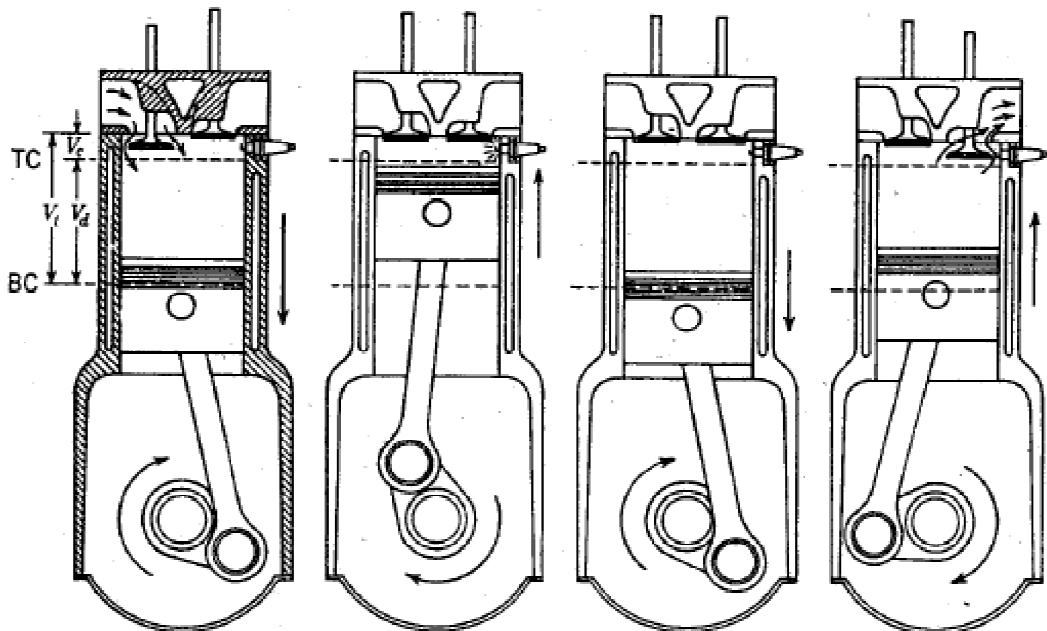


## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์เป็นเครื่องยนต์ที่ให้กำลังออกมาในรูปของแรงบิดและความเร็วในการหมุนเพื่อนำไปใช้เป็นตัวนำกำลังให้กับเครื่องจักรต่างๆ จึงนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในภาคการขนส่งไปจนถึงภาคการเกษตร ซึ่งเครื่องยนต์ดีเซลในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ตามรอบการทำงาน of เครื่องยนต์ คือ เครื่องยนต์ดีเซลหมุนช้า (รอบต่ำกว่า 350 rpm) เครื่องยนต์ดีเซลหมุนปานกลาง (รอบประมาณ 350-1,000 rpm) และเครื่องยนต์ดีเซลหมุนเร็ว (รอบสูงกว่า 1,000 rpm) [1]

หลักการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลนั้นจะจุดระเบิดโดยอาศัยการอัดอากาศภายในกระบอกสูบจนอุณหภูมิและความดันสูงพอที่จะทำให้ไอน้ำมันที่ถูกฉีดเข้าไปภายในกระบอกสูบเกิดการลุกไหม้ ซึ่งการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลใน 1 วัฏจักร จะแบ่งการทำงานออกเป็น 4 จังหวะ คือ จังหวะดูด จังหวะอัด จังหวะระเบิด และจังหวะคาย ต่อเนื่องกันไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1



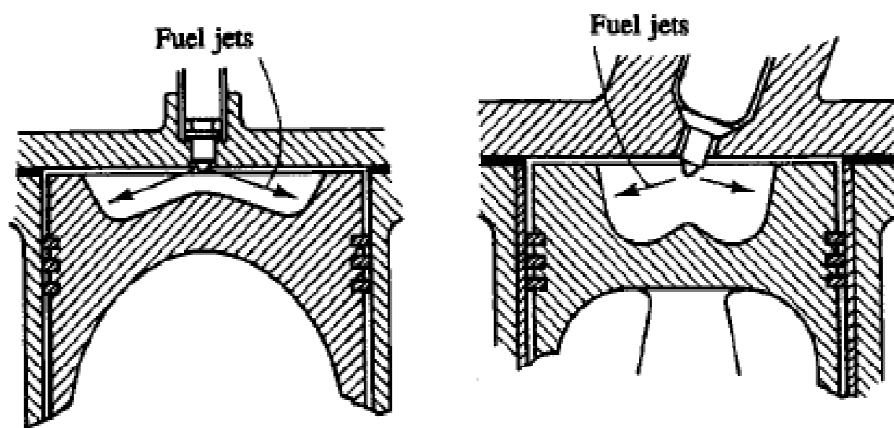
รูปที่ 2.1 จังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซล [1]

จากรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลนั้น เริ่มต้นลูกสูบจะเคลื่อนที่ลงพร้อมกับลิ้นไอดีเปิดดูดอากาศเข้ากระบอกสูบจนถึงจุดต่ำสุด เมื่อลูกสูบเริ่มเคลื่อนที่ขึ้นลิ้นไอดีก็จะปิดอากาศจะถูกอัดให้มีปริมาตรเล็กลงจนอุณหภูมิและความดันสูงขึ้น จากนั้นน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเป็นละอองเข้ามาในกระบอกสูบ เชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้ามาจะติดไฟเกิดการขยายตัวผลักดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ลงจนถึงจุดต่ำสุดของกระบอกสูบ และเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นพร้อมกับลิ้นไอเสียเปิดเพื่อคายแก๊สไอเสียออกจนหมดและเริ่มต้นการทำงานใหม่ เป็นวัฏจักรต่อเนื่องกันไป

สำหรับระบบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลสามารถแบ่งตามการออกแบบห้องเผาไหม้ได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct-Injection System, DI) และระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (Indirect-Injection System, IDI)

### 2.1.1 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct-Injection System, DI)

ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรงจะมีห้องเผาไหม้เปิดห้องเดียว เชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้โดยตรงผ่านหัวฉีดแบบหลายรูผสมกับอากาศร้อนภายในห้องเผาไหม้และเกิดการเผาไหม้ขยายตัวดันลูกสูบลง เป็นระบบที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ลักษณะของระบบฉีดเชื้อเพลิง โดยตรงแสดงดังรูปที่ 2.2

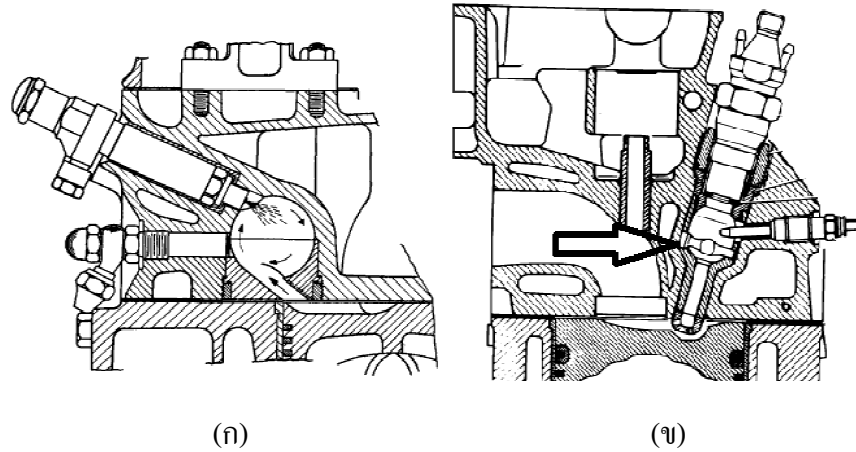


รูปที่ 2.2 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยตรง (Direct-Injection System, DI) [1]

### 2.1.2 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (Indirect-Injection System, IDI)

ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมจะแบ่งห้องเผาไหม้ออกเป็น 2 ส่วน โดยเชื้อเพลิงจะถูกฉีดเข้าไปในห้องเผาไหม้ก่อนซึ่งต่อกับห้องเผาไหม้หลักผ่านทางรูเดียวหรือหลายรู ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อมที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 แบบ คือ ห้องเผาไหม้ก่อนแบบไหลวน โดยละอองของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้ามาจะ

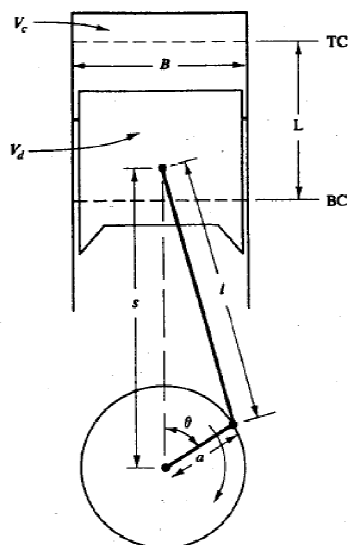
ไหลวนผสมกับอากาศภายในห้องเผาไหม้ ดังรูปที่ 2.3ก และห้องเผาไหม้ก่อนแบบปั่นป่วน ซึ่งภายในห้องเผาไหม้ก่อนจะมีแผ่นเพลทติดตั้งอยู่เพื่อให้ละอองน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกฉีดเข้ามาไหลปั่นป่วนผสมกับอากาศภายในห้องเผาไหม้ ดังรูปที่ 2.3ข



รูปที่ 2.3 ระบบฉีดเชื้อเพลิงโดยอ้อม (Indirect-Injection System, IDI) [1]

## 2.2 สมรรถนะเครื่องยนต์และวัฏมลพิษ

ในการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์นั้น จำเป็นที่จะต้องทราบถึงความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของลูกสูบและกระบอกสูบ รวมถึงตัวแปรต่างๆ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตของลูกสูบและกระบอกสูบ [1]

เมื่อ	B	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ, mm
	L	คือ	ระยะชัก, mm
	l	คือ	ความยาวก้านสูบ, mm
	S	คือ	ตำแหน่งลูกสูบ, mm
	$\theta$	คือ	มุมข้อเหวี่ยง, rad
	$V_c$	คือ	ปริมาตรอัด, cc
	$V_d$	คือ	ความจุกระบอกสูบ, cc

### 2.2.1 อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์

อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรภายในกระบอกสูบเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุด ( $V_{BDC}$ ) ต่อปริมาตรภายในกระบอกสูบเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุด ( $V_{TDC}$ )

$$r_c = \frac{V_{BDC}}{V_{TDC}} = \frac{V_c + V_d}{V_c} \quad (2.1)$$

เมื่อ	$r_c$	คือ	อัตราส่วนการอัดของเครื่องยนต์
	$V_{BDC}$	คือ	ปริมาตรภายในกระบอกสูบเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุด, cc
	$V_{TDC}$	คือ	ปริมาตรภายในกระบอกสูบเมื่อลูกสูบอยู่ที่ตำแหน่งสูงสุด, cc

### 2.2.2 งานบ่งชี้ต่อวัฏจักรของเครื่องยนต์ (Indicated Work)

งานบ่งชี้ต่อวัฏจักรของเครื่องยนต์คืองานที่จะเกิดจากการขยายตัวของแก๊สภายในห้องเผาไหม้ ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$W_{c,i} = \int P dv \quad (2.2)$$

เมื่อ	$W_{c,i}$	คือ	งานบ่งชี้ต่อวัฏจักร, kJ
	P	คือ	ความดันในกระบอกสูบ, kPa
	v	คือ	ปริมาตรของกระบอกสูบ, cc

### 2.2.3 แรงบิดของเครื่องยนต์ (Torque)

แรงบิดของเครื่องยนต์คือตัวบ่งชี้ความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ เป็นผลของแรงที่กระทำต่อแขนหมุน

$$T=FR \quad (2.3)$$

เมื่อ	T	คือ	แรงบิด, N.m
	F	คือ	แรงต้านการหมุนของเครื่องยนต์, N
	R	คือ	ระยะที่แรงกระทำถึงจุดศูนย์กลางการหมุน, m

#### 2.2.4 กำลังเพลของเครื่องยนต์ (Brake Power)

กำลังเพลของเครื่องยนต์คือกำลังที่วัดได้จากเพลขาข้อเหวี่ยงของเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นกำลังที่นำไปใช้งาน การวัดกำลังเบรคจะใช้ไดนาโมมิเตอร์ (Dynamometer) โดยวัดออกมาในรูปของแรงบิด และรอบการหมุนของเครื่องยนต์

$$P_b = 2\pi NT \quad (2.4)$$

เมื่อ	$P_b$	คือ	กำลังเพล, kW
	N	คือ	ความเร็วรอบการหมุน, rpm

#### 2.2.5 กำลังบ่งชี้ (Indicated Power)

กำลังบ่งชี้เป็นกำลังที่เกิดจากการขยายตัวของแก๊สที่เผาไหม้ภายในกระบอกสูบดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ ซึ่งคำนวณได้จาก

$$P_i = \frac{W_{c,i} N}{n_R} \quad (2.5)$$

เมื่อ	$P_i$	คือ	กำลังบ่งชี้, kW
	$n_R$	คือ	จำนวนรอบต่อหนึ่งวัฏจักร ( $n_R=2$ เมื่อเป็นเครื่องยนต์ 4 จังหวะ, $n_R=1$ เมื่อเป็นเครื่องยนต์ 2 จังหวะ)

#### 2.2.6 ความดันประสิทธิภาพเฉลี่ย (Mean Effective Pressure)

ความดันประสิทธิภาพเฉลี่ยคือค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถหาได้จากการหารงานต่อวัฏจักรด้วยปริมาตรกระบอกสูบ

$$mep = \frac{P * n_R}{V_d N} \quad (2.6)$$

เมื่อ  $mep$  คือ ความดันประสิทธิผลเฉลี่ย, kPa

จากสมการที่ 2.6 ค่าความดันประสิทธิผลเฉลี่ยจะขึ้นอยู่กับกำลังที่นำมาใช้ในการคำนวณ ซึ่งถ้าใช้กำลังบ่งชี้ค่าที่ได้ก็จะเป็น ความดันประสิทธิผลเฉลี่ยบ่งชี้ (Indicate Mean Effective Pressure, imep) แต่ถ้าใช้กำลังเพลาค่าที่ได้จะเป็น ความดันประสิทธิผลเฉลี่ยสำหรับแรงม้าเพลลา (Brake Mean Effective Pressure, bmep)

สำหรับเครื่องยนต์แต่ละชนิดค่าความดันประสิทธิผลเฉลี่ยสำหรับแรงม้าเพลลาสูงสุดจะถูกกำหนดมาคงที่ตลอดตามขนาดของเครื่องยนต์ โดยค่าความดันประสิทธิผลเฉลี่ยสำหรับแรงม้าเพลลา (bmep) ทั่วไปสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ มีดังนี้ [1]

1. เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะแบบนำไอดีเข้าโดยธรรมชาติจะมีค่าความดันประสิทธิผลเฉลี่ยสำหรับแรงม้าเพลลาสูงสุดอยู่ในช่วง 700-900 kPa และที่กำลังกำหนดสูงสุดจะมีค่าประมาณ 700 kPa
2. เครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะที่มีระบบอัดอากาศจะมีค่าความดันประสิทธิผลเฉลี่ยสำหรับแรงม้าเพลลาสูงสุดอยู่ในช่วง 1,000-1,200 kPa แต่ถ้าเป็นเครื่องยนต์ที่มีระบบอัดอากาศและระบบหล่อเย็นหลังการอัดจะมีค่าความดันประสิทธิผลเฉลี่ยสำหรับแรงม้าเพลลาเพิ่มสูงขึ้นถึง 1,400 kPa และที่กำลังกำหนดสูงสุดจะมีค่าประมาณ 850 kPa
3. เครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะจะมีค่าความดันประสิทธิผลเฉลี่ยสำหรับแรงม้าเพลลาเทียบเคียงได้กับเครื่องยนต์ดีเซล 4 จังหวะ แต่ถ้าเป็นเครื่องยนต์ดีเซล 2 จังหวะหมุนช้าขนาดใหญ่อาจมีค่าสูงถึง 1,600 kPa

### 2.2.7 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (Air-Fuel Ratio) และอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ (Fuel-Air Ratio)

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงภายในห้องเผาไหม้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่ออากาศ (ออกซิเจน) และเชื้อเพลิงผสมกันในสัดส่วนที่พอเหมาะ ดังนั้นเราจึงต้องใช้ อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (A/F) และอัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ (F/A) เป็นตัวแปรในการกำหนดสัดส่วน

$$A/F = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad (2.7)$$

$$F/A = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_a} \quad (2.8)$$

เมื่อ  $\dot{m}_a$  คือ อัตราการไหลของอากาศ, kg/s  
 $\dot{m}_f$  คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง, kg/s

ซึ่งในช่วงการทำงานปกติของเครื่องยนต์ดีเซลจะมีค่า อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ประมาณ 18-70 หรือ อัตราส่วนเชื้อเพลิงต่ออากาศ ประมาณ 0.014-0.056 [1]

### 2.2.8 อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption)

อัตราการใช้เชื้อเพลิงก็เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่ใช้บอกประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ชนิดต่างๆ ซึ่งขนาดของเครื่องยนต์ก็มีผลต่ออัตราการใช้เชื้อเพลิง ทำให้ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ จึงได้มีการกำหนด อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ (sfc) ขึ้นมา ซึ่งเป็นอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อกำลังที่เครื่องยนต์ให้ออกมา

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (2.9)$$

เมื่อ sfc คือ อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะ, g/kW.s

โดยทั่วไปจะนิยมใช้ กำลังเพลตา ( $P_b$ ) มาคำนวณ ทำให้ค่าที่ได้ออกมาจึงเรียกว่า อัตราการใช้เชื้อเพลิงจำเพาะกำลังเพลตา (Brake Specific Fuel Consumption, bsfc)

### 2.2.9 ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal Efficiency)

สมรรถนะของเครื่องยนต์นั้นสามารถแสดงได้จากประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่เกิดขึ้นภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างงานที่ได้ต่อวัฏจักรกับพลังงานเชื้อเพลิงที่ใส่เข้าไปต่อวัฏจักร

$$\eta_f = \frac{W_c}{\dot{m}_f Q_{HV}} = \frac{P}{\dot{m}_f Q_{HV}} = \frac{1}{sfc Q_{HV}} \quad (2.10)$$

เมื่อ  $\eta_f$  คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจากเชื้อเพลิง  
 $Q_{HV}$  คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง, MJ/kg

โดยนิยามใช้ กำลังเพลา ( $P_b$ ) ในการคำนวณ ซึ่งเราก็จะได้ประสิทธิภาพเชิงความร้อนกำลังเพลา (Brake Thermal Efficiency,  $\eta_{tb}$ ) แต่ถ้าใช้งานต่อวัฏจักรหรือกำลังบ่งชี้ก็จะได้เป็น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนบ่งชี้ (Indicated Thermal Efficiency,  $\eta_{ti}$ )

### 2.2.10 ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric Efficiency)

อากาศที่เข้าสู่กระบอกสูบก็มีผลต่อกำลังและสมรรถนะของเครื่องยนต์ เพราะการดูดอากาศเข้ากระบอกสูบได้มากก็จะทำให้เชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ได้มากขึ้นด้วย จึงได้มีการกำหนดประสิทธิภาพเชิงปริมาตรขึ้น โดยสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง อัตราการไหลของปริมาตรอากาศที่เข้าไปในระบบไอศต่ออัตราซึ่งปริมาตรถูกกวาดโดยลูกสูบ

$$\eta_V = \frac{2 \dot{m}_a}{\rho_{a,i} V_d N} \quad (2.11)$$

เมื่อ  $\eta_V$  คือ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร  
 $\rho_{a,i}$  คือ ความหนาแน่นของอากาศ,  $\text{kg/m}^3$

โดยความหนาแน่นของอากาศเข้าอาจใช้ในความหนาแน่นของอากาศโดยรอบก็ได้ ซึ่งในกรณีนี้ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรจะวัดสมรรถนะของปั๊มหรือการนำอากาศเข้าระบบไอศทั้งระบบ แต่ถ้าใช้ความหนาแน่นของอากาศในท่อร่วมไอศ ประสิทธิภาพเชิงปริมาตรก็จะวัดสมรรถนะของการปั๊มหรือการนำอากาศเข้าช่องไอศและวาล์วไอศเท่านั้น

ซึ่งประสิทธิภาพเชิงปริมาตรสูงสุดของเครื่องยนต์ที่นำไอศเข้าโดยธรรมชาติจะอยู่ในช่วง 80-90% และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรของเครื่องยนต์ดีเซลจะสูงกว่าเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ [1]

### 2.2.11 การปล่อยมลพิษ

การทำงานของเครื่องยนต์ก็จะมี การปล่อยไอเสียหรือมลพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งไอเสียที่ถือว่าเป็นมลพิษและถูกปล่อยออกมาคือ ออกไซด์ของไนโตรเจน ( $\text{NO}_x$ ) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) และละอองของแข็ง (Particulate Matter) เช่น เขม่า เป็นต้น โดยความเข้มข้นของแก๊สที่เป็นมลพิษในไอเสียมักจะถูกวัดเป็นส่วนในล้านส่วน (Part per Million, ppm) หรือร้อยละ โดยปริมาตร

1. ออกไซด์ของไนโตรเจน ( $\text{NO}_x$ ) ประกอบด้วย แก๊สไนตริกออกไซด์ (NO) และแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) เกิดขึ้นจากไนโตรเจนในอากาศหรือเชื้อเพลิงทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศที่สถานะอุณหภูมิการเผาไหม้สูง (มากกว่า  $1,600^\circ\text{C}$ )
2. แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในเชื้อเพลิงกับอากาศ หรือแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอในการทำปฏิกิริยาเผาไหม้
3. สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) ประกอบไปด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนในเชื้อเพลิงที่ไม่ถูกเผาไหม้หรือเผาไหม้เพียงบางส่วนมักจะอยู่ในสถานะแก๊สออกมากับไอเสียของเครื่องยนต์
4. ละอองของแข็ง (Particulate Matter) ไอเสียจากเครื่องยนต์ที่จุดระเบิดด้วยการอัดจะมีฝุ่นละอองคาร์บอนในสถานะของแข็งปะปนอยู่ด้วย ซึ่งออกมากับไอเสียจากเครื่องยนต์ในรูปแบบของควันดำ

แก๊สไอเสียที่ออกจากรถยนต์ นับเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่มีปริมาณมากที่สุด โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น ซึ่งมลพิษที่เกิดขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ

## 2.3 น้ำมันไบโอดีเซล (Biodiesel)

ไบโอดีเซลคือ น้ำมันที่ได้จากการนำน้ำมันพืช น้ำมันจากไขสัตว์ หรือน้ำมันเหลือทิ้งจากการปรุงอาหาร มาผ่านกระบวนการทางเคมีกับแอลกอฮอล์ และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด ตัวเร่งปฏิกิริยาเบส เอนไซม์ เป็นต้น เปลี่ยนมาเป็นเอสเทอร์ผ่านปฏิกิริยาที่เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน โดยเอสเทอร์ที่ได้จะเรียกตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เมทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา หรือ เอทิลเอสเทอร์ เป็นเอสเทอร์ที่ได้จากการใช้เอทานอลเป็นสารในการทำปฏิกิริยา โดยเอสเทอร์ที่ได้สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ได้ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสมบัติของน้ำมันที่นำมาทำเป็นเอสเทอร์และเทคโนโลยีของเครื่องยนต์

### 2.3.1 วัตถุดิบในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

วัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลคือ น้ำมันจากพืชและน้ำมันจากไขสัตว์ โดยน้ำมันจากพืชสามารถแยกได้เป็นน้ำมันจากพืชที่รับประทานได้ เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันเมล็ดทานตะวัน น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันงา น้ำมันจากรำข้าว เป็นต้น อีกชนิดหนึ่งคือน้ำมันจากพืชที่รับประทานไม่ได้ เช่น น้ำมันจากเมล็ดสบู่ดำ น้ำมันจากเมล็ดสำโรง เป็นต้น รวมถึงน้ำมันพืชที่ใช้แล้วก็สามารถนำมาปรับสภาพเพื่อใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ ซึ่งสมบัติทางกายภาพ และค่าความร้อนของวัตถุดิบชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลแสดงดังตารางที่ 2.1

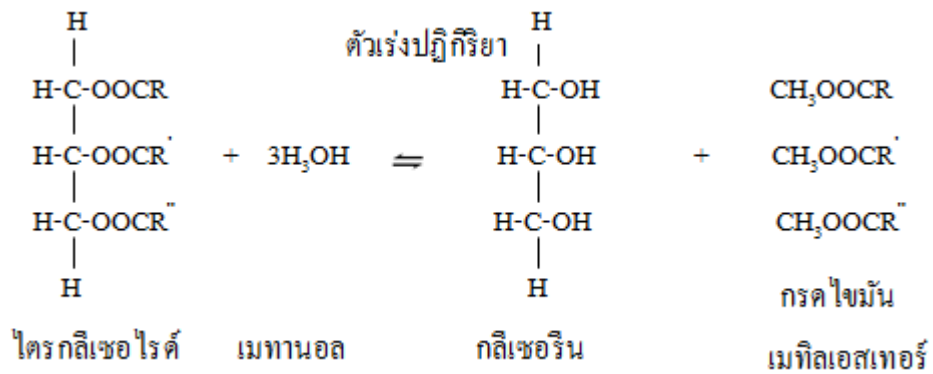
ตารางที่ 2.1 สมบัติและค่าความร้อนของวัตถุดิบชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล [2]

วัตถุดิบ	ความถ่วงจำเพาะ ที่ 21 °C (g/ml)	ความหนืด ที่ 21 °C (centipoise)	ค่าความร้อน (kJ/kg)
เมล็ดในปาล์ม	0.904	66.3	39,720
ไขโค	N/A	N/A	39,563
ปาล์ม	0.898	88.6	39,550
ทานตะวัน	0.918	60.0	39,490
ถั่วลิสง	0.914	67.1	39,470
ถั่วเหลือง	0.918	57.2	39,350
เมล็ดสบู่ดำ	0.915	36.9 (ที่ 38°C)	39,000
มะพร้าว	0.915	51.9	37,549
น้ำมันดีเซล	0.845	3.8	46,800

จากตารางที่ 2.1 เมื่อพิจารณาจากค่าความร้อนและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิด แสดงให้เห็นว่าน้ำมันจากพืชและน้ำมันจากไขสัตว์ทุกชนิดสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ แต่ในการเลือกใช้น้ำมันจะต้องพิจารณาถึงราคาและปริมาณของน้ำมันที่ผลิตได้ เพื่อไม่ให้กระทบกับน้ำมันที่ใช้ในการบริโภค

### 2.3.2 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ริฟิเคชัน (Transesterification) เป็นกระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยการเคลื่อนย้ายหมู่เอสเทอร์ บางครั้งนิยมเรียกว่า แอลกอฮอล์ไลซิส หมายถึง ปฏิกริยาเคมีระหว่าง ไตรกลีเซอไรด์ไขมันหรือน้ำมัน (Triglyceride) กับแอลกอฮอล์ ซึ่งกระบวนการนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยในกระบวนการเคลื่อนย้ายเอสเทอร์ส่วนใหญ่จะใช้แอลกอฮอล์ที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้น ในการทำปฏิกิริยาโดยเฉพาะเมทานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์ที่มีข้อได้เปรียบในเชิงพาณิชย์สูง เพราะมีราคาถูก และมีสมบัติทางกายภาพและเคมีที่เหมาะสม ดังรูปที่ 2.5 ไตรกลีเซอไรด์กับเมทานอล 3:1 โมล ทำปฏิกิริยากันจะได้ กลีเซอรินและเมทิลเอสเทอร์



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (Transesterification) [3]

โดยทางทฤษฎีแล้วปริมาณสัมพันธ์ (Stoichiometric) ของกระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันที่บริบูรณ์ต้องประกอบด้วยอัตราส่วนเชิงโมลของสารตั้งต้น 3 ต่อ 1 ระหว่างแอลกอฮอล์ต่อกลีเซอไรด์ แต่ในทางปฏิบัติพบว่า กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันสามารถผันกลับได้ ดังนั้นถ้าต้องการผลิตภัณฑ์เป็นเอสเทอร์หรือน้ำมันไบโอดีเซลมากขึ้น ต้องเพิ่มจำนวนโมลแอลกอฮอล์มากขึ้นด้วย

กระบวนการทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันนี้เราสามารถเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาด้วยการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาจะช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและผลิตภัณฑ์เกิดได้ดีขึ้น โดยชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรด (Acid Catalyst) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดกรดสามารถเร่งปฏิกิริยาได้ผลิตภัณฑ์สูงมาก (กว่าร้อยละ 90) ที่อัตราส่วนโดยโมลของน้ำมันต่อแอลกอฮอล์เท่ากับ 1 ต่อ 30 แต่ต้องทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงและใช้เวลานานจึงจะเกิดปฏิกิริยาได้อย่างสมบูรณ์ เหมาะสำหรับกลีเซอไรด์ที่มีส่วนประกอบของกรดไขมันอิสระและน้ำอยู่มาก กรดที่ใช้ควรเป็นกรดซัลฟิวริก กรดฟอสโฟริก กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดซัลโฟนิกของสารอินทรีย์
2. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส (Base Catalyst) ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดนี้ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาน้อยกว่าตัวเร่งปฏิกิริยาประเภทกรดมากและได้ร้อยละผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย โดยเบสที่ใช้ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งถือเป็นเบสแก่และมีความเฉพาะเจาะจงในการทำปฏิกิริยาต่ำ ทำให้เกิดปฏิกิริยาสะพอนิฟิเคชัน (Saponification reaction) หรือปฏิกิริยาการเปลี่ยนเป็นสบู่ขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์ให้บริสุทธิ์
3. ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเอนไซม์ (Enzyme Catalyst) เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีความเฉพาะเจาะจงในการทำปฏิกิริยาสูง ถึงแม้มีน้ำอยู่ในสารตั้งต้น ปัญหาการเกิดสบู่จะไม่เกิดขึ้น เอนไซม์ที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันคือเอนไซม์ไลเปส (Lipase Enzyme)

ซึ่งตัวเร่งปฏิกิริยาแต่ละชนิดนั้นจะมีสมบัติที่ความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.2 โดยการนำตัวเร่งปฏิกิริยามาใช้งานก็ต้องพิจารณาเลือกใช้ให้เหมาะสม

ตารางที่ 2.2 ความแตกต่างระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดเบส กรด และเอนไซม์ [4]

ตัวแปร	ตัวเร่งชนิดเบส	ตัวเร่งชนิดกรด	เอนไซม์ไลเปส
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60 - 70	55 – 80	30 – 40
กรดไขมันอิสระในน้ำมัน	เกิดสบู่	เกิดเอสเทอร์	เกิดเอสเทอร์
น้ำในน้ำมัน	มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา	มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา	ไม่มีผลกระทบต่อ การเกิดปฏิกิริยา
ปริมาณเมทิลเอสเทอร์	ปกติ	ปกติ	สูง
การนำกลีเซอรอลกลับมา ใช้ใหม่	ยาก	ยาก	ง่าย
การทำให้น้ำมันไบโอ ดีเซลให้บริสุทธิ์	ทำการล้างซ้ำ	ทำการล้างซ้ำ	ไม่ต้องล้าง
ราคา	ถูก	ถูก	ค่อนข้างแพง

### 2.3.3 ข้อกำหนดทางคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

เพื่อให้ไขมันไบโอดีเซลที่ผลิตสามารถนำไปใช้งานได้ จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลขึ้น โดยมาตรฐานของแต่ละประเทศจะแตกต่างกันเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับภาวะภูมิอากาศ เทคโนโลยีการผลิต และความเชื่อมั่นของผู้บริโภคในประเทศนั้นๆ

โดยในประเทศกลุ่มประชาคมยุโรปมีมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล (DIN EN14214) กำหนดให้ใช้ในปี ค.ศ. 2002 ส่วนในประเทศอื่นๆ เช่น อังกฤษ ซึ่งมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลจะกำหนดไว้ใน BS EN142414 สำหรับในอเมริกาและแคนาดานั้น ใช้มาตรฐาน ASTM D6751 ซึ่งมาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซล DIN EN14214, BS EN14214 และ ASTM D6751 แสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดทางคุณภาพของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน DIN EN14214, BS EN14214 และ ASTM D6751 [5]

Property	Unit	DIN EN14214		BS EN14214		ASTM D6751	
		Limits		Limits		Limits	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Ester Content	% (m/m)	96.5	-	96.5	-	-	-
Density at 150°C	kg/m <sup>3</sup>	860	900	860	900	-	-
Viscosity at 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3.5	5	3.5	5	1.9	6
Flash Point	°C	120	-	120	-	130	-
Sulfur Content	mg/kg	-	10	-	10	-	-
Carbon Residue	% (m/m)	-	0.3	-	0.3	-	0.5
Cetane Number		51	-	51	-	47	-
Sulfated Ash Content	% (m/m)	-	0.02	-	0.02	-	0.02
Water Content	mg/kg	-	500	-	500	-	-
Total Contamination	mg/kg	-	24	-	24	-	-
Copper Strip Corrosion (3h @ 50°C)	Rating	1	-	1	-	3	-
Oxidation Stability, 110°C	Hours	6	-	6	-	-	-
Acid Value	KOH/g	-	0.5	-	0.5	-	0.8
Iodine Value	g/100g	-	120	-	120	-	-
Linolenic Acid Methyl Ester	% (m/m)	-	12	-	12	-	-
Polyunsaturated	% (m/m)	-	1	-	1	-	-
Methanol Content	% (m/m)	-	0.2	-	0.2	-	-
Monoglyceride Content	% (m/m)	-	0.8	-	0.8	-	-
Diglyceride Content	% (m/m)	-	0.2	-	0.2	-	-
Triglyceride Content	% (m/m)	-	0.2	-	0.2	-	-
Free Glycerol	% (m/m)	-	0.2	-	0.2	-	0.2
Total Glycerol	% (m/m)	-	0.25	-	0.25	-	0.24
Alkaline Metals (NA+K)	mg/kg	-	5	-	5	-	-
Phosphorus Content	mg.kg	-	10	-	10	-	-

สำหรับประเทศไทยได้มีการกำหนดมาตรฐานและวิธีการตรวจสอบสมบัติต่างๆของน้ำมันไบโอดีเซล เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของน้ำมัน ซึ่งข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล ประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน โดยกรมธุรกิจพลังงานแสดงดังตารางที่ 2.4 และข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลชุมชนแสดงดังตารางที่ 2.5

**ตารางที่ 2.4** ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน  
พ.ศ. 2552 ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน [6]

รายการ	ข้อกำหนด	หน่วย	อัตราสูง-ต่ำ		วิธีทดสอบ
1	เมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40°C	เซนติสโตกส์	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	3.5 5.0	ASTM D 445
4	จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
5	กำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 2622
6	กากดำ (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น)	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D4530
7	จำนวนซีเทน	-	ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D 613
8	เถ้าซิลิเกต	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
9	น้ำ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.050	EN ISO 12937
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0024	EN 12662
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	-	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ณอุณหภูมิ 110 °C	ชั่วโมง	ไม่ต่ำกว่า	10	EN 14112
13	ค่าความเป็นกรด	มิลลิกรัม โพตัสเซียม-ไฮดรอกไซด์/กรัม	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTM D 664
14	ค่าไอโอดีน	กรัมไอโอดีน/100กรัม	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมธานอล	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมนอกลิเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.80	En 14105
18	ไดกลิเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลิเซอไรด์	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน  
พ.ศ. 2552 ประกาศกรมธุรกิจพลังงาน (ต่อ) [6]

รายการ	ข้อกำหนด	หน่วย	อัตราสูง-ต่ำ	วิธีทดสอบ	รายการ
20	กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและโพแทสเซียม)	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14108 และ EN 14109
23	ฟอสฟอรัส	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	-	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

ตารางที่ 2.5 กำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลสำหรับเครื่องยนต์การเกษตร  
(ไบโอดีเซลชุมชน) พ.ศ. 2549 [7]

รายการ	ข้อกำหนด	หน่วย	อัตราสูง-ต่ำ		วิธีทดสอบ
1	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15°C	กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	860 900	ASTM D 1298
2	ความหนืด ณ อุณหภูมิ	เซนติสโตกส์	ไม่ต่ำกว่า และ ไม่สูงกว่า	1.9 8.0	ASTM D 445
3	จุดวาบไฟ	องศาเซลเซียส	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D 93
4	กำมะถัน	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.0015	ASTM D 2622
5	จำนวนซีเทน	-	ไม่ต่ำกว่า	47	ASTM D 613
6	เถ้าซัลเฟต	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 874
7	น้ำ และตะกอน	ร้อยละโดยปริมาตร	ไม่สูงกว่า	0.2	ASTM D 2709
8	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง	-	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 3	ASTM D 130
9	ค่าของกรด	มิลลิกรัมโพแทสเซียม-ไฮดรอกไซด์/กรัม	ไม่สูงกว่า	0.80	ASTM D 664
10	กลีเซอรินอิสระ	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D 6584
11	กลีเซอรินทั้งหมด	ร้อยละโดยน้ำหนัก	ไม่สูงกว่า	1.5	ASTM D 6584
12	สี	-		ม่วง	ตรวจพินิจด้วยสายตา
13	สารเติมแต่ง (ถ้ามี)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน			

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อารีรัตน์ โชติวิเชียร, อาภาณี เหลืองนฤมิตชัย และสมัย ใจอินทร์ [8] ได้ศึกษาการใช้ น้ำมัน ไบโอดีเซล เป็นสารเติมแต่งในเชื้อเพลิงผสมระหว่างดีเซลกับเอทานอล ในการทดลองนั้นได้ทำการผสมเชื้อเพลิง ทั้ง 3 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล, เอทานอล และเอทิลเอสเทอร์ โดยการปรับอัตราส่วนการผสมกันเพื่อดูการ เข้ากันเป็นเนื้อเดียวกัน รวมถึงอุณหภูมิในการเก็บรักษาตั้งแต่อุณหภูมิ 10°C ถึง 30°C พบว่า เอทิลเอส เทอร์และเอทานอลสามารถผสมกันได้ดีโดยไม่เกิดการแยกชั้นและมีลักษณะใส ในทุกอัตราส่วนการ ผสมกันตั้งแต่ 10% ถึง 90% เอทานอล และอุณหภูมิ 10°C ถึง 30°C ก็ไม่มีผลทำให้เกิดการแยกชั้นของ น้ำมันดีเซลกับเอทานอล

Barabas, Todorut และ Baldean [9] ได้ทำการทดสอบสมรรถนะและวัดมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 4,760 cc ที่ใช้น้ำมันดีเซล, ไบโอดีเซลจาก Rape Oil และเอทานอล 99.3% มาผสมกันใน อัตราส่วน น้ำมันดีเซล 85% ไบโอดีเซล 10% เอทานอล 5% (D85B10E5), น้ำมันดีเซล 80% ไบโ อีเซล 10% เอทานอล 10% (D80B10E10) และน้ำมันดีเซล 70% ไบโอดีเซล 25% เอทานอล 5% (D70B25E5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลมาตรฐาน ที่ Low Load (0-40%), Medium Load (40- 80%) และ High Load (>80%) พบว่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (BSFC) ของ D70B25E5 เพิ่มขึ้น 32.4% ที่ Low Load และน้ำมันผสมทั้ง 3 ชนิด มีอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มขึ้นระหว่าง 6.2-15.8% ที่ Medium Load และ High Load เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (BTE) ของ เครื่องยนต์ลดลง 0.4-21.7% เมื่อใช้น้ำมันผสมทั้ง 3 ชนิด และในส่วนของมลพิษพบว่า มีการปล่อย แก๊ส CO ลดลง โดย D80B10E10 และ D85B10E5 ลดลง 50% และ 59% ตามลำดับ แก๊ส CO<sub>2</sub> เพิ่มขึ้น เนื่องจากออกซิเจนในเอทานอลทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ แก๊ส NO<sub>x</sub> เพิ่มขึ้น 10-26% สารประกอบ ไฮโดรคาร์บอน (HC) ลดลงประมาณ 50% ที่ High Load คาร์บอนดำลดลงประมาณ 50% ที่ Low Load และ Medium Load แต่ที่ High Load ลดลงระหว่าง 27.6% (D70B25E5) ถึง 50.3% (D85B10E5)

Aydin และ Lkicilic [10] ได้ทำการทดสอบสมรรถนะและวัดมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ 400 cc ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 3 ชนิด คือ น้ำมันดีเซล DF, น้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซล D80B20 (20% ไบโ อีเซล 80% ดีเซล) และน้ำมันไบโอดีเซลผสมเอทานอล B80E20 (20% เอทานอล 80% ไบโอดีเซล) โดยทดสอบ Full Load ที่ความเร็วรอบ 1,000, 1,500, 2,000, 2,500 และ 3,000 rpm พบว่า กำลัง (Power) และแรงบิด (Torque) มีค่าเฉลี่ยต่างกันเล็กน้อย อัตราการกินน้ำมัน (bsfc) ของ D80B20 สูง กว่า DF และ B80E20 22.32% และ 20.13% ตามลำดับ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของ B80E20, DF และ D80B20 เท่ากับ 31.71%, 28.15% และ 25.95% ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบ 2,500 rpm อุณหภูมิไอ เสียของ B80E20 สูงกว่า DF และ D80B20 ทุกความเร็วรอบ ปริมาณมลพิษ แก๊ส CO ของน้ำมัน

B80E20 และ D80B20 ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณ  $\text{CO}_2$  ที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ปริมาณ  $\text{NO}_x$  ของ B80E20 จะสูงกว่า DF และ D80B20 ที่ความเร็วรอบต่ำ แต่ที่ความเร็วรอบสูง (>2,000 rpm) ปริมาณ  $\text{NO}_x$  ของ B80E20 จะต่ำกว่า ปริมาณ  $\text{SO}_2$  ของ B80E20 และ D80B20 ต่ำกว่า DF ที่ทุกความเร็วรอบ

Randazzo และ Sodre [11] ได้ศึกษาการปล่อยมลพิษของรถยนต์เครื่องยนต์ดีเซล ที่ใช้เอทานอลเป็นสารเติมแต่งในน้ำมันไบโอดีเซลจากถั่วเหลือง ในการทดลองจะใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมลงในน้ำมันดีเซลในอัตราส่วน 3, 5, 10 และ 20% (D97B3, D95B5, D90B10, D80B20) และใช้เอทานอลเป็นสารเติมแต่งในน้ำมัน D80B20 ในอัตราส่วน 2% (D80B20E2) และ 5% (D80B20E5) ทดสอบในรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ 4 สูบ 1,248 cc ติดตั้งระบบอัดอากาศ วิ่งทดสอบบน Dynamometer ความเร็ว 19, 62.6, 120 km/hr ที่ Full load พบว่าการใช้เอทานอลเป็นสารเติมแต่งในน้ำมัน (D80B20E2 และ D80B20E5) ทำให้ปริมาณการปล่อย  $\text{CO}_2$  และ  $\text{NO}_x$  ลดลงเล็กน้อย แต่ CO, HC และอนุภาคขนาดเล็กกับเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการใช้ B20

Qi et al. [12] ได้ศึกษาประสิทธิภาพและการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซล 4 สูบ 1,000 cc โดยเติม Diethyl Ether และ เอทานอล เป็นสารเติมแต่งในน้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซล ซึ่งทดสอบโดยการใช้ น้ำมันไบโอดีเซลจากถั่วเหลืองผสมกับน้ำมันดีเซล (D70B30) ในอัตราส่วน 30% แล้วใช้ Diethyl Ether (D70B30DE5) และเอทานอล (D70B30E5) เป็นสารเติมแต่งในอัตราส่วน 5% จากการทดสอบพบว่า อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (BSFC) ของ D70B30DE5 ลดลงเล็กน้อย และ D70B30E5 มีค่าใกล้เคียงกับ D70B30 ปริมาณไอเสีย (Smoke) D70B30DE5 และ D70B30E5 ต่ำกว่า D70B30 ปริมาณ  $\text{NO}_x$  ของ D70B30DE5 มีค่าใกล้เคียงกับ D70B30 แต่ D70B30E5 เพิ่มขึ้นเล็กน้อย การปล่อย CO ของ D70B30DE5 และ D70B30E5 ลดลง แต่ HC เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับ D70B30

Shi et al. [13] ได้ทำการศึกษาการปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ที่ใช้เอทานอล น้ำมันไบโอดีเซลจากถั่วเหลือง และน้ำมันดีเซล ผสมกันในอัตราส่วน 5:20:75 (D75B20E5) เปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล โดยทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ Cummins-4B 4 สูบ 3,920 cc โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,200-2,800 rpm Full Load จากการทดสอบพบว่า น้ำมันผสม D75B20E5 มีการปลดปล่อยมลพิษคือ อนุภาคขนาดเล็กลดลงประมาณ 21-39%  $\text{NO}_x$  เพิ่มขึ้นประมาณ 5.6% CO จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ความเร็วรอบต่ำกว่า 2,000 rpm แต่ลดลงที่ความเร็วรอบสูงๆ  $\text{CO}_2$  เพิ่มขึ้นที่ความเร็วรอบต่ำกว่า 2,000 rpm และลดลงที่ความเร็วรอบสูงๆ ซึ่งโดยเฉลี่ยมีการปล่อย  $\text{CO}_2$  เพิ่มขึ้น 3.5% HC ลดลงเฉลี่ย 5.3% เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล

Jha et al. [14] ได้ศึกษาการปลดปล่อยมลพิษของเครื่องยนต์ใหม่และเครื่องยนต์เก่าที่ใช้เอทานอล น้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันดีเซลผสมกันเป็นเชื้อเพลิง โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบได้แก่ น้ำมันดีเซล, น้ำมันไบโอดีเซล, น้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซล 70:30 (D70B30), น้ำมันดีเซล ไบโอดีเซลและเอทานอลผสมกัน 3 อัตราส่วน คือ 70:25:5 (D70B25E5), 70:20:10 (D70B20E10), 70:15:15 (D70B15E15) ทำการทดสอบกับเครื่องยนต์ Ford 4,000 ซึ่งเป็นเครื่องยนต์เก่าความจุกระบอกสูบ 3,294 cc 3 สูบ และเครื่องยนต์ใหม่ 2 ตัว คือ John Deere 5103 เป็นเครื่องยนต์ 3 สูบ 2,900 cc และ John Deere 4039DF008 4 สูบ 3,900 cc โดยทดสอบที่ความเร็วรอบ 1,400-2,400 rpm ที่ 80% Maximum Load พบว่า การปล่อย CO ในเครื่องยนต์ Ford 4,000 และ John Deere 5103 ออกมาในลักษณะที่คล้ายกัน คือ เชื้อเพลิง D70B25E5 มีการปล่อย CO น้อยกว่า น้ำมันดีเซล และ D70B30 แต่จะสูงกว่าไบโอดีเซล ที่ทุกความเร็วรอบ สำหรับเครื่องยนต์ John Deere 4039DF008 ซึ่งทดสอบโดยไม่มี Load พบว่า น้ำมันไบโอดีเซลมีการปล่อย CO น้อยที่สุดและเพิ่มขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงที่ใช้เป็น D70B30, D70B25E5, D70B20E10 และ D70B15E15 ตามลำดับ ในส่วนของการวัด  $\text{NO}_x$  พบว่าเครื่องยนต์ Ford 4,000 ปล่อย  $\text{NO}_x$  น้อยที่สุดเมื่อใช้ D70B30 เป็นเชื้อเพลิง และเพิ่มขึ้น 16% สำหรับ D70B25E5, 21% สำหรับ D70B20E10 และ 24% สำหรับ D70B15E15 ที่ทุกความเร็วรอบ แต่ในเครื่องยนต์ John Deere 5103 มีการปล่อย  $\text{NO}_x$  ลดลง 12% สำหรับ D70B25E5, 16% สำหรับ D70B20E10 และ 22% สำหรับ D70B15E15 เมื่อเทียบกับ D70B30 ส่วนเครื่องยนต์ John Deere 4039DF008 ซึ่งทดสอบโดยไม่มี Load พบว่า D70B25E5 ปล่อย  $\text{NO}_x$  ลดลง 12%, D70B20E10 ลดลง 21% และ D70B15E15 ลดลง 29% เมื่อเทียบกับ D70B30

จากการศึกษาในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า เอทานอลสามารถผสมกันได้ดีกับไบโอดีเซลในอุณหภูมิการเก็บรักษาตั้งแต่อุณหภูมิ  $10^{\circ}\text{C}$  ถึง  $30^{\circ}\text{C}$  โดยไม่เกิดการแยกชั้นและมีลักษณะใส ทุกอัตราส่วนการผสม ในส่วนของการทดสอบสมรรถนะและมลพิษที่เกิดขึ้นพบว่า การใช้เอทานอลเป็นสารเติมแต่งในน้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลในอัตราส่วนระหว่าง 5-20% (D85B10E5, D80B10E10 และ D70B15E15) จะทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมัน (bsfc) เพิ่มขึ้น [9, 10] แต่ในส่วนของประสิทธิภาพเชิงความร้อน (BTE) จะลดลง [9] เพราะค่าความร้อนของเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลนั้นต่ำกว่าค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล สำหรับการปล่อยมลพิษในแก๊สไอเสียพบว่ามีปริมาณ CO และ HC ลดลง [9, 10, 12, 13, 14] สอดคล้องกับปริมาณ  $\text{CO}_2$  ที่เพิ่มขึ้น [9, 10, 13] เนื่องจากออกซิเจนในเอทานอลทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ คาร์บอนลดลง [9, 12] ปริมาณ  $\text{NO}_x$  มีทั้งเพิ่มขึ้น [9, 12, 13, 14] และลดลง [10, 11, 14] ซึ่งอุณหภูมิในการเผาไหม้มีผลต่อการเกิด  $\text{NO}_x$  แต่ใน ส่วนของการใช้เอทานอลผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลยังไม่มีนำมาใช้งานในเครื่องยนต์แบบ IDI ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะดำเนินการวิจัยในการนำเอทานอลมาผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและเคมี ในการใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบ IDI