

ทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรม

2.1 ทฤษฎีเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด (Compression Ignition Engine)

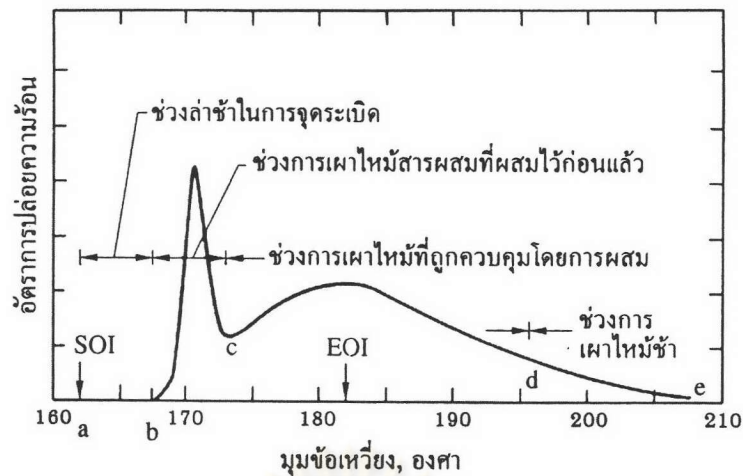
หลักการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด คือ ที่ปลายจังหวะอัด เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ในจังหวะที่ลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งก่อนศูนย์ตายบนเล็กน้อย โดยเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าไปนั้นจะมีความดันสูงมากโดยผ่านออร์ฟิซก่อนที่จะผ่านปลายหัวฉีดแล้วแตกเป็นละอองเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ แล้วจะระเหยอย่างรวดเร็วและผสมกับอากาศที่มีอุณหภูมิและความดันที่สูงภายในกระบอกสูบ หลังจากนั้นก็จะเกิดการจุดระเบิดเองของเชื้อเพลิงที่ผสมกับอากาศซึ่งอยู่ในอัตราส่วนที่สามารถติดไฟได้ เมื่อการเผาไหม้เริ่มขึ้น ความดันและอุณหภูมิในห้องเผาไหม้ก็สูงขึ้นซึ่งจะช่วยให้เชื้อเพลิงในส่วนที่เหลือระเหยและผสมกับอากาศได้เร็วมากขึ้น ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่เร็วและรุนแรงต่อเนื่องจนกระทั่งเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้ถูกเผาไหม้จนหมด

จะเห็นได้ว่าหลักการการเผาไหม้ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดค่อนข้างซับซ้อน การเผาไหม้ที่ดีจะเกิดจากการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่ดี ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ กระบวนการแตกละอองเป็นฝอย (Atomization) การระเหย (Vaporisation) การผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ (Fuel-Air Mixing) และการเผาไหม้ (Combustion) ของเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้าห้องเผาไหม้

2.1.1 ปรากฏการณ์ของการเผาไหม้ในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

อัตราการปล่อยความร้อน (Heat-Release rate) เป็นหลักการที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการอธิบายปรากฏการณ์ของการเผาไหม้ภายในกระบอกสูบ ซึ่งอัตราการปล่อยความร้อนนี้ก็คือพลังงานเคมีของเชื้อเพลิงที่ปล่อยออกมาขณะเกิดการเผาไหม้ โดยสามารถแบ่งกระบวนการของอัตราการปล่อยความร้อนออกเป็น 4 ช่วง ซึ่งแต่ละช่วงจะถูกควบคุมโดยกระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีที่แตกต่างกัน แม้ว่าตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อในแต่ละช่วงก็คือระบบห้องเผาไหม้ที่ใช้และสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์ แต่ทุกช่วงจะเกิดขึ้นเสมอในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ในเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (DI) แผนภูมิแสดงอัตราการปล่อยความร้อนแสดงในรูปที่ 2-1 โดยสามารถอธิบายขั้นตอนการเกิดได้คือ



รูปที่ 2-1 แสดงอัตราการปล่อยความร้อนของเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง และช่วงการเผาไหม้แบบต่างๆ (SOI:Start of injection, EOI:End of injection) [1]

- ช่วงล่าช้าการจุดระเบิด (Ignition delay, a-b) คือช่วงเวลาระหว่างเริ่มต้นฉีดเชื้อเพลิง (SOI, Start of injection) เข้าสู่ห้องเผาไหม้จนถึงระยะเวลาที่การเผาไหม้เริ่มต้น
- ช่วงการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผสมกันก่อนแล้ว (Premixed combustion phase, b-c) ซึ่งเป็นช่วงเวลาของการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ผสมกันก่อนในช่วงล่าช้าการจุดระเบิด ซึ่งจะเกิดการเผาไหม้อย่างพร้อมกันและรวดเร็วและให้ผลของอัตราการปล่อยความร้อนที่สูง
- ช่วงการเผาไหม้ที่ควบคุมโดยการผสม (Mixing combustion phase, c-d) เมื่อเชื้อเพลิงที่ผสมกันก่อนแล้วถูกเผาไหม้หมดอัตราการเผาไหม้จะถูกควบคุมโดยอัตราการเกิดของสารผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่พร้อมจะเผาไหม้ โดยจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นแต่อาจจะไม่สูงถึงค่าแรกแล้วจะลดลงเมื่อเวลาผ่านไป
- ช่วงการเผาไหม้ล่าช้า (Late combustion phase, d-e) เป็นช่วงที่การปล่อยความร้อนเกิดขึ้นในอัตราที่ต่ำในจังหวะขยายตัว ซึ่งเป็นการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่เหลืออยู่น้อยและเป็นการเผาไหม้ในส่วนของเขม่าไนท์ที่เกิดในส่วนผสมหนาที่เกิดขึ้นก่อนหน้านั้น แต่สำหรับในระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M และระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (IDI) นั้น

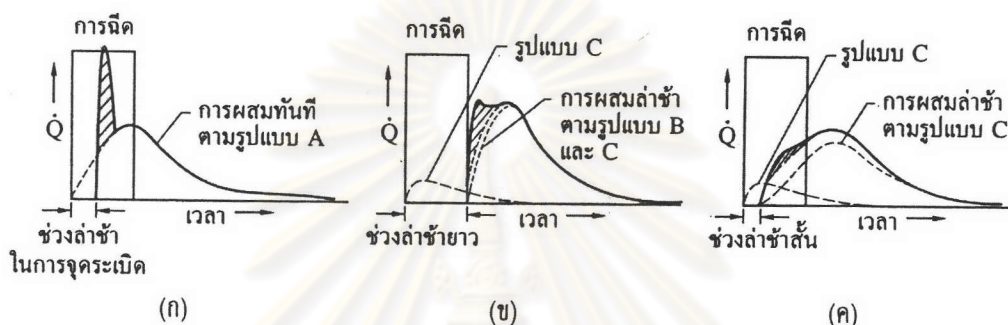
การปล่อยความร้อนจะต่างกับอัตราการปล่อยความร้อนจากระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงตามรูปที่ 2-2 โดยจากการศึกษารูปแบบของการเผาไหม้ต่างๆ ได้มีการนำเสนอกลไกหรือรูปแบบการฉีดการผสมหรือการเผาไหม้ที่สำคัญในเครื่องยนต์ดีเซลไว้ 3 รูปแบบ คือ

- รูปแบบ A เกิดจากการฉีดเชื้อเพลิงเข้าไปทันทีโดยโมเมนตัมที่มากพอควร และเกิด

การผสมทันทีของเชื้อเพลิงและเกิดส่วนผสมของการผสมกันล่วงหน้า (Premix)

- รูปแบบ B เชื้อเพลิงจะไปเกาะที่ผนัง การผสมในช่วงล่าช้าเกือบจะไม่มีเนื่องจากการระเหยของเชื้อเพลิงถูกจำกัด แต่หลังจากการจุดระเบิดการระเหยจะรวดเร็วและจะถูกควบคุมโดยอัตราการเข้าถึงผิวของแก๊สร้อน (เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับผิวซึ่งจะทำให้เชื้อเพลิงระเหยเร็วขึ้น) และจะเกิดการผสมในแนวรัศมีจากแรงหนีศูนย์กลางที่ต่างกัน

- รูปแบบ C เชื้อเพลิงถูกกระจายไปใกล้กับผนัง และมีการผสมเกิดในช่วงล่าช้าแต่ในอัตราที่น้อยกว่าแบบ A เมื่อเกิดการจุดระเบิดจะเกิดการผสมขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นเดียวกับรูปแบบ B



รูปที่ 2-2 แสดงอัตราการฉีดเชื้อเพลิงและอัตราการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล 3 แบบ [1]

- (ก) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่ใช้หัวฉีดแบบหลายรู ติดไว้ตรงกลาง
- (ข) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M ที่ฉีดเชื้อเพลิงเข้าผนัง
- (ค) แสดงอัตราการเผาไหม้ของระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน

จากรูปที่ 2-2 แสดงอัตราการปล่อยความร้อนที่ต่างกันจากการเผาไหม้ของระบบการฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่ใช้หัวฉีดแบบหลายรูติดตั้งไว้ตรงกลาง รูป 2-2 (ก) แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M รูป 2-2 (ข) และเครื่องยนต์แบบฉีดโดยอ้อมที่ใช้ห้องเผาไหม้แบบไหลวนรูป 2-2 (ค) สำหรับเครื่องยนต์แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงจะมีรูปแบบตามรูปแบบ A ส่วนระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงแบบ M นั้นจะมีรูปแบบตามรูปแบบ B และ C ซึ่งจะช่วยให้อัตราการเผาไหม้ในช่วงแรกไม่สูงเกินไป ส่วนระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม ช่วงล่าช้าการจุดระเบิดจะสั้นหลังจากนั้นจะเป็นการผสมของรูปแบบ C

2.1.2 ความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ใช้กำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสมรรถนะของเครื่องยนต์ได้แก่ กำลังเบรก, แรงบิดเบรก และ brake specific fuel consumption ฯลฯ

กำลังเบรกของเครื่องยนต์สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$P_b = T_b \omega = \frac{2\pi NT_b}{6000} \quad (2-1)$$

Brake Fuel Conversion Efficiency

$$\eta_{fb} = \frac{P_b}{m_f Q_{HV}} \quad (2-2)$$

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

$$bsfc = \frac{m_f}{P_b} \quad (2-3)$$

ความดันยังผลเฉลี่ยเบรก สำหรับเครื่องยนต์ 4 จังหวะ คือ

$$bmep = 4 \pi T_b / V_d \quad (2-4)$$

Volumetric Efficiency

$$\eta_v = \frac{2 m_a \times 10^3}{60 \rho_{a,i} V_d N} \quad (2-5)$$

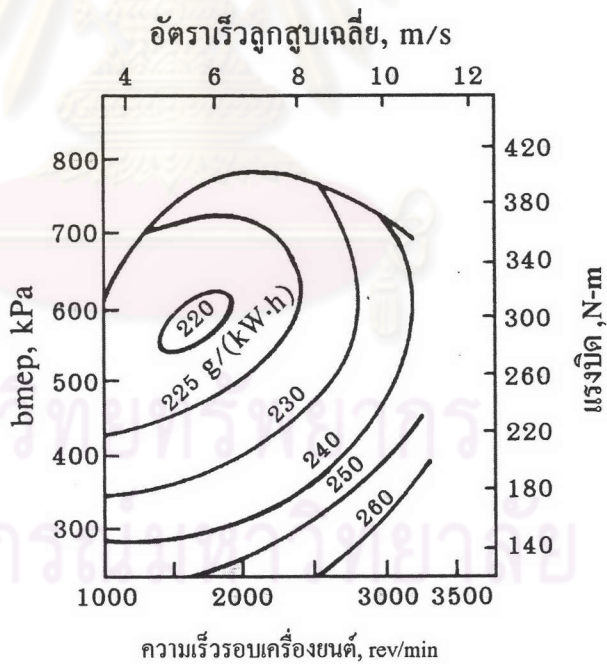
โดยที่	P_b	=	กำลังเบรก (kW)
	T_b	=	แรงบิดเบรก (N-m)
	bmep	=	Brake Mean Effective Pressure (kPa)
	N	=	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rev/min)
	V_d	=	Displacement Volume (dm ³)
	Q_{HV}	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)
	m_f	=	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (g/s)
	$\rho_{a,i}$	=	ความหนาแน่นของอากาศที่ไหลเข้าเครื่องยนต์ (kg/m ³)
	bsfc	=	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (mg/J)
	η_{fb}	=	Brake Fuel Conversion Efficiency
	ω	=	ความเร็วเชิงมุม (rad/s)

2.1.3 แผนภูมิสมรรถนะ (Performance Map) ของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด

ตัวแปรในการทำงานที่สำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะ ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด คือ ภาวะ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์

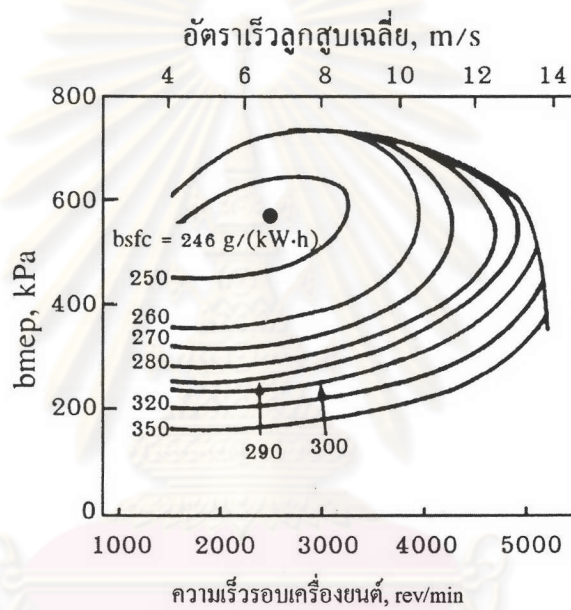
สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดที่ภาวะและความเร็วรอบต่างๆ จะแสดงเป็นแผนภูมิสมรรถนะดังตัวอย่างในรูปที่ 2-3 ซึ่งเป็นการแสดงค่า bsfc ที่เท่ากันกับกราฟของ bmep (หรือค่าแรงบิด) กับ ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (หรืออัตราเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ)

รูปที่ 2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง มีอากาศเข้าโดยธรรมชาติมีการไหลวนปานกลาง สีจางหะ ระบายความร้อนด้วยอากาศ ปริมาตรกระจัด 6.54 ลูกบาศก์เดซิเมตร ให้กำลังสูงสุด 119 กิโลวัตต์ ที่ความเร็วรอบ 3200 รอบต่อนาที ค่า bmep สูงสุด 784 kPa ที่ความเร็วรอบ 2000 รอบต่อนาที และค่า bsfc ต่ำสุดเกิดที่ความเร็วรอบ 1600 รอบต่อนาที และ bmep เท่ากับ 580 kPa มีค่าเท่ากับ 220 g/kW-h ซึ่งตรงกับประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรคเท่ากับร้อยละ 38.5 และประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงบ่งชี้มีค่าประมาณร้อยละ 48



รูปที่ 2-3 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซล ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง [1]

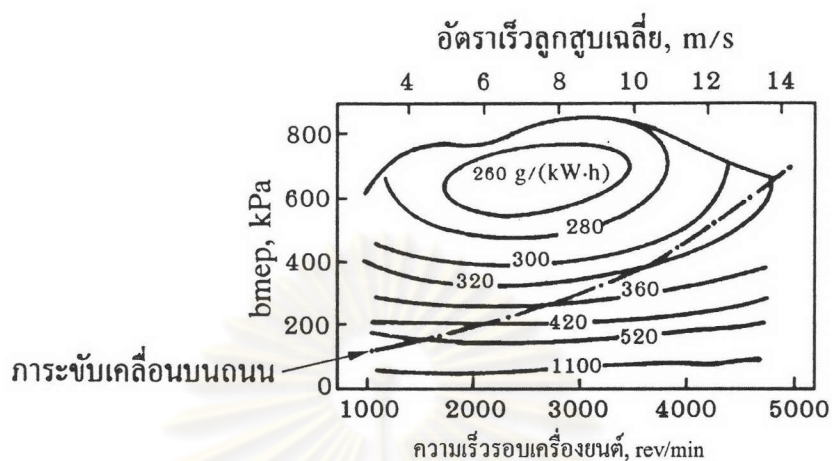
รูปที่ 2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง มีการไหลวนสูง ที่ใช้ระบบการเผาไหม้ แบบ M ซึ่งเชื้อเพลิงถูกฉีดเข้าไปในแนวสัมผัสกับผนังของหลุมในลูกสูบไปในอากาศที่ไหลวน เนื่องจากความเร็วสูงกว่าและการไหลวนสูงกว่าเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงในรูปที่ 2-3 ค่า b MEP สูงสุดของเครื่องในรูปที่ 2-4 จึงมีค่าต่ำกว่าเล็กน้อย และค่า bsfc ที่ดีที่สุดมีค่าสูงกว่าประมาณร้อยละ 10 เนื่องจาก f MEP (Friction mean effective pressure) มีค่าสูงกว่า แต่ส่วนหนึ่งมีสาเหตุมาจากการสูญเสียความร้อน ที่สูงกว่า เป็นผลมาจากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่ไม่ดีของเครื่องยนต์ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบเล็กกว่า และการไหลวนสูง รวมถึงอัตราการปล่อยความร้อนที่ต่ำของระบบ M



รูปที่ 2-4 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง แบบ M [1]

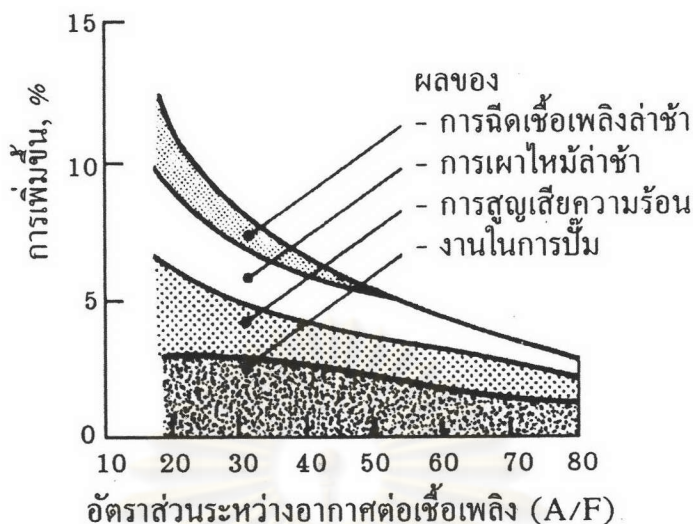
รูปที่ 2-5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม แบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติ ค่า bMEP สูงสุดตามปกติจะสูงกว่าของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่มีขนาดเทียบเท่ากัน เนื่องจากไม่จำเป็นต้องทำให้เกิดการไหลวนในช่วงกระบวนการดูด การกีดขวางโดยช่องไอดีและวาล์วไอดีน้อยกว่า และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงกว่า และเนื่องจากเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม สามารถทำงานที่อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่าโดยค่าควันทันน้อยกว่า ค่า bsfc ที่ดีที่สุดตามปกติจะสูงกว่าค่าทั่วไปของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงที่เทียบเท่ากันประมาณ ร้อยละ 15

ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงเบรก ที่ดีที่สุดของเครื่องยนต์ ตามรูปที่ 2-5 จะมีค่าเท่ากับร้อยละ 32.5



รูปที่ 2.5 แสดงแผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ก่อนไหลวน [1]

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมที่นำอากาศเข้าโดยธรรมชาติที่มีการออกแบบและขนาดใกล้เคียงกันแล้วจะเห็นว่าเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง จะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าเสมอ ซึ่งประสิทธิภาพที่สูงกว่านี้จะแปรผันกับภาระ โดยที่ภาระเต็มที ความแตกต่างของค่า bsfc ของเครื่องยนต์ทั้งสองแบบจะสูงถึงร้อยละ 20 และที่ภาระบางส่วนค่าความแตกต่างจะน้อยลง เหลือประมาณร้อยละ 10 รูปที่ 2-6 แสดงปัจจัยที่ทำให้เกิดความแตกต่างของประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงและระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม ซึ่งจะพบว่าที่ภาระเต็มที (อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง เท่ากับ 18 ถึง 20) เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมจะมีประสิทธิภาพบ่งชี้ต่ำกว่าประมาณร้อยละ 15 ถึง 17 ซึ่งเป็นผลมาจากการฉีดเชื้อเพลิงที่ล่าช้า การเผาไหม้ที่ยาวและล่าช้า การสูญเสียความร้อน ที่ภาระบางส่วน เมื่อค่า bmep มีค่าประมาณ 300 kPa (อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงเท่ากับ 50) เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมจะมีประสิทธิภาพบ่งชี้ต่ำกว่าประมาณร้อยละ 5 ถึง 7 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการสูญเสียความร้อนที่สูงกว่าเนื่องจากพื้นที่ผิวที่ใหญ่กว่า และความเร็วในการไหลผ่านช่องที่ต่อระหว่างห้องเผาไหม้หลักกับห้องเผาไหม้ล่วงหน้าที่สูงกว่า รวมทั้งเป็นผลมาจากการสูญเสียความดันในการอัดอากาศระหว่างห้องเผาไหม้หลักและห้องเผาไหม้ล่วงหน้า



รูปที่ 2-6 แผนภูมิแสดงปัจจัยที่เพิ่มประสิทธิภาพบ่งชี้ของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิง โดยตรงเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมแบบห้องเผาไหม้ ก่อนไหลวนซึ่งเป็นฟังก์ชันของ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงหรือภาวะ [1]

แผนภูมิสมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลทุกแบบโดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้ายกัน และเมื่อเขียนแทนด้วยความเร็วเฉลี่ยของลูกสูบ ก็จะมีค่าสมมูลกัน การเพิ่มขึ้นของ bsfc จากค่าต่ำสุดเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นที่ภาระคงตัวจะเป็นผลมาจากการเพิ่มของ friction mean effective pressure แต่ส่วนหนึ่งจะถูกชดเชยโดยผลจากการลดความสำคัญของการสูญเสียความร้อนต่อวัฏจักรลง การเพิ่มขึ้นของ bsfc กับภาระที่ลดลงที่ความเร็วคงตัวจะเป็นผลมาจากการลดลงของประสิทธิภาพเชิงกลเมื่อ bmep ลดลงเป็นหลัก แต่ส่วนหนึ่งจะถูกชดเชยด้วยประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงบ่งชี้ที่เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนสมมูลระหว่างเชื้อเพลิงต่ออากาศลดลง

การเพิ่มของ bsfc จากค่าต่ำสุดจะไม่มากนักเมื่อภาระเพิ่มขึ้นที่ความเร็วคงตัวและเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นที่ภาระคงตัวโดยจะเป็นผลสุทธิของ

1. การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพเชิงกลและการลดลงของประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเชื้อเพลิงบ่งชี้เมื่อภาระมากขึ้น
2. การลดลงของประสิทธิภาพบ่งชี้เนื่องจากการที่ความสำคัญของการสูญเสียความร้อนและการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงกลเนื่องจากความเร็วลดลง

2.2 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติของเชื้อเพลิง และผลกระทบต่อสมรรถนะและการใช้งานของเครื่องยนต์ดีเซล ประกอบด้วย

2.2.1 เลขซีเทน (Cetane Number)

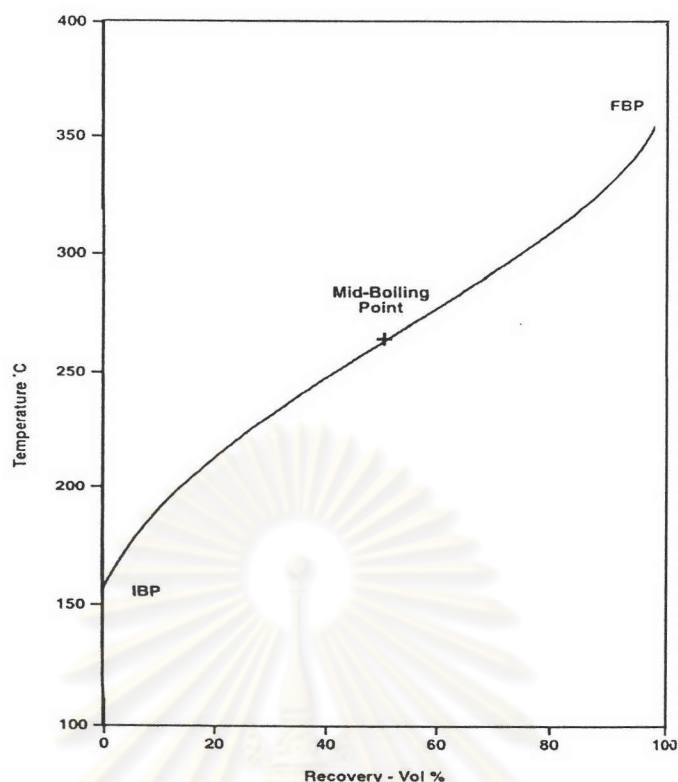
การวัดคุณภาพการจุดระเบิดของเชื้อเพลิงดีเซลซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปคือเลขซีเทน การกำหนดค่าของเลขซีเทนถูกนิยามโดยการผสมกันของเชื้อเพลิงไฮโดรคาร์บอนบริสุทธิ์อ้างอิง 2 ชนิด ซึ่งได้แก่ cetane(n-hexadecane) ที่มีคุณสมบัติการจุดระเบิดสูงให้มีเลขซีเทนเป็น 100 และ isocetane หรือ heptamethyl nonane เป็น paraffin ที่มีกิ่งสาขามาก มีคุณสมบัติการจุดระเบิดต่ำ กำหนดให้มีเลขซีเทนเป็น 15 โดยใช้มาตรฐาน ASTM D613 ในการทดสอบ

$$\text{cetane number} = \% \text{ n-cetane} + 0.15 (\% \text{ heptamethyl nonane}) \quad (2-6)$$

เลขซีเทนนี้มีผลต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเชื้อเพลิง เช่น คุณสมบัติการสตาร์ทเครื่อง, มลภาวะ, ความดันในห้องเผาไหม้สูงสุด และเสียงของเครื่องยนต์ เป็นต้น ผลดีของการที่เชื้อเพลิงมีเลขซีเทนสูงได้แก่ เครื่องยนต์มีสมรรถนะสูง, เพิ่มคุณสมบัติการสตาร์ทเครื่องในขณะเย็น, ลดควันดำในช่วงการอุ่นเครื่องยนต์, ลดเสียงดัง, ลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษ แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทดสอบเพื่อหาค่าเลขซีเทนนั้นสูงจึงได้มีการคำนวณ cetane index (CCI) ขึ้นมาเพื่อประมาณค่าคุณสมบัติการจุดระเบิดแทน โดยใช้ค่า API gravity และ mid-boiling temperature (50 % evaporated) ตามมาตรฐาน ASTM D976

2.2.2 ค่าการระเหย (Volatility)

รายละเอียดที่ได้ระหว่างการกลั่นเชื้อเพลิง ได้แก่ initial boiling point (IBP), end point (EP) หรือ final boiling point (FBP), percent of condensate recovered และ percent residue of nonvolatile matter ใ้คงการกลั่นตัวของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไปแสดงในรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 โค้งการกลั่น(Distillation curve) ของเชื้อเพลิงดีเซลทั่วไป [2]

Volatility (การกลั่น หรือช่วงการเดือดของเชื้อเพลิง) มีผลต่อคุณสมบัติอื่นๆ รวมถึง ความหนาแน่น, จุดวาบไฟ, อุณหภูมิการจุดระเบิดด้วยตัวเอง, ความหนืด และเลขซีเทน volatility ที่สูงจะทำให้เกิด vapor lock และจุดวาบไฟที่ต่ำลง vapor lock จะทำให้เครื่องยนต์ misfire หรือเกิดความล้มเหลวในการติดเครื่องยนต์ใหม่หลังจากดับเครื่องยนต์ลงในช่วงเวลาสั้นในสภาวะร้อน แต่อย่างไรก็ตาม volatility ที่สูงก็ยิ่งทำให้เชื้อเพลิงระเหยได้อย่างสมบูรณ์ในห้องเผาไหม้ แต่ผลที่ตามมาคือส่วนที่มีจุดเดือดสูงอาจเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการสะสมรวมตัวในเครื่องยนต์และเพิ่มระดับคว้น แต่อย่างไรก็ตาม ภายในช่วง 350 °C ถึง 400 °C ผลของ volatility ที่ต่ำต่อไอเสียจะมีค่าน้อย อุณหภูมิที่กลั่นตัวไปแล้ว 50% (mid-volatility) ของเชื้อเพลิงดีเซลมีผลอย่างชัดเจนต่อแนวโน้มของคว้นโดยผ่านทางผลต่อการฉีดและการผสมของเชื้อเพลิง และใช้สำหรับการคำนวณ cetane index ตามมาตรฐาน ASTM D976

ส่วนที่ volatility สูงซึ่งอยู่ที่จุดต่ำสุดในโค้งในรูปที่ 2-7 ช่วยปรับปรุงการติดเครื่องขณะเย็นและการอุ่นเครื่อง ในขณะที่ส่วนที่ volatility ต่ำที่ปลายด้านสูงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มการสะสมรวมตัว, คว้น และการสึกหรอ เนื่องจากเชื้อเพลิงระเหยยาก ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

2.2.3 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงดีเซลให้ประโยชน์ในการบ่งชี้องค์ประกอบ และคุณลักษณะที่สัมพันธ์กับสมรรถนะ เช่น คุณภาพการจุดระเบิด, กำลัง, การประหยัดเชื้อเพลิง, คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำ และแนวโน้มของควัน บางครั้งอาจแสดงความหนาแน่นเป็นความถ่วงจำเพาะ หรือ API gravity ความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการกลั่นต่างๆ โดยประมาณแสดงดังต่อไปนี้ [2]

Straight-run distilled	805 – 870 kg/m ³
Hydrocracked gas oil	815 – 840 kg/m ³
Thermally cracked gas oil	835 – 875 kg/m ³
Catalytically cracked gas oil	930 – 965 kg/m ³

2.2.4 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของของไหลบ่งบอกถึงความต้านทานการไหลของของไหลซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเชื้อเพลิงดีเซลเนื่องมาจากมันมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของอุปกรณ์ฉีดเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นมุมกรวยสเปรย์ของหัวฉีดจะลดลง, การกระจายเชื้อเพลิง และ การพุ่งของสเปรย์ (spray penetration) ก็ลดลงไปด้วย ในขณะที่ขนาดของหยดเชื้อเพลิง (droplet) ใหญ่ขึ้น ดังนั้นความหนืดจะมีผลต่อ injection timing ที่เหมาะสมสำหรับรูปร่างหัวฉีดและความดันการฉีดเชื้อเพลิงหนึ่งๆ นอกจากนี้ความหนืดจะมีอิทธิพลต่อปริมาณของเชื้อเพลิงที่ฉีดด้วย

เชื้อเพลิงดีเซลมักจะมีการกำหนดคุณสมบัติขอบเขตบนของความหนืดเพื่อให้แน่ใจว่ามี การไหลของเชื้อเพลิงที่เพียงพอสำหรับการติดเครื่องขณะเย็นและยังมีการกำหนดความหนืดต่ำสุด เพื่อป้องกันการสูญเสียกำลังที่อุณหภูมิสูงด้วย เนื่องจากหากว่าเชื้อเพลิงมีค่าความหนืดต่ำมากเกินไปจะทำให้ penetration ของสเปรย์ยาวเกินไป ซึ่งจะทำให้เกิดการ wet ที่ผนังห้องเผาไหม้ทำให้สูญเสียกำลังของเครื่องยนต์ได้

เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีความหนืดที่สูงมาก ดังนั้นเมื่อน้ำมันปาล์มดิบมาผสมกับเชื้อเพลิงดีเซล จึงทำให้เชื้อเพลิงปาล์มดีเซลมีความหนืดที่สูงกว่าเชื้อเพลิงดีเซล

2.2.5 คุณสมบัติการหล่อลื่น (Lubricity)

คุณสมบัติการหล่อลื่นของเชื้อเพลิงดีเซล โดยการทดสอบด้วยวิธี high frequency reciprocating rig (HFRR) ตามวิธีการทดสอบของ CEC F-06-A-96 ซึ่งจะทดสอบคุณสมบัติการ

หล่อลื่นของน้ำมัน ซึ่งช่วยลดการสึกหรอที่เกิดจากการใช้งานในชิ้นส่วนที่สัมผัสกับเชื้อเพลิงโดยตรง

2.2.6 คุณสมบัติที่อุณหภูมิต่ำของเชื้อเพลิงดีเซล

เชื้อเพลิงดีเซล อาจประกอบด้วย heavy paraffinic hydrocarbons ซึ่งมีความสามารถในการละลายที่จำกัดในเชื้อเพลิง Paraffins จะสะสมรวมตัวกันเป็นไข(wax) เมื่ออยู่ในสถานะที่เย็นเพียงพอ ซึ่งนั่นเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ การเกิดในระบบเชื้อเพลิงในยานพาหนะเป็นแหล่งของปัญหาในการทำงานต่างๆ เช่นทำให้เกิดการอุดตันในระบบเชื้อเพลิง

2.2.7 เสถียรภาพของเชื้อเพลิงดีเซล

คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของเชื้อเพลิงคือ ความมีเสถียรภาพไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างช่วงเวลาระหว่างการผลิต การใช้งานในเครื่องยนต์ และการก่อดังของตะกอนระหว่างการเก็บเชื้อเพลิงดีเซลในระยะยาว ในโตรเจน และสารประกอบที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบมักจะเกี่ยวข้องอย่างมากในกระบวนการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิง เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้มีแนวโน้มที่จะรวมตัวกันเป็นตะกอนเชื้อเพลิง กลไกที่การเผาไหม้ของไฮโดรคาร์บอนเกิดขึ้นในหลายขั้นตอน เริ่มต้นด้วยการเริ่มเกิดโซ่ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดอนุมูลอิสระ เมื่ออนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนก่อดังขึ้น มันจะสามารถรวมตัวกับออกซิเจนเพื่อก่อให้เกิดอนุมูล peroxide ซึ่งในทางกลับกันสามารถทำปฏิกิริยากับโมเลกุลไฮโดรคาร์บอนอื่นโดยการกำเนิดอนุมูลอิสระของไฮโดรคาร์บอนอื่น และ hydroperoxide ดังนั้นกระบวนการเผาไหม้จึงไม่สูญสลายไปได้ด้วยตัวเอง อนุมูลอิสระยังสามารถเป็นเหตุให้เกิด polymerization และ ปฏิกิริยาการเผาไหม้เพื่อก่อให้เกิดวัสดุที่น้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่งสามารถสะสมรวมตัวในระบบเชื้อเพลิง ขั้นตอนสุดท้ายคือ chain termination เมื่อ antioxidant หายไป เป็นปฏิกิริยาซึ่งนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ไร้อนุมูลอิสระ

ความสามารถของเชื้อเพลิงในการรักษาเสถียรภาพในถังเก็บขึ้นอยู่กับตัวแปรซึ่งควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเอง อาทิ oxidation ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของการเกิดปฏิกิริยาด้วยตัวเองที่ซับซ้อนปรากฏออกมาโดยทั่วไปมี 2 ชนิด ได้แก่ soluble gum ซึ่งเป็นพวก nonvolatile และ insoluble gum ซึ่งมักถูกเรียกว่าเป็นตะกอน และเป็นผลิตภัณฑ์ที่อันตรายที่สุดของการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงในถังเก็บ การเกิดผลิตภัณฑ์ที่เสื่อมสภาพในระบบเชื้อเพลิงถูกสังเกตเห็นได้จากการอุดตันที่ไส้กรอง และการสะสมรวมตัวของสารเหนียวๆ (gum) ในระบบจุดระเบิดและหัวฉีด สาเหตุหลักของปัญหาการทำงานเหล่านี้ อาจเป็นเพราะความจริงที่ว่าเชื้อเพลิงดีเซลทำหน้าที่เป็นตัวหล่อเย็นหัวฉีด ซึ่งเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเสื่อมสภาพที่อุณหภูมิสูง ในส่วนของถังเชื้อเพลิงเมื่อเชื้อเพลิงถูกทำให้เย็นลงและให้ความร้อนอีกครั้ง การเกิดวัฏจักรการให้ความร้อนและ

การทำให้เย็นต่อเนื่องกันอาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเชื้อเพลิงดีเซลที่ไม่มีเสถียรภาพทางความร้อน

2.2.8 ปริมาณซัลเฟอร์ (Sulphur Content)

วิธีหนึ่งในการลดระดับไอเสียทั้งหมดของ particulate matter (TPM) จากเครื่องยนต์ดีเซล คือ การใช้เชื้อเพลิงดีเซลที่มีกำมะถันต่ำ (<0.05% โดยน้ำหนัก) ระหว่างกระบวนการเผาไหม้ กำมะถันส่วนใหญ่ในเชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนเป็น sulphur dioxide (SO_2) ซึ่งส่วนมากถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ที่ซึ่งอาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเพิ่มเติม นำไปสู่มลภาวะทางอากาศ SO_2 ที่เหลือจะถูกเผาไหม้ในไอเสียดีเซลที่มีออกซิเจนหนา และเกิดเป็น sulphur trioxide (SO_3) อนุภาคไอเสียดีเซลที่สูงจะรักษา SO_3 ไว้ในสถานะไอ ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับน้ำ โดยปฏิกิริยาคายความร้อนนำไปสู่การก่อตัวของละอองกรดกำมะถันในอากาศ ซึ่งเมื่อรวมตัวกับน้ำโดยพันธะทางเคมีจะถูกปล่อยออกมาเป็น particulate matter

ประโยชน์อื่นของการลดระดับกำมะถันในเชื้อเพลิงดีเซลคือ การลดการกัดกร่อน เป็นที่รู้กันว่าระดับกำมะถันที่สูงในเชื้อเพลิงทำให้เกิดการกัดกร่อนที่แหวนลูกสูบและ liners ของกระบอกสูบ การที่กำมะถันทำให้เกิดการกัดกร่อน ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับกำมะถันของเชื้อเพลิงและสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์โดยตรง

สำหรับในประเทศไทยค่ามากที่สุดของกำมะถันในดีเซลถูกกำหนดไว้คือ 0.05% ในการผลิตเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันน้อยกว่า 50 ppm และปริมาณ aromatic 5% โดยปริมาตร (ตามที่ระบุสำหรับเชื้อเพลิงดีเซล class 1) จำเป็นที่จะต้องใช้สภาวะ hydro-processing ที่รุนแรงขึ้นหรือเทคโนโลยี hydro-processing ที่แตกต่างออกไป

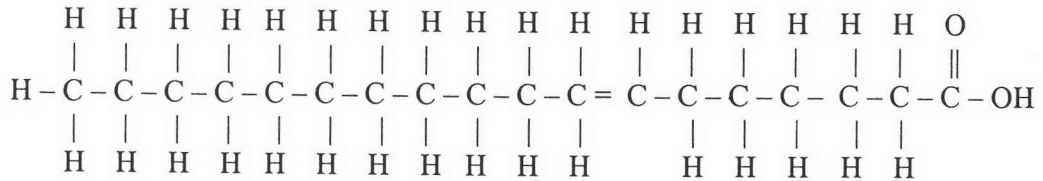
2.2.9 ปริมาณอะโรมาติก (Aromatic Content)

ส่วนประกอบ aromatic ในเชื้อเพลิงดีเซลเป็นปัญหาที่สำคัญเพราะว่าทำให้เกิดการปล่อย particulate emission แต่อย่างไรก็ตาม aromatics มีส่วนช่วยในการหล่อลื่นของเชื้อเพลิง ดังนั้นการกำจัดสารเหล่านี้จะทำให้เกิดอัตราการสึกหรอของปั๊มหัวฉีดสูงอย่างผิดปกติ

2.2.10 ปริมาณน้ำและตะกอน (Water and Sediment Content)

เราไม่สามารถที่จะกำจัดน้ำออกจากเชื้อเพลิงดีเซลได้หมด เนื่องจากขั้นตอนแรกที่มีน้ำเข้ามาคือระหว่างกระบวนการผลิต นอกจากนั้นยังมีความเสี่ยงของการมีน้ำปะปนมาระหว่างการขนส่งและการเก็บในถัง การเกิดขึ้นของน้ำในถังเก็บอาจทำให้เกิดการเติบโตของราและแบคทีเรีย

ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัว หมายถึง กรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมบางตัวจับกันด้วยพันธะคู่ เช่น กรดโอเลอิก ซึ่งน้ำมันพืชส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว ยกเว้นน้ำมันพืชบางชนิด เช่น น้ำมันมะพร้าว ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของโอเลอิก แสดงได้ดังนี้



น้ำมันพืชในธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของ ไตรกลีเซอไรด์ ถ้ากรดไขมันเป็นชนิดเดียวกันหมด เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์แบบง่าย ถ้ากรดไขมันต่างชนิดกัน เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์แบบผสมซึ่งเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่มีอยู่ทั่วไปในน้ำมันพืช

2.3.1 น้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์ม หมายถึง น้ำมันที่ได้จากเนื้อ (mesocarp) ของผลปาล์มน้ำมัน (*Elaeis guineensis*) สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ 1. น้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค 2. น้ำมันปาล์มสำหรับอุตสาหกรรม โดยน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภคสามารถแบ่งย่อยได้เป็นอีก 2 ชนิดคือ น้ำมันปาล์มธรรมชาติ (Virgin oil) และน้ำมันปาล์มรีไฟน์ (Refined oil)

น้ำมันปาล์มธรรมชาติ หมายถึง น้ำมันปาล์มสำหรับบริโภคที่ได้จากการบีบ อัด หรือการใช้ความร้อน อาจทำให้สะอาดโดยการล้าง การตั้งไว้ให้ตกตะกอน การกรองและการหมุนเหวี่ยง (centrifuse) เท่านั้น ส่วนน้ำมันปาล์มรีไฟน์หรือน้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธี หมายถึงน้ำมันปาล์มสำหรับบริโภคที่อย่างน้อยต้องผ่านกรรมวิธีการกำจัดกรด น้ำมันปาล์มที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นน้ำมันปาล์มธรรมชาติหรือน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil) ซึ่งได้จากการสกัดผลปาล์มสด (Fresh fruit Bunch) โดยที่น้ำมันปาล์มดิบเป็นน้ำมันจากเส้นใยของผลปาล์มมีลักษณะเป็นน้ำมันข้น มีสีส้มขุ่น หน อุดหนุมิปกติ เมื่ออุ่นด้วยความร้อนน้ำมันจะใสและมีสีส้มอมแดง

สารเจือปนที่พบในน้ำมันปาล์มแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มไฮโดรไลติก (Hydrolytic) ประกอบด้วยความชื้น สิ่งสกปรกกรดไขมันอิสระ กลีเซอไรด์ และเอนไซม์ต่างๆ
2. กลุ่มออกซิเดทีฟ (Oxidative) ประกอบด้วยเศษผงโลหะ สารออกซิเดชันต่างๆ เม็ดสีโทโคเฟอรอล (Tocopherols) และฟอสฟาไทด์ (Phosphatide)

3. สารที่เป็นตัวเร่งให้เกิดสารพิษ ได้แก่ สารประกอบพวกไนโตรเจน กำมะถัน และเฮไลเจน ตลอดจนฟอสฟาไทด์ และสารออกซิเดชันต่างๆด้วย

น้ำมันปาล์มดิบเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจากผลปาล์มสดซึ่งจัดเป็นพืชน้ำมันที่ให้ผลผลิตมากที่สุดสำหรับในประเทศไทย ตามนิยามใน มอก. 288-2535 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม น้ำมันปาล์มสำหรับบริโภค น้ำมันปาล์มดิบมีคุณลักษณะทางเคมีและกายภาพ ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 คุณลักษณะของน้ำมันปาล์มดิบ [4]

คุณลักษณะ	วิธีการทดสอบ	ข้อกำหนด
ความหนาแน่นสัมพัทธ์(Relative Density) ที่ 50/20 °C	CAC/RM9	0.891-0.899
ดัชนีหักเห (Refractive Index) ที่ n_D 50 °C	IUPAC(1979)	1.455-1.456
น้ำและสารระเหยได้ที่อุณหภูมิ 105 °C (%wt)	IUPAC(1979)	≤ 0.2
สิ่งอื่นที่ไม่ละลาย(Insoluble impurities)(%wt)	IUPAC(1979)	≤0.05
ค่าไอโอดีนแบบวิจิส (Iodine value,Wijis)	IUPAC(1979)	50-55
ค่าสะaponนิฟิเคชัน (Saponification value)มิลลิกรัมโพทัสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม	IUPAC(1979)	190-209
สารที่สะaponนิฟายไม่ได้(Unsaponifiable matter)กรัมต่อตัวอย่าง 1 กิโลกรัม	IUPAC(1979)	≤12
ค่าของกรด(Acid value) มิลลิกรัมโพทัสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อตัวอย่าง 1 กรัม	IUPAC(1979)	≤4
ค่าเพอร์ออกไซด์(Peroxide value)มิลลิกรัมสมมูลเพอร์ออกไซด์ออกซิเจนต่อตัวอย่าง 1 กก.	IUPAC(1979)	≤10
บีตาแคโรทีน(Beta carotene)มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม	AOAC(1984)	500-2000

น้ำมันปาล์มดิบที่ทางโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มผลิตได้ ส่วนใหญ่จำหน่ายให้กับโรงงานทำสบู่ มาการีนและกลั่นเป็นน้ำมันปาล์มบริสุทธิ์ แต่จากความไม่แน่นอนของสถานการณ์ตลาดปาล์มน้ำมันในประเทศที่มีผลทำให้ระดับราคาผลปาล์มสดและน้ำมันปาล์มดิบ มีแนวโน้มลดต่ำลงจากในอดีตที่ผ่านมาทำให้เกิดแนวความคิดที่จะนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลเพิ่มมากขึ้น

2.3.2 การเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบ

น้ำมันปาล์มส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมัน ซึ่งอาจอยู่ในรูปของเหลวหรือของแข็งก็ได้ แต่ถ้าเป็นปาล์มดิบจะอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของไขมัน ได้แก่ เอสเทอร์ ซึ่งไขมันจากพืชเหล่านี้จะมีคุณสมบัติต่างจากไขมันสัตว์หรือไขมันประเภทอื่น กล่าวคือ ในไขมันพืชจะประกอบด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ และโมเลกุลแอลกอฮอล์ที่มีสายยาว ส่วนกรดไขมันในพืชส่วนใหญ่จะเป็นไขมันประเภทไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันเหล่านี้สามารถรวมตัวกับกลีเซอรอล เพื่อเกิดเป็นสารประเภทโมโนกลีเซอไรด์ หรือ ไดกลีเซอไรด์ ได้เมื่อกลุ่มไฮดรอกซี จำนวน 1-2 กลุ่มนี้ถูกแทนที่ไป อย่างไรก็ดีเมื่อมีอนุมูลอิสระของกรดไขมันที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยามากกว่า 1 กลุ่มขึ้นไป ก็จะสามารถรวมตัวกลายเป็นไตรกลีเซอไรด์ได้ ซึ่งกรดไขมันประเภทหลังนี้จะพบมากในไขมันจากพืช กรดไขมันเหล่านั้นจะประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอนทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ซึ่งการมีโครงสร้างดังกล่าวนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สำคัญขึ้นดังนี้

(ก) ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (Hydrolysis)

ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส จะเกิดขึ้นเสมอในน้ำมันปาล์มดิบ และจะมีผลทำให้สารประกอบโมโน ได และ ไตรกลีเซอไรด์ กลายเป็นกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) มากขึ้น มีผลทำให้คุณภาพน้ำมันปาล์มดิบลดลง ซึ่งสาเหตุการเกิด ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสนั้น มาจากการมีน้ำเจปน การมีฝุ่นละอองและโลหะหนักปนเปื้อน และผลของการทำลายจากเอ็นไซม์ ดังนั้นเพื่อป้องกันน้ำมันปาล์มดิบเสื่อมสภาพอันด้วยสาเหตุเนื่องมาจากปริมาณน้ำและสิ่งปนเปื้อนสามารถทำได้ โดยลดปริมาณน้ำและสิ่งปนเปื้อนในน้ำมัน เช่น ฝุ่นให้น้อยที่สุด

ในกรณีที่เอ็นไซม์ก่อให้เกิดปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) นั้นได้มีผู้ศึกษาแล้วพบว่า ถ้าเก็บผลปาล์มสดจากต้นจะมีปริมาณกรด FFA เพียงร้อยละ 0.1 (ส่วนใหญ่เป็น Palmitic acid) แต่ถ้าผลปาล์มสดนั้นผ่านกระบวนการสกัด การบด ก็จะทำให้มีปริมาณ FFA สูงขึ้นถึงร้อยละ 50 ในเวลาเพียง 2-3 ชม. แต่ถ้ามีการนำผลปาล์มมาให้ความร้อนก่อนประมาณ 90-100 °C จะทำให้การเพิ่มปริมาณของ FFA น้อยลงได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับผลของปริมาณน้ำและอุณหภูมิต่อปริมาณ FFA ในน้ำมันปาล์มเมื่อเวลาต่างๆกัน ดังแสดงในตารางที่ 2-2

จากผลการศึกษาพบว่า การเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 18°C ปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มสูงขึ้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิสูงขึ้น เช่นที่ อุณหภูมิ 55°C และที่อุณหภูมิ 75 °C แม้ว่าจะระยะเวลาการเก็บรักษานานถึง 62 วัน และน้ำมันปาล์มที่เก็บรักษามีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.25 เป็นร้อยละ 5 จะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้น

ตารางที่ 2-2 ปริมาณกรดไขมันอิสระในการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มที่อุณหภูมิและความชื้นที่ต่างกัน [5]

เวลาและอุณหภูมิของการทดลอง	ร้อยละ(Percent) ของกรดไขมันอิสระในรูปของกรด Palmitic	
	น้ำมันผสมน้ำร้อยละ 0.25	น้ำมันชนิดเดียวกันและผสมน้ำเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 5
เริ่มต้นการทดลอง	2.8	2.8
หลังจาก 62 วัน ณ 18 °C	3.3	3.3
หลังจาก 55 วัน ณ 55 °C	3.5	4.1
หลังจาก 36 วัน ณ 75 °C	4.6	9.7

ขณะเดียวกันก็ยังมีผู้ศึกษาอีกว่าปริมาณของเชื้อประเภทย่อยสลายไขมัน (Lipolytic micro-organisms) ในน้ำมันจะมีผลต่อการเพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระด้วย เพื่อดังกล่าวนี้ได้แก่เชื้อราย่อยสลายไขมัน(Lipolytic Fungi) ซึ่งได้แก่เชื้อที่มีชื่อเรียกสปีชีส์(Species) Paecilomyces , Aspergillus , Rhizopus และ Torula เป็นต้น นั่นคือ การเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบที่ดีคือ ควรให้น้ำมันปาล์มดิบนั้นมีปริมาณน้ำต่ำสุด (คือน้อยกว่าร้อยละ 0.1)ให้มีฝุ่นน้อยที่สุด และอยู่ในสภาวะที่เชื้อโรคไม่สามารถเติบโตได้ก็จะช่วยรักษาคุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบได้

(ข) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)

เนื่องจากไขมันที่เป็นองค์ประกอบของน้ำมันปาล์มดิบนั้นเป็นประเภทไขมันไม่อิ่มตัว (Unsaturated) ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ณ ตำแหน่งพันธะคู่ ได้ผลออกมาเป็นสารประเภทไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxides) ซึ่งจะทำให้น้ำมันนั้นมีกลิ่นเหม็นหืน การป้องกันให้ปฏิกิริยาเหล่านี้เกิดขึ้นน้อยลงคือ ไม่ควรให้ถูกกับออกซิเจนในอากาศ และอย่าให้ถูกแสงเพราะแสงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้ อย่างไรก็ตามธรรมชาติได้มีกระบวนการป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันไว้แล้ว นั่นคือในไขมันที่ได้จากพืชส่วนใหญ่จะเป็นกรดไขมันประเภทไม่อิ่มตัว (Polyunsaturated fatty acid) ซึ่งในพืชประเภทนี้จะมีสารประกอบพหุวิตามินอี ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidant) อยู่แล้ว ในปาล์มน้ำมันจะมีวิตามินอีประมาณ 10-130 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม แม้วิตามินอีเหล่านี้จะมีอยู่ในธรรมชาติ แต่เมื่อทำการเก็บเกี่ยวผลปาล์มเพื่อจะมาเข้าสู่กระบวนการผลิตวิตามินอีก็จะสลายไป จึงได้มีการเติมสารประเภทโทโคฟีรอล (Tocopherols) ลงไปในน้ำมันพืชเหล่านี้เพื่อป้องกันการเหม็นหืน

สรุปได้ว่า ในการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบจะต้องให้มึน้ำ ฝุ่นละอองและโลหะหนัก เจือปนน้อยที่สุดและหากนำผลปาล์มดิบผ่านความร้อนก่อนสกัดก็จะช่วยลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้

2.3.2 การเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบ

น้ำมันปาล์มส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมัน ซึ่งอาจอยู่ในรูปของเหลวหรือของแข็งก็ได้ แต่ถ้าเป็นปาล์มดิบจะอยู่ในรูปของเหลว ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของไขมัน ได้แก่ เอสเทอร์ ซึ่งไขมันจากพืชเหล่านี้จะมีคุณสมบัติต่างจากไขมันสัตว์หรือไขมันประเภทอื่น กล่าวคือ ในไขมันพืชจะประกอบด้วยเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ และโมเลกุลแอลกอฮอล์ที่มีสายยาว ส่วนกรดไขมันในพืชส่วนใหญ่จะเป็นไขมันประเภทไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันเหล่านี้สามารถรวมตัวกับกลีเซอรอล เพื่อเกิดเป็นสารประเภทโมโนกลีเซอไรด์ หรือ ไดกลีเซอไรด์ ได้เมื่อกลุ่มไฮดรอกซี จำนวน 1-2 กลุ่มนี้ถูกแทนที่ไป อย่างไรก็ดีเมื่อมีอนุโมลอิสระของกรดไขมันที่เกี่ยวข้องในปฏิกิริยามากกว่า 1 กลุ่มขึ้นไป ก็จะสามารถรวมตัวกลายเป็นไตรกลีเซอไรด์ได้ ซึ่งกรดไขมันประเภทหลังนี้จะพบมากในไขมันจากพืช กรดไขมันเหล่านี้จะประกอบด้วยสายไฮโดรคาร์บอนทั้งประเภทอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว ซึ่งการมีโครงสร้างดังกล่าวนี้ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สำคัญขึ้นดังนี้

(ก) ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (Hydrolysis)

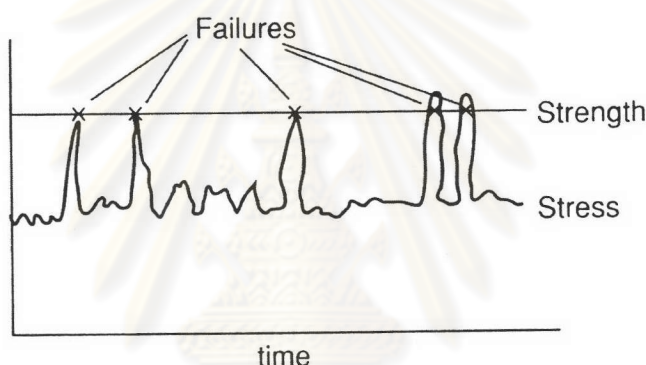
ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส จะเกิดขึ้นเสมอในน้ำมันปาล์มดิบ และจะมีผลทำให้สารประกอบโมโน ได และ ไตรกลีเซอไรด์ กลายเป็นกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) มากขึ้น มีผลทำให้คุณภาพน้ำมันปาล์มดิบลดลง ซึ่งสาเหตุการเกิด ปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส นั้น มาจากการมีน้ำเจปน การมีฝุ่นละอองและโลหะหนักปนเปื้อน และผลของการทำลายจากเอ็นไซม์ ดังนั้นเพื่อป้องกันน้ำมันปาล์มดิบเสื่อมสภาพอันด้วยสาเหตุเนื่องมาจากปริมาณน้ำและสิ่งปนเปื้อนสามารถทำได้ โดยลดปริมาณน้ำและสิ่งปนเปื้อนในน้ำมัน เช่น ฝุ่นให้น้อยที่สุด

ในกรณีที่เอ็นไซม์ก่อให้เกิดปริมาณกรดไขมันอิสระ (FFA) นั้นได้มีผู้ศึกษาแล้วพบว่า ถ้าเก็บผลปาล์มสดจากต้นจะมีปริมาณกรด FFA เพียงร้อยละ 0.1 (ส่วนใหญ่เป็น Palmitic acid) แต่ถ้าผลปาล์มสดนั้นผ่านกระบวนการสกัด การบด ก็จะทำให้มีปริมาณ FFA สูงขึ้นถึงร้อยละ 50 ในเวลาเพียง 2-3 ชม. แต่ถ้ามีการนำผลปาล์มมาให้ความร้อนก่อนประมาณ 90-100 °C จะทำให้การเพิ่มปริมาณของ FFA น้อยลงได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับผลของปริมาณน้ำและอุณหภูมิต่อปริมาณ FFA ในน้ำมันปาล์มเมื่อเวลาต่างๆกัน ดังแสดงในตารางที่ 2-2

จากผลการศึกษาพบว่า การเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 18 °C ปริมาณกรดไขมันอิสระจะเพิ่มสูงขึ้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการเก็บรักษาน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิสูงขึ้น เช่นที่ อุณหภูมิ 55 °C และที่อุณหภูมิ 75 °C แม้ว่าจะระยะเวลาการเก็บรักษานานถึง 62 วัน และน้ำมันปาล์มที่เก็บรักษามีปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.25 เป็นร้อยละ 5 จะทำให้ปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มสูงขึ้น

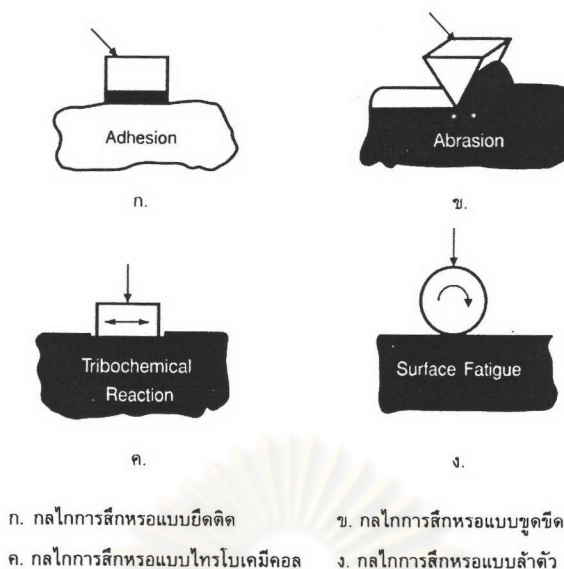
2.4.1.2 การเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent degradation)

ในการเสื่อมสภาพจนชำรุดในลักษณะนี้เป็นการชำรุดโดยไม่เกี่ยวข้องกับช่วงระยะเวลาใช้งานอาจจะเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ก็มีผลทำให้เกิดการชำรุดได้ (การชำรุดแบบ “แบบทันทีทันใด”) ซึ่งกรณีนี้ตรงกันข้ามกับกรณีแรก (กรณีแรกเป็นแบบการชำรุด “แบบค่อยเป็นค่อยไป”) หากดูจากกราฟในรูปที่ 2-9 จะเห็นว่าค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความแข็งแรงวัสดุต่อภาระใช้งานซึ่งเรียกว่า “ปัจจัยความปลอดภัย” (Safety Factor : SF) โดยทั่วไปวิศวกรออกแบบมักกำหนดให้มีค่ามากกว่า 1 หากแต่เมื่อใดที่มีการใช้เครื่องจักรผิดวิธี หรือการเกิดภาระกระทันหันหรือช็อค (Shock or Impact load) ที่อาจเกิดจากอุบัติเหตุหรือใช้เครื่องจักรผิดวิธี ก็จะทำให้ภาระที่กระทำต่อชิ้นส่วนดังกล่าวพุ่งขึ้นสูงมากจนไปบรรจบกับค่าความแข็งแรงของวัสดุ จนทำให้วัสดุทนภาระดังกล่าวไม่ได้ และเกิดการชำรุดหรือแตกหัก ในที่สุด



รูปที่ 2-9 กราฟแสดงการเสื่อมสภาพที่ไม่ขึ้นกับเวลา

จากทั้งสองหัวข้อ คือ การชำรุดหรือการเสื่อมสภาพตามเวลา (Time dependent) มักจะเกี่ยวข้องกับการสึกหรอ (Wear) ส่วนการชำรุดแบบไม่ขึ้นกับเวลา (Time independent) จะเกี่ยวข้องกับการแตกหัก ในการป้องกันการสึกหรอจำเป็นที่วิศวกรบำรุงรักษาต้องเข้าใจเสียก่อนว่า การสึกหรอของชิ้นส่วนเครื่องจักรมีรูปแบบหรือกลไกการสึกหรอ (Wear mechanisms) อย่างไรบ้าง แล้วจึงสามารถหาแนวทางดำเนินการในการป้องกันการเสื่อมสภาพได้ ตามมาตรฐานด้านอุตสาหกรรมของประเทศเยอรมันหมายเลข 50320 (DIN 50320) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าแบ่งกลไกการสึกหรอไว้อย่างเหมาะสม 4 รูปแบบดังรูปที่ 2-10



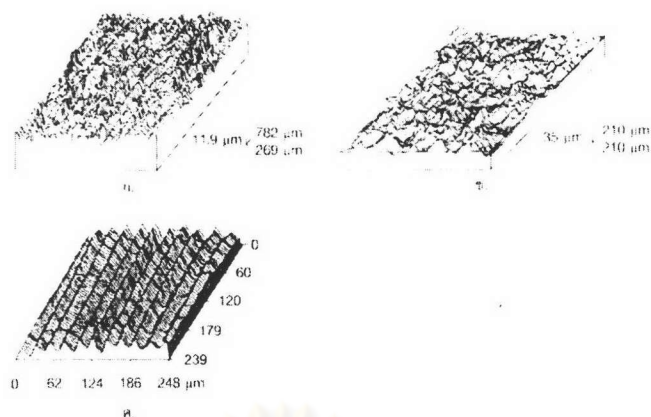
รูปที่ 2-10 แสดงกลไกการสึกหรอแบบต่าง ๆ

2.4.2 การจำแนกกลไกการสึกหรอ

ก่อนที่จะกล่าวถึงกลไกการสึกหรอ (Wear mechanisms) จะอธิบายโดยสังเขปว่า เพราะเหตุใดจึงเกิดการสึกหรอขึ้น ทั้ง ๆ ที่มีบางคนแย้งว่าเครื่องจักรหรือชิ้นส่วนเครื่องจักรไม่ควรเกิดการสึกหรอเพราะไม่ได้ใช้งานให้ภาระหรือความเค้น (Stress) ที่มากเกินไปกว่าค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Strength) ซึ่งก็คือ วิศวกรออกแบบไว้ให้มีค่าปัจจัยความปลอดภัย (ความแข็งแรง/ความเค้น > 1) แต่สุดท้ายชิ้นส่วนก็ยังสึกหรอและแตกหักตามระยะเวลา เหตุผลที่สามารถอธิบายได้คือ การที่วิศวกรออกแบบคำนวณค่าความเค้น (Stress) ไว้คือ

$$\text{ความเค้น} = \frac{\text{แรงที่กระทำ}}{\text{พื้นที่รับแรงกระทำ}}$$

โดยที่พื้นที่รับแรงกระทำที่ใช้จะเป็นการใช้ค่าพื้นที่รับแรงกระทำที่เรามองเห็นหรือวัดได้ (Apparent area of contact) แต่ที่จริงแล้วพื้นที่รับแรงดังกล่าวอยู่บนสมมุติฐานว่า พื้นผิวชิ้นงานมีความเรียบ และรับภาระเต็มหน้าสัมผัส หากทว่าในระดับจุลภาคแล้วมนุษย์ยังไม่สามารถทำให้เกิดความเรียบของผิวดังกล่าวได้ ดังแสดงในรูปที่ 2-11



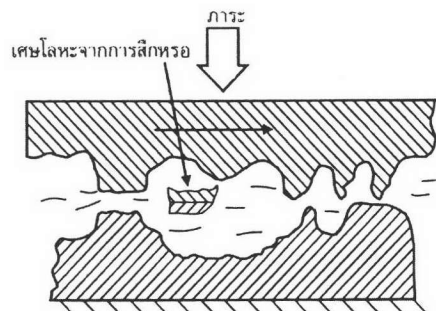
รูปที่ 2-11 แสดงพื้นผิวที่แท้จริงในระดับจุลภาค

จะเห็นได้ว่าเมื่อหาค่าความเค้นในระดับจุลภาคแล้ว จะทำให้ค่าความเค้นจริงที่เกิดขึ้นมีค่าสูงมากเกินค่าความแข็งแรงของวัสดุ (Yield strength) โดยที่ยอดแหลม ๆ ที่เห็นจากภาพขยายของผิวงานถูกเรียกกันว่า “Asperities” เมื่อมีการสัมผัสกันของชิ้นงานจุดที่จะรับภาระจริงในระดับจุลภาค คือ Asperities ซึ่งมีพื้นที่เล็ก ๆ และเมื่อค่าภาระสูงเกิดค่าความแข็งแรง Asperities เหล่านี้จะเสียรูป/ยุบตัวโดยถาวรในขณะที่ชิ้นส่วนเหล่านี้หยุดนิ่ง เมื่อเริ่มมีการเคลื่อนที่ Asperities ที่เสียรูปโดยถาวรดังกล่าวจะถูกเข็นตัวออกไป และกลายเป็นเศษโลหะจากการสึกหรอที่ปะปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นนั่นเอง ดังนั้นไม่ว่าจะใช้ภาระต่ำหรือสูง ก็จะทำให้เกิดการสึกหรอเสมอ โดยทั่วไปเราสามารถจำแนกกลไกการสึกหรอได้เป็น 4 กลไก คือ

2.4.2.1 กลไกการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive wear)

เป็นกลไกที่เกิดขึ้นจากการที่มีการเกิดพันธะยึดติดกันของ Asperities และมีการฉีกขาดตัวออกไปของพันธะที่เกิดขึ้นในขณะที่ชิ้นงานมีการเคลื่อนที่ พันธะที่เกิดการ “เชื่อมติด” หรือ “เชื่อมติดกัน” ของ Asperities นี้เรียกกันว่า “การเชื่อมเย็น” (Cold-welded) ลักษณะการเกิดการสึกหรอแบบยึดติดแสดงในรูปที่ 2-12

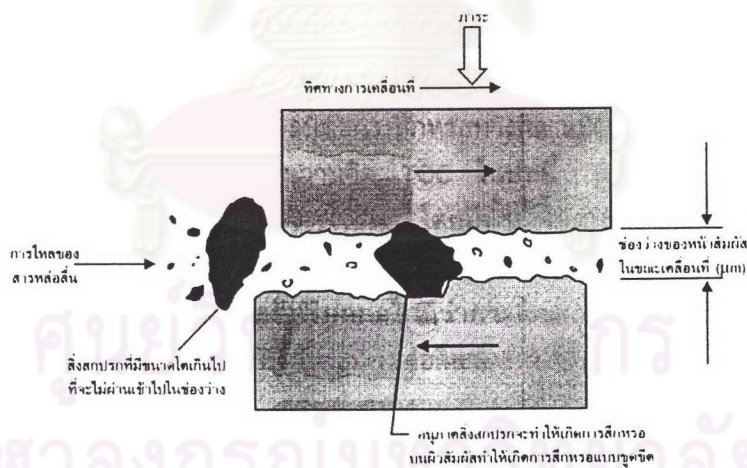
โดยที่สาเหตุที่เร่งให้เกิดการสึกหรอแบบยึดติด คือ สารหล่อลื่นมีความหนืดน้อยเกินไป ภาระมีค่าสูงมากเกินไปจนสารหล่อลื่นรับไม่ไหวหรือใช้ความเร็วต่ำเกินไป



รูปที่ 2-12 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบยึดติด

2.4.2.2 การสึกหรอแบบขูดขีด (Abrasive wear)

เป็นการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการที่เนื้อวัสดุ ถูกเขือนออกไปจากการถูกขูดขีดโดยสสารที่มีความแข็งสูงมาก เช่น ฝุ่นละออง เม็ดทราย หรือกากเพชร เป็นต้น ลักษณะของการสึกหรอประเภทนี้ดังรูปที่ 2-13 การเร่งให้เกิดการสึกหรอประเภทนี้ คือ การใช้สารหล่อลื่นที่สกปรก การชุบแข็งคู่มือสัมผัสที่มีความแข็ง (Hardness) แตกต่างกันอย่างเกินไป



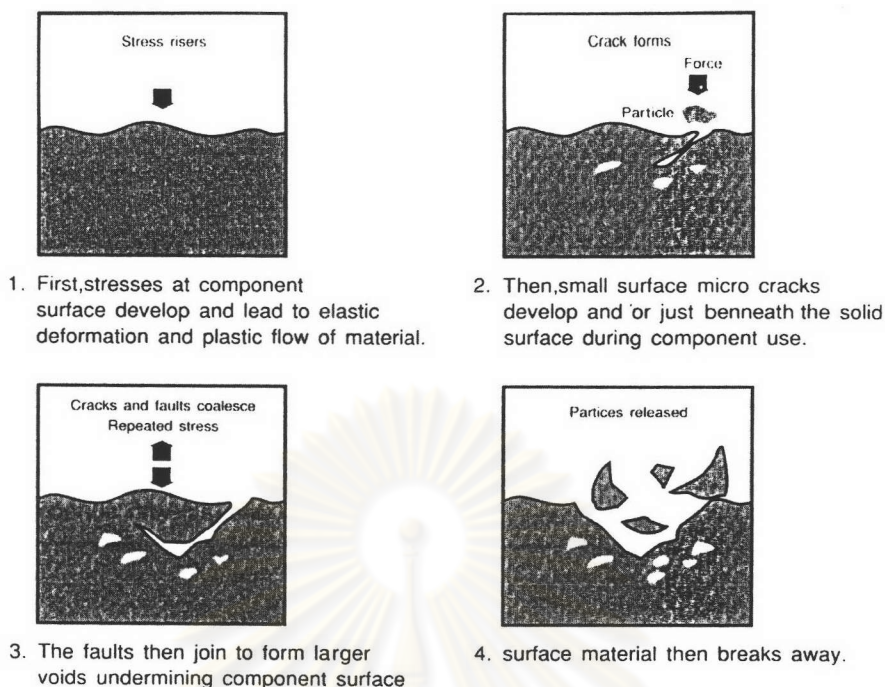
รูปที่ 2-13 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบขูดขีด

2.4.2.3 การสึกหรอจากการล้าตัวของวัสดุ (Fatigue wear)

เป็นการล้าตัวและเกิดรอยแตกหรือหลุมบนผิวหน้าวัสดุบริเวณที่มีการล้าตัว ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าชิ้นงานมีการรับภาระเป็นวงรอบ (Stress cycles) การล้าตัวของวัสดุจะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก หากชิ้นงานรับภาระเพียงการกด (Compressive stress) หรือการดึง (Tensile stress) เพียงอย่างเดียวอย่างหนึ่งแต่จะมีโอกาสเกิดการล้าตัวได้เร็วมาก ๆ หากมีการรับภาระสลับกันไปมาระหว่างการกดกับการดึง หรือการรับภาระแบบเป็นวงรอบ ซึ่งทำที่สุดจะส่งผลให้ผิววัสดุหลุดร่อนออกไปและทำให้มีรอยสึกหลงเหลือไว้บนผิวชิ้นงาน ลักษณะการเกิดการล้าตัวอีกแบบหนึ่งเกิดจากการมีสิ่งสกปรกในสารหล่อลื่นและทำให้เกิดรอยกด (Dents) ขึ้นบนผิวชิ้นงานก่อนและเมื่อใช้งานไปนาน ๆ รอยกดจะค่อย ๆ แพร่กระจายออกไปเป็นรอยแตก (Crack) เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นเข้าไปอยู่ในรอยกดนั้น ๆ ครึ่งแล้วครึ่งเล่า และเกิดเป็นหลุมในที่สุดดังแสดงในรูปที่ 2-14

2.4.2.4 การสึกหรอแบบปฏิกิริยาไทรโบเคมี (Tribochemical reaction)

บางครั้งถูกเรียกว่าการสึกหรอแบบไป ๆ กลับ ๆ หรือเฟ็ตติ้ง (Fretting wear) จากชื่อ Tribochemical reaction มีความหมายเบื้องต้น คือ การที่ชิ้นงานต้องมีการขัดสี (Tribo) และเกิดผลพวงจากปฏิกิริยาเคมี (Reaction) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง “ปฏิกิริยาออกซิเดชัน” สามารถอธิบายโดยง่าย ๆ จากการเกิดไทรโบเคมีคอลรีแอคชันที่ข้อต่อโซ่ จะมีผลทำให้บริเวณข้อต่อโซ่ดังกล่าวมีการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive) เมื่อมีการใช้งาน จะทำให้บริเวณข้อต่อโซ่มีการขัดสีกัน (Tribo) ก่อให้เกิดเศษเหล็กตรงจุดนั้น ผนวกเข้ากับเกิดความร้อนจากการขัดสี ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี (Catalyst) โดยที่ผงเหล็กที่เกิดขึ้นก็เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีเช่นกัน เพราะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว (Surface area) ให้ออกซิเจนในอากาศ สามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้ง่ายขึ้น เมื่อมีองค์ประกอบหลักคือ เศษเหล็กหลักคือ เศษเหล็ก ความร้อน ความชื้น (หรือไอน้ำในอากาศ) กับออกซิเจนก็จะทำให้ปฏิกิริยาเคมีที่เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นสนิมเหล็ก (Rusty wear powder) และสนิมเหล็กจะมีคุณสมบัติคล้าย ๆ กับฝุ่นละออง คือ มีความแข็งแต่เปราะและจะทำให้เกิดการขูดขีด (abrasive) ตรงบริเวณข้อต่อโซ่ตามมาจนทำให้ข้อต่อโซ่ลดขนาดลงและทนภาระไม่ได้ในที่สุดก็จะขาดชำรุดไป นอกจากข้อต่อโซ่แล้ว อาจจะมีเกิดกลไกการสึกหรอชนิดนี้ได้กับเพลลา เฟืองแบบเลื่อนได้ (Spline) แหนบรดยนต์ และผิวนอกของแบริ่งที่สัมผัสกับตัวเรือน เป็นต้น



รูป 2-14 แสดงลักษณะการสึกหรอแบบล้าตัว

2.5 สารหล่อลื่น [6]

องค์ประกอบซึ่งเป็นหน้าที่หลักประการสำคัญของสารหล่อลื่นคือ ลดแรงเสียดทาน (Reduces Friction) ซึ่งมีผลต่อเนื่องคือ เป็นการลดการสึกหรอ (Reduces Wear) ประหยัดพลังงาน (Saves Power) ลดความร้อน (Reduces Heat) และเป็นการช่วยให้เกิดฟิล์มน้ำมันที่รองรับภาระที่ใช้งาน (Load-Carrying Lubricant Film)

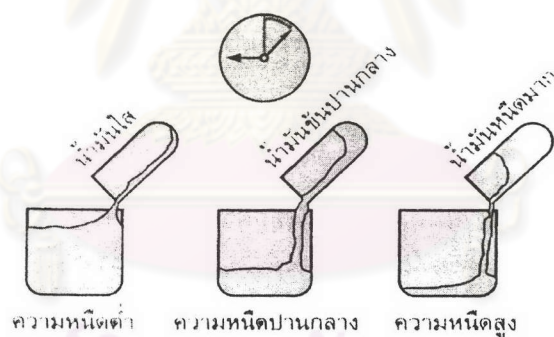
หน้าที่ที่สำคัญของสารหล่อลื่นยังรวมไปถึง ก.) ทำหน้าที่เสมือนสารหล่อเย็นที่นำพาความร้อนออกไป (Carries Away Heat) จากชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่ ข.) ทำหน้าที่เสมือนซีล (Sealing) ป้องกันสิ่งสกปรกเข้าไปสู่ชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ เช่น ในกรณีของจาร์บี ค.) ป้องกันการกัดกร่อนและสนิม (Preventing Corrosion and Rust) ของผิวชิ้นงานที่เป็นเหล็ก ง.) ในบางกรณีก็จะทำหน้าที่ในการส่งถ่ายกำลังเช่นน้ำมันไฮดรอลิกและเนื่องจากว่าสารหล่อลื่นที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น และสำคัญ สิ่งที่สำคัญสูงสุดนั้นคือว่าสารหล่อลื่นต้องถูกออกแบบให้ใช้งานในช่วงการทำงานของเครื่องจักรโดยที่มีการเสื่อมหรือสึกหรอ และการสูญเสียคุณสมบัติของสารหล่อลื่นให้น้อยที่สุด

2.5.1 คุณสมบัติที่สำคัญๆ ของสารหล่อลื่น

คุณสมบัติที่สำคัญของสารหล่อลื่นประกอบด้วย ค่าความหนืด จุดไหลเท การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน แต่คุณสมบัติที่จะนำมากล่าวถึงในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย คุณสมบัติทางความหนืด และ คุณสมบัติในการต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน

2.5.1.1 ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดถูกให้ความหมายว่า “เป็นการต้านทานต่อการไหล” ซึ่งเป็นคุณสมบัติหลักที่สำคัญของน้ำมันหล่อลื่น ยิ่งน้ำมันหล่อลื่นมีความสามารถในการต้านทานการไหลมากเท่าใดก็จะมีค่าความหนืดมากเท่านั้น สามารถกล่าวได้ว่าค่าความหนืดเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการไหล (Flowability) ซึ่งโดยเฉพาะน้ำมันหล่อลื่นปิโตรเลียม นั้น ค่าความหนืดจะแปรเปลี่ยนไปตามค่าอุณหภูมิ ยิ่งค่าอุณหภูมิสูงค่าความหนืดจะยิ่งน้อยลง และค่าความสามารถในการไหลจะยิ่งดีขึ้น วิธีการที่ใช้ในการวัดค่าความหนืดในห้องทดลองนั้นก็จะใช้วิธีการตามมาตรฐานขององค์การระหว่างประเทศที่เกิดขึ้นโดยความร่วมมือของ ASTM (American Society for Testing and Materials) และ STLE (Society of Tribologists and Lubrication Engineers) จนปัจจุบันใช้กันโดยทั่วไปในหน่วยของ SI ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวัดค่าความหนืดในหน่วยเซนติสโตค (cSt.) ที่อุณหภูมิ 40°C



ความหนืดต่ำ

ความหนืดปานกลาง

ความหนืดสูง

ใช้สำหรับ:

- ความเร็วสูง
- อุณหภูมิคงที่
- แรงกดต่ำ

ใช้สำหรับ:

- ความเร็วต่ำ
- อุณหภูมิสูง
- แรงกดสูง

รูปที่ 2-15 ความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นกับการใช้งาน

น้ำมันหล่อลื่นที่หนืดมาก ๆ จะถูกใช้กับชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เคลื่อนที่ช้า ๆ ภายใต้ภาระสูง ๆ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันหล่อลื่นจะทนทานต่อการถูกบีบดันออกไปจากผิวสัมผัส ส่วนน้ำมันที่มีความหนืดน้อย ๆ จะถูกนำมาใช้กับชิ้นงานที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ๆ ที่ค่าภาระต่ำ (รูปที่ 2-15)

2.5.1.2 การต่อต้านการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation resistance)

น้ำมันหล่อลื่นเป็นส่วนผสมที่ซับซ้อนระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนกับคาร์บอน (ไฮโดรคาร์บอน) เรียกว่าส่วนผสมของไฮโดรคาร์บอน ส่วนใหญ่แล้วแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ แบบพาราฟินิก แนพทาติก และอะโรมาติก ซึ่งแต่ละแบบจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน นักเคมีมักเรียกน้ำมันปิโตรเลียมฐานแร่ซึ่งส่วนใหญ่เป็น 2 ส่วนหลัก คือ พาราฟินิก และแนพทาติก ว่า “สารหล่อลื่นอิ่มตัว” (Saturated) และสำหรับ อะโรมาติกว่าเป็น “สารหล่อลื่นไม่อิ่มตัว” (Unsaturated)

สารไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในชั้นหรือระดับเดียวกันจะมีโครงสร้างทางเคมีเหมือนกัน แต่จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปเป็นอย่างมาก ในแต่ละกลุ่มอาจจะมีสถานะเป็นของแข็ง - ของเหลว และก๊าซได้ สถานะที่เป็นของเหลว ซึ่งเป็นส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์มากที่สุดและมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติไปมากในสถานะต่างๆ อาจจะมีผลต่อสมรรถนะในการหล่อลื่น โดยที่ไม่ต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบน้ำมันหล่อลื่นที่จะถูกใช้งานในอนาคต ความร้อน และออกซิเจนทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เกิดองค์ประกอบที่ไม่ดีต่อน้ำมันหล่อลื่น กระบวนการดังกล่าวนี้ถูกเรียกว่า ปฏิกิริยาออกซิเดชัน และสารประกอบที่เกิดขึ้นก็เป็นผลผลิตของปฏิกิริยาออกซิเดชัน ออกซิเจนจะเกิดขึ้นช้าๆ อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาใช้งานของน้ำมันหล่อลื่น อย่างไรก็ตาม การเกิดการปั่นกววนจนเกิดฟอง การฉีดพ่น และการที่เกิดมีค่าอุณหภูมิสูงๆ โดยเฉพาะจุดที่มีความร้อนสูงเพียงจุดเล็กๆ จะมีผลทำให้ปฏิกิริยาออกซิเดชันยิ่งเกิดเร็วขึ้น ทำให้เกิดสารประกอบที่เป็นกรดและทำให้เกิดตะกอนและคราบเหนียว

โดยความเป็นจริงแล้วทุก ๆ 10°C (18°F) ที่เพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นที่เกินกว่า 70°C อัตราการเกิดออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า การที่จะลดปฏิกิริยาออกซิเดชันลงนั้น ต้องพยายามควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 60 ถึง 70°F (140 ถึง 150°F) ดังนั้นจึงเป็นข้อแนะนำให้ใช้น้ำมันหล่อลื่นที่มีความสามารถในการต่อต้านออกซิเดชันกับเครื่องยนต์เทอร์โบไน์และระบบการไหลเวียนน้ำมันหล่อลื่นขนาดใหญ่ๆ ทั้งนี้เพราะว่าน้ำมันหล่อลื่นจะสามารถทนได้กับระดับอุณหภูมิสูงๆ ภายในช่วงเวลายาวนานกว่าการใช้ น้ำมันแบบธรรมดา น้ำมันหล่อลื่นดังกล่าวมักมีราคาแพง ทั้งนี้เนื่องจากว่าต้องถูกกลั่นด้วยกรรมวิธีพิเศษและมีการเติมด้วยสารปรุงแต่งที่รู้จักกันในชื่อ Oxidation Inhibitor เพื่อเพิ่มความสามารถในการต่อต้านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน น้ำมันหล่อลื่นที่มีความสามารถในการต่อต้านออกซิเดชันต่ำนั้น ควรถูกเลือกใช้กับการหล่อลื่นในช่วงสั้นๆ เช่น กรณีการหล่อลื่นแบบใช้แล้วทิ้งไป หรือเมื่อมีการเติมน้ำมันหล่อลื่นลงไปบ่อยๆ ปกติแล้ว Additive Packages นี้มักรวมอยู่ในน้ำมันที่มี R & O Inhibitor อยู่แล้ว

2.6 การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว

สารหล่อลื่นที่ใช้ในเครื่องยนต์หรือในที่นี้จะเรียกว่า น้ำมันหล่อลื่น จากการวิเคราะห์ น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานแล้วและน้ำมันหล่อลื่นที่อยู่ระหว่างการใช้งาน จะทำให้ทราบว่า น้ำมันหล่อลื่นยังอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้งานได้หรือไม่ และจะทำให้ทราบถึงช่วงเวลาในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ ผลการวิจัยจะบ่งถึงสภาวะที่น่าจะทำให้เกิดอันตรายแก่เครื่องยนต์ รวมทั้งระยะเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนถ่าย และทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาของความเสียหายที่เกิดขึ้นและทำให้แก้ปัญหาและป้องกันได้อย่างถูกต้อง

2.6.1 ขั้นตอนการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วจากเครื่องยนต์ [7]

แบ่งตามขั้นตอนได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการสุ่มตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นจากเครื่องยนต์

การสุ่มตัวอย่างจะต้องกระทำขณะเครื่องยนต์ทำงาน และมีอุณหภูมิถึงระดับอุณหภูมิ การใช้งานของเครื่องยนต์ เพื่อให้ให้น้ำมันหล่อลื่นมีการชะโลมเข้ากับสว่นประกอบต่างๆ ของเครื่องยนต์และไหลเวียนไปทั่วระบบหล่อลื่น ส่วนขวดพลาสติกที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่าง น้ำมันหล่อลื่นควรจะใช้ชนิดที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันหล่อลื่น แห้งและสะอาด ฝาปิดขวด จะต้องทำด้วยวัสดุที่ไม่หลุดร่อน (Non shedding material) การเก็บน้ำมันหล่อลื่นลงในขวด พลาสติกจะต้องไม่เก็บจนเต็มขวด เนื่องจากจะต้องมีช่องว่างในน้ำมันหล่อลื่นไหลผสมตัวของ น้ำมันหล่อลื่นเองได้

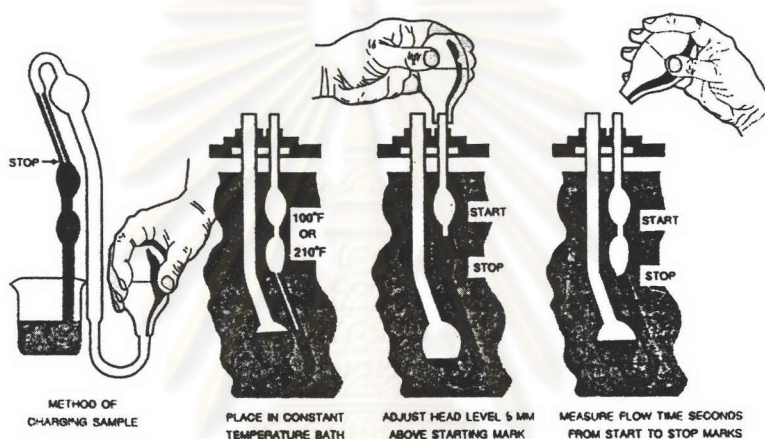
2. วิธีการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้น เช่น สี กลิ่น ความหนืดและปริมาณ น้ำที่ปนในน้ำมันหล่อลื่น ด้วยวิธีการทดสอบเบื้องต้นในภาคสนาม

3. ขั้นตอนในการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาค่า

- ก. หาค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น
- ข. หาตัวเลขรวมของความเป็นด่าง (TBN)
- ค. หาค่าปริมาณธาตุกลุ่มที่มาจากการสึกหรอและจากสารปรุงแต่งที่อยู่ใน น้ำมันหล่อลื่น โดยวิธีสเปกโตรมิเตอร์
- ง. หากการเกิดออกซิเดชัน และสารปนเปื้อน โดยวิธี FTIR
- จ. หาลักษณะรูปร่างและขนาดของเศษเหล็กโดยเทคนิคเฟอร์โรกราฟี

2.6.2 การทดสอบหาค่าความหนืด

ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น คือการวัดความต้านทานในการไหลของน้ำมันหล่อลื่น นั้นๆ สำหรับน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์จะมีข้อกำหนดจำเพาะมาตรฐานระหว่างประเทศอยู่หลายมาตรฐาน ซึ่งอาจจะต้องทำการวัดค่าความหนืดคืนเมตริกเพิ่มเติมอีกหลายช่วงอุณหภูมิ เช่นที่ 20 °C , -10 °C และ 100 °C (เช่น กรณีของการกำหนดเกรดน้ำมันของ SAE : Society of Automotive Engineers) แต่อย่างไรก็ตามการทดสอบความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้ว สำหรับเครื่องยนต์และเครื่องจักรกลทั่วไปนั้นก็จะทำเฉพาะที่ 40° C และ 100°C. เท่านั้น ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นที่เปลี่ยนไปนั้นก็มีผลมาจากหลายองค์ประกอบ ซึ่งอาจจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ตัวอย่างเครื่องมือวัดความหนืดน้ำมันหล่อลื่นแสดงดังรูปที่ 2-16



รูปที่ 2-16 แสดงเครื่องมือวัดความหนืดของน้ำมันหล่อลื่น (ASTM D-445)

กรณีที่ความหนืดเพิ่มขึ้น

สำหรับในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์นั้นเมื่อมีคราบสิ่งสกปรกหรือสารประกอบที่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน จะทำให้น้ำมันหล่อลื่นมีค่าความหนืดเพิ่มสูงขึ้น หากมีการปะปนเข้ามาด้วยสิ่งสกปรกแขวนลอยที่เป็นของแข็งในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ก็จะเป็นค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นเพิ่มสูงขึ้น เช่น ของแข็งแขวนลอยที่มีปริมาณเกินกว่า 5% โดยน้ำหนัก ในน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ดีเซลจะทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงมากและทำให้เกิดปัญหาในการสตาร์ท การอุดตันในไส้กรองและส่งผลต่อการขาดสารหล่อลื่นจนทำให้เครื่องยนต์ชำรุดได้

กรณีที่มีความหนืดลดลง

ในกรณีของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์หากมีการเจือจางด้วยน้ำมันเชื้อเพลิง จะทำให้มีการลดค่าความหนืดของน้ำมันลงเป็นอย่างมาก หรือการเกิดการตัดเฉือนตัวของสายใยโพลีเมอร์ในน้ำมันหล่อลื่นชนิดเกรดรวมในกรณีการใช้งานของเครื่องยนต์หนัก ก็จะมีผลในการที่ทำให้ความหนืดของน้ำมันลดลงได้เช่นเดียวกัน

2.6.3 ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN)

ค่าตัวเลขรวมความเป็นด่าง (TBN = Total Base Number) (ASTM D664 D2896, IP177, IP276) ค่า TBN เป็นการวัดค่าความเป็นด่างที่ยังคงมีอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเช่น น้ำมันหล่อลื่นในอ่างน้ำมันเครื่อง ควรต้องถูกตรวจสอบและติดตามอย่างต่อเนื่องสำหรับค่า TBN โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรือเดินทะเลและเครื่องยนต์ เมื่อมีความสงสัยว่าคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิงหรือก๊าซธรรมชาติมีคุณภาพไม่ดี หากใช้น้ำมันเชื้อเพลิงประเภทที่มีค่าปริมาณกำมะถันสูงจะทำให้ค่าความเป็นด่างของน้ำมันถูกทำลายลงไปและจะเป็นอันตรายต่อเครื่องยนต์เมื่อน้ำมันเครื่องยนต์ไม่มีความสามารถในการต่อต้านกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสันดาปภายใน ในกรณีของน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ค่ารวมความเป็นด่าง ระหว่างการใช้งานนั้น ค่าของตัวเลขรวมความเป็นด่างจะมีการลดระดับลงแสดงให้เห็นว่าน้ำมันมีความเป็นกรดสูงขึ้นซึ่งจะทำให้สามารถคาดคะเนได้ว่าควรจะมีการเปลี่ยนน้ำมันเครื่องยนต์เมื่อใด

2.6.4 การวิเคราะห์ด้วยสเปคโตรมิเตอร์

ในการวิเคราะห์ด้วยสเปคโตรมิเตอร์จะสามารถหาธาตุในน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจะทำให้ได้ค่าความแม่นยำอยู่ที่ระดับ $\pm 10\%$ ของค่าที่ระบุเอาไว้ในการทดสอบ ซึ่งจะเป็นค่าที่ยอมรับได้สำหรับการทดสอบโดยทั่วไป

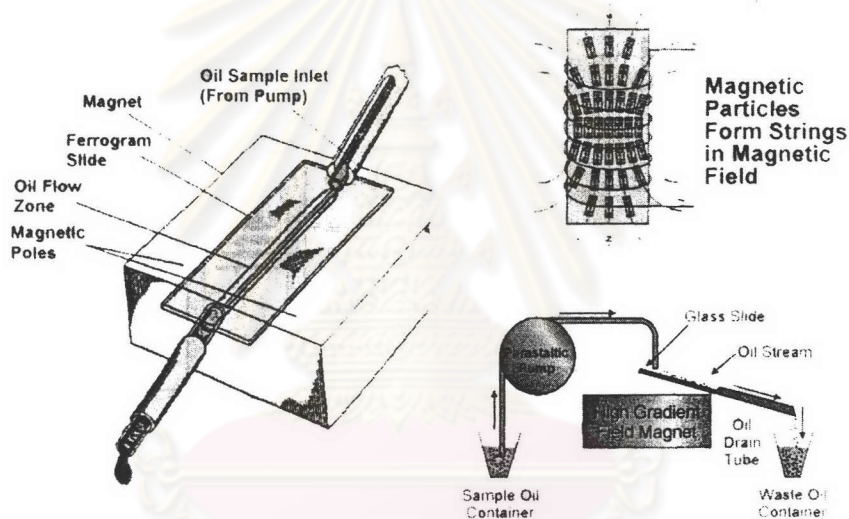
สเปคโตรมิเตอร์จะถูกนำไปใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาค่าโลหะจากสารปรุงแต่ง (Additives) ได้แก่ แบริยม ,แคลเซียม ,สังกะสี ,ฟอสฟอรัสและโบรอน และโลหะหรือธาตุที่มาจาก การสึกหรอ (Wear Metals) จะสามารถวิเคราะห์หาธาตุ ซึ่งธาตุเหล่านั้นได้แก่ เหล็ก ,อลูมิเนียม และทองแดง ซึ่งการสรุปความหมายจากปริมาณที่วิเคราะห์ได้มีดังนี้

หากพบปริมาณเหล็กในระดับสูงๆ ย่อมเป็นสิ่งที่แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของแหวน ลูกสูบและปลอกแหวนและหากมีระดับของค่าเหล็กมีค่าสูงเกินกว่า 600 ppm ซึ่งจะทำให้เกิดอันตรายต่อชิ้นส่วนในระดับการทำงานปกติ หากพบปริมาณอลูมิเนียมในระดับสูงๆ ย่อมเป็นสิ่งที่แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของลูกสูบและหากมีค่าของอลูมิเนียมเกินกว่า 75 ppm จะทำให้เกิดอันตรายต่อชิ้นส่วนในระดับการทำงานปกติ หากพบปริมาณทองแดงในระดับสูงๆ ย่อมเป็นสิ่งที่

แสดงว่ามีระดับการสึกหรอของแบริงที่มีส่วนผสมของทองแดงและตะกั่ว และหากมีค่าของทองแดงและตะกั่วที่สูงกว่า 75 ppm ถือได้ว่าการสึกหรออยู่ในระดับค่อนข้างที่จะเป็นอันตรายต่อชิ้นส่วนส่วนปริมาณของตะกั่วในน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องยนต์ดีเซลควรจะมีค่าต่ำกว่า 25 ppm

2.6.5 การวิเคราะห์ด้วยวิธีเฟอร์โรกราฟฟี (Ferrography)

เทคนิคเฟอร์โรกราฟฟี เป็นหลักในการวิเคราะห์เศษโลหะ (โดยเฉพาะที่เป็นเหล็กหรือวัสดุที่แม่เหล็กดูดได้) ที่ปะปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่น วิธีการนี้สามารถใช้เพื่อระบุ แยกแยะ และวิเคราะห์เศษโลหะจากการสึกหรอในน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้วโดยหลักการของการใช้อำนาจสนามแม่เหล็กดูดเศษเหล็กจากลำการไหลของน้ำมันหล่อลื่นที่ไหลผ่านสไลด์ ดังแสดงในรูปที่ 2-17

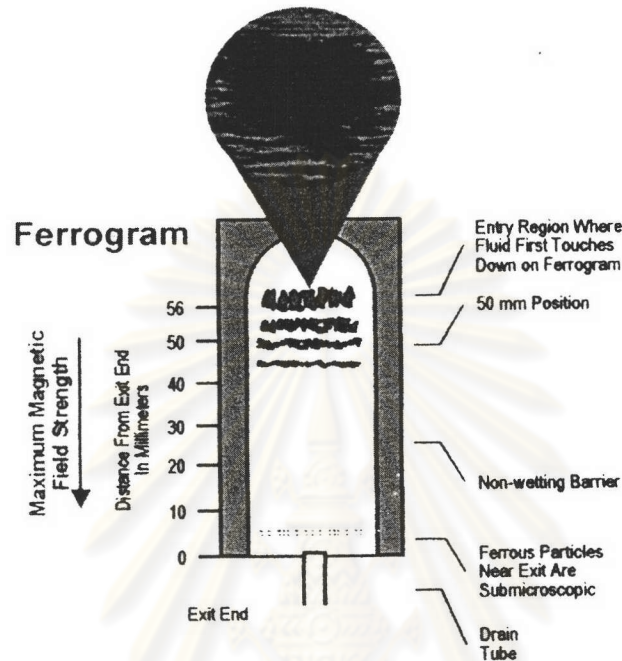


รูปที่ 2-17 แสดงกระบวนการเฟอร์โรกราฟฟี [8]

โดยเศษเหล็กจะถูกแยกออกด้วยสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะเรียงตัวตามขนาดใหญ่ไปหาเล็ก และมีแนวโน้มการวางตัวตามทิศทางของสนามแม่เหล็ก ซึ่งเศษโลหะที่มีขนาดใหญ่จะเกาะติดบนแผ่นสไลด์ก่อนและได้เรียงขนาดจนถึงขนาดเล็กที่สุดตรงปลายของแผ่นสไลด์ดังแสดงในรูปที่ 2-18

การวิเคราะห์ขั้นต่อไปคือการนำแผ่นสไลด์ มาส่องโดยกล้องจุลทรรศน์เพื่อการศึกษาถึงขนาดและรูปร่างของเศษโลหะ ทำให้ทราบถึงระดับความรุนแรงของการสึกหรอจากขนาดของอนุภาคและกลไกการสึกหรอ เช่น การสึกหรอแบบยึดติด แบบขูดขีด แบบล้าตัว หรือแบบการกัดกร่อน เป็นต้น

เฟอร์โรกราฟฟีเป็นวิธีการอย่างหนึ่งที่ย่างและรวดเร็วในการแยกเอาเศษอนุภาคการสึกหรอออกจากน้ำมันหล่อลื่น อนุภาคการสึกหรอจากกลไกการสึกหรอชนิดต่างๆ จะมีคุณลักษณะหรือรูปร่างเฉพาะตัวจึงสามารถที่จะระบุได้ว่าเป็นกลไกการสึกหรอประเภทใด เช่น



รูปที่ 2-18 แสดงแผ่นสไลด์ที่ใช้ในกระบวนการเฟอร์โรแกรม [8]

- ก. กรณีที่อนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นจากการขัดถูหรือการยึดติด (Rubbing and Adhesive wear) จะมีลักษณะรูปร่างเป็นแผ่นๆ ซึ่งจะบอกให้ทราบว่าเป็นสภาวะปกติของเครื่องยนต์
- ข. กรณีที่อนุภาคการสึกหรอจากการมีกลไกการขูดขีดแบบเป็นร่องหรือการขูดตัด (Abrasive or cutting wear) จะทำให้เกิดอนุภาคสึกหรอที่มีรูปร่างเป็นขีดหรือเส้นเหมือนเส้นด้าย ซึ่งจะบอกให้ทราบว่าเป็นสภาวะของการสึกหรอของเครื่องยนต์
- ค. กรณีที่อนุภาคการสึกหรอจากลักษณะของเศษโลหะที่มีรูปร่างเป็นเส้นด้ายเพิ่มขึ้นมากก็แสดงว่าเครื่องยนต์จะมีโอกาสชำรุดใกล้เข้ามาแล้ว

2.6.5.1 การวิเคราะห์อนุภาคการสึกหรอ (Wear Particle Analysis)

การตรวจสอบอนุภาคจากการสึกหรอแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

ก. ตรวจสอบขนาดของอนุภาค

อนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นเนื่องจากกลไกการสึกหรอชนิดต่างๆกัน จะมีขนาดที่แตกต่างกันไป ขนาดที่แตกต่างกันนี้พอที่จะนำมาเป็นข้อวินิจฉัยในการประเมินสภาพของเครื่องยนต์ได้

ข. ตรวจสอบรูปร่างของอนุภาค

รูปร่างของอนุภาคการสึกหรอจะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการบ่งชี้ให้เห็นถึงกลไกการสึกหรอ ซึ่งกลไกการสึกหรอที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอที่แตกต่างกันไป

ค. ตรวจสอบการกระจายทางสถิติของขนาดของอนุภาคการสึกหรอ

การศึกษาถึงลักษณะของ Particle Size Distribution ซึ่งถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาอนุภาคการสึกหรอ และการกระจายตัวของขนาดของอนุภาคการสึกหรอ ก็ถือได้ว่าเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องยนต์

ง. ตรวจสอบองค์ประกอบของอนุภาค

การตรวจสอบองค์ประกอบของอนุภาคการสึกหรอนั้นนับได้ว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญที่ทำให้ได้ทราบว่าอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนใดของเครื่องยนต์สึกหรอบ้าง

2.6.5.2 การศึกษาอนุภาคการสึกหรอเชิงจุลภาค (Wear Particle Microscopic Examination)

ก. การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope) ใช้ในการตรวจตัวอย่างของอนุภาคการสึกหรอที่เก็บตัวอย่างสารหล่อลื่นที่สู่มมาจากเครื่องยนต์

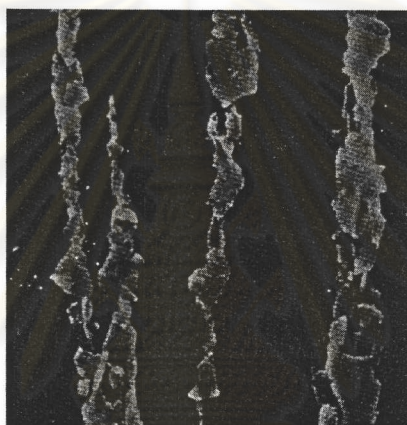
ข. การศึกษาด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM) เหตุผลที่ใช้กล้องชนิดนี้มาแทนกล้องจุลทรรศน์ชนิดธรรมดา เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์โดยทั่วไปจะมีจุดด้อยตรงที่ไม่สามารถให้กำลังขยายที่สูงมากๆได้ และยังไม่สามารถที่จะขยายภาพเพื่อศึกษาจุดใดๆที่ต้องการได้อย่างชัดเจนเท่าที่ต้องการ

ค. การศึกษาด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ภาพ (Image Analysis) ซึ่งนับได้ว่าการศึกษาชนิดนี้เป็นการรวมเอาเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีด้านการใช้กล้องจุลทรรศน์เข้าด้วยกัน เช่นจะตรวจตัวอย่างอนุภาคการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์และจะถ่ายทอดสัญญาณภาพไปยังคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมในการวิเคราะห์ผล

2.6.5.3 ชนิดของอนุภาคการสึกหรอ

ชนิดอนุภาคการสึกหรอแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิดดังนี้

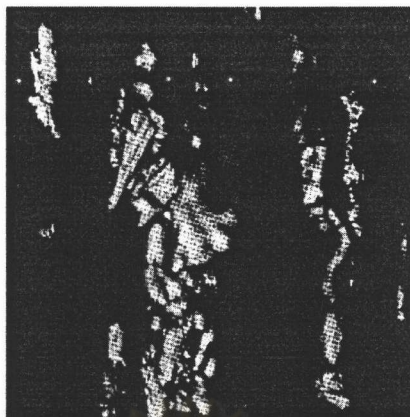
1. การเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ (Rubbing Wear Particle) อนุภาคจะมีลักษณะอัตราส่วนระหว่างความยาวกับความหนาที่มีค่าสูง ซึ่งถือได้ว่าเป็นการสึกหรอที่น้อยมาก อนุภาคโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็กกว่า 15 ไมครอน หากระบบหล่อลื่นเกิดความสกปรกจะทำให้เกิดการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะโดยจะทำให้อัตราการเกิดเพิ่มอย่างทันทีทันใด อาจจะอยู่ในรูปของขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้นในบางครั้งอนุภาคที่โตกว่า 100 ไมครอนซึ่งถือได้ว่าเป็นอนุภาคการสึกหรอชนิดที่เกิดขึ้นสำหรับเครื่องจักรที่มีการหล่อลื่นด้วย น้ำมันหล่อลื่นดังรูปที่ 2-19



รูปที่ 2-19 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีกันของโลหะกับโลหะ

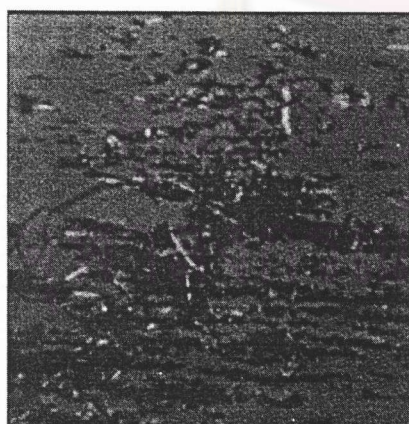
2. การสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีในเครื่องจักร (Severe Sliding Wear Particle)

ดังรูปที่ 2-20 ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้ภาระที่สูงเกินไป การใช้ความเร็วที่สูงเกินไป การขาดสารหล่อลื่น ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการยึดติดของวัสดุ อนุภาคการสึกหรอแบบนี้จะมีขนาดโตกว่า 100 ไมครอน หากเครื่องจักรทำงานภายใต้สภาวะที่รับภาระมากเกินไป ความเร็วในการเสียดสีเพิ่มขึ้น และหากระบบการหล่อลื่นที่ไม่ดี อนุภาคจะมีขนาดโตกว่าอนุภาคของการเสียดสีของโลหะกับโลหะ ซึ่งมีขนาดโตกว่า 20 ไมครอน อนุภาคที่เกิดขึ้นจะเป็นสีน้ำตาล สีน้ำตาล สาเหตุที่เกิดเป็นสีน้ำตาลและสีน้ำตาลเนื่องมาจากความร้อนที่มากเกินไปจึงทำให้สีของอนุภาคจะเริ่มเปลี่ยนจากสีฟางข้าวไปเป็นสีน้ำตาลและกลายเป็นสีน้ำตาล



รูปที่ 2-20 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการเสียดสีในเครื่องจักร
(Severe Sliding Wear Particle)

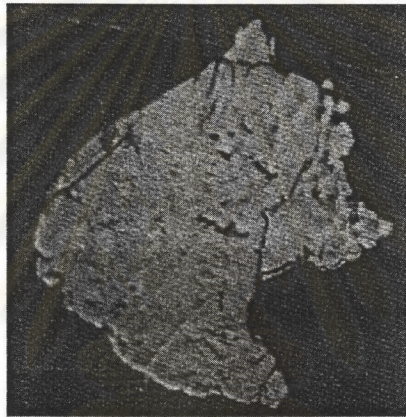
3. อนุภาคการสึกหรอจากการขีดข่วนของเศษโลหะ (Cutting Wear Particles) เป็นผลสืบเนื่องมาจากที่มีการสึกหรอแบบ Abrasive ซึ่งทำให้เกิดอนุภาคการสึกหรอที่มีลักษณะเป็นเส้นคล้ายเศษกลิ้ง เกิดจากผิวถูกการทะลุผ่าน การถูด้วยวัสดุคล้ายคันไถหรืออาจถูกตัดด้วยสิ่งหนึ่งทำให้เกิดค่าความแข็งที่แตกต่างกัน อนุภาคจะมีความยาวเฉลี่ยตั้งแต่ 5 ไมครอนจนถึงความยาวมากกว่า 100 ไมครอน และมีความกว้างเฉลี่ยตั้งแต่ 2 ไมครอนจนถึง 15 ไมครอน ดังรูปที่ 2-21 อนุภาคจะมีสีที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อน สีที่เกิดได้แก่ น้ำเงิน แดงและสีฟ้า ซึ่งอนุภาคชนิดนี้จะเป็นสิ่งที่จะบ่งบอกถึงอนุภาคที่ไม่ปกติ และสามารถที่จะบ่งบอกถึงสภาพการชำรุดของเครื่องจักรว่าจะถึงเวลาที่ชำรุดแล้ว



รูปที่ 2-21 แสดงอนุภาคการสึกหรอแบบ Cutting Wear

4. อนุภาคการสึกหรอจากการล้าที่เกิดกับเฟืองและพื้นที่สัมผัสของตลับลูกปืน (Ferro Fatigue Particle)

ก. อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (Gear Fatigue Particle) ดังรูปที่ 2-22 แบ่งออกเป็นการกรัดและการถูไปบนผิวของฟันเฟือง ซึ่งในตอนแรกอนุภาคการสึกหรอที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นผิวเรียบ รูปร่างของอนุภาคจะมีลักษณะที่ผิดปกติโดยมีขอบที่คม และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาประมาณ 10:1 หากความเค้น (Stress) บนผิวสัมผัสเพิ่มขึ้น อัตราส่วนของความยาวต่อความหนาจะมีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้ปริมาณการเกิดก่อนอนุภาคลดลงด้วย ซึ่งอนุภาคจะมีขนาดเล็กมากและเป็นการยากที่จะทำการหาจุดโฟกัส ในการดูอนุภาคที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์



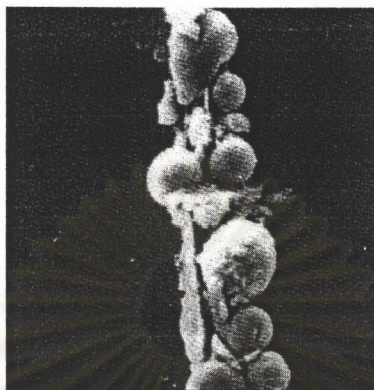
รูปที่ 2-22 แสดงอนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าบนเฟือง (Gear Fatigue Particle)

ข. อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle) ดังรูปที่ 2-23 การล้าตัวของวัสดุจะมีการหลุดร่อนออกมาเป็นอนุภาคการสึกหรอเช่นการเกิดการล้าตัวของเม็ดลูกปืนหรือรางในของเสื่อตลับลูกปืน ซึ่งโดยปกติจะมีขนาดโตกว่า 75 ไมครอน และจะมีลักษณะรูปร่างที่แตกต่างไป จากอนุภาคการสึกหรอที่ได้กล่าวมาแล้ว

อนุภาคที่เกิดขึ้นในลักษณะที่แตกต่างกันเช่นอนุภาคทรงกลม อนุภาคที่เป็นชิ้นเล็กๆซึ่งอนุภาคที่เป็นทรงกลมจะเกิดมาจากความล้าที่เกิดขึ้นภายในตลับลูกปืน แล้วจึงเกิดการแตกออกมาเป็นชิ้นเล็กๆ ซึ่งมีขนาดของอนุภาคประมาณ 1 ถึง 10 ไมครอน และจะทำให้ปริมาณของอนุภาคมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่เครื่องยนต์กำลังทำงาน ซึ่งจะเป็นสิ่งที่บ่งบอกให้รู้ว่าจะเกิดการเสียหายขึ้นในไม่ช้า อนุภาคที่เป็นทรงกลมเกิดขึ้นได้จากการกัดกร่อนเป็นโพรง (Cavitations Erosion) กระบวนการเชื่อม กระบวนการขบกันของเฟือง ซึ่งขนาดของอนุภาคที่เกิดขึ้นมาจากกระบวนการดังที่ได้กล่าวมาแล้วจะมีขนาดใหญ่ ซึ่งจะอยู่ในช่วง 10 ถึง 100 ไมครอน

อนุภาคการล้าที่มีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ จะหลุดแยกตัวออกมาจากผิวที่เป็นหลุมนั้น จะมีขนาดค่อนข้างโตถึงประมาณ 100 ไมครอน

อนุภาคที่เป็นแผ่นบางๆจะเกิดมาจากช่องว่างระหว่างผิวในของแข็ง จะมีขนาดของอนุภาคประมาณไม่เกิน 70 ไมครอน และมีอัตราส่วนของความยาวต่อความหนาประมาณ 40:1



รูปที่ 2-23 แสดง อนุภาคสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของวัสดุ (Rolling Fatigue Wear Particle)

5. อนุภาคการสึกหรอที่เกิดจากการล้าตัวของระบบเกียร์ (Combined Rolling and Sliding Wear Particles)

การที่อนุภาคการสึกหรอแบบนี้มีความแตกต่างจากอนุภาคการสึกหรอแบบอื่นๆ เนื่องจากเกียร์มีการเคลื่อนที่ทั้งแบบไถล และแบบหมุน (Both Sliding and Rolling Mode)

6. อนุภาคของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก

ลักษณะการเกิดอนุภาคการสึกหรอจากโลหะที่ไม่ใช่เหล็กนั้น บ่อยครั้งที่มีลักษณะพิเศษคล้ายกับการเกิดอนุภาคของโลหะที่เป็นเหล็ก เช่นการสังเกตเห็นลักษณะเด่นของ Rubbing Wear, Cutting Wear และการเสียดสีกันภายใต้ความเค้นสูง (High Stress Sliding) แต่มีสิ่งหนึ่งที่สามารถทำการแยกแยะให้เห็นได้อย่างชัดเจนสำหรับอนุภาคของโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก คือสีของอนุภาค

ก. อนุภาคของทองแดง แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคของทองแดงจะเป็นสีชมพู ซึ่งขนาดของอนุภาคจะอยู่ในช่วง 2 ถึง 100 ไมครอน และรูปร่างของอนุภาคการสึกหรอจะขึ้นอยู่กับวิธีการเกิดอนุภาค ดังรูปที่ 2-24 ในบางครั้งอนุภาคของทองแดงจะพบว่าเชื่อมติดกับวัสดุทั้งสองที่สัมผัสกัน



รูปที่ 2-24 แสดงอนุภาคการสึกหรอของทองแดง

ข. อนุภาคของทองเหลือง หรืออาจเรียกว่าทองสัมฤทธิ์ (Bronze) แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคทองเหลืองจะเป็นสีเหลืองทอง ส่วนอนุภาคของทองสัมฤทธิ์ สีจะมีดกว่าเป็นสีเหลือง - ชมพู

ค. อนุภาคโครเมียม แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคจะเป็นสีเงิน โดยปกติแล้วอนุภาคที่เกิดขึ้นจะมีผิวเรียบ และจะมีขนาดของอนุภาคที่ต่ำกว่า 50 ไมครอน

ง. อนุภาคของนิกเกิล จะมีลักษณะคล้ายกับอนุภาคของโครเมียม แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาคจะมีสีเงิน แต่เนื่องจากอนุภาคของนิกเกิลมีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก ฉะนั้นเราจึงพบอนุภาคของนิกเกิลในวงแหวนของแบริ่ง

จ. อนุภาคของอลูมิเนียม แสงสะท้อนที่ปรากฏของอนุภาค จะมีสีเทาเงิน อนุภาคจะมีผิวที่หยาบ และขนาดของอนุภาคไม่อาจจะระบุได้ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีขนาดใหญ่ประมาณ 25 ถึง 500 ไมครอน

7. อนุภาคการสึกหรอจากวัสดุอื่นๆ

อนุภาคการสึกหรอจากวัสดุอื่นๆ

เช่นออกไซด์ของโลหะผลึกที่ไม่ใช่โลหะ และโลหะอสัณฐาน ซึ่งคุณสมบัติและลักษณะอนุภาคได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 แสดงคุณสมบัติของอนุภาคการสีหรือจากวัสดุชนิดอื่นๆ ที่ไม่ใช่โลหะ และ
อโลหะอสังฐาน [7]

ชนิดของอนุภาค	ผลจากแสงสะท้อน ของอนุภาค	การกระจายแสงบน ฉากรองรับสีเทา	การกระจายแสงบน ฉากรองรับสีดำ
ออกไซด์ (เหล็ก)	แสงสะท้อนเป็นสี น้ำตาลบนฉากรองรับ สีขาว	เกิดสีส้ม - น้ำตาลบน ฉากรองรับสีเทา	แสงสว่างสีส้ม-น้ำตาล บนฉากรองรับสีดำ
ผลึกของอโลหะ (ซิลิกา [silica])	แสงสะท้อนเป็นสีเทา บนฉากรองรับสีขาว	เกิดสีขาว/เงินบนฉาก รองรับสีเทา	เกิดสีขาว/เงินบนฉาก รองรับสีดำ
วัสดุโพลีเมอร์ (Polymer Material)	แสงสะท้อนเป็นสีครีม/ น้ำตาลบนฉากรองรับ สีขาว	เกิดสีอย่างขนสัตว์บน ฉากรองรับสีเทา	แสงสีขนสัตว์ บนฉากรองรับสีดำ

2.6.6 การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) [9]

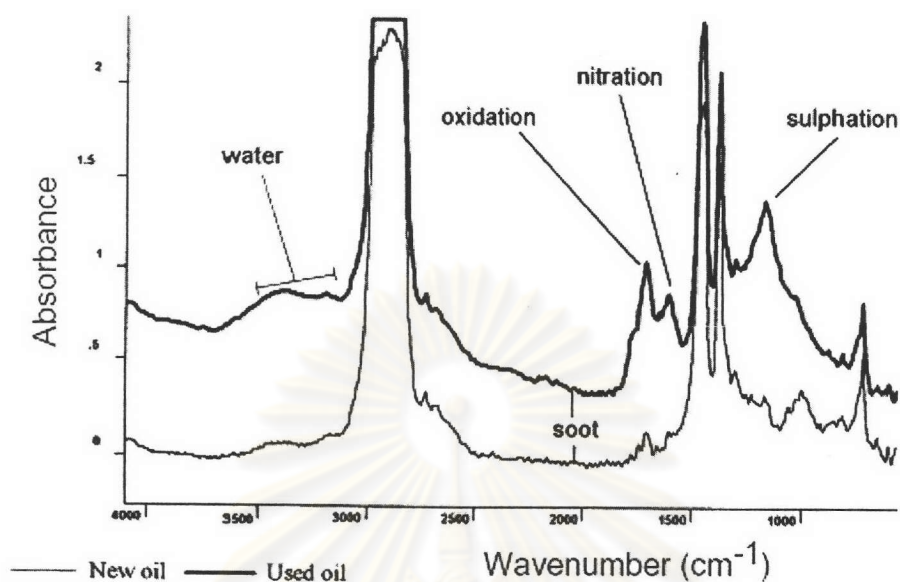
การวิเคราะห์ FTIR เป็นการวิเคราะห์ในระดับโมเลกุล เป็นวิธีการที่ใช้หาปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ของน้ำมันหล่อลื่นได้อย่างรวดเร็วเพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพน้ำมันหลัก สภาพสารเคมีเพิ่มคุณภาพ และสิ่งสกปรกปนเปื้อน โดยให้ค่าที่แม่นยำและเชื่อถือได้ หลักการในการวัดจะทำการผ่านรังสีอินฟราเรด ซึ่งมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.00008 เซนติเมตรถึง 0.04 เซนติเมตร ไปยังน้ำมันหล่อลื่นที่จะทำการทดสอบ ส่วนประกอบของน้ำมันที่เป็นสารประกอบต่างๆ ก็จะถูกดูดซับปริมาณรังสีที่ช่วงความถี่จำเพาะที่ต่างกันไว้ เนื่องจากแต่ละพันธะในโมเลกุลจะดูดซับรังสีที่ช่วงความถี่ที่ต่างกัน ผลที่ได้จะแสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการดูดซับรังสี(Abs) กับส่วนกลับของความยาวคลื่น (Wave Number, cm^{-1}) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงปริมาณและองค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในน้ำมันหล่อลื่นเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากน้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 2-25

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี FTIR

1. ค่าออกซิเดชัน

ในระบบหล่อลื่น สารอินทรีย์จะเกิดการแยกตัวที่สภาวะอุณหภูมิและความดันที่สูง ประกอบกับการมีออกซิเจนอยู่บริเวณรอบ ในกระบวนการ FTIR จะหาค่าออกซิเดชันจากพันธะ

คาร์บอนิล (Carbonyl) ซึ่งมีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดระหว่าง 1,800 ถึง 1,670 เซนติเมตร⁻¹



รูปที่ 2-25 แสดงปริมาณการดูดซับรังสีอินฟราเรดในแต่ละช่วงความถี่ ของน้ำมันหล่อลื่น [9]

2. ค่าไนเตรชัน

ลักษณะการเกิดไนเตรชัน จะเกิดที่สภาวะอุณหภูมิและความดันที่สูงเช่นเดียวกับการเกิดออกซิเดชัน ประกอบกับการมีไนโตรเจนและออกซิเจนอยู่บริเวณรอบ โดยทั่วไปการเกิดไนเตรชันจะอยู่ในรูปของ NO , NO₂ และ N₂O₄ ซึ่งมีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดระหว่าง 1,650 ถึง 1,600 เซนติเมตร⁻¹ การเกิดไนเตรชันเป็นสาเหตุทำให้เกิดคราบยางเหนียวและ Lacquer สาเหตุของการเกิดไนเตรชันมาจากการปรับอัตราส่วนผสมของเชื้อเพลิงต่ออากาศที่ไม่ถูกต้อง การปรับจังหวะการจุดระเบิดที่ไม่เหมาะสม หรือมาจากสภาวะการทำงานที่ภาระสูง ซึ่งจะทำให้เกิดอุณหภูมิการทำงานและปริมาณ Blow – by ที่สูงตามไปด้วย

3. ค่าซัลเฟชัน

เกิดจากกำมะถัน (Sulphur) ซึ่งพบได้ในน้ำมันเชื้อเพลิง และอาจพบได้ในสารเติมแต่งบางชนิดในน้ำมันหล่อลื่น การเกิดซัลเฟชัน จะอยู่ในรูปของ SO₃ และ SO₂ ซึ่งช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรด อยู่ระหว่าง 1,180 ถึง 1,120 เซนติเมตร⁻¹ การเกิดซัลเฟชันจะทำให้เกิดคราบยางเหนียว กากตะกอน และทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมคุณภาพลง นอกจากนั้นสารประกอบ

ที่เกิดขึ้นยังสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำซึ่งเกิดระหว่างการเผาไหม้ กลายเป็นกรดซัลฟูริก ซึ่งจะทำลายการรวมตัวของสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น

4. ปริมาณเขม่า

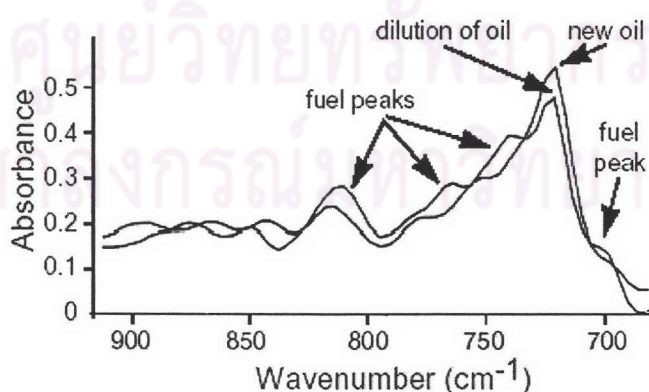
เขม่า เกิดจากอัตราส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศมีค่าสูง การเพิ่มปริมาณของเขม่าในน้ำมันหล่อลื่นแสดงให้เห็นถึงปัญหาจากการเผาไหม้ หรือช่วงเวลาการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องและไส้กรองที่นานเกินไป ปริมาณเขม่าที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นยังทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความหนืดและทำให้เกิดการอุดตันที่ไส้กรอง และอ่างน้ำมันหล่อลื่น

การวิเคราะห์ปริมาณเขม่าจะต่างจากวิธีที่ได้กล่าวมาข้างต้นซึ่งใช้เทคนิคการหาพื้นที่ใต้กราฟ เนื่องจากเขม่าจะไม่มีช่วงความถี่จำเพาะของการดูดซับรังสีอินฟราเรดที่แน่นอน ดังนั้นเพื่อให้สะดวกต่อการวัด จึงทำการวัดปริมาณการดูดซับที่ความถี่ 2,000 เซนติเมตร⁻¹

5. ปริมาณเชื้อเพลิง

ปริมาณเชื้อเพลิงที่พบในน้ำมันหล่อลื่นมีสาเหตุมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากเชื้อเพลิงทั่วไป จะประกอบด้วยโมเลกุลของของสารประกอบมากมาย ทั้งสารประกอบแอลิแฟติก เช่น ออกเทน และสารประกอบอโรมาติก เช่น เบนซีน และอีกมารวมกันเพื่อใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของน้ำมันเชื้อเพลิง

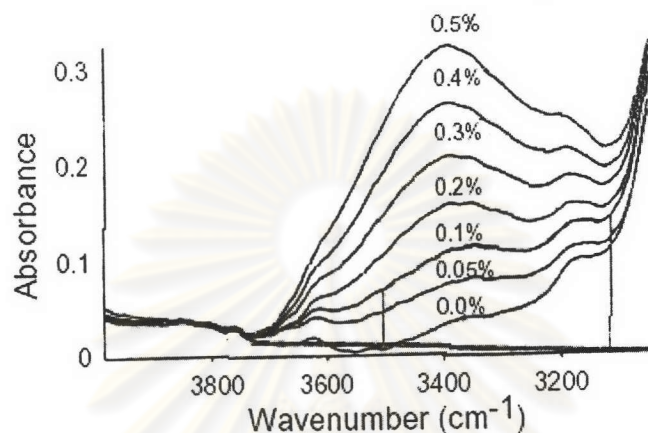
การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อเพลิงที่ปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่น ด้วยวิธี FTIR สามารถทำได้โดยหาช่วงความถี่ของการดูดซับในแต่ละส่วนประกอบของเชื้อเพลิง แล้วนำช่วงความถี่ที่ได้มาเปรียบเทียบกับในช่วงการดูดซับของน้ำมันหล่อลื่น ดังแสดงในรูปที่ 2-26 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าน้ำมันเชื้อเพลิงมีหลายช่วงความถี่ตามสารประกอบมากมายที่พบในน้ำมันเชื้อเพลิง



รูปที่ 2-26 แสดงการเปรียบเทียบค่าการดูดซับของน้ำมันใหม่กับน้ำมันที่มีเชื้อเพลิงปนเปื้อน [9]

6. ปริมาณน้ำ

ปริมาณที่พบในน้ำมันหล่อลื่นใช้ในการตรวจสอบการรั่วของน้ำจากระบบหล่อเย็น โดยน้ำจะดูดซับรังสีอินฟราเรดในปริมาณที่มาก ซึ่งทำให้ง่ายต่อการตรวจพบ ดังแสดงในรูปที่ 2-27 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ช่วงความถี่ที่ของน้ำที่ดูดซับรังสีอินฟราเรด เป็นช่วงที่มีปริมาณการดูดซับรังสีของน้ำมันหล่อลื่นน้อย



รูปที่ 2-27 แสดงช่วงความถี่จำเพาะที่น้ำสามารถดูดซับรังสีอินฟราเรดได้ [9]

ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี FRIT สามารถแสดงผลออกมาเป็น Absorbance Unit (Abs) ยกเว้นค่า การปนเปื้อนของน้ำ, ไกลคอล, เชื้อเพลิง และเขม่า ซึ่งแสดงผลเป็นเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อน

2.7 งานวิจัยเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซล

การศึกษาเกี่ยวกับการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซล ได้รับความสนใจมากขึ้นในปัจจุบัน สืบเนื่องมาจากปริมาณที่น้อยลงและราคาที่สูงขึ้นของน้ำมันดีเซล วิธีที่จะนำน้ำมันพืชมาใช้นั้นมีหลายรูปแบบ โดยวิธีหลักที่นิยมใช้ซึ่งกล่าวโดย Yusuf Ali & Hanna [10] มี 4 วิธี ประกอบด้วย การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรง การลดความหนืดของน้ำมันพืชโดยการผสมตัวทำละลาย เช่น แอลกอฮอล์ เอทานอล (Micro-emulsification) การแปลงโมเลกุลของไขมันในน้ำมันพืชให้เป็นให้เป็นเอสเตอร์ (Transesterification) และ การทำให้โมเลกุลแตกตัวเพื่อใหขนาดเล็กลงโดยการให้ความร้อนหรือการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Cracking or Pyrolysis) เป็นต้น การนำมาใช้อาจจะใช้แทนน้ำมันดีเซลทั้งหมดหรือใช้ผสมกับน้ำมันดีเซลเพียงบางส่วน (Diesel

Extender or Blending) ส่วนชนิดของพืชน้ำมันที่นำมาใช้ในการศึกษานั้นจะแตกต่างกันไปตามลักษณะของพืชเศรษฐกิจที่เป็นพืชน้ำมันของแต่ละท้องถิ่น ภูมิภาค เช่น การใช้น้ำมันจากถั่วเหลืองในสหรัฐอเมริกา เช่นงานวิจัยของ Pryor et al. [11] ได้ทำการทดสอบสมรรถนะทั้งในช่วงระยะเวลาสั้น และระยะเวลายาวในเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก จากการใช้น้ำมันถั่วเหลือง 100% การใช้น้ำมันจากเมล็ดเรปในประเทศทางแถบยุโรป เช่น งานวิจัยของ Norbert Hemmerlein et al. [12] จากศูนย์วิจัยและพัฒนาเพอร์เซได้ทำการวิจัยถึงสมรรถนะ มลภาวะ และการทดสอบความทนทาน กับเครื่องยนต์ดีเซล 6 เครื่องในแต่ละชนิดและขนาด โดยการใช้ น้ำมันจากเมล็ดเรป 100% ในขณะที่ประเทศทางเขตร้อนรวมทั้งประเทศไทยนิยมนำน้ำมันปาล์มและน้ำมันมะพร้าวมาใช้ในการศึกษา เป็นต้น นอกจากนี้ในบางที่ยังมีการนำน้ำมันจากสัตว์ เช่นน้ำมันจากปลา โดยนำไปผสมกับน้ำมันดีเซล 50% ในรัฐอลาสก้า ประเทศสหรัฐอเมริกา [13] น้ำมันที่เหลือจากการประกอบอาหาร เช่นในประเทศญี่ปุ่น โดย Yu et al. [14] ได้นำน้ำมันใช้แล้วจากโรงงานผลิตเส้นบะหมี่มาใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่มี การนำน้ำมันมาผ่านกระบวนการเพิ่มเติม

การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อนคือใช้แทนน้ำมันดีเซลทั้งหมด (น้ำมันพืช 100%) แต่ปัญหาที่พบถูกรวบรวมโดย Sam Jones และ Charles L. [15] ประกอบด้วย การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เกิดเขม่าและคราบทำให้หัวฉีดเกิดการอุดตัน แหวนลูกสูบติดเนื่องมาจากคราบและไข (Wax and Gum) หลังวาล์วและปาวาล์วมีปริมาณคาร์บอนตกค้างเป็นจำนวนมากทำให้เกิดปัญหาวาล์วรั่วทำให้กำลังอัดของเครื่องยนต์ลดลง และยังเกิดปัญหาคราบของน้ำมันพืชที่เกิดการออกซิเดชันซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายกับเครื่องยนต์ได้ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าววิธีการนำน้ำมันพืชมาใช้ อาจเป็นการผสมน้ำมันพืชเป็นเพียงบางส่วนเข้ากับน้ำมันดีเซล น้ำมันพืชที่จะนำมาผสมนั้นสามารถใช้ได้จากหลายวิธีดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น วิธีที่ง่ายที่สุดและน่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับพื้นที่ที่ต้องการนำน้ำมันพืชมาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลเป็นเพียงบางส่วนโดยที่ไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีในการผลิตก็คือ การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่เหมาะสม ซึ่งนำมาสู่ที่มาของการศึกษาวิจัยนี้

การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยผสมเข้ากับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่เหมาะสม เช่นในงานวิจัยของ Mariuse Ziejewski และ Hans J.[16] ได้นำน้ำมัน high oleic sunflower 25% มาผสมกับน้ำมันดีเซล 75% และ น้ำมัน high oleic safflower 25% ผสมกับน้ำมันดีเซล 75% มาใช้กับเครื่องยนต์ Petter AC2 แบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง โดยทดสอบความทนทานตามมาตรฐาน EMA เป็นระยะเวลา 200 ชั่วโมงเพื่อเปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนตกค้างภายหลังการทดสอบที่ 200 ชั่วโมง และวัดปริมาณมลภาวะระหว่างทดสอบความทนทานซึ่งไม่พบการเพิ่มขึ้นของค่ามลภาวะตลอดการทดสอบ และไม่พบความแตกต่างที่สำคัญของคราบคาร์บอนตกค้างในเครื่องยนต์ของทั้งสองเชื้อเพลิง เมื่อเทียบกับปริมาณที่พบจากการใช้น้ำมันดีเซล และในงานวิจัยของ Engelman et

al. [17] ได้นำน้ำมันถั่วเหลืองตั้งแต่ 10% ถึง 50% มาผสมกับน้ำมันดีเซล โดยหลังจากทดสอบที่ 50 ชั่วโมงพบคาร์บอนตกค้างในห้องเผาไหม้เล็กน้อย ค่า bsfc และกำลังที่ได้ต่างจากการใช้น้ำมันดีเซล 100% เล็กน้อย และพบว่าเมื่อผสมน้ำมันถั่วเหลืองที่สูงกว่า 60% เครื่องยนต์จะเกิดอาการสะดุดเดินไม่เรียบ ซึ่งมีสาเหตุมาจากได้กรองน้ำมันเชื้อเพลิงเกิดการอุดตัน จากรายงานของ Sam Jones และ Charles L. [15] สรุปได้ว่า จากงานวิจัยส่วนมาก การผสมน้ำมันพืชกับน้ำมันดีเซลในปริมาณที่มากจะทำให้เกิดปัญหาระหว่างการทดสอบที่ระยะเวลาานาน และพบว่าการผสมน้ำมันพืชในอัตราส่วนที่ไม่เกิน 20% สามารถนำไปใช้ในเครื่องยนต์ได้โดยไม่เกิดปัญหาระหว่างการทดสอบที่ระยะเวลาานาน

ส่วนการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้้นพบมากในประเทศมาเลเซีย โดยในปี 2544 ได้มีรายงานผลการวิจัยการใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำมันก๊าดในประเทศมาเลเซีย โดย T.H. Lim [18] ได้นำน้ำมันปาล์มดิบเก้าสิบเปอร์เซ็นต์ผสมกับน้ำมันก๊าดสิบเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรเพื่อลดปัญหาเรื่องค่าความหนืดของเชื้อเพลิง โดยการผสมน้ำมันก๊าดเข้ากับน้ำมันปาล์มดิบที่ถูกอุ่นให้ร้อนที่อุณหภูมิ 60 °C เพื่อเป็นการละลายอนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ ผลการวิจัยพบว่าสมรรถนะของน้ำมันผสมมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่พบว่ามีคาร์บอนมอนนอกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล 43% และไนโตรเจนออกไซด์สูงกว่าน้ำมันดีเซล 7% นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันที่ถูกผสมมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำกว่าและสมรรถนะที่ดีกว่าน้ำมันปาล์มดิบ 100% และค่ามลพิษที่ปล่อยออกมาดีกว่า โดยมีค่าคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำกว่า 19% และค่าไนโตรเจนออกไซด์ต่ำกว่า 19% นอกจากนั้น S. Bari, T.H. Lim และ C.W. Yu [19] ได้ทำการทดลองโดยทำการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบผสมให้ร้อนที่อุณหภูมิ 100 °C เพื่อป้องกันปัญหาการอุดตันของระบบจ่ายน้ำมัน ซึ่งการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบให้มีอุณหภูมิสูงถึง 100 °C โดยนักวิจัยกลุ่มนี้ได้รายงานว่าการอุ่นน้ำมันปาล์มดิบที่อุณหภูมิดังกล่าวไม่ได้ทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์และไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีขึ้นกว่าเดิม เพียงแต่ช่วยให้น้ำมันในระบบไหลดีขึ้นไม่เกิดการติดขัดเมื่อทำการอุ่นที่อุณหภูมิ 60°C ขึ้นไป และไม่ควรรเกิน 97°C ซึ่งเป็นจุดที่เชื้อเพลิงเริ่มเกิดฟองอากาศ ซึ่งนักวิจัยกลุ่มดังกล่าว [20] ยังได้ทำการศึกษาต่อไปโดยการเดินเครื่องยนต์เป็นเวลา 500 ชั่วโมงโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ถูกอุ่นที่อุณหภูมิ 92 °C เป็นเชื้อเพลิง โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ยี่ห้อ L60AE-D พบว่าหลังการทดสอบค่ากำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ลดลงไปถึง 20% และค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึง 26% นอกจากนี้ยังได้มีการถอดเครื่องยนต์ออกเพื่อทำการตรวจสอบ พบว่ามีถ่านเกาะอยู่ในห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นจำนวนมาก และคราบของถ่านเกาะที่วาล์วไอดีและวาล์วไอเสีย และนอกจากนี้ยังพบร่องรอยการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับ แหวนของลูกสูบ, เข็มในหัวฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงและวาล์วส่งน้ำมันในปั๊มเชื้อเพลิง นักวิจัยได้ทำการหาสาเหตุของการที่สมรรถนะของเครื่องยนต์ตกลง โดยการนำชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่มีปัญหาไป

ใส่ในเครื่องยนต์ใหม่ทีละส่วน และพบว่าการที่มีถ่านเกาะที่ก้านและป่าของวาล์วไอดีและวาล์วไอดีเสียทำให้วาล์วเกิดการติดขัด เป็นสาเหตุให้เกิดการรั่วในระหว่างช่วงจังหวะอัดและจังหวะระเบิด ด้วยปัจจัยนี้เพียงอย่างเดียวส่งผลทำให้กำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ลดลงถึง 18% และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นถึง 23%

ผลงานวิจัยในประเทศไทยที่เกี่ยวข้องกับการนำน้ำมันพืชมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลนั้นมีทั้งที่นำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงและแบบที่ผสมเป็นบางส่วนเข้ากับน้ำมันดีเซล ตัวอย่างของพืชน้ำมันที่มีการศึกษาได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง เป็นต้น น้ำมันพืชที่นำมาใช้นั้นมีทั้งแบบที่เป็นน้ำมันพืชดิบ น้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการผลิต เช่นการกรองหรือการสกัด รวมถึงน้ำมันพืชที่ผ่านกระบวนการดัดแปลงให้เป็นเอสเตอร์ งานวิจัยส่วนใหญ่ที่เป็น การนำน้ำมันพืชมาใช้โดยตรงนั้นจะเป็นการทดสอบกับเครื่องยนต์การเกษตรที่มีขนาดเล็กและใช้ งานที่ความเร็วรอบต่ำ โดยเฉพาะในช่วงปี 2544-2546 ซึ่งเป็นช่วงที่ผลผลิตทางการเกษตรมีราคา ถูก ได้มีการเร่งพัฒนาการนำน้ำมันปาล์มดิบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยมีรายละเอียด โดยสังเขปของโครงการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

ปี 2544 ทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ [21] ได้ทดสอบเดินเครื่องยนต์การเกษตรแบบสูบเดียว โดยใช้ น้ำมันปาล์มดิบอุ่นให้ได้อุณหภูมิ 60°C ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 0:100 , 20:80 , 30:70 , 40:60 , 50:50 , 60:40 , 70:30 , 80:20 , 90:10 , 100:0 ผลการทดสอบพบว่า สามารถติดเครื่องยนต์ได้เช่นเดียวกับน้ำมันดีเซล อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับน้ำมันดีเซล เกิดควันดำน้อยลงในขณะเร่งเครื่องยนต์ สามารถทำงานได้ทุกส่วนผสม ในปีเดียวกัน ทางสถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ป.ต.ท. [22] ได้ดำเนินงานวิจัยกับเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับการเกษตรกรรมโดยใช้น้ำมันปาล์มดิบผสมกับน้ำมันดีเซลเช่นเดียวกัน ในงานวิจัยมีการหาสูตรของน้ำมันผสมที่มีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่มีความเหมาะสมกับเครื่องยนต์ โดยที่ไม่ต้องปรับแต่งการทำงานใดๆ จากการทดสอบสมรรถนะพบว่า มีสูตรน้ำมันที่เหมาะสมกับเครื่องยนต์ 2 สูตร(แต่ไม่ปรากฏรายละเอียดวิธีการผสม) คือ สูตรที่ 1 ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 10 และน้ำมันดีเซลร้อยละ 90 กับสูตรที่ 2 ประกอบด้วย น้ำมันปาล์มดิบร้อยละ 20 น้ำมันดีเซลร้อยละ 75 และน้ำมันก๊าดร้อยละ 5 ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านกำลังของเครื่องยนต์ตลอดจนการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าควันดำ ความเร็วรอบการทำงานของเครื่องยนต์และค่าอุณหภูมิของไอเสีย เป็นต้น

ในปี 2545 งานวิจัยของกรมวิชาการเกษตร [23] ใช้น้ำมันปาล์มดิบที่กรองไขมันออกแล้วแทนที่น้ำมันดีเซลทั้งหมดกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบ 8-15 แรงม้าแบบสูบเดียว พบว่าสามารถจะติดเครื่องยนต์ได้ในระยะแรกประมาณ 3-4 วัน หลังจากนั้นจะมีตะกอนไขมันสะสมที่กรองน้ำมันและหัวฉีดทำให้เกิดการอุดตันและเครื่องยนต์ติดยาก ซึ่งปัญหานี้ทางกรมฯ ได้เสนอให้ใช้อัตรา

ส่วนผสมน้ำมันปาล์มดิบต่อน้ำมันดีเซลให้น้อยลงเป็น 1:9 และ 2:8 ซึ่งผลการทดสอบพบว่า เครื่องยนต์สามารถทำงานได้เช่นเดียวกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลปกติ แต่ต้องมีการล้างกรอง น้ำมันเชื้อเพลิงเป็นระยะเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมของตะกอนไขมันที่ยังมีอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิง นอกจากนี้ทางกรมฯ ยังเสนอว่าการใช้น้ำมันปาล์มบริสุทธิ์เป็นเชื้อเพลิงจะมีผลดีกว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบเนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีส่วนผสมของน้ำ ไขมันและกรด ซึ่งจะส่งผลเสียต่อเครื่องยนต์เมื่อใช้งานในระยะยาว



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย