

ผลกระทบของเอทานอลต่อโครงสร้างระดับนาโนของเขม่าเครื่องยนต์ดีเซล
Impact of Ethanol on Diesel Engine's Soot Nanostructure



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Impact of Ethanol on Diesel Engine's Soot Nanostructure

Phumphet Tiyajamorn

Artittaya Pramangkata

Anon Phanyot



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2564

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ผลกระทบของเอทานอลต่อโครงสร้างระดับนาโนของเขม่าเครื่องยนต์ดีเซล

Impact of Ethanol on Diesel Engine's Soot Nanostructure

ผู้จัดทำ

- | | | |
|------------------|-------------|-----------------------|
| 1. นายภูมิภัทร | ติยะจามร | รหัสนักศึกษา 61010829 |
| 2. นางสาวอาทิตยา | ประมิ่งคะตา | รหัสนักศึกษา 61011230 |
| 3. นายอานนท์ | พันธ์ยศ | รหัสนักศึกษา 61011235 |



อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. ปรีชา การินทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของเอทานอลต่อโครงสร้างระดับนาโนของเขม่าเครื่องยนต์ดีเซล

นายภูมิภัทร	ติยะจามร	61010829
นายอานนท์	พันธ์ุยศ	61011235
นางสาวอาทิตย์ยา	ประมิ่งคะตา	61011230
รศ.ดร.ปรีชา	การินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา 2564		

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรนำเสนอวิธีการหาค่าการปล่อยอนุภาคของเสียออกจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมกับเอทานอล น้ำมันเพลิงที่ใช้มี 3 ชนิด คือ ไบโอดีเซล 20, ไบโอดีเซล 20 ผสมกับเอทานอล 5% และไบโอดีเซล 20 ผสมกับเอทานอล 10% การทดสอบเริ่มจากการเก็บค่าองค์ประกอบของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิด จากนั้นจึงนำน้ำเชื้อเพลิงทั้ง 3 ชนิดนี้เข้าทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลที่ถูกติดตั้งไว้กับไดนาโมมิเตอร์ และเก็บเขม่าที่ได้จากการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงนี้มาทำการวิเคราะห์เขม่า ประกอบด้วย การวิเคราะห์เขม่าโดยรวม การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเดี่ยว การวิเคราะห์ความยาวขอบ และการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างระนาบ

Impact of Ethanol on Diesel Engine's Soot Nanostructure

Phumphat	Tiyajamorn	61010829
Artittaya	Pramangkata	61011230
Anon	Phanyot	61011235
Assoc.Prof. Dr. Preechar	Karin	Advisor
Year 2021		

ABSTRACT

This project investigates particulate matter emissions from diesel engines by using biodiesel fuels mixed with ethanol. There are 3 types of fuel used: Biodiesel 20, Biodiesel 20 mixed with 5% ethanol and Biodiesel 20 mixed with 10% ethanol. First, the three fuels were tested for their properties. Then all three fuels were used on a diesel engine fitted to a dynamometer. Then soot was collected from these engine tests for soot analysis, including: agglomerate size analysis, single primary particle size analysis, fringe length analysis and Interplanar Space Analysis.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลงได้ดี ก็เพราะความแนะนำเอาใจใส่ และช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ
เสมอมาจาก รศ.ดร.ปรีชา การินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

และขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้
ในโครงการนี้และขอบคุณพี่ปีเตอร์ พี่เพียว ไว พี่ชิวม่ง นักศึกษาปริญญาเอกและปริญญาโทที่ให้ความ
ช่วยเหลือในทุกๆด้านในการทำโครงการนี้



นายภูมิภัทร

ติยะจามร

นางสาวอาทิตย์ยา

ประมิ่งคะตา

นายอานนท์

พันธัญยศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1.1 การตรวจหาเขม่า.....	3
2.1.1.1 กล้องจุลทัศน์แบบใช้แสง.....	3
2.1.1.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	3
2.1.1.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชัน.....	4
2.1.1.4 การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัย คุณสมบัติทางความร้อน.....	5
2.1.2 การกระจายขนาดของอนุภาค.....	5
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2.1 เขม่าที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซล.....	7
2.2.2 องค์ประกอบและการรวมตัวกันของเขม่า.....	7
2.2.3 โครงสร้างอนุภาคของเขม่า.....	8
2.2.4 การผสมเอทานอลกับน้ำมันเชื้อเพลิงทำให้การเผาไหม้ สมบูรณ์มากขึ้น.....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	9
3.1	การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงผสมเอทานอล.....	9
3.2	การเก็บเขม่าจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ติดตั้งกับไดนาโมมิเตอร์.....	9
3.3	ขั้นตอนการนำผลผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	12
3.4	การวิเคราะห์เขม่าของการเผาไหม้และการปล่อยอนุภาค.....	15
3.4.1	การวิเคราะห์ขนาดรวมตัว.....	15
3.4.2	การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเดี่ยว.....	15
3.4.3	การวิเคราะห์ความยาวขอบ.....	17
3.4.4	การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างระนาบ.....	17
บทที่ 4	ผลการทดลองหรือการวิเคราะห์ข้อมูล.....	18
4.1	รูปร่างลักษณะและโครงสร้างของเขม่า.....	18
4.1.1	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง.....	18
4.1.2	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	18
4.1.3	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชัน.....	20
4.2	ผลการวิเคราะห์ขนาดรวมตัว.....	21
4.3	ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเดี่ยว.....	23
4.4	ผลการวิเคราะห์ความยาวขอบ.....	25
4.5	ผลการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างระนาบ.....	28
บทที่ 5	การวิจารณ์หรืออภิปรายผล.....	30
	บรรณานุกรม.....	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์หอนุภาคเดี่ยว.....	16
ตารางที่ 4.1 ตารางค่าเฉลี่ยความยาวขอบ.....	27
ตารางที่ 4.2 ตารางค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างระนาบ.....	29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง.....	3
รูปที่ 2.2 ภาพการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	4
รูปที่ 2.3 ภาพการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชัน.....	5
รูปที่ 2.4 แผนภูมิแสดงการกระจายขนาดของอนุภาค.....	6
รูปที่ 2.5 ลักษณะของเขม่าจากเครื่องยนต์ดีเซล.....	6
รูปที่ 2.6 แผนผังของขั้นตอนในกระบวนการสร้างเขม่า.....	7
รูปที่ 2.7 รูปร่างของเขม่าที่ถูกขยายโดยเรียงลำดับจากกำลังขยายต่ำไปสูง (a) 500 nm. (b) 100 nm (c) 10 nm. (d) ภาพการเรียงตัวเป็นชั้นของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน.....	8
รูปที่ 3.1 การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงเอทานอลชนิดต่างๆ.....	9
รูปที่ 3.2 เครื่องตรวจจับเขม่าและกระดาศกรอง.....	10
รูปที่ 3.3 กระจกสีเหลี่ยมใช้ในการดักจับเขม่า.....	10
รูปที่ 3.4 ระบบการทำงานของเครื่องยนต์ในการเก็บเขม่า.....	11
รูปที่ 3.5 การวางอุปกรณ์ดักจับเขม่า.....	11
รูปที่ 3.6 เขม่าที่เก็บได้ของแต่ละเชื้อเพลิง.....	11
รูปที่ 3.7 ฉีดเอทานอลให้เขม่าออกจากกระจก.....	12
รูปที่ 3.8 กวาดเขม่าให้รวมตัวกัน.....	12
รูปที่ 3.9 นำแผ่นกริดแถมเขม่า.....	13
รูปที่ 3.10 เขม่าบนแผ่นกริดก่อนเข้าเครื่อง TEM.....	13
รูปที่ 3.11 เตรียมแผ่นกริดของเขม่าเข้าเครื่อง TEM.....	13
รูปที่ 3.12 เครื่อง TEM ที่ใช้ในการส่องภาพของเขม่า.....	14
รูปที่ 3.13 ภาพอนุภาคเขม่าจากเครื่อง TEM.....	14
รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการวิเคราะห์ขนาดรวมตัว.....	15
รูปที่ 3.15 ตัวอย่างการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเดี่ยว.....	16
รูปที่ 3.16 ตัวอย่างแผนภูมิการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเดี่ยว.....	16
รูปที่ 3.17 ตัวอย่างการวิเคราะห์ขนาดความยาวขอบ.....	17
รูปที่ 3.18 ตัวอย่างการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างระนาบ.....	17
รูปที่ 4.1 ภาพ OM กำลังขยายที่ 100 ไมโครเมตร ของเขม่าเชื้อเพลิง (a) B20 (b) B20E5 (c) B20E10.....	18

รูปที่ 4.2 ภาพ SEM ของเขม่าเชื้อเพลิง B20 กำลังขยายที่ 5000 nm.....	19
รูปที่ 4.3 ภาพ SEM ของเขม่าเชื้อเพลิง B20E5 กำลังขยายที่ 5000 nm.....	19
รูปที่ 4.4 ภาพ SEM ของเขม่าเชื้อเพลิง B20E10 กำลังขยายที่ 5000 nm.....	19
รูปที่ 4.5 ภาพ TEM ของเขม่าเชื้อเพลิง B20 กำลังขยายที่ (a) 200 nm (b) 100 nm (c) 10 nm.....	20
รูปที่ 4.6 ภาพ TEM ของเขม่าเชื้อเพลิง B20E5 กำลังขยายที่ (a) 200 nm (b) 100 nm (c) 10 nm.....	20
รูปที่ 4.7 ภาพ TEM ของเขม่าเชื้อเพลิง B20E10 กำลังขยายที่ (a) 200 nm (b) 100 nm (c) 10 nm.....	20
รูปที่ 4.8 ภาพ SEM วัดขนาดรวมตัวของเขม่าเชื้อเพลิง (a) B20 (b) B20E5 (c) B20E10.....	21
รูปที่ 4.9 แผนภูมิการกระจายตัวของขนาดรวมตัว.....	22
รูปที่ 4.10 แผนภูมิค่าเฉลี่ยของขนาดรวมตัว.....	22
รูปที่ 4.11 ภาพ TEM วัดขนาดอนุภาคเดี่ยวของเขม่าเชื้อเพลิง (a) B20 (b) B20E5 (c) B20E10.....	23
รูปที่ 4.12 แผนภูมิการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเดี่ยว.....	24
รูปที่ 4.13 แผนภูมิของค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคเดี่ยว.....	25
รูปที่ 4.14 ภาพ TEM วัดความยาวขอบของเขม่าเชื้อเพลิง (a) B20 (b) B20E5 (c) B20E10.....	26
รูปที่ 4.15 แผนภูมิการกระจายตัวของความยาวขอบ.....	26
รูปที่ 4.16 แผนภูมิค่าเฉลี่ยของความยาวขอบ.....	27
รูปที่ 4.17 ภาพวัดขนาดของระยะห่างระหว่างระนาบ (a) B20 (b) B20E5 (c) B20E10.....	28
รูปที่ 4.18 กราฟการกระจายขนาดของระยะห่างระหว่างระนาบ.....	29

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมลพิษทางอากาศเกิดจากหลายปัจจัย ปัจจัยหลักที่สำคัญคือการปล่อยมลพิษของยานพาหนะจากการปล่อยอนุภาคที่เป็นอันตรายจากเครื่องยนต์ดีเซลที่มีการใช้กันในชีวิตประจำวันอย่างมาก นอกจากนี้ การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลยังก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก จึงทำให้เกิดวิกฤตสภาพภูมิอากาศโลกเลวร้ายลง เนื่องจากเครื่องยนต์ดีเซลทำการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดการปล่อยอนุภาคที่เป็นอันตราย ซึ่งเป็นมลพิษทางอากาศที่สำคัญที่สุด ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องหาสาเหตุหลักของปัญหานี้ ด้วยการควบคุมอนุภาคที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซล โดยการเติมเอทานอลลงในเชื้อเพลิงจะทำให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น เนื่องจากเชื้อเพลิงผสมเอทานอลสามารถปล่อยไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลได้น้อยกว่าเชื้อเพลิงทั่วไปเป็นทางเลือกที่ส่งผลดีต่อทั้งยานพาหนะและสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโครงสร้างระดับนาโนของเขม่าและรูปร่างลักษณะของอนุภาคของเครื่องยนต์ดีเซล โดยการทดสอบจากการกรองเขม่านำไปวิเคราะห์จากอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ทั้ง 4 แบบ คือ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope , OM), กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope , SEM), กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชัน (Transmission Electron Microscope , TEM) ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ของโครงสร้างระดับนาโนของเขม่า เนื่องจากอนุภาคไอเสียดีเซลส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นของแข็งและสารประกอบต่างๆที่จับตัวเป็นก้อนมากมายและมีขนาดเล็กมากจึงต้องใช้อุปกรณ์ในการขยายภาพเพื่อสังเกตการกระจายตัวรูปร่างลักษณะของอนุภาค

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาผลกระทบของเอทานอลต่อโครงสร้างนาโนของเขม่าของเครื่องยนต์ดีเซล

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. การผสมเอทานอลกับน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไปจะลดการปล่อยอนุภาคจากเครื่องยนต์ดีเซล
2. การผสมน้ำมันเชื้อเพลิงกับเอทานอลสามารถทำให้การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาเขม่าจากตัวกรองของเครื่องยนต์ดีเซล
2. ทดสอบการเติมเอทานอลผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลชนิดต่างๆ เพื่อเปรียบเทียบการปล่อยอนุภาคของเสีย

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

1. การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมเอทานอล
2. การทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงผสมเอทานอลโดยใช้เครื่องยนต์ดีเซลและไดนาโมมิเตอร์เพื่อเก็บเขม่า
3. ขั้นตอนการนำผลผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
4. การวิเคราะห์เขม่าของการเผาไหม้และการปล่อยอนุภาค



บทที่ 2

วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เหม่าดีเซลที่ได้จากตัวอย่างสามารถตรวจสอบได้ 3 วิธี ดังนี้

2.1.1.1 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM)

เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสงเป็นตัวช่วยในการทำให้มองเห็นภาพ โดยแสงจะวิ่งผ่านระบบเลนส์ต่างๆ และทำการส่องไปที่วัตถุ ก่อนที่แสงจะส่องผ่านเข้าสู่สายตาเรา ซึ่งแสงที่อยู่ภายในระบบที่สะท้อนกลับเข้าสู่สายตาเราจะทำให้เราเห็นภาพได้ โดยการมองผ่านเลนส์ช่องมองภาพ (Eyepiece Lens) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงนี้ใช้ดูลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานในรูปแบบสองมิติโดยสามารถกำหนดกำลังขยายตามความต้องการได้



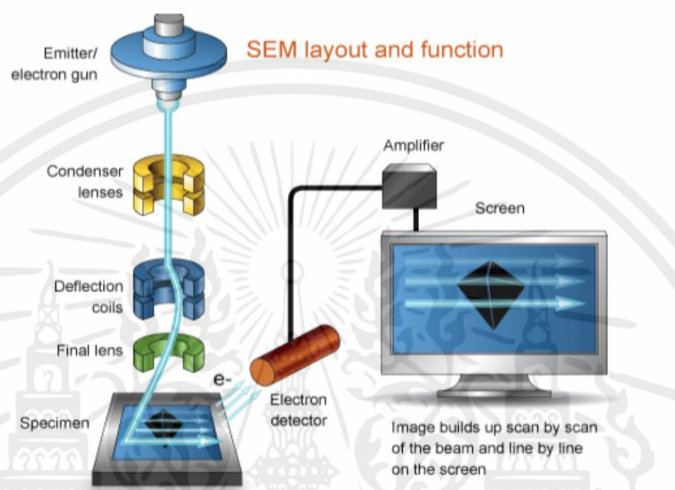
รูปที่ 2.1 ภาพการทำงานของกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

2.1.1.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron

Microscopy, SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM นี้จะเป็นภาพลักษณะของ 3 มิติ จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษาสัญญาณและรายละเอียดของลักษณะ

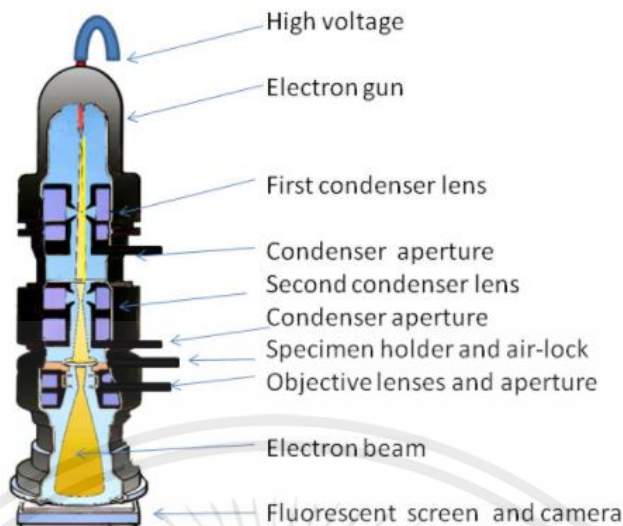
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวของตัวอย่าง นิยมนำมาตรวจสอบลักษณะผิวภายนอกของตัวอย่าง ตรวจสอบการเรียงตัวของผลึกด้วยระบบการรับสัญญาณเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงตัวอย่างจากการดิ่ง โดยการกระจายพลังงานแบบสเปกโตรเมตรี (Energy Dispersive Spectrometry, EDS) เครื่องตรวจวัดรังสีเอ็กซ์ ใน SEM ทำให้สามารถทำการวิเคราะห์ธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในสารตัวอย่างได้เพิ่มเติม



รูปที่ 2.2 ภาพการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

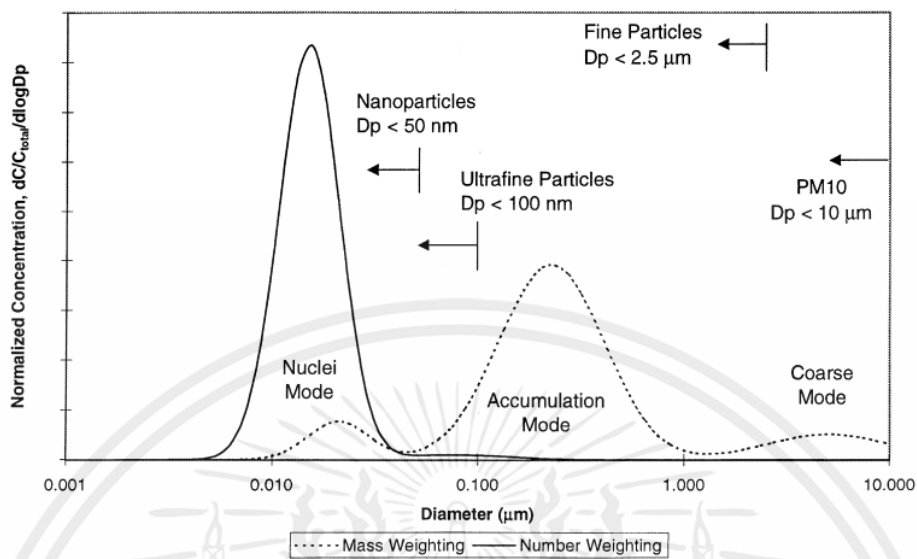
2.1.1.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชัน (Transmission Electron Microscope, TEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์แบบหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาสิ่งเล็กๆในระดับนาโนเมตร โดยอาศัยการยิงลำอิเล็กตรอนทะลุผ่านชิ้นงานตัวอย่างที่มีความบางมากๆ (น้อยกว่า 100 นาโนเมตร) ซึ่งลำอิเล็กตรอนที่ทะลุและเลี้ยวเบนผ่านตัวอย่างจะถูกนำมาสร้างเป็นภาพด้วยการโฟกัสและขยายด้วยเลนส์แม่เหล็ก และฉายลงบนฉากรับภาพ



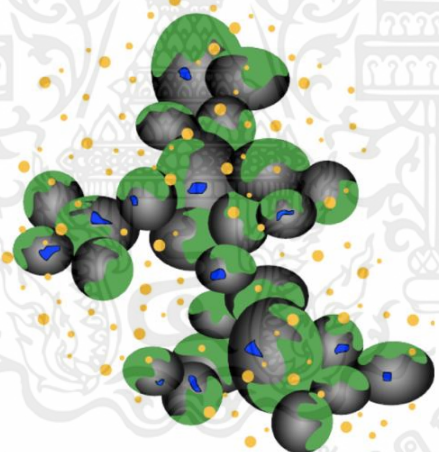
รูปที่ 2.3 ภาพการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิซชัน

2.1.2 การกระจายขนาดของอนุภาค

จำนวนของอนุภาคที่เซลในอุดมคติและการกระจายขนาดถ่วงน้ำหนักโดยมวล การกระจายที่แสดงในรูปแบบไตรโมดอล (Trimodal) และแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal) ซึ่งการกระจายแบบล็อกนอร์มอล (Lognormal) มักจะพอดีกับข้อมูลจริงและความเข้มข้นของอนุภาคในช่วงขนาดต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ได้สัดส่วนกับพื้นที่ใต้เส้นโค้งที่สอดคล้องกันในช่วงนั้นๆ อนุภาคส่วนใหญ่มีอยู่ในโหมดการสะสม (Accumulation) ที่ช่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1—0.3 ไมโครเมตร โดยที่คาร์บอนจับตัวเป็นก้อนและถูกดูดซับไว้ ช่วงโหมดนิวเคลียส (Nuclei) ประกอบด้วยอนุภาคในช่วงเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.005—0.05 ไมโครเมตร ปกติโหมดนี้ ประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายและสารประกอบกำมะถันที่เกิดขึ้นระหว่างการเจือจางและระบายความร้อนของไอเสีย อาจมีสารประกอบคาร์บอนและโลหะที่เป็นของแข็ง โหมดนิวเคลียสโดยทั่วไปประกอบด้วย 1-20% ของมวลอนุภาคและมากกว่า 90% ของจำนวนอนุภาคโหมดยาบ (Coarse) ประกอบด้วยมวลของอนุภาค 5-20% ประกอบด้วยโหมดการสะสม (Accumulation) อนุภาคที่สะสมอยู่บนพื้นผิวกระบอกสูบและระบบไอเสีย หลังจากนั้นก็กลับเข้ามาใหม่ แสดงในรูปที่ 2.5 เป็นความจำกัดของขนาดสำหรับอนุภาคบรรยากาศ : PM₁₀, D (เส้นผ่านศูนย์กลาง) < 10 ไมโครเมตร, อนุภาคละเอียด (Fine particles), D < 2.5 ไมโครเมตร, อนุภาคละเอียดมาก (Ultrafine particles), D < 0.10 ไมโครเมตร และอนุภาคนาโน (Nanoparticles), D < 0.05 ไมโครเมตร หรือ 50 นาโนเมตร[5] ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.4 แผนภูมิแสดงการกระจายขนาดของอนุภาค[1]



- = soot
- = nucleation mode
- = condensed HC/SO₄
- = imbedded metallic ash

รูปที่ 2.5 ลักษณะของเขม่าจากเครื่องยนต์ดีเซล[4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

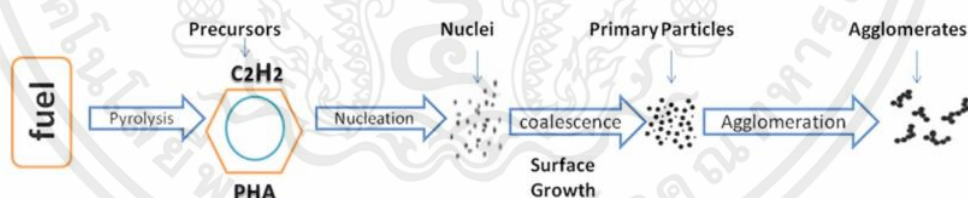
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 เเขม่าที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน ซึ่งส่งผลกระทบต่อหลักคือการปล่อยก๊าซที่เป็นอันตรายเช่น HC, CO, NOx และอนุภาคฝุ่นชั้นบรรยากาศ สิ่งนี้ส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมในวงกว้าง ปัญหาเหล่านี้ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซล เเขม่าที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซลนี้ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ

2.2.2 องค์ประกอบและการรวมตัวกันของเขม่า

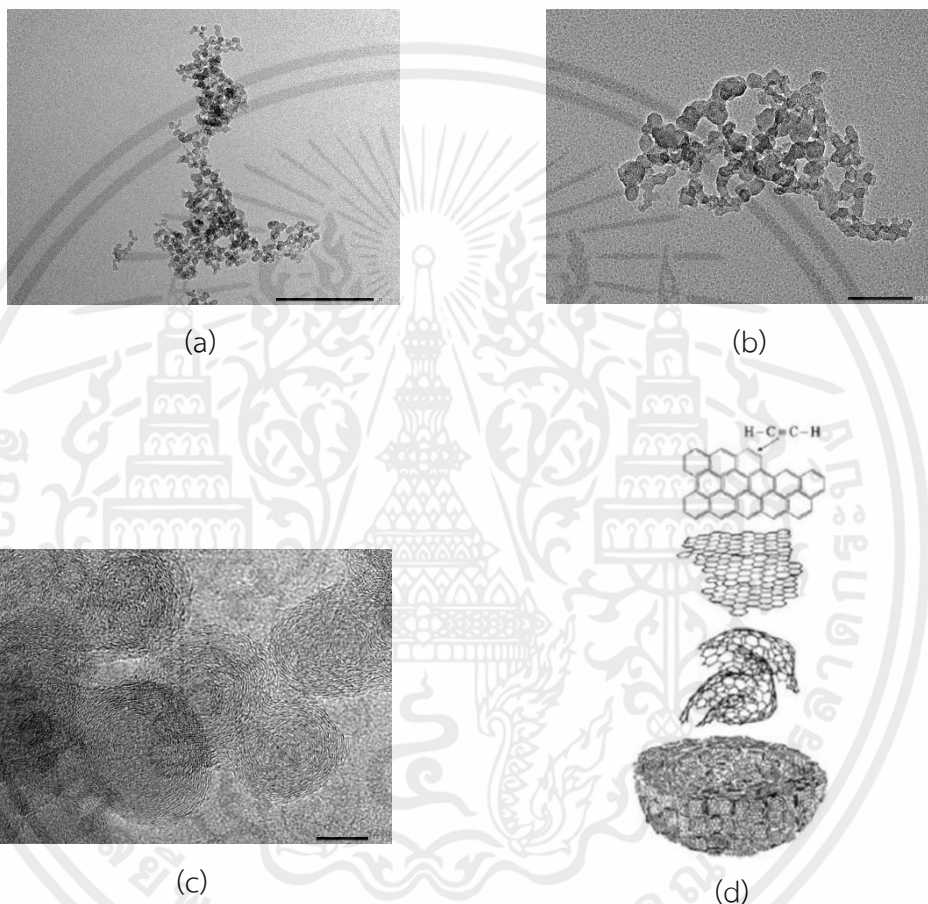
เขม่าเป็น PM ที่เหลือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เเขม่าถูกกำหนดให้เป็นผงสีดำที่ประกอบด้วยคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ เมื่อมีการเผาไหม้มวลที่ติดไฟได้ เช่น ถ่านหิน ไม้ เชื้อเพลิงฟอสซิล PM ดีเซล ประกอบด้วยเขม่าคาร์บอน ไฮโดรคาร์บอน ซัลเฟต และเศษอินทรีย์อื่นๆ สิ่งเหล่านี้มาจากเชื้อเพลิง สารเติมแต่งในเชื้อเพลิง ผงน้กระบอกสูบเผาไหม้ และสารหล่อลื่น ซึ่ง PM ดีเซลเกิดขึ้นจากขั้นตอนเหล่านี้ ไพโรไลซิส (Pyrolysis) นิวเคลียส (Nucleation) การเจริญเติบโตของพื้นผิว (Surface growth) และ การรวมตัวกัน (Agglomeration) จากนั้นการรวมกลุ่มไพโรไลซิส (Pyrolysis) เกิดจากการสลายของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิสูงและความเข้มข้นของออกซิเจนต่ำ และขึ้นอยู่กับน้ำหนักของเครื่องยนต์และคุณสมบัติของเชื้อเพลิง อนุภาคที่แตกสลายเหล่านี้เรียกว่านิวเคลียส (Nucleation) ดักจับไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กและสร้างโมเลกุลอะโรมาติก (Aromatic), ไฮโดรคาร์บอน (HC) และไฮโดรคาร์บอนสะสมอยู่บนนิวเคลียส ซึ่งก่อตัวเป็นอนุภาคปฐมภูมิ (Primary particles) จากนั้นจะรวมตัวกับอนุภาคปฐมภูมิอื่นๆ เพื่อสร้างอนุภาคที่เกาะกันเป็นก้อน



รูปที่ 2.6 แผนผังของขั้นตอนในกระบวนการสร้างเขม่า[7]

2.2.3 โครงสร้างของอนุภาคเขม่า

เขม่าประกอบด้วยคาร์บอนเป็นหลักมากกว่า 80% อนุภาคเขม่าจับตัวรวมกันและประกอบด้วยอนุภาคปฐมภูมิ (Primary particles) จะมีลักษณะทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10–30 นาโนเมตร ซึ่งผลึกคล้ายกราฟิตโดยทั่วไปประกอบด้วยชั้นแกรไฟน์เรียงซ้อน 3-4 ชั้น โดยมีส่วนขยายโดยเฉลี่ยสูงประมาณ 3 นาโนเมตร และระยะห่างระหว่างชั้นประมาณ 0.35 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างผลึกรูปหกเหลี่ยมที่ใกล้เคียงที่สุดที่มีหน่วยเซลล์ของอะตอมคาร์บอน 4 อะตอม ชั้นคาร์บอนเหล่านี้ประกอบด้วยตาข่าย PM คาร์บอน ประกอบกันด้วยผลึกจำนวนมาก



รูปที่ 2.7 รูปร่างของเขม่าที่ถูกขยายโดยเรียงลำดับจากกำลังขยายต่ำไปสูง (a) 500 nm. (b) 100 nm (c) 10 nm. (d) ภาพการเรียงตัวเป็นชั้นของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

2.2.4 การผสมเอทานอลกับน้ำมันเชื้อเพลิงทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น

เอทานอลประกอบด้วยออกซิเจน 35% การเพิ่มออกซิเจนให้กับเชื้อเพลิงส่งผลให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงสมบูรณ์ยิ่งขึ้น เครื่องยนต์มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และช่วยลดการปล่อยไอเสียที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงเอทานอลชนิดต่างๆ

น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ทดสอบ คือ น้ำมันไบโอดีเซล 20 (B20), น้ำมันไบโอดีเซล 20 ผสมกับเอทานอลร้อยละ 5 (B20E5) และ น้ำมันไบโอดีเซล 20 ผสมกับเอทานอลร้อยละ 10 (B20E10) ดังรูปที่ 3.1

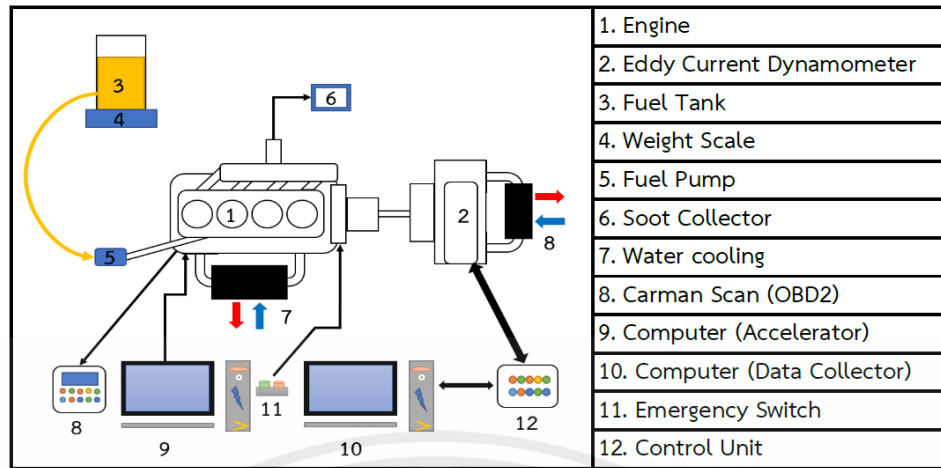


รูปที่ 3.1 การเตรียมน้ำมันเชื้อเพลิงเอทานอลชนิดต่างๆ

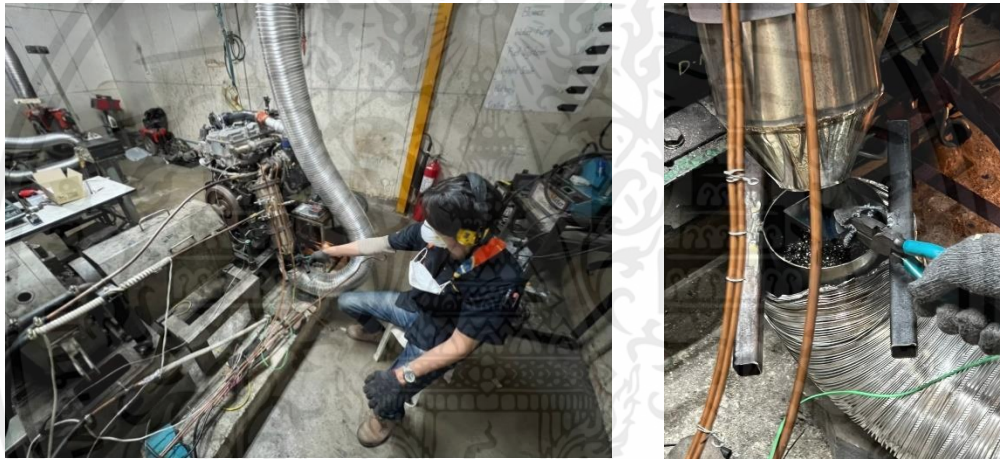
3.2 การเก็บเขม่าจากเครื่องยนต์ดีเซลที่ติดตั้งกับไดนาโมมิเตอร์

การเก็บเขม่าจากเครื่องยนต์ดีเซลทำได้ 2 วิธีที่นิยมใช้ คือ

- การใช้กระดาษกรองกับเครื่องตรวจจับเขม่า
- การใช้อุปกรณ์ดักจับเขม่า



รูปที่ 3.4 ระบบการทำงานของเครื่องยนต์ในการเก็บเขม่า



รูปที่ 3.5 การวางอุปกรณ์ดักจับเขม่า



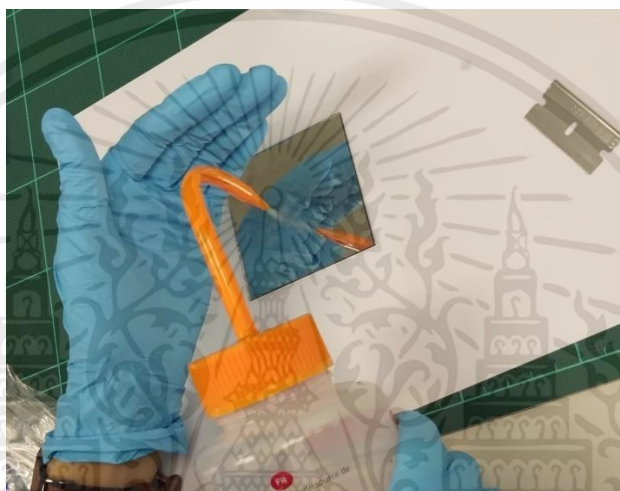
รูปที่ 3.6 เขม่าที่เก็บได้ของแต่ละเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ขั้นตอนการนำผลผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

เดินทางไปสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ รังสิต เพื่อนำเขม่าที่ได้ไปส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชัน (Transmission Electron Microscope, TEM) นำภาพในระดับนาโนเมตรของเขม่ามาวิเคราะห์ขนาด ผ่านกระบวนการทำงาน ดังนี้

- นำเขม่าบนกระจกมาวางแล้วฉีดยานอลลงเพื่อให้เขม่าที่ติดอยู่ได้หลุดออกมาแล้วนำไปมีดมากวาดให้เขม่ามากองๆรวมกัน จากนั้นนำแผ่นกริดสำหรับ TEM มาแต้มกับเขม่าให้ได้มากที่สุด

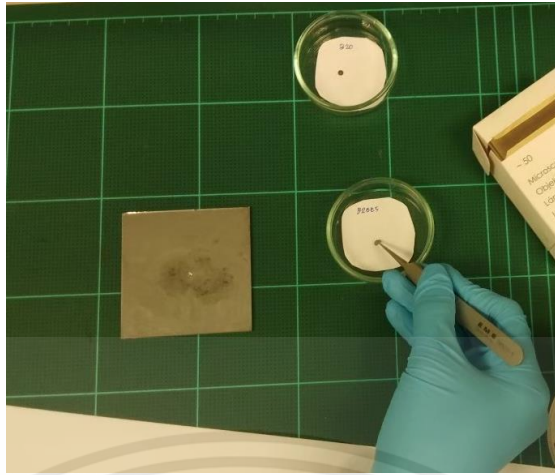


รูปที่ 3.7 ฉีดยานอลให้เขม่าออกจากกระจก



รูปที่ 3.8 กวาดเขม่าให้รวมตัวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 .นำแผ่นกริดแต้มเขม่า



รูปที่ 3.10 เขม่าบนแผ่นกริดก่อนเข้าเครื่อง TEM

- จากนั้นทำให้แผ่นกริดที่ได้ทำให้แห้งสนิทพอที่จะเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชัน (Transmission Electron Microscope, TEM) ได้



รูปที่ 3.11 เตรียมแผ่นกริดของเขม่าเข้าเครื่อง TEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทำการขยายด้วยกำลังขยายตามที่กำหนดแล้วเลือกพื้นที่ที่ต้องการของภาพที่ได้ในของแต่ละ
เขม่าเชื้อเพลิงที่นำมาใส่ในเครื่องตามที่ต้องการ แล้วนำภาพที่ได้ไปวิเคราะห์และหาผลสรุป



รูปที่ 3.12 เครื่อง TEM ที่ใช้ในการส่องภาพของเขม่า

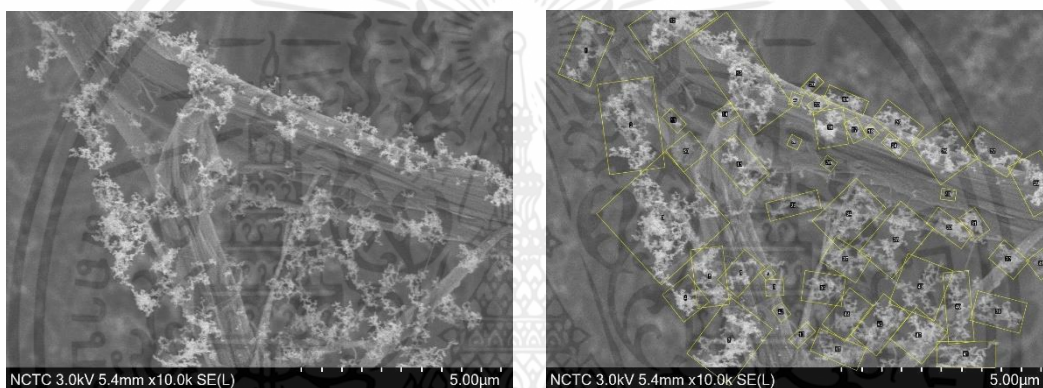


รูปที่ 3.13 ภาพอนุภาคเขม่าจากเครื่อง TEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

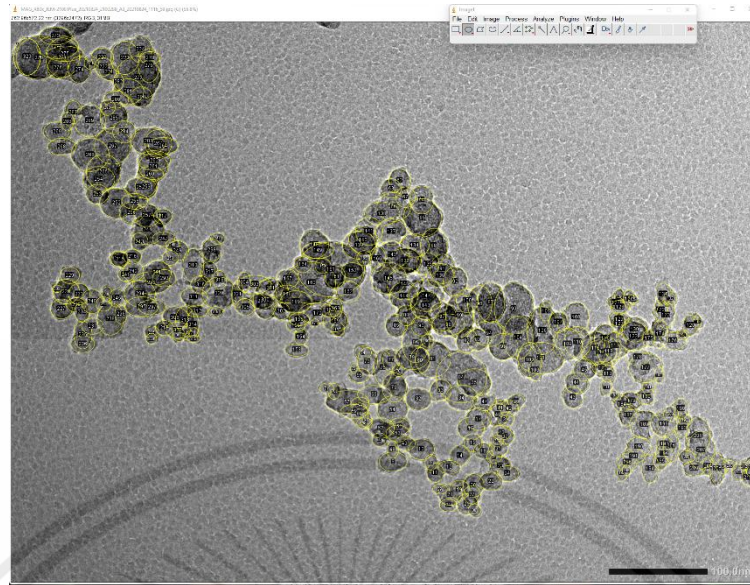
3.4 การวิเคราะห์เขม่าของการเผาไหม้และการปล่อยอนุภาค

3.4.1 การวิเคราะห์ขนาดรวมตัว (Agglomerate size Analysis) กระจกกรองที่ใช้แล้วที่มีเขม่าจากการผ่านการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) จับกันเป็นกลุ่มๆ สีขาวติดอยู่ที่เส้นใยกรองกระจก จากนั้นนำภาพขยายผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชัน (Transmission Electron Microscope, TEM) ของอนุภาคที่จับตัวเป็นก้อน อย่างที่เห็นอนุภาคนี้ประกอบด้วยอนุภาคเดี่ยวหลายร้อยอนุภาค ซึ่งนำภาพที่ได้มาใช้ซอฟต์แวร์ Image J โดยทำการตั้งค่ามาตราส่วนขนาดของโปรแกรมแล้วใช้เครื่องมือสี่เหลี่ยมกำหนดเลือกพื้นที่ที่ต้องการในลักษณะของเขม่าที่เกาะกันเป็นก้อนทั้งหมดในภาพ จากนั้นจะได้ค่าต่างๆมาเฉลี่ยในแต่ละเชื้อเพลิงจากการสร้างแผนภูมิเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้

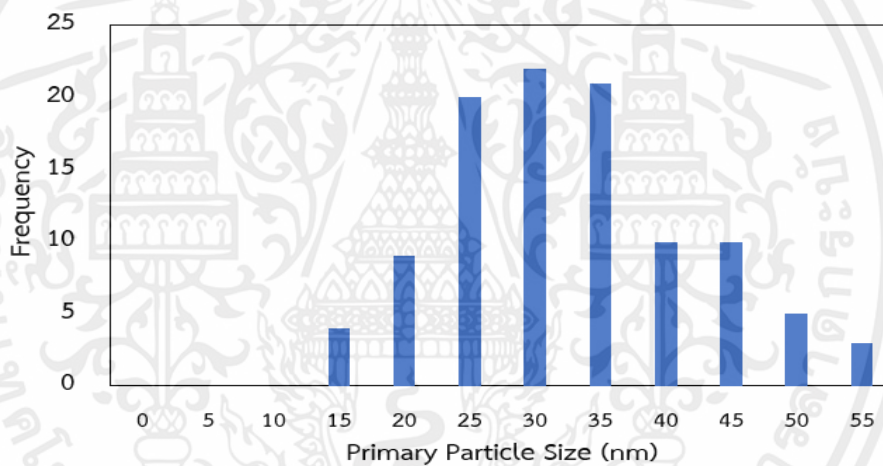


รูปที่ 3.14 ตัวอย่างการวิเคราะห์ขนาดรวมตัว

3.4.2 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเดี่ยว (Single primary particle size Analysis) ทำการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชัน (Transmission Electron Microscope, TEM) ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชันจะเป็นภาพ 2 มิติ ที่มีกำลังขยายสูงในระดับที่สามารถมองเห็นขอบของอนุภาคเดี่ยวหลายอนุภาคที่ต่อกัน โดยอนุภาคเดี่ยวนี้เกิดจากการรวมตัวกันของผลึกคาร์บอนหลายชั้น การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเดี่ยวนี้เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาขนาดต่ำสุด สูงสุด และขนาดโดยเฉลี่ยของอนุภาคเดี่ยวในกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งนำภาพที่ได้มาใช้ซอฟต์แวร์ Image J โดยทำการตั้งค่ามาตราส่วนขนาดของโปรแกรมแล้วใช้เครื่องมือวงรีหรือวงกลมกำหนดเลือกพื้นที่ที่ต้องการทั้งหมดในภาพจากนั้นจะได้ค่าต่างๆมาเฉลี่ยในแต่ละเชื้อเพลิงจากการสร้างแผนภูมิเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเดี่ยว



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างแผนภูมิการวิเคราะห์อนุภาคเดี่ยว

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการวิเคราะห์อนุภาคเดี่ยว

Area (nm)	Mean (nm)	Max (nm)	Min (nm)	Major (nm)	Minor (nm)
439.66	108.62	255	0	25.32	19.93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การวิเคราะห์ความยาวขอบ (Fringe Length Analysis)

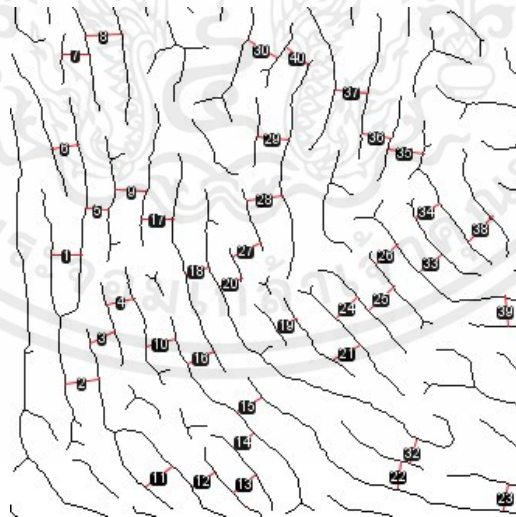
ภาพ 2 มิติที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชัน (Transmission Electron Microscope, TEM) ถูกนำมาใช้กับซอฟต์แวร์ Image J ในการวิเคราะห์ความยาวขอบของอนุภาคเดี่ยวเพื่อหาความยาวขอบที่มีขนาดน้อยที่สุด มากที่สุด และความยาวขอบโดยเฉลี่ยของอนุภาคเดี่ยวที่สนใจตามขั้นตอนการทำในโปรแกรมดังรูปที่ 3.16 การวิเคราะห์ขนาดความยาวขอบ



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างการวิเคราะห์ขนาดความยาวขอบ

3.4.4 การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างระนาบ (Interplanar Space Analysis)

เป็นการวิเคราะห์ระยะห่างของเส้นขอบที่อยู่ระหว่างกัน โดยใช้เครื่องมือเส้นจากซอฟต์แวร์ Image J เพื่อวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างระนาบ ตรวจสอบให้แน่ใจว่าเส้นขอบอยู่ระยะเท่าไรร่วมกับแนวตั้งฉากกับเส้น



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างการวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างระนาบ

บทที่ 4

ผลการทดลองหรือการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 รูปร่างลักษณะและโครงสร้างของเขม่า

แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของเขม่าในแต่ละเชื้อเพลิงที่ได้ทำการผสมเอทานอลกับน้ำมันเชื้อเพลิงส่งผลให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงสมบูรณ์ยิ่งขึ้นจะทำให้โครงสร้างของเขม่าได้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น อนุภาคเหล่านี้จะมีขนาดและลักษณะเป็นผลึกของเขม่าที่หลีกเลี่ยงจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ในแต่ละเชื้อเพลิง

4.1.1 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM)

ภาพที่ได้สังเกตด้วยสายตารายละเอียดเห็นได้ชัด พบว่า ภาพเขม่าของเชื้อเพลิง B20 จะมีเขม่าในปริมาณที่มากกว่าและขนาดที่ค่อนข้างจะใหญ่กว่า B20B5 แล้วรองลงมาคือ B20E10 อย่างเห็นได้ชัดเมื่อเราวิเคราะห์ด้วยสายตาแสดงว่าฝุ่นละอองลดลงตามลำดับโดยอัตราส่วนความเข้มข้นของเอทานอลและขนาดของอนุภาคจะลดลงโดยการเติมเอทานอลลงในเชื้อเพลิงไบโอดีเซล แต่เราก็ยังไม่สามารถสรุปได้อย่างแน่ชัดว่าผลจะออกมาตามที่ภาพเหล่านี้บอกได้ จึงต้องวิเคราะห์ในระดับนาโนถึงจะมีเปอร์เซ็นต์ที่แน่ชัดกว่า แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.1



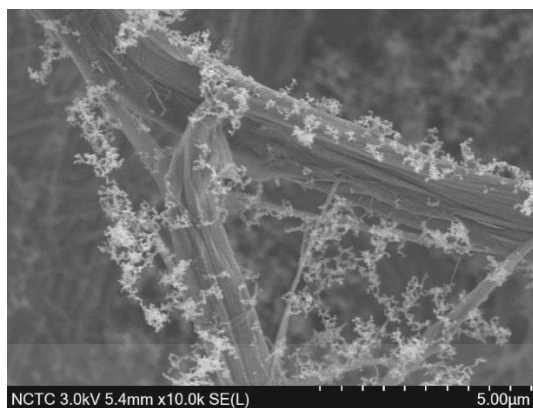
(a) (b) (c)

รูปที่ 4.1 ภาพ OM กำลังขยายที่ 100 ไมโครเมตร ของเขม่าเชื้อเพลิง

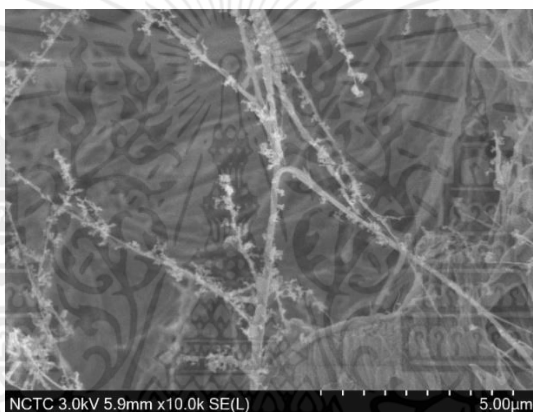
(a) B20 (b) B20E5 (c) B20E10

4.1.2 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ของอนุภาคเขม่า

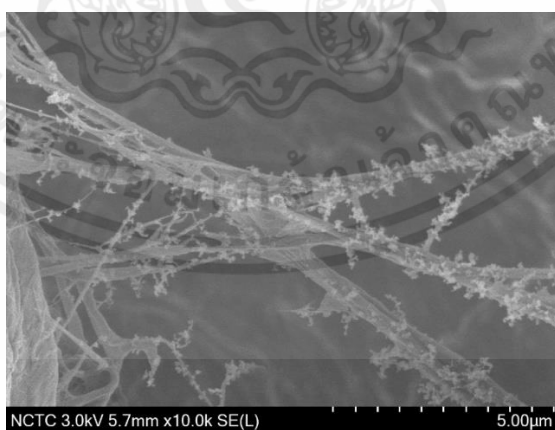
ภาพที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาโครงสร้างระดับนาโนของเขม่า ซึ่งภาพเหล่านี้จะนำมาวิเคราะห์ขนาดรวมตัวแล้วนำผลที่ได้มาวิจารณ์และสรุปผล แสดงดังรูปที่ 4.2-4.4



รูปที่ 4.2 ภาพ SEM ของเมมเบรนเชื้อเพลิง B20 กำลังขยายที่ 5000 nm



รูปที่ 4.3 ภาพ SEM ของเมมเบรนเชื้อเพลิง B20E5 กำลังขยายที่ 5000 nm

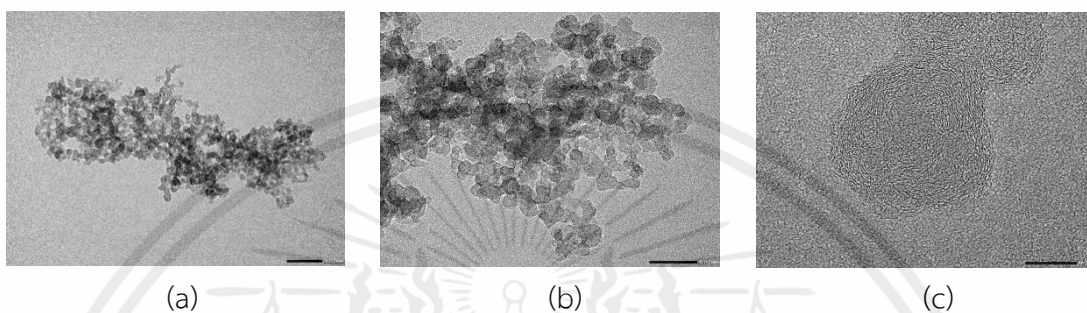


รูปที่ 4.4 ภาพ SEM ของเมมเบรนเชื้อเพลิง B20E10 กำลังขยายที่ 5000 nm

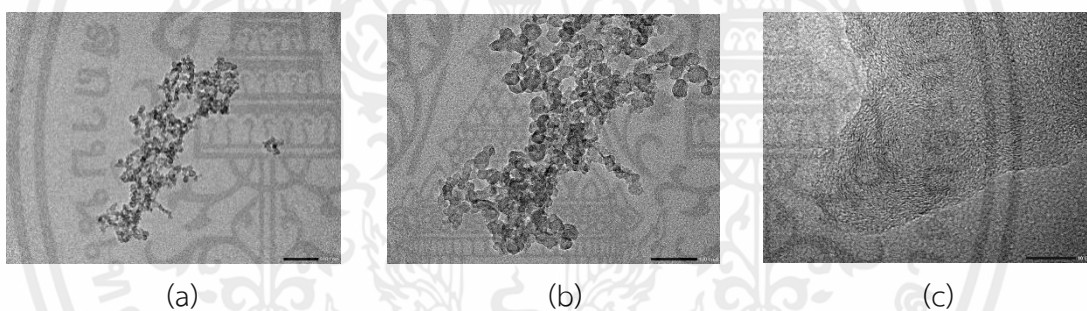
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชัน (Transmission Electron Microscope, TEM) ของอนุภาคเขม่า

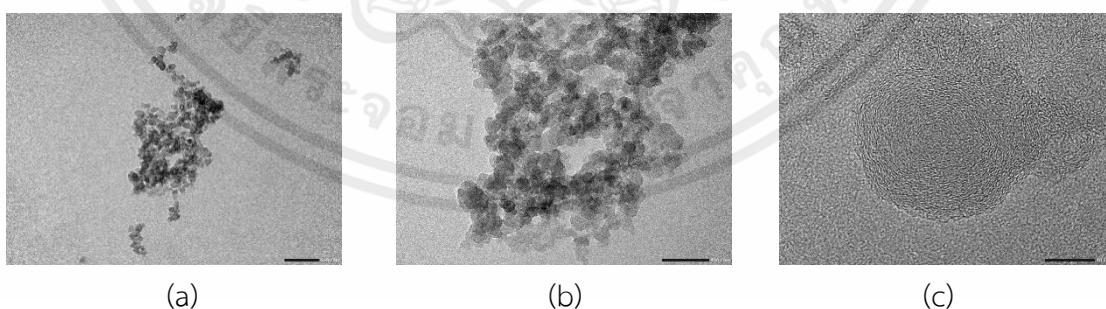
ภาพที่ได้ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาโครงสร้างระดับนาโนของเขม่า ซึ่งภาพเหล่านี้จะนำมาวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเดี่ยวและวิเคราะห์ความยาวขอบแล้วนำผลที่ได้มาวิจารณ์ แสดงดังรูปที่ 4.5-4.7



รูปที่ 4.5 ภาพ TEM ของเขม่าเชื้อเพลิง B20 กำลังขยายที่ (a) 200 nm (b) 100 nm (c) 10 nm



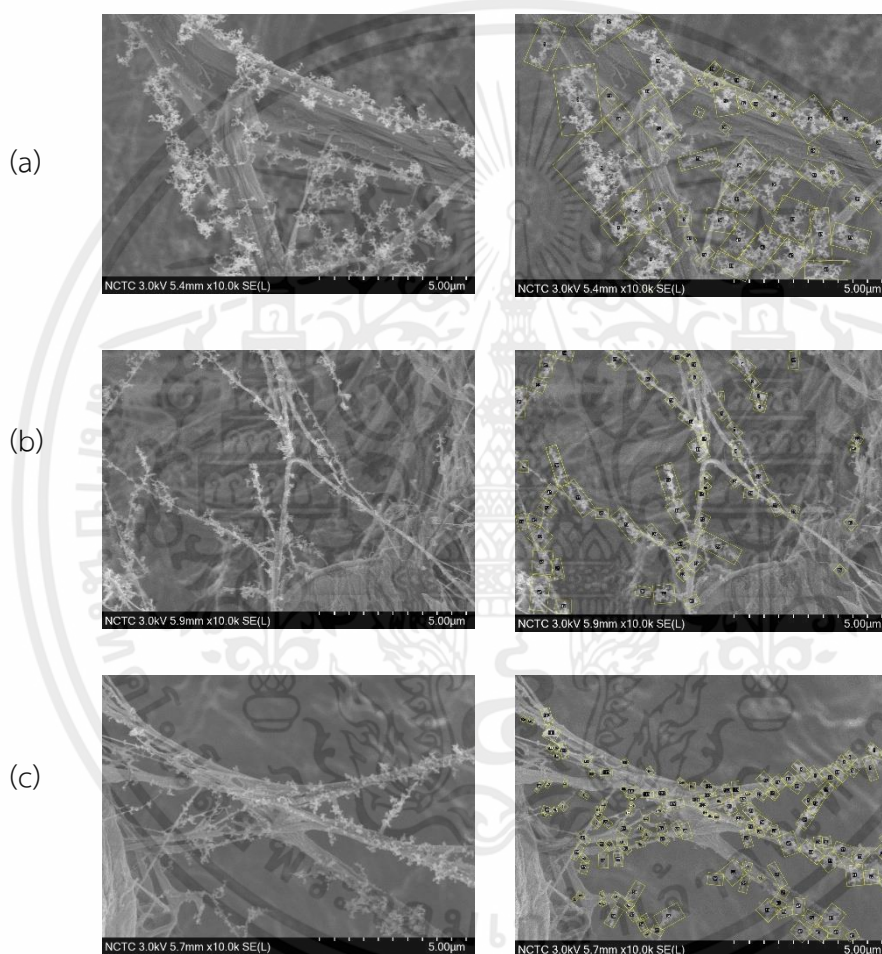
รูปที่ 4.6 ภาพ TEM ของเขม่าเชื้อเพลิง B20E5 กำลังขยายที่ (a) 200 nm (b) 100 nm (c) 10 nm



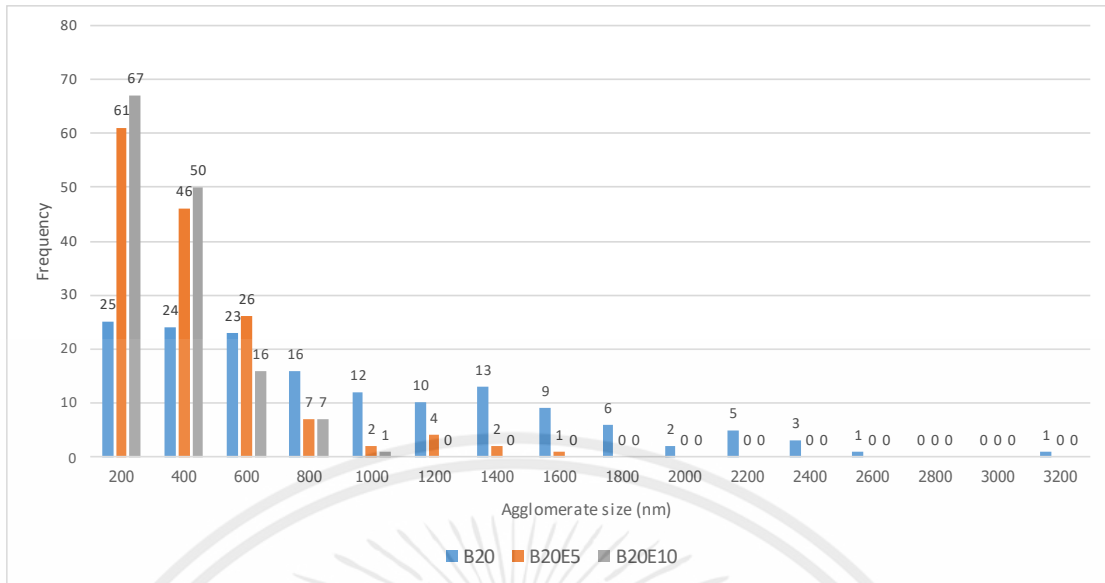
รูปที่ 4.7 ภาพ TEM ของเขม่าเชื้อเพลิง B20E10 กำลังขยายที่ (a) 200 nm (b) 100 nm (c) 10 nm

4.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดรวมตัว

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) ของอนุภาคเขม่าที่ได้ในกำลังขยายที่ 5000 นาโนเมตร ถูกนำมาใช้ในซอฟต์แวร์ Image J เพื่อศึกษาโครงสร้างขนาดรวมตัวของเขม่าในแต่ละเชื้อเพลิง โดยการใช้เครื่องมือสี่เหลี่ยมเลือกพื้นที่ขนาดโดยรวมของภาพที่มีลักษณะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อนทั้งหมดในภาพ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาเฉลี่ยในแต่ละช่วงขนาดของเขม่า จะแสดงให้เห็นขนาดรวมตัวของเขม่าเมื่อเปรียบเทียบกับกัน ซึ่งโครงสร้างที่มีขนาดกลุ่มเล็กกลางจะแสดงถึงเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ที่ดีขึ้น

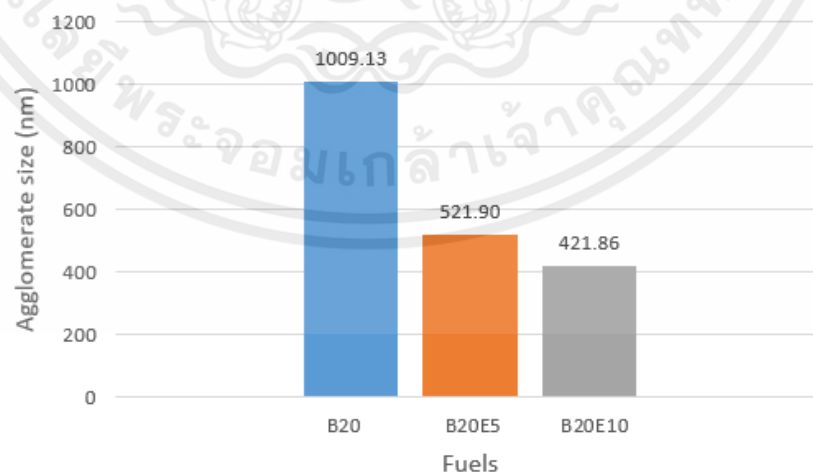


รูปที่ 4.8 ภาพ SEM วัดขนาดรวมตัวของเขม่าเชื้อเพลิง (a) B20 (b) B20E5 (c) B20E10



รูปที่ 4.9 แผนภูมิการกระจายตัวของขนาดรวมตัว

จากแผนภูมิการกระจายตัวของขนาดอนุภาครวมตัว พบว่าการกระจายตัวของเขม่าในจำนวนของอนุภาคแต่ละเชื้อเพลิง 150 อนุภาคโดยรวม น้ำมัน B20 มีขนาดที่สูงเมื่อสังเกตที่จำนวนความถี่ของเขม่าจะมีการกระจายทั่วทุกขนาดไปจนถึง 3200 นาโนเมตร แล้วจะเห็นว่าเชื้อเพลิง B20E5 มีขนาดสูงถึง 1600 นาโนเมตร แล้วมีจำนวนความถี่จะสูงขึ้นไปกว่า B20 รองลงมาเป็นเชื้อเพลิง B20E10 มีขนาดสูงถึง 1000 นาโนเมตร จำนวนความถี่ก็จะสูงขึ้นไปกว่าเชื้อเพลิงอื่น อยู่ในช่วงขนาด 200-600 นาโนเมตร จากนั้นจึงนำข้อมูลแผนภูมิการกระจายตัวของขนาดรวมตัวของแต่ละเขม่าเชื้อเพลิงมาหาค่าเฉลี่ยของขนาดเพื่อให้เห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนได้ยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4.10



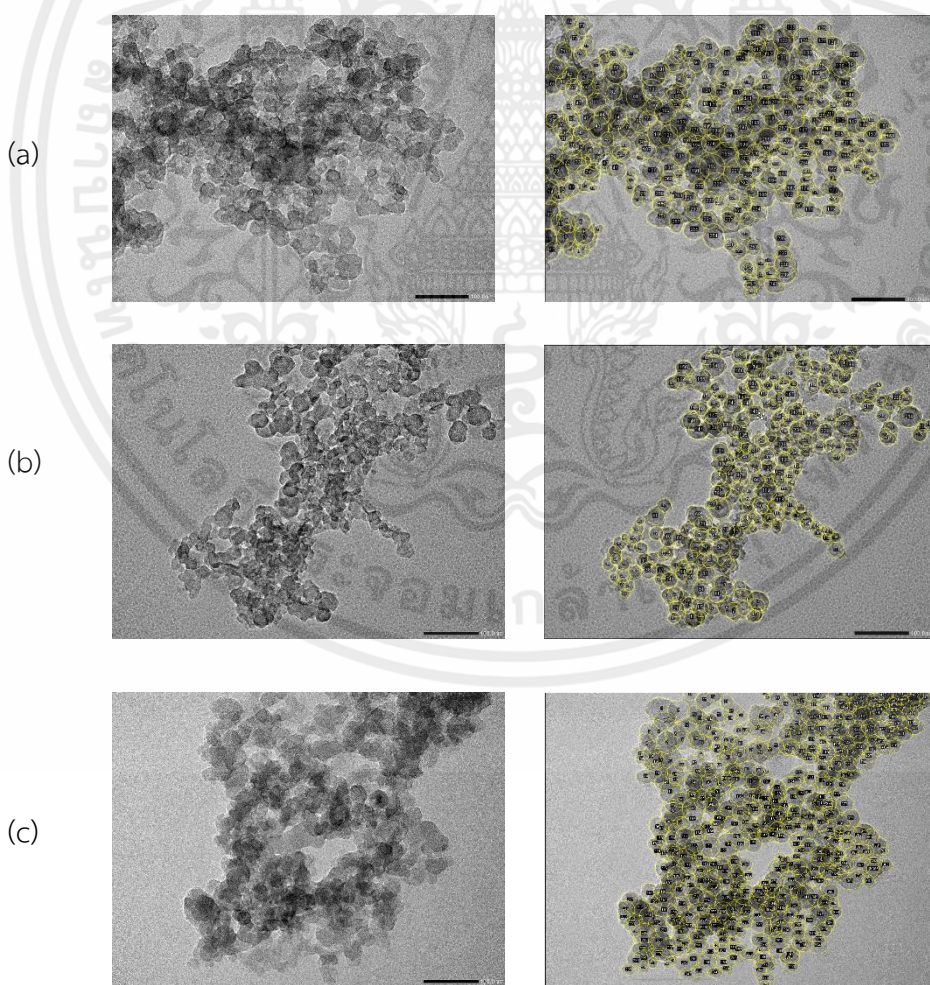
รูปที่ 4.10 แผนภูมิต่ำเฉลี่ยของขนาดรวมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ของขนาดรวมตัวของเขม่าดีเซล ปรากฏว่าแผนภูมิค่าเฉลี่ยของขนาดรวมตัวของแต่ละเขม่าเชื้อเพลิง B20, B20E5 และ B20E10 ปรากฏว่าเอทานอลส่งผลกระทบกับโครงสร้างของเขม่าจากค่าเฉลี่ยของขนาดที่มีขนาดเล็กลง ก็แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างระดับนาโนของเขม่าที่เกิดการสลายตัวของโครงสร้างจากประสิทธิภาพของการเผาไหม้ในการทดลองในครั้งนี้

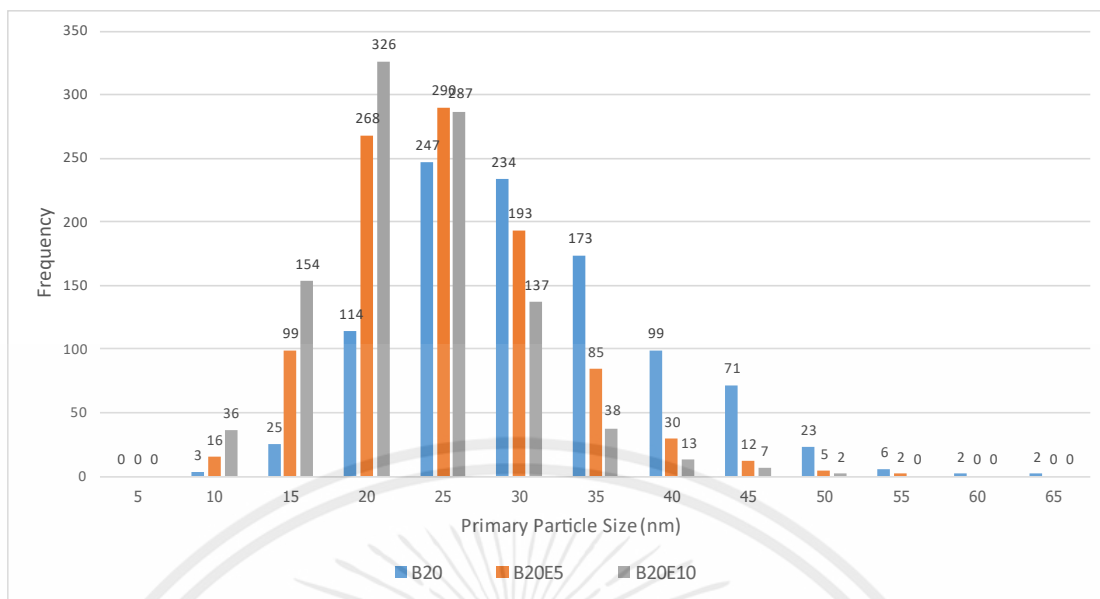
4.3 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเดี่ยว

ซอฟต์แวร์ Image J ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาโครงสร้างของขนาดอนุภาคเดี่ยวของเขม่า โดยการใช้อุปกรณ์หรือวงกลมเลือกพื้นที่อนุภาคเดี่ยวของภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบทรานสมิชชัน (Transmission Electron Microscope, TEM) ที่นำมาใช้ในกำลังขยายที่ 100 นาโนเมตร ทั้งหมดของภาพจึงจะได้ค่าข้อมูลของระยะเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละอนุภาคเดี่ยวและจำนวนทั้งหมดแล้วนำข้อมูลมาเฉลี่ยในแต่ละช่วงขนาดของเขม่า จะแสดงให้เห็นขนาดอนุภาคเดี่ยวของเขม่าเมื่อเปรียบเทียบกับ ซึ่งเชื้อเพลิง B20E5 และ B20E10 จะต้องมีประสิทธิภาพในการเผาไหม้มากกว่า B20 อย่างแน่นอนจากการผสมเอทานอลกับเชื้อเพลิง



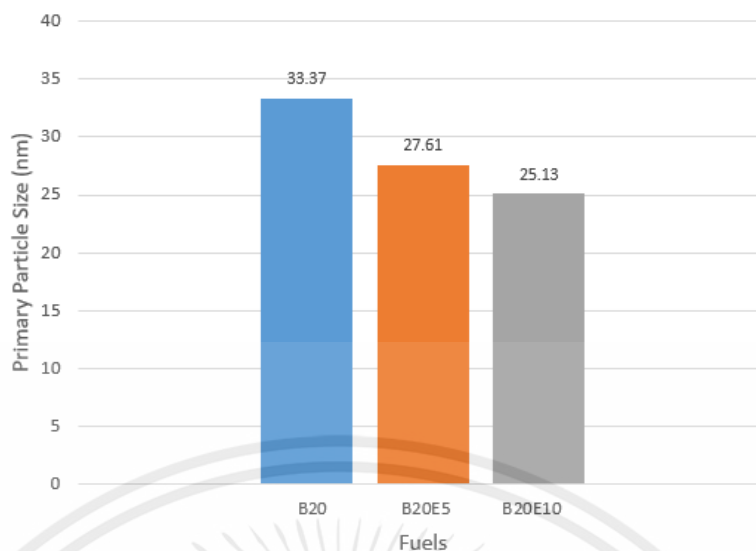
รูปที่ 4.11 ภาพ TEM วัดขนาดอนุภาคเดี่ยวของเขม่าเชื้อเพลิง (a) B20 (b) B20E5 (c) B20E10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แผนภูมิการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเดี่ยว

จากแผนภูมิการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเดี่ยว พบว่าการกระจายตัวเข้ามาในจำนวนของอนุภาคแต่ละเชื้อเพลิง 1000 อนุภาคเดี่ยว น้ำมัน B20 มีขนาดอนุภาคเดี่ยวตั้งแต่ 10-65 นาโนเมตร โดยมีช่วงกระจายส่วนใหญ่ของขนาดในช่วง 25 -30 นาโนเมตร แล้วการกระจายตัวเข้ามาของเชื้อเพลิง B20E5 มีขนาดอนุภาคเดี่ยวตั้งแต่ 10-55 นาโนเมตร โดยมีช่วงกระจายส่วนใหญ่ของขนาดในช่วง 20-25 นาโนเมตร รองลงมาการกระจายตัวเข้ามาของเชื้อเพลิง B20E10 มีขนาดอนุภาคเดี่ยวตั้งแต่ 10-50 นาโนเมตร โดยมีช่วงกระจายส่วนใหญ่ของขนาดในช่วง 20-25 นาโนเมตร เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่าง B20 กับ B20E5 ทำให้สังเกตได้ว่าเชื้อเพลิง B20E5 มีขนาดที่เล็กลงจากช่วงแต่ละช่วงขนาด ได้พบว่าเชื้อเพลิง B20E5 ดีกว่า B20 เมื่อเติมเอทานอลและเปรียบเทียบกันระหว่างเชื้อเพลิง B20E5 กับ B20E10 ทำให้ทราบว่าเชื้อเพลิง B20E10 มีขนาดสูงสุดคือ 25 นาโนเมตร มีจำนวนความถี่ที่สูงมากและสังเกตได้ยากมากเมื่อเปรียบเทียบกัน จึงต้องนำข้อมูลแผนภูมิการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเดี่ยวของแต่ละเชื้อเพลิงมาหาค่าเฉลี่ยของขนาดเพื่อให้เห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 4.13

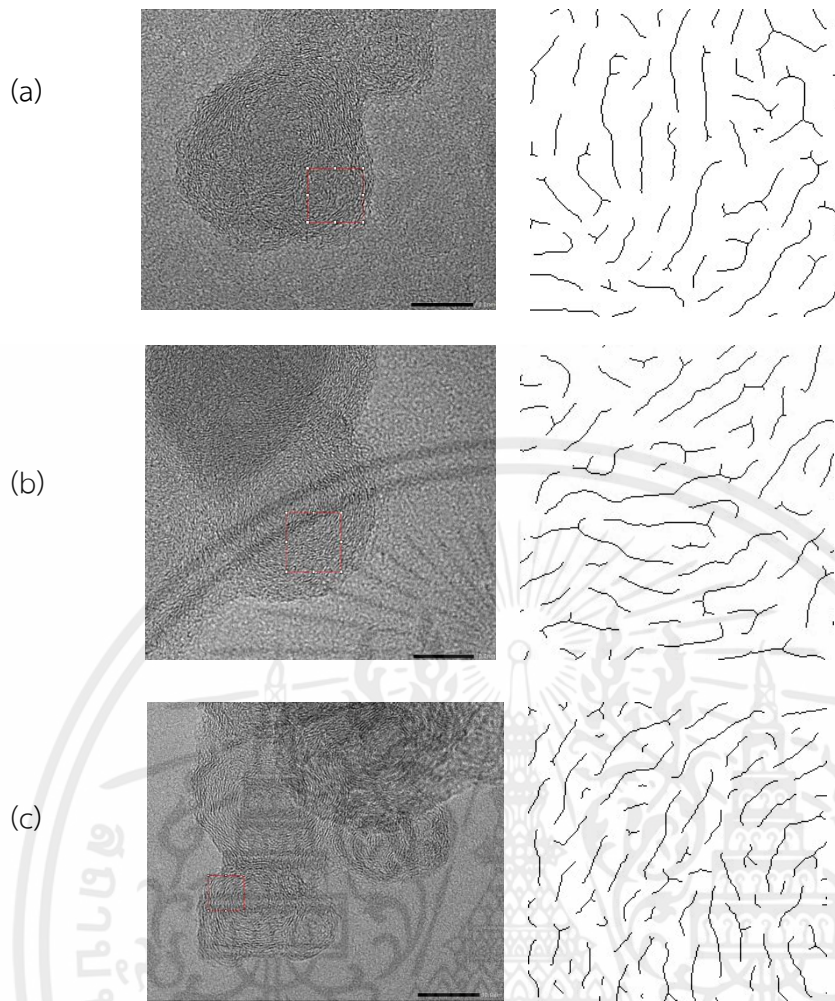


รูปที่ 4.13 แผนภูมิของค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคเดี่ยว

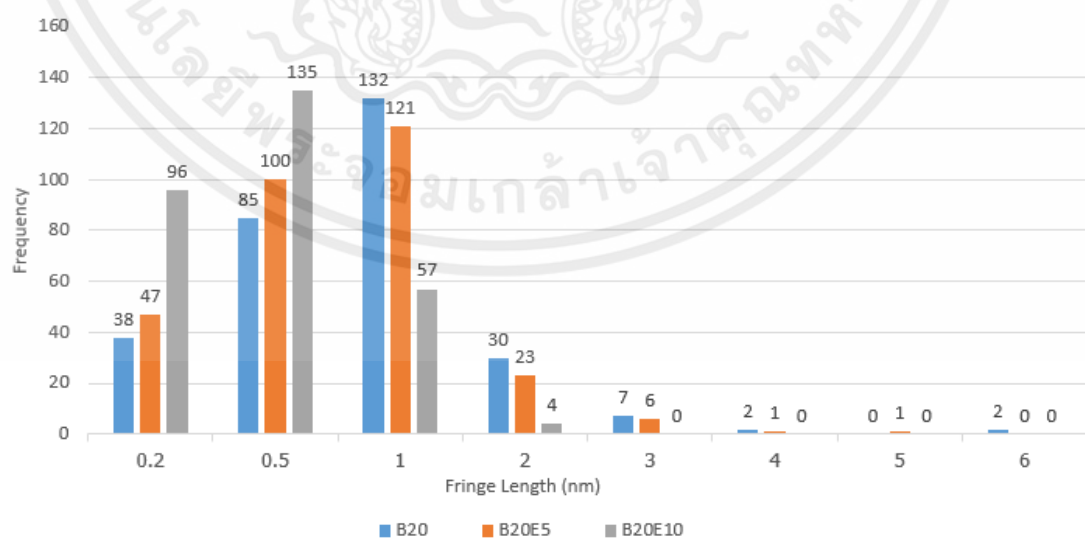
จากแผนภูมิของค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคเดี่ยว ปรากฏว่าเชื้อเพลิง B20E10 มีขนาดในค่าเฉลี่ยที่ต่ำกว่าเชื้อเพลิง B20E5 แสดงว่าผลรวมมีขนาดที่เล็กลงกว่า จึงสรุปได้ว่าเอทานอลมีผลต่อการจุระเบิดของห้องเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้นจากการสังเกตขนาดของเขม่าที่มีขนาดเล็กของเชื้อเพลิง B20E5 และ B20E10 ตามลำดับ เมื่อเราเพิ่มเอทานอลผสมกับน้ำมันไบโอดีเซลจึงเป็นผลดี

4.4 ผลการวิเคราะห์ความยาวขอบ

ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ทรานสมิชชัน (Transmission Electron Microscope, TEM) ที่ได้ในกำลังขยาย 10 นาโนเมตร ถูกนำมาใช้ในซอฟต์แวร์ Image J เพื่อวิเคราะห์ความยาวขอบ โดยการเปลี่ยนภาพเป็นภาพโครงสร้างกระดูก (skeletonize) โดยเริ่มจากการตัดภาพให้มีขนาด nm x nm แล้วแปลงเป็นภาพขาว-ดำ จากนั้นก็แปลงเป็นภาพโครงสร้างกระดูก (skeletonize) ตามลำดับขั้นตอน ซึ่งจากภาพโครงสร้างกระดูก (skeletonize) จะแสดงให้เห็นลักษณะผลึกที่เป็นชั้นๆ เรียงซ้อนกัน จึงทำการวัดขนาดของความยาวขอบเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบของทั้งสามเชื้อเพลิง ว่าความยาวจะมีขนาดที่สั้นลงหรือไม่เมื่อเอทานอลส่งผลกระทบต่อโครงสร้างผลึกของเขม่าดีเซล



รูปที่ 4.14 ภาพ TEM วัดความยาวขอบของเขม่าเชื้อเพลิง (a) B20 (b) B20E5 (c) B20E10

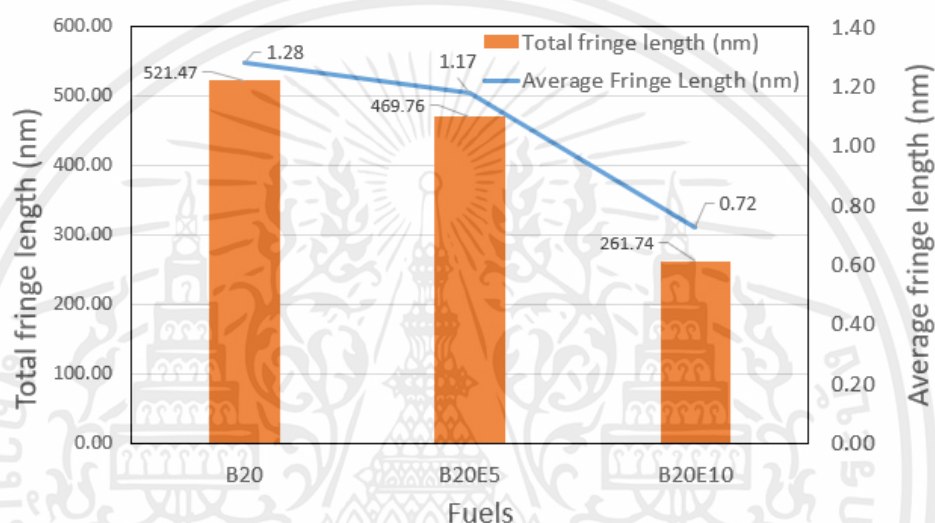


รูปที่ 4.15 แผนภูมิการกระจายตัวของความยาวขอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ตารางค่าเฉลี่ยความยาวขอบ

น้ำมันเชื้อเพลิง	ค่าเฉลี่ยความยาวขอบ (nm)	ค่าสูงสุด (nm)	จำนวน	ผลรวม(nm)
B20	1.28	6.31	300	521.47
B20E5	1.17	5.75	300	469.76
B20E10	0.72	2.33	300	261.74

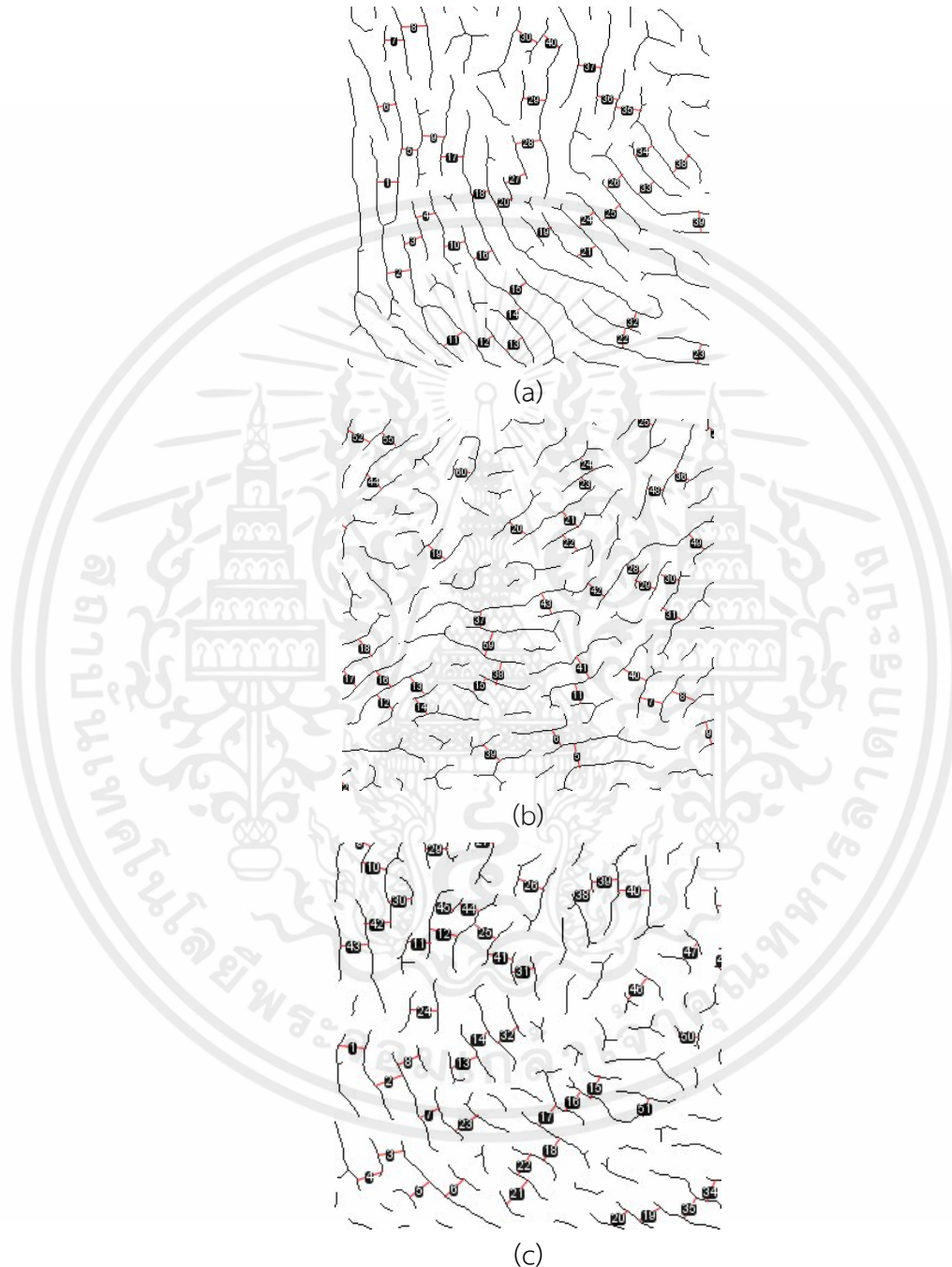


รูปที่ 4.16 แผนภูมิค่าเฉลี่ยของความยาวขอบ

จากแผนภูมิการกระจายตัวของความยาวขอบดังรูปที่ 4.15 พบว่าเชื้อเพลิง B20 มีความยาวขอบสูงถึง 6 นาโนเมตร ช่วงกระจายส่วนใหญ่อยู่ที่ 0.5 -1 นาโนเมตร แล้วเชื้อเพลิง B20E5 มีความยาวขอบสูงถึง 5 นาโนเมตร ช่วงกระจายส่วนใหญ่อยู่ที่ 0.5 -1 นาโนเมตร รองลงมาเชื้อเพลิง B20E10 มีความยาวขอบสูงถึง 3 นาโนเมตร ช่วงกระจายส่วนใหญ่อยู่ที่ 0.2 -0.5 นาโนเมตร เมื่อนำข้อมูลแผนภูมิการกระจายตัวของความยาวขอบของแต่ละเขม่าเชื้อเพลิงมาหาค่าเฉลี่ยของขนาดเพื่อให้เห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนได้ยิ่งขึ้น ดังตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยที่ได้ผลออกมาคือขนาดความยาวที่สั้นลงเมื่อทำการนำเชื้อเพลิงมาผสมกับเอทานอล แต่เชื้อเพลิง B20E5 และ B20E10 จะมีความยาวขอบที่ยังใกล้เคียงกัน แสดงถึงผลกระทบของเอทานอลที่ยังส่งผลที่ค่อนข้างไม่แตกต่างกันมากจากการสลายโครงสร้างของเขม่า

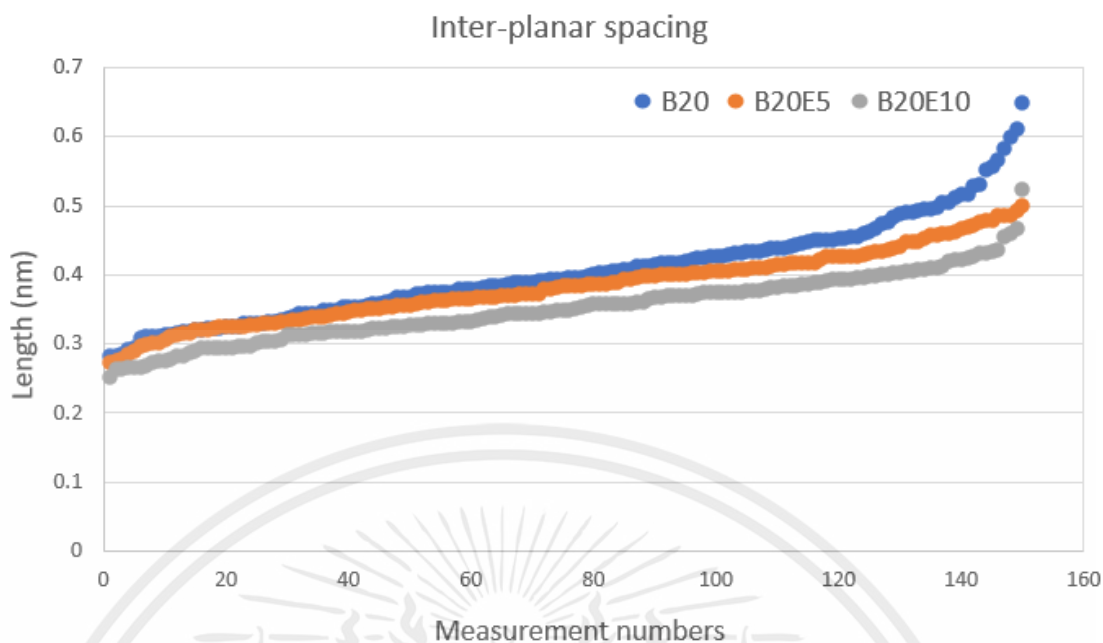
4.5 การวิเคราะห์ระยะห่างระหว่างระนาบ

สามารถวัดระยะห่างระหว่างระนาบได้หลังจากที่ภาพถูกทำให้เป็นโครงกระดูก เส้นที่วัดจากขอบชิดขอบคือช่องว่างระหว่างระนาบ



รูปที่ 4.17 ภาพวัดขนาดของระยะห่างระหว่างระนาบ (a) B20 (b) B20E5 (c) B20E10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 กราฟการกระจายขนาดของระยะห่างระหว่างระนาบ

ตารางที่ 4.2 ตารางค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างระนาบ

น้ำมันเชื้อเพลิง	ค่าเฉลี่ยระยะห่างระหว่างระนาบ (nm)
B20	0.404
B20E5	0.383
B20E10	0.352

การลดลงของพื้นที่ระนาบระนาบหมายความว่าเขม่าจากเชื้อเพลิงผสมมีกราฟไฟท์มากกว่า และมีความหนาแน่นสูงขึ้นออกซิไดซ์ได้ยากขึ้นและเขม่าขนาดเล็กสามารถจัดได้ง่ายขึ้นที่ตัวกรองอนุภาคดีเซล

บทที่ 5

การวิจารณ์หรืออภิปรายผล

จากการศึกษาผลกระทบของเอทานอลต่อโครงสร้างระดับนาโนของเขม่าเครื่องยนต์ดีเซล ทำให้นักวิจัยได้ข้อสรุปดังนี้

การวิเคราะห์ขนาดและสัญญาณวิทยาของอนุภาคเขม่าเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพการทำงาน ของเครื่องยนต์ เช่น โหลดของเครื่องยนต์ ความเร็วในการหมุน ระยะเวลาในการฉีด และผลกระทบ ของเชื้อเพลิงที่ใช้ เมื่อทำการเพิ่มอัตราส่วนการผสมของเอทานอลเพิ่มขึ้น ขนาดของอนุภาคเขม่าที่ ปล่อยออกมาภายใต้สภาวะเชื้อเพลิงแต่ละชนิดสามารถระบุได้ด้วยภาพของ SEM และ TEM

สำหรับ SEM ได้ผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาครวมตัวของน้ำมันไบโอดีเซล B20 ขนาด เฉลี่ยเป็น 1009.13 นาโนเมตร เพิ่มน้ำมันไบโอดีเซล 20 ผสมกับเอทานอลร้อยละ 5 (B20E5) ขนาด เฉลี่ยของอนุภาคลดลงเป็น 521.90 นาโนเมตร และเพิ่มเป็นน้ำมันไบโอดีเซล 20 ผสมกับเอทานอล ร้อยละ 10 (B20E10) ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคลดลงเป็น 421.86 นาโนเมตร ขนาดของอนุภาครวมตัว อยู่ระหว่าง 200 นาโนเมตร ถึง 3200 นาโนเมตร

สำหรับ TEM ได้ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคเดี่ยวของน้ำมันไบโอดีเซล B20 ขนาดเฉลี่ย เป็น 33.37 นาโนเมตร เพิ่มน้ำมันไบโอดีเซล 20 ผสมกับเอทานอลร้อยละ 5 (B20E5) ขนาดเฉลี่ยของ อนุภาคลดลงเป็น 27.61 นาโนเมตร และเพิ่มเป็นน้ำมันไบโอดีเซล 20 ผสมกับเอทานอลร้อยละ 10 (B20E10) ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคลดลงเป็น 25.13 นาโนเมตร การกระจายขนาดของอนุภาคเดี่ยวอยู่ ระหว่าง 10 นาโนเมตร ถึง 65 นาโนเมตร จะเห็นว่ามีความถี่ที่เล็กลง และผลการวิเคราะห์ความยาว ขอบ เนื่องจากการเกิดออกซิเดชันของเขม่ามักจะเริ่มต้นที่ส่วนสุดท้ายของอนุภาคเขม่า จากผลที่ได้ จากการเปรียบเทียบการกระจายขนาดมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของน้ำมันไบโอดีเซล B20 ขนาดเฉลี่ย เป็น 1.28 นาโนเมตร เพิ่มน้ำมันไบโอดีเซล 20 ผสมกับเอทานอลร้อยละ 5 (B20E5) ขนาดเฉลี่ยของ อนุภาคลดลงเป็น 1.17 นาโนเมตร และเพิ่มเป็นน้ำมันไบโอดีเซล 20 ผสมกับเอทานอลร้อยละ 10 (B20E10) ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคลดลงเป็น 0.72 นาโนเมตร การกระจายขนาดของความยาวขอบอยู่ ระหว่าง 0.2 นาโนเมตร ถึง 6 นาโนเมตร ซึ่งความยาวขอบที่สั้นกว่าช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ เร็วขึ้น การเผาไหม้อาจทำให้เกิดการหดตัวแกนหรือการเผาไหม้ภายในสามารถส่งผลกระทบต่อเขม่า แตกต่างกันได้ และผลของระยะห่างระหว่างระยะนาบทำให้เราทราบข้อมูลเกี่ยวกับความหนาแน่นของผลึก ระยะห่างระหว่างระยะนาบต่ำลงหรือระยะห่าง d หมายถึงผลึกมีความหนาแน่นมากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นก ราไฟท์มากกว่า ซึ่งหมายความว่ายากต่อการออกซิไดซ์ แต่ผลที่ได้ระยะห่าง d ค่าเฉลี่ยขนาดที่ลดลง แสดงว่าความหนาแน่นมากขึ้น จึงยากต่อการออกซิไดซ์

การกระจายของอนุภาคขนาดเล็กจะเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนการผสมเอทานอลที่เพิ่มขึ้น สิ่งนี้ เกิดจากการส่งเสริมการออกซิเดชันของเขม่าเนื่องจากการนำออกซิเจนที่มากขึ้นจากการผสมเอทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอล ทดลองโดยใช้เอทานอล 5%, 10% กับน้ำมันไบโอดีเซล ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ขนาดรวมตัว และขนาดอนุภาคเดี่ยว ได้ทำการเปรียบเทียบการกระจายของขนาดมีการเปลี่ยนแปลงไปในทาง เดียวกัน ก็คือ ลักษณะกลุ่มก้อนของเขม่าจะมีขนาดที่เล็กลงและอนุภาคเดี่ยวก็จะมีขนาดที่เล็กลง เช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการผสมเอทานอลกับน้ำมันเชื้อเพลิงไบโอดีเซลลงไปทำให้การเผาไหม้ ของเครื่องยนต์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จนส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของเขม่าช่วยให้เกิดปฏิกิริยากับเขม่าได้ดี ขึ้น

ดังนั้นการวิเคราะห์ขนาดรวมตัว ขนาดอนุภาคเดี่ยว ความยาวขอบ และระยะห่างระหว่าง ระบายลดลงตามอัตราส่วนเอทานอลเพิ่มขึ้น เขม่าจากเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะมีลักษณะ กราฟไฟท์ และหนาแน่นกว่า ซึ่งออกซิไดซ์ได้ยากกว่า จึงต้องการใช้อัตราส่วนเอทานอลที่เหมาะสมอาจได้ เชื้อเพลิงผสมไบโอดีเซลที่ดีที่สุดและการผสมไบโอดีเซลกับเอทานอลทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น อัตราส่วนเอทานอลที่สูงขึ้นจะให้ออกซิเจนในเชื้อเพลิงสูงขึ้น



บรรณานุกรม

- [1] David B. Kittelson. 1998. **Engines and nanoparticles**. Great Britain : Elsevier Science
- [2] Hay Mon Oo, et al., 2021. **Physicochemical characterization of direct injection Engines's soot using TEM, EDS, X-ray diffraction and TGA.**
- [3] Iraklis Zahos-Siagos¹, et al., 2018. **Impact of Ethanol and N-Butanol Addition on Fuel Properties and Exhaust Emissions of a Stationary Diesel Engine.**
- [4] M. Matti Maricq, 2007. **Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines.**
- [5] P. Karin, M. Borhanipour and et al., 2015. **Oxidation kinetics of small CI engine's biodiesel.** International Journal of Automotive Technology.
- [6] Rajiv Kohli. 2012. **Developments in Surface Contamination and Cleaning : Detection, Characterization, and Analysis of Contaminants.**
- [7] S. Mohankumar , P. Senthilkumar. 2017. **Particulate matter formation and its control methodologies for diesel engine.**