครื่องยนต์และกรดที่เกิดจากการสะสมในน้ำมันที่ถูกใช้งาน เป็นต้น ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เมื่อทำการสะสมในเครื่องยนต์ส่งผลต่อการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในและเนื่อน้ำมันเกิดการจับตัวเป็นก้อนหรือโคลน

2.6.3.3. เหม่า ฝุ่นและดิน[21]

การเกิดเหม่าเกิดจากการสันดาปของเครื่องยนต์และการปนเปื้อนจากฝุ่นและดินเกิดจาสภาวะการทำงานที่ต้องใช้งานบนถนนลูกรังและเครื่องยนต์เกิดการเสื่อมสภาพส่งผลให้เมื่อมีการสะสมในปริมาณที่สูงทำให้น้ำมันมีลักษณะที่เป็นโคลนและหากมีปริมาณที่สูงมากจะมีลักษณะเป็นก้อนส่งผลให้น้ำมันไม่สามารถหล่อลื่นระบบ

2.6.3.4. สารเติมแต่งเกิดการเสื่อมสภาพ[21]

การทำงานภายใต้สภาวะที่มีความร้อนสูงและการปนเปื้อนในระบบส่งผลให้สารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพ อาทิเช่น สารทำความสะอาด ป้องกันการสึกหรอและการต้านการเกิดออกซิเดชัน เป็นต้น



รูปที่ 2.3 กลไกการเกิดออกซิเดชัน[22]

2.7. ปัญหาที่เกิดจากการใช้น้ำมันหล่อลื่นที่เสื่อมคุณภาพ [24]

การใช้งานน้ำมันที่เสื่อมสภาพในระบบเครื่องยนต์ส่งผลให้เครื่องยนต์ทำงานผิดปกติ เครื่องยนต์ชำรุดและสามารถเกิดอุบัติเหตุขณะขับขี่โดยมีสาเหตุที่ส่งผลต่อเครื่องยนต์ ดังนี้

2.7.1. เครื่องยนต์สกปรก

น้ำมันหล่อลื่นเมื่อถูกใช้งานในระยะเวลาที่นานขึ้นส่งผลให้เกิดการปนเปื้อนจากเขม่า น้ำและเศษโลหะทำให้น้ำมันเครื่องมีความหนืดที่เพิ่มขึ้นและมีสีที่เข้มขึ้น เมื่อทำการใช้งานในระบบต่อส่งผลให้เกิดคราบเหนียวเกาะตามข้อต่อเครื่องยนต์ส่งผลให้เครื่องยนต์ทำงานผิดปกติ

2.7.2. ชิ้นส่วนเครื่องยนต์สึกหรอ

น้ำมันหล่อลื่นเมื่อผ่านการใช้งานฟิล์มน้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงและเกิดการสะสมของกรดในปริมาณที่เพิ่มขึ้นส่งผลเมื่อทำการหล่อลื่นชิ้นส่วนเครื่องยนต์กรดในน้ำมันสามารถกัดกร่อนชิ้นส่วนโลหะและน้ำมันที่ความหนืดที่ลดลงส่งผลต่อการกระทบกันขณะทำงานของเครื่องยนต์จนเกิดการสึกหรอแต่ในบางกรณีที่มีความหนืดเพิ่มขึ้นเครื่องยนต์ส่งน้ำมันหล่อลื่น

ไปทำงานซ้ำทำให้เกิดการเสียดสีของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์จนเกิดเสียงดังจากการเสียดสีของชิ้นโลหะสามารถทำให้เครื่องยนต์ยุติการทำงาน

2.7.3. เครื่องยนต์อืด

น้ำมันหล่อลื่นที่เสื่อมคุณภาพมีการสะสมของเขม่าและโลหะที่สึกหรอรวมทั้งการออกซิเดชันของน้ำมันส่งผลต่อความหนืดของน้ำมันเพิ่มขึ้นน้ำมันเกิดการเคลื่อนที่ช้าลงทำให้ไม่สามารถหล่อลื่นเครื่องยนต์ได้ทันท่วงที

2.7.4. เครื่องยนต์ติดขัด

การติดขัดของชิ้นส่วนเครื่องยนต์ขณะทำงานเกิดจากการพ่องของน้ำมันจนมีปริมาณไม่เพียงพอต่อการหล่อลื่นเครื่องยนต์และอีกสาเหตุเกิดจากชิ้นส่วนเครื่องยนต์ที่ทำการเคลื่อนที่ เช่น เพลาข้อเหวี่ยง ก้านสูบ เป็นต้น เกิดการยึดเกาะของคราบเหนียวส่งผลให้ไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ

จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องยนต์ที่ทำการใช้น้ำมันที่เสื่อมสภาพในการหล่อลื่น เพื่อหลีกเลี่ยงการทำงานของเครื่องยนต์ที่ผิดปกติควรทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องและตรวจสอบประสิทธิภาพเครื่องยนต์เป็นประจำ

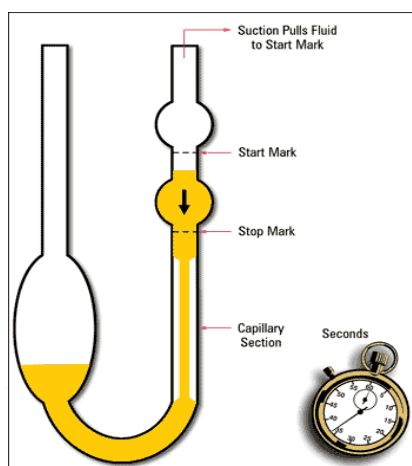
2.8. การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น [25]

การวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันเป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยในการประเมินประสิทธิภาพในการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์โดยการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของน้ำมันทั้งทางกายภาพและเคมีโดยทำการอ้างอิงตามหลัก American Society for Testing and Materials (ASTM) ดังนี้

2.8.1. การวิเคราะห์ค่าความหนืด (Kinematic viscosity) [26]

การวิเคราะห์ความหนืดจลนศาสตร์เป็นการวิเคราะห์การต้านการไหลภายในของเหลวต่อการไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงโลกโดนทำการกำหนดปริมาตรการไหลภายในหลอดแคปิลารีต่อการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทอร์โมมิเตอร์มีค่าการยอมรับ ± 0.02 °C หน่วยที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ cSt หรือ mm^2/s ซึ่งการวิเคราะห์อิงตามทฤษฎีของ Newtonian fluid เป็นไหลตามทฤษฎีของนิวตัน ณ อุณหภูมิที่กำหนดของไหลจะมีค่าความหนืดที่คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงขึ้นกับอัตราเฉือน (Shear rate) งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C เพื่อจำลองสภาวะเครื่องยนต์ที่ยังไม่

ถูกใช้งานและ ณ อุณหภูมิ 100 °C จำลองสภาวะขณะเครื่องยนต์ทำงาน ดังรูปที่ 2.4 จำลองการวิเคราะห์ค่าความหนืดจลนศาสตร์



รูปที่ 2.4 การจำลองการวัดค่าความหนืด [26]

2.8.2 การวิเคราะห์ปริมาณกรดและเบส (TAN and TBN) [27], [28]

การวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของปริมาณกรดและเบสในน้ำมันหล่อลื่นด้วยการไทเทรต โดยใช้สารมาตรฐาน (titrant solution) ที่มีความเข้มข้น 0.1 M เพื่อทำการไทเทรตจนสามารถหาปริมาณของจุดที่สารทำปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ (End point) การวิเคราะห์ปริมาณกรดอิงตามมาตรฐาน ASTM D664 วิธีการ A ใช้ตัวทำละลาย Toluene : Propan-2-ol และสารมาตรฐาน KOH ความเข้มข้น 0.1 M หน่วยที่ใช้ในการอ่านผลการทดสอบ mg KOH/g และการวิเคราะห์ปริมาณเบสในน้ำมันที่ผ่านการใช้งานอิงตามมาตรฐาน ASTM D4739 ใช้ตัวทำละลาย Toluene : Propan-2-ol : Chloroform และสารมาตรฐาน HCl 0.1 M หน่วยที่ใช้ในการอ่านผลการทดสอบ mg KOH/g นอกจากการวิเคราะห์ปริมาณต่างอิงตามมาตรฐาน ASTM D4739 ในน้ำมันยังมีกระบวนการวิเคราะห์ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอีกวิธี คือ D2896 เป็นการวิเคราะห์ปริมาณต่างในน้ำมันใหม่เนื่องจากกระบวนการนี้ใช้ กรดเปอร์คลอริก (HClO_4) ความเข้มข้น 0.1 M เป็นสารไทเทรต แต่วิธีการนี้มีข้อเสียคือสารเคมีที่ใช้เป็นกรดแก่และมีความอันตรายต่อผู้ทดสอบจึงเลือกใช้อีกวิธีการคือ D4739 เป็นการวิเคราะห์ปริมาณต่างที่ใช้กรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.1 M เป็นสารไทเทรตซึ่งวิธีการนี้ใช้สารเคมีที่รุนแรงน้อยกว่าจึงทำให้เกิดความปลอดภัยต่อผู้ทดสอบโดยการคำนวณความเข้มข้นของกรดและเบสอิงตามสมการที่ 1

$$\text{ปริมาณกรดหรือเบส, mg KOH/g} = (A-B) \times M \times 56.1 / W \quad (1)$$

เมื่อ

A = ปริมาณสารมาตรฐานที่ใช้จนถึงจุดยุติ, ml

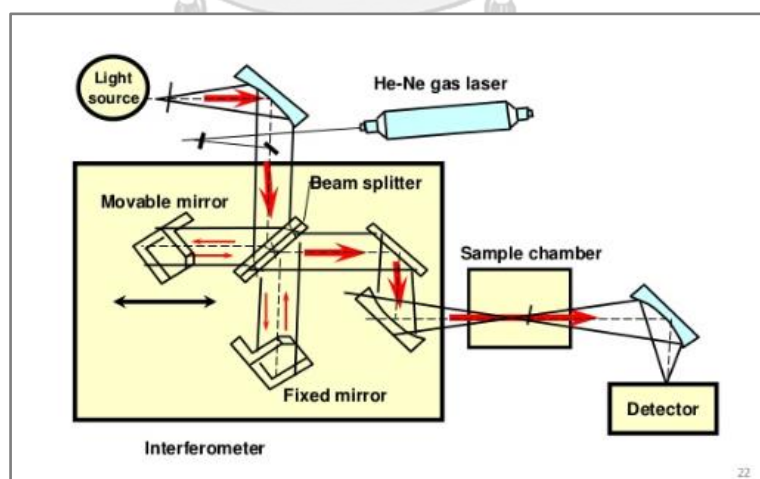
B = ความเข้มข้นของ blank, ml

M = ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน, M

W = น้ำหนักตัวอย่าง, g

2.8.3. การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเดชันและไนเตรชันด้วยเทคนิค FTIR [29]

การวิเคราะห์เพื่อศึกษาโครงสร้างทางโมเลกุลของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ โครงสร้างทางเคมีและหมู่ฟังก์ชันทำการวิเคราะห์ในช่วงการดูดกลืนคลื่นแสงกลาง (mid infrared rang) ช่วงความยาวคลื่นระหว่างระหว่าง $4000 - 550 \text{ cm}^{-1}$ ด้วย sample cell zinc selenide (ZnSe) เนื่องจากทนความชื้นในการทดสอบได้ดีและเหมาะสมกับการทดสอบตัวอย่างที่มีสถานะเป็นของเหลวการทำงานจะทำการดูดกลืนความยาวคลื่นแสงที่ถูกกระตุ้นด้วยการสั่น (Vibration) ที่มีความถี่ของคลื่นที่ตรงกันและทำการแสดงออกมาในรูปแบบสเปกตรัมดังรูปภาพที่ 2.5 ข้อดีของเทคนิค IR ไม่ทำลายตัวอย่าง รวดเร็วและปลอดภัยสูงซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างสถานะของแข็งและของเหลว



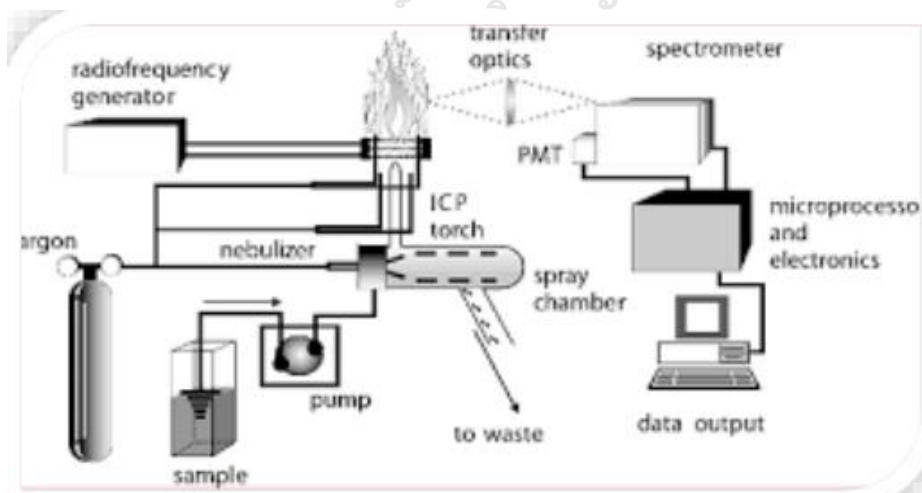
รูปที่ 2.5 การทำงานของเครื่อง FTIR [29]

2.8.4. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักหรือและสารเติมแต่งด้วยเทคนิค ICP-OES [30], [31]

การทำงานของเครื่อง ICP-OES ทำงานภายใต้อุณหภูมิเฉลี่ย 9800 °C จากพลาสมาคู่เหนี่ยวนำส่งผลให้อะตอมของธาตุต่างๆเกิดการเปลี่ยนสถานะพื้น (Grand state) สู่สถานะกระตุ้น (Excited state)หรือไอออน เมื่อธาตุแต่ละชนิดเกิดการลดระดับพลังงานลงสู่สถานะพื้นอะตอมของธาตุแต่ละชนิดทำการปล่อยพลังงานออกมาและแต่ละธาตุมีความยาวคลื่นที่ต่างกันมีความเข้ม (Intensity) แปรผันตรงกับความเข้มข้นของธาตุที่ถูกละลายในสารละลายที่ทดสอบ หน่วยที่ใช้ในการวิเคราะห์ ppm (mg/L) และ % ข้อดีของเทคนิคสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นต่ำและมีสิ่งรบกวนขณะทดสอบที่น้อยเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบสูงโดยช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 7 และ หลักการทำงานของมือแสดงดังรูปที่ 2.6

ตารางที่ 7 ช่วงความยาวคลื่นของธาตุ [31]

ธาตุ	ความยาวคลื่น (nm)
Zn	202.55, 206.20, 213.86
P	177.51, 178.29
Ca	315.88, 317.93
Al	308.22, 396.15, 309.27
Fe	259.94, 238.20



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบเครื่อง ICP-OES [31]

บทที่ 3

เครื่องมือและวิธีการดำเนินงานวิจัย

เครื่องมือและวิธีการวิจัยแบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

3.1. เครื่องมือและอุปกรณ์ดำเนินงานวิจัย

- 3.1.1. Kinematic viscosity meter (Cannon 2000 model)
- 3.1.2. Potentiometric titration (Titrand 905 model)
- 3.1.3. Fourier transform infrared spectroscopy (Perkin Elmer model 1)
- 3.1.4. Inductively coupled plasma (ICP-OES) (Perkin Elmer Avio 500 model)
- 3.1.5. Automatic Thermometer
- 3.1.6. Ag/AgCl reference electrode
- 3.1.7. วาล์วปั๊มสุญญากาศ

3.2. สารเคมี

- 3.2.1. N-Heptane 99.7% (Industrial Grade)
- 3.2.2. Toluene 98.5 % (Industrial Grade)
- 3.2.3. Toluene 99.5 % (AR Grade)
- 3.2.4. Isopropanol 99.8 % (AR Grade)
- 3.2.5. Potassium Hydroxide (KOH)
- 3.2.6. Chloroform 99.8 % (AR Grade)
- 3.2.7. Hydrochloric Acid 37 % (AR Grade)
- 3.2.8. Co 5000 ppm
- 3.2.9. White spirit
- 3.2.10. Electrolyte 3M LiCl in ethanol

3.3. การดำเนินงานวิจัย

3.3.1. การเตรียมตัวอย่างและเก็บตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ใช้รถตู้รุ่น TOYOTA COMMUTER CNG 2018 จำนวนสองคันโดยทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 5 จุดการใช้งานคือ 0 5000 7500 10000 และ 15000 กิโลเมตร ด้วยการเติมตัวอย่างทั้งหมด 3 ผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยน้ำมันเครื่องกึ่งสังเคราะห์ ดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่าง A น้ำมันหล่อลื่นมาตรฐานกึ่งสังเคราะห์เบอร์ความหนืด 10W-40
2. กลุ่มตัวอย่าง B น้ำมันหล่อลื่นมาตรฐานกึ่งสังเคราะห์เบอร์ความหนืด 15W-40
3. กลุ่มตัวอย่าง C น้ำมันหล่อลื่นมาตรฐานกึ่งสังเคราะห์เบอร์ความหนืด 15W-40

ซึ่งน้ำมันหล่อลื่นทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่างถูกผลิตสำหรับใช้งานในเครื่องยนต์สันดาปด้วยระบบแก๊สธรรมชาติเนื่องจากมีคุณสมบัติต่อการทนความร้อนได้สูงและป้องกันการเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ดีโดยวิธีการเก็บตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3.1 เริ่มจากการประกอบปั๊มสุญญากาศซึ่งทำการวัดสายท่อที่ใช้เก็บให้มีความยาวประมาณ 20-25 เซนติเมตรจากนั้นสอดท่อเข้าไปในรูวาล์วให้ลึกประมาณ 25 มิลลิเมตรและทำการบิดเกลียวให้ตึงมือใส่ขวดเก็บตัวอย่างบริเวณเกลียวล่างของวาล์วและหมุนให้แน่น จากนั้นหมุนวาล์วจุดเติมน้ำมันเครื่อง (ก่อนเปิดทำความสะอาดโดยเช็ดเพื่อป้องกันสิ่งสกปรกลงไปในระบบ) และสอดอุปกรณ์พร้อมดึงก้านวาล์วเพื่อให้ตัวอย่างไหลเข้ามาในขวดโดยทำการเก็บตัวอย่างปริมาตรประมาณ 100 มิลลิลิตรจนได้ปริมาณที่ต้องการให้ทำการหมุนขวดออกจากชุดเก็บตัวอย่างและทำการปิดฝาให้เรียบร้อย



รูปที่ 3.1 วิธีการเก็บตัวอย่าง

3.3.2. การวิเคราะห์ค่าความหนืด Kinematic viscosity (D 445)

การวิเคราะห์ความหนืดเป็นปัจจัยสำคัญต่อการทราบถึงเบอร์ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น โดยเครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้วิเคราะห์ความหนืดจลนศาสตร์รุ่น Cannon CAV 2000 โดยใช้การวิเคราะห์ของเหลวภายใต้การไหลตามแรงโน้มถ่วงโลกซึ่งทำการไหลผ่านหลอดแก้วแคปิลารีโดยการวิเคราะห์ความหนืดจะทำการวิเคราะห์ 2 ช่วงอุณหภูมิคือ 40 °C เพื่อจำลองการลงอุณหภูมิก่อนการทำงานในห้องเครื่องและ ณ อุณหภูมิ 100 °C เป็นอุณหภูมิของการทำงานในห้องเครื่องยนต์เกนซ์ การเสื่อมสภาพของความหนืดในน้ำมันหล่อลื่น $\pm 15\%$ เพื่อช่วยในการประเมินความเสื่อมและหยุดการใช้งานรูปเครื่องมือแสดงรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดจลนศาสตร์

3.3.3. การวิเคราะห์ปริมาณค่าความเป็นด่าง Total base number (D 4739)

การวิเคราะห์ปริมาณค่าความเป็นด่างในน้ำมันหล่อลื่นด้วยการไทเทรตเป็นที่มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ปริมาณสารทำความสะอาดและสารช่วยกระจายเขม่าในน้ำมันโดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแสดงที่รูปที่ 3.3 และมีวิธีการทดสอบดังนี้

3.3.3.1. วิธีเตรียม Hydrochloric titrant ความเข้มข้น 0.1 M

เท Isopropanol ปริมาตร 500 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 1000 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปต hydrochloric acid ปริมาตร 8 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ที่มี Isopropanol และทำการปรับปริมาตรด้วย Isopropanol จนครบ 1000 มิลลิลิตรและเทลงขวดสีชา ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร

3.3.3.2. เตรียม Standardization

เตรียม blank นำขวดเปล่าใส่ magnetic bar และสั่งวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Tiamo เมื่อทำการวิเคราะห์เสร็จแล้วทำการเตรียม Standardize HCl ความเข้มข้น 0.1 M โดยเริ่มจากปิเปต Potassium Hydroxide Solution (KOH solution) ความเข้มข้น 0.1 M

ปริมาตร 5 มิลลิลิตรจำนวน 3 บีกเกอร์เติมน้ำกลั่นปริมาตร 60 มิลลิลิตรและใส่ magnetic bar และทำการวิเคราะห์โปรแกรม Tiamo

3.3.3.3. วิธีการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่าง 1 กรัมด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตรและทำการวิเคราะห์โปรแกรม Tiamo ทำการวิเคราะห์จนได้ผลการวิเคราะห์ครั้งที่ 1 ให้ทำการทดสอบซ้ำอีก 1 ครั้งเพื่อหาปริมาณที่แท้จริงตามสมการที่ 2

สูตร

$$A = 7/E \quad (2)$$

A = ปริมาณน้ำหนักที่ได้จากการคำนวณ

E = ปริมาณต่างที่ทำการวิเคราะห์ได้จากครั้งแรก

3.3.4. การวิเคราะห์ปริมาณกรด Total acid number (D664)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดที่เกิดขึ้นจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นจากการออกซิไดซ์โดยมีความร้อนและโลหะเป็นตัวเร่งให้เกิดปริมาณกรดที่สูงขึ้นโดยวิเคราะห์ปริมาณกรดสามารถช่วยป้องกันและควบคุมไม่ให้เกิดการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ ซึ่งวิธีการทดสอบ D664 วิธีการ A เป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์ความเข้มข้นทั้งกรดอ่อนและกรดแก่ในน้ำมันที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.1 mg KOH/g – 150 mg KOH/g โดยใช้ตัวทำละลายระหว่างโทลูอีนและ Propanol-2-ol โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแสดงที่รูปที่ 3.3 ทำการวิเคราะห์ตามวิธีการทดสอบ ดังนี้

1. เตรียม Potassium Hydroxide (KOH) ความเข้มข้น 0.1 M

นำ KOH ชั่ง 8 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ตวงสารละลาย Isopropanol ปริมาตร 1000 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 1000 มิลลิลิตรจากนั้นใส่ magnetic bar และพันด้วย Parafilm เพื่อป้องกันการระเหยของสารเคมีเมื่อเตรียมเรียบร้อยแล้วทำการปั่นกวนจนสารละลายทั้งหมดนำไปเก็บไว้ในจุดพ้นแสง 24 ชั่วโมงทำการกรองผลึกเกลือและเทลงขวดสีชาปริมาตร 1000 มิลลิลิตรเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้น

2. เตรียม Standardization KOH ความเข้มข้น 0.1 M

เตรียมหาความเข้มข้นของ blank โดยเตรียมขวดเปล่าใส่ magnetic bar และทำการวิเคราะห์โปรแกรม Tiamo เมื่อได้ความเข้มข้นของเบสแล้วเรียบร้อย ทำการชั่ง KOH 0.8xxx กรัม จำนวน 3 ขวดทำการเติมน้ำกลั่นปริมาตร 60 มิลลิตรและใส่ magnetic bar และทำการวิเคราะห์โปรแกรม Tiamo

3. ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างตามตารางที่ 8 ด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งลงในบีกเกอร์ขนาด 250 ml. และทำการวิเคราะห์โปรแกรม Tiamo

ตารางที่ 8 น้ำหนักการชั่งตัวอย่างของปริมาณกรด

ปริมาณกรด	น้ำหนักตัวอย่าง (g)
0.05 ถึง < 1.0	20.0 ± 2.0
1.0 ถึง < 5.0	5.0 ± 0.5
5 ถึง < 20	1.0 ± 0.1
20 ถึง 100	0.25 ± 0.02
100 ถึง 260	0.1 ± 0.01



รูปที่ 3.3 เครื่องไทเทรตสำหรับวิเคราะห์ปริมาณต่างและกรด

3.3.5. การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเดชันและไนเตรชันด้วยเทคนิค FTIR

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FTIR เป็นเทคนิคที่ทำการวิเคราะห์ช่วงการดูดกลืนคลื่นแสงช่วงกลางอินฟราเรดระหว่าง $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ โดยใช้เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ Fourier transform infrared spectroscopy (Perkin Elmer model 1) แสดงในรูปที่ 3.4 เป็นเทคนิคที่ช่วยในการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของสารเติมแต่ง การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของน้ำมันพื้นฐานและการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นในน้ำมัน เป็นต้น ในงานวิจัยนี้สนใจวิเคราะห์การเกิดออกซิเดชันและไนเตรชันของน้ำมันที่มีช่วงการดูดกลืนแสงดังตารางที่ 2 ซึ่งเทคนิคนี้ได้รับความนิยมในการใช้วิเคราะห์เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถวิเคราะห์ได้อย่างรวดเร็วและมีวิธีการทดสอบที่ไม่ซับซ้อน โดยเซลล์วิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Zinc selenide (ZnSe) เนื่องจากสามารถใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่างที่มีสถานะเป็นของเหลวและทนต่อความชื้นไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์ทดสอบและทำการล้างเครื่องมือหลังการทดสอบด้วยเฮปเทน (Heptane) เพราะสามารถแห้งได้อย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 9 ตารางแสดงช่วงการดูดกลืนคลื่นแสง

องค์ประกอบ	ช่วงความยาวคลื่น (cm^{-1})
ออกซิเดชัน	1670 - 1800
ไนเตรชัน	1650 -1600



รูปที่ 3.4 เครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (Perkin Elmer model 1)

3.3.6. การวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่ง (additive content) ด้วยเทคนิค ICP-OES

สารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่นมีคุณสมบัติเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-OES รุ่น Avio500 ดังรูปที่ 3.5 จะแสดงผลความเข้มข้นในรูปของโลหะที่มีองค์ประกอบของสารประกอบโลหะออร์แกนิก เรียกว่า Organometallic compound ที่มีโลหะเพียงหนึ่งชนิดและโครงสร้างสารประกอบ ล้อมอะตอม งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณของโลหะ 3 ชนิด ได้แก่ Zn P และ Ca เป็นโลหะของสารประกอบที่นิยมใช้ในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ แสดงที่รูปที่ 3.5 และสามารถเตรียมตัวอย่าง ดังนี้

1. เตรียมสารละลาย Co (VHG-MA6-900-100G, 5000 $\mu\text{g/g}$) ความเข้มข้น 10 ppm ชั่ง Co ปริมาตร 0.5xxx กรัมทำการเจือจางด้วย White spirit ปริมาตร 250 ml.
2. เตรียมสารสำหรับทำ Calibration curve
 - 2.1 ชั่ง Base oil ปริมาตร 0.1 g ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 10 ml และปรับปริมาตรด้วยสารละลาย Co จนถึงขีดที่กำหนด
 - 2.2 เตรียมสารมาตรฐานทั้งหมด 3 ความเข้มข้น ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การเตรียมความเข้มข้นของสารมาตรฐานสำหรับ additive content

Standard conc.	The volume of Nist (g)	The volume of Mo (g)	The volume of base oil (g)
Std 1	0.01	0.02xx	ปรับด้วยน้ำมันพื้นฐานจนมีปริมาตร 0.1xxx
Std 2	0.02	0.04xx	
Std3	0.03	0.06xx	

- standard reference material 1848)
- ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย Co และทำการชั่งพร้อมจดน้ำหนัก
- เตรียม check เตรียมตามสารมาตรฐานที่ 2

2.3 เตรียม control sample โดยชั่ง CS ปริมาตร 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 10 ml ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย Co และทำการชั่งพร้อมจดน้ำหนัก

2.4 เตรียมตัวอย่างซึ่งตัวอย่างปริมาตร 0.1 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 10 ml ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย Co และทำการชั่งพร้อมจดน้ำหนัก

3.3.7 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะปนเปื้อน (Wear metal) ด้วยเครื่อง ICP-OES

การทดสอบปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำมันเป็นการทดสอบที่สามารถบ่งชี้ถึงการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์โดยงานวิจัยนี้ใช้เครื่อง ICP-OES อ้างอิงตาม ASTM D5185 เนื่องจากสามารถวิเคราะห์หาปริมาณโลหะที่ความเข้มข้นต่ำถึงหน่วย ppb และสามารถวิเคราะห์ชนิดของโลหะได้สูงถึง 75 ชนิดและสามารถเตรียมตัวอย่างดังนี้

4. เตรียมสารละลาย Co (VHG-MA6-900-100G, 5000 $\mu\text{g/g}$) ความเข้มข้น 10 ppm ชั่ง Co ปริมาตร 0.5 กรัมทำการเจือจางด้วย White spirit ปริมาตร 250 ml.

2. เตรียมสารสำหรับทำ Calibration curve

2.1 เตรียม blank ชั่ง Base oil (VHG-oil-75-500) ปริมาตร 0.5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 10 ml และปรับปริมาตรด้วยสารละลาย Co

2.2 เตรียมสารมาตรฐานทั้งหมด 3 ความเข้มข้น ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การเตรียมความเข้มข้นของสารมาตรฐานสำหรับ wear metal

Standard conc.	The volume of Nist (g)	The volume of base oil (g)
Std 1	0.02	ปรับด้วยน้ำมันพื้นฐานจนมีปริมาตร 0.5 กรัม
Std 2	0.04	
Std 3	0.06	

- standard (VHG-V21-900-100G) metal additive standard in 75 cSt in Hydrocarbon oil
- ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย Co และทำการชั่งพร้อมจดน้ำหนัก
- เตรียม check เตรียมตามสารมาตรฐานที่ 2

3. เตรียมตัวอย่างซึ่งตัวอย่างปริมาตร 0.5 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ปริมาตร 10 ml ปรับปริมาตรด้วยสารละลาย Co และทำการชั่งพร้อมจดน้ำหนัก



รูปที่ 3.5 เครื่อง ICP-OES Avio500



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์ปัจจัยการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นมาตรฐานกึ่งสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้งานด้วยกระบวนการสันดาปเชื้อเพลิงแก๊โซลีน-ซีเอ็นจีโดยทำการเก็บตัวอย่างตามระยะทาง 0 5000 7500 10000 และ 15000 กิโลเมตร ทำการทดสอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ทางเคมีและทางกายภาพเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงตัวแปรที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นมาตรฐานกึ่งสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้งานด้วยเชื้อเพลิงแก๊โซลีน-ซีเอ็นจีได้ผลออกมาตามหัวข้อต่างๆ ดังนี้

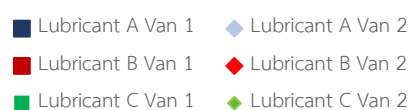
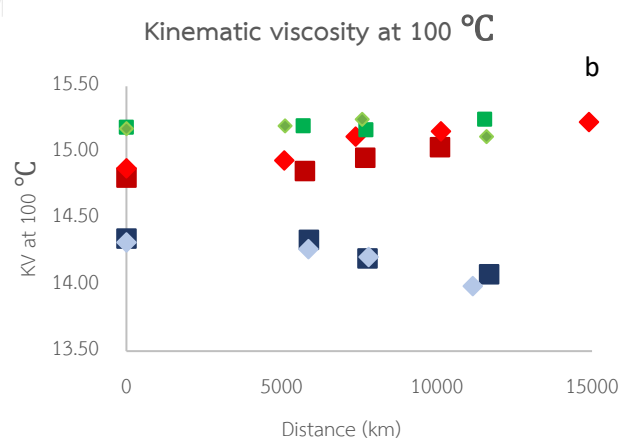
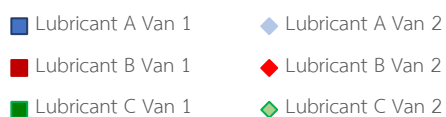
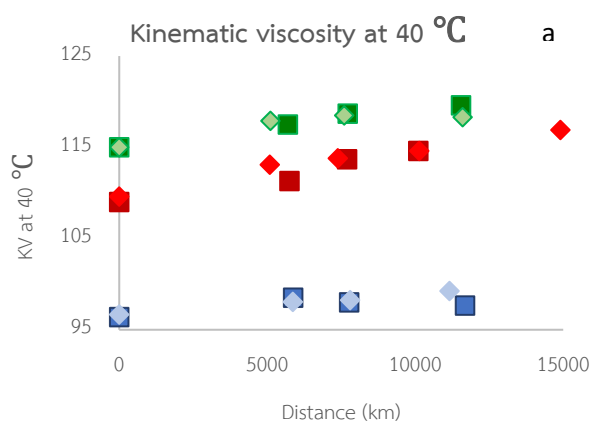
4.1 การวิเคราะห์ค่าความหนืดจลนศาสตร์ (Kinematic viscosity)

จากรูปที่ 4.1a พบว่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C ของน้ำมันทุกกลุ่มตัวอย่างมีความหนืดที่เพิ่มสูงขึ้นและจากตารางที่ 12 พบว่ากลุ่มตัวอย่าง A รถตู้คันที่ 1 ความหนืดเพิ่มขึ้น 1.11 mm²/s และรถตู้คันที่ 2 ความหนืดเพิ่มขึ้น 2.65 mm²/s กลุ่มตัวอย่าง B รถตู้คันที่ 1 ความหนืดเพิ่มขึ้น 9.10 mm²/s และรถตู้คันที่ 2 ความหนืดเพิ่มขึ้น 7.13 mm²/s กลุ่มตัวอย่าง C รถตู้คันที่ 1 ความหนืดเพิ่มขึ้น 4.50 mm²/s และรถตู้คันที่ 2 ความหนืดเพิ่มขึ้น 4.51 mm²/s เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นเมื่อได้รับความร้อนสะสมส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลให้น้ำมันมีการเพิ่มของโมเลกุลออกซิเจนในระบบทำให้มีความหนืดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งน้ำมันในกลุ่ม B1 และ B2 มีความหนืดที่อุณหภูมิ 40 °C เพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มอื่นประมาณ 8.35 และ 6.66 % ตามลำดับ[32]

จากรูปที่ 4.1b ความหนืดที่อุณหภูมิ 100 °C พบว่าความหนืดของน้ำมันในกลุ่ม A และ C มีความหนืดลดลงเล็กน้อยจากระยะการใช้งานเริ่มต้นจนถึงจุดยุติการใช้งานและจากตารางที่ 12 พบว่ากลุ่มตัวอย่าง A รถตู้คันที่ 1 ความหนืดลดลง 0.35 mm²/s และรถตู้คันที่ 2 ความหนืดลดลง 0.34 mm²/s และ กลุ่มตัวอย่าง C รถตู้คันที่ 1 ความหนืดลดลง 0.11 mm²/s และรถตู้คันที่ 2 ความหนืดลดลง 0.18 mm²/s เนื่องจากอุณหภูมิการทำงานที่สูงส่งผลให้เนื้อฟิล์มน้ำมันมีความบางลงและโครงสร้างภายในของน้ำมันพื้นฐานเกิดการเปลี่ยนแปลงแต่กลุ่มตัวอย่าง B เป็นกลุ่มตัวอย่างเดียวที่มีการเพิ่มขึ้นของความหนืดเพียงเล็กน้อยโดยรถตู้คันที่ 1 ความหนืดเพิ่มขึ้น 0.48 mm²/s และรถตู้คันที่ 2 ความหนืดเพิ่มขึ้น 0.35 mm²/s เนื่องจากตัวอย่างในกลุ่มนี้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและหมู่ฟังก์ชัน Carbonyl group (C=O bond) ที่สูงกว่าทุกกลุ่มตัวอย่างสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ FTIR [33]

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 40 และ 100 °C (mm²/s)

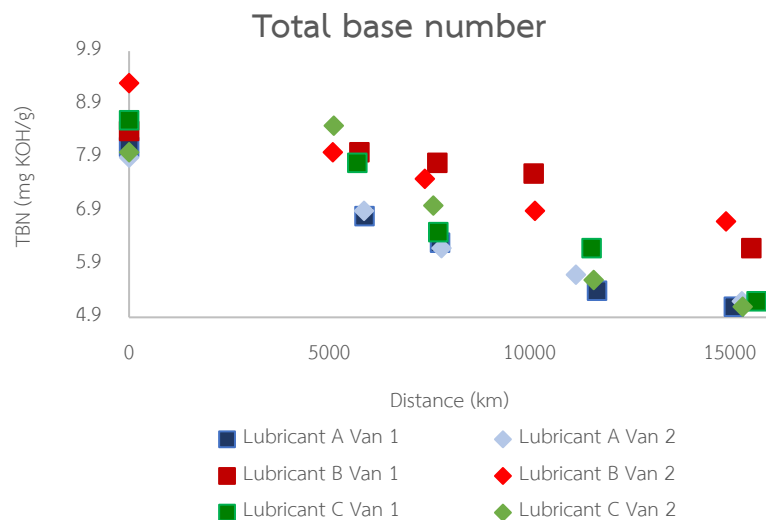
ตัวอย่าง	ระยะทาง (กม.)	40 °C	100 °C	ตัวอย่าง	ระยะทาง (กม.)	40 °C	100 °C
A 1	0	96.39	14.35	A 2a	0	96.67	14.32
	5,877	98.51	14.34		5,864	98.06	14.27
	7765	98.01	14.20		7,800	98.25	14.21
	11682	97.66	14.08		11,157	99.25	13.99
	15100	97.50	14.00		15,300	99.32	13.98
B 1	0	109.0	14.81	B 2	0	109.6	14.88
	5,750	111.3	14.86		5086	113.1	14.94
	7,695	113.7	14.96		7,386	113.8	15.12
	10,103	114.6	15.04		10,134	114.6	15.16
	15,534	118.1	15.29		15,903	116.9	15.23
C 1	0	115.0	15.19	C 2	0	115.0	15.18
	5698	117.5	15.20		5,109	117.9	15.20
	7720	118.7	15.17		7,598	118.5	15.25
	11547	119.6	15.25		11,600	118.3	15.12
	15668	119.5	15.08		15,620	119.5	15.00



รูปที่ 4.1 กราฟการวิเคราะห์ค่าความหนืดที่อุณหภูมิ KV 40 และ 100 °C

4.2. การวิเคราะห์ปริมาณเบส (TBN)

จากรูปที่ 4.2 พบว่าปริมาณเบสในน้ำมันเริ่มมีการลดลงประมาณ 1 mg KOH/g ที่ระยะทางประมาณ 5000 กิโลเมตรทุกกลุ่มตัวอย่างและเมื่อทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆที่ระยะสิ้นสุดการใช้งานพบว่าทุกกลุ่มตัวอย่างมีปริมาณเบสลดลงเฉลี่ย 2-3 mg KOH/g แสดงดังตารางที่ 13 พบว่าปริมาณต่างในน้ำมันมีปริมาณลดลงเนื่องจากต่างในน้ำมันมีหน้าที่ในการช่วยทำความสะอาดเครื่องยนต์และสะเทินกรดที่เกิดขึ้นให้มีสภาวะเป็นกลางและอีกปัจจัยเกิดจากการปนเปื้อนจากกระบวนการสันดาปที่เกิดเขม่าและความร้อน เป็นต้น ส่งผลให้ปริมาณเบสในน้ำมันมีปริมาณที่ลดลงหลังจากผ่านการใช้งาน โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 3 ปัจจัย ดังนี้ ปัจจัยที่ 1 เกิดจากน้ำมันเกิดการเสื่อมสภาพจากการเกิดออกซิเดชัน ปัจจัยที่ 2 เกิดจากเบสช่วยสะเทินกรดในน้ำมันหล่อลื่นและปัจจัยที่ 3 เกิดจากสิ่งสกปรก อาทิเช่น เขม่า โลหะและน้ำ เป็นต้น ซึ่งช่วงเริ่มต้นการใช้งานความเข้มข้นของเบสสูงจึงสามารถช่วยทำความสะอาดระบบเครื่องยนต์ได้ดีแต่เมื่อสิ่งเร้าทั้ง 3 ปัจจัยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพของเบสลดลง [6]



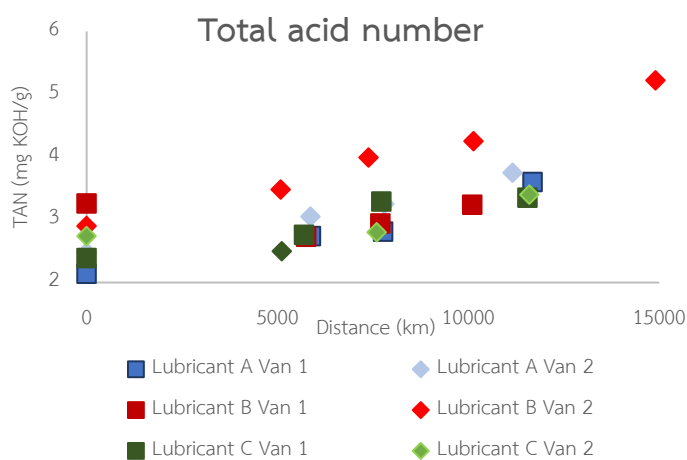
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการวิเคราะห์ปริมาณต่างในน้ำมันหล่อลื่น

ตารางที่ 13 ผลการทดสอบปริมาณต่างในน้ำมันหล่อลื่น

ตัวอย่าง	ระยะทาง (กม.)	TBN (mg KOH/g)	ตัวอย่าง	ระยะทาง (กม.)	TBN (mg KOH/g)
A 1	0	8.1	A 2	0	7.9
	5,877	6.8		5,864	6.9
	7765	6.3		7,800	6.2
	11682	5.4		11,157	5.7
	15100	5.1		15,300	5.2
B 1	0	8.4	B 2	0	9.3
	5,750	8.0		5086	8.0
	7,695	7.8		7,386	7.5
	10,103	7.6		10,134	6.9
	15,534	6.2		15,903	6.7
C 1	0	8.6	C 2	0	8.0
	5698	7.8		5,109	8.5
	7720	6.5		7,598	7.0
	11547	6.2		11,600	5.6
	15668	5.2		15,620	5.1

4.3. การวิเคราะห์ปริมาณกรด (TAN)

การเกิดกรดในน้ำมันหล่อลื่นเป็นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องยนต์ซึ่งการเกิดกรดเป็นผลิตภัณฑ์จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของกรดในปริมาณที่มากขึ้นจากตารางที่ 14 พบว่าปริมาณกรดที่ระยะ 5000 กิโลเมตรจะเริ่มมีการเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.50 mg KOH/g และเมื่อสิ้นสุดระยะการใช้งานที่ 15000 กิโลเมตรจะมีกรดเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 1-2 mg KOH/g ทุกกลุ่มตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าปริมาณกรดในน้ำมันจะมีการเพิ่มขึ้นต่อเนื่องดังรูปที่ 4.3 จากการเกิดออกซิเดชันซึ่งมีตัวเร่งจากอุณหภูมิห้องเครื่องที่สูง ปริมาณโลหะและออกซิเจนในระบบส่งผลให้เกิดกรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) ในน้ำมันที่มีความเข้มข้นสูงสอดคล้องกับการวิเคราะห์ FTIR [7]



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการวิเคราะห์ปริมาณกรดในน้ำมันหล่อลื่น

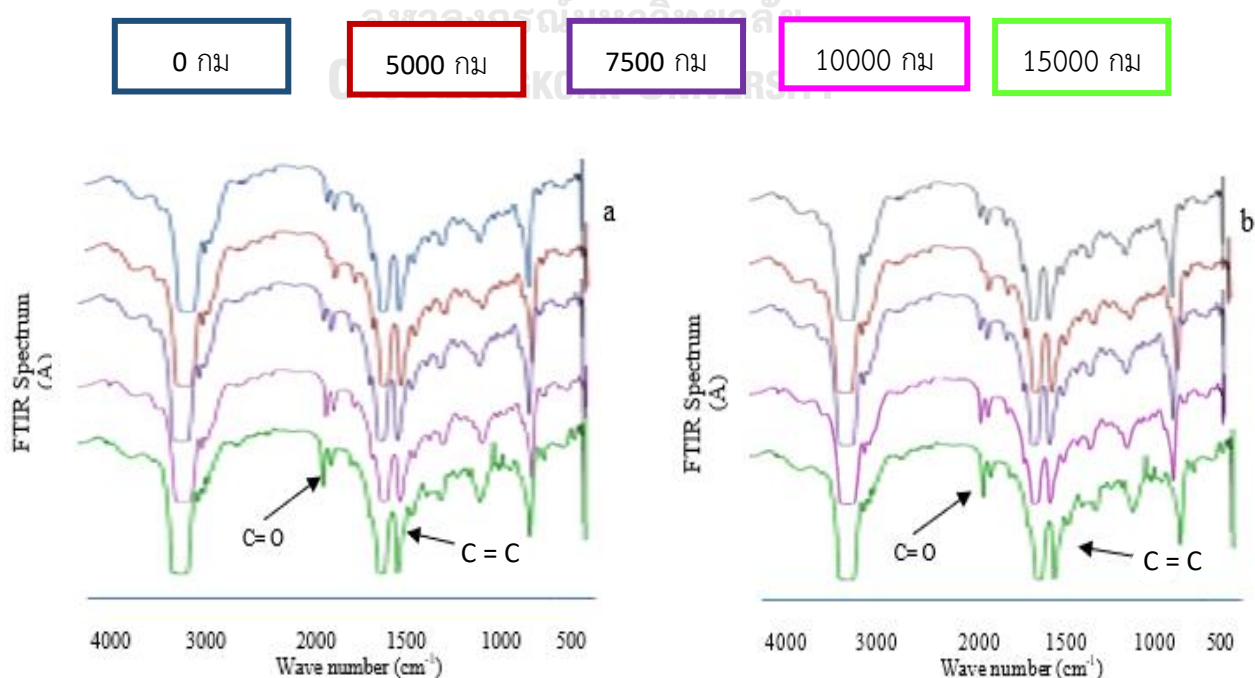
ตารางที่ 14 ผลการทดสอบปริมาณกรด

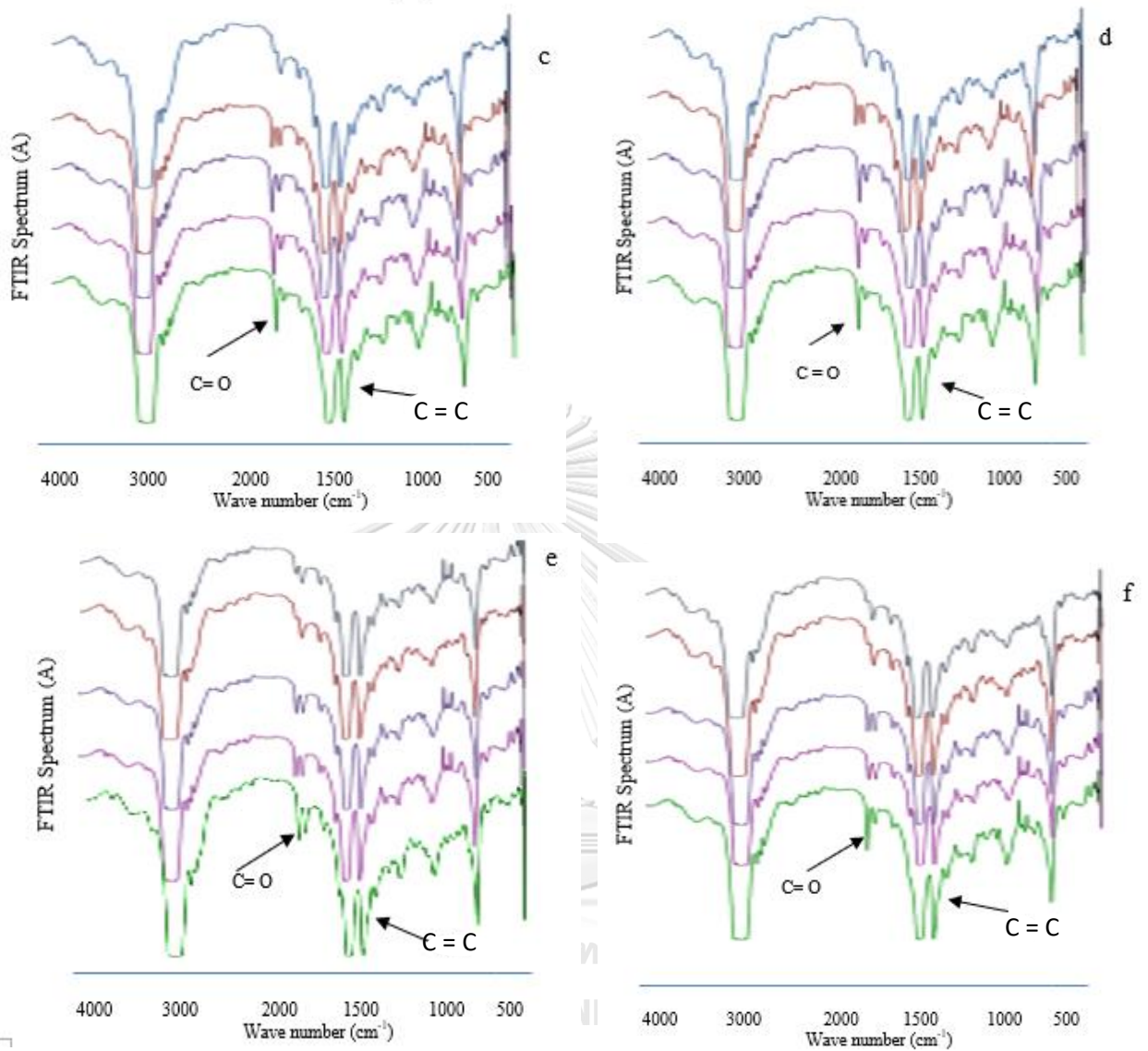
ตัวอย่าง	ระยะทาง (กม.)	TAN (mg KOH/g)	ตัวอย่าง	ระยะทาง (กม.)	TAN (mg KOH/g)
A 1	0	2.14	A 2	0	2.48
	5,877	2.74		5,864	3.05
	7765	2.81		7,800	3.25
	11682	3.60		11,157	3.75
	15100	3.65		15,300	3.95
B 1	0	3.26	B 2	0	2.90
	5,750	2.73		5086	3.48
	7,695	2.94		7,386	3.99
	10,103	3.24		10,134	4.25
	15,534	4.79		15,903	5.22
C 1	0	2.39	C 2	0	2.74
	5698	2.76		5,109	2.50
	7720	3.29		7,598	2.80
	11547	3.35		11,600	3.40
	15668	3.74		15,620	3.89

4.4. การวิเคราะห์ปริมาณออกซิเดชันและไนเตรชัน

จากการวิเคราะห์ช่วงการดูดกลืนคลื่นแสงช่วงกลาง (Middle infrared region) ซึ่งมีเลขคลื่นระหว่าง $4000-550\text{ cm}^{-1}$ สามารถวิเคราะห์โครงสร้างของสารประกอบทางเคมีได้ดังรูปที่ 4.4a – 4.4f ณ ช่วงความยาวคลื่น $1800 - 1670\text{ cm}^{-1}$ แสดงถึงหมู่ฟังก์ชัน Carbonyl group ซึ่งเป็นองค์ประกอบของคาร์บอนจับพันธะคู่กับออกซิเจน $\text{C}=\text{O}$ และเป็นสารตั้งต้นของการเกิดออกซิเดชันซึ่งเป็นสาเหตุหลักของการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์จากสเปกตรัมแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการใช้น้ำมันในระยะทางที่เพิ่มขึ้นหมู่คาร์บอนิลจะมีการดูดกลืนคลื่นแสงที่สูงขึ้นและการเกิดออกซิเดชันยังส่งผลให้เกิดผลิตภัณฑ์ Carboxy compound, Hydroxy compound และสารประกอบอีเทอร์ที่มีผลต่อการเร่งการเสื่อมสภาพของน้ำมัน จากตารางที่ 15 เป็นการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเดชันในน้ำมันซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกับกราฟรูปที่ 4.4a – 4.4f แสดงปริมาณการเกิดออกซิเดชันซึ่งแปรผันตรงกับการใช้งานของน้ำมันในเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น [34]

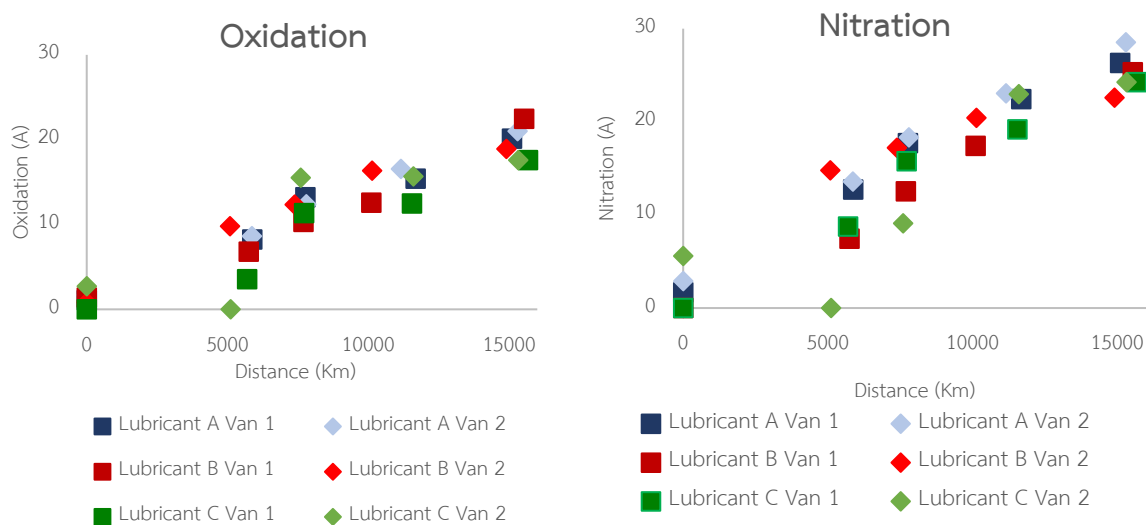
จากรูปที่ 4.4a- 4.4f พบพันธะ $\text{C}=\text{C}$ ที่เป็นองค์ประกอบของสารในกลุ่ม Conjugation alkene ที่แสดงอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ $1650 - 1600\text{ cm}^{-1}$ พบว่าเมื่อใช้งานน้ำมันในระยะทางที่เพิ่มสูงขึ้นมีปริมาณการดูดกลืนคลื่นแสงที่มากขึ้นและจากตารางที่ 15 พบว่าปริมาณไนเตรชันที่ได้จากการวิเคราะห์มีปริมาณที่เพิ่มสูงขึ้นเป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพของสารเติมแต่งและกระบวนการสันดาปของเครื่องยนต์ซึ่งไนเตรชันมีผลกระทบต่อระบบสิ่งแวดล้อมเนื่องจากเป็นส่วนประกอบต่อการเกิดฝนกรดและกีดกร่อนหินในระบบนิเวศ





รูปที่ 4.4 สเปกตรัมการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานในระยะทางดังนี้

- a) Lubricant A Van 1 b) Lubricant A Van 1 c) Lubricant B Van 1
 d) Lubricant B Van 2 e) Lubricant C Van 1 f) Lubricant C Van 2



รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณออกซิเดชันและไนเตรชัน

ตารางที่ 15 ตารางแสดงปริมาณออกซิเดชันและไนเตรชันด้วยเทคนิค FTIR (Abs/cm)

ตัวอย่าง	ระยะทาง (กม.)	ออกซิเดชัน (Abs/cm)	ไนเตรชัน (Abs/cm)	ตัวอย่าง	ระยะทาง (กม.)	ออกซิเดชัน (Abs/cm)	ไนเตรชัน (Abs/cm)
A 1	0	1.08	1.68	A 2	0	1.70	2.89
	5,877	8.24	12.73		5,864	8.63	13.59
	7765	13.21	17.71		7,800	12.38	18.32
	11682	15.41	22.44		11,157	16.56	23.06
	15100	20.13	26.32		15,300	21.01	28.53
B 1	0	1.39	0.00	B 2	0	0.82	0.00
	5,750	6.80	7.45		5086	9.79	14.78
	7,695	10.31	12.54		7,386	12.35	17.20
	10,103	12.58	17.42		10,134	16.35	20.42
	15,534	22.47	25.32		15,903	18.91	22.59
C 1	0	0.00	0.00	C 2	0	2.72	5.59
	5698	3.56	8.75		5,109	0.00	0.00
	7720	11.35	15.76		7,598	15.52	9.10
	11547	12.47	19.18		11,600	15.66	22.97
	15668	17.59	24.25		15,620	17.59	24.25

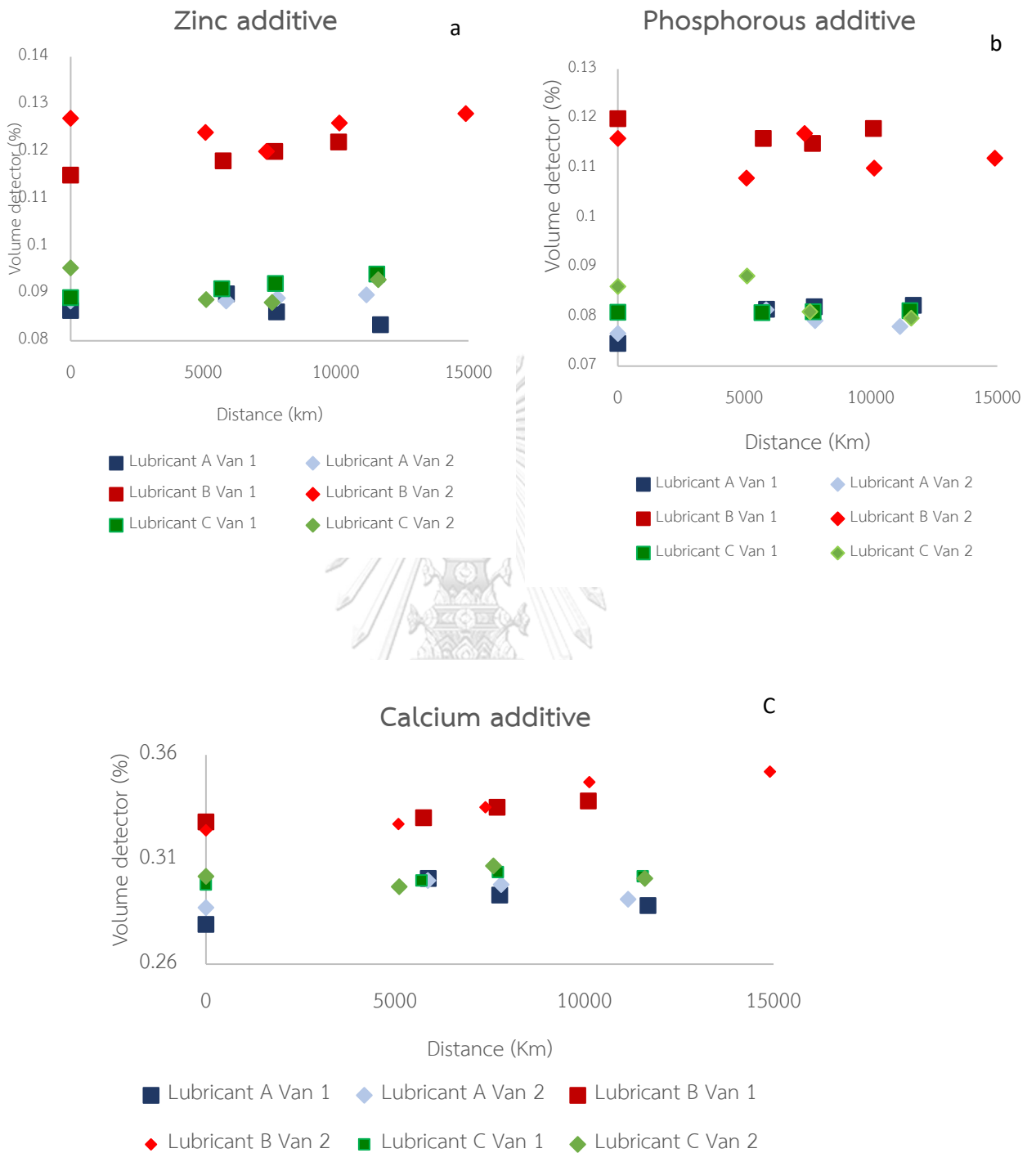
4.5. การวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่ง

จากจากรูปที่ 4.6a พบว่าปริมาณสารเติมแต่งสังกะสี (Zn) ในน้ำมันหล่อลื่นมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยพบว่ามีปริมาณคงเหลือหลังการใช้งานมากกว่า 0.08 % ในทุกกลุ่มตัวอย่างตามตารางที่ 16 ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของ Zinc นิยมนำมาใช้เป็นสารเคลือบชิ้นส่วนตัวถังเครื่องยนต์และส่วนต่างๆ เช่น กระจุกเหล็กคาร์บอนซุบสังกะสีและคาร์บูเรเตอร์ เป็นต้น เนื่องจากช่วยในการป้องกันการเกิดสนิมของชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็ก

จากรูปที่ 4.6b พบว่าปริมาณสารเติมแต่งฟอสฟอรัส (P) ในน้ำมันหล่อลื่นมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยพบว่ามีปริมาณคงเหลือหลังการใช้งานมากกว่า 0.08 % ในกลุ่มตัวอย่าง A1 B1 และ B2 แต่กลุ่มตัวอย่าง A2 และ C มีปริมาณคงเหลือเฉลี่ย 0.078 - 0.079% จากตารางที่ 16 พบว่ากลุ่มตัวอย่าง A ในรถทั้งสองคันมีปริมาณฟอสฟอรัสเพิ่มขึ้นเนื่องจากกลุ่มตัวอย่าง A มีการใช้งานในระยะทางที่น้อยกว่าทุกกลุ่มตัวอย่าง

การวิเคราะห์คือปริมาณของแคลเซียมจากรูปที่ 4.6c พบว่าปริมาณสารเติมแต่งแคลเซียม (Ca) ในน้ำมันหล่อลื่นมีการเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและไม่มีผลต่อการใช้งานในเครื่องยนต์แต่เมื่อไม่มีการเปลี่ยนถ่ายสามารถส่งผลกระทบต่อตัวกรองของเสีย (Catalytic converter) ให้ไม่สามารถกรองของเสียได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม อาทิเช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), ไนโตรเจน (NOx) และ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) และปริมาณสารเติมแต่งคงเหลือของน้ำมันไม่มีผลต่อการทำงานในด้านการหล่อลื่นเครื่องยนต์ [35], [8] โดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมสามารถเกิดจากสาเหตุ ดังนี้

- การปนเปื้อนจากจาระบีชนิด Calcium เนื่องจากจาระบี Ca มีหน้าที่ในการช่วยหล่อลื่นชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์และมีสาร Detergent ที่มีคุณสมบัติในการช่วยทำความสะอาดชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์
- องค์ประกอบที่เกิดจากการปนเปื้อนของฝุ่น ปูนหิน ที่มีการแทรกเข้าไปในเครื่องยนต์ขณะใช้งาน



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น

ตารางที่ 16 ตารางแสดงปริมาณสารเติมแต่งในน้ำมันใหม่

ตัวอย่าง	Zn (%)	P (%)	Ca (%)
A 1	0.0864	0.0743	0.0270
A 2	0.0886	0.0760	0.0285
B 1	0.112	0.125	0.320
B 2	0.126	0.112	0.320
C 1	0.0889	0.0800	0.290
C 2	0.0949	0.0861	0.300

ตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น

ตัวอย่าง	ระยะทาง (กม.)	Zn (%)	P (%)	Ca (%)	ตัวอย่าง	ระยะทาง (กม.)	Zn (%)	P (%)	Ca (%)
A 1	0	0.0864	0.0746	0.279	A 2	0	0.0884	0.0766	0.287
	5,877	0.0899	0.0815	0.301		5,864	0.0884	0.0814	0.300
	7765	0.0861	0.0820	0.293		7,800	0.0890	0.0792	0.298
	11682	0.0834	0.0823	0.288		11,157	0.0897	0.0780	0.291
	15100	0.0812	0.0832	0.278		15,300	0.0900	0.0775	0.279
B 1	0	0.115	0.120	0.328	B 2	0	0.1270	0.1160	0.324
	5,750	0.118	0.116	0.330		5086	0.1240	0.1080	0.327
	7,695	0.120	0.115	0.335		7,386	0.1200	0.1170	0.335
	10,103	0.122	0.118	0.338		10,134	0.1260	0.1100	0.347
	15,534	0.128	0.112	0.352		15,903	0.1280	0.1120	0.352
C 1	0	0.0891	0.0809	0.298	C 2	0	0.0954	0.0861	0.302
	5698	0.0910	0.0808	0.300		5,109	0.0887	0.0882	0.297
	7720	0.0921	0.0810	0.304		7,598	0.0881	0.0810	0.307
	11547	0.0941	0.0812	0.302		11,600	0.0929	0.0797	0.301
	15668	0.0943	0.0791	0.315		15,620	0.0884	0.075	0.305

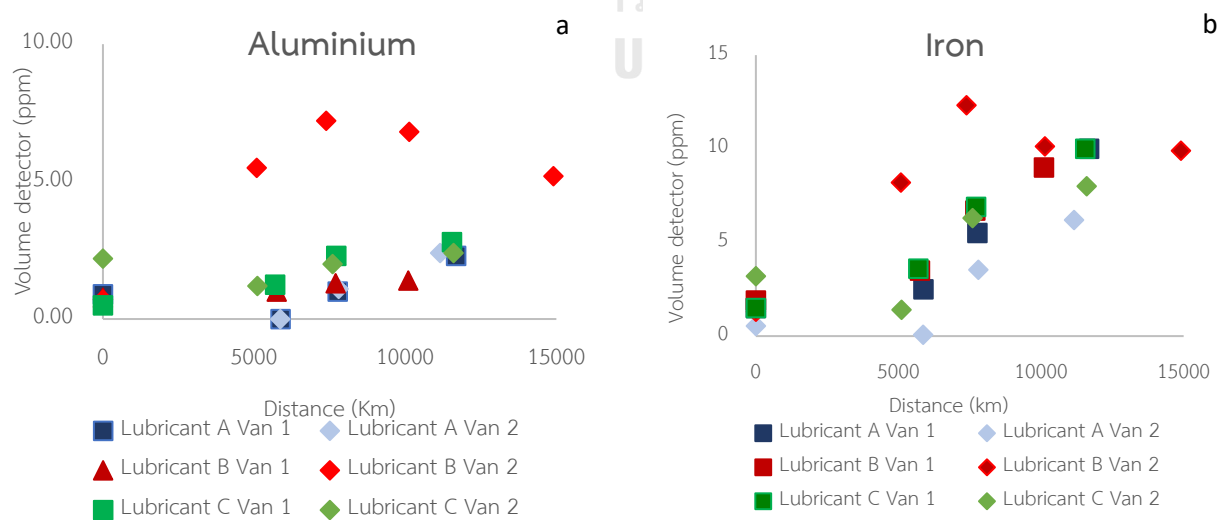
4.6. การวิเคราะห์ปริมาณโลหะสึกหรอ

จากการวิเคราะห์ปริมาณโลหะเหล็ก (Fe) และอลูมิเนียม (Al) ด้วยเทคนิค ICP-OES ที่ จากรูปที่ 4.7a-4.7b พบว่ามีปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันมีปริมาณเพียงเล็กน้อยและจากตารางที่ 17 พบว่าปริมาณโลหะที่ปนเปื้อนยังอยู่ในเกณฑ์ปกติไม่มีผลเสียต่อการใช้งานเครื่องยนต์แสดงให้เห็นว่าน้ำมันหล่อลื่นมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการปกป้องชิ้นส่วนเครื่องยนต์โดยโลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมันมีผลต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันได้โดยตรงเนื่องจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันมีองค์ประกอบของออกซิเจนเมื่อเกิดการทำปฏิกิริยากับโลหะส่งผลให้เกิดการออกซิไดซ์ส่งผลให้น้ำมันเกิดการเสื่อมสภาพได้เร็วกว่าปกติ [8]

โดยการปนเปื้อนในน้ำมันเป็นองค์ประกอบจากการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์โดยส่วนประกอบของอลูมิเนียมในรถรุ่นใหม่นิยมใช้อลูมิเนียมเนื่องจากสามารถช่วยลดน้ำหนักของเครื่องยนต์เฉลี่ย 20 กิโลกรัมเมื่อทำการเทียบกับเครื่องยนต์เหล็กหล่อ อลูมิเนียมนิยมนำมาใช้ในการผลิต Cylinder block ซึ่งมีองค์ประกอบ 91% ซึ่งอลูมิเนียมมีข้อดีคือ น้ำหนักเบาและกระจายความร้อนได้ดีและโลหะอีกชนิด คือ เหล็ก มีความนิยมใช้เป็นองค์ประกอบหลักของตัวเครื่องยนต์เนื่องจากมีความแข็งแรงสูง ทนต่อความร้อนและมีราคาที่ถูก แต่ข้อเสีย คือ เกิดสนิมได้ง่ายและมีน้ำหนักที่มาก

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์โลหะสึกหรอปนเปื้อนในน้ำมัน

ตัวอย่าง	ระยะทาง (กม.)	Al (ppm)	Fe (ppm)	ตัวอย่าง	ระยะทาง (กม.)	Al (ppm)	Fe (ppm)
A 1	0	0.90	1.5	A 2	0	0.56	0.54
	5,877	0.00	2.5		5,864	0.00	0.072
	7765	1.0	5.5		7,800	1.10	3.54
	11682	2.3	10		11,157	2.40	6.20
	15100	3.5	12		15,300	2.00	12.00
B 1	0	0.78	1.9	B 2	0	0.71	1.30
	5,750	1.0	3.5		5086	5.50	8.20
	7,695	1.3	6.7		7,386	7.21	12.32
	10,103	1.4	9.0		10,134	6.81	10.13
	15,534	3.9	13		15,903	5.20	9.90
C 1	0	0.50	1.5	C 2	0	2.20	3.20
	5698	1.25	3.6		5,109	1.20	1.40
	7720	2.3	6.9		7,598	2.00	6.30
	11547	2.80	10		11,600	2.40	8.00
	15668	2.0	11		15,620	3.20	11.00



รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่นมาตรฐานกึ่งสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้งานในเครื่องยนต์สันดาปแก๊สอิน-ซีเอ็นจีพบว่า มีตัวแปรที่ส่งผลให้น้ำมันเกิดการเสื่อมสภาพทั้งหมด 7 ตัวแปรดังนี้

ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิของการทำงานในเครื่องยนต์เนื่องจากการใช้งานในเครื่องยนต์สันดาประบบแก๊สมีอุณหภูมิสูงกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นเฉลี่ย $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ส่งผลให้น้ำมันมีความหนาแน่นลดลงและเป็นตัวเร่งต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ปัจจัยที่ 2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดจากการทำงานภายใต้สภาวะความร้อนสูงและตัวเร่งจากชิ้นส่วนโลหะสึกหรอ น้ำและออกซิเจนในระบบเครื่องยนต์ส่งผลให้ความหนืดในน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น เกิดคราบเหนียวและกรดในน้ำมันหล่อลื่น

ปัจจัยที่ 3 ไนโตรเจนเกิดจากการทำงานภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่สูงและสารเติมแต่งในน้ำมันเครื่องเกิดการเสื่อมสภาพรวมทั้งชิ้นส่วนภายในที่ผลิตจากพอลิเมอร์ซึ่งมีองค์ประกอบของไนโตรเจนทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในระบบได้ผลิตภัณฑ์ คือ Nitrogen oxide (NO_x) ผลกระทบจากการเกิดไนโตรเจนส่งผลให้น้ำมันมีปริมาณกรดเพิ่มขึ้น เมื่อเกิดการกัดกร่อนบริเวณแหวนลูกสูบรั่วมีผลต่อการปล่อยอัตราส่วนของเชื้อเพลิงกับอากาศอย่างไม่เต็มประสิทธิภาพส่งผลต่อการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมและเครื่องยนต์เกิดความเสียหาย

ปัจจัยที่ 4 การเพิ่มขึ้นของกรดเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและการเกิดไนโตรเจนได้ผลิตภัณฑ์ คือ กรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) และกรดไนตริก (Nitric acid) ตามลำดับ เนื่องจากปริมาณกรดสะสมในน้ำมันปริมาณสูงส่งผลให้เกิดการกัดกร่อนชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์ให้เกิดการสึกหรอ

ปัจจัยที่ 5 การปนเปื้อนสามารถแบ่งออกได้ 2 รูปแบบ คือ การปนเปื้อนภายในเครื่องยนต์เกิดจากการปนเปื้อนจากโลหะสึกหรอ น้ำ คราบเขม่าและการรั่วจากน้ำหล่อเย็นและเชื้อเพลิง เป็นต้น และอีกรูปแบบ คือ การปนเปื้อนจากภายนอกระบบเกิดจากดิน ฝุ่นและน้ำ เป็นต้น การปนเปื้อนส่งผลให้น้ำมันเกิดความสกปรกสะสมเมื่อมีปริมาณสูงขึ้นน้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพจนไม่สามารถทำการหล่อลื่นเครื่องยนต์

ปัจจัยที่ 6 การลดลงของปริมาณเบสเกิดจากการทำงานในระยะทางที่เพิ่มขึ้นเกิดการสะสมของคราบเขม่าและการสะสมของสิ่งสกปรกในระบบที่สูงขึ้นเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของสารทำความสะอาดลดลง

ปัจจัยที่ 7 สารเติมแต่งเสื่อมสภาพเมื่อน้ำมันเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพส่งผลให้สารเติมแต่งลดประสิทธิภาพจากการเกิดออกซิเดชัน การลดลงของสารทำความสะอาดและการเปลี่ยนแปลงความหนืด เป็นต้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรเลือกชนิดของน้ำมันหล่อลื่นให้มีความเหมาะสมกับชนิดของเครื่องยนต์และเบอร์ความหนืดตามคำแนะนำของคู่มือรถยนต์

5.2.2 ควรทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องตามคำแนะนำของผู้ผลิตเพื่อการปกป้องเครื่องยนต์อย่างเต็มประสิทธิภาพเพื่อลดการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม

คำถาม

1. Al มาจากน้ำมันเครื่องหรือมาจากเครื่องยนต์

ตอบ อลูมิเนียมที่ปนเปื้อนในน้ำมันเป็นองค์ประกอบจากการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์โดยส่วนประกอบของอลูมิเนียมสามารถช่วยลดน้ำหนักของเครื่องยนต์เฉลี่ย 20 กิโลกรัมเมื่อทำการเทียบกับน้ำหนักเครื่องยนต์เหล็กหล่อ อลูมิเนียมนิยมนำมาใช้ในการผลิต Cylinder block ซึ่งมีองค์ประกอบ 91% ซึ่งอลูมิเนียมมีข้อดี คือ น้ำหนักเบาและกระจายความร้อนได้ดี

2. Zn มีองค์ประกอบในเครื่องยนต์หรือไม่และทำไมจึงเพิ่มขึ้น

ตอบ Zinc นิยมนำมาใช้เป็นสารเคลือบชิ้นส่วนตัวถังเครื่องยนต์และอะไหล่ต่างๆ เช่น กระจุกเหล็กคาร์บอนซุบสังกะสีและคาร์บูเรเตอร์ เป็นต้น เนื่องจาก Zn มีคุณสมบัติช่วยป้องกันการเกิดสนิมของชิ้นส่วนที่ทำจากเหล็ก

3. Ca เพิ่มเกิดจากอะไรทำไมถึงเพิ่มขึ้นเพราะเหตุใด

ตอบ สาเหตุที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมประกอบด้วยสาเหตุ ดังนี้

- การปนเปื้อนจากจาระบีชนิด Calcium เนื่องจากจาระบี Ca มีหน้าที่ในการช่วยหล่อลื่นชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์มีคุณสมบัติป้องกันความร้อนและสามารถทำงานภายใต้ความชื้นจากน้ำได้ดี
- องค์ประกอบที่เกิดจากการปนเปื้อนของฝุ่น ปูนหิน ที่มีการแทรกเข้าไปในเครื่องยนต์ขณะใช้งาน
- น้ำจากในระบบและนอกระบบเครื่องยนต์ที่มีองค์ประกอบของเกลือ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียมและฟอสฟอรัส เป็นต้น

4. โลหะที่สึกหรอส่งผลต่อสภาพการเสื่อมสภาพอย่างไร

ตอบ โลหะที่ปนเปื้อนในน้ำมันมีผลต่อการเสื่อมสภาพของน้ำมันได้โดยตรงเนื่องจากการเสื่อมสภาพของน้ำมันมีองค์ประกอบของออกซิเจนที่ได้รับจากการเกิดออกซิเดชันและไอดีจากกระบวนการสันดาปเมื่อเกิดการทำปฏิกิริยากับโลหะส่งผลให้เกิดการออกซิไดซ์ทำให้น้ำมันเกิดการเสื่อมสภาพได้เร็วกว่าปกติ

5. จากการวิเคราะห์ที่ทำมาสามารถอธิบายเกรดของน้ำมันเครื่องมีต่อการเสื่อมสภาพได้หรือไม่

ตอบ สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของน้ำมันหล่อลื่นที่เป็นเกรดเดียวกันได้แม้จะมีการใช้เบอร์ความหนืดที่ต่างกันเนื่องจากองค์ประกอบของน้ำมันหล่อลื่นเกรดเดียวกันเมื่อถูกใช้งานในสภาวะเดียวกันสามารถเกิดการแปรสภาพได้ใกล้เคียงกัน ดังนี้

จากตารางที่ 1 แสดงถึงคุณสมบัติของน้ำมันใหม่ระหว่างเบอร์ความหนืด 10W-40 มีความหนืดความหนืดที่ 40 °C ต่ำกว่า เบอร์ 15W-40 และการวิเคราะห์ Pourpoint เบอร์ 10W-40 ได้อุณหภูมิต่ำกว่าน้ำมันในเบอร์ 15W-40 และเนื่องจากปริมาณของน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐานในกลุ่ม 10W-40 มีการใช้น้ำมันพื้นฐานในกลุ่มสังเคราะห์ในปริมาณมากกว่าและน้ำมันเบอร์ 10W-40 สามารถใช้งานภายใต้อากาศหนาวได้ดีกว่าเบอร์ 15W-40 จึงแสดงผลดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 คุณสมบัติของน้ำมันใหม่ทั้ง 3 ยี่ห้อ

Properties	Lubricant A 10W-40	Lubricant B 15W-40	Lubricant C 15W-40
Grade	10W-40	15W-40	15W-40
KV 40 °C (mm ² /s)	98.01	112.7	115.3
KV 100 °C (mm ² /s)	14.80	15.12	15.31
Viscosity index	158	140	140
Pour point (°C)	-45	-33	-33
Flashpoint (°C)	240	250	254

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุดแสดงดังตารางที่ 20 พบว่า ผลการทดสอบที่เบอร์ความหนืดต่างกันระหว่าง 10W-40 และ 15W-40 น้ำมันมีการเสื่อมสภาพที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากน้ำมันที่มีเบอร์ความหนืดต่างกันแต่ทำงานภายใต้สภาวะและมาตรฐานน้ำมันเดียวกันเมื่อผ่านการใช้งานจะแสดงการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีที่สอดคล้องกัน

ตารางที่ 20 ตารางแสดงการเปรียบเทียบการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น A และ C

การวิเคราะห์	LUBE A Van 1	LUBE A Van 2	LUBE C Van 1	LUBE C Van 2
ความหนืด 40 °C	1.11	2.65	4.50	4.5
ความหนืด 100 °C	-0.35	-0.34	-0.11	-0.2
TBN (mg KOH/g)	-3.00	-2.70	-3.40	-2.9
TAN (mg KOH/g)	1.51	1.47	1.35	1.15
Oxidation (%)	10.05	19.31	17.59	14.87
Nitration (%)	24.64	25.64	24.25	18.66
Al (ppm)	2.60	1.44	1.50	1.00
Fe (ppm)	10.50	11.46	9.50	7.80
Zn (%)	-0.005	0.0016	0.005	-0.0070
P (%)	0.0086	0.0009	-0.001	-0.0070
Ca (%)	-0.001	-0.008	0.017	0.003

*ผลในตารางคำนวณ = (จุดสิ้นสุด - จุดเริ่มต้น)

เมื่อทำการเปรียบเทียบน้ำมันเบอร์ความหนืดเดียวกันคือเบอร์ 15W-40 พบว่าจากตารางที่ 21 น้ำมันทั้งสองกลุ่มตัวอย่างมีการเสื่อมสภาพที่สอดคล้องกันเนื่องจากน้ำมันที่มีเบอร์ความหนืดเดียวกันจะมีปริมาตรของสารเติมแต่งที่ต่างกันขึ้นอยู่กับผู้ผลิตแต่เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของน้ำมันทั้งสองตัวอย่างพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติที่อยู่ในจุดที่ใกล้เคียงกัน ทั้งการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพและเชิงเคมี

ตารางที่ 21 ตารางแสดงการเปรียบเทียบการเสื่อมสภาพของน้ำมันหล่อลื่น B และ C

การวิเคราะห์	LUBE B Van 1	LUBE B Van 2	LUBE C Van 1	LUBE C Van 2
ความหนืด 40 °C	9.10	7.30	4.50	4.50
ความหนืด 100 °C	0.48	0.35	-0.11	-0.20
TBN (mg KOH/g)	-2.20	-2.60	-3.40	-2.90
TAN (mg KOH/g)	1.53	2.32	1.35	1.15
Oxidation (%)	21.08	19.73	17.59	14.87
Nitration (%)	25.32	22.59	24.25	18.66
Al (ppm)	3.12	4.49	1.50	1.00
Fe (ppm)	11.10	8.60	9.50	7.80
Zn (%)	0.013	0.0010	0.005	-0.0070
P (%)	-0.008	-0.0040	-0.001	-0.0070
Ca (%)	0.024	0.028	0.017	0.003

*ผลในตารางคำนวณ = (จุดสิ้นสุด - จุดเริ่มต้น)

6. Nitration มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความหนืดหรือไม่

ตอบ ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความหนืดแต่ส่งผลการเพิ่มขึ้นของกรดในน้ำมันและเมื่อเกิดการสะสมในปริมาณมากขึ้นมีผลต่อการกัดกร่อนของชิ้นส่วนภายในเครื่องยนต์

บรรณานุกรม

1. Ministry of Energy. *Natural gas [online]*. 2016 [19 July 2021]; Available from: <http://www.eppo.go.th/index.php>.
2. กรมขนส่งทางบก. ข้อควรทราบจากการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ. [cited 2022 5 June]; Available from: https://www.dlt-inspection.info/dlt/cp/file_uploads/22-12-12-21-43-23.pdf.
3. National Geographic Science. ปรากฏการณ์ฝนกรด [online]. 2020 [cited 2021 19 กรกฎาคม]; Available from: <https://ngthai.com/science/27149/acid-rain/>.
4. Heredia-Cancino, J., M. Ramezani, and M. Álvarez-Ramos, *Effect of degradation on tribological performance of engine lubricants at elevated temperatures*. Tribology International, 2018. **124**: p. 230-237.
5. Zzeyani, S., et al., *Spectroscopic analysis of synthetic lubricating oil*. Tribology International, 2017. **114**: p. 27-32.
6. Macián, V., et al., *Applying chemometric procedures for correlation the FTIR spectroscopy with the new thermometric evaluation of Total Acid Number and Total Basic Number in engine oils*. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2021. **208**: p. 104215.
7. De Rivas, B.L., et al., *Determination of the total acid number (TAN) of used mineral oils in aviation engines by FTIR using regression models*. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2017. **160**: p. 32-39.
8. de Souza, J.R., et al., *Comparison of parallel flow and concentric micronebulizers for elemental determination in lubricant oil, residual fuel oil and biodiesel by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 2011. **66**(5): p. 356-361.
9. กรมธุรกิจพลังงาน. น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์. [cited 2022 5 June]; Available from: https://www.doeb.go.th/knowledge/lube_total.htm.
10. Energy Education. *Lubricating oil*. 2015 [cited 2022 14 April]; Available from: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Lubricating_oil.

11. Machinery lubrication. *Lubrication Basics*. [cited 2022 15 May]; Available from: <https://www.machinerylubrication.com/Read/24100/lubrication-basics>.
12. Machinery lubrication. *How to chose the right engine*. [cited 2022 6 June]; Available from: <https://www.machinerylubrication.com/Read/30197/choose-engine-oil>.
13. razwe, F. เจาะลึกมาตรฐาน API. [cited 2022 3 June]; Available from: <https://www.taradfilter.com/all-about-api-standard/>.
14. lubricant, S.g. เรื่องของเกรดน้ำมันเครื่อง. [cited 2022 1 July]; Available from: <http://www.siamgloballubricant.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539384078>.
15. Oburudow. *ILSAC*. [cited 2022 03 June]; Available from: <https://oborudow.ru/th/tuning/cho-takoe-ilsac-gf-5-klassy-api-sn-i-ilsac-gf5-dopolnitelnyy-metod-termicheskogo-ispytaniya/>.
16. PTTPLC. *Natural gas netilization*. Available from: http://pttinternet.pttplc.com/csc_gas/csc_ind/utilization/car_old.asp.
17. PTTPLC. *Natural gas combustion*. [cited 2022 7 July]; Available from: http://pttinternet.pttplc.com/csc_gas/csc_ind/utilization/naturalgascombustion.asp.
18. ชุมชนคนใช้แก๊ส. ระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ (ECU) สำหรับยานยนต์ก๊าซธรรมชาติ (NGV). 2009 [cited 2022 1 june]; Available from: <https://www.iwebgas.com/smf/index.php?topic=1231.0>.
19. reform, E. ข้อมูลการติดตั้งเชื้อเพลิงแก๊ส. 2560 [cited 2565 16 July]; Available from: <https://www.energy-reform.com/profile/index.php?l=th&tid=4&mid=53&pid=51>.
20. ธนาคารแห่งประเทศไทย. ราคาสินค้าอุตสาหกรรมที่สำคัญ. 2565 [cited 2565 16 June]; Available from: https://www.bot.or.th/App/BTWS_STAT/statistics/BOTWEBSTAT.aspx?reportID=90&language=TH.
21. Machinery lubrication. *Determining the cause of oil degradation*. [cited 2022 7 July]; Available from: <https://www.machinerylubrication.com/Read/29169/oil-degradation-cause>.

22. Sneha, E., et al., *Experimental and quantum chemical investigation of bio-fuels/lubricants for its oxidative stability*. Journal of Molecular Liquids, 2021. **340**: p. 117292.
23. Jose, J. and N. Behera, *Study of wear and friction characteristics of powder lubricants under extreme pressure conditions*. Materials Today: Proceedings, 2020. **22**: p. 1306-1317.
24. ศูนย์สารสนเทศยานยนต์. ความสกปรกของเครื่องยนต์. 2558 [cited 2022 9 July]; Available from: <https://data.thaiauto.or.th/pages/offline/38-info-general>.
25. chem, A. *Instrumental infrared and Fourier Transform Spectroscopy*. [cited 2022 5 July]; Available from: http://delloyd.50megs.com/MOBILE/infrared_spectroscopy.html.
26. ASTM International Standards, *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*. 2000. **9**: p. 4-11.
27. ASTM International Standards, *Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration*. 2019. **11**: p. 1-11.
28. ASTM International Standards, *Standard Test Method for Base Number Determination by Potentiometric Hydrochloric Acid Titration*. 2018. **8**: p. 1-8.
29. ASTM International Standards, *Standard Practice for Condition Monitoring of In-Service Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry*. 2019. **24**: p. 1-24.
30. ASTM International Standards, *Standard Test Method for Multielement Determination of Used and Unused Lubricating Oils and Base Oils by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES)*. 2018. **9**: p. 1-9.
31. ASTM International, *Standard Test Method for Determination of Additive Elements in Lubricating Oils inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry*. 2019. **3**: p. 1-3.
32. Chen, B., et al., *A New Type of Mixed Vegetable Insulating Oil with Better Kinematic Viscosity and Oxidation Stability*. Journal of Molecular Liquids, 2022: p. 119512.

33. John P. Coates, *Chapter 6 - Analytical Techniques in Lubricating Practices*, in *Tribology and Interface Engineering Series*, Z. Pawlak, Editor. 2003, Elsevier. p. 217-265.
34. Gracia, N., et al., *Combination of mid-infrared spectroscopy and chemometric factorization tools to study the oxidation of lubricating base oils*. *Catalysis Today*, 2010. **155**(3): p. 255-260.
35. Al Sheikh Omar, A., et al., *Chemical and physical assessment of engine oils degradation and additive depletion by soot*. *Tribology International*, 2021. **160**: p. 107054.





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาว กณิกนันต์ ถิ่นพฤกษ์งาม
วัน เดือน ปี เกิด	16 ธันวาคม 2537
สถานที่เกิด	จังหวัดร้อยเอ็ด
วุฒิการศึกษา	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ที่อยู่ปัจจุบัน	55 เพชรเกษม 48 แยก16 (ดงเตย) เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY