

## ผลกระทบของไบโอดีเซลต่อคุณลักษณะมลพิษอนุภาคเขม่าเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการ อัดแบบคอมมอนเรล

### Effect of Biodiesel on a Common Rail Compression Ignition Engine's Particle Emission Characteristics

ยศพล พิมล<sup>1</sup>, วรณชิต ทรัพย์ข้า<sup>\*</sup>, วัชรินทร์ ห้วยหงษ์ทอง<sup>1</sup>, วีรยุทธ วงศ์ภัทรวรกุล<sup>1</sup>  
พิโอ ชิน โคโค<sup>2</sup>, วทัญญู ไพโรจน์<sup>1</sup>, ปรีชา การินทร์<sup>2</sup> และจินดา เจริญพรพาณิชย์<sup>1</sup>

1) คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร 10520, ประเทศไทย

2) วิทยาลัยนานาชาติสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร 10520, ประเทศไทย

\* ติดต่อ: Wannachit.s@gmail.com, 084-494-5754

#### บทคัดย่อ

เครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ระบบคอมมอนเรลมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงเนื่องจากมีอัตราส่วนการอัดสูง แต่อย่างไรก็ตามมันก็มี ความเข้มข้นของเขม่าไอเสียสูง ซึ่งเห็นได้ชัดว่าเขม่าไอเสียจากเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดสามารถลดลงได้โดยการผสมไบโอดีเซลลง ไปในเชื้อเพลิงดีเซล โดยในงานวิจัยนี้อธิบายถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลผสมไบโอดีเซลและโครงสร้าง สันฐานวิทยาของอนุภาคจากไอเสีย โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน จาก ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลและไบโอดีเซลมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อยแต่ปริมาณเขม่าที่ เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลน้อยกว่าเชื้อเพลิงดีเซลอย่างชัดเจน ขนาดอนุภาคกลุ่มของเขม่าจากเชื้อเพลิง B7, B20 และ B100 มี ค่าประมาณ 540, 500 และ 270 นาโนเมตร ตามลำดับ ขนาดอนุภาคเดี่ยวมีค่า 24, 19 และ 17 นาโนเมตร ตามลำดับ พบว่าขนาดของ อนุภาคกลุ่มและอนุภาคเดี่ยวจากไบโอดีเซลมีขนาดเล็กกว่าขนาดของอนุภาคกลุ่มและอนุภาคเดี่ยวจากดีเซลอย่างเห็นได้ชัด ส่วนความยาว เฉลี่ยผลึกกราฟีนของเขม่าจากเชื้อเพลิง B7, B20 และ B100 มีค่า 1.36, 1.21 และ 1.27 นาโนเมตร ตามลำดับ

**คำหลัก:** เครื่องยนต์ดีเซลคอมมอนเรล, ไบโอดีเซล, เขม่า และอนุภาคดีเซล

#### Abstract

Common-rail compression ignition engines have high thermal efficiency because of high compression ratio. In the other hand, its exhaust also has a high concentration of particulate matters (PMs). Particulate matter from compression ignition engines can be reduced by blending biodiesel into diesel. This research describes thermal efficiency of the compression ignition engine from each mixed fuel and the morphology of particulate matter using a scanning electron microscopy and transmission electron microscopy. The result shows that efficiency of diesel and biodiesel engine are not much different but the smoke intensity can be reduced by blending biodiesel clearly. The agglomerated particles sizes of B7, B20 and B100 are approximately 540, 500 and 270 nm respectively. Primary particle sizes are 24, 19 and 17 nm respectively. The agglomerated particles and the primary particle sizes of biodiesel engine's PM is smaller than that of conventional diesel clearly. The average length of graphene of B7, B20 and B100 are 1.36, 1.21 and 1.27 nm respectively.

**Keywords:** Common-rail compression ignition engines, biodiesel, soot and diesel particulate matter.

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันเครื่องยนต์ดีเซลถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมขนส่งและเครื่องยนต์การเกษตร เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลมีประสิทธิภาพทางความร้อนที่สูง เทียบกับเครื่องยนต์สันดาบภายในภายใน (Internal combustion engines) ชนิดอื่นที่ใช้ในปัจจุบันเมื่อเทียบในอัตราส่วนของภาระงานของเครื่องยนต์ที่เท่ากัน แต่อย่างไรก็ตาม มลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซลปริมาณไม่น้อยที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลก่อให้เกิดปัญหาสถานะแวดล้อมเป็นพิษ (Air Pollution) ซึ่งเป็นปัญหาโดยตรงต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น มะเร็งปอด เป็นต้น

อนุภาค (Particulate matter) จำเป็นต้องถูกกำจัดออกจากไอเสียที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์สันดาบภายใน เพื่อป้องกันสุขภาพของมนุษย์ จากการศึกษาด้วยการวิเคราะห์ลักษณะกายภาพและทางเคมีของอนุภาคจากทั้งเครื่องยนต์จุดระเบิดประกายไฟ (Spark ignition engine) และเครื่องยนต์จุดระเบิดอัด (Compression ignition engine) ภายใต้รอบการทำงานของยานพาหนะต่าง ๆ และสภาพการขับขี่ในโลกปัจจุบัน [1] อนุภาคถูกแบ่งออกเป็นสามส่วนหลักๆคือ ของแข็ง (Solid fraction) ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและเถ้าโลหะ, สารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ (Soluble organic fraction) ประกอบด้วยสารอินทรีย์ที่ได้จากน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์และเชื้อเพลิง [2]

งานวิจัยหลายท่านมีการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopic, SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) เพื่อศึกษาอนุภาคที่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าอนุภาคเดี่ยวมีสองส่วนหลักๆที่แตกต่างกันได้แก่ แกนใน (Inner core) และเปลือกนอก (Outer shell) [3] ขนาดอนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซลส่วนใหญ่มีการสะสมเป็นกลุ่มในช่วงเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย

ไม่กี่ร้อยนาโนเมตร ค่าจำกัดความขนาดของอนุภาคในบรรยากาศคือ PM10 เส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมโครเมตร, PM2.5 หรืออนุภาคละเอียด (Fine particle) มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร, อนุภาคละเอียดมาก (Ultrafine particle) มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.10 ไมโครเมตร และอนุภาคนาโน (Nanoparticle) มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 0.05 ไมโครเมตร หรือ 50 นาโนเมตร [4]

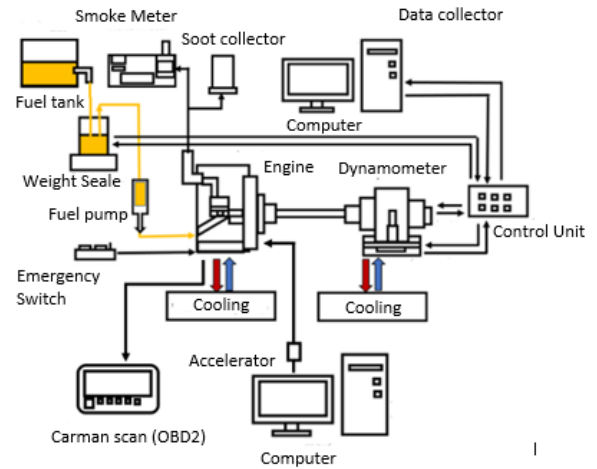
เขม่าของเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลได้รับการตรวจสอบและเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลทั่วไปพบว่าปริมาณเขม่าจากเครื่องยนต์ไบโอดีเซลต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซลและเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคดีเซลที่ออกมาจากเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลนั้นเล็กกว่าที่ออกมาจากเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลของเชื้อเพลิงที่มีออกซิเจนทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นจึงทำให้มีขนาดเล็กลง [5]

ผลกระทบของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลแบบหนึ่งสูบ ที่อัตราการผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซล 30% พบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกมีความใกล้เคียงกัน ส่วนการปลดปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) และเขม่าในไอเสียลดลง [6]

วัตถุประสงค์งานวิจัยนี้เพื่อศึกษาอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC), อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) เพื่อดูความสามารถในการทำงานของเครื่องยนต์ดีเซลระบบคอมมอนเรลที่เปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ภาระงานของเครื่องยนต์ไม่เกิน 40 % นอกจากนี้ยังศึกษาปริมาณและลักษณะโครงสร้างของอนุภาคจากเครื่องยนต์ที่ได้รับผลกระทบจากการผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลลงไปเชื้อเพลิงดีเซล

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ทดลองกับเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยการอัดที่มีคุณสมบัติตามตารางที่ 2-1 เครื่องยนต์ทำงานด้วยความเร็วรอบคงที่ 1000, 1500 และ 2000 รอบต่อนาที และภาระ 10, 20, 30 และ 40 % ของภาระงานของเครื่องยนต์สูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 2-2 โดยใช้เครื่องวัดไดนาโมแบบหมุนวนควบคุมภาระของเครื่องยนต์ ใช้สัญญาณไฟฟ้าในการควบคุมความเร็ว ส่วนระบบการจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงมีการติดตั้งเครื่องซึ่งนำหนักเพื่อวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ซึ่งข้อมูลต่าง ๆ ถูกเก็บด้วยโปรแกรม LabView ที่เชื่อมต่ออุปกรณ์วัดทุกอย่างเข้าไว้ด้วยกันดังรูปที่ 2-1 แผนผังการทำงานของระบบ



รูปที่ 2-1 แผนผังการทำงานของระบบทดสอบสมรรถภาพเครื่องยนต์ดีเซล

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติของเครื่องยนต์ที่ใช้ทดสอบ

Engine Model	4JJ1-TC
Engine Type	Diesel, Four Cycle
Cylinder Layout –	Inline-Four
Number of Cylinders	Cylinders
Fuel Injection Order	1-3-4-2
Bore x Stroke (mm)	95.4 x 104.9
Compression Ratio	18.3
Combustion Chamber Type	Direct Injection
Engine Idle Speed (RPM)	700 ±25
Maximum Engine Speed (RPM)	4400 ±50
Fuel System	Diesel common Rail System

ตารางที่ 2-2 ภาระงานทดสอบเครื่องยนต์

Speed (rpm)	Load (Nm)			
	10%	20%	30%	40%
1000	26	52	78	104
1500	28	56	84	112
2000	28	56	84	112

ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติของเชื้อเพลิงระหว่างดีเซลและไบโอดีเซล [7]

Properties	diesel	Biodiesel
Chemical formula	$C_{14.2}H_{28}$	$C_{14.9}H_{29.9}O_{1.9}$
Carbon (% mass)	85.1	74.5
Hydrogen (% mass)	14.0	12.5
Oxygen (% mass)	0.9	13.0
Auto ignition temp (°C)	288	294
Calorific value (kJ/kg)	46,180	39,525
Viscosity @40°C (mm <sup>2</sup> /s)	3.0	4.5
Density @25°C (kg/m <sup>3</sup> )	844.8	875.3
Stoichiometric air fuel ratio	14.7	12.3
Distillation (°C)		
T10	214.3	336.2
T30	250.3	339.7
T50	281.5	341.4
T70	312.5	345.4
T90	352.3	351.2

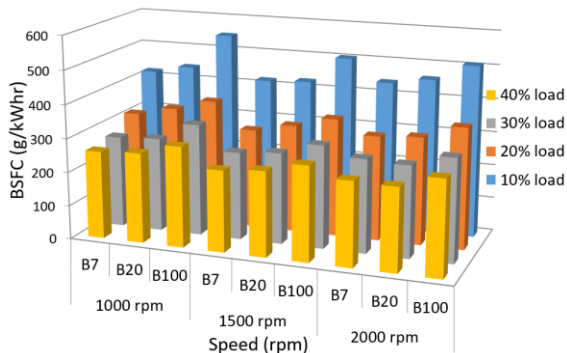
## AEC - 010

เชื้อเพลิงที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ น้ำมันดีเซลธรรมดา (B7) น้ำมันเชื้อเพลิงผสม (B20) และน้ำมันไบโอดีเซล (B100) ซึ่งไบโอดีเซลที่นำมาผสมทำมาจากปาล์ม ซึ่งมีคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแสดงในตารางที่ 2-2

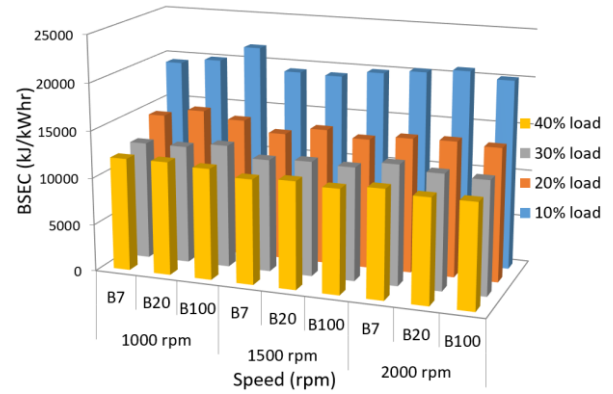
การวิจัยมีการวัดแรงบิดของเครื่องยนต์จากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) เพื่อดูผลกระทบของไบโอดีเซลที่มีต่อเครื่องยนต์

ปริมาณเขม่าบนแผ่นกระดาษกรองจะถูกวัดโดยเครื่องตรวจวัดควันแบบทึบแสง (OKUDA DSM-240, 0-100%,  $\pm 3\%$  accuracy) ซึ่งประเมินค่าออฟติคอลลของเขม่าบนตัวกรองกระดาษด้วยวิธีการสะท้อนแสง ส่วนผงเขม่าถูกเก็บรวบรวมไว้เพื่อตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและโครงสร้างระดับอนุภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM: Hitachi SU5000) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM: JEOL JEM-2100Plus)

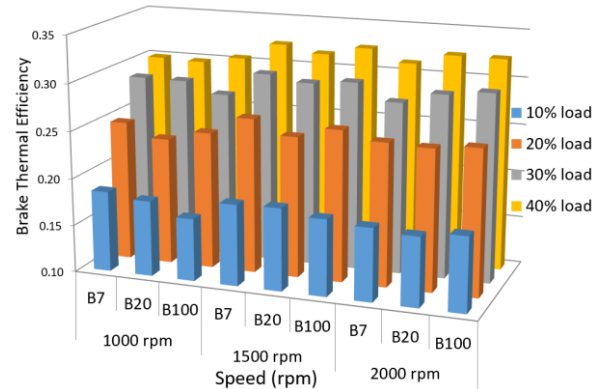
### 3. ผลการวิจัย



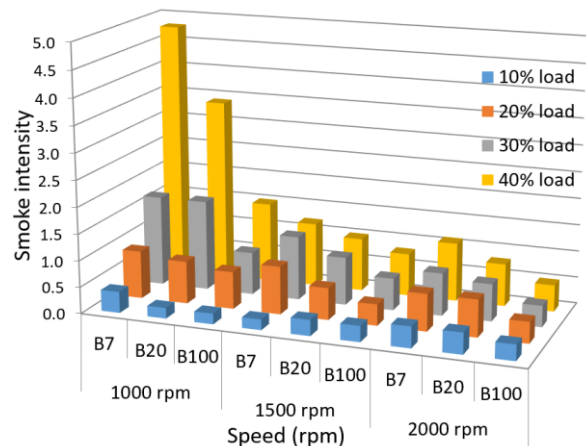
รูปที่ 3-1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ภาระงานของเครื่องยนต์, ความเร็วรอบและเชื้อเพลิงต่างกัน



รูปที่ 3-2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกที่ภาระงานของเครื่องยนต์, ความเร็วรอบและเชื้อเพลิงต่างกัน



รูปที่ 3-3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกที่ภาระงานของเครื่องยนต์, ความเร็วรอบและเชื้อเพลิงต่างกัน



รูปที่ 3-4 ปริมาณความเข้มข้นของเขม่าในไอเสียที่ภาระงานของเครื่องยนต์, ความเร็วรอบและเชื้อเพลิงต่างกัน

### 3.1 อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC)

การเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดจะเห็นได้จากรูปที่ 3-1 ในเงื่อนไขภาระงานของเครื่องยนต์ (Load) และความเร็วรอบ (Speed, rpm) เดียวกัน การเปลี่ยนแปลงการใช้เชื้อเพลิงจาก B7 เป็นเชื้อเพลิง B20 และ B100 ส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นั่นหมายความว่า การผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลลงไปทำให้อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเพิ่มขึ้น ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เกิดสภาวะนี้ขึ้นมาจากประการแรกเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีค่าพลังงานความร้อนต่ำกว่าเชื้อเพลิงดีเซลทำให้ต้องการเชื้อเพลิงในปริมาณที่มากกว่าภายใต้ภาระงานที่เท่ากัน ประการที่สองความหนาแน่นของไบโอดีเซลที่มากกว่าทำให้การฉีดเชื้อเพลิงในปริมาตรที่เท่ากัน น้ำหนักของไบโอดีเซลจึงหนักกว่า

### 3.2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (Brake specific energy consumption, BSEC)

การเปรียบเทียบอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกของเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดจะเห็นได้จากรูปที่ 3-2 ภายใต้เงื่อนไขความเร็วรอบและภาระที่เท่ากัน การเปลี่ยนแปลงการใช้เชื้อเพลิง B7 ไปใช้เชื้อเพลิง B20 และ B100 พบว่าการผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลไม่ส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรกเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

### 3.3 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE)

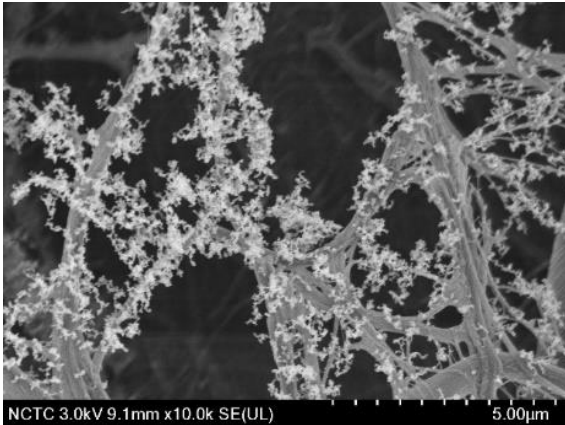
จากรูปที่ 3-3 ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกของเชื้อเพลิงทั้งสามชนิด ไม่มีความแตกต่างอย่างชัดเจนภายใต้เงื่อนไขความเร็วรอบและภาระงานของเครื่องยนต์ที่เท่ากัน ทำให้ไม่สามารถสรุปได้ว่าการผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลลงไปในเชื้อเพลิงดีเซลจะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรกเพิ่มขึ้นหรือลดลง

### 3.4 ปริมาณความเข้มข้นของเขม่าในไอเสีย (Smoke intensity)

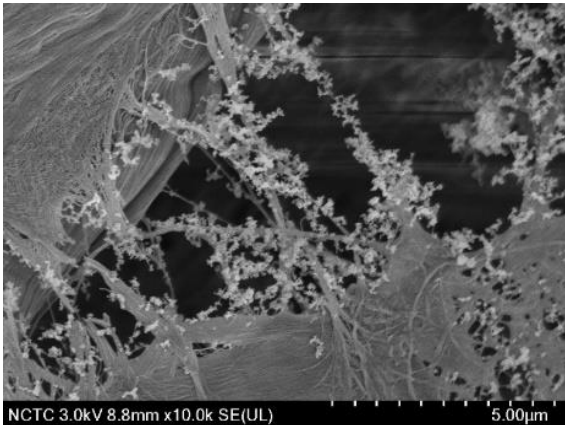
รูปที่ 3-4 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของเขม่าระหว่างเชื้อเพลิง B7, B20 และ B100 จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของไอเสียขึ้นอยู่กับภาระของเครื่องยนต์ ยิ่งเครื่องยนต์มีภาระงานมากขึ้นไอเสียของเครื่องยนต์จะมีความเข้มข้นของเขม่ามากขึ้นเช่นกัน เนื่องจากเครื่องยนต์ต้องใช้เชื้อเพลิงมากขึ้นเพื่อให้สามารถทำงานตามภาระที่เพิ่มขึ้นได้ นอกจากนี้สังเกตได้ว่าถ้าให้เงื่อนไขอื่น ๆ คงที่โดยดูการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว พบว่าเมื่อสัดส่วนการผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมากขึ้นค่าความเข้มข้นของเขม่าในไอเสียจะลดลงทุกกรณี ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ความเข้มข้นของเขม่าในไอเสียลดลงเป็นเพราะเชื้อเพลิงไบโอดีเซลมีออกซิเจนผสมอยู่ในโมเลกุล ซึ่งช่วยส่งเสริมการเผาไหม้ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

### 3.5 สัณฐานวิทยาของอนุภาค (PM's morphology)

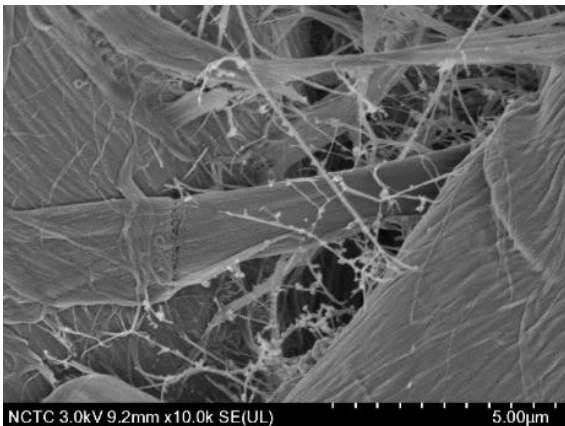
อนุภาคในไอเสียจากเชื้อเพลิง B7, B20 และ B100 ได้นำไปตรวจสอบด้วยการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยมีกำลังขยายอยู่ที่ 1,000 เท่า และ 10,000 เท่าตามลำดับ กลุ่มของอนุภาคที่รวมตัวกันบนกระดาษกรองมีการเกาะกลุ่มดังรูปที่ 3-5 อนุภาคกลุ่มเหล่านี้มีขนาดแตกต่างกันไป โดยจะศึกษาเฉพาะอนุภาคละเอียดขนาดไม่เกิน 1 ไมโครเมตรหรือ PM1 เท่านั้น



(ก) B7

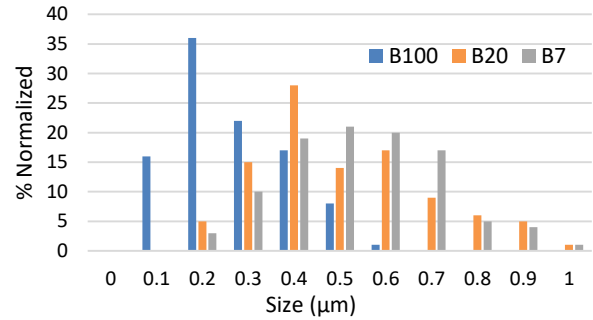


(ข) B20



(ค) B100

รูปที่ 3-5 การจับตัวของอนุภาคกลุ่มในกระดาศกรอง  
จากเชื้อเพลิง (ก) B7 (ข) B20 (ค) B100

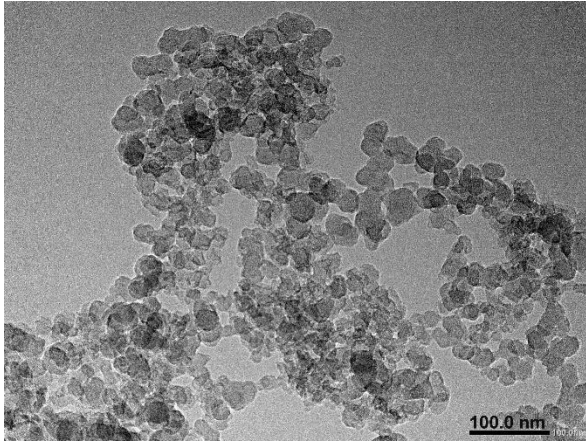


รูปที่ 3-6 ขนาดของอนุภาคกลุ่มจากทั้งสามเชื้อเพลิง  
เมื่อนำข้อมูลที่วัดขนาดแล้วเขียนเป็นกราฟจะได้  
ตามรูปที่ 3-6 จะพบว่าขนาดอนุภาคจากเชื้อเพลิงที่  
ผสมไบโอดีเซลในปริมาณที่มากกว่าจะมีแนวโน้มเล็ก  
กว่าอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากคุณสมบัติของ  
เชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่มีออกซิเจนอยู่ในโครงสร้าง  
โมเลกุลจึงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์กว่าและยังเพิ่ม  
โอกาสให้ออกซิเจนที่เหลือเข้าไปจับกับอนุภาคในชั้น  
แรกแล้วเกิดการเผาไหม้ซ้ำจนทำให้อนุภาคมีขนาด  
เล็กลงกว่าการเผาไหม้ที่มีออกซิเจนน้อย

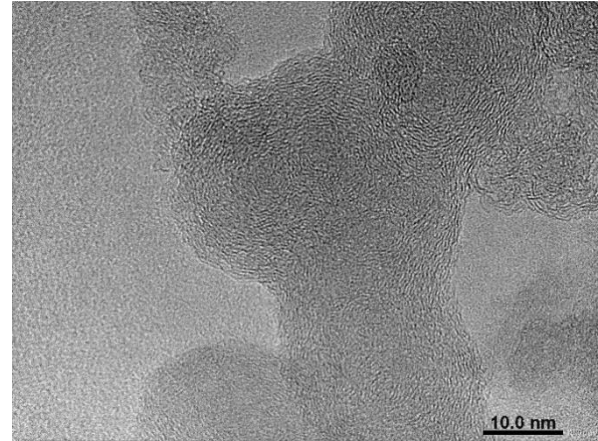
### 3.6 โครงสร้างระดับนาโนของอนุภาค (PM's nanostructure)

การศึกษาเพื่อแสดงรายละเอียดของอนุภาคกลุ่มและ  
เดี่ยวจนถึงระดับโครงสร้างผลึกกราฟีน (Graphene)  
โดยที่โครงสร้างจะถูกวิเคราะห์โดยการประมวลผลภาพ  
ด้วยซอฟต์แวร์ที่มีชื่อว่า "Image J" โดยการวัดขนาด  
ของอนุภาคเดี่ยวใช้ภาพที่มีกำลังขยาย 30,000 และ  
80,000 เท่า เพื่อวัดขนาดของอนุภาคเดี่ยวจากเชื้อเพลิง  
B7, B20 และ B100 ตามรูปที่ 3-7 และ 3-8 โดยจะใช้วิธี  
วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคสองเส้นที่ตั้งฉากกันเพื่อ  
หาเส้นที่มีความยาวมากที่สุดแล้วเลือกใช้เป็นตัวกำหนด  
ขนาดอนุภาค อัตราการสุ่มวัดขนาดตัวอย่างอยู่ที่ประมาณ  
100 อนุภาคต่อรูป ซึ่งขนาดของอนุภาคเดี่ยวจาก  
เชื้อเพลิง B7, B20 และ B100 จะเห็นได้จากรูปที่ 3-9  
พบว่าขนาดอนุภาคเดี่ยวของเชื้อเพลิง B100 มีขนาด  
อนุภาคเฉลี่ยเล็กกว่าเมื่อเทียบกับขนาดของอนุภาคเดี่ยว  
จากเชื้อเพลิง B7 และ B20 ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นผลมา

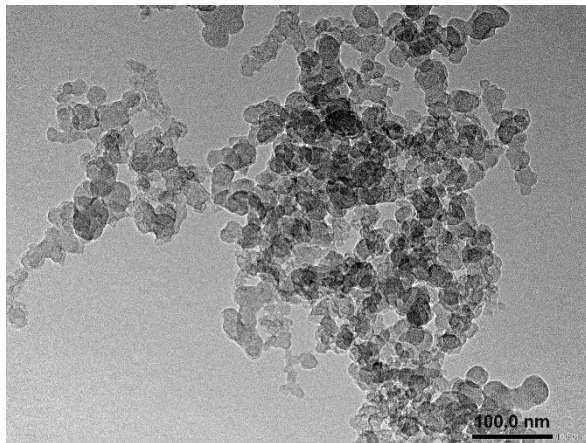
จากเชื้อเพลิง B100 มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากกว่า  
เชื้อเพลิงอื่น



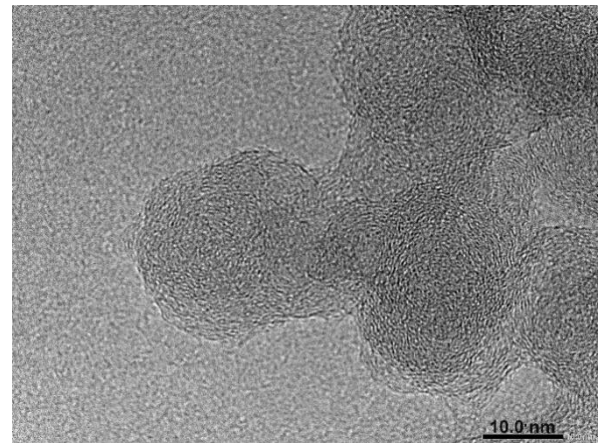
(ก) B7



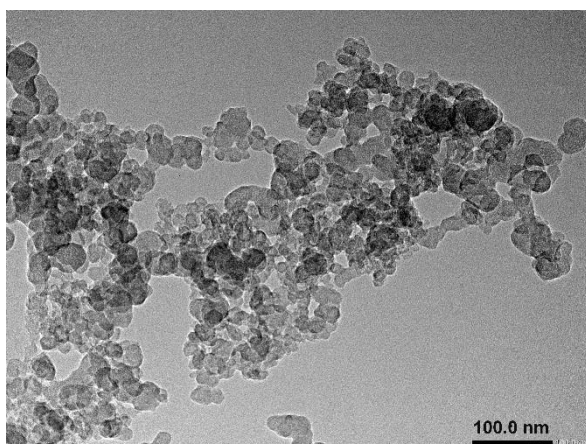
(ก) B7



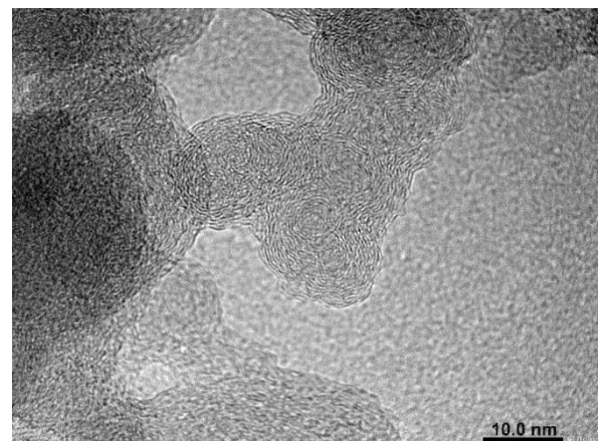
(ข) B20



(ข) B20



(ค) B100



(ค) B100

รูปที่ 3-7 ภาพถ่ายอนุภาคกลุ่มโดยกล้องจุลทรรศน์  
อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านจากเชื้อเพลิง

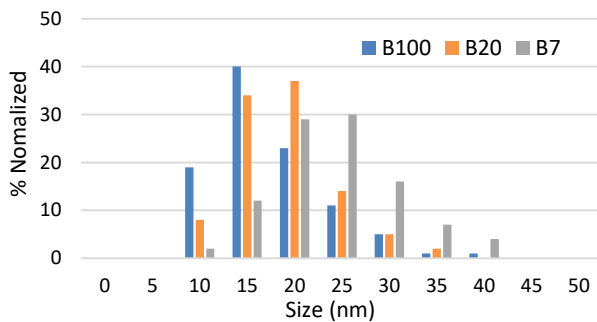
(ก) B7 (ข) B20 (ค) B100

รูปที่ 3-8 ภาพถ่ายอนุภาคเดี่ยวโดยกล้องจุลทรรศน์  
อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านจากเชื้อเพลิง

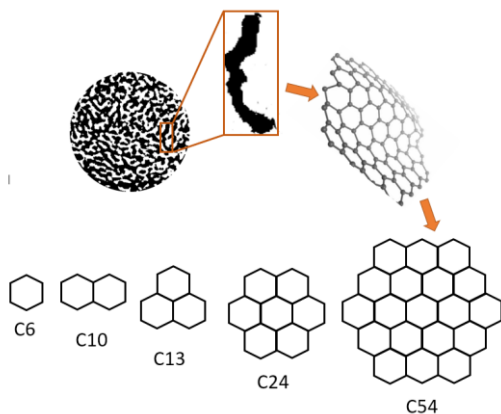
(ก) B7 (ข) B20 (ค) B100

เพื่อสะดวกในการศึกษาโครงสร้างพื้นฐานอนุภาคเดี่ยวของเขม่าจึงมีการใช้ภาพที่มีกำลังขยาย 800,000 เท่า จากรูปที่ 3-10 จะเห็นได้ว่าอนุภาคเดี่ยวประกอบด้วยผลึกกราฟีนจำนวนมาก ซึ่งผลึกกราฟีนเหล่านี้เกิดจากการรวมตัวของโมเลกุลคาร์บอนเป็นจำนวนมาก โดยมีระยะทางตามทฤษฎีของคาร์บอนที่อยู่ติดกันในวงแหวนหกเหลี่ยม

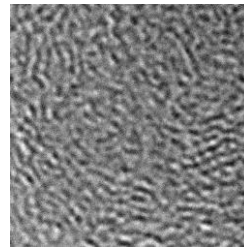
ผลึกกราฟีนในอนุภาคเดี่ยวจะถูกประมวลผลโดยวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณตามรูปที่ 3-11, 3-12 และ 3-13 การวัดขนาดผลึกกราฟีนของอนุภาคจากเชื้อเพลิง B7 บนพื้นที่ที่สนใจ (พื้นที่ต้องรวมด้านขอบนอกและกึ่งกลางของอนุภาคเดี่ยวและมีพื้นที่ 10 นาโนเมตร x 10 นาโนเมตร) ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการประมวลผลภาพโดยซอฟต์แวร์ “Image J”



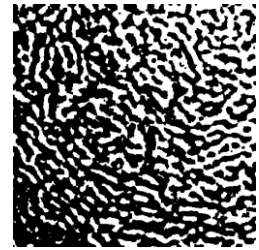
รูปที่ 3-9 ขนาดอนุภาคเดี่ยวของเขม่าโดยรวม



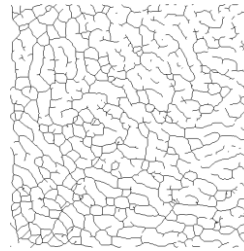
รูปที่ 3-10 ภาพแบบจำลองของกราฟีนและคาร์บอนภายในกราฟีนของอนุภาคเดี่ยว



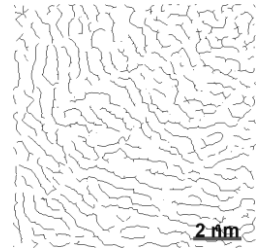
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

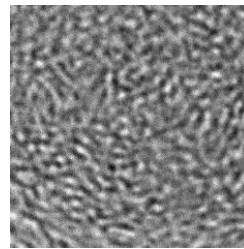
รูปที่ 3-11 กระบวนการวัดขนาดความยาวขอบผลึกกราฟีนจากเขม่าของเชื้อเพลิง B7

(ก) ภาพตัดขนาด 10x10 นาโนเมตร

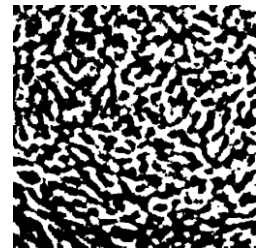
(ข) ภาพขาว-ดำ ของอนุภาคเดี่ยว

(ค) ภาพเส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน

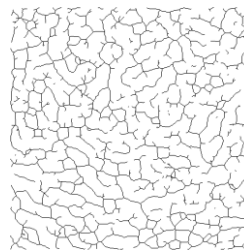
(ง) ภาพปรับแก้เส้นโครงความของผลึกกราฟีน



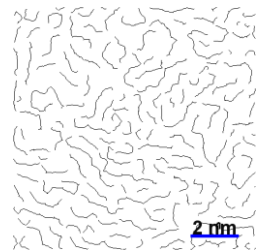
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3-12 กระบวนการวัดขนาดความยาวขอบผลึกกราฟีนจากเขม่าของเชื้อเพลิง B20

(ก) ภาพตัดขนาด 10x10 นาโนเมตร

(ข) ภาพขาว-ดำ ของอนุภาคเดี่ยว

(ค) ภาพเส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน

(ง) ภาพปรับแก้เส้นโครงความของผลึกกราฟีน



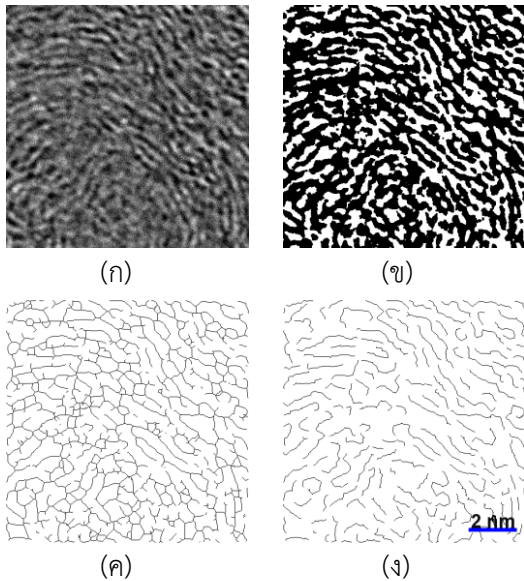
#### 4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความแตกต่างของการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ โครงสร้างระดับพื้นผิวและโครงสร้างระดับนาโนของอนุภาคจากเชื้อเพลิงดีเซลที่มีการผสมไบโอดีเซลลงไป ซึ่งอัตราส่วนของไบโอดีเซลนั้นส่งผลให้เกิดความแตกต่างของลักษณะการเผาไหม้ของเครื่องยนต์และเขม่าที่ปล่อยออกมาจากท่อไอเสีย

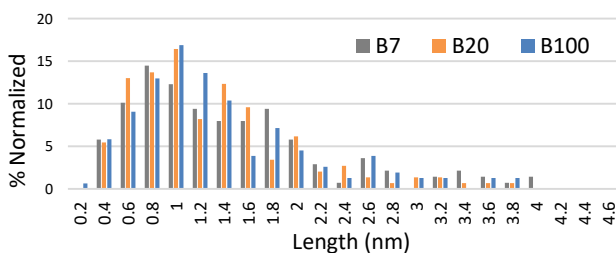
การผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลลงไปเชื้อเพลิงดีเซลจะส่งผลต่อค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก (BSFC) โดยจะทำให้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าความร้อนของไบโอดีเซลต่ำกว่าดีเซล แต่ไม่ได้ส่งผลต่อค่าสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเบรก (BSEC) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนเบรก (BTE) อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนเขม่าจากไอเสียเครื่องยนต์ที่ใช้ไบโอดีเซลมีค่าต่ำกว่าเขม่าจากไอเสียเครื่องยนต์ที่ใช้ดีเซลประมาณ 60%

สำหรับโครงสร้างของอนุภาคจากเชื้อเพลิงต่างชนิดกันมีความแตกต่างด้านขนาดของอนุภาค โดยจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของอนุภาคจากโครงสร้างสันฐานวิทยาของเชื้อเพลิง B7, B20 และ B100 มีขนาดเท่ากับ 540, 500 และ 270 นาโนเมตร ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคที่ละเอียดมากจากเชื้อเพลิง B7, B20 และ B100 เป็น 24, 19 และ 17 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าการผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลลงไปช่วยทำให้อนุภาคมีขนาดลดลง

การวิเคราะห์ความยาวผลึกกราฟีนของอนุภาคเดี่ยวจากเชื้อเพลิง B7, B20 และ B100 ค่าเฉลี่ยความยาวผลึกกราฟีนจากเชื้อเพลิง B7, B20 และ B100 มีค่าเท่ากับ 1.36, 1.21 และ 1.27 นาโนเมตร ตามลำดับ ค่าความยาวของผลึกกราฟีนจากเชื้อเพลิง B7, B20 และ B100 มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย ส่วนความยาวรวมผลึกกราฟีนต่อพื้นที่ (10 x 10 ตารางนาโนเมตร) จากเชื้อเพลิง B7, B20 และ B100 จะเป็น 187, 176 และ 194 นาโนเมตร ทำให้สรุปได้ว่าโครงสร้างทางกายภาพของอนุภาคจากไอเสียที่ปล่อยออกมาไม่แตกต่างกันมากนัก



รูปที่ 3-13 กระบวนการวัดขนาดความยาวขอบผลึกกราฟีนจากเขม่าของเชื้อเพลิง B100  
(ก) ภาพตัดขนาด 10x10 นาโนเมตร  
(ข) ภาพขาว-ดำ ของอนุภาคเดี่ยว  
(ค) ภาพเส้นโครงความยาวผลึกกราฟีน  
(ง) ภาพปรับแก้เส้นโครงความยาวของผลึกกราฟีน



รูปที่ 3-14 การเปรียบเทียบขนาดความยาวกราฟีนของอนุภาคจากทั้งสามเชื้อเพลิง

รูปที่ 3-14 การเปรียบเทียบขนาดความยาวผลึกกราฟีนของอนุภาคจากเชื้อเพลิง B7, B20 และ B100 ซึ่งจะพบว่าแนวโน้มของความยาวกราฟีนจากเชื้อเพลิงทั้งสามชนิดมีลักษณะใกล้เคียงกันมาก ความยาวผลึกกราฟีนส่วนใหญ่จากเชื้อเพลิง B7 อยู่ในช่วง 0.8 - 1.2 นาโนเมตร สำหรับเชื้อเพลิง B20 อยู่ในช่วง 0.8 - 1.2 นาโนเมตร สุดท้ายเชื้อเพลิง B100 อยู่ในช่วง 1 - 1.2 นาโนเมตร ทำให้สรุปได้ว่าการผสมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลลงไปแทบจะไม่มีผลต่อความยาวผลึกกราฟีนเลย



#### 6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบคุณบริษัทอีซูซุมอเตอร์ประเทศไทยที่สนับสนุนเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับทดสอบและขอขอบคุณฝ่ายวิชาการสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัย

#### 7. เอกสารอ้างอิง

[1] Choi, S., Myung, C. L. and Park, S., Review on Characterization of Nano-particle Emissions and Morphology from Internal Combustion Engines: Part 2. International Journal of Automotive Technology, 15, 2, 219-227, 2014.

[2] D. B. Kittelson, Engines and nanoparticles: A review. J. Aerosol Science, 29(5-6), 575-588, 1998.

[3] Ishiguro, T., Takatori Y., Akihama, K., Microstructure of Diesel Soot Particles Probed by Electron Microscopy: First Observation of Inner Core and Outer Shell. Combustion and Flame, 108, 231-234, 1997.

[4] G. Gonca and E. Dobrucali, Theoretical and experimental study on the performance of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel blends, Renewable Energy, 93, 658-666, 2016.

[5] Karin, P., Songsaengchan, Y., Laosuwan, S., Charoenphonphanich, C., Chollacoop, N., Hanamura, K., Nanostructure Investigation of Particle Emission by Using TEM Image Processing Method. Energy Procedia, 34, 757-766, 2013.

[6] M.M. Hasan and M.M. Rahman, Performance and emission characteristics of biodiesel-diesel blend and environmental and economic impacts of biodiesel production, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 74, 938-948, 2017.

[7] Preechar Karin, Park Watanawongskorn, Jiramed Boonsakda, Eakkawut Saenkhumvong, Sippakorn Rungsritanapaisan, Settavit Srivarocha and Chinda Charoenphonphanich, "Impact of Biodiesel on Small CI Engine Combustion Behavior and Particle Emission Characteristic", JSAE, 2017.

[8] Soylu, S., Examination of PN Emissions and Size Distributions of a Hybrid City Bus under Real World Urban Driving Conditions. International Journal of Automotive Technology, 15, 3, 369-376, 2014.