

การอธิบายลักษณะเฉพาะของซีเถ้าโลหะออกไซด์ในตัวกรองอนุภาคดีเซลโดยใช้  
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

Characterization of metal oxide ashes in diesel  
particulate filter utilizing electron microscope



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2563  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Characterization of metal oxide ashes in diesel  
particulate filter utilizing electron microscope



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรที่สอนและทำงานในโรงเรียนเท่านั้น ไม่เอามาเผยแพร่ในวงกว้างไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 2020 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาโทปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การอธิบายลักษณะเฉพาะของซีเถ้าโลหะออกไซด์ในตัวกรองอนุภาคดีเซลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์  
อิเล็กตรอน

CHARACTERIZATION OF METAL OXIDE ASHES IN DIESEL PARTICULATE FILTER  
UTILIZING ELECTRON MICROSCOPE

ผู้จัดทำ

- |                          |              |          |
|--------------------------|--------------|----------|
| 1. นายวัชรินทร์ ทองอรุณ  | รหัสประจำตัว | 60010922 |
| 2. นายสุรวิชัย สว่างแจ้ง | รหัสประจำตัว | 60011108 |
| 3. นายสุรินทร์ ลีสุรวณิช | รหัสประจำตัว | 60011111 |



อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รศ.ดร. ปรีชา การินทร์ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การอธิบายลักษณะเฉพาะของซีเถ้าโลหะออกไซด์ในตัวกรองอนุภาคดีเซลโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

นายวัชรินทร์ ทองอรุณ 60010922

นายสุรวิทย์ สว่างแจ้ง 60011108

นายสุรินทร์ ลีสุรวณิช 60011111

รศ.ดร. ปรีชา การินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาการกระจายตัวโครงสร้างสารที่เป็นองค์ประกอบและที่มาของ ตะกอน Ash ที่อุดตันสะสมอยู่ในอุปกรณ์กรองเขม่ามลพิษอนุภาคดีเซล (Diesel Particulate Filter , DPF) โดยมีขอบเขตการศึกษาคือ ศึกษา DPF ของรถยนต์รุ่น MAZDA 2, น้ำมันหล่อลื่นใหม่และที่ใช้แล้วรุ่น TOTAL MAZDA GENUINE OIL SUPRA DPF SAE 0W30 และน้ำมันเชื้อเพลิง ดีเซล, ดีเซล B10, ดีเซล B20, ดีเซล พรีเมียม ขั้นตอนของการศึกษามี 3 ขั้นตอน 1.ขั้นตอนการเตรียม DPF และ Ash 2.การหาความพรุนของ DPF โดยใช้วิธี Water Displacement 3.ขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผล ผลการวิจัยพบว่า (1) Ash มีการสะสมจนกลายเป็น plug ash ที่ด้านท้ายของ DPF ซึ่งกระจายตัวอยู่ที่บริเวณขอบของ DPF มากที่สุด รูปแบบการกระจายตัว ขึ้นอยู่กับลักษณะของท่อก่อนเข้าสู่ DPF ซึ่งจะมีลักษณะเฉพาะของรถแต่ละคัน (2) การวิเคราะห์ EDS และ XRD-XRF พบ O, Fe, Ca, Zn, Si, S, Cu, P และ Al ในผง Ash ซึ่งมีการปรากฏของ Fe ในปริมาณที่สูงที่สุด (3) อนุภาคของ Ash ส่วนใหญ่มีลักษณะกลมและเป็นผลึก ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างของ ซีเถ้าโลหะออกไซด์ (4) จากการตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถบอกได้ว่า Fe ที่พบใน Ash อาจมาจากการสึกหรอของระบบเครื่องยนต์หรือสนิมจากท่อไอเสีย ส่วนธาตุอื่นๆที่พบมาจากสารเติมแต่งใน น้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเชื้อเพลิง ผู้จัดทำยังสันนิษฐานว่าปริมาณของ Ash ที่สะสมอยู่ใน DPF ในรถแต่ละรุ่น นั้นเปลี่ยนแปลงไปตามปัจจัยเช่น ความเร็วรอบเครื่องยนต์ สภาพอากาศในบริเวณที่ใช้งานและอายุการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

CHARACTERIZATION OF METAL OXIDE ASHES IN DIESEL PARTICULATE FILTER UTILIZING  
ELECTRON MICROSCOPE

Watcharin Tongorun 60010922  
Surawich Sawanagchaeng 60011108  
Surin Leesuravanich 60011111  
Assoc.Prof.Dr. Preechar Karin Advisor  
Year 2563

ABSTRACT

This research aims to study the plugged ash in Diesel Particulate Filter (DPF), including its distribution, its structure, its composition, and its source. The scope of this research extends over the DPF of a specific automobile, which in this case, is Mazda 2. It also includes Total Mazda Genuine Oil Supra DPF SAE 0W30 engine oil and several types of fuel, namely Diesel, Diesel B10, Diesel B20, and Diesel Premium. The study has been divided into three parts. First, the preparation of DPF and ash. Second, the identification of porosity through of DPF the method of water displacement. Third, the analysis. The results are as follows. First, the ash is accumulated continuously at the end of the DPF, resulting in 'plugged ash'. The distribution of the ash is found mostly on the edges of the DPF, while the pattern of distribution varies depend on vehicle types, as each car has different types of pipes in their DPFs. Second, nine elements are found in the ash through the analysis of EDS and XRD-XRF. The elements are O, Fe, Ca, Zn, Si, S, Cu, P, and Al. Fe is the element that is found with the highest amount. Third, most of the ash particles are round and crystalline which represent the structural characteristic of metallic oxide ashes. Lastly, after studying the engine oil and fuel, it could be stated that Fe is there due to the erosion of the motor and rust from the exhaust pipe. As for the other elements, they derive from the additives that are present in the engine oil and the fuel. The authors have come up with a hypothesis that the amount of ash plugging in the DPF differs in different types of cars. The factors that are considered include the engine speed, the motor, the weather when it is being used, and the service life of the engine.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เป็นเพราะความกรุณาจาก รศ.ดร.ปรีชา การินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย และนายศาทัช รอดวรรณะ พี่นักศึกษาปริญญาโท ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ มาโดยตลอด จนวิจัยเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ และงานวิจัยนี้จะสมบูรณ์ไม่ได้ถ้าไม่ได้รับความอนุเคราะห์จาก Focus Lab ที่สนับสนุนในเรื่องการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นและเชื้อเพลิงต่างๆ ผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณแลปชมรมมอเตอร์ที่เอื้อเพื่อให้ยืมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการงานนี้ และขอบคุณพี่ต้น พี่เบิร์ด พี่หนูที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆในการทำโครงการนี้



นายวัชรินทร์ ทองอรุณ  
นายสุรวิชัย สว่างแจ้ง  
นายสุรินทร์ ลีสุรวณิช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
สมมติฐานของการศึกษา.....	1
ขอบเขตของการศึกษา.....	2
ขั้นตอนของการศึกษา.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1.1 การตรวจสอบอนุภาคของเก้าอี้เซล: กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและ การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	3
2.1.2 ซีเมนต์ที่ผสมในอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลโดยเฉพาะ.....	4
2.1.3 การขนส่งซีเมนต์ในอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซล.....	5
2.1.4 การสร้างภาพด้วยภาพระดับไมโครและระดับมาโครของกระบวนการดักจับอนุภาค และการสร้างใหม่ในอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลแบบไหลผ่านผนัง.....	6
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.2.1 ฝุ่นละอองที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซล.....	7
2.2.2 องค์ประกอบของฝุ่นละออง.....	7
2.2.3 กระบวนการรวมตัวของอนุภาคเขม่า.....	8
2.2.4 องค์ประกอบของซีเมนต์ดีเซล.....	9
2.2.5 โครงสร้างของอนุภาคเขม่าและซีเมนต์.....	10
2.2.6 อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซล.....	11
2.2.7 กระบวนการเผาเขม่า (regeneration) ใน DPF.....	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาติให้ผู้อื่นนำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3	วิธีดำเนินการ.....	15
3.1	ขั้นตอนการเตรียม DPF และผง Ash.....	15
3.2	การหาความพรุนของ DPF โดยใช้วิธี Water Displacement.....	29
3.3	ขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผล.....	30
บทที่ 4	ผลการทดลองหรือการวิเคราะห์ข้อมูล.....	40
4.1	การกระจายของ Ash ใน DPF.....	40
4.2	ลักษณะเฉพาะของ DPF.....	41
4.2.1	ความพรุนและการกระจายตัวของรูพรุนของ DPF.....	41
4.2.2	การสะสมตัวของ Ash.....	44
4.3	องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะของอนุภาคโลหะออกไซด์ใน Ash.....	46
4.4	ภาพ TEM ของอนุภาค Ash.....	51
4.4.1	โครงสร้างการรวมตัวของอนุภาค Ash.....	51
4.4.2	โครงสร้างกระดูกของแก้วโลหะออกไซด์.....	52
4.5	TGA.....	53
4.6	ผลการตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเชื้อเพลิง.....	55
4.6.1	น้ำมันหล่อลื่น.....	55
4.6.2	น้ำมันเชื้อเพลิง.....	56
บทที่ 5	การวิจารณ์หรืออภิปรายผล.....	57
เอกสารอ้างอิง.....		58
ภาคผนวก.....		57
ภาคผนวก ก.....		58
ภาคผนวก ข.....		67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลต่างๆของตัวอย่างน้ำมันเครื่องรถยนต์ยี่ห้อ TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30 โดยจะเก็บที่ ตำแหน่ง Crankcase ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ที่ Focus Lab.....	38
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDS mapping และ XRF ของผง Ash.....	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพ SEM SE ของกลุ่มซี้เถ้าจากรถบรรทุกขนาดเล็ก (A) และการกระจายขององค์ประกอบในกลุ่มซี้เถ้าจากการทำแผนที่องค์ประกอบ EDX.....	4
รูปที่ 2.2 แผนผังของการรวมตัวและการเติบโต (Kamp et al.2014).....	5
รูปที่ 2.3 แผนผังของรูปแบบซี้เถ้าที่อยู่ใน DPF.....	5
รูปที่ 2.4 Impact of ash deposition pattern on backpressure (similar ash load of approx. 35 g/l).....	6
รูปที่ 2.5 Photographs of the surfaces at different values of the particulate mass per unit DPF volume of PM trapping using the cordierite DPF.....	7
รูปที่ 2.6 การกำเนิดเศษส่วนของแข็งและเศษอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้.....	8
รูปที่ 2.7 แผนผังของขั้นตอนในกระบวนการสร้างเขม่า.....	8
รูปที่ 2.8 ภาพ SEM SE ของการรวมตัวกันของซี้เถ้าจากรถบรรทุกขนาดเล็ก (A) และการกระจายขององค์ประกอบในกลุ่มนี้ตามที่ได้จากการทำแผนที่องค์ประกอบ EDX.....	9
รูปที่ 2.9 ภาพ TEM (STEM DF) ของกลุ่มซี้เถ้าต่างๆที่ถูกกรองไว้ใน DPF ของรถบรรทุกขนาดเล็ก แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างที่ชัดเจน ทั้งทางเคมีและทางเคมี ในแง่ของส่วนประกอบของธาตุ.....	9
รูปที่ 2.10 ภาพ TEM (โหมด STEM-BF) ของกลุ่มซี้เถ้าต่างๆจากส่วนกลางของรถบรรทุกขนาดเล็ก DPF.....	10
รูปที่ 2.11 การตรวจสอบโครงสร้างนาโนที่เป็นโครงกระดูกของเขม่าดีเซลและเถ้าโลหะออกไซด์โดยใช้ ImageJ.....	10
รูปที่ 2.12 การติดตั้ง Diesel Particulate Filter.....	11
รูปที่ 2.13 การกรองแบบ Wall-Flow Filter (ซ้าย), การกรองแบบ Partial Filter (ขวา).....	11
รูปที่ 2.14 Sic DPF (ซ้าย), Cordierite DPF (ขวา).....	12
รูปที่ 2.15 กระบวนการ Passive Regeneration.....	12
รูปที่ 2.16 กระบวนการ Active Regeneration.....	13
รูปที่ 2.17 กลไกการสะสมของ Ash ใน DPF ด้วยกระบวนการ Passive regeneration.....	14
รูปที่ 2.18 กลไกการสะสมของ Ash ใน DPF ด้วยกระบวนการ Active regeneration.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าการฉีกหัก ดัดแปลง หรือการนำเนื้อหาไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.1 Mapping แผนการการทำงาน.....	15
รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลของรถยนต์ Mazda2.....	15
รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งที่ตัดท่อ.....	16
รูปที่ 3.4 ผ่าชุดอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลตรงทางเข้า.....	16
รูปที่ 3.5 ทางเข้าของ DPF.....	17
รูปที่ 3.6 ผ่าครอบ DPF บริเวณทางเข้า.....	17
รูปที่ 3.7 ผ่าเคสเหล็กหุ้ม DPF ด้วยฝืนหนู.....	18
รูปที่ 3.8 เมื่อผ่าตรงทางออกแล้วจะพบ DPF ฝั่งทางออก.....	18
รูปที่ 3.9 ผ่าด้านข้างของตัวเคส.....	19
รูปที่ 3.10 ผ่าอีกด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน เพื่อให้ง่ายต่อการแยกออก.....	19
รูปที่ 3.11 เส้นใยสังเคราะห์ที่อัดแน่นหุ้ม DPF.....	20
รูปที่ 3.12 แยกเหล็กหุ้มออก.....	20
รูปที่ 3.13 แยกเหล็กหุ้มออก.....	21
รูปที่ 3.14 ตัว DPF ที่อยู่ข้างในชุดเหล็กหุ้ม.....	21
รูปที่ 3.15 วัดความยาวของ DPF.....	22
รูปที่ 3.16 นับจำนวนรูและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัว DPF.....	22
รูปที่ 3.17 หมายเลขตำแหน่งต่างๆบนตัว DPF.....	23
รูปที่ 3.18 ผ่า DPF ออกที่ละชิ้นจนครบ 16 ชิ้น.....	23
รูปที่ 3.19 DPF ทั้งหมด 16 ชิ้นที่แยกส่วนออก.....	24
รูปที่ 3.20 ลักษณะของ DPF แต่ละแห่ง.....	24
รูปที่ 3.21 แสดงการสะสมของ Ash ฝั่งทางออก.....	24
รูปที่ 3.22 ใช้มีดตัดผนังออกเพื่อให้ง่ายต่อการเก็บ Ash.....	25
รูปที่ 3.23 ใช้มีดค่อยๆขูด Ash ลงในภาชนะที่เก็บ.....	25

เอกสารรูปที่ 3.24 Ash ทั้งหมดที่ได้จากตัว DPF จำนวนเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด

รูปที่ 3.25 DPF ขนาดเล็กที่เราตัดไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์.....

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.26 เครื่องอบความร้อน.....	27
รูปที่ 3.27 วางชิ้นงานเข้าไปข้างใน.....	27
รูปที่ 3.28 DPF และ Ash ที่พร้อมวิเคราะห์.....	28
รูปที่ 3.29 ตัวอย่าง DPF และการวัดความยาว DPF.....	29
รูปที่ 3.30 ระดับน้ำก่อนแช่ DPF.....	29
รูปที่ 3.31 ระดับน้ำหลังแช่ DPF.....	29
รูปที่ 3.32 เตรียม Ash ก่อนจะนำเข้าเครื่อง XRD.....	30
รูปที่ 3.33 นำ Ash ที่เตรียมไว้ใส่ในเครื่อง XRD.....	30
รูปที่ 3.34 Ash ที่พร้อมจะได้รับการวิเคราะห์.....	31
รูปที่ 3.35 เตรียม Ash ก่อนจะนำเข้าเครื่อง XRF.....	31
รูปที่ 3.36 เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF).....	32
รูปที่ 3.37 Ash ที่พร้อมจะได้รับการวิเคราะห์.....	32
รูปที่ 3.38 เตรียม Ash และ DPF เพื่อนำไปวิเคราะห์.....	33
รูปที่ 3.39 Ash และ DPF ที่ติดลงบนจานพร้อมไปเคลือบทองคำ.....	33
รูปที่ 3.40 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปเคลือบด้วยทองคำ 20 นาที.....	34
รูปที่ 3.41 ตัวอย่างที่เคลือบด้วยทองคำเรียบร้อยแล้ว.....	34
รูปที่ 3.42 นำ Ash และ DPF ที่เตรียมไว้ใส่ในเครื่อง SEM.....	35
รูปที่ 3.43 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM.....	35
รูปที่ 3.44 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer ( TGA ).....	36
รูปที่ 3.45 ตัวอย่างการเก็บเชื้อเพลิงต่าง ๆ และน้ำมันเครื่องต้องเก็บในขวดใสที่ทาง FocusLab จัดหาไว้ให้แล้วต้องหุ้มด้วยถุงพลาสติกใสและมัดด้วยยาง จากนั้นให้ใส่ลงในขวดที่บิอีกชั้น.....	37
รูปที่ 3.46 น้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วกับที่ยังไม่ได้ใช้.....	38
รูปที่ 3.47 เชื้อเพลิงดีเซลต่างๆ.....	39

เอกสารรูปที่ 3.48 ตัวอย่างทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์ที่ Focus Lab ภาชนะพวกนั้น ไปเอมูลิวตองให้มันไวได้ประโยชน์ได้39การคัด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.1 การกระจายของ plug ash ใน DPF.....	40
รูปที่ 4.2 ภาพ 3 มิติ แสดงการกระจายของ plug ash ใน DPF.....	41
รูปที่ 4.3 ภาพ SEM และ B&W ของ SiC DPF.....	41
รูปที่ 4.4 กราฟการกระจายตัวของขนาดรูพรุน.....	42
รูปที่ 4.5 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของ DPF.....	43
รูปที่ 4.6 ภาพ SEM และผลการวิเคราะห์ EDS.....	43
รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ XRD.....	44
รูปที่ 4.8 การสะสมตัวของ Ash ภายใน DPF.....	44
รูปที่ 4.9 ภาพ SEM และการวิเคราะห์ EDS mapping แสดงการฝังตัวของ Ash ภายในผนัง DPF.....	45
รูปที่ 4.10 ภาพ SEM แสดงการรวมตัวของ Ash ในรูพรุนของ DPF.....	45
รูปที่ 4.11 ภาพ SEM และการวิเคราะห์ EDS mapping ของผนัง Ash.....	47
รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ XRD-XRF ของผนัง Ash.....	48
รูปที่ 4.13 ลักษณะของอนุภาคโลหะออกไซด์ใน Ash.....	49
รูปที่ 4.14 ภาพ SEM และการวิเคราะห์ EDS mapping ของอนุภาค Ash บนพื้นผิว DPF.....	50
รูปที่ 4.15 ภาพ TEM ของกลุ่ม Ash (A, B, C, F) การรวมตัวของอนุภาคแต่ละตัวของ Ash (D, E, G) โครงสร้างผลึกของโลหะออกไซด์ใน Ash.....	52
รูปที่ 4.16 (A) ภาพ TEM ฝ้าโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Ash), (B) ภาพตัดขนาด 5 nm x 5 nm ของฝ้าโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Ash), (C) ภาพขาว-ดำของฝ้าโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Ash), (D) ภาพโครงสร้างกระดูก (skeletonize) ของฝ้าโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Ash).....	52
รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงของมวล CB.....	53
รูปที่ 4.18 อัตราการเปลี่ยนแปลงของมวล CB.....	54
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงปริมาณของธาตุต่าง ๆ ที่พบในน้ำมันหล่อลื่น.....	55
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงปริมาณของธาตุต่าง ๆ ที่พบในน้ำมันเชื้อเพลิง.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องยนต์ดีเซลเป็นหนึ่งในเครื่องยนต์ที่สำคัญในปัจจุบันเนื่องด้วยเป็นเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพทางความร้อนและให้กำลังที่สูง แต่เครื่องยนต์ดีเซลมีการสร้างฝุ่นละอองขึ้นเนื่องจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ สารอนินทรีย์ต่างๆในอากาศ และ Ash ที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งฝุ่นละอองเหล่านี้เป็นสาเหตุของการเกิดมลภาวะในอากาศ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์

อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซล (Diesel Particulate Filter , DPF) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกใช้เพื่อกรองอนุภาคต่างๆที่ออกจากเครื่องยนต์ดีเซลก่อนปล่อยสู่บรรยากาศซึ่งสามารถลดฝุ่นละอองและมลพิษที่ออกจากเครื่องยนต์ดีเซลได้ถึง 98 เปอร์เซ็นต์ อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลมีกระบวนการในการกำจัดเขม่า โดยการเผาเขม่าให้กลายเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่า กระบวนการรีเจนเนอเรชั่น แต่ไม่สามารถกำจัด Ash ซึ่งเป็นสสารที่ไม่สามารถกำจัดได้โดยการเผาไหม้ และจะสะสมอยู่ภายในอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซล ทำให้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลตัน ส่งผลให้เกิดแรงดันย้อนกลับทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ดีเซลลดลงตามไปด้วย

### วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาการกระจายตัวและการสะสมตัวของ Ash ในอุปกรณ์กรองเขม่ามลพิษอนุภาคดีเซลที่ใช้แล้ว
2. เพื่อหาแหล่งที่มาของ Ash ในอุปกรณ์กรองเขม่ามลพิษอนุภาคดีเซลโดยการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพและสสารของ Ash ในอุปกรณ์กรองเขม่ามลพิษอนุภาคดีเซลโดยใช้ XRD, XRF, SEM-EDS, TEM
3. เพื่อวิเคราะห์การเผาไหม้ของ soot และ ash โดยใช้ TGA

### สมมติฐานของการศึกษา

1. Ash ในตัวกรองอนุภาคดีเซล มีองค์ประกอบของธาตุ O, S, Ca, P, Zn, Mg, Al, Si, Fe

2. Ash เกิดขึ้นจากสารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิง สารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่น และการสึกหรอของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นใบเซอร์รองนี้เป็นการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ขอบเขตของการศึกษา

- 1.ศึกษา Ash ในตัวกรองอนุภาคดีเซลที่ใช้แล้วของรถยนต์รุ่น MAZDA 2
- 2.ทดสอบน้ำมันหล่อลื่นใหม่และที่ใช้แล้วรุ่น TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30 เพื่อการวิเคราะห์ทางเคมี
- 3.ทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลชนิดดีเซล,ดีเซล B10, ดีเซล B20, ดีเซล พรีเมียม จากสถานีบริการน้ำมัน ปตท.

## ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.การเตรียม DPF และ Ash
- 2.การหาความพรุนของ DPF โดยใช้วิธี Water Displacement
- 3.ขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 2

# วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

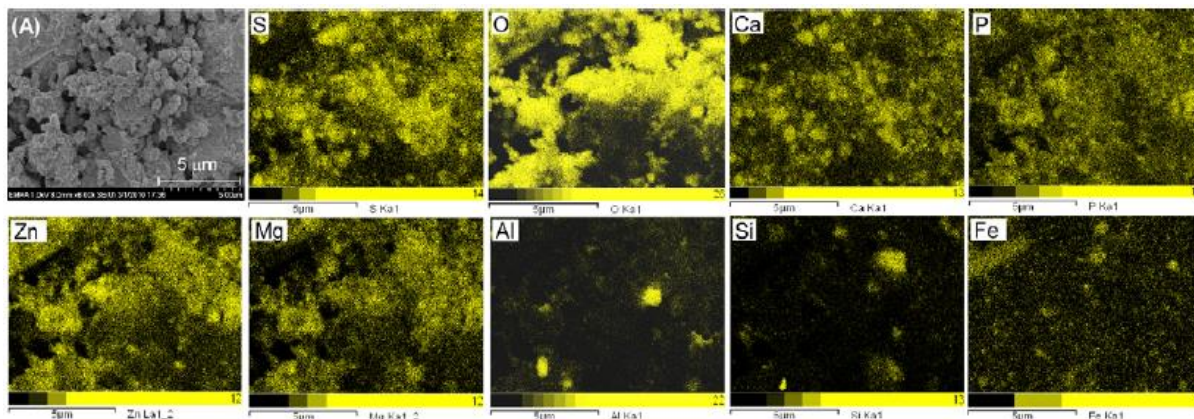
2.1.1 การตรวจสอบอนุภาคของเถ้าดีเซล: กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ( Investigation of diesel ash particulate matter: A scanning electron microscope and transmission electron microscope study )

การตรวจสอบ PM ของเถ้าที่สะสมอยู่ในอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซล(DPF) ที่ทำงานบนรถบรรทุกขนาดเล็กโดยใช้ SEM และ TEM เผยให้เห็นสิ่งต่อไปนี้: ฝุ่นเถ้าภายใน DPF เกิดขึ้นในรูปแบบของสารเคมีที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งส่วนใหญ่จะรวมตัวกันแบบเปราะ โดยสะสมที่ปลายปลั๊กของช่องทางเข้าและสะสมบนผนังช่องทางเข้าตลอดความยาวตัวกรอง การรวมตัวกันของเถ้าเกิดขึ้นภายในรูพรุนของผนังช่อง ส่วนน้อยของฝุ่นเถ้า PM อาจหลุดสู่ชั้นบรรยากาศ ฝุ่นเถ้าส่วนใหญ่เป็นผลึกที่มีโครงสร้างกลมและขนาดระหว่าง 170 และ 60 นาโนเมตรลงไปที่ 7-12 นาโนเมตรซึ่งต่ำกว่าช่วงขนาดที่ระบายอากาศได้ การรวมตัวของอนุภาคฝุ่นเถ้าที่ดีที่สุดส่วนใหญ่นำไปสู่การทำให้หนาแน่นขึ้น ซึ่งอาจแปลว่ามีภาระทะลุทะลวงผ่านจาก DPF น้อยลง การทำแผนที่ EDX และการวิเคราะห์ทางเคมีของฝุ่นเถ้าจำนวนมากเผยให้เห็นว่าฝุ่นเถ้าส่วนใหญ่ประกอบด้วย Ca, Mg, P, Zn, S, O และ Fe, Al และ Si เล็กน้อย จากข้อมูลการเลี้ยวเบนของ TEM ของฝุ่นเถ้ารวมกับข้อมูลทางเคมี ความหลากหลายของสารประกอบของฝุ่นเถ้าจะสูงกว่าที่สันนิษฐานไว้ก่อนหน้านี้ การเปรียบเทียบกับอนุภาคฝุ่นเถ้าของ DPF ที่ใช้งานหนักจากรถยนต์นั่งส่วนบุคคลที่ทำงานด้วยเชื้อเพลิงที่มีสารเติมแต่ง Fe เผยให้เห็นลักษณะที่คล้ายคลึงกับที่พบใน DPF ของรถบรรทุกขนาดเล็ก โดยมีแนวโน้มที่จะมีขนาดต่ำกว่า ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 30 และ 60 นาโนเมตร อนุภาค Pt ขนาด 4-40 นาโนเมตร ซึ่งได้มาจากวัสดุเคลือบผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันดีเซล (DOC) ที่ต้นทางของ DPF เกิดขึ้นภายในกลุ่มฝุ่นเถ้าของ DPF ทั้งสอง ฝุ่นเถ้าสะสมจากไอเสียที่ทางออกของ DPF รถบรรทุกขนาดเล็ก ภายใต้การทำงานของเครื่องยนต์ปกติเผยให้เห็นว่าอนุภาคละเอียดบางส่วนรวมถึงกลุ่มฝุ่นเถ้าที่มีขนาดใหญ่กว่า (200-600 นาโนเมตร) อนุภาคของฝุ่นเถ้าที่ละเอียดมากจะไปถึงชั้นบรรยากาศและเกาะติดกับเขม่าจับกันเป็นก้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 ภาพ SEM SE ของกลุ่มขี้เถ้าจากรถบรรทุกขนาดเล็ก (A) และการกระจายขององค์ประกอบในกลุ่มขี้เถ้าจากการทำแผนที่องค์ประกอบ EDX

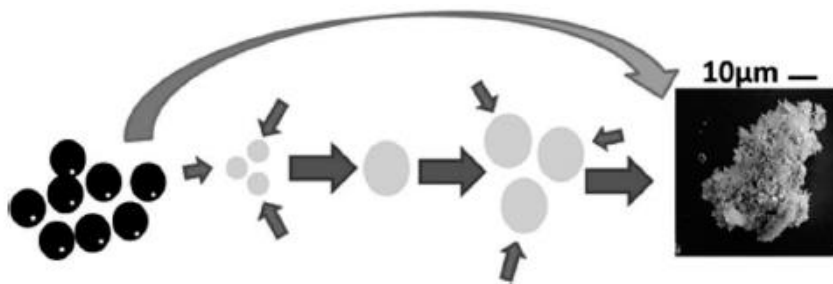
### 2.1.2 ขี้เถ้าที่สะสมในอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลโดยเฉพาะ : บทวิจารณ์ ( Ash deposited in diesel particulate filter: a review )

แนวทางการลดและควบคุมการปล่อยอนุภาค (PM) อย่างไรก็ดีตามด้วยการสะสมของอนุภาคอย่างต่อเนื่อง DPF จึงมีประสิทธิภาพต่ำและต้องเผา PM นั่นคือการ regeneration ซึ่งมีแตกต่างจากเขม่า คือไม่สามารถกำจัดขี้เถ้าออกจาก DPF ผ่านการเผาไหม้ ซึ่งส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพของ DPF ดังนั้นจึงมีการสรุปความคืบหน้าการวิจัยล่าสุดเกี่ยวกับเถ้าที่สะสมใน DPF องค์ประกอบทางเคมีและกระบวนการสร้างได้รับการวิเคราะห์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขี้เถ้าส่วนใหญ่เกิดจากน้ำมันหล่อลื่นและองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้าส่วนใหญ่ประกอบด้วย Ca, Mg, P และ S ในขณะที่เดียวกันสัณฐานวิทยาและสีของเถ้าขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของขี้เถ้า การขนส่งที่เกิดจากการไหลและการขนส่งที่ลดการงอกใหม่จะเปลี่ยนการเคลื่อนย้ายของขี้เถ้าจากผนังช่องไปยังปลั๊ก ขี้เถ้าไม่สามารถส่งผลต่อการใช้งาน DPF ในสภาพปกติได้แต่มีผลสำคัญต่อแรงดันย้อนกลับและลักษณะการเกิดออกซิเดชันของเขม่า นอกจากนี้ยังมีความไม่สอดคล้องกันเกี่ยวกับกลไกของกระบวนการกระจายขี้เถ้าและผลกระทบของรูปแบบการกระจายของขี้เถ้าในช่อง DPF ต่อความดันลดลงในอนาคต การตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ของขี้เถ้าและกระบวนการก่อตัวของขี้เถ้าจะเป็นประโยชน์ในการอธิบายปัญหาที่กล่าวข้างต้น ควรปฏิบัติตามกฎข้อบังคับด้านน้ำมันหล่อลื่นที่เข้มงวดมากขึ้นในประเทศจีน

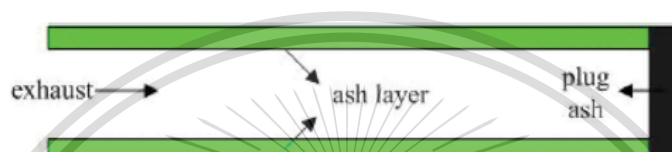
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.2 แผนผังของการรวมตัวและการเติบโต (Kamp et al.2014).



รูปที่ 2.3 แผนผังของรูปแบบขี้เถ้าที่อยู่ใน DPF

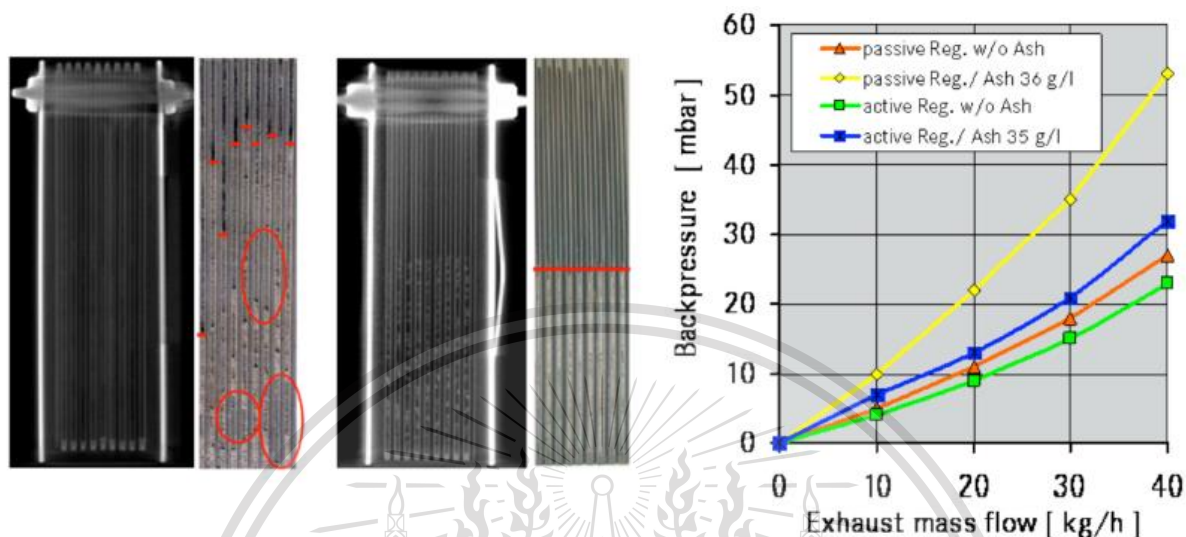
### 2.1.3 การขนส่งขี้เถ้าในอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซล (Ash Transport in Diesel Particle Filters)

คราบขี้เถ้าที่ได้จากน้ำมันหล่อลื่นยังคงเป็นปัญหาหลักในการทำงานของอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลในยานยนต์ ในบทความมีการอธิบายถึงรูปแบบการสะสมของขี้เถ้าต่างๆ รูปแบบการทับถมสองขอบเขตคือ ที่ชั้นผนังและการเติมที่ปลายด้านหลังของช่องทางเข้า รูปแบบมักเกี่ยวข้องกับวิธีการฟื้นฟูที่แตกต่างกัน การคืนสภาพแบบพาสซีฟ (passive regeneration) ควรจะส่งผลให้เกิดชั้นขี้เถ้าที่เป็นเนื้อเดียวกันในขณะที่มีการรายงานการคืนสภาพแบบแอคทีฟ (active regeneration) เพื่อส่งผลให้เกิดการเติมส่วนหลัง ผลงานในปัจจุบันอธิบายถึงกลไกพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์การขนส่งขี้เถ้าในอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลบนพื้นฐานของความรู้ของการสัมผัสขี้เถ้าต่อการไหล การสร้างโครงสร้างใหม่ของอนุภาคของขี้เถ้า และการขนส่งขี้เถ้าตามแนวแกนสามารถอธิบายรูปแบบการสะสมที่แตกต่างกันได้ การสัมผัสกับการไหลทำได้โดยการกำจัดเขม่าเป็นระยะ ๆ ไม่ว่าจะโดยการสร้างใหม่แบบพาสซีฟหรือแอคทีฟเป็นขั้นตอนแรก การสร้างโครงสร้างใหม่ของอนุภาคที่ทับถมที่สัมผัสกับการไหลในภายหลัง ขึ้นอยู่กับระดับของความเร็วในการไหลตามแนวแกนและคุณสมบัติของอนุภาค ซึ่งขนาดโครงสร้างของกลุ่มอนุภาคถือเป็นพารามิเตอร์หลักที่ช่วยให้เกิดการไหลเข้าอีกครั้ง มีการตั้งสมมติฐานว่าโครงสร้างการรวมตัวของอนุภาคอาจได้รับอิทธิพลจากความรู้ของการรีเจนเนอเรชันและเงื่อนไขการรีเจนเนอเรชัน (โดยเฉพาะอุณหภูมิ, NO<sub>x</sub> / PM) เนื่องจากอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลส่วนใหญ่ทำงานในช่วงความเร็วขาเข้าตามแนวแกนที่สูงกว่า 10 เมตร / วินาที โครงสร้างของอนุภาคจึงสามารถกลับเข้าสู่กระบวนการไหลและในที่สุดก็ถูกลำเลียงโดยการลำเลียงแบบนิวเมติกในช่องทางเข้าไปยังปลายตัวกรอง กลไกที่วางไว้จะอธิบายบนพื้นฐานของการวิเคราะห์ตัวกรองหลายตัวจาก

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การทำงานภาคสนามจริงภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างกัน มีการระบุพื้นที่ในการปฏิบัติงานซึ่งร่างพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการควบคุมเพื่อให้ได้รูปแบบการสะสมของเขม่าที่เหมาะสมในตัวกรองอนุภาคในที่สุดก็จะอนุญาตให้ขยายช่วงเวลาการทำความสะอาดตัวกรองหรือเพื่อปรับขนาดตัวกรองให้เหมาะสม



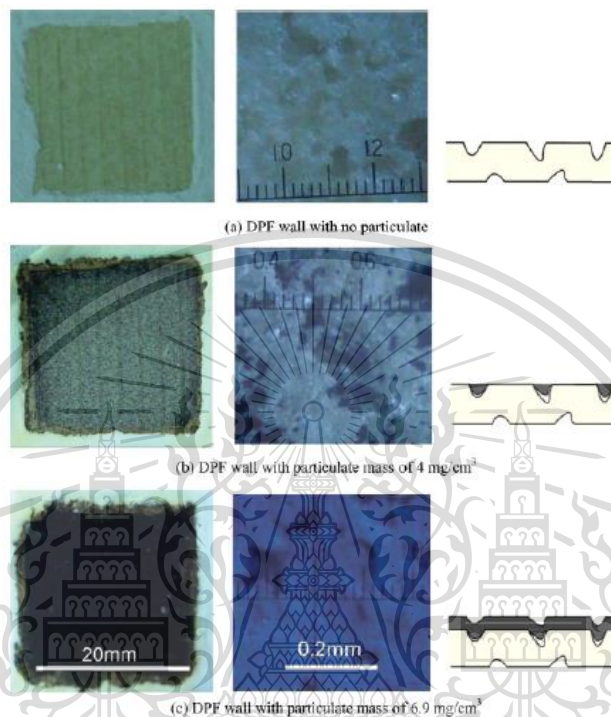
รูปที่ 2.4 Impact of ash deposition pattern on backpressure (similar ash load of approx. 35 g/l)

2.1.4 การสร้างภาพด้วยภาพระดับไมโครและระดับมาโครของกระบวนการดักจับอนุภาคและการสร้างใหม่ในอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลแบบไหลผ่านผนัง ( Micro and macroscopic visualization of particulate matter trapping and regeneration processes in wall-flow diesel particulate filters )

กระบวนการดักจับอนุภาคและการสร้างใหม่ในอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลแบบไหลผ่านผนัง (DPF) ที่ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาได้รับการตรวจสอบผ่านการทดลองการสร้างภาพด้วยภาพไมโครและภาพมาโคร ผนังแนวตั้งของ DPF ขนาดเล็กถูกขัดโดยใช้กระบวนการขัดเพื่อสร้างพื้นผิวที่เหมือนกระจกบนเม็ดอนุภาคเซรามิกแต่ละอัน การใช้กล้องจุลทรรศน์ออปติคัลแบบออปติคัลโพกัสสามารถสังเกตเห็นรูพรุนขนาดเล็กภายในผนัง DPF ได้อย่างชัดเจนตั้งแต่พื้นผิวขัดมันจนถึงความลึก 100 มม. นอกจากนี้วิดีโอแบบเรียลไทม์ที่มีความเร็ว 30 เฟรมต่อวินาทีสามารถบันทึกได้อย่างคมชัด ผ่านมุมมองภาพตัดขวางด้วยกล้องจุลทรรศน์สามารถสังเกตการเปลี่ยนจากการกรองเชิงลึกเป็นการกรองพื้นผิวได้อย่างชัดเจน เฉพาะรูพรุนที่เปิดบนพื้นผิวผนังเท่านั้นที่เกี่ยวข้องกับความลึกของการกรองนั่นคือความลึกของการเจาะ ในระหว่างการรีเจนเนอเรชัน โดยไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยาหลังจากชั้นที่มีอนุภาค (เขม่า) ถูกเผาออกไปอนุภาคที่ติดอยู่ภายในรูพรุนจะ

ถูกออกซิไดซ์ ในทางกลับกันการใช้ตัวกรองอนุภาคแบบไหลผ่านผนังรูปทรงครึ่งวงกลม การดักจับโดยรวมและกระบวนการสร้างใหม่ได้รับการชี้แจงผ่านกล้องเลนส์โพกัสระยะไกล อนุภาคดีเซลถูกกักไว้เกือบทั่วทั้งพื้นผิวของช่องทางไหลเข้าของ DPF ในทิศทางของการไหลของช่องในขณะที่มีอนุภาคที่ถูกกักไว้นั้นไม่จำเป็นต้องถูก

ออกซิไดซ์อย่างสม่ำเสมอเนื่องจากมีอุณหภูมิแตกต่างกันมากระหว่างทางเข้าและทางออกของช่องการไหล รูปแบบการรีเจนเนอเรชันขึ้นอยู่กับมวลอนุภาคเริ่มต้นและอุณหภูมิขาเข้าของก๊าซที่ใช้ งานรวมถึงปรากฏการณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ในแต่ละตำแหน่ง ดังนั้นภาพรูปพรรณบนพื้นผิวจากกล้องจุลทรรศน์จึงมีบทบาทสำคัญในกระบวนการสร้างใหม่เช่นเดียวกับการเริ่มต้นของการดักจับ นอกจากนี้ในระดับมาโครพบว่าอุณหภูมิสม่ำเสมอและการกระจายการไหลผ่านผนังมีความสำคัญต่อการรีเจนเนอเรชันอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.5 Photographs of the surfaces at different values of the particulate mass per unit DPF volume of PM trapping using the cordierite DPF

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 ฝุ่นละอองที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์ดีเซล

เครื่องยนต์ดีเซลมีควันดำที่มีฝุ่นละอองจำนวนมาก (PM) ซึ่งเป็นผลมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งฝุ่นละอองของดีเซลเป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และอาจทำให้เกิดมะเร็งปอด โรคหอบหืด เป็นต้น ลักษณะทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของ PM ที่ปล่อยออกมา จากเครื่องยนต์สันดาปภายในส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการทำงานของเครื่องยนต์ เงื่อนไขเชื้อเพลิงและประเภทของน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้

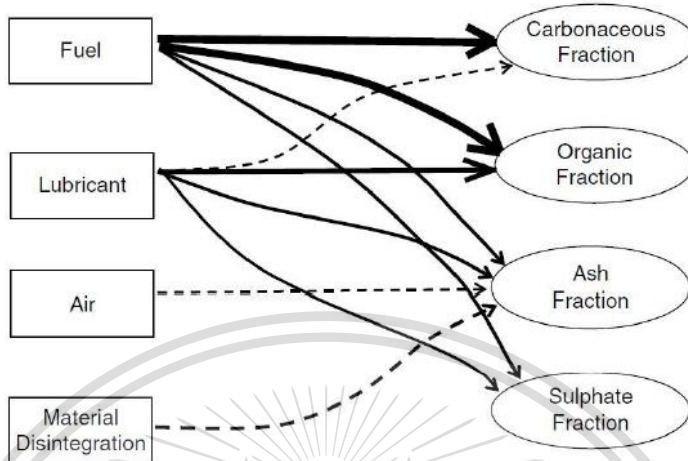
### 2.2.2 องค์ประกอบของฝุ่นละออง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า องค์ประกอบของฝุ่นละอองที่ปล่อยออกมาจากเครื่องยนต์สามารถเป็นได้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ไม้กาวเคมีจากทั้งสีและสีทองเหลืองที่หลุดออกมา และต้องอ้างอิงถึงค่าของเอกสารที่ควรที่จะนำไปใช้ เศษที่เป็นของแข็งและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ โดยเขม่า (เกิดจากความไม่สมบูรณ์) และขี้เถ้า (Ash) มาจาก

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

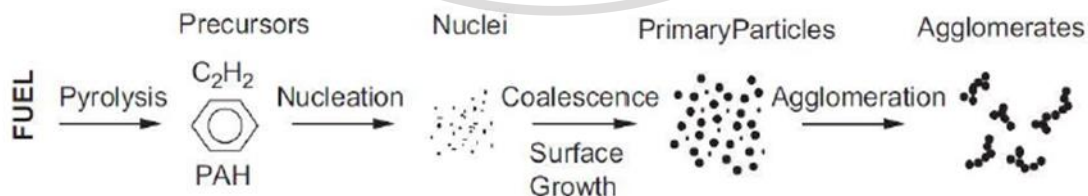
น้ำมันหล่อลื่นสารเติมแต่งการสึกหรอของเครื่องยนต์และโลหะเติมแต่งเชื้อเพลิง ถือเป็นเศษของแข็งของฝุ่นละออง ส่วนอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ประกอบด้วยซัลเฟตไนเตรตและสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่มาจากเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่นที่เป็นกรด



รูปที่ 2.6 การกำเนิดเศษส่วนของแข็งและเศษอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้

### 2.2.3 กระบวนการรวมตัวของอนุภาคเขม่า

ในกระบวนการไพโรไลซิส (pyrolysis process) โครงสร้างโมเลกุลของเชื้อเพลิงจะเปลี่ยนแปลงไปโดยการมีอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดเป็นสารตั้งต้นของเขม่า สารตั้งต้นของเขม่าเหล่านี้ จะถูกเปลี่ยนเป็นอนุภาคเขม่าของแข็งในกระบวนการนิวคลีเอชัน ขั้นตอนการเติบโตของพื้นผิวตามด้วยกระบวนการนิวคลีเอชัน ทำให้ได้อนุภาคเขม่าของแข็งที่มีความเข้มข้นมากขึ้นส่งผลให้เกิดเขม่าอนุภาคหลักเดี่ยว เขม่าอนุภาคหลักเดี่ยวมีขนาดอยู่ในช่วง 10 - 60 นาโนเมตร



รูปที่ 2.7 แผนผังของขั้นตอนในกระบวนการสร้างเขม่า

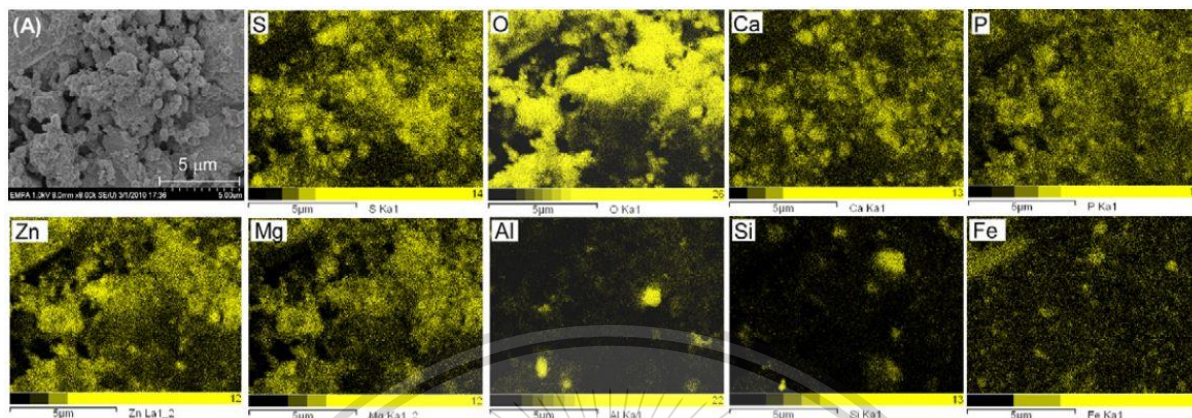
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

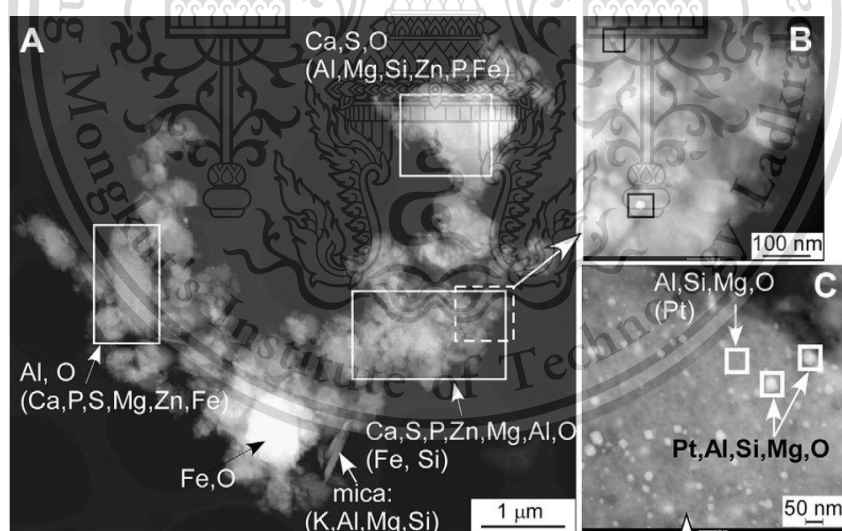
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.2.4 องค์ประกอบของขี้เถ้าดีเซล (diesel ash)

องค์ประกอบที่พบบ่อยที่สุดคือ O, S, Ca, P, Zn, Mg ในขณะที่ Al, Si และ Fe พบในปริมาณที่น้อยกว่า จากองค์ประกอบที่ระบุไว้ Ca, S และ O มักอยู่ในรูปของ  $\text{CaSO}_4$  ในขี้เถ้าดีเซล



รูปที่ 2.8 ภาพ SEM SE ของการรวมตัวกันของขี้เถ้าจากรถบรรทุกขนาดเล็ก (A) และการกระจายขององค์ประกอบในกลุ่มนี้ตามที่ได้จากการทำแผนที่องค์ประกอบ EDX



รูปที่ 2.9 ภาพ TEM (STEM DF) ของกลุ่มขี้เถ้าต่างๆที่ถูกกรองไว้ใน DPF ของรถบรรทุกขนาดเล็ก แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างที่ชัดเจน ทั้งทางเคมีและทางเคมี ในแง่ของส่วนประกอบของธาตุ

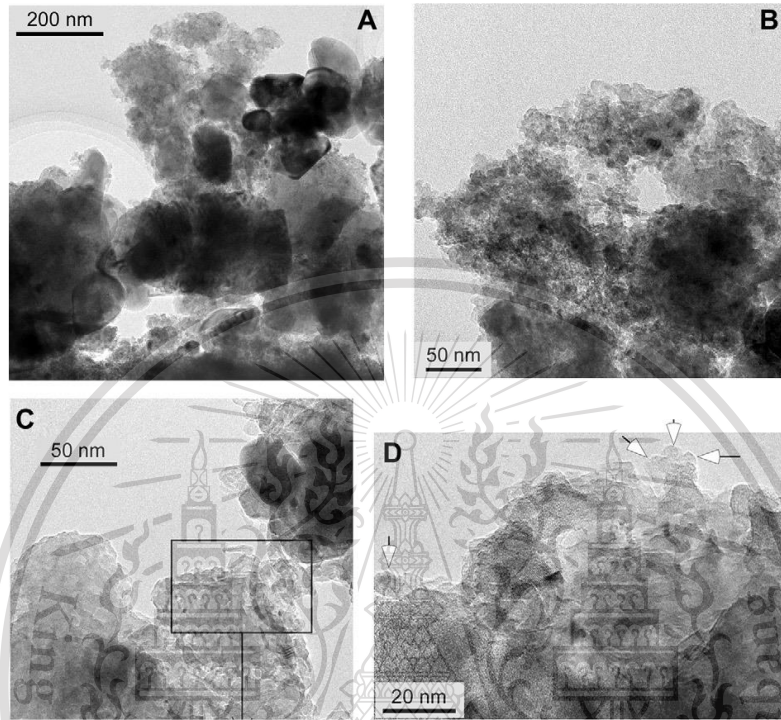
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

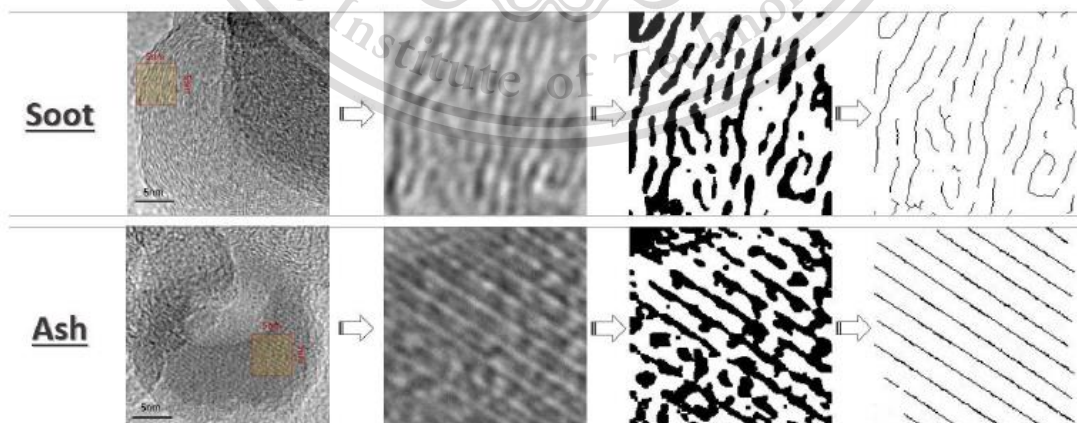
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.2.5 โครงสร้างของอนุภาคเขม่าและขี้เถ้า

อนุภาคฝุ่นเขม่าส่วนใหญ่มีลักษณะทรงกลมและมีขนาด 60 นาโนเมตร ไปจนถึงเกือบ 170 นาโนเมตร ซึ่งมีความแตกต่างของโครงสร้างผลึกของเขม่า (soot) และขี้เถ้า (ash) โดยโครงสร้างผลึกของเขม่า (soot) มีลักษณะเป็นตาข่ายที่ไม่มีรูปแบบ ส่วนโครงสร้างผลึกของขี้เถ้า (ash) มีลักษณะเป็นตาข่ายตรงขนาน



รูปที่ 2.10 ภาพ TEM (โหมด STEM BF) ของกลุ่มขี้เถ้าต่างๆจากส่วนกลางของรถบรรทุกขนาดเล็ก DPF



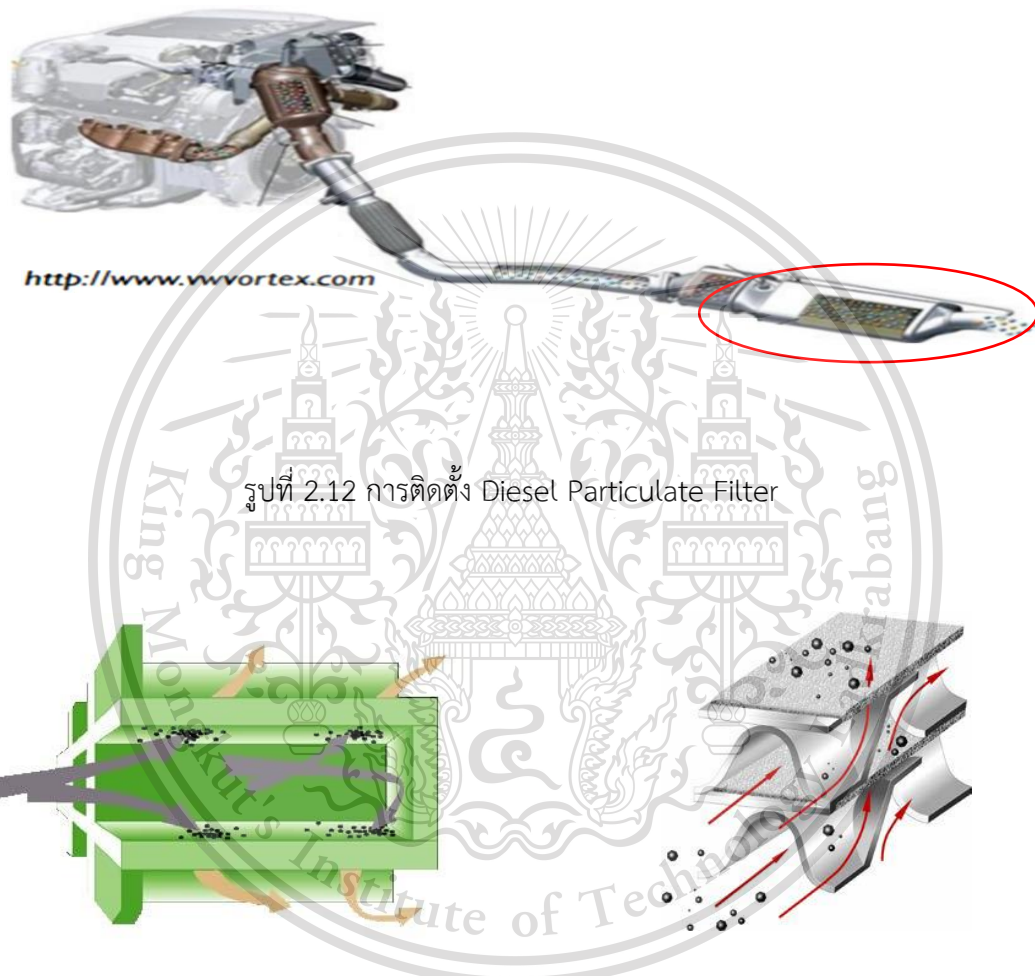
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปบนสื่อสังคมออนไลน์ หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการค้า  
รูปที่ 2.11 การตรวจสอบโครงสร้างนาโนที่เป็นโครงกระดูกของเขม่าดีเซลและขี้เถ้าโลหะออกไซด์โดยใช้  
ImageJ ทุกๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.2.6 อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซล (Diesel Particulate Filters)

อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซล (Diesel Particulate Filters) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อกำจัดฝุ่นละอองของเครื่องยนต์ดีเซล โดยการกรองไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งมีลักษณะการกรอง 2 แบบ คือ Wall-Flow Filter และ Partial Filter



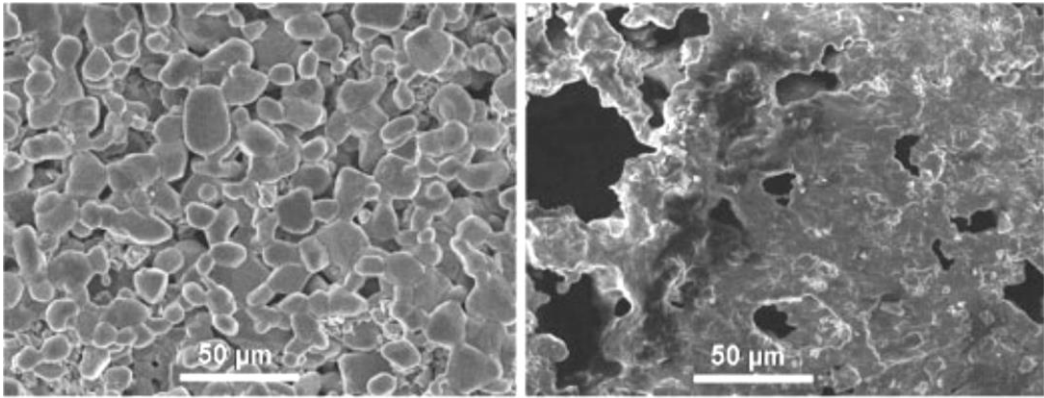
รูปที่ 2.12 การติดตั้ง Diesel Particulate Filter

รูปที่ 2.13 การกรองแบบ Wall-Flow Filter (ซ้าย), การกรองแบบ Partial Filter (ขวา)

Wall-Flow Diesel Particulate Filters สร้างขึ้นจากเซรามิก ( cordierite or silicon carbide ) มีโครงสร้างเป็นรังผึ้ง ( honeycomb ) ที่มีรูพรุน ทรงสี่เหลี่ยมโดยมีการสลัก Plug end ที่ปลายด้านตรงข้าม แรงจากไอเสียจะบังคับให้อนุภาคผ่านผนัง DPF ทำให้อนุภาคถูกกรองและสะสมไว้ที่ผนังด้านในของช่องขณะที่ไอเสียที่ทำความสะอาดจะถูกปล่อยสู่บรรยากาศ Wall-Flow DPF มีประสิทธิภาพในการกรองระดับสูงสุดได้มากกว่า 98 เปอร์เซ็นต์

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

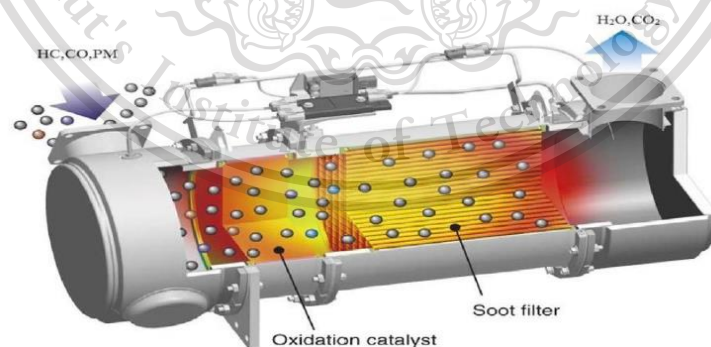


รูปที่ 2.14 Sic DPF (ซ้าย), Cordierite DPF (ขวา)

### 2.2.7 กระบวนการเผาไหม้ (regeneration) ใน DPF

เมื่อ soot ถูกกรองโดย DPF อย่างต่อเนื่องในขณะที่มีการใช้งานเครื่องยนต์ดีเซล soot ที่ถูกสะสมใน DPF จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการกรองลดลง จึงจำเป็นต้องกำจัด soot ออกโดยใช้กระบวนการออกซิเดชันเพื่อออกซิไดซ์ soot ( คาร์บอน ) ให้กลายเป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่า กระบวนการ regeneration ซึ่งมี 2 ลักษณะ คือ passive regeneration และ active regeneration

Passive regeneration จะมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาจากเชื้อเพลิง หรือตัวเร่งปฏิกิริยาที่เคลือบบน DPF และการเพิ่มอุณหภูมิ DPF โดยการสะสมความร้อนจากไอเสีย จนมีอุณหภูมิเพียงพอสำหรับการออกซิเดชัน



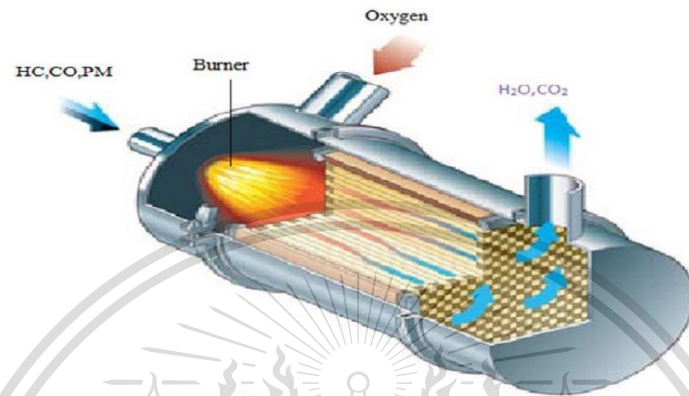
รูปที่ 2.15 กระบวนการ Passive Regeneration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Active regeneration คือการเพิ่มอุณหภูมิของไอเสียให้เพียงพอต่อการออกซิเดชัน (ประมาณ 650 องศาเซลเซียส) ก่อนเข้าสู่ DPF โดยการเพิ่มอุณหภูมิการเผาไหม้หรือการใช้เครื่องทำความร้อน ซึ่งจะมีการควบคุมโดยแผงควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ Active regeneration จะทำงานเมื่อ Passive regeneration ไม่สามารถกำจัด soot ได้หมด



รูปที่ 2.16 กระบวนการ Active Regeneration

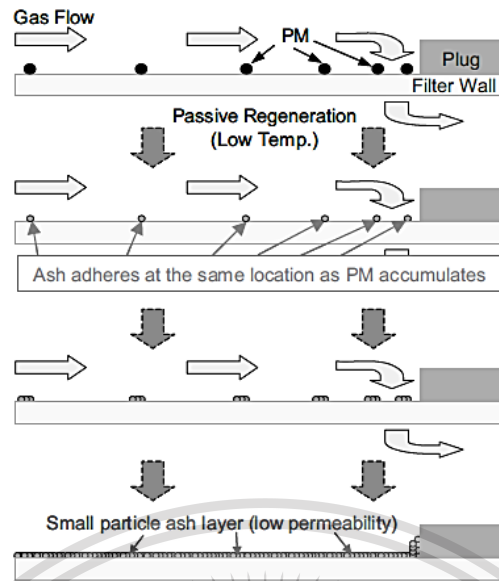
### 2.2.8 การสะสมของ Ash

Passive regeneration มีการสะสมของ Ash อย่างสม่ำเสมอจากทางเข้าจนถึงทางออก ขนาดของอนุภาค Ash เล็กกว่า Active regeneration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

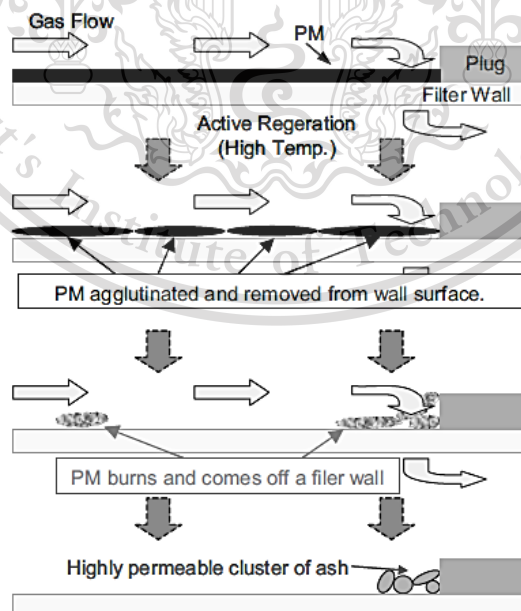
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.17 กลไกการสะสมของ Ash ใน DPF ด้วยกระบวนการ Passive regeneration

Active regeneration มีการสะสมของ Ash มากที่ด้าน Plug ends ของ DPF ขนาดของอนุภาค Ash เล็กและสามารถใหญ่ขึ้นได้หากเพิ่มอุณหภูมิการ regeneration



รูปที่ 2.18 กลไกการสะสมของ Ash ใน DPF ด้วยกระบวนการ Active regeneration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

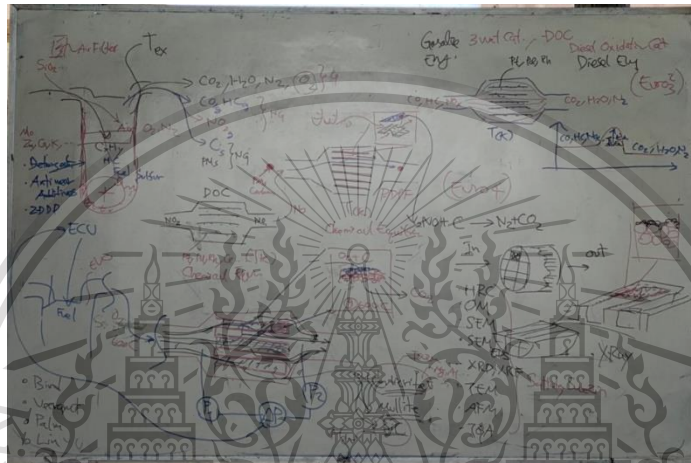
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

-ประชุมวางแผนการทำงานและศึกษาหาความรู้เกี่ยวกับมลพิษจากเครื่องยนต์ดีเซล อุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซล (DPF) และเครื่องมือวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ขั้นสูง



รูปที่ 3.1 Mapping แผนการทำงาน

### 3.1 การเตรียม DPF และ ผง Ash

-เตรียมอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซล (DPF) ที่ใช้แล้วจากรถยนต์ Mazda2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เชิงพาณิชย์

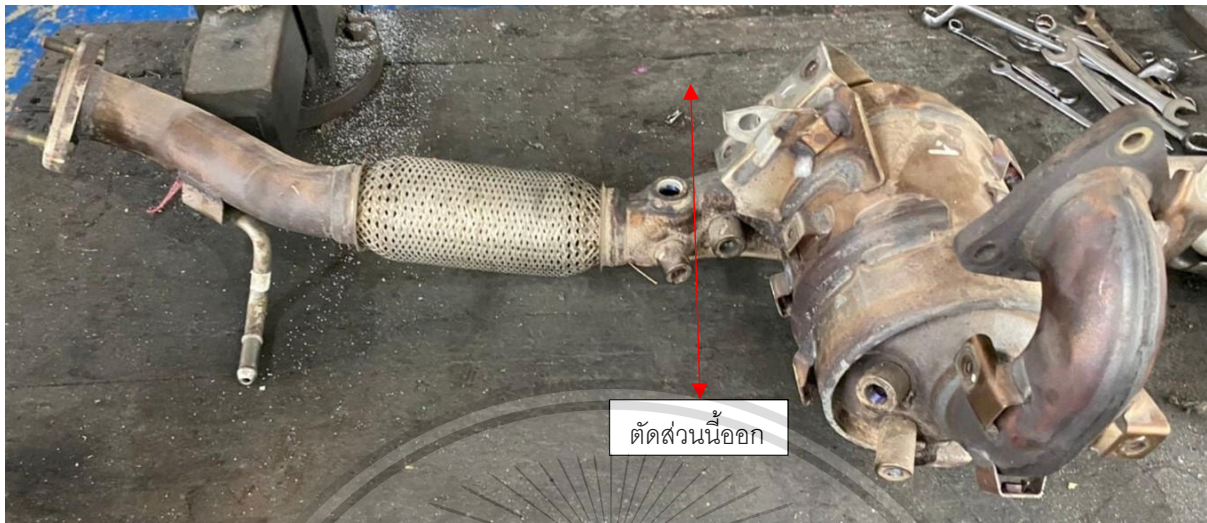
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลิขสิทธิ์นี้สงวนไว้ให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างถึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 ชุดอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลของรถยนต์ Mazda2

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-ตัดท่อยาวๆตรงทางออกก่อนเพื่อสะดวกต่อการผ่าส่วนอื่นๆ



รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งที่ตัดท่อ

-จับชิ้นงานด้วยปากกา แล้วผ่าชุดอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลตรงทางเข้าก่อนด้วยเลื่อยมือ



รูปที่ 3.4 ผ่าชุดอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคเขม่าดีเซลตรงทางเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-เมื่อผ่าเสร็จแล้วจะพบ DPF ที่มีเขม่าเกาะอยู่ตรงทางเข้าและตรงฝาที่ครอบ DPF ก็พบว่ามิเขม่าเกาะอยู่อย่างหนาแน่นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.5 ทางเข้าของ DPF



รูปที่ 3.6 ฝาครอบ DPF บริเวณทางเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ... ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for... allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-ผ้าเคสเหล็กหุ้ม DPF ตรงฝั่งทางออกโดยใช้ฟันหนู จะต้องระมัดระวังไม่ให้สึกมากเกินไปจนโดนตัว DPF



รูปที่ 3.7 ผ้าเคสเหล็กหุ้ม DPF ด้วยฟันหนู



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส... รับการใช้งาน... ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น... ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for research use only. รูปที่ 3.8 เมื่อผ้าตรงทางออกแล้วจะพบ DPF ฝั่งทางออก for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-ผ่าเครื่องกรองตรงด้านข้างทั้งสองข้างที่อยู่ตรงข้ามกันโดยใช้ฟันหนู เพื่อที่ง่ายต่อการแยกออกจากกัน



รูปที่ 3.9 ผ่าด้านข้างของตัวเคส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

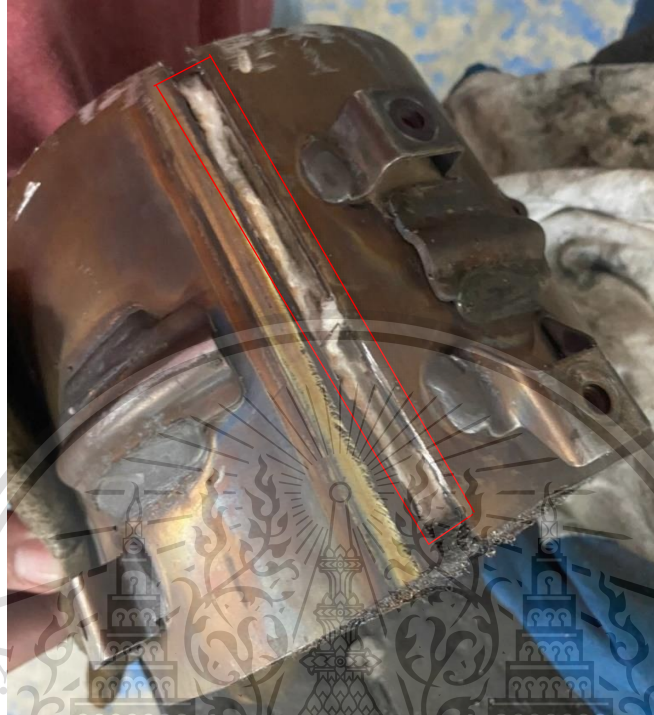
รูปที่ 3.10 ผ่าอีกด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน เพื่อที่ง่ายต่อการแยกออก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-เมื่อผ่าเสร็จแล้ว จะพบว่ามีเส้นใยสังเคราะห์อัดแน่นหุ้มตัว DPF อยู่ และใช้มือที่สวมถุงมือแยกเหล็กที่หุ้มตัว DPF ออก



รูปที่ 3.11 เส้นใยสังเคราะห์ที่อัดแน่นหุ้ม DPF



รูปที่ 3.12 แยกเหล็กหุ้มออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.13 แยกเหล็กหุ้มออก



รูปที่ 3.14 ตัว DPF ที่อยู่ข้างในชุดเหล็กหุ้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-วัดขนาดของ DPF ทั้งความยาว เส้นผ่านศูนย์กลางหน้าตัดและจำนวนรู



รูปที่ 3.15 วัดความยาวของ DPF



รูปที่ 3.16 นับจำนวนรูและวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตัว DPF

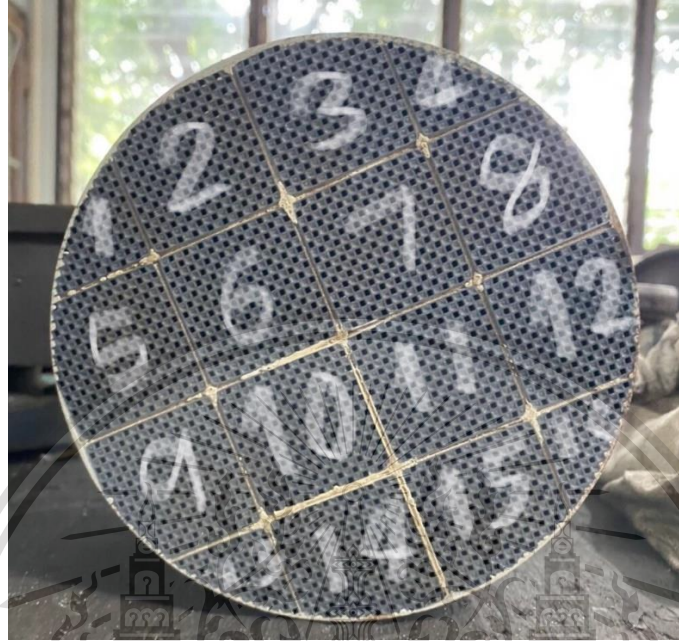
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-นำปากกาเขียนเซรามิกมาเขียนตัวเลขตามจำนวนแท่งของ DPF เมื่อผ่าแยกชิ้นแต่ละอันแล้ว จะได้ทราบตำแหน่งก่อนผ่าอยู่ตำแหน่งตรงไหน



รูปที่ 3.17 หมายเลขตำแหน่งต่างๆบนตัว DPF

-เลื่อยผ่าตัว DPF โดยใช้เลื่อยมือ ผ่าทีละชิ้นอย่างระมัดระวังไม่ให้ตัว DPF แตก จนครบ 16 ชิ้นตามหมายเลขที่เขียนไว้ตอนต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.18 ผ่า DPF ออกทีละชิ้นจนครบ 16 ชิ้น ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

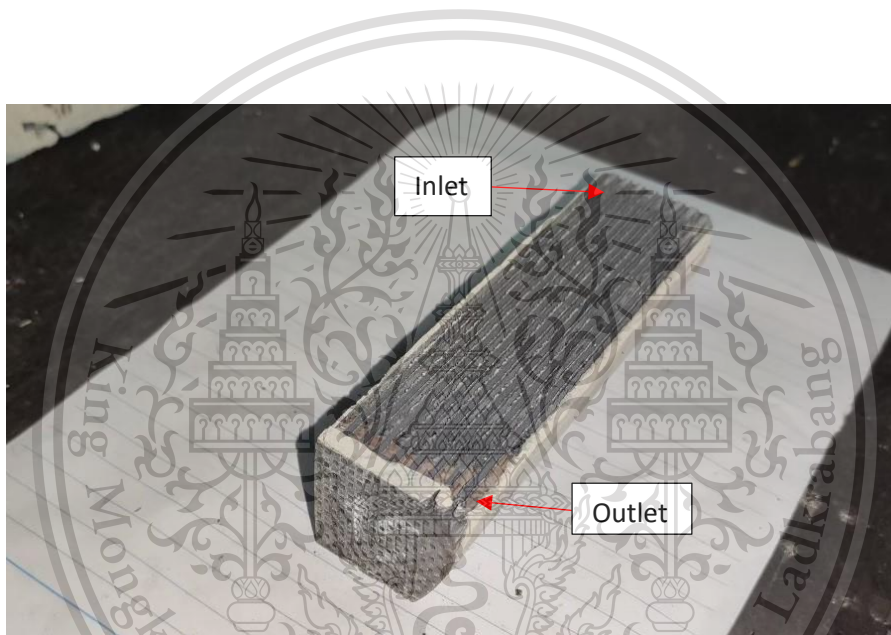
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

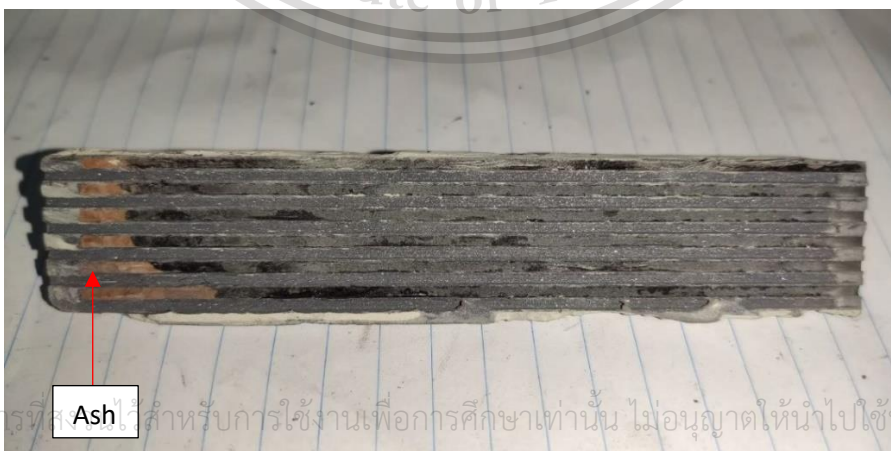


รูปที่ 3.19 DPF ทั้งหมด 16 ชั้นที่แยกส่วนออก

-ที่ด้านฝั่งทางออก(Outlet) ของตัว DPF จะพบ Ash สีส้มสะสมอยู่และวัดความยาวของ Ash ที่สะสมอยู่เพื่อนำไปวาดกราฟแสดงระยะสะสมของ Ash



รูปที่ 3.20 ลักษณะของ DPF แต่ละแท่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.21 แสดงการสะสมของ Ash ฝั่งทางออก

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-ใช้มีดค่อยๆ ขูด Ash ออก ทำทั้งหมด 16 ชั้นหรือจนกว่าจะได้ปริมาณ Ash 2 กรัม ระวังอย่าให้เขม่าติดมา เพื่อนำ Ash ที่ได้ไปวิเคราะห์หา มีองค์ประกอบอะไรบ้าง



รูปที่ 3.22 ใช้มีดตัดผนังออกเพื่อให้ง่ายต่อการเก็บ Ash



รูปที่ 3.23 ใช้มีดค่อยๆ ขูด Ash ลงในภาชนะที่เก็บ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.24 Ash ทั้งหมดที่ได้จากตัว DPF

-เมื่อเก็บ Ash หมดแล้ว ให้นำตัวถัง DPF มาตัดให้เป็นชิ้นเล็กเพื่อนำไปวิเคราะห์ว่ามีองค์ประกอบอะไรบ้าง โดยจะเก็บ 3 ส่วน คือ ส่วนทางเข้า ส่วนตรงกลาง และส่วนทางออก



รูปที่ 3.25 DPF ขนาดเล็กที่เราตัดไว้เพื่อนำไปวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามอบตาดำเนินไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

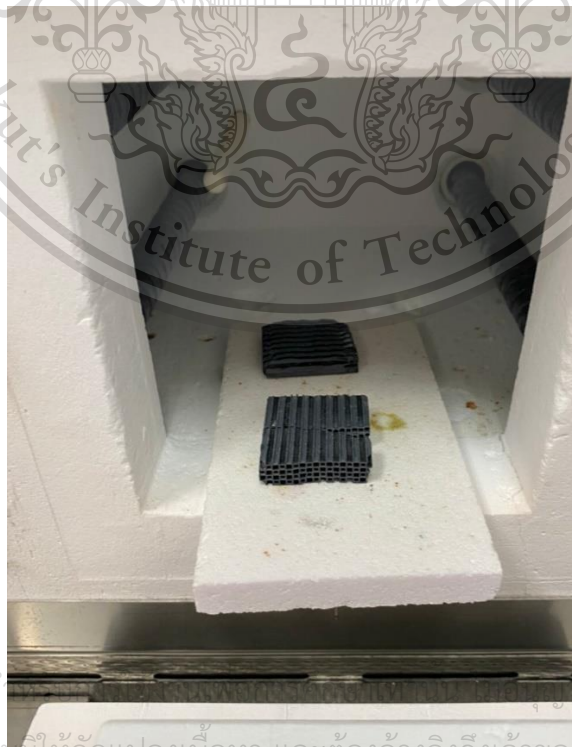
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-ก่อนจะนำ DPF ที่ตัดไว้เป็นชิ้นเล็กไปวิเคราะห์นั้น นำ DPF ส่วนตรงทางเข้าและตรงกลางผ่านเครื่องอบร้อนก่อน เพื่อกำจัดเขม่าที่ติดอยู่บน DPF โดยจะใช้ความร้อนที่ 900 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 3.26 เครื่องอบความร้อน



รูปที่ 3.27 วางชิ้นงานเข้าไปข้างใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-เสร็จสิ้นกระบวนการเตรียม DPF และ Ash ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการนำ DPF และ Ash ที่เตรียมไว้เก็บใส่ภาชนะให้เรียบร้อยโดยแยกให้ชัดเจนว่าเป็นส่วนไหน เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ XRD, XRF, SEM



รูปที่ 3.28 DPF และ Ash ที่พร้อมวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

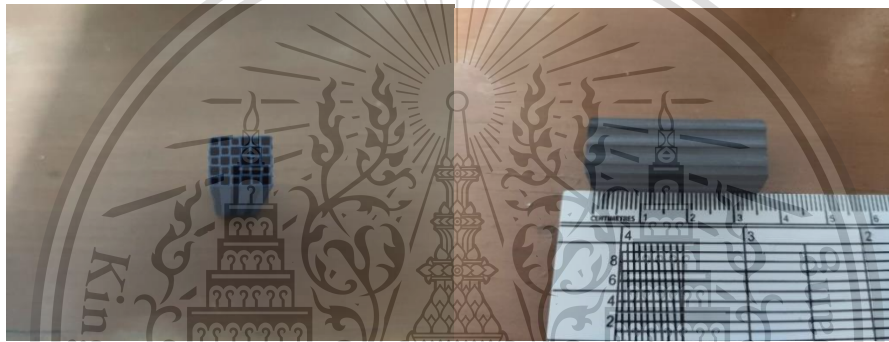
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.2 การหาความพรุนของ DPF โดยใช้วิธี Water Displacement

Water Displacement เป็นวิธีที่สามารถใช้วัดปริมาตรของวัตถุที่เป็นของแข็ง โดยวัดการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำเมื่อแช่วัตถุในของเหลว

$$\begin{aligned} \text{ความพรุน} &= \frac{\text{ปริมาตรช่องว่าง}}{\text{ปริมาตรรวม}} \\ &= \frac{\text{ปริมาตรรวม} - \text{ปริมาตรน้ำที่เพิ่มขึ้น}}{\text{ปริมาตรรวม}} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.29 ตัวอย่าง DPF และการวัดความยาว DPF



รูปที่ 3.30 ระดับน้ำก่อนแช่ DPF



รูปที่ 3.31 ระดับน้ำหลังแช่ DPF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผล

-เดินทางไปที่ สวทช. มหาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต เริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์โดยเครื่อง X-ray Powder Diffraction(XRD) จะวิเคราะห์ Ash เพื่อดูว่ามีองค์ประกอบอะไรบ้าง



รูปที่ 3.32 เตรียม Ash ก่อนจะนำเข้าเครื่อง XRD



รูปที่ 3.33 นำ Ash ที่เตรียมไว้ใส่ในเครื่อง XRD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งการเผยแพร่ข้อมูลนี้ออกนอกระบบของมหาวิทยาลัยฯ และต้องอ้างอิงถึงแหล่งเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only. It is not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.34 Ash ที่พร้อมจะได้รับการวิเคราะห์

-ขณะที่รอผลจากเครื่อง XRD จึงได้ไปทำเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer(XRF) ต่อเลย เนื่องจากทั้งสองเครื่องนี้สามารถอ่านผลควบคู่กันได้ จึงทำให้ง่ายต่อการสรุปผล



รูปที่ 3.35 เตรียม Ash ก่อนจะนำเข้าเครื่อง XRF

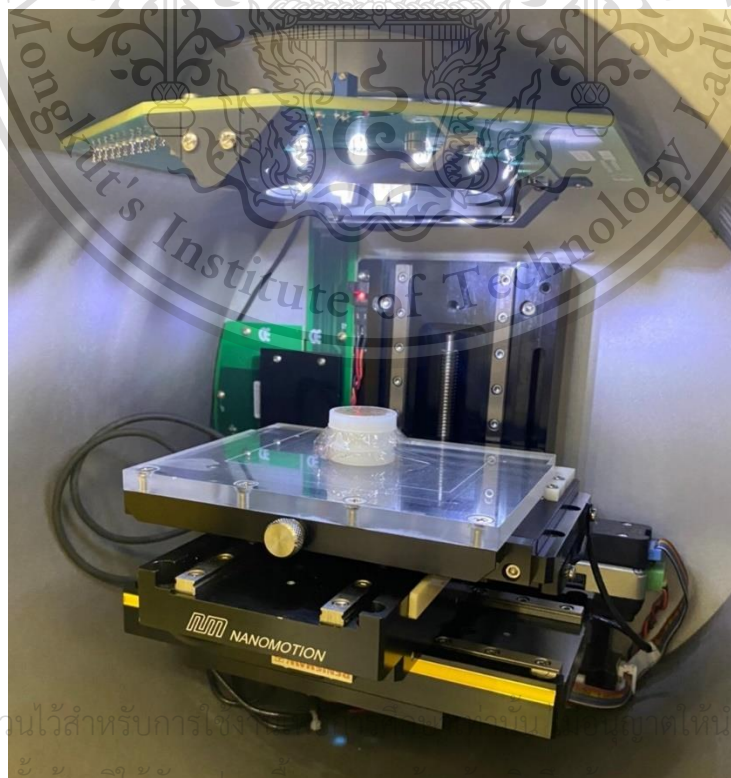
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.36 เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)



รูปที่ 3.37 Ash ที่พร้อมจะได้รับการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงเนื้อหา และต้องขออนุญาตของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

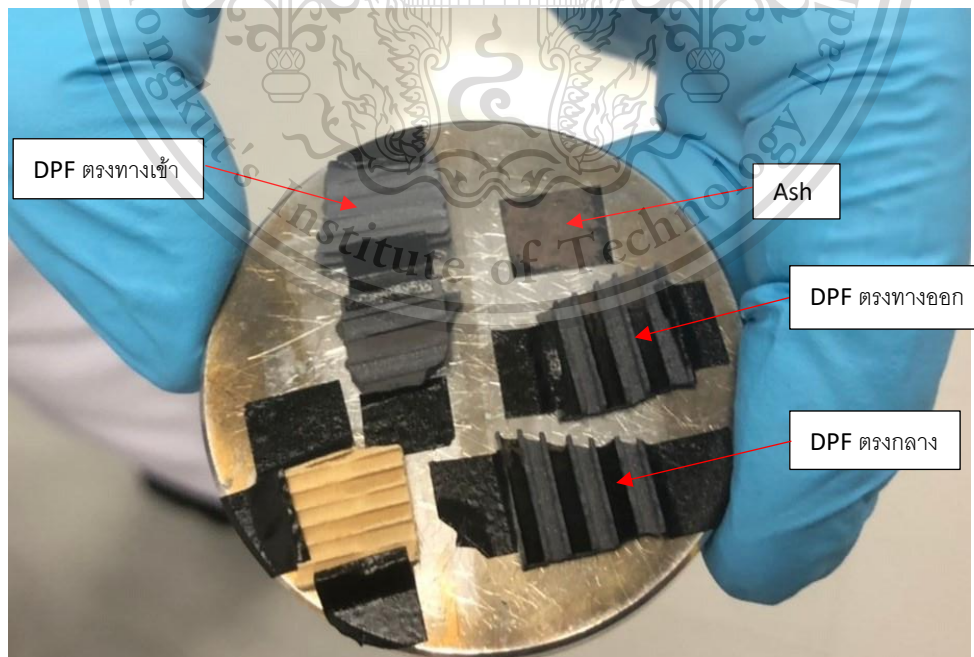
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-เมื่อได้ผลจากเครื่องทั้งสองนั้นแล้ว ต่อไปจะวิเคราะห์โดยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เครื่องนี้จะวิเคราะห์ทั้งชิ้นส่วนของ DPF ตรงทางเข้า ตรงกลาง ตรงทางออกและ Ash ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ ต้องนำพวกตัวอย่างไปเคลือบด้วยทองคำก่อนที่จะนำเข้าเครื่อง SEM เพื่อให้ตัวอย่างนำไฟฟ้า โดยจะใช้ เวลาเคลือบ 20 นาที



รูปที่ 3.38 เตรียม Ash และ DPF เพื่อนำไปวิเคราะห์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only. It is not intended for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.39 Ash และ DPF ที่ติดลงบนจานพร้อมไปเคลือบทองคำ



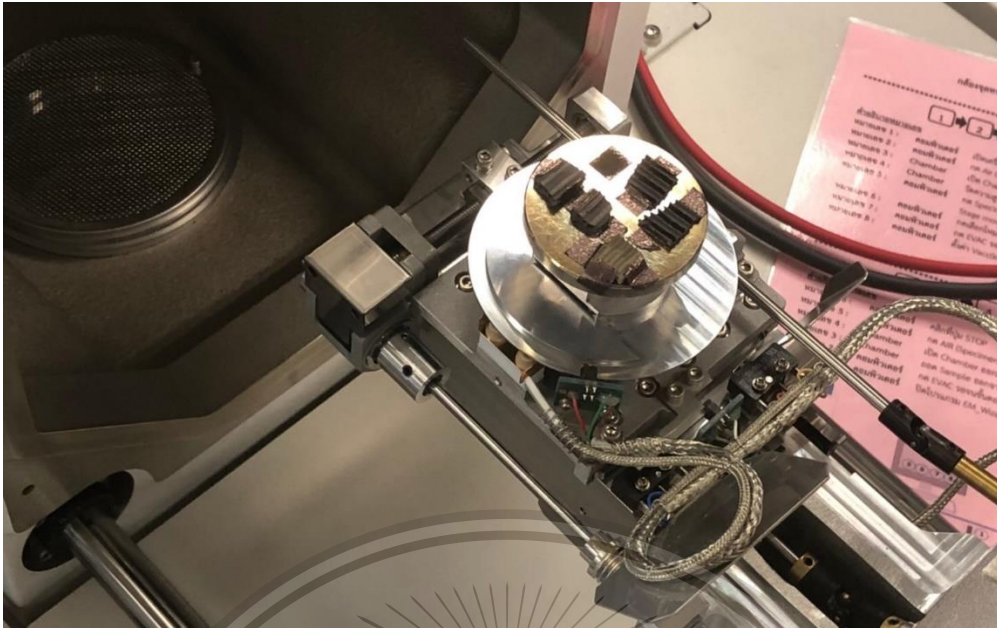
รูปที่ 3.40 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ไปเคลือบด้วยทองคำ 20 นาที



รูปที่ 3.41 ตัวอย่างที่เคลือบด้วยทองคำเรียบร้อยแล้ว  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.42 นำ Ash และ DPF ที่เตรียมไว้ใส่ในเครื่อง SEM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.43 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

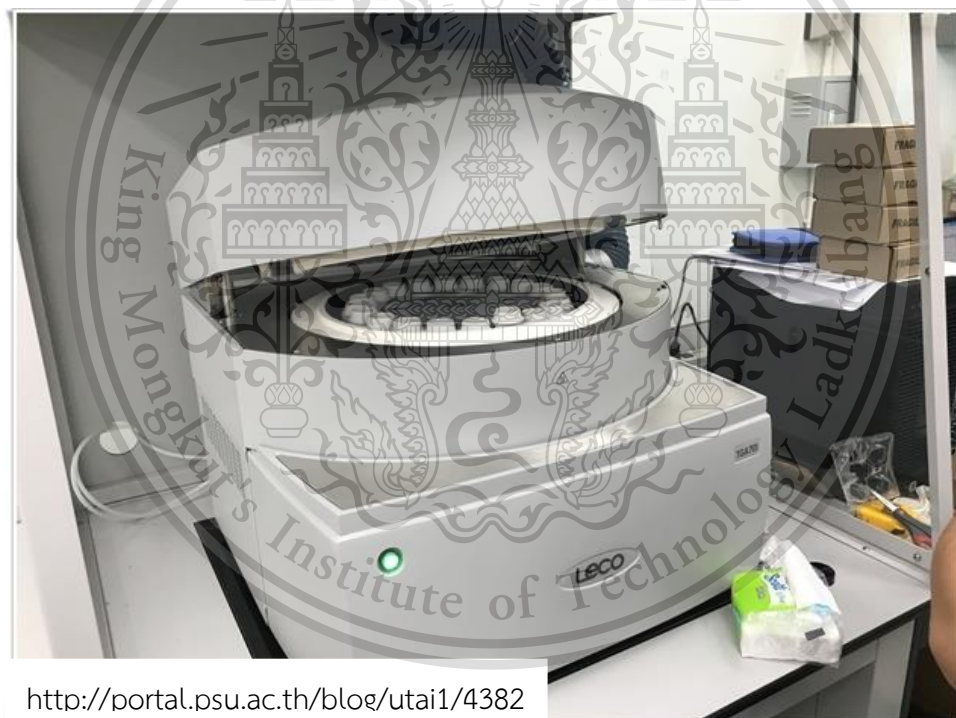
-การวิเคราะห์ผลกระทบของอนุภาค Ash ต่อพฤติกรรมการออกซิเดชัน โดยใช้ thermogravimetric analysis (TGA) ตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ถูกเตรียมโดยการผสม CBN330, DPF(SiC) และ Ash เป็น 2 ตัวอย่าง ในปริมาณประมาณ 10 มิลลิกรัม ดังนี้

CBN330 50% + DPF(SiC) 50%

CBN330 50% + DPF(SiC) 40% + Ash 10%

การวิเคราะห์กลไกการเผาไหม้ของ CB โดยการใช้ Thermogravimetric Analysis (TGA) โดยมีการให้ความร้อน 2 ช่วง คือ

1. การเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 600 องศาเซลเซียส โดยใช้แก๊สไนโตรเจน
2. การเผาไหม้โดยใช้อากาศในการให้ความร้อน โดยควบคุมอุณหภูมิคงที่ที่ 600 องศาเซลเซียส



<http://portal.psu.ac.th/blog/utai1/4382>

รูปที่ 3.44 เครื่อง Thermogravimetric Analyzer ( TGA )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

-เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่างๆเสร็จสิ้น ผลที่ได้นั้นไม่เพียงพอที่จะสรุปได้ จึงได้ทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมโดยจะวิเคราะห์เชื้อเพลิงต่างๆของน้ำมันดีเซลและน้ำมันเครื่องของรถยนต์ Mazda2 โดยจะเก็บตัวอย่างของดีเซลธรรมดา ดีเซลพรีเมียม ดีเซล B10 ดีเซล B20 อย่างละ 1 ลิตร น้ำมันเครื่องรถยนต์ Mazda2 ที่ใช้แล้ว 4 คัน และน้ำมันเครื่องที่ยังไม่ได้ใช้ อย่างละ 0.8 ลิตร แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดไปวิเคราะห์ที่ Focus Lab



รูปที่ 3.45 ตัวอย่างการเก็บเชื้อเพลิงต่างๆ และน้ำมันเครื่องต้องเก็บในขวดใสที่ทางแลป Focus จัดหาไว้ให้  
แล้วต้องหุ้มด้วยถุงพลาสติกใสและมัดด้วยยาง จากนั้นให้ใส่ลงในขวดที่บอกระดับ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลต่างๆของตัวอย่างน้ำมันเครื่องรถยนต์ยี่ห้อ TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30 โดยจะเก็บที่ตำแหน่ง Crankcase ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ที่ Focus Lab

รุ่นรถยนต์	ทะเบียนรถยนต์	ขวดเลขที่	ปริมาณน้ำมันเครื่อง (ลิตร)	อายุการใช้งานน้ำมันเครื่อง (กม.)	วันที่เก็บตัวอย่าง
Mazda2	-	131519	3-1	-	(น้ำมันเครื่องใหม่)
Mazda2 1.5	7กพ 8001	131518	5-1	10000	27 สค. 2563
Mazda2 1.5	8กข 7676	131517	5-1	10000	28 สค. 2563
Mazda2 1.5	4กม 85	131516	5-1	10000	28 สค. 2563
Mazda2 1.5	6กข 2775	131515	5-1	10000	29 สค. 2563



รูปที่ 3.46 น้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วกับที่ยังไม่ได้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



Diesel Diesel B20 Diesel Premium Diesel B10

รูปที่ 3.47 เชื้อเพลิงดีเซลต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลที่นำมาวิเคราะห์ที่ Focus Lab

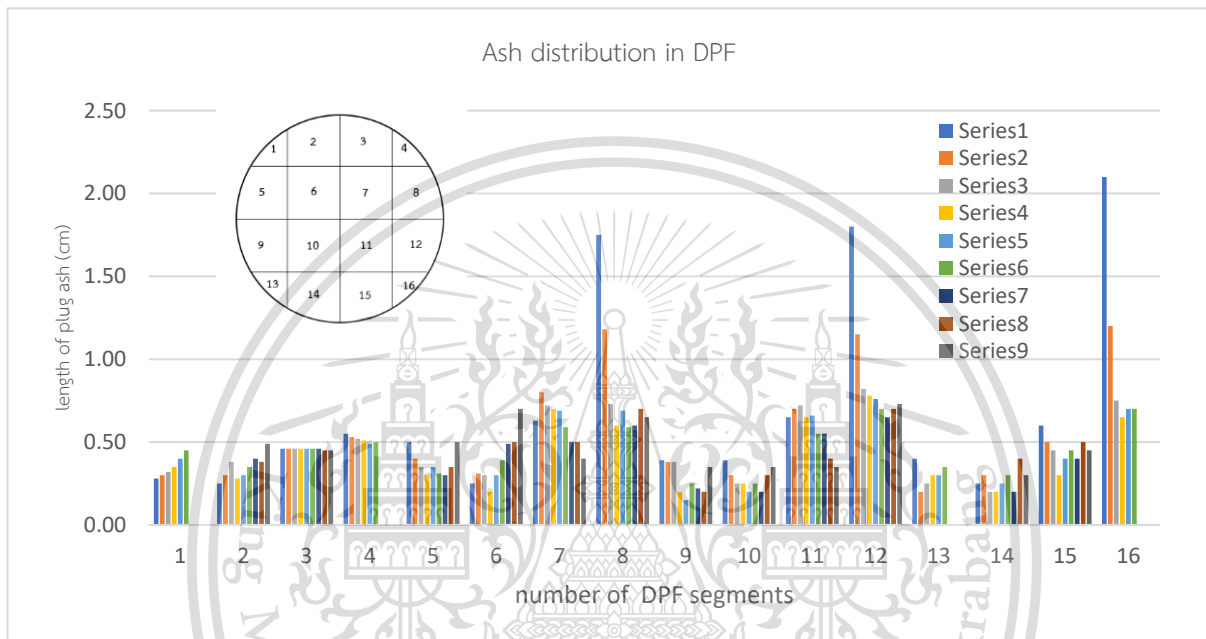
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 4

### ผลการทดลองหรือการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 การกระจายของ Ash ใน DPF

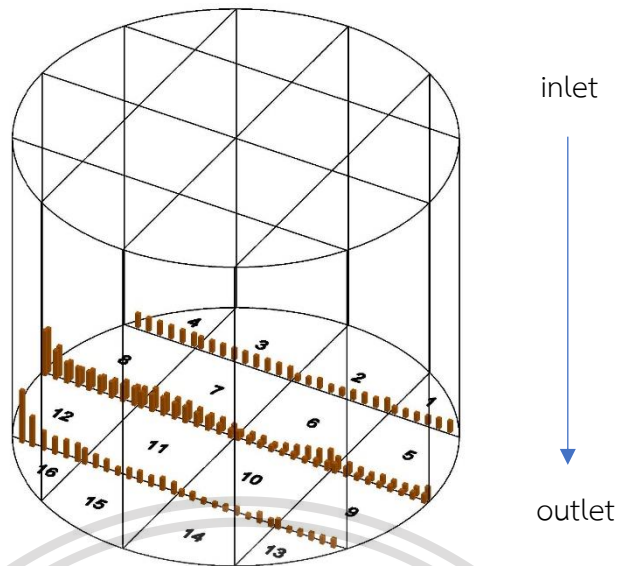


รูปที่ 4.1 การกระจายของ plug ash ใน DPF

การกระจายของ plug ash ในแกนนอนแสดงหมายเลขทั้ง 16 ส่วนที่ถูกนำผนังออกในแนวนอนของ DPF ซึ่งในแต่ละส่วนประกอบด้วยช่องที่มี plug ash อยู่ 6 – 9 ช่อง(ดังรูปที่ 6) ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแต่ละส่วนของ DPF และแกนตั้งแสดงความยาวของ plug ash ในหน่วยเซนติเมตร จากรูปความยาวของ plug ash อยู่ในช่วง 0.2 – 2.1 เซนติเมตร และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.47 เซนติเมตร จากความยาวของ DPF 12.5 เซนติเมตร ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของความยาว plug ash อย่างมาก ที่บริเวณขอบของ DPF หมายเลข 8, 12 และ 16 โดยมีความยาวสูงสุด 2.1 เซนติเมตร นั้นเป็น 5 เท่า ของค่าเฉลี่ย(ดังรูปที่ 1) โดยมีภาพ 3 มิติ(ดังรูปที่ 2) ที่สามารถแสดงของการกระจายของ plug ash ให้เห็นภาพชัดเจนยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามมีการศึกษาก่อนหน้านี้เกี่ยวกับลักษณะและขนาดของ PM จาก DPF ของรถบรรทุกขนาดเล็ก พบว่าตรงกลางของ DPF มีการสะสมของ ash มากกว่ารอบนอก ซึ่งอาจสันนิษฐานได้ว่า การกระจายของ plug ash ขึ้นอยู่กับลักษณะการดีไซน์ของเอกซอสที่ก่อนเข้าสู่ DPF ที่จะมีลักษณะเฉพาะของรถแต่ละคัน เป็นผลให้มีลักษณะการไหลของไอเสียที่แตกต่างกัน การคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



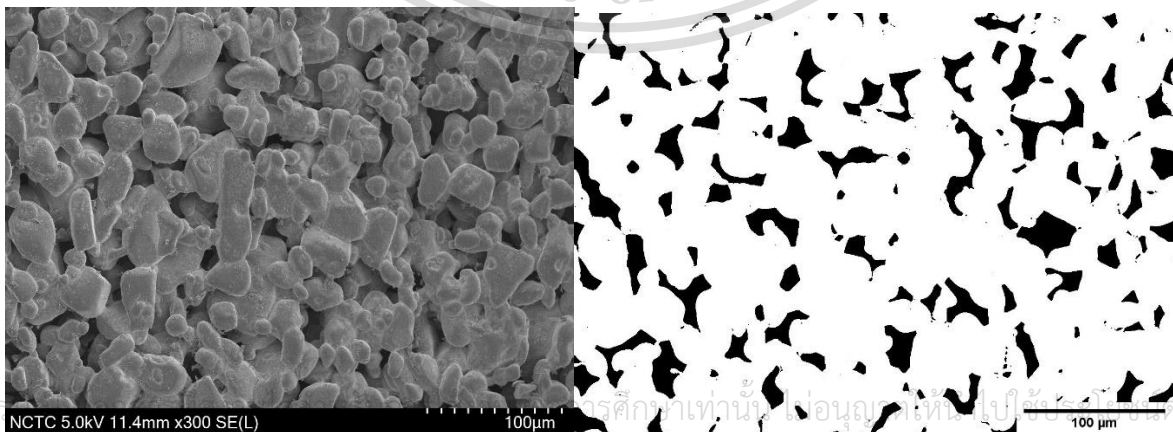
รูปที่ 4.2 ภาพ 3 มิติ แสดงการกระจายของ plug ash ใน DPF

## 4.2 ลักษณะเฉพาะของ DPF

### 4.2.1 ความพรุนและการกระจายตัวของรูพรุนของ DPF

ความพรุน คือ เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรช่องว่างต่อปริมาตรรวมของวัตถุ ซึ่งสามารถหาได้จากวิธี water displacement โดยการวัดปริมาตรของน้ำที่เพิ่มขึ้น จากการหาความพรุนของ DPF ทำให้ทราบว่า SiC Wall-Flow DPF นี้ มีความพรุน 41.52 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าความพรุนโดยทั่วไปของ SiC DPF

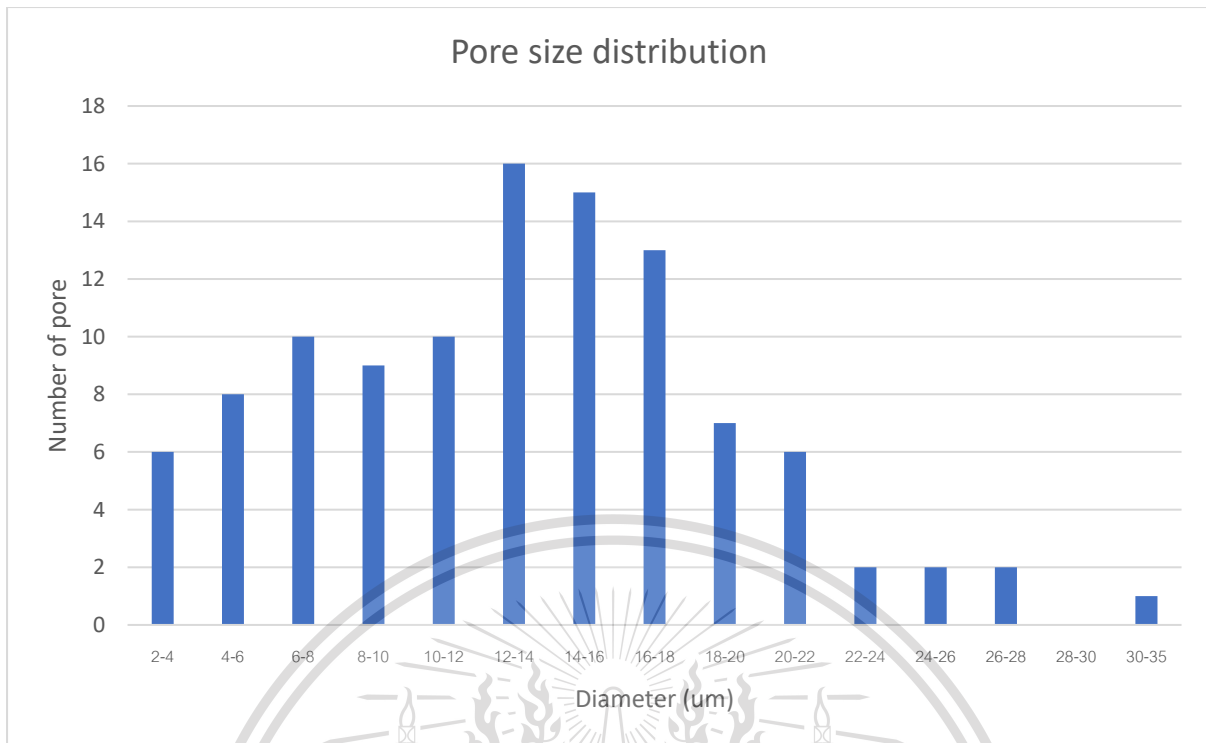
การวิเคราะห์การกระจายตัวของรูพรุนของ DPF จากภาพ B&W ของภาพ SEM ที่กำลังขยาย x300 โดยบริเวณสีดำแสดงถึงขนาดของรูพรุน ซึ่งเป็นลักษณะที่บ่งบอกถึงคุณสมบัติในการดักจับฝุ่นละออง และการเกิดแรงดันย้อนกลับ



รูปที่ 4.3 ภาพ SEM และ B&W ของ SiC DPF

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



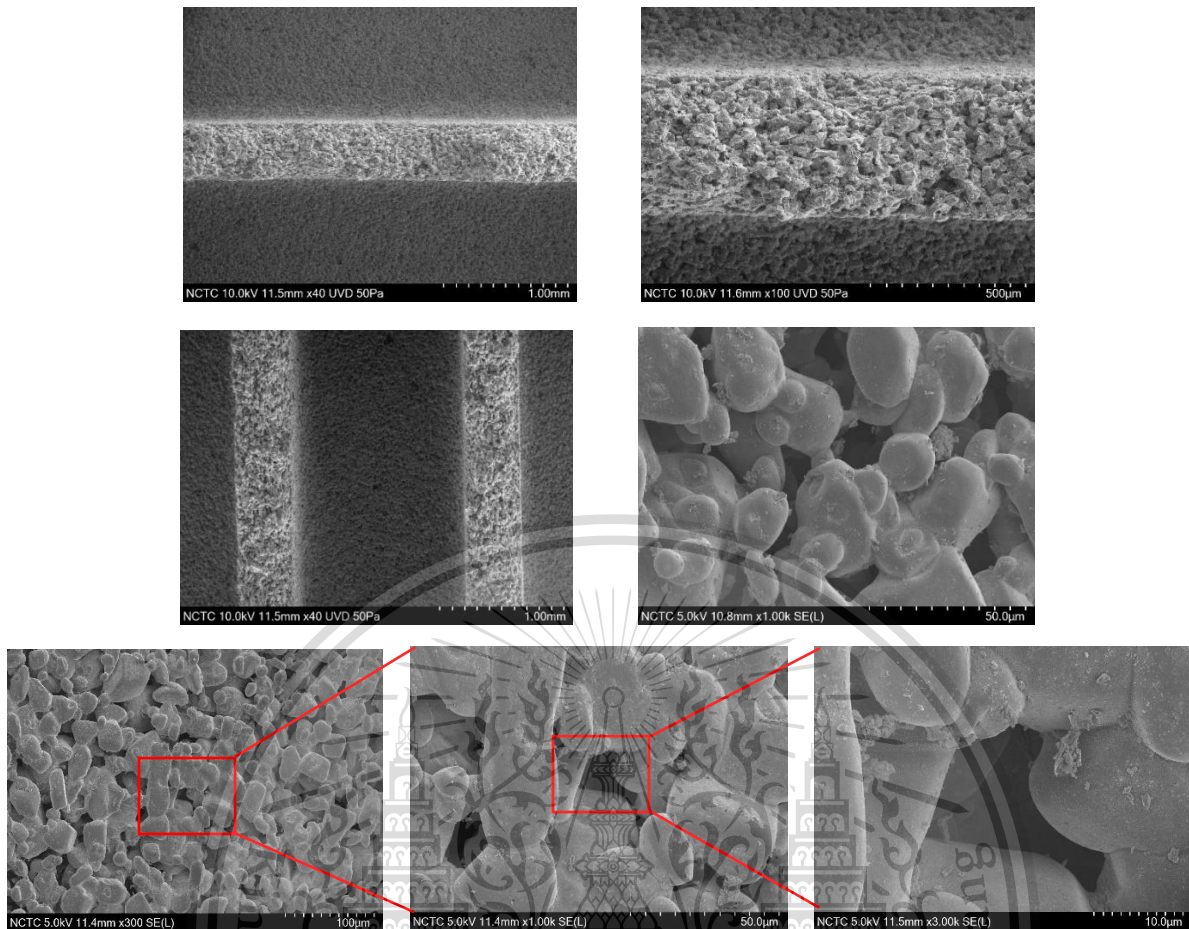
รูปที่ 4.4 กราฟการกระจายตัวของขนาดรูพรุน

จากกราฟการกระจายตัวของขนาดรูพรุนแสดงให้เห็นว่า ขนาดของรูพรุนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 12 – 18 ไมโครเมตร ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่มีขนาดเล็กจะทำให้มีประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นละอองมาก ในทางกลับกันรูพรุนขนาดเล็กจะส่งผลให้เกิดแรงดันย้อนกลับที่มากด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

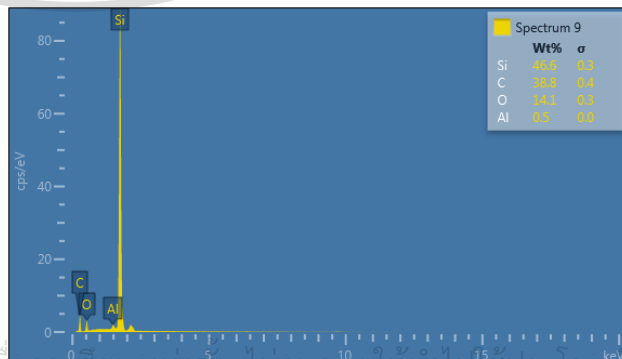
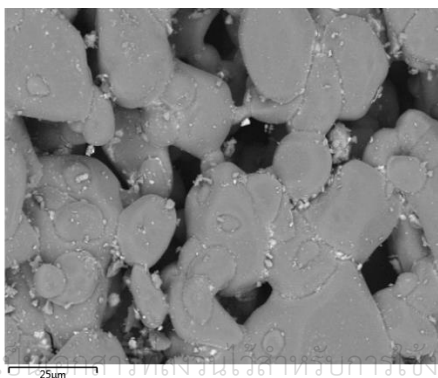
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 ภาพ SEM แสดงลักษณะทางกายภาพของ DPF

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นลักษณะทางกายภาพของ DPF ที่มีผนัง DPF ความหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ช่องการไหลเข้าของอากาศรูปสี่เหลี่ยมขนาด 1.5 x 1.5 มิลลิเมตร และช่องการไหลออกของอากาศขนาด 1.0 x 1.0 มิลลิเมตร ตรงตลอดความยาวของ DPF ซึ่งสามารถบอกได้ว่า DPF นี้ เป็น DPF ชนิด wall-flow filter



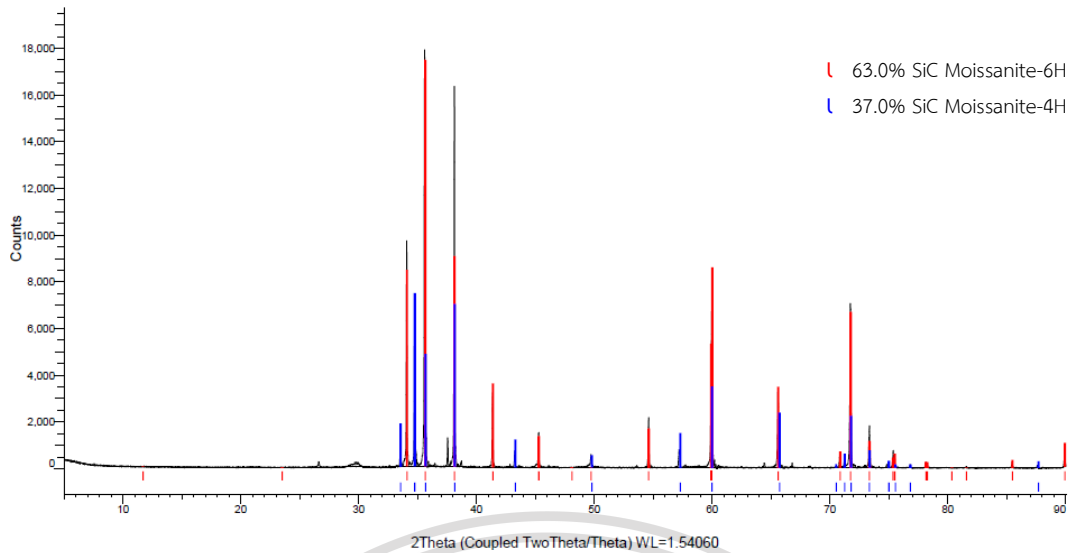
รูปที่ 4.6 ภาพ SEM และผลการวิเคราะห์ EDS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ XRD

จากภาพการวิเคราะห์ EDS ของ DPF ที่ผ่านการให้ความร้อน 900 องศาเซลเซียส เพื่อให้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ DPF ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมากที่สุด แสดงการกระจายของ Si และ C ในปริมาณที่สูงมาก และลักษณะทางกายภาพของพื้นผิว DPF ที่มีลักษณะคล้าย SiC DPF ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ XRD จึงสามารถสรุปได้ว่า DPF นี้ เป็น DPF ที่สร้างจาก SiC และไม่พบสัญญาณของ Pt Catalysts

#### 4.2.2 การสะสมตัวของ Ash

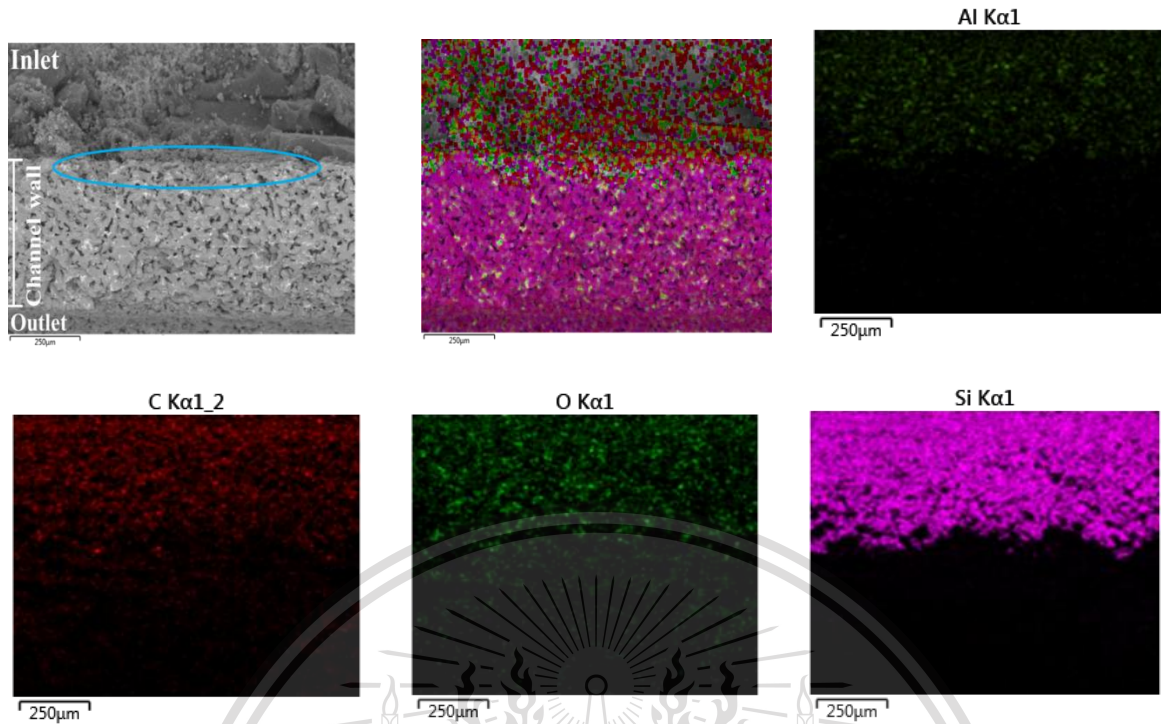


รูปที่ 4.8 การสะสมตัวของ Ash ภายใน DPF

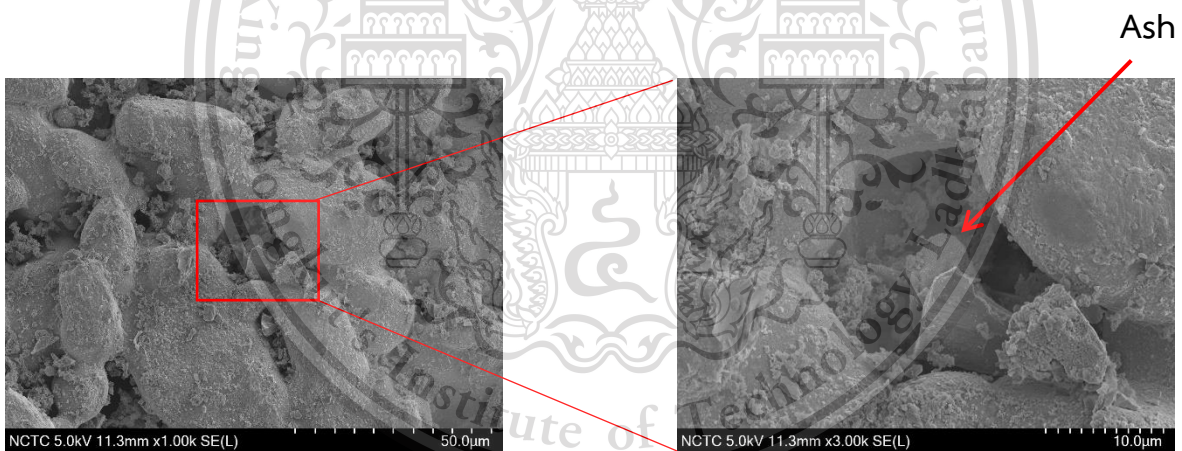
จากรูปที่ 4.8 จะสังเกตเห็นการอุดตันของ Ash ที่ตำแหน่งด้านท้ายของ DPF ( plug end ) ซึ่งกลไกที่ทำให้เขม่าเกิดการไหลจากผนัง DPF ไปยัง plug end คือการไหลของไอเสีย และการลดแรงยึดเกาะระหว่างเขม่ากับผิวของ DPF แรงของการไหลที่เพิ่มขึ้นทำให้อนุภาคของเขม่าหลุดออกจากพื้นผิว DPF และสะสมอยู่ที่ plug end และเมื่อเกิดการออกซิไดซ์ เขม่าที่ถูกสะสมจะกลายเป็น plug ash ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 ภาพ SEM และการวิเคราะห์ EDS mapping แสดงการฝังตัวของ Ash ภายในผนัง DPF



รูปที่ 4.10 ภาพ SEM แสดงการรวมตัวของ Ash ในรูปพูนของ DPF

จากภาพ SEM และผลการวิเคราะห์ EDS (รูปที่ 4.9) พบขี้เถ้าเล็กน้อยที่ฝังตัวลึกเข้าไปในผนังระหว่างทางเข้าและทางออก ประมาณ 20% ของความหนาของผนัง และพบเพียง Ash ที่เป็นสารประกอบของ Al เท่านั้น อาจหลุดรอดออกสู่บรรยากาศ แต่ Ash ที่หลุดรอดออกสู่บรรยากาศมีขนาดเล็กมาก และพิจารณาได้ว่า Ash ที่หลุดรอดมานั้นเป็นเพียงส่วนเล็กๆ ของการปล่อยมลภาวะ PM จาก DPF การรวมตัวของ Ash จะช่วยลดขนาดของรูปพูน ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกรอง แต่ในทางกลับกันหากมีการสะสมของ Ash มากเกินไปจนปิดรูปพูน ประสิทธิภาพในการกรองจะลดลง เนื่องจากอากาศไม่สามารถไหลผ่านได้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 4.3 องค์ประกอบทางเคมีและลักษณะของอนุภาคโลหะออกไซด์ใน Ash

ภาพ SEM กับการวิเคราะห์ EDS เผยให้เห็นว่า ธาตุที่พบ O, Fe, และ Ca ในปริมาณที่มากและพบ Zn, Si, S, Cu, P, Al ในปริมาณที่น้อย โดยในธาตุที่ระบุไว้ Fe, Cu, Zn, Cr และ O มักอยู่ในรูปของ Copper Zinc Chromium Iron Oxide ( $\text{Cu}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Cr}_{1.1}\text{Fe}_{0.9}\text{O}_4$ ) ซึ่งเป็นส่วนใหญ่ที่พบใน Ash และพบ Ca, S และ O ในรูป Calcium Sulfate ( $\text{CaSO}_4$ ) ซึ่งเป็นปกติใน Diesel Ash และเป็นไปตามการวิเคราะห์ XRF-XRD

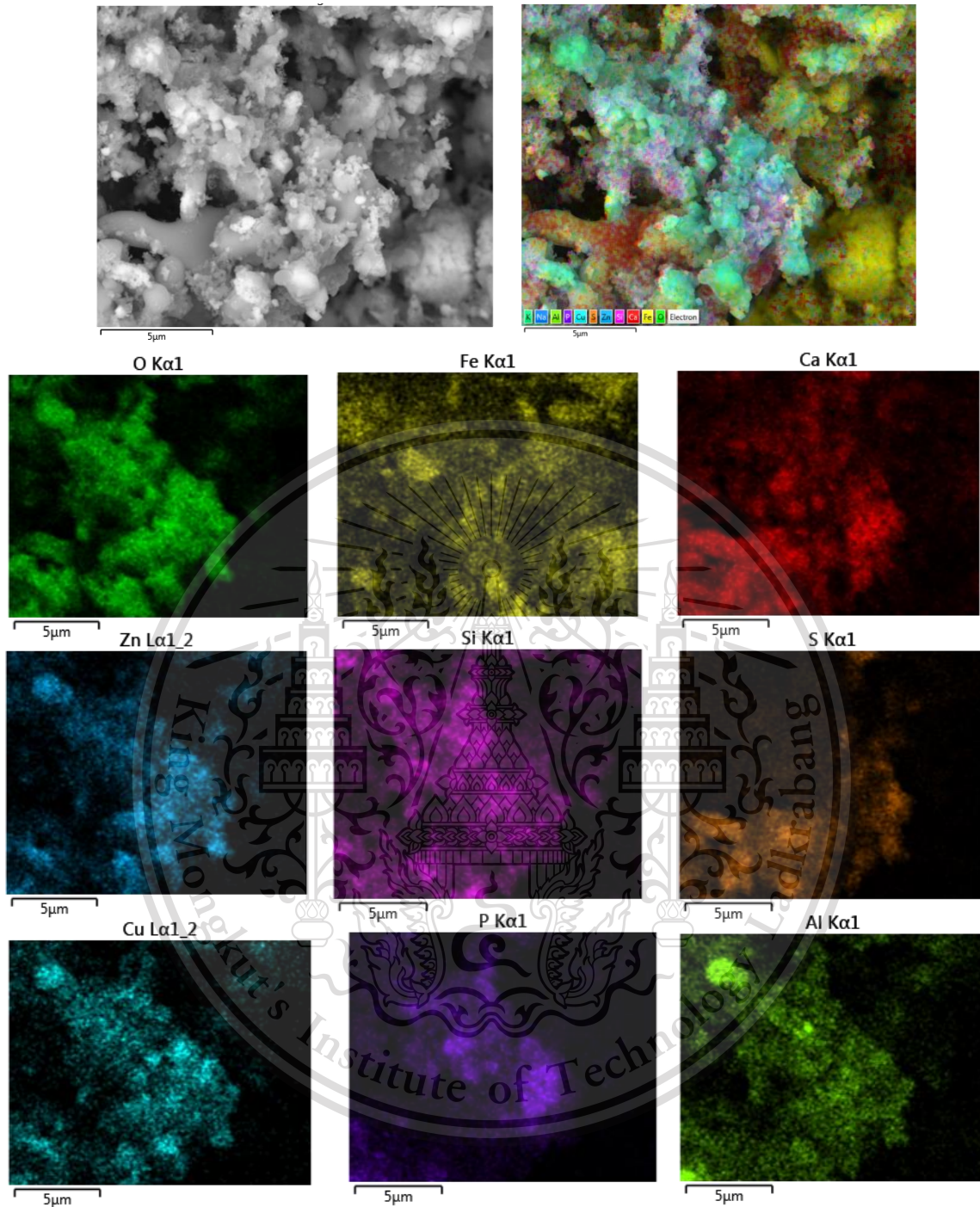
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ SEM-EDS mapping และ XRF ของผง Ash

Element in Ash	SEM-EDS (wt%)	XRF (wt%)
O	50.7	N/A
Fe	18.9	30.88
Ca	8.8	10.88
Zn	4.3	7.46
Si	4.3	16.18
S	3.8	9.16
Cu	3	9.47
P	2.4	7.92
Al	1.9	4.78
Na	1.2	N/A
K	0.7	1.17
Ni	N/A	0.99
Cr	N/A	0.71
Mn	N/A	0.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

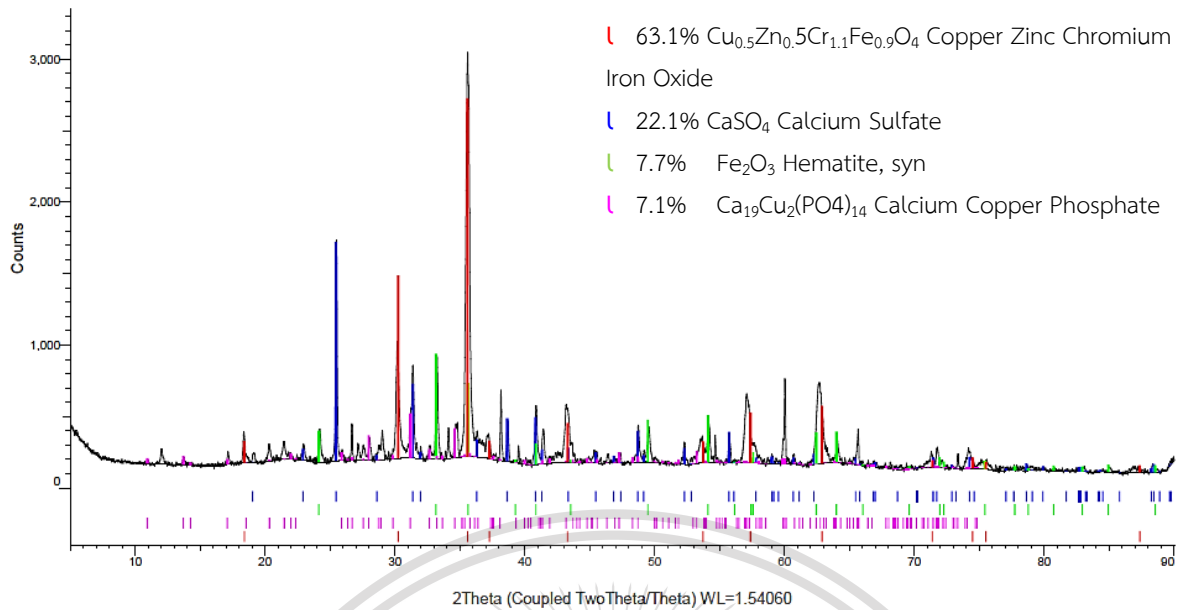


รูปที่ 4.11 ภาพ SEM และการวิเคราะห์ EDS mapping ของผง Ash

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ XRD-XRF ของผง Ash

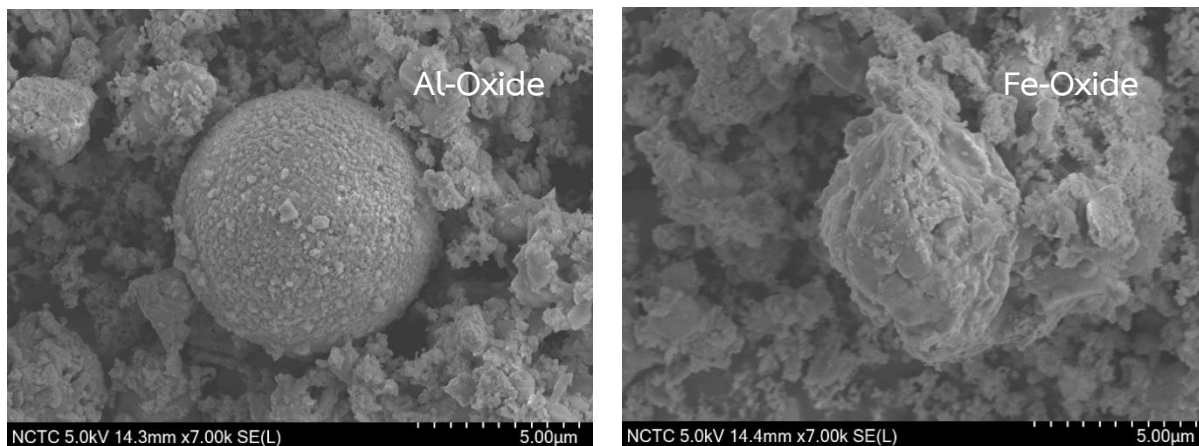
การวิเคราะห์ XRD-XRF ของผง Ash บอกให้ทราบถึงการปรากฏของ Copper Zinc Chromium Iron Oxide ( $\text{Cu}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Cr}_{1.1}\text{Fe}_{0.9}\text{O}_4$ ) ในปริมาณ 63.1% โดยน้ำหนัก Calcium Sulfate ( $\text{CaSO}_4$ ) ในปริมาณ 22.1% โดยน้ำหนัก Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ในปริมาณ 7.7% โดยน้ำหนัก และ Calcium Copper Phosphate ( $\text{Ca}_{19}\text{Cu}_2(\text{PO}_4)_{14}$ ) ในปริมาณ 7.1% โดยน้ำหนัก

โดยทั่วไป Fe มักเกิดจากการสึกหรอของชิ้นส่วนภายในระบบการทำงานของเครื่องยนต์ เช่น ห้องเผาไหม้ เทอร์โบชาร์จเจอร์ ระบบท่อต่าง ๆ รวมถึงระบบท่อไอเสีย เป็นต้น นอกจากนี้ สารประกอบ  $\text{SO}_4$  ที่มักเกิดจากสารเติมแตงน้ำมันหล่อลื่นและการเกิดปฏิกิริยาของ  $\text{SO}_4$  กับ  $\text{H}_2\text{O}$  โดย  $\text{H}_2\text{O}$  เกิดจากการเผาไหม้ และ  $\text{SO}_4$  เกิดจากการออกซิเดชัน ของ  $\text{SO}_2$  โดยมี Pt เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เคลือบอยู่บน DPF ส่วนธาตุทางเคมีอื่นๆที่พบจะรวมตัวร่วมกับ O และ P เช่น  $\text{PO}_4$  รวมถึงออกไซด์ของธาตุโลหะต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.13 ลักษณะของอนุภาคโลหะออกไซด์ใน Ash

จากการวิเคราะห์ SEM และการวิเคราะห์ EDS ชิ้นส่วนส่วนใหญ่เป็นชิ้นส่วนโลหะจากการสึกหรอของเครื่องยนต์หรือระบบท่อไอเสีย

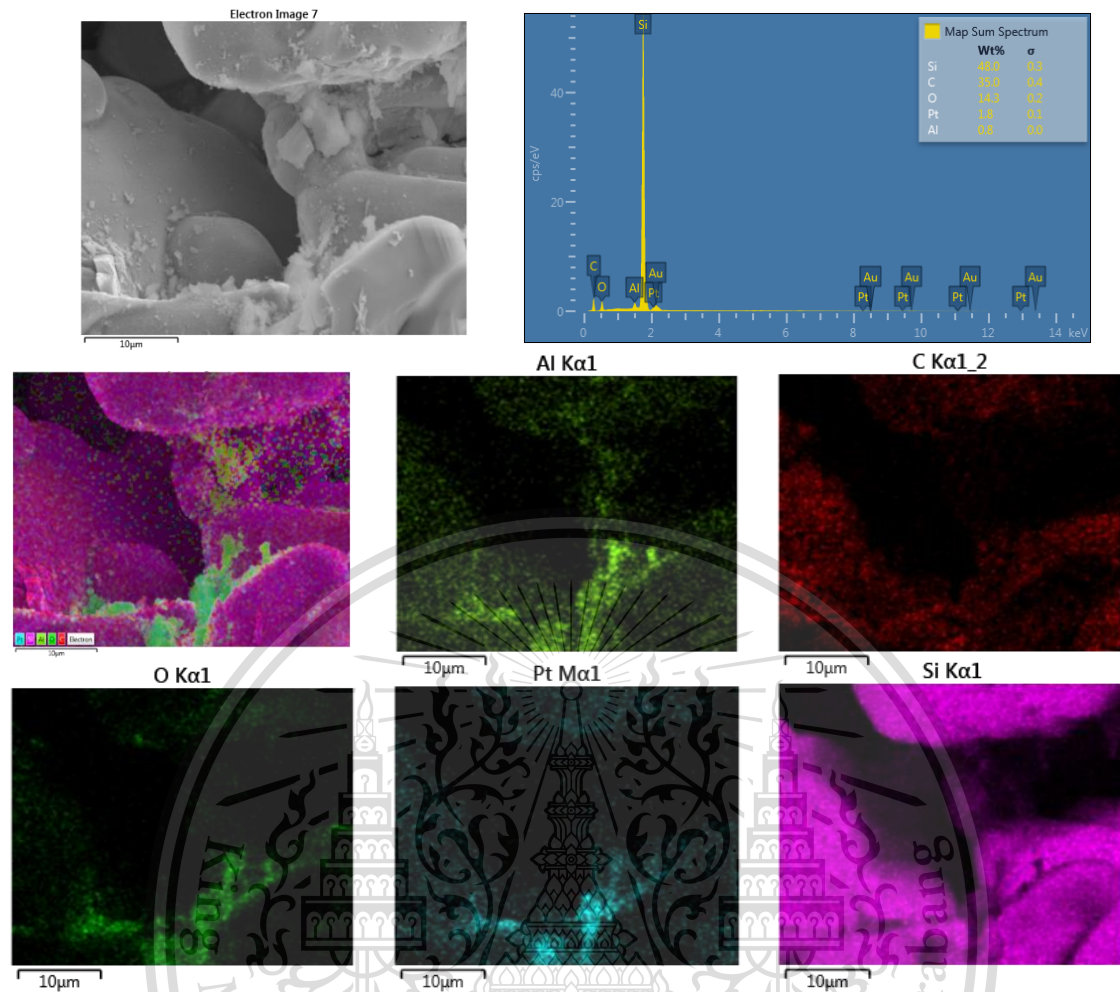
การระบายความร้อนอย่างรวดเร็วและการแข็งตัวของ Al-Oxide (รูปที่ 4.13) หลอมเหลวที่อุณหภูมิสูง สามารถอธิบายการเกิดอนุภาคทรงกลมในขี้เถ้า การหลอมของ  $Al_2O_3$  เกิดขึ้นที่อุณหภูมิมากกว่า 1630 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เกิดขึ้นได้ภายในห้องเผาไหม้เท่านั้น จึงสามารถอนุมานได้ว่า Al-Silicate มีส่วนเกี่ยวข้องในบางขั้นตอนของการบวนการเผาไหม้

ชิ้นส่วนของก้อน Fe-Oxide (รูปที่ 4.13) เกิดจากการออกซิเดชันที่อุณหภูมิสูงของ Fe ซึ่งการพบ Fe-Oxide ในลักษณะดังรูปแสดงให้เห็นถึงการรวมตัวระหว่างการหลอมเหลวและแข็งตัวอย่างรวดเร็ว โดยจุดหลอมเหลวของ Fe ประมาณ 1500 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิภายในหรืออุณหภูมิต่ำกว่าช่วงของอุณหภูมิการเผาไหม้ หรืออาจเกิดจากการสึกหรอที่เกิดจากเครื่องไทวและแรงเสียดทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.14 ภาพ SEM และการวิเคราะห์ EDS mapping ของอนุภาค Ash บนพื้นผิว DPF

ภาพ SEM และการวิเคราะห์ EDS mapping (ดังรูปที่ 4.14) เผยให้เห็นการปรากฏตัวของ Si, C, O, Pt และ Al ซึ่ง Si และ C จะอยู่ในรูปของ SiC ที่เป็นวัสดุในการสร้าง DPF และแสดงสิ่งที่น่าสนใจคือ การพบ Pt และ  $Al_2O_3$  กระจายอยู่บนพื้นผิวของ DPF ซึ่งอาจอนุมานได้ว่าอนุภาค Pt และ  $Al_2O_3$  มาจาก DOC (ติดตั้งก่อนเข้า DPF) ที่ถูกเคลือบด้วย  $Al_2O_3$  และ Pt เพื่อเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

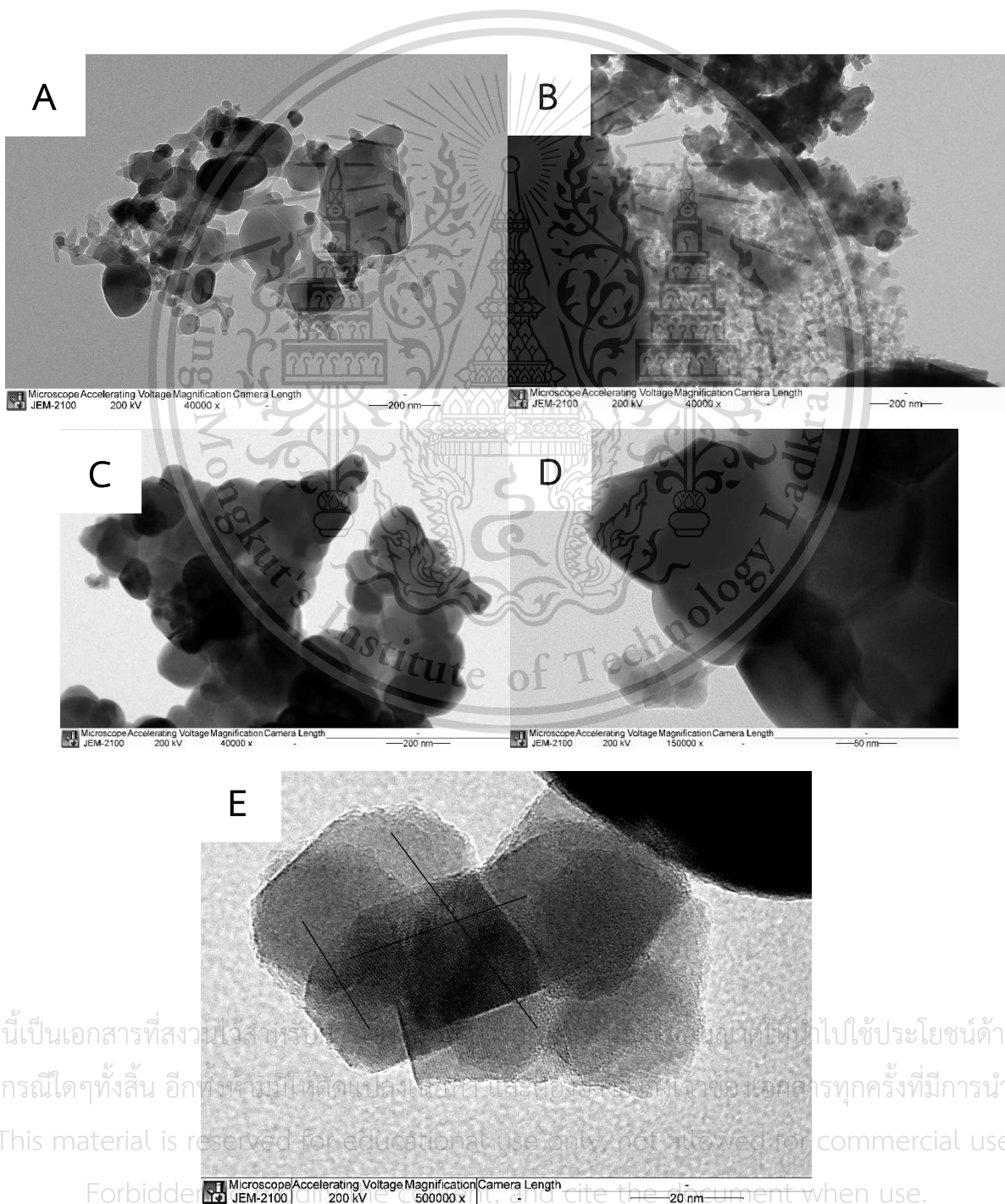
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 4.4 ภาพ TEM ของอนุภาค Ash

### 4.4.1 โครงสร้างการรวมตัวของอนุภาค Ash

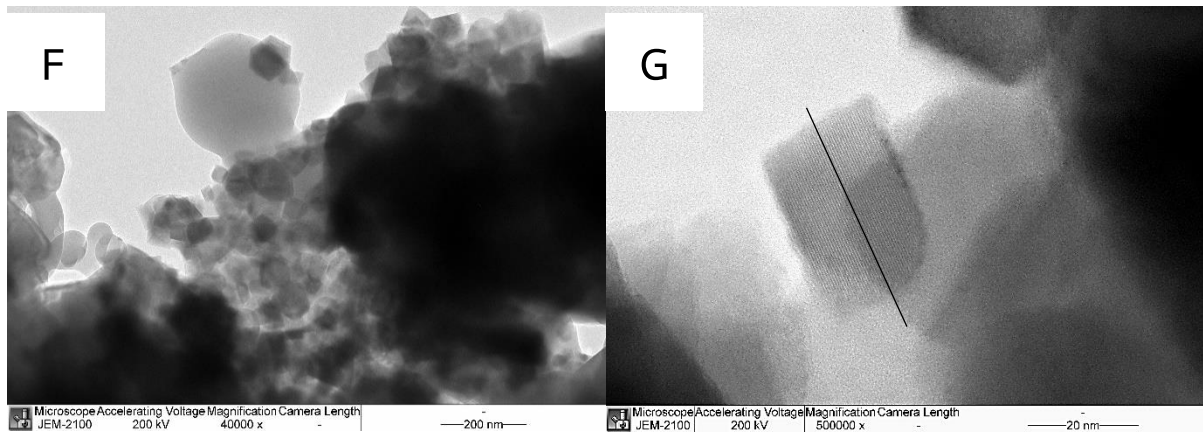
ภาพ TEM ถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาโครงสร้างระดับนาโนของแต่ละอนุภาคของ Ash ภาพ TEM แสดงให้เห็นโครงสร้างโดยรวมของอนุภาค ภาพ TEM (รูปที่ 4.15 A, B, C, F) แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของเขม่า Ash ส่วนใหญ่มีลักษณะกลมและมีขนาดตั้งแต่ 20 นาโนเมตร ไปจนถึงมากกว่า 200 นาโนเมตร ซึ่งอนุภาคที่ขนาดมากถึง 200 นาโนเมตร จะถูกจัดว่าเป็นเศษอนุภาคหยาบ (coarser particle fraction) การพบอนุภาคขนาดไม่กี่สิบนานาเมตรบอกลักษณะการก่อตัวโดยการควบแน่นของไอระเหยจากการเผาไหม้ อนุภาคเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นผลึก และในบางกรณีสามารถแยกแยะลักษณะตาข่าย (ดังรูปที่ 4.15 D, E, G)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง... และต้องสงวนสิทธิ์เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

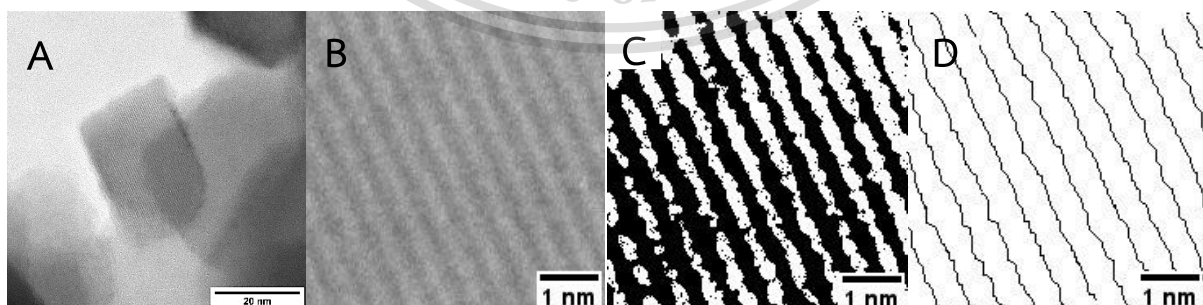
Forbidden to be used for any other purpose, and cite the document when use.



รูปที่ 4.15 ภาพ TEM ของกลุ่ม Ash (A, B, C, F) การรวมตัวของอนุภาคแต่ละตัวของ Ash (D, E, G) โครงสร้างผลึกของโลหะออกไซด์ใน Ash

#### 4.4.2 โครงสร้างกระดูกของเถ้าโลหะออกไซด์ (skeletonize of Metal Oxide Ash)

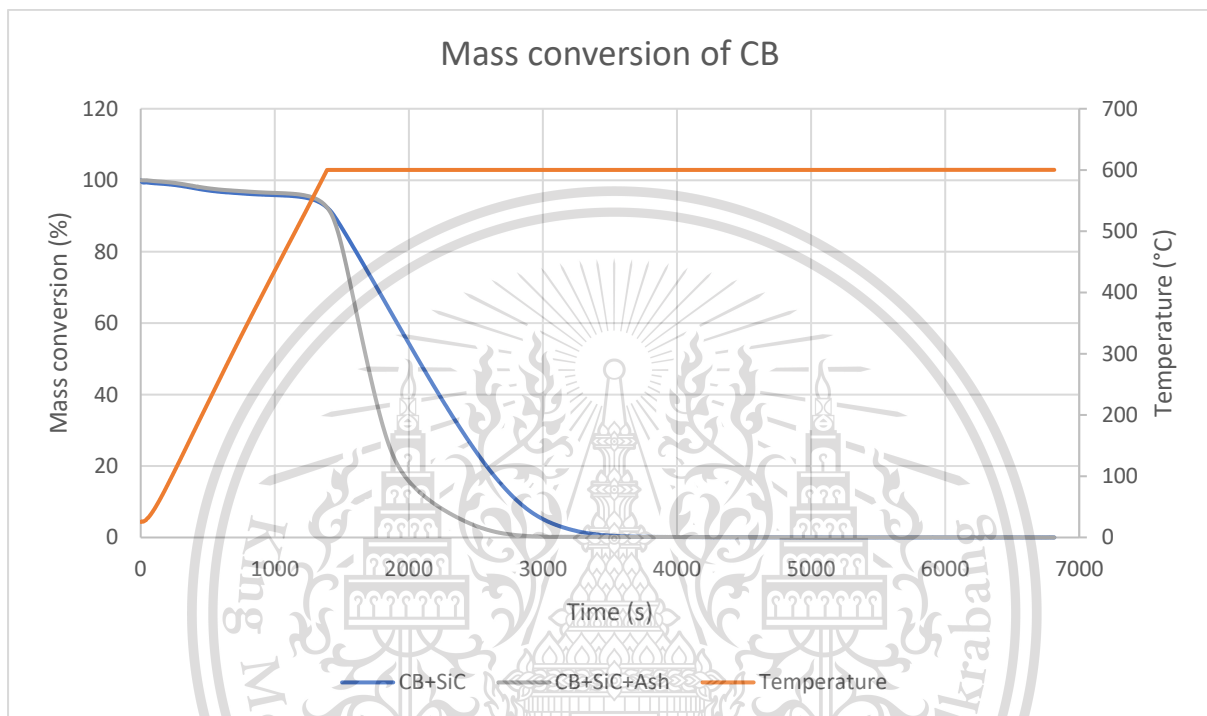
ซอฟต์แวร์ imagej ถูกใช้เพื่อศึกษาโครงสร้างกระดูก (skeletonize) ของเถ้าโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Ash) โดยการเปลี่ยนภาพ TEM เป็นภาพโครงสร้างกระดูก (skeletonize) โดยเริ่มจากการตัดภาพให้มีขนาด  $5 \text{ nm} \times 5 \text{ nm}$  แล้วแปลงให้เป็นภาพขาว-ดำ และสุดท้ายแปลงภาพขาวดำให้เป็นภาพโครงสร้างกระดูก (skeletonize) ซึ่งจากภาพโครงสร้างกระดูก (skeletonize) แสดงให้เห็นลักษณะตาข่ายตรงขนาน ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างกระดูก (skeletonize) ของเถ้าโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Ash) อนุภาคขนาดเล็กที่รวมตัวกันส่งผลให้ Ash มีความหนาแน่นขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นในระหว่างการ regeneration



รูปที่ 4.16 (A) ภาพ TEM เถ้าโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Ash), (B) ภาพตัดขนาด  $5 \text{ nm} \times 5 \text{ nm}$  ของเถ้าโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Ash), (C) ภาพขาว-ดำของเถ้าโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Ash), (D) ภาพโครงสร้างกระดูก (skeletonize) ของเถ้าโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Ash)

## 4.5 TGA

การวิเคราะห์กลไกการเผาไหม้ของ CB+SiC โดยการใช้ Thermogravimetric Analysis (TGA) โดยมี การให้ความร้อน 2 ช่วง คือ 1. การเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 600 องศาเซลเซียส โดยใช้แก๊สไนโตรเจน 2. การเผาไหม้โดยใช้อากาศในการให้ความร้อน โดยควบคุมอุณหภูมิคงที่ที่ 600 องศาเซลเซียส

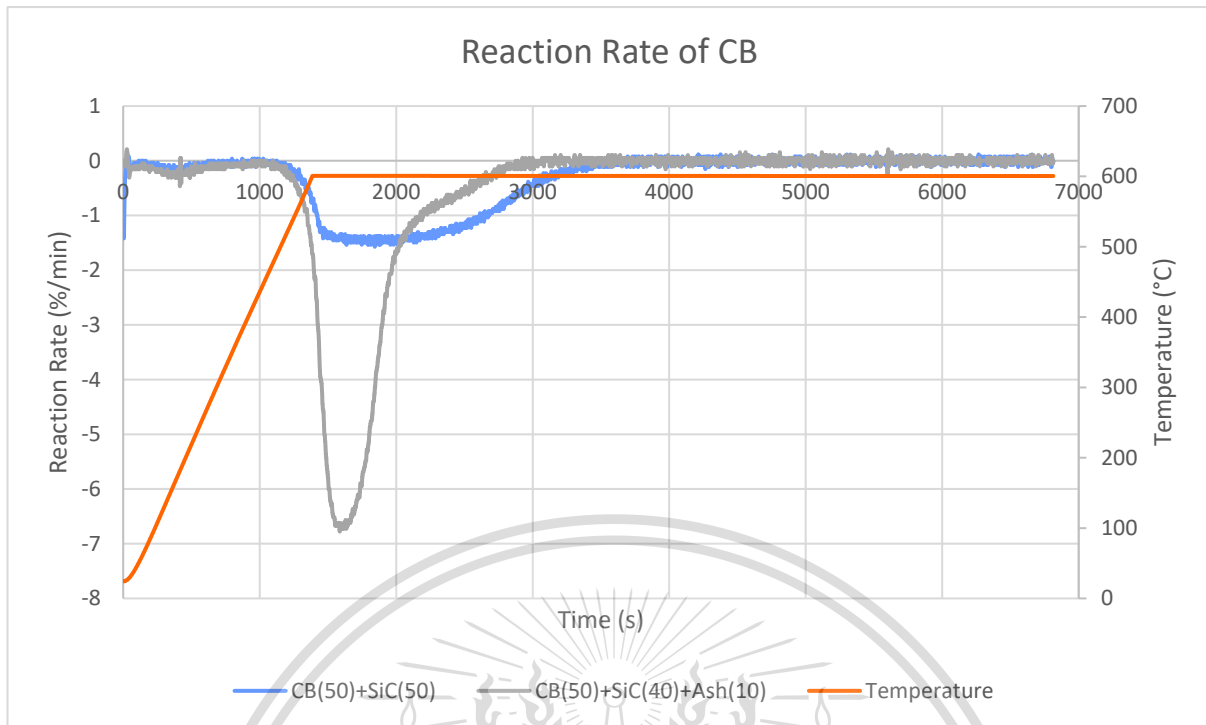


รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงของมวล CB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

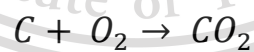
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.18 อัตราการเปลี่ยนแปลงของมวล CB

จากกราฟมีการลดลงของมวลบางส่วนในช่วงของการเพิ่มอุณหภูมิโดยใช้แก๊สไนโตรเจน ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันของ SOF, HC และของเหลวที่อยู่บนพื้นผิวของตัวอย่าง และในช่วงของการเผาไหม้ จะเห็นว่าตัวอย่าง CB+SiC+Ash มีอัตราการลดลงของมวล CB มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการลดลงของตัวอย่าง CB+SiC และตัวอย่างที่มี Ash มีการออกซิเดชัน CB จนหมดเร็วกว่าตัวอย่างที่ไม่มี Ash ประมาณ 12 นาที ซึ่งเป็นผลมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่อยู่ใน Ash โดยสมการเคมีของการเผาไหม้ เป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

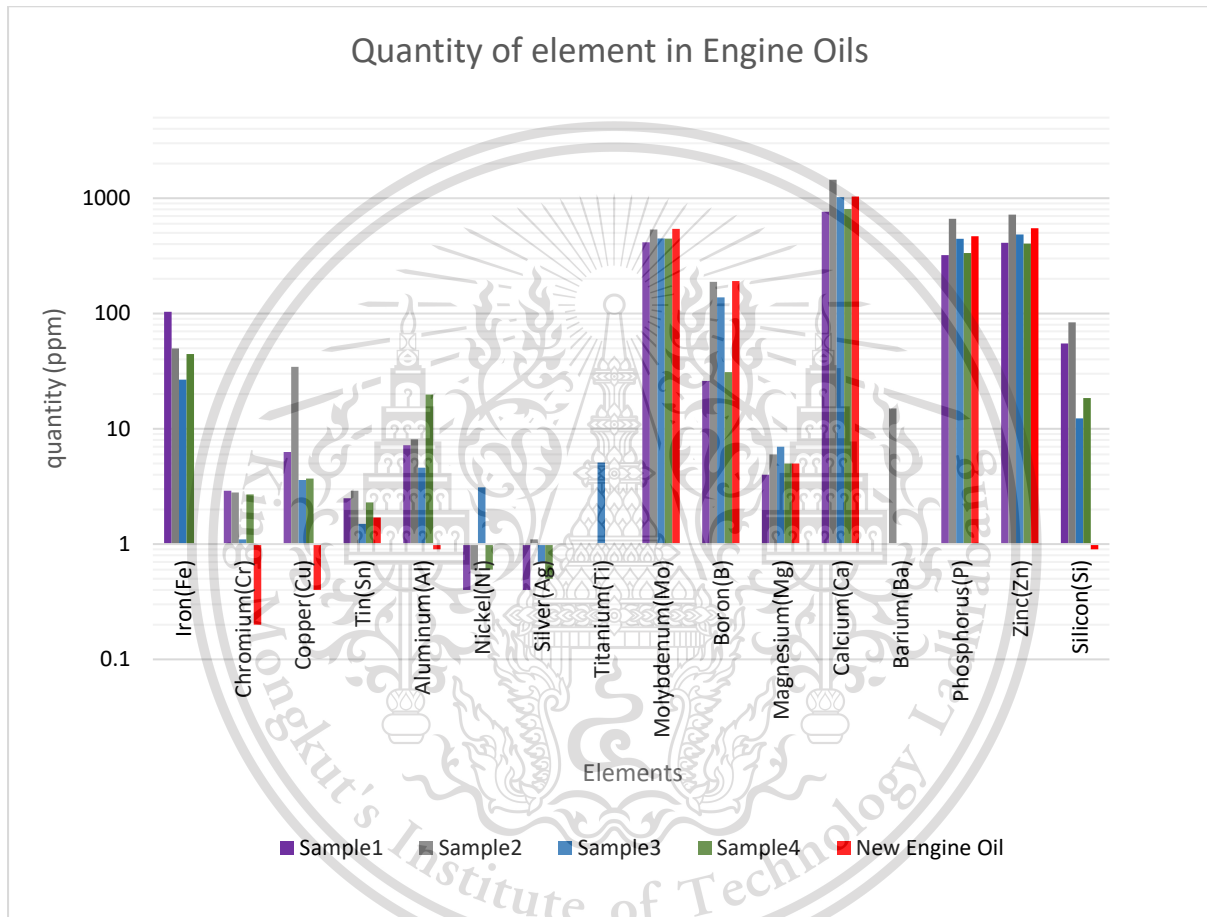
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.6 ผลการตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเชื้อเพลิงถูกนำส่งไปยังที่ FOCUSLUB เพื่อตรวจสอบปริมาณของธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในตัวอย่างน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเชื้อเพลิง

##### 4.6.1 น้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นใหม่และที่ใช้แล้วรุ่น TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30 อายุการใช้งาน 10,000 กิโลเมตร ถูกจัดเก็บจากตำแหน่ง Crankcase ของเครื่องยนต์รถ Mazda 2 จำนวน 4 คัน



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงปริมาณของธาตุต่าง ๆ ที่พบในน้ำมันหล่อลื่น

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุต่าง ๆ จากน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วกับน้ำมันเครื่องใหม่จะพบการปรากฏตัวของ Fe, Cr, Cu, Al เพิ่มขึ้นในปริมาณมาก และ B, Mg, Ca, P และ Zn ถูกพบอยู่ในทั้งน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้แล้วและน้ำมันหล่อลื่นใหม่ซึ่ง Fe, Cr, Cu และ Al ถูกจัดเป็นธาตุที่มาจากกรังการสึกหรอ ที่อาจมาจากการสึกหรอ

ของชิ้นส่วนต่างๆ ของระบบเครื่องยนต์ ระบบที่ก่อนเข้าเครื่องยนต์และระบบที่หลังออกจากเครื่องยนต์

ส่วน B, Mg, Ca, P และ Zn เป็นสารเติมแต่งที่ถูกผสมไปในน้ำมันหล่อลื่นเพื่อเสริมประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องยนต์ และ Si ที่ถูกตรวจสอบพบ เกิดจากอนุภาคของทรายในอากาศที่สามารถผ่านระบบกรอง

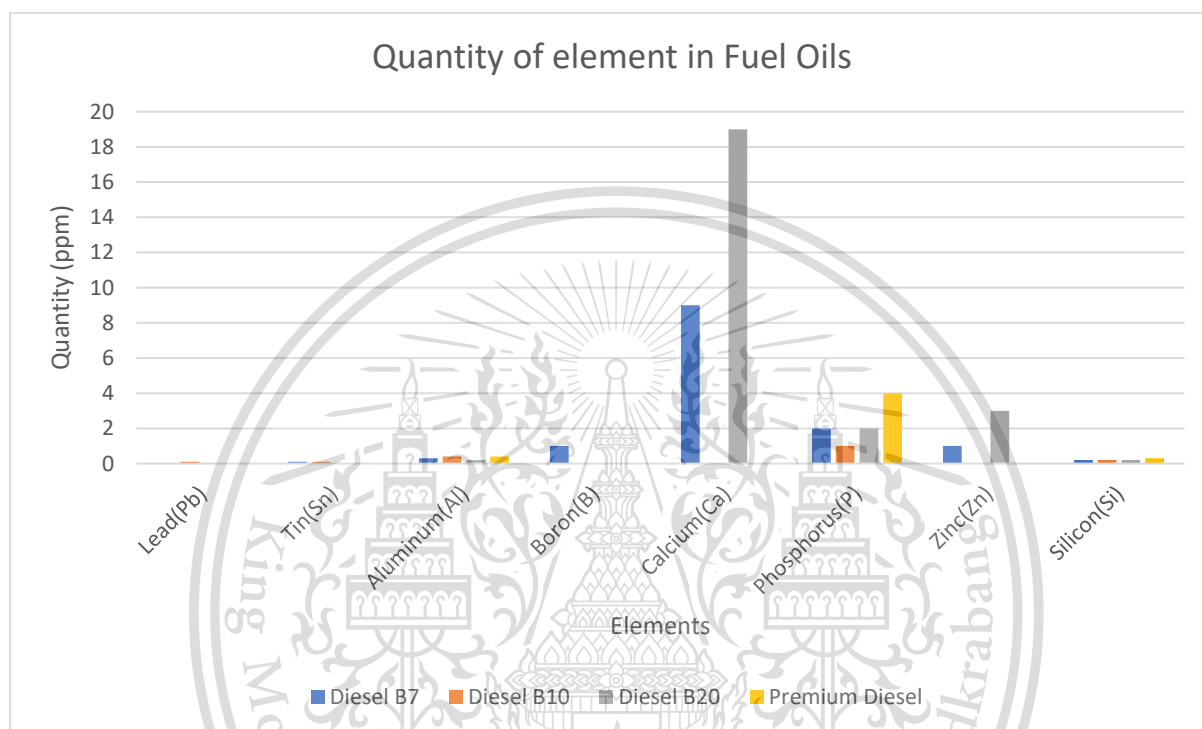
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อากาศและเข้าไปเจือปนอยู่ในน้ำมันหล่อลื่นและหากนำมาเปรียบกับผลการตรวจสอบ Ash จะสามารถบอกได้ว่าการสึกหรอของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบเครื่องยนต์ ส่งผลให้เกิดการสะสมของ Ash มากที่สุด และรองลงมาคือ สารเติมแต่งที่ถูกผสมไปในน้ำมันหล่อลื่น

#### 4.6.2 น้ำมันเชื้อเพลิง

น้ำมันเชื้อเพลิง ดีเซล, ดีเซล B10, ดีเซล B20, ดีเซล พรีเมียม จากสถานีบริการน้ำมัน ปตท.



รูปที่ 4.20 กราฟแสดงปริมาณของธาตุต่าง ๆ ที่พบในน้ำมันเชื้อเพลิง

จากผลการตรวจสอบน้ำมันเชื้อเพลิง Al, B, Ca, P และ Zn ถูกพบในตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิง ธาตุ Al, B, Ca, P และ Zn ถูกใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเสริมประสิทธิภาพการทำงาน และเป็นโลหะที่พบได้ใน Ash และมีสิ่งที่น่าสนใจคือ Ca ถูกพบในน้ำมันเชื้อเพลิงชนิด ดีเซลและดีเซล บี20 เท่านั้น และพบในปริมาณมากเมื่อเทียบกับปริมาณของธาตุอื่น ๆ ดังนั้นอาจบอกได้ว่า การใช้น้ำมันดีเซล บี20 ส่งผลให้เกิดการสะสมของ Ash มากที่สุด และน้ำมันดีเซลส่งผลรองลงมา เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลทั้ง 4 ชนิด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การสึกหรอของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบเครื่องยนต์ และสารเติมแต่งในน้ำมันเครื่อง ถือว่าน้ำมันเชื้อเพลิงมีผลต่อการสะสมของ Ash น้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 5

### การวิจารณ์หรืออภิปรายผล

จากการศึกษาอนุภาคเขม่า Ash และเทคโนโลยีหลังการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลของรถยนต์ Mazda 2 ทำให้ได้ข้อสรุปดังนี้

1. เขม่า Ash มีการสะสมจนกลายเป็น plug ash อยู่ที่ด้านท้ายของ DPF ซึ่งมีการกระจายตัวอยู่ที่บริเวณขอบของ DPF มากที่สุด โดยมีความยาวของ plug ash มากสุดถึง 2.1 เซนติเมตร และสันนิฐานว่า การกระจายตัวของ plug ash ขึ้นอยู่กับลักษณะการดีไซด์ของท่อก่อนเข้าสู่ DPF ที่จะมีลักษณะเฉพาะของรถแต่ละคัน เป็นผลให้มีลักษณะการไหลของไอเสียที่แตกต่างกัน

2. SiC DPF ชนิด wall-flow filter มีขนาดของรูพรุนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 12 – 18 ไมโครเมตร และมีเปอร์เซ็นต์ค่าความพรุน 41.52 เปอร์เซ็นต์

3. การวิเคราะห์ EDS และ XRD-XRF พบ O, Fe, Ca, Zn, Si, S, Cu, P และ Al ในผง Ash ซึ่งปรากฏในรูปของ Copper Zinc Chromium Iron Oxide ( $Cu_{0.5}Zn_{0.5}Cr_{1.1}Fe_{0.9}O_4$ ), Calcium Sulfate ( $CaSO_4$ ), Hematite ( $Fe_2O_3$ ), Calcium Copper Phosphate ( $Ca_{19}Cu_2(PO_4)_{14}$ ) ซึ่งมีการปรากฏของ Fe ในปริมาณที่สูงมากที่สุด

4. อนุภาคของเขม่า Ash ส่วนใหญ่มีลักษณะกลมและมีขนาดตั้งแต่ 20 นาโนเมตร ไปจนถึงมากกว่า 200 นาโนเมตร อนุภาคเหล่านี้เป็นผลึก และในบางกรณีสามารถแยกแยะลักษณะตาข่าย โครงสร้างกระดูก (skeletonize) แสดงให้เห็นลักษณะตาข่ายตรงขนาน ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างกระดูก (skeletonize) ของถ้าโลหะออกไซด์ (Metal Oxide Ash)

5. การออกซิเดชันของตัวอย่าง CB(50)+SiC(40)+Ash(10) มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาเร็วกว่าการออกซิเดชันของตัวอย่าง CB(50)+SiC(50) และมีการออกซิเดชัน CB จนหมดเร็วกว่าประมาณ 12 นาที ซึ่งเป็นผลมาจากตัวเร่งปฏิกิริยาใน Ash

6. จากการตรวจสอบน้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถบอกได้ว่า Fe ที่พบในปริมาณมากที่สุด ในผง Ash อาจมาจากการสึกหรอของชิ้นส่วนต่าง ๆ ของระบบเครื่องยนต์หรือสนิมจากท่อไอเสียก่อนเข้าอุปกรณ์กรองมลพิษอนุภาคดีเซล ส่วนธาตุอื่น ๆ ที่พบในผง Ash มาจากสารเติมแต่งในน้ำมันหล่อลื่นและน้ำมันเชื้อเพลิง รองลงมาตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Manufacturers of Emission Controls Association (2014). **Retrofitting Emission Controls for Diesel-Powered Vehicles**, November 2014.
- [2] A. Liati, P. Dimopoulos Eggenschwiler, E. Müller Gubler, D. Schreiber, M. Aguirre (2012). **Investigation of diesel ash particulate matter: A scanning electron microscope and transmission electron microscope study**, Atmospheric Environment, 49 (2012) 391-402.
- [3] Haohao Wang, Yunshan Ge, Jianwei Tan, Lijun Hao, Legang Wu, Jia Yang, Qinghong Du, Haojie Zhang, Yanmin Huang, Yitian Chen, Xiang Li & Zihang Peng (2018): **Ash deposited in diesel particulate filter: a review, Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, DOI: 10.1080/15567036.2018.1550539.
- [4] Achim Dittler (2012). **Ash Transport in Diesel Particle Filters**, SAE Technical paper, doi:10.4271/2012-01-1732.
- [5] K Hanamura, P Karin, L Cui, P Rubio, T Tsuruta, T Tanaka, and T Suzuki (2009). **Micro- and macroscopic visualization of particulate matter trapping and regeneration processes in wall-flow diesel particulate filters**, special issue paper, doi:10.1243/14680874JER04209.
- [6] T. Ishizawa, H. Yamane, H. Satoh and K. Sekiguchi (2009). **Investigation into Ash Loading and Its Relationship to DPF Regeneration Method**, SAE Technical paper, 2009-01-2882.
- [7] Mr. Phyo Zin Ko Ko (2019). **Impact of Engine Oil Contamination in Diesel and HVO on Particulate Matter's Micro- and Nanostructure using Electron Microscopy Image Analysis**, INTERNATIONAL COLLEGE KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG, KMITL-2018-IC-M-004-009.
- [8] MR.SETTAVIT SIRIVAROCHA (2019). **Investigation of Titanium dioxide Aluminium fluoride and Vanadium oxide on Mullite DPFs Microstructure and Trapping mechanism**, INTERNATIONAL COLLEGE KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG, KMITL-2018-IC-M-004-011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



# ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ภาคผนวก ก

## รายงานการทดสอบน้ำมันเครื่องและน้ำมันเชื้อเพลิง



ISO9001:2015 Certified

FocusLab Ltd.

C U S T O M E R	<b>Code</b> : 20010	<b>Unit ID</b> : <b>NEW OIL TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA</b>
	<b>Name</b> : KMITL	<b>DPF SAE 0W30</b>
	<b>Address</b> : 3 Moo 2, Chalokkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520	<b>Unit Type</b> : NEW OIL
	<b>Site</b> :	<b>Unit Make</b> : (not available)
	<b>Location</b> :	<b>Unit Model</b> : (not available)
	<b>Test code</b> : 601.200	<b>Oil type / Viscosity</b> : TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30
		<b>Oil System Capacity</b> :

**Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)**

Data is provided below.

Condition History	Current Sample			Previous Sample	Baseline and Alarm Limit		
	Wear	Oil	Cont.				
<b>Lab ID</b>							
<b>Bottle ID</b>							
<b>Date Sampled</b>							
<b>Oil Hours (Kms)</b>							
<b>Unit Hours (Kms)</b>							
<b>Oil Change</b>							
<b>Oil Added (Liters)</b>							
<b>Filters Hours (Kms)</b>							
<b>Wear Condition</b>							
<b>Wear Element</b>	<b>Method</b>	<b>Unit</b>	<b>Fine Wear (ICP-AES)</b>	<b>Coarse Wear (RFS-AES)</b>	<b>Reference On</b>	<b>Fine Wear (ICP)</b>	<b>Coarse Wear (RFS)</b>
Iron	D-5185	PPM	0.0		RO	U-Caution	U-Caution
Chromium	D-5185	PPM	0.2			U-Warning	U-Warning
Lead	D-5185	PPM	0.0				
Copper	D-5185	PPM	0.4				
Tin	D-5185	PPM	1.7				
Aluminum	D-5185	PPM	0.9				
Nickel	D-5185	PPM	0.0				
Silver	D-5185	PPM	1.0				
Molybdenum	D-5185	PPM	541.7				
Titanium	D-5185	PPM	0.0				
PQ Index	D-5184	Index					
<b>Oil Condition</b>							
Viscosity @ 40° C	D-445	cSt			RO	L-Warning	L-Caution
Viscosity @ 100° C	D-445	cSt					
Oxidation	D-7414	Abs					
Nitration	D-7624	Abs/cm					
Acid Number	D-874	mg KOH/g					
Base Number	D-4739	mg KOH/g					
<b>Contamination</b>							
Water	E-2412	% (Wt.)			RO		U-Caution
Fuel	In-house	% (Wt.)					U-Warning
Glycol	E-2412	Abs	N/A				
Soot in Oil	E-2412	% (Wt.)					
Soot Dispersancy (100-0)	D7899M	Index					<50 <30
Vanadium	D-5185	PPM	0				
Sodium	D-5185	PPM	0				
Silicon	D-5185	PPM	0.9				
<b>Additive Element</b>							
Boron	D-5185	PPM	191		RO		
Magnesium	D-5185	PPM	5				
Calcium	D-5185	PPM	1035				
Barium	D-5185	PPM	0				
Phosphorus	D-5185	PPM	468				
Zinc	D-5185	PPM	549				
<b>Additional Test</b>							
Flash Point	D-3828	°C			RO	L-Warning	L-Caution
Viscosity Index	D-2270						U-Caution

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or **N** : NORMAL , **C** or **A** : CAUTION (first level warning limit) , **W** or **W** : Warning (second level warning limit)  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.

Focuslab Ltd. Bangkok Thailand www.focuslab.co.th focuslab@focuslab.co.th

FL-6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1: รายงานการทดสอบน้ำมันเครื่องใหม่ TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

<p><b>C</b> Code : 20010 <b>U</b> Name : KMITL <b>S</b> <b>T</b> <b>O</b> <b>M</b> Address : 3 Moo 2, Chalongsung Road Ladkrabang Bangkok 10520 <b>E</b> Site : <b>R</b> Location : Test code : 601.200</p>	<p><b>E</b> Unit ID : 4 85 Eng <b>Q</b> <b>U</b> <b>I</b> Unit Type : Engine Diesel <b>P</b> Unit Make : MAZDA <b>M</b> Unit Model : MAZDA 2 1.5L <b>E</b> <b>N</b> <b>T</b> <b>O</b> Oil type / <b>I</b> Viscosity : TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30 <b>L</b> Oil System Capacity : 5.1 Liters</p>
---	--

**Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)**

Data is provided below.

			Current Sample		Previous Sample	Baseline and Alarm Limit												
Condition History			Wear	Oil	Cont.													
<b>Lab ID</b>			20091074			<table border="1"> <tr><td><b>Alarm Limit</b></td></tr> <tr><td>Alarm Limit Matrix -Set Name (Equipment type / oil type)</td></tr> <tr><td>No Interpretation Required</td></tr> </table>	<b>Alarm Limit</b>	Alarm Limit Matrix -Set Name (Equipment type / oil type)	No Interpretation Required	<table border="1"> <tr><td><b>B</b></td></tr> <tr><td><b>A</b></td></tr> <tr><td><b>S</b></td></tr> <tr><td><b>E</b></td></tr> <tr><td><b>L</b></td></tr> <tr><td><b>I</b></td></tr> <tr><td><b>N</b></td></tr> <tr><td><b>E</b></td></tr> </table>	<b>B</b>	<b>A</b>	<b>S</b>	<b>E</b>	<b>L</b>	<b>I</b>	<b>N</b>	<b>E</b>
<b>Alarm Limit</b>																		
Alarm Limit Matrix -Set Name (Equipment type / oil type)																		
No Interpretation Required																		
<b>B</b>																		
<b>A</b>																		
<b>S</b>																		
<b>E</b>																		
<b>L</b>																		
<b>I</b>																		
<b>N</b>																		
<b>E</b>																		
<b>Bottle ID</b>			131517															
<b>Date Sampled</b>			26-Aug-20															
<b>Oil Hours (Kms)</b>			10000 kms															
<b>Unit Hours (Kms)</b>			Not Given															
<b>Oil Change</b>																		
<b>Oil Added (Liters)</b>																		
<b>Filters Hours (Kms)</b>																		
<b>Wear Condition</b>																		
<b>Wear Element</b>	<b>Method</b>	<b>Unit</b>	<b>Fine Wear (IGP-AES)</b>	<b>Coarse Wear (RFS-AES)</b>		<b>Reference Oil (RO)</b>	<b>Fine Wear (ICP)</b> U-Warning U-Warning	<b>Coarse Wear (RFS)</b> U-Warning U-Warning										
Iron	D-5185	PPM	26.7															
Chromium	D-5185	PPM	1.1															
Lead	D-5185	PPM	0.0															
Copper	D-5185	PPM	3.6															
Tin	D-5185	PPM	1.5															
Aluminum	D-5185	PPM	4.6															
Nickel	D-5185	PPM	3.1															
Silver	D-5185	PPM	0.7															
Molybdenum	D-5185	PPM	446.8															
Titanium	D-5185	PPM	5.1															
PQ Index	D-8184	Index																
<b>Oil Condition</b>						RO	L-Warning	L-Caution										
Viscosity @ 40°C	D-445	cSt					U-Caution	U-Warning										
Viscosity @ 100°C	D-445	cSt																
Oxidation	D-7414	Abs																
Nitration	D-7624	Abs/cm																
Acid Number	D-974	mg KOH/g																
Base Number	D-4739	mg KOH/g																
<b>Contamination</b>						RO	U-Caution	U-Warning										
Water	E-2412	% (Wt.)																
Fuel	In-house	% (Wt.)																
Glycol	E-2412	Abs	N/A															
Soot in Oil	E-2412	% (Wt.)																
Soot Dispersancy (100-0)	D7899M	Index																
Vanadium	D-5185	PPM	0				<50	<30										
Sodium	D-5185	PPM	0															
Silicon	D-5185	PPM	12.3															
<b>Additive Element</b>						RO												
Boron	D-5185	PPM	138															
Magnesium	D-5185	PPM	7															
Calcium	D-5185	PPM	1020															
Barium	D-5185	PPM	0															
Phosphorus	D-5185	PPM	445															
Zinc	D-5185	PPM	485															
<b>Additional Test</b>						RO	L-Warning	L-Caution										
Flash Point	D-3828	°C					U-Caution	U-Warning										
Viscosity Index	D-2270																	

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or : NORMAL , or : CAUTION (first level warning limit) , or : Warning (second level warning limit)  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.  
 Focuslab Ltd. Bangkok Thailand www.focuslab.co.th focuslab@focuslab.co.th FL-6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ก-2: รายงานการทดสอบน้ำมันเครื่องใช้แล้ว TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 (ตัวอย่างที่ 1)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

<p><b>C U S T O M E R</b></p> <p><b>Code</b> : 20010</p> <p><b>Name</b> : KMITL</p> <p><b>Address</b> : 3 Moo 2, Chalongsung Road Ladkrabang Bangkok 10520</p> <p><b>Site</b> :</p> <p><b>Location</b> :</p> <p><b>Test code</b> : 601.200</p>	<p><b>E Q U I P M E N T</b></p> <p><b>Unit ID</b> : 6 2775 Eng</p> <p><b>Unit Type</b> : Engine Diesel</p> <p><b>Unit Make</b> : MAZDA</p> <p><b>Unit Model</b> : MAZDA 2 1.5L</p> <p><b>Oil type / Viscosity</b> : TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30</p> <p><b>Oil System Capacity</b> : 5.1 Liters</p>
--	---

**Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)**

Data is provided below.

			Current Sample		Previous Sample		Baseline and Alarm Limit	
Condition History			Wear	Oil	Cont.			
<b>Lab ID</b>			20091075				<b>Alarm Limit</b>	
<b>Bottle ID</b>			131518				Alarm Limit Matrix -Set Name	
<b>Date Sampled</b>			26-Aug-20				(Equipment type / oil type)	
<b>Oil Hours (Kms)</b>			10000 kms				No Interpretation Required	
<b>Unit Hours (Kms)</b>			Not Given					
<b>Oil Change</b>								
<b>Oil Added (Liters)</b>								
<b>Filters Hours (Kms)</b>								
<b>Wear Condition</b>							<b>Fine Wear (ICP)</b>	<b>Coarse Wear (RFS)</b>
<b>Wear Element</b>	<b>Method</b>	<b>Unit</b>	<b>Fine Wear (IGP-AES)</b>	<b>Coarse Wear (RFS-AES)</b>			U-Caution	U-Warning
Iron	D-5185	PPM	44.5					
Chromium	D-5185	PPM	2.7					
Lead	D-5185	PPM	0.0					
Copper	D-5185	PPM	3.7					
Tin	D-5185	PPM	2.3					
Aluminum	D-5185	PPM	19.8					
Nickel	D-5185	PPM	0.6					
Silver	D-5185	PPM	0.5					
Molybdenum	D-5185	PPM	446.1					
Titanium	D-5185	PPM	0.0					
PQ Index	D-8184	Index						
<b>Oil Condition</b>							RO	L-Warning L-Caution U-Caution U-Warning
Viscosity @ 40°C	D-445	cSt						
Viscosity @ 100°C	D-445	cSt						
Oxidation	D-7414	Abs						
Nitration	D-7624	Abs/cm						
Acid Number	D-974	mg KOH/g						
Base Number	D-4739	mg KOH/g						
<b>Contamination</b>							RO	U-Caution U-Warning
Water	E-2412	% (Wt.)						
Fuel	In-house	% (Wt.)						
Glycol	E-2412	Abs	N/A					
Soot in Oil	E-2412	% (Wt.)						
Soot Dispersancy (100-0)	D7899M	Index						
Vanadium	D-5185	PPM	0					<50 <30
Sodium	D-5185	PPM	0					
Silicon	D-5185	PPM	18.5					
<b>Additive Element</b>							RO	
Boron	D-5185	PPM	31					
Magnesium	D-5185	PPM	5					
Calcium	D-5185	PPM	805					
Barium	D-5185	PPM	0					
Phosphorus	D-5185	PPM	334					
Zinc	D-5185	PPM	404					
<b>Additional Test</b>							RO	L-Warning L-Caution U-Caution U-Warning
Flash Point	D-3828	°C						
Viscosity Index	D-2270							

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or : NORMAL , or : CAUTION (first level warning limit) , or : Warning (second level warning limit)  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representative sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.  
 Focuslab Ltd. Bangkok Thailand www.focuslab.co.th focuslab@focuslab.co.th FL-6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ก-3: รายงานการทดสอบน้ำมันเครื่องใช้แล้ว TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 (ตัวอย่างที่ 2)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

<p><b>C</b> Code : 20010 <b>U</b> Name : KMITL <b>S</b> <b>T</b> <b>O</b> Address : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520 <b>M</b> <b>E</b> <b>R</b> Site : Location : Test code : 601.200</p>	<p><b>E</b> Unit ID : 7 8001 Eng <b>Q</b> <b>U</b> <b>I</b> Unit Type : Engine Diesel <b>P</b> Unit Make : MAZDA <b>M</b> Unit Model : MAZDA 2 1.5L <b>E</b> <b>N</b> <b>T</b> <b>L</b> Oil type / Viscosity : TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30 Oil System Capacity : 5.1 Liters</p>
--	--

**Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)**

Data is provided below.

		Current Sample		Previous Sample		Baseline and Alarm Limit	
Condition History		Wear	Oil	Cont.			
<b>Lab ID</b> <b>Bottle ID</b> <b>Date Sampled</b> <b>Oil Hours (Kms)</b> <b>Unit Hours (Kms)</b> <b>Oil Change</b> <b>Oil Added (Liters)</b> <b>Filters Hours (Kms)</b>	Test Method Result		20091076			<b>B</b> <b>A</b> <b>S</b> <b>E</b> <b>L</b> <b>I</b> <b>N</b> <b>E</b>	<b>Alarm Limit</b> Alarm Limit Matrix -Set Name (Equipment type / oil type) No Interpretation Required
			131515				
			27-Aug-20				
			10000 kms				
			Not Given				
<b>Wear Condition</b>							
<b>Wear Element</b>	<b>Method</b>	<b>Unit</b>	<b>Fine Wear (ICP-AES)</b>	<b>Coarse Wear (RFS-AES)</b>	<b>Reference Oil (RO)</b>	<b>Fine Wear (ICP)</b>	<b>Coarse Wear (RFS)</b>
Iron	D-5185	PPM	103.4			U-Caution	U-Warning
Chromium	D-5185	PPM	2.9				
Lead	D-5185	PPM	0.0				
Copper	D-5185	PPM	6.3				
Tin	D-5185	PPM	2.5				
Aluminum	D-5185	PPM	7.2				
Nickel	D-5185	PPM	0.4				
Silver	D-5185	PPM	0.4				
Molybdenum	D-5185	PPM	414.9				
Titanium	D-5185	PPM	0.0				
PQ Index	D-8184	Index					
<b>Oil Condition</b>							
Viscosity @ 40°C	D-445	cSt			RO	L-Warning	L-Caution U-Caution U-Warning
Viscosity @ 100°C	D-445	cSt					
Oxidation	D-7414	Abs					
Nitration	D-7624	Abs/cm					
Acid Number	D-974	mg KOH/g					
Base Number	D-4735	mg KOH/g					
<b>Contamination</b>							
Water	E-2412	% (WL)			RO		U-Caution U-Warning
Fuel	In-house	% (WL)					
Glycol	E-2412	Abs	N/A				
Soot in Oil	E-2412	% (WL)					
Soot Dispersancy (100-0)	D7899M	Index					
Vanadium	D-5185	PPM	0				<50 <30
Sodium	D-5185	PPM	0				
Silicon	D-5185	PPM	55.0				
<b>Additive Element</b>							
Boron	D-5185	PPM	26		RO		
Magnesium	D-5185	PPM	4				
Calcium	D-5185	PPM	764				
Barium	D-5185	PPM	0				
Phosphorus	D-5185	PPM	321				
Zinc	D-5185	PPM	410				
<b>Additional Test</b>							
Flash Point	D-3828	°C			RO	L-Warning	L-Caution U-Caution U-Warning
Viscosity Index	D-2270						

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or : NORMAL , or : CAUTION (first level warning limit) , or : Warning (second level warning limit)  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representatives sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.  
 Focuslab Ltd. Bangkok Thailand www.focuslab.co.th focuslab@focuslab.co.th FL-6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ก-4: รายงานการทดสอบน้ำมันเครื่องใช้แล้ว TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 (ตัวอย่างที่ 3)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

<p><b>C U S T O M E R</b></p> <p><b>Code</b> : 20010</p> <p><b>Name</b> : KMITL</p> <p><b>Address</b> : 3 Moo 2, Chalongsung Road Ladkrabang Bangkok 10520</p> <p><b>Site</b> :</p> <p><b>Location</b> :</p> <p><b>Test code</b> : 601.200</p>	<p><b>E Q U I P M E N T</b></p> <p><b>Unit ID</b> : 8 7676 Eng</p> <p><b>Unit Type</b> : Engine Diesel</p> <p><b>Unit Make</b> : MAZDA</p> <p><b>Unit Model</b> : MAZDA 2 1.5L</p> <p><b>Oil type / Viscosity</b> : TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30</p> <p><b>Oil System Capacity</b> : 5.1 Liters</p>
--	---

**Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)**

Data is provided below.

			Current Sample		Previous Sample	Baseline and Alarm Limit	
Condition History			Wear	Oil	Cont.		
<p><b>Lab ID</b></p> <p><b>Bottle ID</b></p> <p><b>Date Sampled</b></p> <p><b>Oil Hours (Kms)</b></p> <p><b>Unit Hours (Kms)</b></p> <p><b>Oil Change</b></p> <p><b>Oil Added (Liters)</b></p> <p><b>Filters Hours (Kms)</b></p>	<p>Test Method</p> <p>Result</p>		20091077			<p><b>B A S E L I N E</b></p> <p>Alarm Limit Matrix -Set Name (Equipment type / oil type)</p> <p>No Interpretation Required</p>	
			131516				
			28-Aug-20				
			10000 kms				
			Not Given				
<b>Wear Condition</b>							
<b>Wear Element</b>	<b>Method</b>	<b>Unit</b>	<b>Fine Wear (IGP-AES)</b>	<b>Coarse Wear (RFS-AES)</b>		<b>Reference Oil (RO)</b>	<b>Fine Wear (ICP)</b> / <b>Coarse Wear (RFS)</b>
Iron	D-5185	PPM	49.8			U-Caution	U-Warning
Chromium	D-5185	PPM	2.8				
Lead	D-5185	PPM	0.0				
Copper	D-5185	PPM	34.5				
Tin	D-5185	PPM	2.9				
Aluminum	D-5185	PPM	8.1				
Nickel	D-5185	PPM	0.6				
Silver	D-5185	PPM	1.1				
Molybdenum	D-5185	PPM	535.3				
Titanium	D-5185	PPM	0.0				
PQ Index	D-8184	Index					
<b>Oil Condition</b>							
Viscosity @ 40°C	D-445	cSt				RO	L-Warning L-Caution U-Caution U-Warning
Viscosity @ 100°C	D-445	cSt					
Oxidation	D-7414	Abs					
Nitration	D-7624	Abs/cm					
Acid Number	D-974	mg KOH/g					
Base Number	D-4739	mg KOH/g					
<b>Contamination</b>							
Water	E-2412	% (Wt)				RO	U-Caution U-Warning
Fuel	In-house	% (Wt)					
Glycol	E-2412	Abs	N/A				
Soot in Oil	E-2412	% (Wt)					
Soot Dispersancy (100-0)	D7899M	Index					
Vanadium	D-5185	PPM	0				<50 <30
Sodium	D-5185	PPM	0				
Silicon	D-5185	PPM	83.7				
<b>Additive Element</b>							
Boron	D-5185	PPM	188			RO	
Magnesium	D-5185	PPM	6				
Calcium	D-5185	PPM	1447				
Barium	D-5185	PPM	15				
Phosphorus	D-5185	PPM	663				
Zinc	D-5185	PPM	720				
<b>Additional Test</b>							
Flash Point	D-3828	°C				RO	L-Warning L-Caution U-Caution U-Warning
Viscosity Index	D-2270						

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or : NORMAL , or : CAUTION (first level warning limit) , or : Warning (second level warning limit)  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representatives sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.  
 Focuslab Ltd. Bangkok Thailand www.focuslab.co.th focuslab@focuslab.co.th FL-6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ก-5: รายงานการทดสอบน้ำมันเครื่องใช้แล้ว TOTAL MAZDA GENIUNE OIL SUPRA DPF SAE 0W30  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 (ตัวอย่างที่ 4)

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

**Code** : 20010  
**Name** : KMITL  
**Address** : 3 Moo 2, Chalalongkrung Road  
Ladkrabang  
Bangkok 10520  
**Site** :  
**Location** :  
**Test code** : 601.200

**Unit ID** : DIESEL  
**Unit Type** : FUEL  
**Unit Make** : (not given)  
**Unit Model** : (not given)  
**Oil type / Viscosity** : DIESEL FUEL  
**Oil System Capacity** :

**Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)**

Data is provided below.

		Current Sample		Previous Sample		Baseline and Alarm Limit	
Condition History		Wear	Oil	Cont.			
<b>Lab ID</b>			20091078			<b>BASELINE</b>	<b>Alarm Limit</b>
<b>Bottle ID</b>			701416				Alarm Limit Matrix -Set Name (Equipment type / oil type)
<b>Date Sampled</b>			03-Sep-20				No Interpretation Required
<b>Oil Hours (Kms)</b>			Not Given				
<b>Unit Change</b>			Not Given				
<b>Oil Added (Liters)</b>							
<b>Filters Hours (Kms)</b>							
<b>Wear Condition</b>							
<b>Wear Element</b>	<b>Method</b>	<b>Unit</b>	<b>Fine Wear (ICP-AES)</b>	<b>Coarse Wear (RFS-AES)</b>	<b>Reference Oil (RO)</b>	<b>Fine Wear (ICP)</b>	<b>Coarse Wear (RFS)</b>
Iron	D-5185	PPM	0.0			U-Caution	U-Warning
Chromium	D-5185	PPM	0.0				
Lead	D-5185	PPM	0.0				
Copper	D-5185	PPM	0.0				
Tin	D-5185	PPM	0.1				
Aluminum	D-5185	PPM	0.3				
Nickel	D-5185	PPM	0.0				
Silver	D-5185	PPM	0.0				
Molybdenum	D-5185	PPM	0.0				
Titanium	D-5185	PPM	0.0				
PQ Index	D-8184	Index					
<b>Oil Condition</b>							
Viscosity @ 40°C	D-445	cSt			RO	L-Warning	L-Caution U-Caution U-Warning
Viscosity @ 100°C	D-445	cSt					
Oxidation	D-7414	Abs					
Nitration	D-7624	Abs/cm					
Acid Number	D-974	mg KOH/g					
Base Number	D-4735	mg KOH/g					
<b>Contamination</b>							
Water	E-2412	% (WL)			RO		U-Caution U-Warning
Fuel	In-house	% (WL)					
Glycol	E-2412	Abs	N/A				
Soot in Oil	E-2412	% (WL)					
Soot Dispersioncy (100-0)	D7899M	Index					
Vanadium	D-5185	PPM	0				<50 <30
Sodium	D-5185	PPM	0				
Silicon	D-5185	PPM	0.2				
<b>Additive Element</b>							
Boron	D-5185	PPM	1		RO		
Magnesium	D-5185	PPM	0				
Calcium	D-5185	PPM	9				
Barium	D-5185	PPM	0				
Phosphorus	D-5185	PPM	2				
Zinc	D-5185	PPM	1				
<b>Additional Test</b>							
Flash Point	D-3828	°C			RO	L-Warning	L-Caution U-Caution U-Warning
Viscosity Index	D-2270						

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
No Sign or : NORMAL , or : CAUTION (first level warning limit) , or : Warning (second level warning limit)  
Accuracy of interpretation and recommendation are based on representatives sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.  
Focuslab Ltd. Bangkok Thailand www.focuslab.co.th focuslab@focuslab.co.th FL-6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ก-6: รายงานการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

<p><b>C U S T O M E R</b></p> <p><b>Code</b> : 20010</p> <p><b>Name</b> : KMITL</p> <p><b>Address</b> : 3 Moo 2, Chalongkrung Road Ladkrabang Bangkok 10520</p> <p><b>Site</b> :</p> <p><b>Location</b> :</p> <p><b>Test code</b> : 601.200</p>	<p><b>E Q U I P M E N T</b></p> <p><b>Unit ID</b> : DIESEL B10</p> <p><b>Unit Type</b> : FUEL</p> <p><b>Unit Make</b> : (not given)</p> <p><b>Unit Model</b> : (not given)</p> <p><b>Oil type / Viscosity</b> : DIESEL B10</p> <p><b>Oil System Capacity</b> :</p>
---	--

**Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)**

Data is provided below.

			Current Sample		Previous Sample	Baseline and Alarm Limit	
Condition History			Wear	Oil	Cont.		
<p><b>Lab ID</b></p> <p><b>Bottle ID</b></p> <p><b>Date Sampled</b></p> <p><b>Oil Hours (Kms)</b></p> <p><b>Unit Hours (Kms)</b></p> <p><b>Oil Change</b></p> <p><b>Oil Added (Liters)</b></p> <p><b>Filters Hours (Kms)</b></p>	<p>Test Method</p> <p>Result</p>		20091079			<p><b>Alarm Limit</b></p> <p>Alarm Limit Matrix -Set Name (Equipment type / oil type)</p> <p>No Interpretation Required</p>	<p><b>B A S E L I N E</b></p>
			701419				
			03-Sep-20				
			Not Given				
			Not Given				
<b>Wear Condition</b>							
<b>Wear Element</b>	<b>Method</b>	<b>Unit</b>	<b>Fine Wear (IGP-AES)</b>	<b>Coarse Wear (RFS-AES)</b>		<b>Reference Oil (RO)</b>	<b>Fine Wear (ICP)</b> / <b>Coarse Wear (RFS)</b>
Iron	D-5185	PPM	0.0				U-Warning / U-Warning
Chromium	D-5185	PPM	0.0				
Lead	D-5185	PPM	0.1				
Copper	D-5185	PPM	0.0				
Tin	D-5185	PPM	0.1				
Aluminum	D-5185	PPM	0.4				
Nickel	D-5185	PPM	0.0				
Silver	D-5185	PPM	0.0				
Molybdenum	D-5185	PPM	0.0				
Titanium	D-5185	PPM	0.0				
PQ Index	D-8184	Index					
<b>Oil Condition</b>							
Viscosity @ 40°C	D-445	cSt				RC	L-Warning / L-Caution / U-Caution / U-Warning
Viscosity @ 100°C	D-445	cSt					
Oxidation	D-7414	Abs					
Nitration	D-7624	Abs/cm					
Acid Number	D-974	mg KOH/g					
Base Number	D-4739	mg KOH/g					
<b>Contamination</b>							
Water	E-2412	% (Wt)				RC	U-Caution / U-Warning
Fuel	In-house	% (Wt)					
Glycol	E-2412	Abs	N/A				
Soot in Oil	E-2412	% (Wt)					
Soot Dispersancy (100-0)	D7899M	Index					
Vanadium	D-5185	PPM	0				<50 / <30
Sodium	D-5185	PPM	0				
Silicon	D-5185	PPM	0.2				
<b>Additive Element</b>							
Boron	D-5185	PPM	0			RC	
Magnesium	D-5185	PPM	0				
Calcium	D-5185	PPM	0				
Barium	D-5185	PPM	0				
Phosphorus	D-5185	PPM	1				
Zinc	D-5185	PPM	0				
<b>Additional Test</b>							
Flash Point	D-3828	°C				RC	L-Warning / L-Caution / U-Caution / U-Warning
Viscosity Index	D-2270						

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or : NORMAL , or : CAUTION (first level warning limit) , or : Warning (second level warning limit)  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representatives sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.  
 Focuslab Ltd. Bangkok Thailand www.focuslab.co.th focuslab@focuslab.co.th FL-6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ๓-7: รายงานการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ปี10  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

<p><b>C U S T O M E R</b></p> <p><b>Code :</b> 20010 <b>Name :</b> KMITL <b>Address :</b> 3 Moo 2, Chalongsrun Road Ladkrabang Bangkok 10520 <b>Site :</b> <b>Location :</b> <b>Test code :</b> 601.200</p>	<p><b>E Q U I P M E N T</b></p> <p><b>Unit ID :</b> DIESEL B20 <b>Unit Type :</b> FUEL <b>Unit Make :</b> (not given) <b>Unit Model :</b> (not given) <b>Oil type / Viscosity :</b> DIESEL B20 <b>Oil System Capacity :</b></p>
---	---

**Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)**

Data is provided below.

			Current Sample		Previous Sample		Baseline and Alarm Limit				
Condition History			Wear	Oil	Cont.						
<p><b>Lab ID</b> <b>Bottle ID</b> <b>Date Sampled</b> <b>Oil Hours (Kms)</b> <b>Unit Hours (Kms)</b> <b>Oil Change</b> <b>Oil Added (Liters)</b> <b>Filters Hours (Kms)</b></p>	<p>Test Method</p>	<p>Result</p>	20091080				<p><b>Alarm Limit</b> Alarm Limit Matrix -Set Name (Equipment type / oil type) No Interpretation Required</p>				
			701417								
			03-Sep-20								
			Not Given								
			Not Given								
<b>Wear Condition</b>											
<b>Wear Element</b>	<b>Method</b>	<b>Unit</b>	<b>Fine Wear (IGP-AES)</b>	<b>Coarse Wear (RFS-AES)</b>			<b>Reference Oil (RO)</b>	<b>Fine Wear (ICP)</b> U-Warning	<b>Coarse Wear (RFS)</b> U-Warning		
Iron	D-5185	PPM	0.0								
Chromium	D-5185	PPM	0.0								
Lead	D-5185	PPM	0.0								
Copper	D-5185	PPM	0.0								
Tin	D-5185	PPM	0.0								
Aluminum	D-5185	PPM	0.2								
Nickel	D-5185	PPM	0.0								
Silver	D-5185	PPM	0.0								
Molybdenum	D-5185	PPM	0.0								
Titanium	D-5185	PPM	0.0								
PQ Index	D-8184	Index									
<b>Oil Condition</b>											
Viscosity @ 40°C	D-445	cSt					RC	L-Warning	L-Caution	U-Caution	U-Warning
Viscosity @ 100°C	D-445	cSt									
Oxidation	D-7414	Abs									
Nitration	D-7624	Abs/cm									
Acid Number	D-974	mg KOH/g									
Base Number	D-4739	mg KOH/g									
<b>Contamination</b>											
Water	E-2412	% (Wt)									
Fuel	In-house	% (Wt)									
Glycol	E-2412	Abs	N/A								
Soot in Oil	E-2412	% (Wt)									
Soot Dispersancy (100-0)	D7899M	Index									
Vanadium	D-5185	PPM	0						<50	<30	
Sodium	D-5185	PPM	0								
Silicon	D-5185	PPM	0.2								
<b>Additive Element</b>											
Boron	D-5185	PPM	0								
Magnesium	D-5185	PPM	0								
Calcium	D-5185	PPM	19								
Barium	D-5185	PPM	0								
Phosphorus	D-5185	PPM	2								
Zinc	D-5185	PPM	3								
<b>Additional Test</b>											
Flash Point	D-3828	°C									
Viscosity Index	D-2270										

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or : NORMAL , or : CAUTION (first level warning limit) , or : Warning (second level warning limit)  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representatives sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.  
 Focuslab Ltd. Bangkok Thailand www.focuslab.co.th focuslab@focuslab.co.th FL-6.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ก-8: รายงานการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซล ปี20  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

<p><b>C U S T O M E R</b></p> <p><b>Code :</b> 20010  <b>Name :</b> KMITL  <b>Address :</b> 3 Moo 2, Chalokkrung Road          Ladkrabang          Bangkok 10520  <b>Site :</b>  <b>Location :</b>  <b>Test code :</b> 601.200</p>	<p><b>E Q U I P M E N T</b></p> <p><b>Unit ID :</b> PREMIUM DIESEL  <b>Unit Type :</b> FUEL  <b>Unit Make :</b> (not given)  <b>Unit Model :</b> (not given)  <b>Oil type / Viscosity :</b> PREMIUM DIESEL  <b>Oil System Capacity :</b></p>
--	--

**Notes (Finding, Evaluation, Interpretation, Suggestion and Recommendation)**

Data is provided below.

			Current Sample		Previous Sample		Baseline and Alarm Limit				
Condition History			Wear	Oil	Cont.						
<b>Lab ID</b> <b>Bottle ID</b> <b>Date Sampled</b> <b>Oil Hours (Kms)</b> <b>Unit Hours (Kms)</b> <b>Oil Change</b> <b>Oil Added (Liters)</b> <b>Filters Hours (Kms)</b>	Test Method	Result		20091081			<b>Alarm Limit</b> Alarm Limit Matrix -Set Name (Equipment type / oil type) No Interpretation Required	<b>B A S E L I N E</b>			
				701418							
				02-Sep-20							
				Not Given							
				Not Given							
<b>Wear Condition</b>											
<b>Wear Element</b>	<b>Method</b>	<b>Unit</b>	<b>Fine Wear (IGP-AES)</b>	<b>Coarse Wear (RFS-AES)</b>			<b>Reference Oil (RO)</b>	<b>Fine Wear (ICP)</b> U-Warning	<b>Coarse Wear (RFS)</b> U-Warning		
Iron	D-5185	PPM	0.0								
Chromium	D-5185	PPM	0.0								
Lead	D-5185	PPM	0.0								
Copper	D-5185	PPM	0.0								
Tin	D-5185	PPM	0.0								
Aluminum	D-5185	PPM	0.4								
Nickel	D-5185	PPM	0.0								
Silver	D-5185	PPM	0.0								
Molybdenum	D-5185	PPM	0.0								
Titanium	D-5185	PPM	0.0								
PQ Index	D-8184	Index									
<b>Oil Condition</b>											
Viscosity @ 40°C	D-445	cSt					RC	L-Warning	L-Caution	U-Caution	U-Warning
Viscosity @ 100°C	D-445	cSt									
Oxidation	D-7414	Abs									
Nitration	D-7624	Abs/cm									
Acid Number	D-974	mg KOH/g									
Base Number	D-4735	mg KOH/g									
<b>Contamination</b>											
Water	E-2412	% (Wt)									
Fuel	In-house	% (Wt)									
Glycol	E-2412	Abs	N/A								
Soot in Oil	E-2412	% (Wt)									
Soot Dispersancy (100-0)	D7899M	Index									
Vanadium	D-5185	PPM	0						<50	<30	
Sodium	D-5185	PPM	0								
Silicon	D-5185	PPM	0.3								
<b>Additive Element</b>											
Boron	D-5185	PPM	0								
Magnesium	D-5185	PPM	0								
Calcium	D-5185	PPM	0								
Barium	D-5185	PPM	0								
Phosphorus	D-5185	PPM	4								
Zinc	D-5185	PPM	0								
<b>Additional Test</b>											
Flash Point	D-3828	°C									
Viscosity Index	D-2270										

Note: Alarm Limits are variable and dependent upon dataset size and to be used as general guideline.  
 No Sign or : NORMAL , or : CAUTION (first level warning limit) , or : Warning (second level warning limit)  
 Accuracy of interpretation and recommendation are based on representatives sample and information supplied. No warranty is expressed or implied for this report.  
 Focuslab Ltd. Bangkok Thailand www.focuslab.co.th focuslab@focuslab.co.th FL-6.8

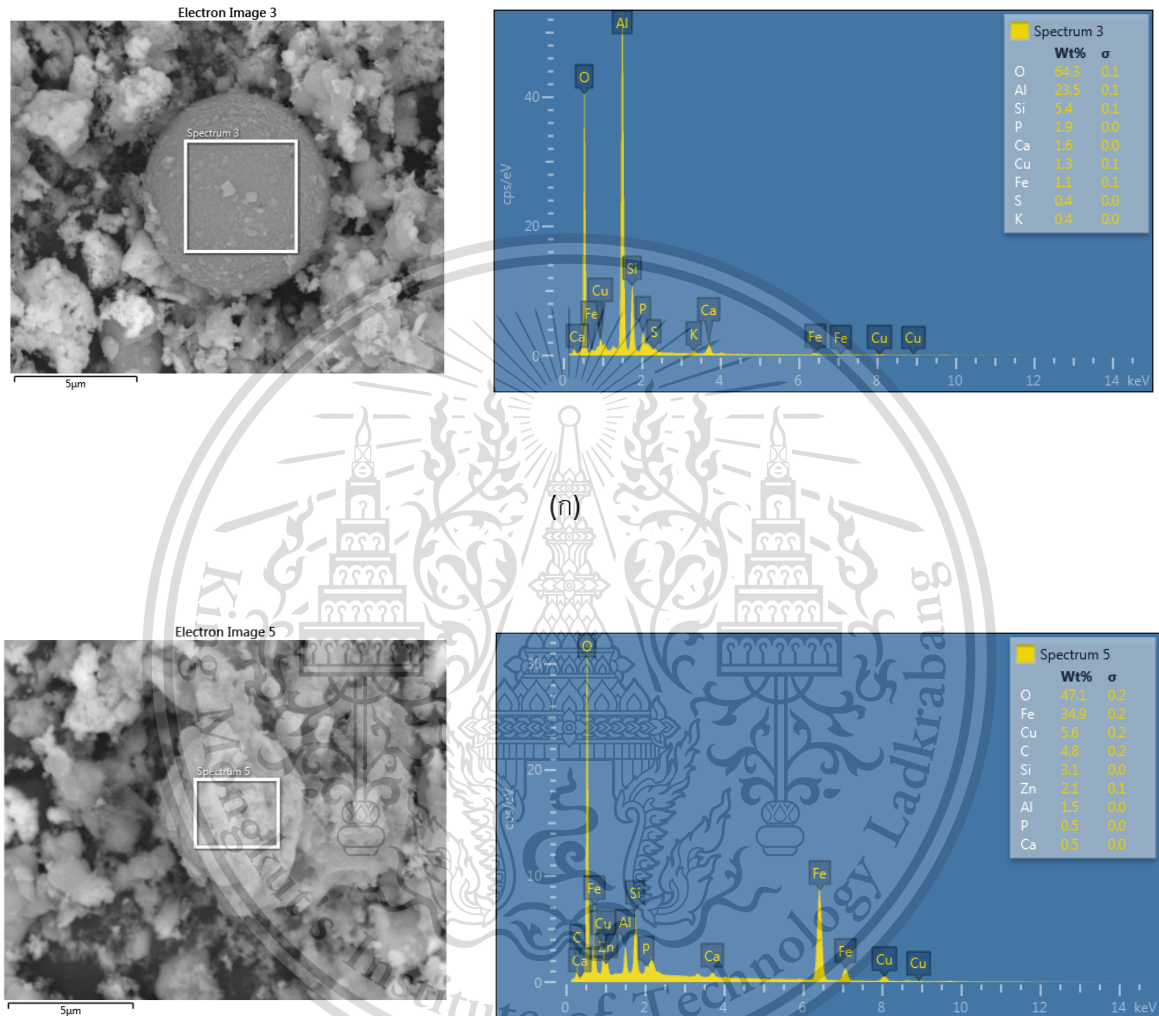
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ก-9: รายงานการทดสอบน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลพรีเมียม  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ภาคผนวก ข

## รายงานการวิเคราะห์การทดลอง



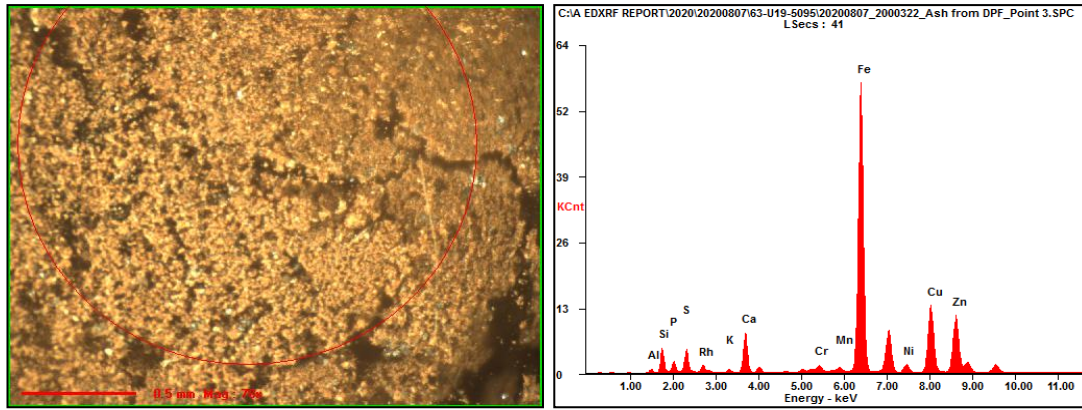
(ข)

ข-1: ผลการวิเคราะห์ SEM-EDS ของ Ash (ก) Al-Oxide (ข) Fe-Oxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

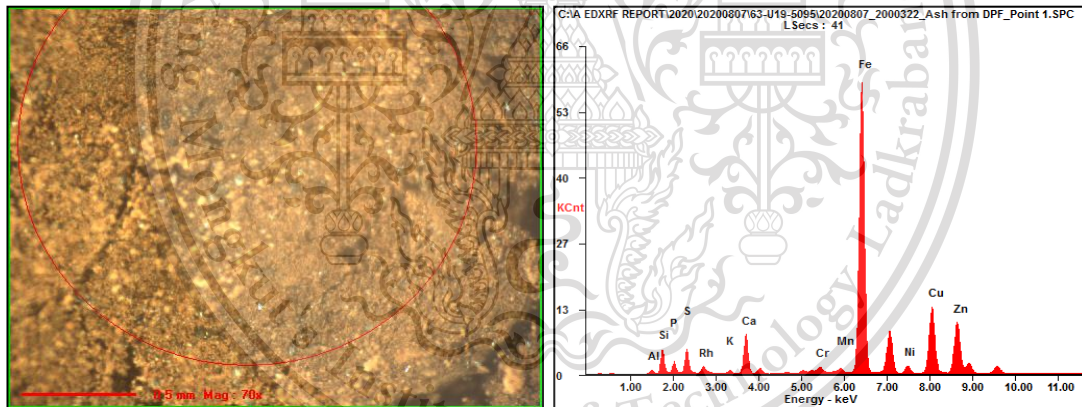
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



Elem:	Net	Wt%	At%	I-Error%	BG
AlK	152.4309	4.899414	7.41	1.41	18.19551
SiK	1006.146	16.19771	23.52	0.50	26.69808
P K	489.5537	7.832015	10.31	0.76	37.26557
S K	1028.131	9.115853	11.60	0.50	40.47226
K K	153.1678	1.229118	1.28	1.48	28.73870
CaK	1910.213	11.13788	11.33	0.36	32.74706
CrK	346.8808	0.758290	0.59	1.07	112.6713
MnK	210.5480	0.417314	0.31	1.61	132.0328
FeK	16986.66	30.02588	21.93	0.12	127.6601
NiK	460.4023	1.032730	0.72	0.84	75.25993
CuK	4221.601	9.411315	6.04	0.24	80.36148
ZnK	3751.433	7.942475	4.96	0.26	89.39850
Total		99.99999	100.00		

kV: 30 uA: 555 LSec: 41 Method: FP NoStds

(point 1)



Elem:	Net	Wt%	At%	I-Error%	BG
AlK	151.5584	4.777568	7.23	1.42	19.38984
SiK	1026.128	16.17507	23.51	0.50	28.12378
P K	505.4250	7.918101	10.44	0.75	39.09595
S K	1053.961	9.161117	11.66	0.50	42.40463
K K	148.7933	1.169983	1.22	1.52	30.43499
CaK	1908.525	10.88333	11.08	0.36	33.93830
CrK	333.9335	0.710850	0.56	1.11	115.9984
MnK	211.6096	0.410587	0.31	1.62	134.8774
FeK	17813.40	30.87655	22.57	0.12	129.8900
NiK	442.7793	0.985741	0.69	0.86	75.58875
CuK	4293.451	9.474173	6.09	0.24	79.04340
ZnK	3564.665	7.456940	4.66	0.27	88.38556
Total		100.0000	100.00		

kV: 30 uA: 555 LSec: 41 Method: FP NoStds

(point 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

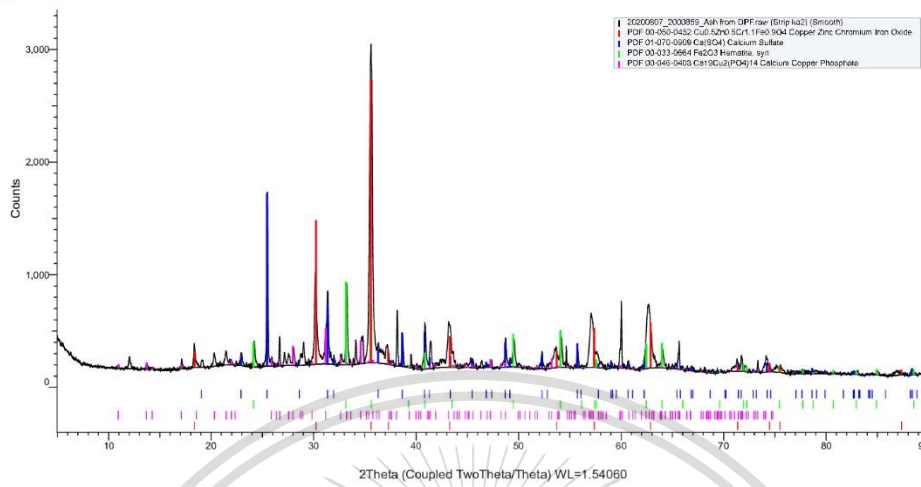
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

X-RAY DIFFRACTOMETER

8/7/2020

20200807\_2000859\_Ash from DPF (Coupled TwoTheta/Theta)



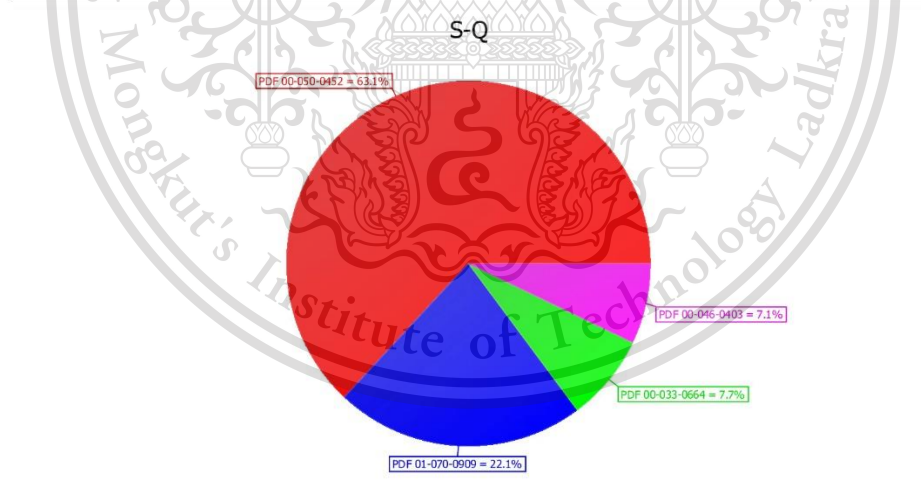
NSTDA Characterization and Testing Service Center



X-RAY DIFFRACTOMETER

8/7/2020

20200807\_2000859\_Ash from DPF (Coupled TwoTheta/Theta)



NSTDA Characterization and Testing Service Center

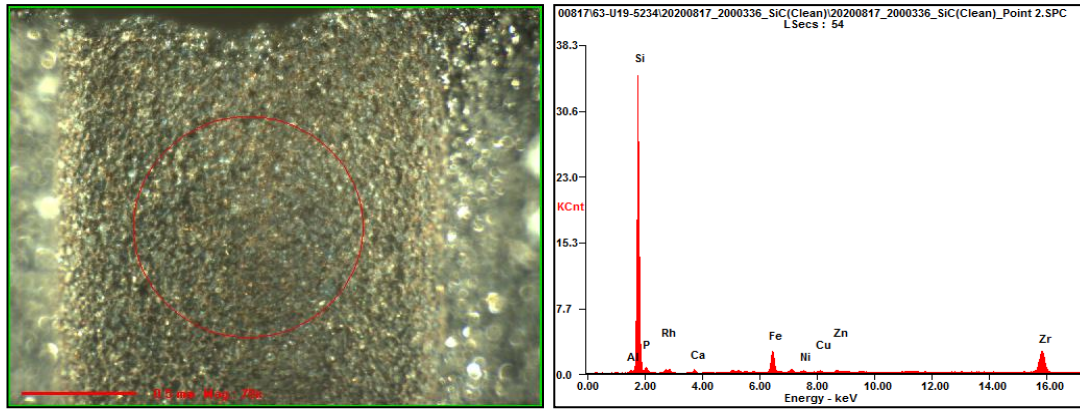


ช-3: ผลการวิเคราะห์ XRD ของ Ash

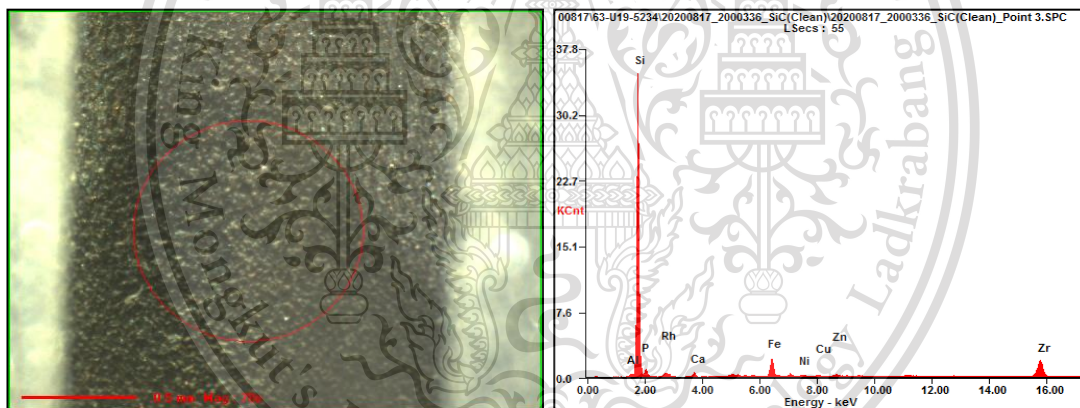
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(point 1)



(point 2)

#### ข-4: ผลการวิเคราะห์ XRF ของ SIC DPF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

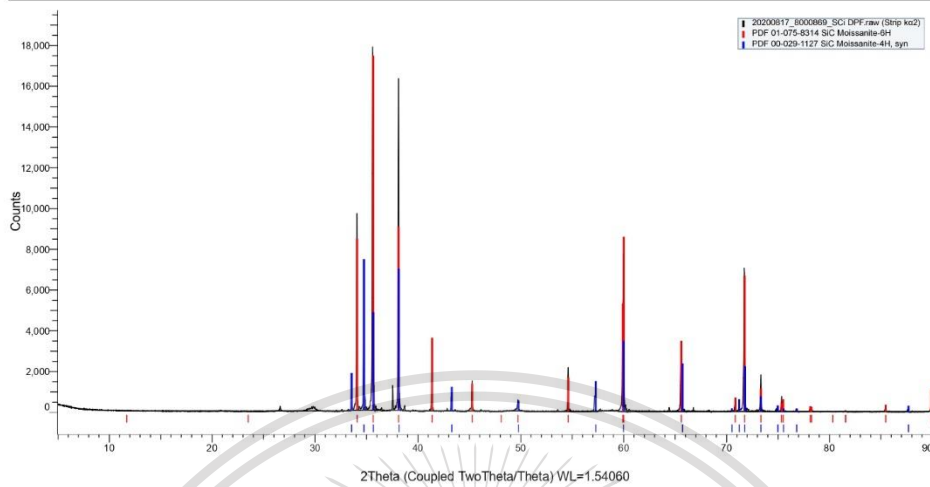
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## X-RAY DIFFRACTOMETER

8/21/2020

20200817\_8000869\_SiC DPF (Coupled TwoTheta/Theta)



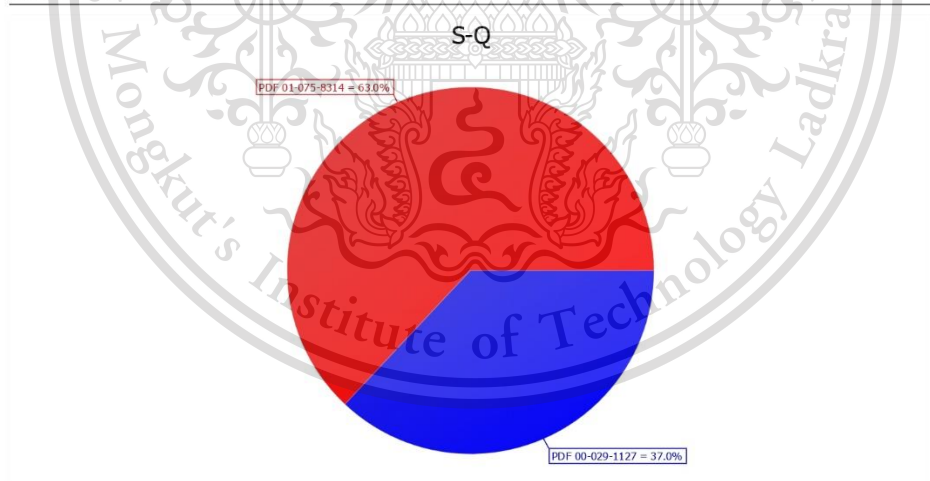
NSTDA Characterization and Testing Service Center

  
 NCTC  
 NSTDA Characterization and Testing Service Center

## X-RAY DIFFRACTOMETER

8/21/2020

20200817\_8000869\_SiC DPF (Coupled TwoTheta/Theta)



NSTDA Characterization and Testing Service Center

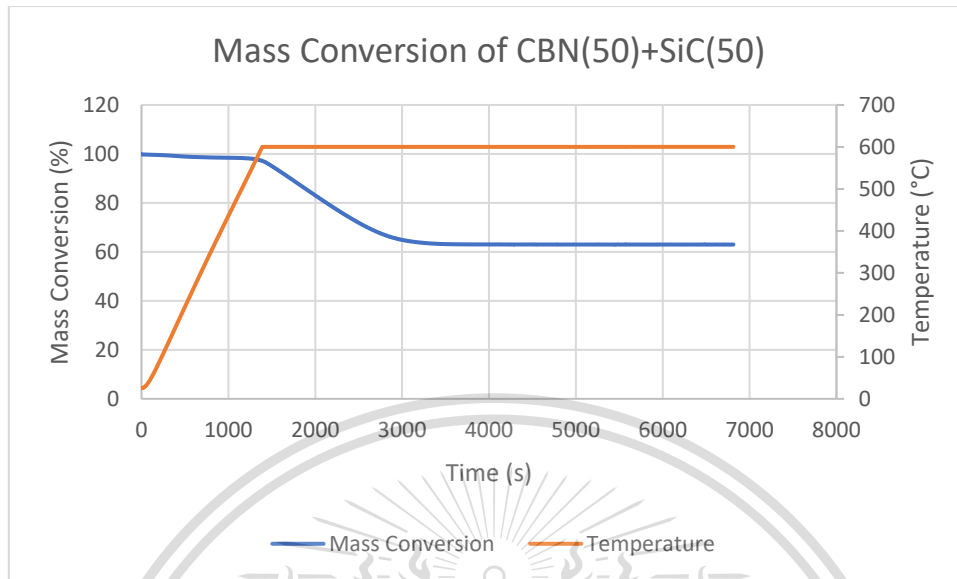
  
 NCTC  
 NSTDA Characterization and Testing Service Center

## ช-5: ผลการวิเคราะห์ XRD ของ SiC DPF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



File Name: 20201019\_2100005\_CBN330 600.tad  
 Sample Name: 2100005\_CBN330(50)+SiC(50)\_600C  
 Acquisition Date: 20/10/19  
 Acquisition Time: 16:49:29(+0700)  
 Detector: DTG-60AH  
 Serial No: C30595500129TK  
 Operator: AL\_NCTC  
 Flow Rate: 50[ml/min]  
 Annotation: [Temp Program]  
 Start Temp: 25.0  

Temp Rate	Hold Temp	Hold Time	Gas
[C/min]	[C]	[min]	
25	600	0	Nitrogen
25	600	90	Air

 Cell: Alumina  
 Sample Weight: 15.649[mg]  
 Molecular Weight: 0

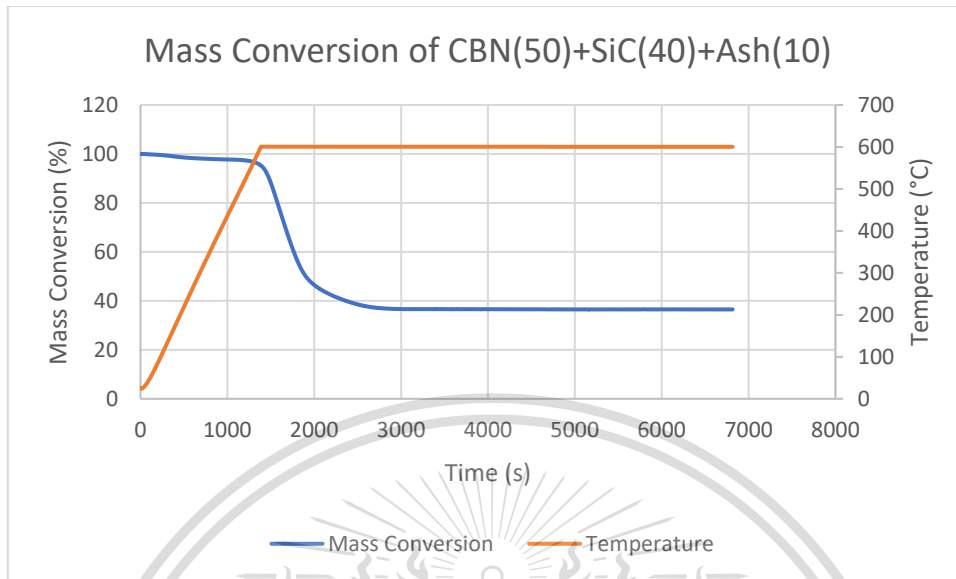
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ข-6: การวิเคราะห์ TGA ของ CBN(50)+SiC(50)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



File Name: 20201020\_2100006\_CBN330 600.tad  
 Sample Name: 2100006\_CBN330(50)+SiC(40)+ash(10)\_600  
 Acquisition Date: 20/10/20  
 Acquisition Time: 17:28:36(+0700)  
 Detector: DTG-60AH  
 Serial No: C30595500129TK  
 Operator: AL\_NCTC  
 Flow Rate: 50[ml/min]  
 Annotation: [Temp Program]  
 Start Temp: 25.0  

Temp Rate	Hold Temp	Hold Time	Gas
[C/min]	[C]	[min]	
25	600	0	Nitrogen
25	600	90	Air

 Cell: Alumina  
 Sample Weight: 11.601[mg]  
 Molecular Weight: 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.