# ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กในเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสม

# Characteristics of Particulate Size Distributions in Diesel Engine fueling with Biodiesel Blends

ป้อมปราบ ศรีอำพันพฤกษ์[1,4], ธวัชชัย วงศ์ช่าง[1,4], เฉลิมชัย ไชยธงรัตน์[1,4], จักกฤษณ์ เสณีตันติกุล[2] และ กัมปนาท เทียนน้อย[3,4*]

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลและยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง 19 หมู่ 11 ตำบลหนองละลอก อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง 21120

[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมกระบวนการเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง 19 หมู่ 11 ตำบลหนองละลอก อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง 21120

[3] ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลัง วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

[4]ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการเผาไหม้และพลังงานทางเลือก (CTAE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาราษฎร์ 1 เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

*ติดต่อ: E-mail: kampanart.t@cit.kmutnb.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 022-555-2000

***บทคัดย่อ***

ฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศเป็นปัญหาที่สำคัญมากในเมืองใหญ่ หนึ่งในต้นเหตุที่สำคัญคือปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เกิดจาการเผาไหม้ในเครื่องยนต์โดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด นอกจากนี้การนำเชื้อเพลิงทางเลือกมาทดแทนน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์โดยไม่ปรับแต่งเครื่องยนต์ให้เหมาะสมจะส่งผลต่อการเผาไหม้และปริมาณการปลดปล่อยมลพิษจากเครื่องยนต์ โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในอัตราส่วนร้อยละ 10 (B10) 20 (B20) และ30 (B30) โดยปริมาตรและไม่ปรับแต่งเครื่องยนต์ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และปริมาณการปลดปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็ก จากงานวิจัยพบว่า เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมในน้ำมันดีเซลช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยของฝุ่นละอองขนาดเล็กและมีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 200 นาโนเมตร และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมไบโอดีเซลที่สูงขึ้นส่งผลให้จำนวนฝุ่นละอองในกลุ่มของ Nucleation (Dp,g < 30 nm) มีจำนวนที่สูงขึ้น โดยปริมาณของฝุ่นละอองในกลุ่มของ accumulation (Dp,g > 50 nm) มีจำนวนที่ลดลง นอกจากนี้ปริมาณของฝุ่นละอองขนาดเล็กจากการใช้ไบโอดีเซลมีแนวโน้มที่ลดลง โดยลดลงถึงร้อยละ30 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซล (B7) อย่างไรก็ตามสภาวะการทำงานของเครื่องยนต์เป็นปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการเพิ่มสัดส่วนของการกระจายตัวของขนาดฝุ่นละอองขนาดเล็ก

***คำหลัก:*** ไบโอดีเซลผสม; เครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัด; การกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก

***Abstract***

The small particulate matter is a very important problem in the city. One of the major causes is a particle emitted from the engine, especially compression ignition engine. Furthermore, the usage of an alternative fuels in the engine without engine modification is important factor that affect

to engine performance and particulate emission. The aim of this research is to study the effect of biodiesel blend with diesel fuel in ratio of 10% (B10), 20% (B20) and 30% (B30) by volume with an unmodified diesel engine that affect to the efficiency of the engine and small particles in engine tail pipe. In the experiment it was found that biodiesel blend helps to reduce the small particles with particles diameter less than 200 nanometers from biodiesel blend. The high ratio of biodiesel causes high particle in nucleation mode ($D_{p,g} < 30$ nm) but low particle in accumulation mode ($D_{p,g} > 50$ nm). In addition, particle concentration from biodiesel blend tends to decrease. Biodiesel can be reduced 30% particles concentration compare with diesel fuel (B7). However, the engine running condition is an important factor affecting the proportion of small particle size distribution.

***Keywords:*** Biodiesel blend; Compression ignition engine; Small particles size distribution

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยกำลังประสบปัญหาภาวะฝุ่น PM 2.5 ที่ปกคลุมอยู่ในประเทศ โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานครและจังหวัดทางภาคเหนือ ตามรายงานของกรมควบคุมมลพิษ [1] โดยมีสาเหตุหลักมาจากไฟป่าในประเทศและการเผาวัสดุทางการเกษตรประมาณร้อยละ 40 - 45 การปล่อยไอเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมประมาณร้อยละ 10-15 และฝุ่นละอองที่ออกมากับไอเสียของเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน เช่นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดหรือเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงประมาณร้อยละ 30 – 35 โดยเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดมีความนิยมใช้งานอย่างแพร่หลายโดยเฉพาะในภาคการขนส่ง ทั้งในรถบรรทุกขนาดใหญ่หรือเรือเดินสมุทร เป็นต้น เนื่องจากความได้เปรียบทางด้านสมรรถนะของเครื่องยนต์และการปล่อยมลพิษเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ [2] อย่างไรก็ตามในปัจจุบันมีมาตรการในการควบคุมมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลอย่างเข้มงวดโดยเฉพาะอย่างยิ่งอนุภาคของฝุ่นละอองขนาดเล็กซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์โดยสารผสมของเชื้อเพลิงกับอากาศไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (Nonhomogeneous) และการระเหยของน้ำมันหล่อลื่นในเครื่องยนต์เป็นสาเหตุหลักทำให้เกิดเขม่าที่สามารถมองเห็นได้มีลักษณะเป็นคาร์บอนที่มีสีดำ และยังประกอบไปด้วย Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAH) ซัลเฟอร์และสารอินทรีย์ในน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นส่วนประกอบของเขม่าที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า อนุภาคของฝุ่นละอองสามารถแบ่งได้ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดังนี้ อนุภาคขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร เรียกว่า Ultrafine Particles อนุภาคขนาดตั้งแต่ 0.1 ถึง 2.5 ไมโครเมตร เรียกว่า Fine Particles หรือ PM 2.5 และอนุภาคขนาดตั้งแต่ 2.5 ถึง 10 ไมโครเมตร เรียกว่า Coarse Particles หรือ PM 10 [3] ซึ่งโดยปกติแล้วอนุภาคที่เกิดจากเครื่องยนต์จะมีขนาดเล็กมากสามารถกำจัดได้ด้วยการใช้อุปกรณ์กรองเขม่าหรือ Diesel Particulate Filter (DPF) ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตรถยนต์เพิ่มขึ้นทำให้ยังไม่แพร่หลายในประเทศไทย อีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถช่วยลดปริมาณของฝุ่นละอองจากเครื่องยนต์ได้คือการแสวงหาเชื้อเพลิงทางเลือกที่สามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในประเทศไทยมีเชื้อเพลิงทางเลือกสำหรับใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลอยู่หลายชนิด เช่น แก๊สไดเมทิล-อีเทอร์ (DME), น้ำมันดีเซลสังเคราะห์ Gas to liquid (GTL) และน้ำมันไบโอดีเซล ข้อได้เปรียบของไบโอดีเซลที่สามารถผลิตได้จากพืชผลทางการเกษตรภายในประเทศและเป็นเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบช่วย

ส่งเสริมการเผาไหม้ ช่วยในการออกซิเดชันทำให้ปริมาณเขม่าลดลงได้ แต่ข้อจำกัดของไบโอดีเซลคือมีค่าความร้อนจำเพาะของการเผาไหม้ที่ต่ำเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล จึงส่งผลให้ต้องใช้ปริมาณเชื้อเพลิงที่มากกว่าส่งผลต่อการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น

งานวิจัยนี้จึงดำเนินการศึกษาสมรรถนะและการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมกับน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงโดยที่ไม่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์เปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลพื้นฐานในท้องตลาด (Conventional Diesel)

## 2. เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

### 2.1 เครื่องยนต์และแท่นทดสอบเครื่องยนต์

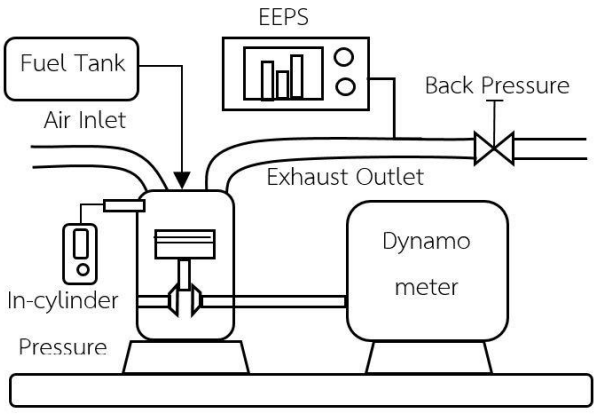
เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดหรือเครื่องยนต์ดีเซล 1 สูบ ความจุกระบอกสูบ 309 ลูกบาศเซนติเมตร แบบห้องเผาไหม้ร่วม นำอากาศเข้ากระบอกสูบโดยธรรมชาติ ดังตารางที่ 1 เครื่องยนต์ถูกติดตั้งอยู่บนแท่นทดสอบ (Engine Dynamometer) ภาระงานของเครื่องยนต์ถูกกำหนดโดยมอเตอร์แบบอะซิงโครนัส (Asynchronous Motor) มีอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ (Thermocouple type K) สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นเครื่องยนต์ ไอเสีย อากาศก่อนเข้าเครื่องยนต์และอุณหภูมิของน้ำมันเชื้อเพลิง

อุปกรณ์สำหรับวัดความดันจากการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ยี่ห้อ Kistler ติดตั้งอยู่ที่ด้านบนของฝาสูบทำงานร่วมกับอุปกรณ์ขยายสัญญาณ (charge amplifier) ยี่ห้อ Kistler รุ่น 5037B เพื่อแสดงข้อมูลความดันในกระบอกสูบจากการเผาไหม้ในแต่ละองศาเพลาข้อเหวี่ยง

ปริมาณของอนุภาคฝุ่นละอองในไอเสียจากการเผาไหม้ถูกตรวจโดยเครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาคยี่ห้อ TSI รุ่น EEPS 3090 สามารถวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคได้ตั้งแต่ 5 – 560 นาโนเมตร โดยปริมาณฝุ่นละอองถูกเจือจางด้วยอุปกรณ์เจือจางอนุภาคยี่ห้อ Dekati รุ่น TI 1000 ติดตั้งแบบ Double stage diluter และมีการควบคุมอุณหภูมิเพื่อลดการควบแน่นขององค์ประกอบของฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยมีการติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 1

ตารางที่ 1 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องยนต์

| คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องยนต์ | |
|---|---|
| Model | Kubota EA300 E2 NB1 |
| Type | 4 Stroke Diesel engine |
| Number of cylinder | 1 |
| Bore/Stroke | 75 mm/70 mm |
| Displacement volume | 0.309 L |
| Combustion system | Spherical type |
| Max. Output (kW) | 5.2 kW @ 3000 RPM |
| Injection timing | 25.5 CAD BTDC |




รูปที่ 1 ผังการติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลอง

### 2.2. น้ำมันเชื้อเพลิง

งานวิจัยนี้ใช้น้ำมันดีเซลพื้นฐานที่มีสัดส่วนของของน้ำมันไบโอดีเซลอยู่ที่ร้อยละ 7 ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลที่สัดส่วนไบโอดีเซลร้อยละ 10 20 และ30 โดยปริมาตร ใช้ชื่อว่า B10 B20 และ B30 ตามลำดับ ทดสอบหาค่าความร้อนจำเพาะของน้ำมันแต่ละชนิดด้วย Bomb calorimeter ยี่ห้อ IKA รุ่น C6000 ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพลังงานของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

| น้ำมันเชื้อเพลิง | ค่าความร้อนจำเพาะ (J/g) |
|---|---|
| ดีเซล (B7) | 45,352 |
| ไบโอดีเซล B100 | 41,240 |
| ไบโอดีเซลผสม B10 | 44,386 |
| ไบโอดีเซลผสม B20 | 44,145 |
| ไบโอดีเซลผสม B30 | 43,728 |

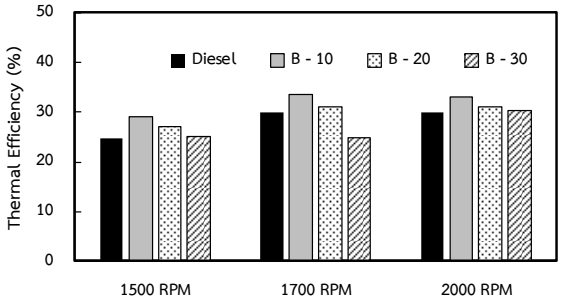
**2.3 สภาวะการทดลอง**

การทดสอบเครื่องยนต์ภายใต้สภาวะคงที่ (Steady-state) ทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 1,500 1,700 และ 2,000 รอบต่อนาที โดยให้ภาระงานของเครื่องยนต์ที่ร้อยละ 25 50 และ75 ของภาระงานสูงสุดของเครื่องยนต์ โดยที่ไม่ได้ทำการปรับแต่งองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิง (Fuel Injection Timing) และไม่มีการใช้ระบบการนำไอเสียกลับมาใช้ใหม่ (Exhaust Gas Recirculation)

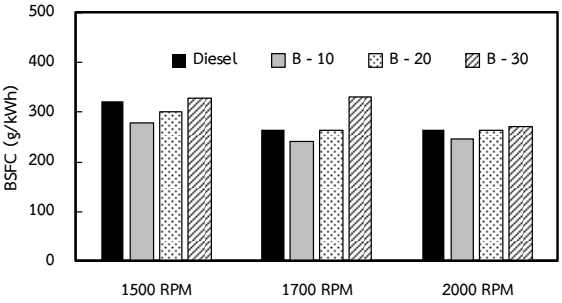
## 3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

**3.1 ผลกระทบของน้ำมันเชื้อเพลิงต่อสมรรถนะของเครื่องยนต์**

การทดสอบเครื่องยนต์เปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างการใช้น้ำมันดีเซลพื้นฐานกับน้ำมัน B10 B20 และB30 ทดสอบที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 1,500 1,700 และ2,000 รอบต่อนาที โดยทำการควบคุมภาระงานของเครื่องยนต์คงที่ร้อยละ 50 ของภาระงานสูงสุด พบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์หากใช้น้ำมันไบโอดีเซล B10 จะมีค่าที่สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล B7 เล็กน้อย เนื่องจากไบโอดีเซลที่ผสมกับน้ำมันดีเซลในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งอยู่ในช่วงที่เครื่องยนต์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไบโอดีเซลมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบในโมเลกุลทำให้ช่วยในการกระจายตัวของละอองน้ำมันขณะที่แพร่เข้าสู่ห้องเผาไหม้ แต่หากเพิ่มอัตราส่วนของไบโอดีเซลมากขึ้นเป็น B20 และ B30 เครื่องยนต์จะมีประสิทธิภาพทางความร้อนที่ต่ำลงตามลำดับ เนื่องจากค่าความร้อนของไบโอดีเซลต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ประกอบกับไบโอดีเซลมีค่าความหนืดสูง มีโอกาสทำให้เชื้อเพลิงที่ฉีดเข้าห้องเผาไหม้เกิดเป็นฝอยละอองขนาดใหญ่กว่า [4] ทำให้การเผาไหม้ไม่มีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2 เมื่อพิจารณาถึงความเร็วรอบที่เปลี่ยนไปพบว่าความเร็วรอบไม่ส่งผลต่อปริมาณไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้นเมื่อผสมกับดีเซล



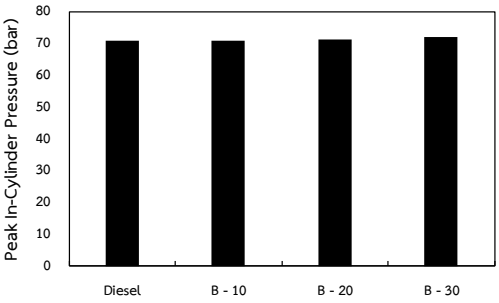

รูปที่ 2 อิทธิพลของเชื้อเพลิงต่อประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องยนต์




รูปที่ 3 อิทธิพลของเชื้อเพลิงต่อตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

จากรูปที่ 3 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง จากการทดลองพบว่าการใช้น้ำมันไบโอดีเซล B10 นอกจากจะให้ประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูงแล้ว ยังเป็นสภาวะที่มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่ต่ำเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลในทุก ๆ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตามเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของไบโอดีเซลมากขึ้น เครื่องยนต์มีการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงที่มากขึ้นตามลำดับ

ความดันในห้องเผาไหม้แสดงดังรูปที่ 4 ทดสอบที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 รอบต่อนาที่ ควบคุมภาระงานของเครื่องยนต์คงที่ร้อยละ 50 ของภาระงานสูงสุด พบว่าจากการที่เพิ่มอัตราส่วนผสมของน้ำมันไบโอดีเซลส่งผลให้ค่าความร้อนของน้ำมันเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลง ทำให้เมื่อนำไปใช้ในเครื่องยนต์แล้วความดันสูงสุดของการเผาไหม้จะมีค่าต่ำลงเล็กน้อย

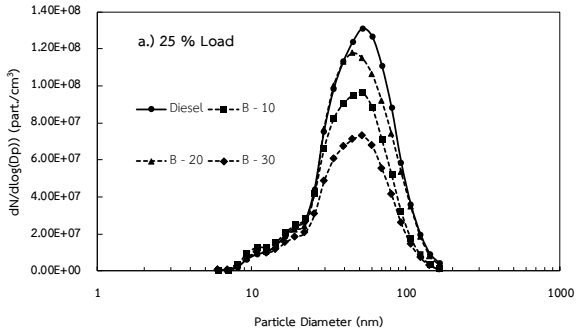


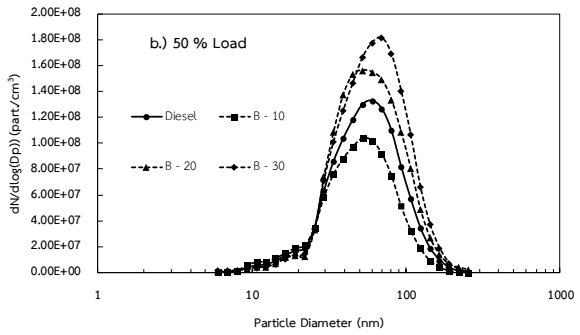

รูปที่ 4 อิทธิพลของเชื้อเพลิงต่อความดันสูงสุดในกระบอกสูบ

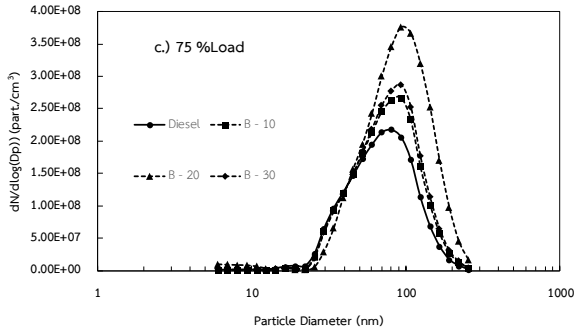
### 3.2 ผลกระทบของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละออง

#### 3.2.1 ผลกระทบน้ำมันเชื้อเพลิงและภาระงานของเครื่องยนต์ที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละออง

ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองจะพิจารณาตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค จากการทดลองพบว่า โดยส่วนใหญ่ของอนุภาคฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ดีเซลจะเป็นอนุภาคขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร เรียกว่า Ultra-fine particle [5] โดยมีขนาดที่ใหญ่กว่า 100 นาโนเมตรอยู่ในปริมาณเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 5 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละอองจากการทดสอบเครื่องยนต์ที่ 1500 รอบต่อนาที ที่ภาระงานร้อยละ 25 50 และ75 จากกราฟในรูปที่ 5a พบว่าสภาวะที่เครื่องยนต์มีภาระงานต่ำ (25%) น้ำมันดีเซลมีจำนวนอนุภาคสูงที่สุด และเมื่ออัตราส่วนไบโอดีเซลเพิ่มขึ้นจำนวนอนุภาคมีปริมาณลดลงเป็นผลมาจากออกซิเจนในเชื้อเพลิงที่ส่งเสริมการเผาไหม้ทำให้สารจำพวก VOC และ SOF มีปริมาณลดลง โดยจำนวนของอนุภาคจากการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลผสมในช่วงเล็กกว่า 100 นาโนเมตรจะมีปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการเผาไหม้น้ำมันดีเซล โดยช่วงที่มีปริมาณมากที่สุดคือช่วงเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคประมาณ 50 นาโนเมตร น้ำมัน B30 สามารถลดปริมาณของอนุภาคเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลได้สูงถึงร้อยละ 45 และเมื่อเพิ่มภาระงานของเครื่องยนต์ ปริมาณเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น เชื้อเพลิงที่เข้าห้องเผาไหม้มีปริมาณที่สูงตามไปด้วย ส่งเสริมให้เกิดการเผาไหม้แบบสารผสมหนาเป็นต้นเหตุให้เกิดคาร์บอนแข็งที่เป็นแกนกลางของอนุภาคเขม่าที่จะเกิดมากในบริเวณขอบเขตการเผาไหม้สารผสมหนา [3, 6] จากภาระงานที่สูงขึ้นพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลผสมก่อให้เกิดอนุภาคฝุ่นละอองมากกว่าน้ำมันดีเซล ประกอบกับในไอเสียของน้ำมันไบโอดีเซลมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่มากกว่าในน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอนุภาคฝุ่นละออง [7] และเกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เป็นผลจากเครื่องยนต์ไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลในปริมาณที่สูง

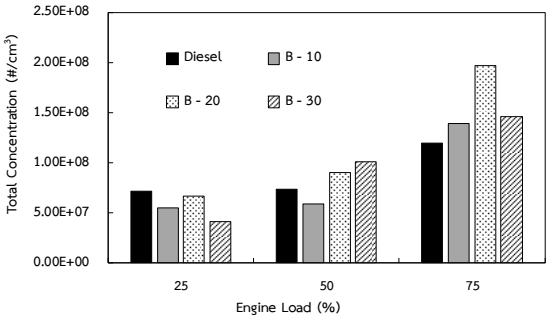



รูปที่ 5 การกระจายตัวของจำนวนฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ภาระงานร้อยละ 25 - 75 ของภาระงานสูงสุด

รูปที่ 6 แสดงความเข้มข้นโดยรวมของอนุภาคฝุ่นละอองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 รอบต่อนาที พบว่าเมื่อเครื่องยนต์มีภาระงานเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณฝุ่นละอองเพิ่มมากขึ้นด้วยเนื่องจากเครื่องยนต์มีปริมาณการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงสูงขึ้น ส่งเสริมให้เกิดคาร์บอนที่เป็นส่วนประกอบหลักของอนุภาคมากขึ้น เมื่อปริมาณไบโอดีเซลผสมในน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นพบว่า ปริมาณฝุ่นละอองจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณของไบโอดีเซล โดยที่ภาระงานร้อยละ 75 ของภาระงานสูงสุด พบว่าความเข้มข้นของอนุภาคโดยรวมของน้ำมันไบโอดีเซลผสม B20 สูงกว่าน้ำมันดีเซลถึงร้อยละ 35 ในทางตรงกันข้ามสภาวะที่เครื่องยนต์ทำงานที่ภาระงานร้อยละ 25 และ 50 ความเข้มข้นของอนุภาคโดยรวมของการใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสม B10 มีจำนวนน้อยกว่าการใช้น้ำมันดีเซลอยู่ร้อยละ 10 โดยประมาณ โดยปริมาณความเข้มข้นโดยรวมของฝุ่นละอองขนาดเล็กของการใช้ไบโอดีเซลผสมมีปริมาณที่สูงกว่าน้ำมันดีเซลเนื่องจากการเผาไหม้มีการฉีดเชื้อเพลิงก่อน (Advance injection timing) ทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นรวดเร็ว ดังนั้นอัตราการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นจึงทำให้ปริมาณของฝุ่นละอองโดยรวมจึงสูงขึ้นตามไปด้วย

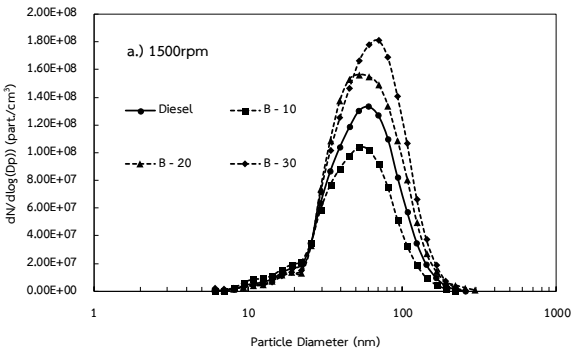


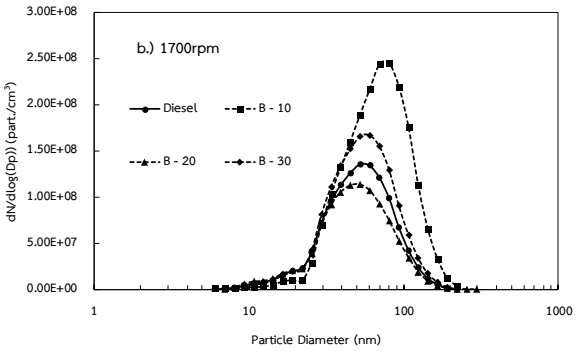

รูปที่ 6 ปริมาณความเข้มข้นโดยรวมของฝุ่นละอองในแต่ละภาระงานของเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบคงที่

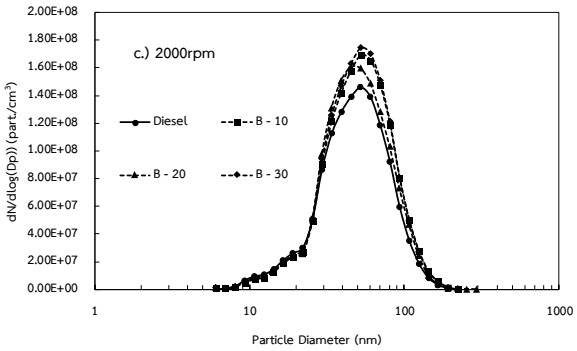
### 3.2.2 ผลกระทบน้ำมันเชื้อเพลิงและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่นละออง

รูปที่ 7 แสดงการกระจายตัวของจำนวนฝุ่นละอองที่ภาระงานร้อยละ 50 ในช่วงความเร็วรอบต่ำ (1,500 รอบต่อนาที) ปานกลาง (1,700 รอบต่อนาที) และความเร็วรอบสูง (2,000 รอบต่อนาที) พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจำนวนฝุ่นละอองส่วนใหญ่ที่พบในไอเสียจากการเผาไหม้น้ำมันไบโอดีเซลผสมมีปริมาณที่มากขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล โดยฝุ่นละอองมีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร เนื่องจากการนำไบโอดีเซลผสมมาใช้ใน

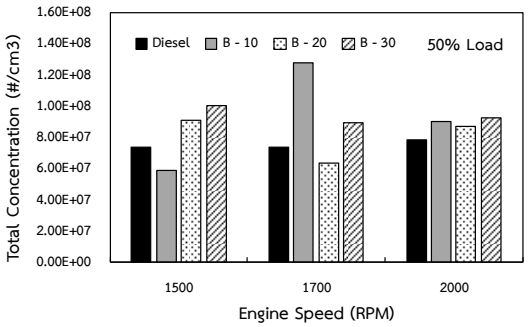
เครื่องยนต์ที่ไม่มีการปรับแต่งทำให้เมื่อเพิ่มอัตราการผสมไบโอดีเซลมากขึ้นเครื่องยนต์มีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ โดยเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นมีการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้นส่งผลให้มีจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองมากขึ้น สอดคล้องกับรูปที่ 8 แสดงความเข้มข้นโดยรวมของอนุภาคในแต่ละความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบปานกลาง (1,700 รอบต่อนาที) ไบโอดีเซลผสม B10 มีความเข้มข้นโดยรวมของอนุภาคสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลถึงร้อยละ 40 เนื่องมาจากค่าความหนืดของเชื้อเพลิงที่เพิ่มมากขึ้นของน้ำมันไบโอดีเซลทำให้เมื่อฉีดเข้าห้องเผาไหม้แล้วฝอยละอองของน้ำมันเชื้อเพลิงมีขนาดใหญ่กว่าเมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ส่งเสริมให้เกิดการเผาไหม้ที่ขอบเขตของสารผสมหนาส่งผลให้คาร์บอนในอนุภาคฝุ่นละอองมีขนาดและปริมาณมากขึ้น




รูปที่ 7 การกระจายตัวของจำนวนฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 – 2,000 รอบต่อนาที




รูปที่ 8 ปริมาณความเข้มข้นโดยรวมของฝุ่นละอองในแต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ภาระงานคงที่

## 4. สรุป

จากการทดสอบสมรรถนะและการกระจายตัวของจำนวนอนุภาคฝุ่นละอองโดยใช้น้ำมันไบโอดีเซลผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ เปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลพื้นฐานในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัด พบว่าน้ำมันไบโอดีเซลสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนในลักษณะเชื้อเพลิงร่วมในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยกำลังอัดได้ เมื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของจำนวนฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้พบว่า ในบางสภาวะการทำงานน้ำมันไบโอดีเซลผสมสามารถช่วยลดจำนวนของฝุ่นละอองขนาดเล็กได้เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลพื้นฐาน แต่ในสภาวะที่มีการฉีดเชื้อเพลิงมากขึ้น เช่น ที่ความเร็วรอบสูงขึ้น สมบัติที่เปลี่ยนไปของน้ำมันไบโอดีเซลผสม ประกอบกับเครื่องยนต์ที่ไม่ได้ออกแบบรองรับการใช้งานไบโอดีเซลจะมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ส่งผลให้จำนวนฝุ่นละอองขนาด

เล็กมีแนวโน้มสูงขึ้น ภาระงานของเครื่องยนต์เป็นอีกปัจจัยที่ทำให้ขนาดและจำนวนฝุ่นละอองขนาดเล็กเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อเครื่องยนต์ได้รับภาระงานสูงขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่นละอองจะใหญ่ขึ้นและมีจำนวนมากขึ้น โดยที่ฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กจะมีจำนวนลดลง

จากผลการทดสอบข้างต้นพบว่ามีความจำเป็นต้องศึกษา วิจัยเพิ่มเติมเพื่อปรับแต่งเครื่องยนต์ให้เหมาะสมต่อการใช้งานไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ชนิดนั้น ๆ เช่น การปรับองศาการฉีดน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและมีอัตราการปล่อยมลพิษต่ำ เป็นต้น

## 5. เอกสารอ้างอิง

[1] สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงของประเทศไทย ปี 2560, กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2560)

[2] H. Liu, Z. Wang, J. Wang, Z. He (2016). Improvement of emission characteristics and thermal efficiency in diesel engines by fueling gasoline/diesel/PoDEn blends, *Energy*, vol.97, pp. 105-112.

[3] D. B. Kittelson. (1998) Engine and nanoparticles: A review, *J.Aerosol*, vol. 29(5/6), pp. 575 – 588.

[4] M. Arunkumar, M Kannan and G. Murali (2019). Experimental studies on engine performance and emission characteristics using castor biodiesel as fuel in CI engine, *Renewable Energy,* vol. 131, pp. 737 – 744.

[5] Shida Tang, Gil LaDuke, William Chien and Brian P. Frank (2016). Impacts of biodiesel blends on PM2.5, particle number and size distribution, and elemental/organic carbon from nonroad diesel generators, *Fuel,* vol. 172, pp. 11 – 19.

[6] Wanchen Sun., et, al., (2019) Influence of biodiesel/diesel blends on particle size distribution of CI engine under steady/transient conditions, *Fuel,* vol. 245, pp. 336 – 344.

[7] Avinash Kumar Agarwal, Tarun Gupta and Pravesh C. Shukla (2015) Particulate emissions from biodiesel fuelled CI engines, *Energy Conversion and Management,* vol. 94, 99 311 – 330