การศึกษาคุณลักษณะของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

นางสาวมนัสวี เชื้อรื่น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

CHARACTERIZATION OF CENOSPHERES IN FLY ASHES FROM THERMAL POWER PLANTS

Miss Manasawee Chuearuen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Georesources Engineering

Department of Mining and Petroleum Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณลักษณะของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน
โดย	นางสาวมนัสวี เชื้อรื่น
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล ภู่วิจิตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……. ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

……... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์)

……. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล ภู่วิจิตร)

……. กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะ)

……. กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทียนไชย ตันไทย)

มนัสวี เชื้อรื่น : การศึกษาคุณลักษณะของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน. (CHARACTERIZATION OF CENOSPHERES IN FLY ASHES FROM THERMAL POWER PLANTS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์ , อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: ผศ.ดร.สุรพล ภู่วิจิตร, 113 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนในประเทศไทย ซึ่งใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง โดยนำตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า 3 แห่ง ได้แก่ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี จังหวัดระยอง ซึ่งใช้ถ่านหินบิทูมินัสเป็นเชื้อเพลิง และโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส จังหวัดปราจีนบุรี ซึ่งถ่านหินบิทูมินัสและชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ในการศึกษาจะใช้วิธีการลอยและจมด้วยของเหลว เนื่องด้วยอนุภาคเซโนสเฟียร์มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ จึงสามารถแยกออกจากเถ้าลอยได้ โดยเซโนสเฟียร์จะลอยน้ำ หลังจากนั้นนำอนุภาคเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้ไปคำนวณปริมาณและวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆ

จากการทดลอง พบว่าปริมาณเซโนสเฟียร์ที่เก็บได้จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มีปริมาณ 1.07% และปริมาณเซโนสเฟียร์ที่เก็บได้จากเถ้าลอยโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี มีปริมาณ 0.33% แต่ไม่พบอนุภาคเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส การวิเคราะห์เชิงสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าอนุภาคเซโนสเฟียร์มีลักษณะกลมกลวง และผนังบาง มีทั้งผิวเรียบและขรุขระมีรูพรุน ค่าความหนาแน่นของอนุภาคเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและบีแอลซีพีเท่ากับ 0.7521 และ 0.8881 กรัม/ลบ.ซม. ตามลำดับ การวิเคราะห์หาชนิดส่วนประกอบทางแร่ของเซโนสเฟียร์จากแม่เมาะและบีแอลซีพี ด้วยเครื่อง XRD พบว่ามีแร่มุลไลต์ (mullite) และแร่ควอตซ์ (quartz) เป็นส่วนประกอบหลัก การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและบีแอลซีพีด้วยเครื่อง XRF พบองค์ประกอบของ SiO_2 อยู่ 41.67% และ 58.05% ตามลำดับ และ Al_2O_3 อยู่ 20.50% และ 22.04% ตามลำดับ

ภาควิชา...วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม...ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา...วิศวกรรมทรัพยากรธรณี.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก……...

ปีการศึกษา...2554.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5270453721 : MAJOR GEORESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS : CENOSPHERES / FLY ASH / COAL-FIRED POWER PLANT / CHARACTERIZATION

MANASAWEE CHUEARUEN : CHARACTERIZATION OF CENOSPHERES IN FLY ASHES FROM THERMAL POWER PLANTS. ADVISOR : ASSOC. PROF. QUANCHAI LEEPOWPANTH, Ph.D., CO-ADVISOR : ASSIS. PROF. SURAPHOL PHUVICHIT, Ph.D., 113 pp.

The purpose of this research was to study characteristics of cenospheres in fly ashes from coal-fired power plants in Thailand. Fly ash samples were collected from three power plants, Mae-Moh power plant uses lignite as its energy, BLCP power station uses bituminous as its energy and National Power Supply uses bituminous and biomass as its energy. In this study, the sink and float method is used to separate cenospheres from fly ash particles. Because of cenospheres have low density and less than water. The float particles are mainly cenospheres.

The cenosphere yield was observed at Mae-Moh and BLCP with 1.07% and 0.33% respectively but NPS fly ashes haven't found cenospheres. The morphological analysis was investigated by scanning electron microscope (SEM) shown that cenospheres are hollow spherical particles and thin wall with smooth, rough and porous surface. Cenospheres density of Mae-Moh and BLCP were 0.7521 and 0.8881 g/cm^3, respectively. The X-ray Diffraction (XRD) method identified that cenospheres of Mae-Moh and BLCP mainly contain mullite and calcite. The X-ray Fluorescence (XRF) analysis has found that cenospheres of Mae-Moh and BLCP contain 41.67% and 58.05% of SiO_2 and 20.50% and 22.04% of Al_2O_3, respectively.

Department : Mining and Petroleum Engineering Student's Signature……..

Field of Study : Georesources Engineering .....Advisor's Signature…….

Academic Year : 2011 .....Co-advisor's Signature……

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา แนะแนวทางและข้อคิดเห็นในการวิจัย ตลอดทั้งการแก้ไขปัญหาต่างๆ พร้อมช่วยตรวจทาน แก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพล ภู่วิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.ภิญโญ มีชำนะกรรมการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทียนไชย ตันไทย กรรมการ ที่กรุณาให้คำแนะนำเป็นอย่างดีตั้งแต่การนำเสนอโครงร่างวิทยานิพนธ์และเพิ่มเติมเนื้อหาวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้นจนกระทั่งแล้วเสร็จ

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนงานวิจัย และช่วยเหลือให้คำแนะนำทางด้านการศึกษาให้ดำเนินไปด้วยดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี จ.ระยอง และโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส จ.ปราจีนบุรี ที่เอื้อเฟื้ออนุเคราะห์ตัวอย่างเถ้าลอยเพื่อใช้ในงานวิจัย อีกทั้งบุคลากรที่เกี่ยวข้องในโรงไฟฟ้าทุกท่านที่ช่วยติดต่อประสานงานและอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ให้บริการวิเคราะห์ตัวอย่าง ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ ในการดำเนินการวิเคราะห์ตัวอย่างในงานวิจัย ที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากร ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่มีส่วนเกี่ยวข้องและช่วยอำนวยความสะดวก ตลอดจนช่วยประสานงานในด้านการติดต่อประสานงานเอกสาร และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีเสมอมา

นอกจากนี้ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ทั้งในระดับมัธยมศึกษา ปริญญาตรี ตลอดจนปริญญาโทของข้าพเจ้าทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน ให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจเสมอมา

และสุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้องทุกคน ที่ให้การส่งเสริม สนับสนุน มอบกำลังใจ คอยช่วยเหลือ และให้คำปรึกษาในทุกๆเรื่อง อีกทั้งเป็นแรงผลักดัน และเกื้อหนุนข้าพเจ้าเสมอมาจนสำเร็จการศึกษาได้ด้วยดี

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย……		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....		จ
กิตติกรรมประกาศ.....		ฉ
สารบัญ.....		ช
สารบัญตาราง.....		ญ
สารบัญภาพ.....		ฏ
บทที่		
1	บทนำ……..	1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
	1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
	1.5 แนวทางการศึกษา.....	3
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..	4
	2.1 เถ้าลอยหรือเถ้าถ่านหิน (Fly ash)……..	4
	2.1.1 ประเภทของถ่านหิน.....	4
	2.1.2 เถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหิน…….	6
	2.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ดักเก็บเถ้าลอยถ่านหิน……	7
	2.1.4 ชนิดของเถ้าลอยถ่านหิน…….	10
	2.1.5 สมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยถ่านหิน…….	10
	2.1.6 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยถ่านหิน……..	12
	2.1.7 ประโยชน์ของเถ้าลอยถ่านหิน…….	15
	2.2 เซโนสเฟียร์ (Cenospheres).....	15
	2.2.1 ประโยชน์ของเซโนสเฟียร์.....	16

หน้า

2.2.2 การประยุกต์ใช้เซโนสเฟียร์ในอุตสาหกรรมต่างๆ..... 17
2.3 เชื้อเพลิงชีวมวล..... 18
2.3.1 ข้อดีของการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง..... 19
2.3.2 ข้อเสียของการใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง..... 20
2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 20

3 วิธีดำเนินงานวิจัย..... 25
3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย..... 25
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... 26
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 26
3.3.1 ศึกษาคุณลักษณะ คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน..... 27
3.3.2 การคัดแยกอนุภาคของเซโนสเฟียร์จากเถ้าลอยและคำนวณหาปริมาณเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอย (Cenosphere yields)..... 27
3.3.3 ศึกษาคุณลักษณะ คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอย..... 30
3.3.4 เปรียบเทียบคุณลักษณะ คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าต่างๆ..... 30

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 31
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน..... 31
4.1.1 สีของเถ้าลอย..... 31
4.1.2 รูปร่างและลักษณะอนุภาคของเถ้าลอย..... 32
4.1.3 การกระจายขนาดของอนุภาคของเถ้าลอย..... 36
4.1.4 ความหนาแน่นของอนุภาคเถ้าลอย..... 38
4.1.5 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย..... 39
4.1.6 ส่วนประกอบทางแร่วิทยาของเถ้าลอย..... 41

หน้า

4.2 ผลการคัดแยกอนุภาคของเซโนสเฟียร์จากเถ้าลอยและผลปริมาณเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอย (Cenosphere yields)..... 43
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ (Cenospheres) ที่คัดแยกจากเถ้าลอย..... 43
4.3.1 สีของอนุภาคเซโนสเฟียร์..... 44
4.3.2 รูปร่างและลักษณะอนุภาคของเซโนสเฟียร์..... 45
4.3.3 การกระจายขนาดของอนุภาคของเซโนสเฟียร์..... 49
4.3.4 ความหนาแน่นของอนุภาคเซโนสเฟียร์..... 49
4.3.5 องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคเซโนสเฟียร์..... 51
4.3.6 ส่วนประกอบทางแร่วิทยาของเซโนสเฟียร์..... 51
4.4 เปรียบเทียบคุณลักษณะ คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าต่างๆ..... 54

5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 56
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 56
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 57

รายการอ้างอิง..... 58
ภาคผนวก..... 61
ภาคผนวก ก..... 62
ภาคผนวก ข..... 79
ภาคผนวก ค..... 84
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 113

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติเชิงวิศวกรรมของเถ้าลอยโดยทั่วไป……..	12
2.2	องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยถ่านหินแต่ละประเภทในประเทศสหรัฐอเมริกา……	14
2.3	องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไปของเซโนสเฟียร์….	16
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนทั้ง 3 แห่ง (%โดยน้ำหนัก).....	40
4.2	องค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี (%โดยน้ำหนัก).....	52
4.3	เปรียบเทียบคุณลักษณะของเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี กับเซโนสเฟียร์ที่ขายในอุตสาหกรรมจากประเทศต่างๆ……..	55

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ประเภทของถ่านหินและลำดับชั้นการเกิดของถ่านหินภายใต้ปัจจัยต่างๆ.....	5
2.2	เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (Electrostatics precipitators).....	7
2.3	หน่วยถุงกรอง (Baghouse unit) สำหรับดักจับฝุ่น.....	8
2.4	เครื่องไซโคลน (Cyclone collector).....	9
2.5	แผนภาพกระบวนการแยกเซโนสเฟียร์ของ Sarkar และคณะ.....	23
2.6	ภาพถ่ายจากเครื่อง SEM จากการทดลองของ Hirajima และคณะ.....	24
3.1	เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง.....	25
3.2	การทดลอง sink and float method ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ Ultrasonic bath.....	28
3.3	อนุภาคของเซโนสเฟียร์ที่ลอยบนผิวน้ำ หลังตั้งทิ้งไว้ให้อนุภาคเถ้าลอยตกตะกอนสมบูรณ์.....	29
3.4	การกรองแยกเซโนสเฟียร์ด้วยกระดาษกรอง.....	29
3.5	อนุภาคของเซโนสเฟียร์หลังการกรองและอบแห้ง.....	29
4.1	เปรียบเทียบสีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง.....	31
4.2	ภาพถ่ายจาก SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ.....	33
4.3	ภาพถ่ายจาก SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ.....	33
4.4	ภาพถ่ายจาก SEM ที่กำลังขยาย 4000 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ.....	34
4.5	ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี.....	34
4.6	ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1500 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี.....	35
4.7	ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 200 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส.....	35
4.8	ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส.....	36
4.9	กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ.....	37

หน้า

4.10 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี..... 37

4.11 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีเอ็นพีเอส… 38

4.12 กราฟผลการวิเคราะห์ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่ของเถ้าลอยจาก โรงไฟฟ้าแม่เมาะ…… 41

4.13 กราฟผลการวิเคราะห์ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่ของเถ้าลอยจาก โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี…….. 42

4.14 กราฟผลการวิเคราะห์ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่ของเถ้าลอยจาก โรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส…….. 42

4.15 กราฟแสดงเปรียบเทียบปริมาณเซโนสเฟียร์ที่เก็บได้ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า แม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี…….. 43

4.16 เปรียบเทียบสีของอนุภาคเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีกับโรงไฟฟ้า แม่เมาะ…….. 44

4.17 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่าของอนุภาคเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้ จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ……. 46

4.18 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงการแตกหักของอนุภาคเซโนส เฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ…….. 46

4.19 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงการแตกหักของอนุภาค เซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ…… 47

4.20 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 200 เท่าของอนุภาคเซโนสเฟียร์ที่คัดแยก ได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี……... 47

4.21 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงการแตกหักของอนุภาค เซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี…….. 48

4.22 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1800 เท่า แสดงการแตกหักของอนุภาค เซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี…….. 48

4.23 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่าของอนุภาคที่ลอยบนผิวน้ำ จากการทดลองลอยและจมของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส…….. 49

4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยและเซโนส เฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ…… 50

หน้า

4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยและเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี..... 50
4.26 กราฟผลวิเคราะห์ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่ของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ..... 53
4.27 กราฟผลวิเคราะห์ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่ของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี..... 53

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เถ้าลอย (fly ash) ถือเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการเผาถ่านหินของโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเถ้าลอยที่เกิดขึ้นจะถูกดักจับโดยเครื่องจับฝุ่นระบบไฟฟ้าสถิต (electrostatic precipitator) มีลักษณะเป็นฝุ่นละเอียดสีเทาปนน้ำตาล เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากและถือเป็นขยะอันตรายที่มักส่งผลกระทบต่อปัญหาทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์โดยเฉพาะในบริเวณใกล้เคียง โดยไม่ได้มีการกำจัดหรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างถูกวิธี จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้นักวิจัยในประเทศไทยได้ตระหนักและสนใจการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้จากการเผาถ่านหินมากขึ้น โดยประเภทของงานที่ใช้ส่วนใหญ่เพื่อใช้เป็นส่วนผสมในงานคอนกรีต จากงานวิจัยต่างๆพบว่าอนุภาคเถ้าลอยสามารถใช้ผสมกับสารปอร์ตแลนด์เพื่อผลิตคอนกรีตได้ โดยสามารถเพิ่มความแข็งแกร่งของคอนกรีต และมีค่าพลังงานการประสานตัวที่ต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่าเถ้าลอยประกอบด้วยสารอนินทรีย์หลายชนิด ซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ ซิลิกา (silica, SiO_2), อลูมินา (alumina, Al_2O_3) และออกไซด์ของเหล็ก (iron oxide, Fe_2O_3)

นอกจากใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานแล้ว พบว่าโครงสร้างที่น่าสนใจของเถ้าลอยที่มีรูปทรงกลมกลวงที่เรียกว่า “เซโนสเฟียร์ (cenospheres)” มีคุณสมบัติพิเศษที่นำไปใช้งานด้านอื่นๆได้ดี โดยเซโนสเฟียร์เป็นอนุภาคที่มีน้ำหนักเบา, มีความเฉื่อย, มีความหนาแน่นต่ำ และไหลร่วน ซึ่งประกอบไปด้วย ซิลิกาและอลูมินาเป็นหลัก ภายในอนุภาคกลวงนี้เต็มไปด้วยอากาศ ในปัจจุบันได้มีการนำเซโนสเฟียร์มาใช้เป็นส่วนหนึ่งของผลิตภัณฑ์ต่างๆเช่น ใช้เซโนสเฟียร์เพื่อลดน้ำหนักคอนกรีตเรซิน ,พลาสติก ,สี และสารเคลือบผิว ซึ่งเป็นประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตมากมาย เช่น ช่วยลดปริมาณการใช้วัตถุดิบ, ลดปริมาณความต้องการยางเรซิน, ช่วยปรับปรุงค่าความต้านทานฉนวนความร้อน และลดน้ำหนักผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

ด้วยเหตุที่เซโนสเฟียร์มีประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆมากมาย และในหลายประเทศได้มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง งานวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะศึกษาคุณลักษณะของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนในประเทศไทย เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาความเป็นไปได้ในการเก็บกลับคืนเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอย เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าเถ้าลอย และการใช้ประโยชน์ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตให้กว้างขวางมากขึ้นซึ่งสอดคล้อง

กับการพัฒนาของอุตสาหกรรมและความต้องการใช้ทรัพยากรในอนาคตที่นับวันยิ่งพัฒนาและเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะของเซโนสเฟียร์ (cenospheres) ของเถ้าลอยถ่านหินจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของเซโนสเฟียร์ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเซโนสเฟียร์จากเถ้าลอยถ่านหินของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ถ่านหินประเภทต่างๆ ได้แก่

- โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง
- โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี จังหวัดระยอง ใช้ถ่านหินบิทูมินัสเป็นเชื้อเพลิง
- โรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส จังหวัดปราจีนบุรี ใช้ถ่านหินบิทูมินัสผสมชีวมวล (แกลบ, เปลือกไม้และชิ้นไม้สับ) เป็นเชื้อเพลิง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาและวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่สำคัญของเถ้าลอยและเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนทั้ง 3 แห่ง ได้แก่

1.3.1.1 ปริมาณของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอย (cenosphere yields)

1.3.1.2 รูปร่าง (shape) ,ขนาดของอนุภาค (particle diameter) และการกระจายขนาดของอนุภาค (particle size distribution)

1.3.1.3 ความหนาแน่นของอนุภาค (density)

1.3.1.4 องค์ประกอบทางเคมี (chemical compositions)

1.3.1.5 ส่วนประกอบทางแร่วิทยา (mineralogical compositions)

1.3.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาค ความหนาแน่นของอนุภาค องค์ประกอบทางเคมีและส่วนประกอบทางแร่วิทยา และเปรียบเทียบคุณลักษณะของเซโนสเฟียร์จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ทราบถึงปริมาณและคุณลักษณะของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแต่ละแห่ง และได้รับองค์ความรู้ในกระบวนการศึกษาและวิเคราะห์คุณลักษณะของเซโนสเฟียร์จากเถ้าลอยถ่านหินของโรงไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาวิจัยการเก็บกลับคืนเซโนสเฟียร์ในภาคอุตสาหกรรม และพัฒนาต่อยอดการนำวัสดุเหลือทิ้งกลับมาใช้ในอุตสาหกรรมอื่นให้เกิดประโยชน์ได้

1.5 แนวทางการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึง คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเถ้าลอยและเซโนสเฟียร์ รวมทั้งการนำเถ้าลอยและเซโนสเฟียร์ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ และความหมายของซีวมวล และยังรวบรวมผลงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยไว้ด้วย

บทที่ 3 กล่าวถึง การใช้วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ เพื่อทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงวิธีการทดลองและทดสอบตัวอย่าง

บทที่ 4 กล่าวถึง ผลการทดสอบคุณสมบัติในด้านต่างๆที่ได้ทำการศึกษาวิจัย และวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ

บทที่ 5 สรุปผลจากการศึกษาตามวัตถุประสงค์ และข้อเสนอแนะที่พบในงานวิจัยเพื่อเป็นแนวทางแก่ผู้ที่สนใจนำผลงานไปศึกษาหรือนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง เป็นการรวบรวมเอกสารที่เป็นแนวทางและข้อสนับสนุนในการศึกษาครั้งนี้

ภาคผนวก เป็นส่วนที่รวบรวมข้อมูลของโรงไฟฟ้า และผลการทดสอบต่างๆที่ได้ทำการศึกษาทั้งหมด

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติโดยทั่วไปของถ่านหิน เถ้าลอยถ่านหิน และเซโนสเฟียร์ ซึ่งประกอบด้วยคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพ รวมทั้งการใช้ประโยชน์ของเถ้าลอยถ่านหินและเซโนสเฟียร์ และการคัดแยกอนุภาค

2.1 **เถ้าลอยหรือเถ้าลอยถ่านหิน** (fly ash)

เถ้าลอยหรือเถ้าลอยถ่านหินเกิดจากการเผาถ่านหินเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ภายหลังจากการเผาไหม้ เถ้าลอยถ่านหินที่อยู่ในเตาเผาจะถูกพัดมาตามลมร้อนเพื่อออกไปสู่ปล่องควัน จากนั้นจะถูกตัวดักจับที่เรียกว่า electrostatic precipitator รวบรวมเถ้าลอยถ่านหินเพื่อเก็บไปไว้ในไซโลต่อไป

2.1.1 **ประเภทของถ่านหิน**

ถ่านหิน เป็นแร่เชื้อเพลิงชนิดหนึ่ง มีสถานะเป็นของแข็ง มีรูปผลึกที่ไม่แน่นอน มีทั้งชนิดผิวมันและผิวด้าน น้ำหนักเบา โดยทั่วไปมีสีน้ำตาลจนถึงสีดำสนิท ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ 4 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน โดยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นธาตุคาร์บอนไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ถ่านหินเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของซากพืชเป็นเวลานานหลายล้านปีภายใต้ความดันและความร้อน จึงทำให้ถ่านหินจากแหล่างต่างๆในโลกมีคุณสมบัติที่ต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของซากพืช สภาพแวดล้อมและอายุของการเปลี่ยนแปลง โดยสามารถจำแนกถ่านหินตามลำดับชั้น จากน้อยไปหามากได้เป็น 5 ประเภท คือ [1]

- <u>พีท (peat)</u> เป็นถ่านหินในขั้นเริ่มต้นของกระบวนการเกิดถ่านหิน ประกอบด้วยซากพืชซึ่งบางส่วนได้สลายตัวไปและบางส่วนยังสลายตัวไม่หมด และมีลักษณะให้เห็นเป็นลำต้น กิ่งหรือใบ มีสีน้ำตาลถึงดำ มีปริมาณออกซิเจนและความชื้นสูง แต่มีปริมาณคาร์บอนต่ำประมาณร้อยละ 50-60 หากนำพีทมาเป็นเชื้อเพลิงต้องนำมาผ่านกระบวนการทำให้แห้งหรือไล่ความชื้นก่อน ใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนในบ้านหรือการผลิตไฟฟ้า ซึ่งความร้อนจากการเผาพีทสูงกว่าที่ได้จากไม้ ข้อดีของพีทคือมีร้อยละของกำมะถันน้อยกว่าน้ำมันและถ่านหินอื่นๆ

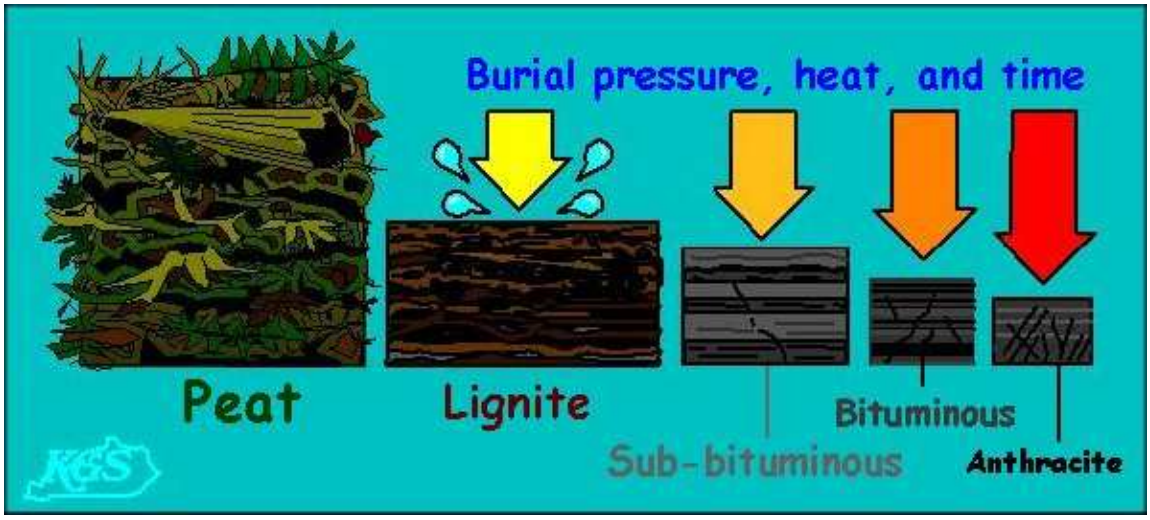
- <u>ลิกไนต์ (lignite)</u> เป็นถ่านหินที่มีซากพืชเหลืออยู่เล็กน้อย มีสีน้ำตาล ลักษณะผิวด้านและเหนียว มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 60-75 ซึ่งสูงกว่าพีท มีปริมาณออกซิเจนค่อนข้างสูงและมี

ปริมาณความชื้นสูงถึงร้อยละ 30-70 เมื่อติดไฟมีควันและเถ้ามาก ลิกไนต์ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับให้ความร้อนและใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

- ซับบิทูมินัส (sub-bituminous) เป็นถ่านหินที่เกิดนานกว่าลิกไนต์ มีสีดำ ลักษณะผิวมีทั้งผิวด้านและผิวมัน มีทั้งเนื้ออ่อนและเนื้อแข็ง มีปริมาณออกซิเจนต่ำและมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 25-30 แต่มีปริมาณคาร์บอนสูงกว่าลิกไนต์ เป็นเชื้อเพลิงที่มีคุณภาพเหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้าและงานอุตสาหกรรม

- บิทูมินัส (bituminous) เป็นถ่านหินที่เกิดนานกว่าซับบิทูมินัส มีเนื้อแน่นและแข็ง มักจะประกอบขึ้นด้วยชั้นถ่านหินสีดำสนิทที่มีลักษณะมันวาว มีปริมาณออกซิเจนต่ำและมีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 1.5-7 แต่มีปริมาณคาร์บอนร้อยละ 69-86 ซึ่งสูงกว่าซับบิทูมินัส ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการถลุงโลหะ และนำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงเคมีอื่นๆได้

- แอนทราไซต์ (anthracite) เป็นถ่านหินที่ใช้เวลาเกิดนานที่สุด มีสีดำ ลักษณะเป็นมันเงา เนื้อแน่นแข็ง มีปริมาณคาร์บอนสูงถึงร้อยละ 86 ขึ้นไป มีปริมาณออกซิเจนต่ำและปริมาณความชื้นต่ำมากประมาณร้อยละ 2-5 มีค่าความร้อนสูงแต่จุดไฟติดยาก เมื่อติดไฟให้เปลวไฟสีน้ำเงินจางๆ มีควันน้อย และไม่มีสารอินทรีย์ระเหยออกมาจากการเผาไหม้ ใช้เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรมต่างๆ



ภาพที่ 2.1 ประเภทของถ่านหินและลำดับชั้นการเกิดของถ่านหินภายใต้ปัจจัยต่างๆ [2]

2.1.2 **เถ้าจากการเถ้าไหม้ถ่านหิน** [3]

การจัดรูปของเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้สามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

- เถ้าหนัก (bottom ash) เป็นส่วนที่อนุภาคของเถ้าหลอมรวมกันจนหนักพอที่จะตกออกนอกหม้อไอน้ำ เถ้าหนักจะมีอนุภาคใหญ่กว่าเถ้าลอยและมีผิวหยาบกว่า สีอยู่ในช่วงเทาถึงดำ รูปร่างมีลักษณะเป็นเหลี่ยมหลายมุมเนื่องจากความพรุนของผิวอนุภาค เถ้าหนักสามารถจับตัวกันก่อให้เกิดสแลก (slag) สแลกจะมีสีดำและมีรูปร่างหลายมุม

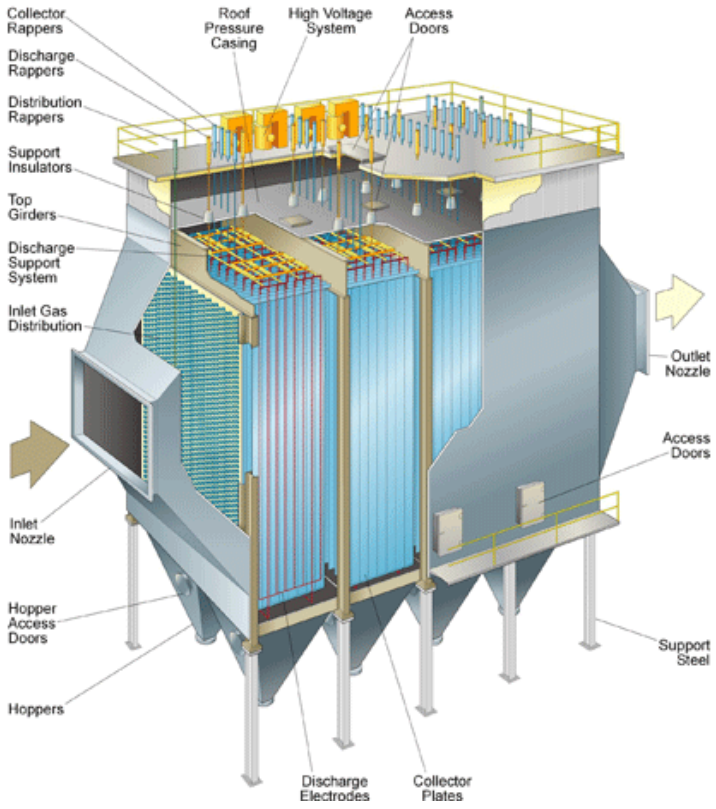
- สารระเหย (volatile matter) เป็นส่วนของถ่านหินที่ระเหยออกระหว่างการเผาไหม้ บางส่วนของไอจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ และบางส่วนก็จะควบแน่นไปเกาะอยู่บนผิวของเถ้าลอย ซึ่งเถ้าลอยจะถูกดักจับที่เครื่องดักจับเถ้าลอย ปริมาณของไอที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของแก๊สเผาไหม้ ความเข้มข้น และสมบัติต่างๆของถ่านหินที่เผาไหม้

- เถ้าลอย (fly ash) เป็นอนุภาคของแข็งซึ่งลอยอยู่ในแก๊สที่เกิดจากการเผาไหม้และลอยออกจากหม้อไอน้ำพร้อมกับแก๊สอื่นๆ เถ้าลอยถูกดักจับด้วยเครื่องดักทางกล (mechanical collectors) หรือเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต อนุภาคขนาดเล็กของเถ้าลอยจะผ่านเครื่องดักจับและถูกปล่อยสู่บรรยากาศต่อไป เถ้าลอยจะมีปริมาณประมาณร้อยละ 10-85 ของปริมาณเถ้าทั้งหมด ลักษณะอนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม ส่วนใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-100 ไมครอน มีสีน้ำตาลอ่อนจนถึงสีดำ สีของเถ้าลอยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนในถ่านหิน จากการวิเคราะห์ทางธรณีวิทยาพบว่า เถ้าลอยมีส่วนประกอบของซิลิกอนเป็นส่วนใหญ่ โดยมีประมาณร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก อนุภาคของเถ้าลอยที่มีผิวเรียบจะมีส่วนประกอบของซิลิกอนสูงกว่าเถ้าลอยที่มีผิวหยาบ นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆด้วย ได้แก่ แมกเนไทต์ เฮมาไทต์ คาร์บอน มุลไลต์ และควอตซ์

การจัดรูปแบบของเถ้าถ่านหินระหว่างส่วนของเถ้าลอยกับเถ้าหนักขึ้นอยู่กับชนิดของเตาเผา ชนิดของถ่านหิน อุณหภูมิในการหลอมเถ้า และอุณหภูมิของหม้อไอน้ำ ซึ่งเตาเผาเป็นปัจจัยแรกที่สำคัญในการเกิดการแยกส่วนของเถ้าลอยกับเถ้าหนัก เช่น เตาเผาชนิดสโตกเกอร์ (Stoker) จะมีการปล่อยเถ้าลอยออกมาน้อยที่สุด

2.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ดักเก็บเถ้าลอยถ่านหิน

- เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (electrostatics precipitators) เครื่องดักเก็บนี้ส่วนใหญ่ใช้ในโรงผลิตกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว แก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ผ่านอนุภาคเถ้าลอยจะได้รับประจุไฟฟ้าทางลบ และถูกดึงให้ไปเกาะบนขั้วไฟฟ้าบวก ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องมีการทำความสะอาดเครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิตอย่างต่อเนื่อง โดยการเคาะเพื่อไล่อนุภาคที่เก็บได้ออก การเก็บเถ้าลอยเครื่องดักเก็บควรมีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 99 เนื่องด้วยคุณภาพของถ่านหินที่ใช้ในโรงไฟฟ้าจะมีคุณภาพแย่ลงเมื่อมีปริมาณเถ้ามากขึ้น และเถ้าลอยจะมีส่วนประกอบเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ดังนั้นความสามารถในการทำงานของเครื่องตกตะกอนจะต้องมีความเหมาะสมกับเถ้าลอยที่ดักเก็บ เช่น มีความต้านทานทางไฟฟ้า ซึ่งสมบัติต่างๆจะเปลี่ยนแปลงไปหากถ่านหินที่ใช้ หรือการทำงานของหม้อไอน้ำมีการเปลี่ยนแปลง

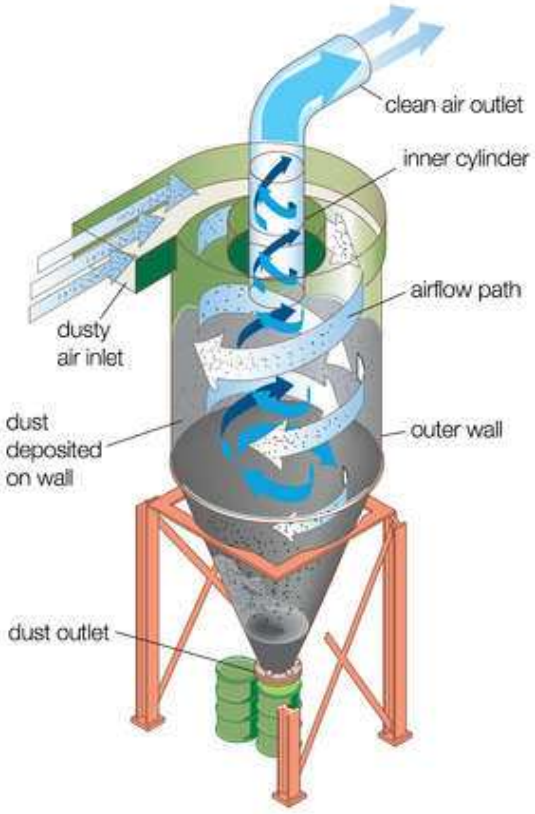


ภาพที่ 2.2 เครื่องตกตะกอนไฟฟ้าสถิต (electrostatics precipitators) [4]

- <u>ถุงกรอง (baghouse)</u> ถุงนี้จะทำจากผ้าที่สามารถดักจับอนุภาคของเถ้าลอยได้ มักจะใช้หลายถุงในหน่วยโครงสร้างหนึ่ง จึงเรียกว่า “baghouse” ถุงนี้จะมีประสิทธิภาพดีพอๆกับเครื่องตกตะกอน มีการนำไปใช้ในโรงผลิตกระแสไฟฟ้าในบางแห่ง

ภาพที่ 2.3 หน่วยถุงกรอง (baghouse unit) สำหรับดักจับฝุ่น [5]

- ไซโคลน (cyclone collector) เครื่องไซโคลนมีหลักการทำงานโดยจะหมุนวนอย่างปั่นป่วนของแก๊ส ทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางสามารถทำให้เกิดการแยกของอนุภาคเถ้าลอยที่หนักออกจากอนุภาคแก๊ส ไซโคลนควรมีประสิทธิภาพร้อยละ 70-85 เมื่อใช้ร่วมกับหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินบดเป็นเชื้อเพลิง เครื่องไซโคลนชนิดไซโคลนไฟด์บอยเลอร์ (cyclone-fired boiler) จะทำให้เกิดเถ้าขนาดเล็กเป็นจำนวนมากกว่าหน่วยที่ใช้ถ่านหินบดเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นเครื่องไซโคลนไฟด์บอยเลอร์จะมีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องไซโคลน ในหน่วยของไซโคลนอุณหภูมิของเครื่องจะสูงกว่าจุดหลอมเหลวของเถ้าประมาณร้อยละ 80-85 ของเถ้าที่เกิดจากการหลอม และรวมตัวเกิดเป็นสแลก ซึ่งเถ้าลอยที่เกิดจากหน่วยของไซโคลนจะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย อนุภาคมีลักษณะละเอียด (เล็กกว่า 10 ไมครอน) แต่ในหน่วยของพัลเวอร์ไรซ์ (Pulverization unit) เกิดเถ้าลอยขึ้นร้อยละ 65-80 และเถ้าหนักร้อยละ 20-35 ปัจจัยที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ อุณหภูมิในการหลอมของเถ้า เถ้าที่มีอุณหภูมิการหลอมต่ำมีแนวโน้มที่จะหลอมในหม้อต้มไอน้ำและสะสมตัวในรูปของเถ้าหนัก นั่นคือ หม้อต้มไอน้ำที่ก้นเปียกจะก่อให้เกิดเถ้าหนักมากกว่าหม้อต้มไอน้ำที่ก้นแห้ง



ภาพที่ 2.4 เครื่องไซโคลน (cyclone collector) [6]

2.1.4 **ชนิดของเถ้าลอยถ่านหิน**

สามารถจำแนกตามส่วนประกอบทางธรรมชาติ โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เถ้าลอยบิทูมินัส และเถ้าลอยลิกไนต์ เถ้าลอย 2 ชนิดนี้มีความแตกต่างกันคือ ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคเถ้าลอยลิกไนต์หยาบกว่าเถ้าลอยบิทูมินัส คือ มีช่วงของการกระจายขนาดที่กว้างกว่า ค่าดัชนีหักเหของเถ้าลอยลิกไนต์มีค่าสูงกว่าเถ้าลอยบิทูมินัส และเถ้าลอยลิกไนต์มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) รวมกับแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) มากกว่าเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) แต่สำหรับเถ้าลอยบีทูมินัสจะมีปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) มากกว่าปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) รวมกับแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)

คุณสมบัติของสารประกอบต่างๆในเถ้าลอยถ่านหินจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางกายภาพและทางเคมีนั้นเนื่องด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นในเตาเผา ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้และการทำให้เย็นลงของเถ้าลอยถ่านหินด้วย เถ้าลอยถ่านหินจากการเผาไหม้นี้ ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเป็นออกไซด์ของซิลิก้า อลูมินา และเหล็กเป็นหลัก ซึ่งจัดเป็นสารปอซโซลาน (pozzolan material) โดยทั่วไปสารปอซโซลานจะไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน (cementitous properties) หรือมีเพียงน้อยมาก แต่ถ้าสารปอซโซลานนั้นมีความละเอียดมากและอยู่ในสภาพที่ความชื้นเพียงพอ จะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสานได้ [7]

2.1.5 **สมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยถ่านหิน** [3]

เถ้าลอยถ่านหินมีลักษณะพิเศษเฉพาะ คือ มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ มีการกระจายของขนาดอนุภาคค่อนข้างสม่ำเสมอ และมีความข้นเหนียว (plasticity) ต่ำ ค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยจะเปลี่ยนไปตามองค์ประกอบทางเคมี เถ้าลอยของประเทศญี่ปุ่นมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยประมาณ 2.14 เถ้าลอยของประเทศอเมริกามีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยประมาณ 2.40 และเถ้าลอยของประเทศอังกฤษมีค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยประมาณ 2.10 จะเห็นได้ว่าค่าความถ่วงจำเพราะของเถ้าลอยนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน คือโดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วง 2.60 - 2.80 เนื่องด้วยเถ้าลอยเกิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินที่ถูกบดขนาดของเม็ดเถ้าลอยจึงขึ้นอยู่กับความละเอียดของผงถ่านหิน และอุณหภูมิขณะเกิดการเผาไหม้ในสภาพปกติเถ้าลอยจะเป็นฝุ่นฟุ้งกระจายได้ง่ายเมื่ออยู่ในสภาพแห้ง และแฉะเป็นเลนเมื่ออิ่มตัว

ด้วยไอน้ำ แต่หากผสมน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม และได้รับการบดอัดที่เพียงพอแล้วจะเกาะตัวเป็นก้อนแข็งและมีกำลังอัดสูง

คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าลอยถ่านหินมีลักษณะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งของถ่านหิน ระดับอุณหภูมิและความสม่ำเสมอในการเผาไหม้ของถ่านหิน การเผาถ่านหินชนิดเดียวกันลักษณะอนุภาคของเถ้าลอยถ่านหินย่อมไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ถ้าเผาถ่านหินต่างชนิดกัน เถ้าลอยถ่านหินที่เกิดขึ้นก็มีโอกาสที่อนุภาคจะแตกต่างกันสูง

2.1.5.1 **สีและรูปร่างของเถ้าลอยถ่านหิน**

สีของเถ้าลอยถ่านหินจะขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์บอนและปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) ในเถ้าลอยถ่านหิน [8] โดยปกติเถ้าลอยถ่านหินจะมีสีเทา-น้ำตาล ถึง น้ำตาล-แดง หากเถ้าลอยถ่านหินมีปริมาณคาร์บอนอยู่มากจะมีสีเทาถึงเทา-ดำ และถ้าเถ้าลอยถ่านหินมีปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) อยู่มากก็จะมีสีน้ำตาล-แดง โดยทั่วไปเถ้าลอยถ่านหินมักจะมีรูปร่างกลมเป็นส่วนใหญ่ มีรูปร่างหลายเหลี่ยมเป็นส่วนน้อย ซึ่งรูปหลายเหลี่ยมมักเกิดจากกระบวนการในเตาเผาโดยการเผาถ่านหินที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1500-1800 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวของเถ้าลอยถ่านหิน [9]

2.1.5.2 **ความละเอียดของเถ้าลอยถ่านหิน**

ความละเอียดของเถ้าลอยถ่านหินที่ได้ขึ้นอยู่กับหลายๆองค์ประกอบ เช่น ชนิดของถ่านหินที่ใช้ในการเผาไหม้ ความละเอียดของผงถ่านหินก่อนนำไปเผา อุณหภูมิในเตาเผา และวิธีการและประสิทธิภาพของเครื่องมือที่ใช้ในการดักจับเถ้าลอยถ่านหิน [8] โดย ASTM C 618 [10] ได้กำหนดมาตรฐานของเถ้าลอยถ่านหินเกี่ยวกับความละเอียดไว้ โดยยอมให้มีน้ำหนักเถ้าลอยถ่านหินค้างตะแกรงเบอร์ 325 (ขนาดช่องเปิด 45 ไมครอน) ได้ไม่เกินร้อยละ 34 โดยน้ำหนัก ซึ่งความละเอียดของเถ้าลอยถ่านหินเป็นตัวแปรที่สำคัญ ซึ่งส่งผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต โดยความละเอียดของเถ้าลอยถ่านหินจะแปรผันตามกำลังอัดของคอนกรีต คือ ความละเอียดของเถ้าลอยถ่านหินสูงขึ้นกำลังอัดของคอนกรีตก็สูงขึ้นด้วย

2.1.5.3 **ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยถ่านหิน**

ค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอยถ่านหินในประเทศไทยอยู่ระหว่าง 1.90 - 2.30 กรัม/ซม^3 และพบว่าในประเทศสหรัฐอเมริกา อังกฤษ และญี่ปุ่น ค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้า

ถ่านหินอยู่ระหว่าง 2.10 - 2.40 กรัม/ซม^3 โดยค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าถ่านหินจะแปรผันตามปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) แต่แปรผกผันกับปริมาณคาร์บอน [8] พบว่าถ้าในเถ้าถ่านหินมีปริมาณเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) มากค่าความถ่วงจำเพาะจะสูงขึ้นด้วย แต่ถ้าเถ้าถ่านหินมีองค์ประกอบของคาร์บอนสูง จะทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะต่ำลง นอกจากนี้เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดสูงกว่ามีแนวโน้มความถ่วงจำเพาะสูงกว่าเถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดต่ำกว่า เนื่องจากเถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดสูงจะมีลักษณะเป็นทรงกลมตันและมีรูพรุนน้อยกว่าเถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดต่ำ ค่าความถ่วงจำเพาะจึงเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเถ้าถ่านหินที่มีขนาดใหญ่กว่า [7]

ตารางที่ 2.1 สมบัติเชิงวิศวกรรมของเถ้าลอยโดยทั่วไป [3]

Specific Gravity	1.90 – 2.69
Specific Surface Area (cm^2/g)	1220 - 8100
Optimum Water Content (%, standard compaction test)	18 – 45
Maximum Dry Unit Weight (kN/m^3)	9 - 16

2.1.6 **องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยถ่านหิน**

เถ้าจากการเผาไหม้ถ่านหินประกอบด้วยแร่อนินทรีย์ที่อยู่ในถ่าน แร่อนินทรีย์ที่ได้จะอยู่ในรูปของเถ้าลอย การเผาถ่านหินจะเกิดเถ้าลอยประมาณร้อยละ 3-30 ของปริมาณถ่านหินทั้งหมด ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากสารบางส่วนเกิดการระเหยและมีการเปลี่ยนแปลงไประหว่างการเผาไหม้ เช่น ดินเหนียวและหินดินดานจะสูญเสียน้ำไปผ่านปฏิกิริยาไฮเดรชัน (hydration reaction) เกิดการสูญเสียคาร์บอเนตจากการสลายตัวให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ออกมา เหล็กไพไรต์ (iron pyrites) เปลี่ยนไปเป็นเหล็กออกไซด์ (iron oxide) และให้ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ออกมา ซึ่งจะถูกปล่อยไปในบรรยากาศ นอกจากนี้แคลเซียมไดออกไซด์อิสระเกิดการจัดรูปแบบใหม่เป็นคาร์บอเนต (CO_3) ในถ่านหินจะมีสารแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ส่วนในเถ้าลอยถ่านหินจะมีซัลเฟอร์ในรูปแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) เถ้าลอยเหล่านี้ประกอบไปด้วยซิลิกา (Si) อะลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) และหินปูนเป็นหลัก นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น แมกนีเซียม (Mg) ไทเทเนียม (Ti) โพแทสเซียม (K) ฟอสฟอรัส (P) ซัลเฟอร์ (S) และสารประกอบแอลคาไลด์ ยังมีหินปูนกับแมกนีเซียมที่เกิดจากสารพวกคาร์บอเนตและซัลเฟตด้วย ระดับปริมาณเถ้าลอยในถ่านหินจะมีช่วงปริมาณที่กว้างมาก โดยจะเปลี่ยนไปตามสถานที่ต่างๆกันในโลก และในพื้นที่

เดียวกันอาจแตกต่างกันตามระดับชั้นผิวและเหมืองที่ต่างกัน โดยเฉลี่ยแล้วเถ้าลอยประกอบไปด้วยองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญดังนี้

- Silica (SiO_2) ร้อยละ 41-58 โดยน้ำหนัก
- Alumina (Al_2O_3) ร้อยละ 21-27 โดยน้ำหนัก
- Iron Oxide (Fe_2O_3) ร้อยละ 4-17 โดยน้ำหนัก
- Lime (CaO) ร้อยละ 4-6 โดยน้ำหนัก

ที่เหลือเป็นออกไซด์ของแร่ชนิดต่างๆที่ผสมอยู่ในถ่านหิน เช่น MgO, SO_4^{2-}, Na_2O และ K_2O เป็นต้น จะเห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยคล้ายคลึงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาก เพราะทั้งเถ้าลอยและปูนซีเมนต์ต่างก็เป็นสารที่เกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงของสารที่ผสมอยู่ในถ่านหิน

จากที่ได้กล่าวข้างต้นว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเถ้าลอย คือ ซิลิกา (SiO_2) และอลูมินา (Al_2O_3) เถ้าลอยจึงสามารถรวมตัวกับปูนขาว (CaO) ซึ่งถือว่าเถ้าลอยเป็นวัสดุปอซโซลาน (pozzolan) ชนิดหนึ่ง ปฏิกิริยาทางเคมีของการเกิดการเชื่อมประสานแสดงดังนี้

$$6CaO.SiO_2 + 6H_2O \text{ -------> } 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2 \quad (3.1)$$

$$3Ca(OH)_2 + 2SiO_2 \text{ -------> } 3CaO.2SiO_2.3H_2O \quad (3.2)$$

$$3Ca(OH)_2 + 2Al_2O_3 \text{ -------> } 3CaO.2SiO_2.3H_2O \quad (3.3)$$

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยถ่านหินขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านธรณีวิทยา และสภาพแวดล้อมของแหล่งเกิดถ่านหินเป็นหลัก ซึ่งอาจขึ้นกับสภาพเผาไหม้ และประสิทธิภาพของเครื่องดักจับเถ้าลอยด้วย องค์ประกอบหลักทางเคมีของเถ้าลอยถ่านหิน ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมินัมไตรออกไซด์ (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) มาตรฐาน ASTM C 618 [10] ได้กำหนดประเภท (class) ของเถ้าลอยถ่านหินจากองค์ประกอบทางเคมีออกเป็น 2 ประเภท โดยพิจารณาจากผลรวมของ $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ ดังนี้

- Class F มีผลรวมของ $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ มากกว่าร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่แล้วถ่านหินชนิดแอนทราไซต์ (anthracite) และบิทูมินัส (bituminous) จะให้เถ้าลอยถ่านหิน Class F

- Class C มีผลรวมของ SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 ระหว่างร้อยละ 50-70 โดยน้ำหนัก ส่วนใหญ่แล้วถ่านหินชนิดลิกไนต์ (lignite) และซับบิทูมินัส (sub-bituminous) จะให้เถ้าลอยถ่านหิน Class C

ปริมาณน้ำ (ความชื้น) ในถ่านหินยังบ่งบอกถึงคุณภาพที่ต่างกันของถ่านหินด้วย ถ่านหินที่มีน้ำน้อยแสดงว่าเป็นถ่านหินที่มีคุณภาพสูง เช่น ถ่านพีท (peat) อาจมีน้ำถึงร้อยละ 90 ส่วนในถ่านหินแอนทราไซต์ (anthracite) มีน้ำเพียงร้อยละ 0.5 ซึ่งเป็นถ่านหินที่ดีที่สุด [8] นอกจากนี้คุณสมบัติทางเคมีอีกอย่างหนึ่งที่น่าสนใจ คือ ปริมาณคาร์บอนในเถ้าถ่านหิน ซึ่งจะมีผลต่อค่าร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้ (loss on ignition; LOI) เพราะคาร์บอน คือถ่านหินที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งคาร์บอนในเถ้าลอยถ่านหินยังทำให้เกิดรูพรุนซึ่งจะมีผลต่อการดูดซึมน้ำที่ใช้ในการผสมและทำให้ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมากขึ้นด้วย

นอกจากเถ้าลอยถ่านหินจะมีองค์ประกอบหลักเป็น ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) อลูมินัมไตรออกไซด์ (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) แล้วยังมีองค์ประกอบย่อยเป็นออกไซด์ของแร่ชนิดต่างๆด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยถ่านหินชนิดต่างๆ

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยถ่านหินแต่ละประเภทในประเทศสหรัฐอเมริกา [11]

	Anthracite	Bituminous	Subbituminous	Lignite
SiO_2	47-68	7-68	17-58	6-45
Al_2O_3	25-43	4-39	4-35	6-23
Fe_2O_3	2-10	2-44	3-19	1-18
CaO	0-4	1-36	2-45	15-44
MgO	0-1	0-4	0.5-8	3-12
Na_2O	-	0-3	-	0-11
K_2O	-	0-4	-	0-2
SO_3	0-1	0-32	3-16	6-30

2.1.7 ประโยชน์ของเถ้าลอยถ่านหิน

- การใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุถม (fill material) เถ้าลอยเมื่อผสมกับน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมและทำการบดอัดอย่างดี เถ้าลอยจะเป็นวัสดุถมที่มีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ดี และเกิดการยุบตัวน้อย กำลังอัด (unconfined compressive strength) ของเถ้าลอยขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการบดอัด และองค์ประกอบทางเคมีด้วย เถ้าลอยที่ผ่านการบดอัดแล้วจะมีน้ำหนักเบาและมีกำลังอัดสูงเมื่อเทียบกับดินที่ใช้เป็นวัสดุถมทั่วไป การนำเถ้าลอยไปถมพื้นที่ที่เป็นชั้นดินอ่อนจึงเป็นที่นิยม เนื่องด้วยน้ำหนักเบาซึ่งช่วยลดการทรุดตัวในชั้นดินอ่อน และการทรุดตัวในชั้นเถ้าลอยเองก็จะลดลงเพราะมีกำลังอัดที่สูง

- การใช้เถ้าลอยในโครงสร้างถนน นิยมใช้เถ้าลอยในชั้นรองพื้นทาง (sub-base) และชั้นพื้นทาง (base) โดยใช้ผสมกับปูนซีเมนต์หรือปูนขาว และอาจใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินเพื่อให้เหมือนกับคุณสมบัติของปูนซีเมนต์หรือปูนขาว

- การใช้เถ้าลอยในงานคอนกรีต โดยใช้เป็นสารผสมเพิ่ม (admixture) ในส่วนผสมคอนกรีต ใช้เป็นส่วนผสมปูนซีเมนต์ และใช้เป็นวัตถุดิบส่วนหนึ่งในการผลิตปูนซีเมนต์ ในการใช้เถ้าลอยเป็นสารผสมเพิ่มในคอนกรีต สามารถช่วยลดปริมาณปูนซีเมนต์ลง และเถ้าลอยจะทำหน้าที่ในการเชื่อมประสานแทนปูนซีเมนต์ด้วย

- การใช้เถ้าลอยในการดูดซับ มักทำให้เถ้าลอยอยู่ในรูปแบบของซีโอไลต์ ซึ่งซีโอไลต์เป็นผลึกของสารอลูมิโนซิลิเกต มีโครงสร้างที่เป็นรูพรุนสม่ำเสมอ ทำให้สามารถดูดซับสารพิษต่างๆได้ [12]

2.2 **เซโนสเฟียร์** (Cenospheres)

เซโนสเฟียร์ ถือเป็นองค์ประกอบที่มีค่าในเถ้าลอยถ่านหิน การเกิดเซโนสเฟียร์นั้นขึ้นอยู่กับการเผาไหม้และการเย็นตัวของเถ้าลอย เซโนสเฟียร์เป็นอนุภาคที่มีลักษณะกลมกลวง ผนังบาง ขนาดละเอียด มวลเบา เป็นผงสีเทาขาวหรือค่อนข้างขาวไหลร่วน มีความหนาแน่นอนุภาคเฉลี่ยต่ำ และลอยน้ำ ในเถ้าลอยโดยทั่วไปมีประมาณน้อยประมาณ 1 - 10 % จึงทำให้มีราคาสูง องค์ประกอบส่วนใหญ่ของเซโนสเฟียร์ประกอบด้วยซิลิกา อะลูมินา และเหล็กออกไซด์ คุณสมบัติของเซโนสเฟียร์ ขึ้นอยู่กับการใช้งานถ่านหิน กระบวนการบดย่อยถ่านหิน กระบวนการเผาไหม้ และการเก็บคืนจากกระบวนการในโรงไฟฟ้า คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีโดยทั่วไปของเซโนสเฟียร์ดังแสดงตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพโดยทั่วไปของเซโนสเฟียร์ [13]

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (ร้อยละ)
SiO_2	50 – 60
Al_2O_3	33 – 39
Fe_2O_3	1.3 – 6
CaO	1.5 – 4
MgO	0.8 – 1.5
คุณสมบัติทางกายภาพ	
ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	5 – 400
ความหนาแน่นอนุภาค (กรัม/ลบ.ซม.)	0.4 – 0.8
ความหนาแน่นรวม (bulk density, กรัม/ลบ.ซม.)	0.26 – 0.45
ความชื้น (%)	<0.5
ความแข็ง (Mohr)	5 – 7
สูญเสียจากการเผา (LOI, %)	2 (สูงสุด)
ความนำความร้อน (W/mK)	0.11
ความแข็งแรง (crushing strength, กก./ตร.ซม.)	105 – 210
การดูดซึมน้ำมัน (กรัม น้ำมัน/100 กรัม)	16 – 18
จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	1350

2.2.1 **ประโยชน์ของเซโนสเฟียร์** [14]

- ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมการผลิต ด้วยรูปทรงกลมของเซโนสเฟียร์ช่วยปรับปรุงสมบัติการไหลตัวให้ดีขึ้นและทำให้วัสดุตัวเติม (filler) มีการกระจายตัวมากขึ้นด้วย อีกทั้งคุณสมบัติตามธรรมชาติของเซโนสเฟียร์จึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งในรูปแบบแห้งและเปียกเหลว เซโนสเฟียร์ง่ายต่อการจัดการด้วยอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่ต่ำ เนื่องจากคุณสมบัติเฉื่อยของเซโนสเฟียร์ จึงมีความต้านทานต่อตัวทำละลาย, น้ำ, กรดหรือด่าง เซโนสเฟียร์มีน้ำหนักเบากว่าแร่ธาตุอื่นๆที่ใช้เป็นตัวเติมกว่า 75% และเบากว่ายางเรซินทั้งหมดกว่า 30%

- ลดต้นทุนค่าใช้จ่าย การนำเซโนสเฟียร์มาใช้ประโยชน์ช่วยลดค่าใช้จ่ายของวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิต ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดไปได้อาจจะเป็นหนึ่งข้อหรือมากกว่านั้น เช่น ใช้วัตถุดิบลดลง ปรับปรุงค่าใช้จ่ายให้ดีขึ้น ความต้องการใช้ยางเรซินลดลง ปรับปรุงค่าฉนวนความร้อนให้ดีขึ้น ทนทานต่อการดูดซึมในยางเรซิน และลดน้ำหนักผลิตภัณฑ์สุดท้าย

- การปรับปรุงผลิตภัณฑ์ เซโนสเฟียร์ทำให้ผลิตภัณฑ์ดีขึ้นโดยปรับปรุงความแข็งแรงความทนทานของผลิตภัณฑ์ และช่วยลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งช่วยเพิ่มการลอยตัว, คุณสมบัติทางฉนวนความร้อนที่ดีขึ้น, ช่วยลดค่าการหดตัวและการบิดหมุนเปลี่ยนสภาพ ด้วยรูปร่างทรงกลมของเซโนสเฟียร์จะช่วยทำให้เสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้นและช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการอัด เซโนสเฟียร์ถูกใช้ในการผลิตของวัสดุทางฉนวน เซโนสเฟียร์สามารถควบคุมได้ทั้งระดับเสียงและสภาพทางการนำความร้อน ประโยชน์และข้อดีของเซโนสเฟียร์อื่นๆอีกมากนั้นก็ขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งาน

- พัฒนาแผนการทางการตลาด การปรับปรุงในเรื่องความทนทานและความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ และการลดลงในเรื่องน้ำหนักผลิตภัณฑ์ช่วยเพิ่มกลยุทธ์ทางการตลาดมากขึ้น ประโยชน์โดยส่วนใหญ่ที่ไม่ได้ถูกกล่าวถึงของบริษัทผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ก็คือได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความรับผิดชอบต่อสิ่งแวดล้อม บริษัทผู้ผลิตสามารถใช้เซโนสเฟียร์เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่ดีขึ้นโดยไม่เพิ่มภาระแก่พื้นที่ฝังกลบขยะ และคุณสมบัติความเฉื่อยทางเคมีของเซโนสเฟียร์จึงทำให้มันสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ด้วยคนในสังคมให้ความสนใจตระหนักถึงความกังวลเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น จึงมีการนำเซโนสเฟียร์มาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อผลทางการตลาดต่อบริษัท

2.2.2 **การประยุกต์ใช้เซโนสเฟียร์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ** [14]

เซโนสเฟียร์ถูกนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าและผลิตภัณฑ์ต่างๆมากมาย ได้แก่

- รถยนต์ เช่น การประดิษฐ์ชิ้นส่วนของปูนอุดรอยรั่วที่เป็นสารโพลิเมอร์รถยนต์และตัวถังรถยนต์

- เซรามิกส์ เช่น วัตถุทนความร้อนสูง แผ่นกระเบื้อง อิฐบล็อกทนไฟ อลูมินัม ซีเมนต์ วัสดุที่ใช้เป็นฉนวน และสารเคลือบ

- สิ่งปลูกสร้าง เช่น เซโนสเฟียร์ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขางในอุตสาหกรรมสิ่งปลูกสร้าง ตั้งแต่วัสดุมุงหลังคาไปจนถึงปูนฉาบผนังและปูนซีเมนต์ การประยุกต์ใช้ในงานและ

ผลิตภัณฑ์ใหม่ๆก็ยิ่งมีการพัฒนาขึ้นไปเรื่อยๆ ปัจจุบันเซโนสเฟียร์ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้างในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องด้วยบริษัทต่างๆเล็งเห็นถึงประโยชน์ของเซโนสเฟียร์ที่ให้แก่ผลิตภัณฑ์

- บ่อน้ำมัน เช่น นำเซโนสเฟียร์ไปใช้ในหลุมเจาะปิโตรเลียม เซโนสเฟียร์ยังเคยถูกนำมาใช้ในงานซีเมนต์ของบ่อน้ำมันในระหว่างงานซีเมนต์ เซโนสเฟียร์จะทำหน้าที่เสมือนลดความเข้มข้นของซีเมนต์โดยไม่ต้องเพิ่มปริมาณน้ำ ซึ่งเป็นการเพิ่มกำลังอัดแก่ซีเมนต์ขึ้นตามลำดับด้วย

- พลาสติก เช่น เซโนสเฟียร์เป็นตัวเติมที่น้ำหนักเบาอย่างดีเยี่ยมสำหรับงานพลาสติก และนับวันยิ่งมีการเติบโตและเป็นที่นิยมนำมาใช้เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไม่เพียงแต่มันจะช่วยลดต้นทุนของสารประกอบเท่านั้น เซโนสเฟียร์ยังทำให้การปรับปรุงสมรรถนะดีขึ้น เซโนสเฟียร์ถูกใช้ในการหล่อขึ้นรูปทุกชนิด, ผสมในไนลอน, โพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ และโพลิโพพิลีนความหนาแน่นต่ำ

- สีและสารเคลือบผิว เช่น เซโนสเฟียร์เป็นสารเติมแต่งพิเศษในอุตสาหกรรมการทำสีและสารเคลือบผิวที่นำมาใช้เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้ดีขึ้น รูปทรงกลมเป็นรูปทรงที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด ด้วยเหตุนี้เซโนสเฟียร์จึงช่วยลดปริมาณความต้องการยางเรซินและเพิ่มปริมาตรความจุ

2.3 **เชื้อเพลิงชีวมวล** [15]

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งเก็บพลังงานจากธรรมชาติ สามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร กากจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น แกลบ เปลือกไม้ ซังข้าวโพด ชานอ้อย และขี้เลื่อย เป็นต้น

การที่ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้นั้น เพราะในขั้นตอนในการเจริญเติบโตของพืช ได้ใช้กระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานจากแสงอาทิตย์ เป็นแป้งและน้ำตาล นำไปกักเก็บไว้ตามส่วนต่างๆของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิงจะได้พลังงานมาจากการเผาไหม้จององค์ประกอบของคาร์บอนที่พืชสะสมไว้

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของชีวมวลและถ่านหิน

ชีวมวล $C_6H_{12}O_6 + O_2$ -------> mostly ($CO_2 + H_2O$) (3.4)

ถ่านหิน $CH_{0.8} + O_2$ -------> mostly ($CO_2 + H_2O$) (3.5)

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม จึงมีของเหลือใช้และเหลือทิ้งจากการเกษตรหลังจากการเก็บเกี่ยวหลายชนิด ชีวมวลเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่ราคาถูก และอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ของประเทศเป็นอุตสาหกรรมการเกษตรจึงมีวัสดุเหลือทิ้งมากมาย สิ่งต่างๆเหล่านี้จึงสามารถนำมาทำเป็นเชื้อเพลิงแทนฟืนและถ่านได้ การนำชีวมวลมาใช้จึงช่วยลดการเสียเงินตราต่างประเทศเพื่อนำเข้าเชื้อเพลิง และสามารถสร้างรายได้แก่คนในท้องถิ่นได้ การผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงชีวมวลด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม ย่อมไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่สร้างสภาวะเรือนกระจก การปลูกทดแทนทำให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการหมุนเวียนและลดการปลดปล่อยเพิ่มเติมด้วย

เชื้อเพลิงชีวมวล สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท คือ

- เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากไม้ (forest biomass) สามารถแยกออกได้เป็นไม้เนื้ออ่อน (Soft wood) และไม้เนื้อแข็ง (Hard wood) ได้แก่ เศษไม้ เปลือกไม้ กิ่งไม้ และขี้เลื่อย
- เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากการเกษตร (agriculture biomass) ส่วนใหญ่จะเป็นของเหลือทิ้งจากการเกษตร เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด และแกลบ เป็นต้น
- เชื้อเพลิงชีวมวลที่ได้จากอุตสาหกรรมเกษตร (industrial waste) เช่น เชื้อเพลิงที่ได้จากโรงงานน้ำตาล ได้แก่ ชานอ้อย และกากสับปะรดที่ได้จากโรงงานทำสับปะรดกระป๋อง เป็นต้น เชื้อเพลิงประเภทนี้จะมีปริมาณความร้อนที่สูงมาก
- เชื้อเพลิงที่ได้จากของเหลือใช้ของมนุษย์ (domestic waste) เช่น เชื้อเพลิงที่ได้จากขยะมูลฝอยจากเทศบาล

2.3.1 **ข้อดีของการใช้ชีวมวลเป็นพลังงาน**

- การนำชีวมวลมาใช้ ถือเป็นการนำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์อย่างสูงสุด ก่อให้เกิดรายได้แก่ผู้ผลิตชีวมวล และยังลดภาระในการกำจัดด้วย เช่น การนำไปฝังกลบและเผาทิ้ง เป็นต้น
- การไม่นำชีวมวลมาใช้ แต่ปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติจะก่อให้เกิดแก๊สมีเทน ซึ่งแก๊สมีเทนเป็นแก๊สเรือนกระจกชนิดหนึ่ง มีอันตรายกว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า
- ชีวมวลมีกำมะถันหรือซัลเฟอร์ไม่เกินร้อยละ 0.2 ดังนั้นการนำชีวมวลมาใช้ในการเผาไหม้จะไม่สร้างปัญหาเรื่องฝนกรด น้ำมันเตามีปริมาณกำมะถันประมาณร้อยละ 2 ส่วนถ่านหินมีปริมาณกำมะถันประมาณร้อยละ 0.3-0.38 ขึ้นกับประเภทของถ่านหิน

- ขี้เถ้าของชีวมวลมีสภาพเป็นด่าง จึงเหมาะที่จะนำไปเพาะปลูกและปรับสภาพดินที่เป็นกรด และสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมถลุงเหล็กและผสมในซีเมนต์ได้

- สร้างงานในชุมชน และก่อให้เกิดรายได้

- ประหยัดเงินตรา เพราะไม่ต้องนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ เช่น ถ่านหิน น้ำมันเตา เป็นต้น

- หากโรงไฟฟ้าชีวมวลตั้งอยู่กระจายตามที่ต่างๆ จะช่วยเสริมการจ่ายไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นอย่างดี แรงดันไฟฟ้าไม่ตก และจะสม่ำเสมอ ช่วยลดการสูญเสียในสายไฟฟ้าและหม้อแปลงลงด้วย

2.3.2 ข้อเสียของการใช้ชีวมวลเป็นพลังงาน

- ปัญหาในเรื่องการขนส่ง เนื่องด้วยชีวมวลมีน้ำหนักเบา หากขนส่งชีวมวลทางรถบรรทุกต้องขนส่งมากเที่ยว ทำให้มีค่าใช้จ่ายมากขึ้นด้วย และอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อชุมชนในด้านการจราจร และความปลอดภัยในการใช้ถนน

- เนื่องจากชีวมวลมีความชื้นสูง การออกแบบหม้อไอน้ำและปล่องไอเสียจึงต้องมีขนาดใหญ่ ตลอดจนต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ในการลดความชื้นเพิ่มเติม ซึ่งใช้ลงทุนมากขึ้น นอกจากนี้หากชีวมวลมีความชื้นที่หลากหลาย หม้อไอน้ำอาจทำงานได้ไม่เต็มที่ด้วย

- ขี้เถ้าชีวมวลมีจุดหลอมเหลวต่ำ ถ้าอุณหภูมิในการเผาไหม้สูงเกินไป จะทำให้ขี้เถ้าหลอมติดในห้องเผาไหม้ มีผลทำให้หม้อไอน้ำมีประสิทธิภาพลดลง

- ชีวมวลบางประเภทมีส่วนผสมของอัลคาไลน์ ซึ่งจะกัดกร่อนท่อน้ำในหม้อไอน้ำ ในการออกแบบหม้อไอน้ำจึงต้องคำนึงถึงข้อนี้ด้วย

2.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ghosal และ Self [16] ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคกับความหนาแน่น และปริมาณของเซโนสเฟียร์ของเถ้าลอยถ่านหิน วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเถ้าลอยถ่านหิน 6 แหล่ง จากโรงไฟฟ้าในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้วิธีการคัดแยกแบบเหวี่ยง (Centrifugal separation) เพื่อจำแนกค่าความหนาแน่นของเถ้าลอย พบว่าสามารถแบ่งค่าความหนาแน่นเป็นช่วง 1.6 – 3.2 g/cm^3 มีการกระจายขนาดอนุภาคอยู่ที่ 1-200 μm อีกทั้งข้อมูลความหนาแน่นและขนาดของอนุภาคสามารถใช้เพื่อหาการกระจายของ Fe_2O_3 ในเถ้าลอยได้

Blanco และคณะ [17] ได้ทำการศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่ผสมเพิ่มด้วยอนุภาคของเซโนสเฟียร์ โดยได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะของเซโนสเฟียร์และองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ อีกทั้งความสัมพันธ์ของความหนาแน่น, ความพรุน, ค่าการนำความร้อน, การแข็งตัว และพฤติกรรมเกี่ยวกับเสียง

Kolay และ Singh [18] ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ, คุณสมบัติทางเคมี, การศึกษาทางแร่วิทยา และคุณสมบัติทางความร้อนของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าในประเทศอินเดีย หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ส่วนประกอบทางเคมี, องค์ประกอบของแร่, การกระจายของขนาดอนุภาค, ค่าความถ่วงจำเพาะ, พื้นที่ผิวจำเพาะ, ค่าการนำความร้อน และโครงสร้างของอนุภาค

จากการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีด้วย X-ray Fluorescence (XRF) พบว่ามี SiO_2, Al_2O_3, และFe_2O_3 อยู่ 52.53%, 30.01% และ7.53% ตามลำดับ และมีสารประกอบออกไซด์อื่นๆเพียงเล็กน้อง โดยมีค่า LOI = 4.20 หาองค์ประกอบทางแร่ด้วย X-ray diffraction พบว่ามีแร่ Alumina, Sillimanite, Mullite และMagnetite โดยมีแร่ Alumina ปรากฏเด่นมากที่สุด วิเคราะห์การกระจายตัวของอนุภาคด้วยตะแกรงร่อนและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Analyzer พบว่าขนาดของอนุภาคเซโนสเฟียร์มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.03-0.055 มิลลิเมตร แต่มีอนุภาคเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถึง 0.15 มิลลิเมตร ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของอนุภาคเซโนสเฟียร์มีค่าเท่ากับ 0.78 ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของอนุภาคมีค่า 457 ตารางเซนติเมตร/กรัม ภาพถ่ายจาก Scanning Electron Microscope (SEM) แสดงให้เห็นว่าอนุภาคเซโนสเฟียร์ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 0.04-0.14 มิลลิเมตร ซึ่งผลของ SEM แสดงให้เห็นสอดคล้องกับการกระจายขนาดของอนุภาคเซโนสเฟียร์ที่วิเคราะห์ข้างต้น วิเคราะห์ค่าทางความร้อนพบว่า ค่าทางความร้อนของอนุภาคเซโนสเฟียร์จะคงที่ที่อุณหภูมิสูงสุด 280 °C

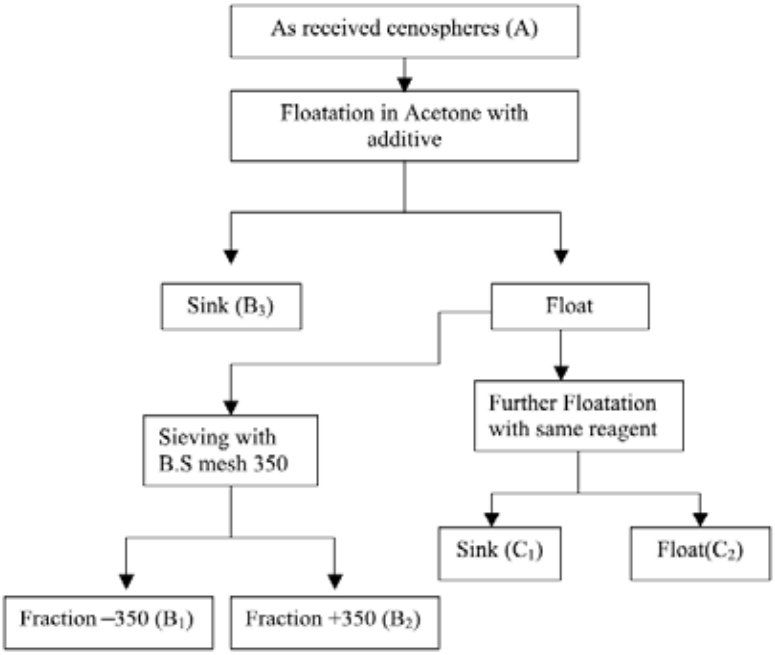
จากการทดลองของ Kolay และ Singh สามารถสรุปได้ว่า เซโนสเฟียร์เป็นอนุภาคที่มีน้ำหนักเบา, มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ, อนุภาคประกอบด้วยแร่อลูมินาและควอตซ์เป็นส่วนใหญ่, มีค่าพื้นที่ผิวจำเพาะต่ำ และค่าความร้อนสูงสุดถึง 280 °C

Ngu, Wu และ Zhang [19] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยถ่านหินจากโรงไฟฟ้าทั้ง 5 แหล่งในประเทศออสเตรเลีย โดยวิเคราะห์หาปริมาณเซโนสเฟียร์ (cenosphere yields) พบว่า โรงไฟฟ้า Tarong มีปริมาณเซโนสเฟียร์สูงที่สุดคือ 3.82 wt% และ

70 wt% ของเซโนสเฟียร์นี้มีขนาดระหว่าง 45 – 150 μm ซึ่งพบว่าเซโนสเฟียร์มีโครงสร้าง 2 ลักษณะ คือ โครงสร้างวงเดี่ยวและโครงสร้างร่างแห ขนาดอนุภาคของเซโนสเฟียร์ยิ่งใหญ่ขึ้นยิ่งมีเปอร์เซ็นต์ที่มีโครงสร้างร่างแหเพิ่มขึ้นด้วย เซโนสเฟียร์ที่มีอนุภาคขนาดเล็ก (ขนาด < 150 μm) มีอัตราส่วน SiO_2 / Al_2O_3 สูง อนุภาคส่วนใหญ่เป็นลักษณะรูปทรงกลมและมีโครงสร้างเป็นวงเดี่ยว ในทางตรงกันข้ามอนุภาคเซโนสเฟียร์ที่มีขนาดใหญ่ (ขนาด 150-250 μm และ ขนาด > 250 μm) มีอัตราส่วน SiO_2 / Al_2O_3 ต่ำ อนุภาคส่วนใหญ่ไม่เป็นทรงกลมและมีโครงสร้างเป็นร่างแห ทั้งนี้ยังมีการใช้เทคโนโลยีในเชิงปริมาณตรวจวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของผนังเซโนสเฟียร์ ซึ่งพบว่า เซโนสเฟียร์ที่มีขนาดใหญ่จะมีความหนาของผนังมากด้วย จากผลการทดลองอัตราส่วนระหว่างความหนาของผนังต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเซโนสเฟียร์ค่าที่มากที่สุดประมาณ 10.5 % และค่าที่น้อยสุดประมาณ 2.5 % (โดยไม่คำนึงถึงขนาดอนุภาค)

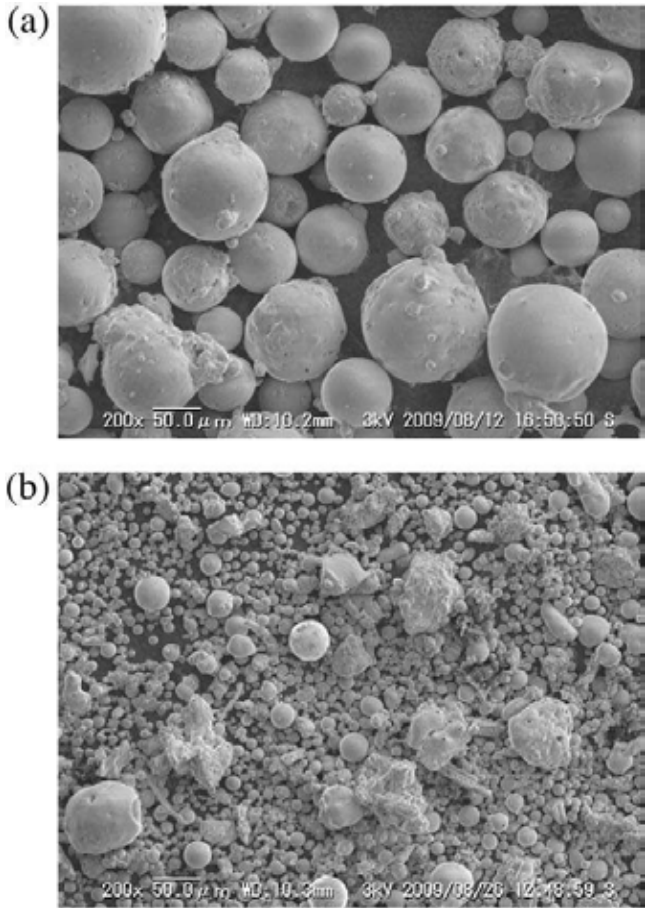
Sarkar และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาลักษณะของเซโนสเฟียร์ที่เก็บจากบ่อเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้า Rihand ในประเทศอินเดีย โดยทำการทดลองลอยเถ้าลอยด้วย Acetone (ประกอบด้วย 1% triethanol amine lauryl sulphate (TEALS)) โดยแสดงแผนภาพการลอยเถ้าลอย ดังภาพที่ 2.5

จากนั้นนำอนุภาคที่ลอยได้มาหาวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นของเซโนสเฟียร์ในสภาพต่างๆ พบว่ามีค่าความหนาแน่นตั้งแต่ 0.42 - 0.91 g/cc วิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ และการวิเคราะห์เชิงสัณฐานวิทยา (โครงสร้าง) พบว่าอนุภาคเซโนสเฟียร์ มีแร่ mullite เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ความเข้มข้นของธาตุซึ่งเป็นอันตรายมีปริมาณไม่สูง และรูปร่างลักษณะของอนุภาคเซโนสเฟียร์เป็นรูปทรงกลมกลวง มีรูพรุน



ภาพที่ 2.5 แผนภาพกระบวนการแยกเซโนสเฟียร์ของ Sarkar และคณะ [20]

Hirajima และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเก็บกลับคืนเซโนสเฟียร์จากเถ้าลอยถ่านหินด้วยวิธีการคัดแยกทั้งแบบเปียก (วิธีลอย-จม โดยมีน้ำเป็นตัวกลาง) และแบบแห้ง (คัดแยกด้วยอากาศ (air classifier) โดยใช้เครื่อง micron separation) โดยใช้หลักการเคลื่อนที่อย่างอิสระด้วยความเร็วปลายของอนุภาค (terminal velocity) ในการวิจัยนี้ใช้ เซโนสเฟียร์ในอุตสาหกรรมและเถ้าลอยถ่านหินประเภทที่ 4 ดังแสดงในภาพที่ 2.6 และทำการทดลองวิเคราะห์หาความหนาแน่นของเซโนสเฟียร์ด้วย gas pycnometer โดยใช้ตัวกลางเป็นแก๊สฮีเลียม จากผลการทดลองพบว่า ค่า Newton's efficiency ที่เหมาะสมคือ 0.44 และประสิทธิภาพการเก็บกลับคืน = 66% จากการศึกษาทดลองนี้พบว่าการคัดแยกแบบแห้งเป็นเทคนิคที่น่าสนใจในการเก็บกลับคืนเซโนสเฟียร์ เพราะให้ประสิทธิภาพสูง



ภาพที่ 2.6 ภาพถ่ายจากเครื่อง SEM จากการทดลองของ Hirajima และคณะ [21]
(a) อนุภาคของเซโนสเฟียร์ในอุตสาหกรรม (b) อนุภาคเถ้าลอยถ่านหิน ชนิดที่ 4

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้จะกล่าวถึง วัตถุดิบ สารเคมี วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง และวิธีการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุต่างๆ โดยแยกเป็นรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

ภาพที่ 3.1 เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง A) เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี B) เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ C) เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส

3.1.1 เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จ.ลำปาง ซึ่งโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง ดังนั้น เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะจึงเป็นชนิดเถ้าลอยลิกไนต์

3.1.2 เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี จ.ระยอง ซึ่งโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี ใช้ถ่านหินบิทูมินัสเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้น เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีจึงเป็นชนิดเถ้าลอยบิทูมินัส

3.1.3 เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส จ.ปราจีนบุรี ซึ่งโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส ใช้ถ่านหินบิทูมินัสร่วมกับชีวมวล (แกลบ, ชิ้นไม้สับ) เป็นเชื้อเพลิง เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอสจึงเป็นชนิดเถ้าลอยบิทูมินัสผสมเถ้าแกลบ

3.1.4 น้ำกลั่น

3.1.5 กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42

3.1.6 ซิลิกาเจล

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เครื่อง Ultrasonic Bath

3.2.2 ตู้อบ

3.2.3 เครื่องชั่งสาร

3.2.4 เครื่อง Laser Particle Size Analyzer

3.2.5 เครื่อง Ultrapycnometer

3.2.6 เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

3.2.7 เครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD)

3.2.8 เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง และการใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆที่เกี่ยวเนื่องกับงานวิจัย จึงทำให้สามารถออกแบบขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเป็นหัวข้อต่างๆได้ดังต่อไปนี้

3.3.1 ศึกษาคุณลักษณะ คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

ก่อนการนำตัวอย่างเถ้าลอยไปคัดแยกเพื่อหาอนุภาคของเซโนสเฟียร์นั้น จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์หาคุณลักษณะและองค์ประกอบต่างๆในเถ้าลอยก่อน เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะของตัวอย่างเถ้าลอยที่ใช้ในการศึกษาวิจัย โดยดำเนินการ ดังนี้

นำเถ้าลอยถ่านหินจากโรงไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง มาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อไล่ความชื้นออก จากนั้นนำไปเก็บไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆดังนี้

3.3.1.1 วิเคราะห์เชิงสัณฐานวิทยาของเถ้าลอย ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

3.3.1.2 วิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอย ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Analyzer

3.3.1.3 วิเคราะห์หาความหนาแน่นของเถ้าลอย ด้วยเครื่อง Ultrapycnometer

3.3.1.4 วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

3.3.1.5 วิเคราะห์หาส่วนประกอบทางแร่วิทยาของเถ้าลอย ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD)

3.3.2 การคัดแยกอนุภาคของเซโนสเฟียร์จากเถ้าลอยและคำนวณหาปริมาณเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอย (Cenosphere yields)

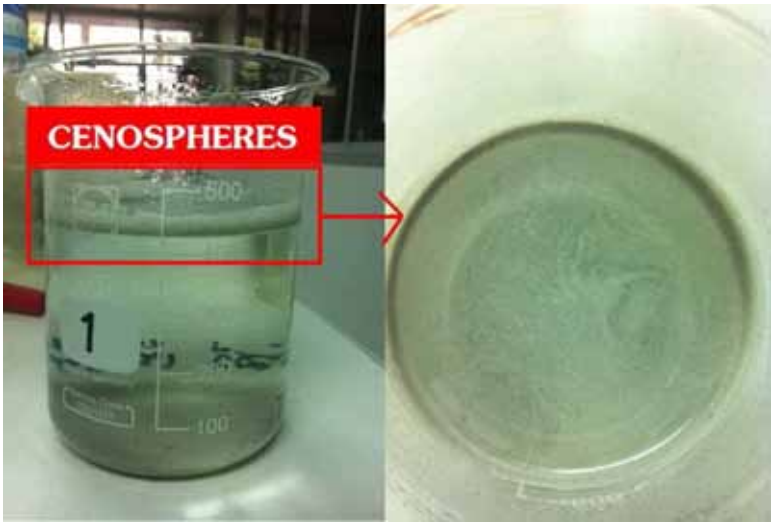
การคัดแยกอนุภาคของเซโนสเฟียร์ออกจากเถ้าลอยในการวิจัยนี้ ใช้วิธีการคัดแยกด้วยวิธีการลอยและจมด้วยของเหลว (sink-float method) โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวกลาง ดังนี้

1. นำเถ้าลอยที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้วจำนวน 50 กรัม ผสมในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร กวนผสมด้วยเครื่อง Ultrasonic Bath เป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงในภาพที่ 3.2

ภาพที่ 3.2 การทดลอง sink and float method ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ Ultrasonic bath

2. ตั้งทิ้งไว้ให้อนุภาคที่ลอยและจมน้ำแยกออกจากกันอย่างสมบูรณ์ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 จากนั้นกรองอนุภาคที่ลอย (อนุภาคของเซโนสเฟียร์) ออก โดยใช้กระดาษกรองเบอร์ 42 (ภาพที่ 3.3) และนำไปอบระเหยน้ำในเตาอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส จะได้เซโนสเฟียร์ที่แห้ง (ภาพที่ 3.5) และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก และสามารถคำนวณหาปริมาณของเซโนสเฟียร์ (Cenosphere yields) ได้จากสมการ 3.1

$$\text{ปริมาณเซโนสเฟียร์ (\%โดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักอนุภาคที่ลอย}}{\text{น้ำหนักเถ้าลอยทั้งหมด}} \times 100 \qquad (3.1)$$



ภาพที่ 3.3 เซโนสเฟียร์ที่ลอยบนผิวน้ำ หลังตั้งทิ้งไว้ให้อนุภาคเถ้าลอยตกตะกอนสมบูรณ์

ภาพที่ 3.4 การกรองแยกเซโนสเฟียร์ด้วยกระดาษกรอง

ภาพที่ 3.5 เซโนสเฟียร์หลังการกรองและอบแห้ง

ซ้าย: เซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี ขวา: เซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

3.3.3 ศึกษาคุณลักษณะ คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอย

หลังจากนำอนุภาคที่ลอยน้ำไปอบในเตาอบจนแห้ง และทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น อนุภาคที่ลอยน้ำนั้น คือ เซโนสเฟียร์ นั่นเอง จึงนำอนุภาคของเซโนสเฟียร์ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติทางกายภาพ โดยดำเนินการวิเคราะห์ดังนี้

3.3.1.1 วิเคราะห์เชิงสัณฐานวิทยาของเซโนสเฟียร์ ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

3.3.1.2 วิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของเซโนสเฟียร์ ด้วยเครื่อง Laser Particle Size Analyzer

3.3.1.3 วิเคราะห์หาความหนาแน่นของเซโนสเฟียร์ ด้วยเครื่อง Ultrapycnometer

3.3.1.4 วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ ด้วยเครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

3.3.1.5 วิเคราะห์หาส่วนประกอบทางแร่วิทยาของเซโนสเฟียร์ ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD)

3.3.4 เปรียบเทียบคุณลักษณะ คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าต่าง ๆ

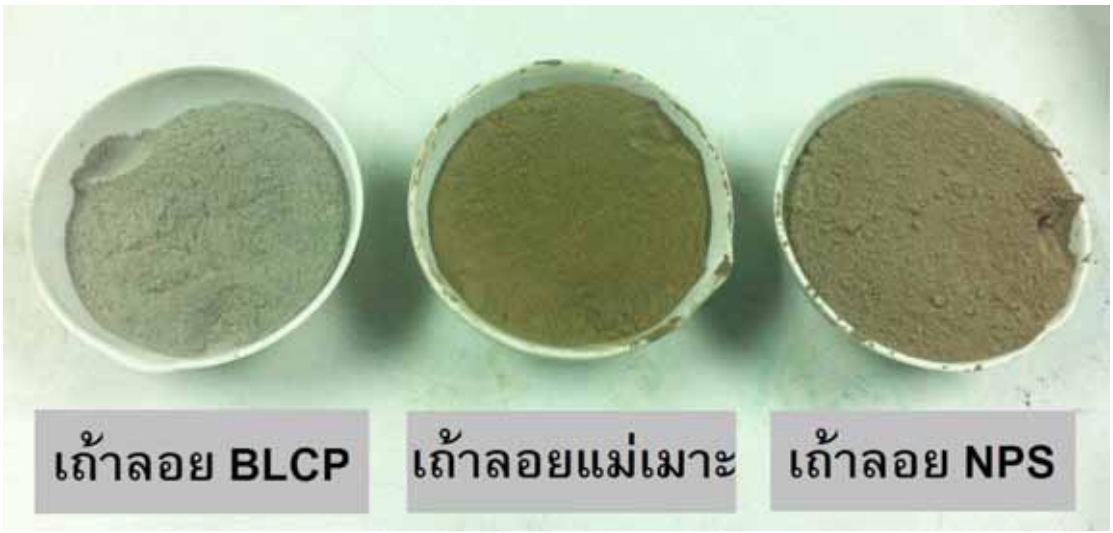
บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทนี้จะแสดงผลที่ได้จากการทดสอบและผลวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเถ้าลอยและอนุภาคเซโนสเฟียร์ ปริมาณเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอย และความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาค และปริมาณของเซโนสเฟียร์ของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง

4.1 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

4.1.1 สีของเถ้าลอย



ภาพที่ 4.1 เปรียบเทียบสีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง

จากภาพที่ 4.1 เมื่อพิจารณาสีของเถ้าลอยจากทั้ง 3 โรงไฟฟ้าพบว่า สีของเถ้าลอยมีความแตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งตามโทนสีออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ โทนสีเทา ได้แก่ เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี และโทนสีน้ำตาล ได้แก่ เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ซึ่งมีสีน้ำตาล-แดง กับ เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส สีน้ำตาล-เทา การพิจารณาสีของเถ้าลอยนั้นปัจจัยที่มีผลต่อสีของเถ้าลอยนั้นก็คือ ปริมาณ Fe_2O_3 และปริมาณคาร์บอน ซึ่งจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มีองค์ประกอบของ Fe_2O_3 อยู่ถึง 15.76% เถ้าลอยเอ็นพีเอส มี 7.57% และเถ้าลอยบีแอลซีพี มี 4.84% ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้เอง จึงทำให้เถ้าลอยของแม่เมาะมีสีเข้มมากที่สุด

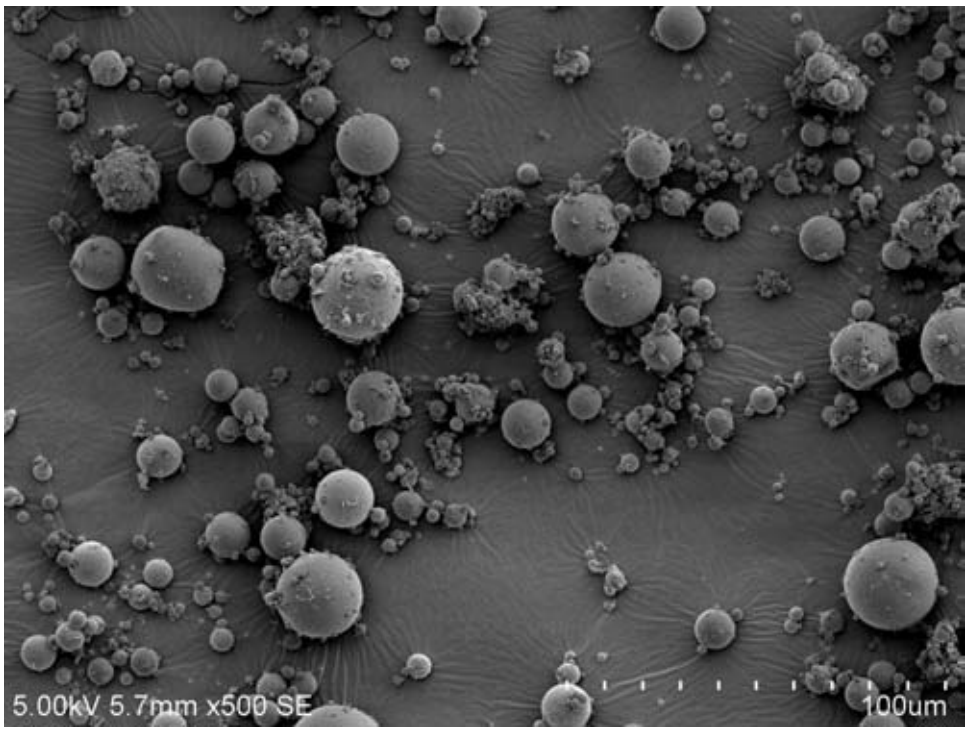
4.1.2 รูปร่างและลักษณะอนุภาคของเถ้าลอย

จากการศึกษารูปร่างและลักษณะโครงสร้างของเถ้าลอยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ช่วงกำลังขยายต่างๆ ดังภาพที่ 4.2 – 4.8

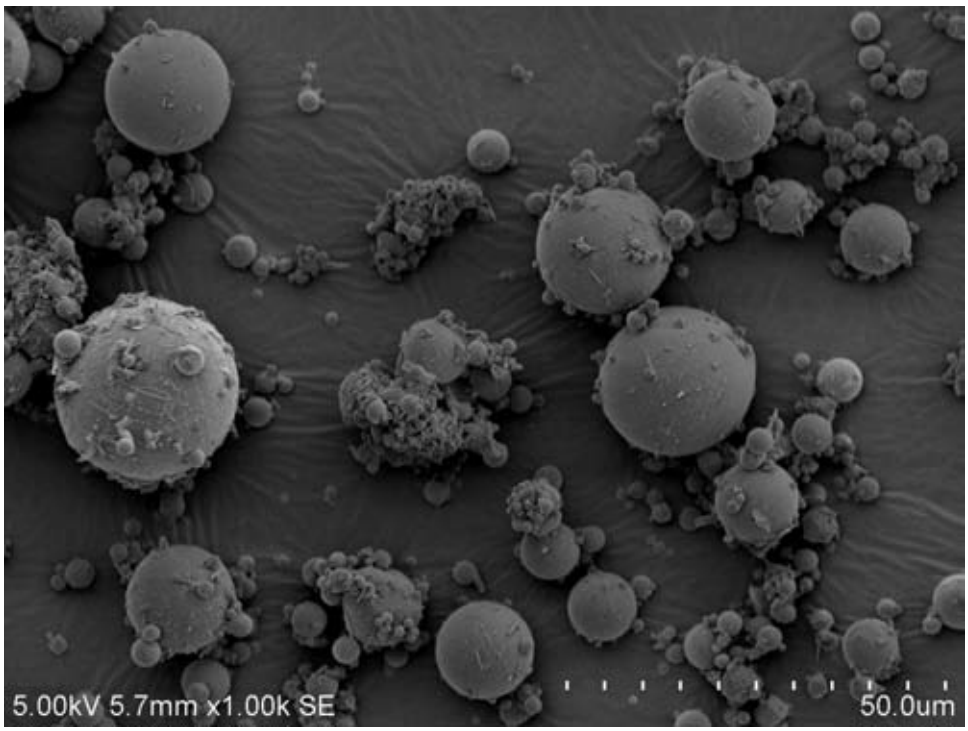
ภาพที่ 4.2 - 4.4 เป็นภาพแสดงอนุภาคเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะที่กำลังขยาย 500 1000 และ 4000 เท่า ตามลำดับ จะเห็นว่าลักษณะอนุภาคของเถ้าลอยแม่เมาะส่วนใหญ่จะเป็นรูปทรงกลม ผิวขรุขระ ขนาดเล็กใหญ่คละกันไป และมีอนุภาคหลายเหลี่ยมอยู่จำนวนน้อยมาก อนุภาคของเถ้าลอยมีทั้งอยู่เป็นกลุ่มก้อน และที่อยู่เดี่ยวๆอิสระ

ภาพที่ 4.5 และ 4.6 เป็นภาพแสดงอนุภาคเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีที่กำลังขยาย 500 และ 1500 เท่า ตามลำดับ จะเห็นว่าเถ้าลอยบีแอลซีพีมีทั้งอนุภาครูปทรงกลมและอนุภาคหลายเหลี่ยมอยู่เป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับเถ้าลอยจากแม่เมาะ ซึ่งอาจเนื่องมาจากชนิดของถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน และอุณหภูมิในเตาเผาด้วย

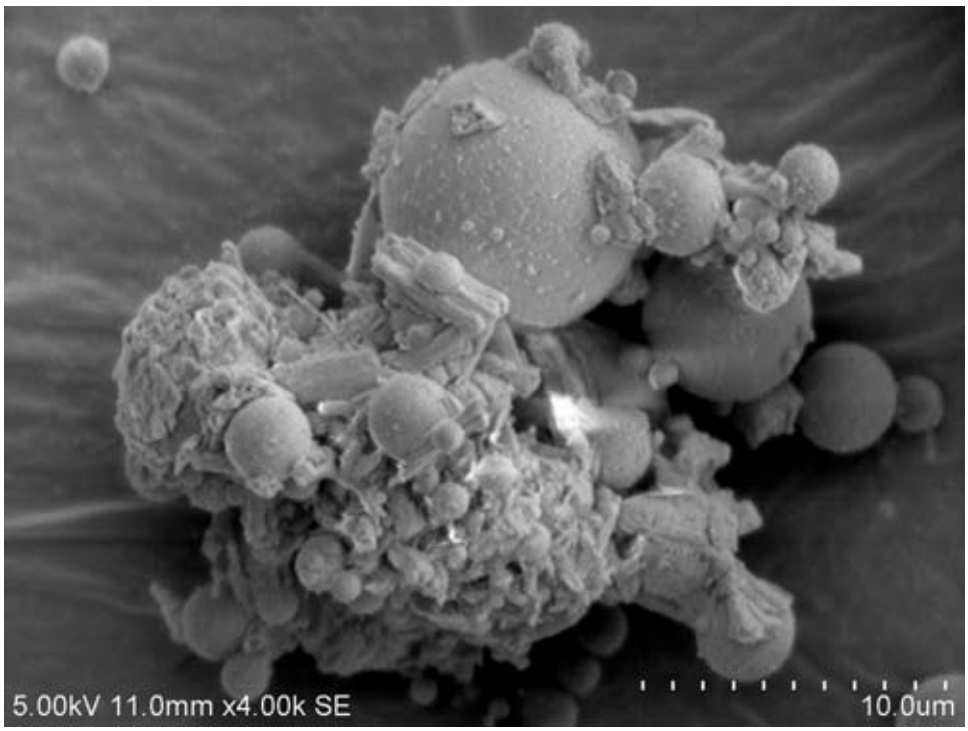
ภาพที่ 4.7 และ 4.8 เป็นภาพแสดงอนุภาคเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอสที่กำลังขยาย 200 และ 500 เท่า ตามลำดับ จะเห็นว่าอนุภาคเถ้าลอยเอ็นพีเอสมีลักษณะรูปทรงเป็นเหลี่ยมมุมที่แตกต่างกันออกไปไม่แน่นอน ผิวขรุขระ ไม่มีอนุภาคที่มีรูปทรงกลมเลย และอนุภาคเถ้ามีรูโพรงอยู่ภายใน เนื่องด้วยเถ้าลอยเอ็นพีเอสนั้น เกิดจากการเผาไหม้ซึ่งใช้ถ่านหินผสมแกลบและชิ้นไม้สับเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งชีวมวลจะมีปริมาณความชื้นสูง และอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ต่ำกว่าของโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี เนื่องจากเป็นเตาเผาไหม้ฟลูอิไดซ์เบด เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้จึงมีสารมลทินเหลืออยู่มาก ดังแสดงให้เห็นจากค่า LOI จากตารางที่ 4.1



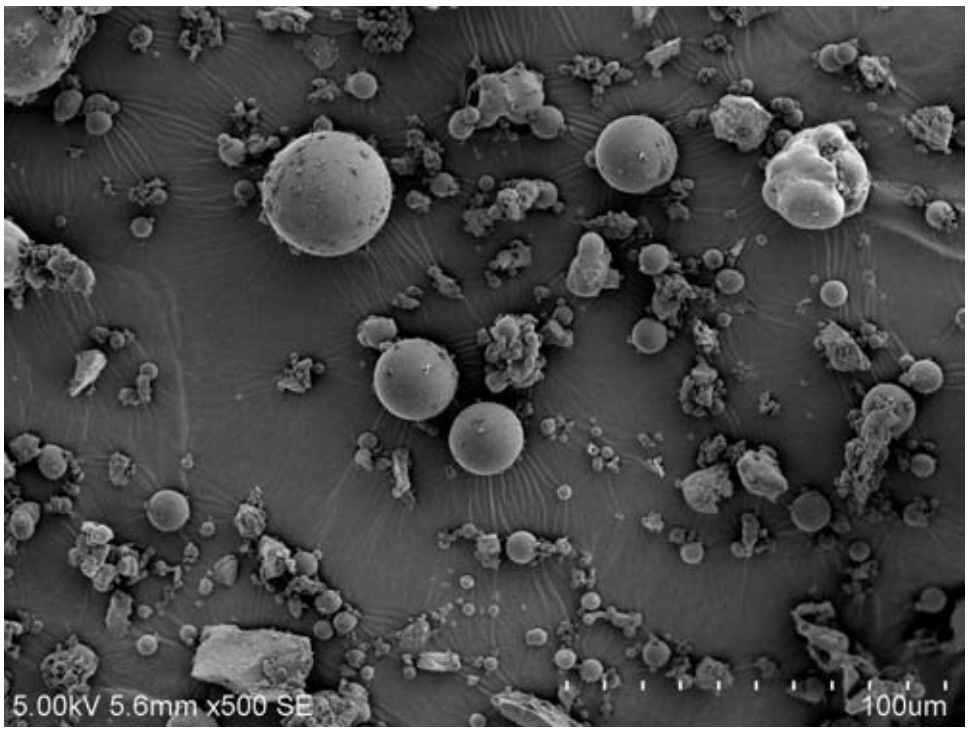
ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายจาก SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ



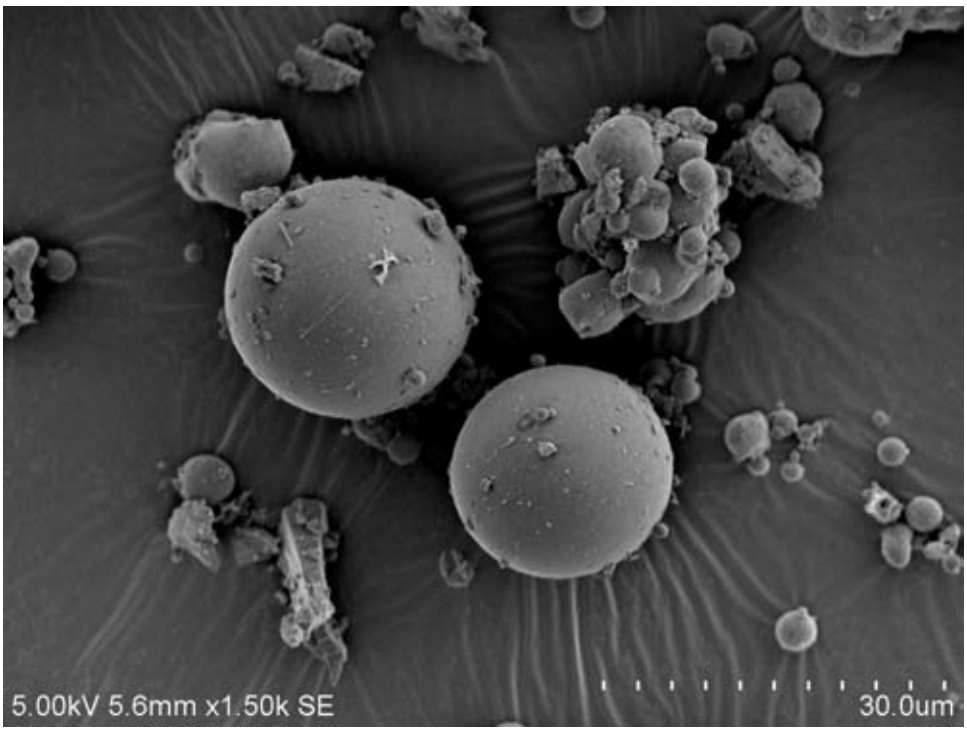
ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายจาก SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ



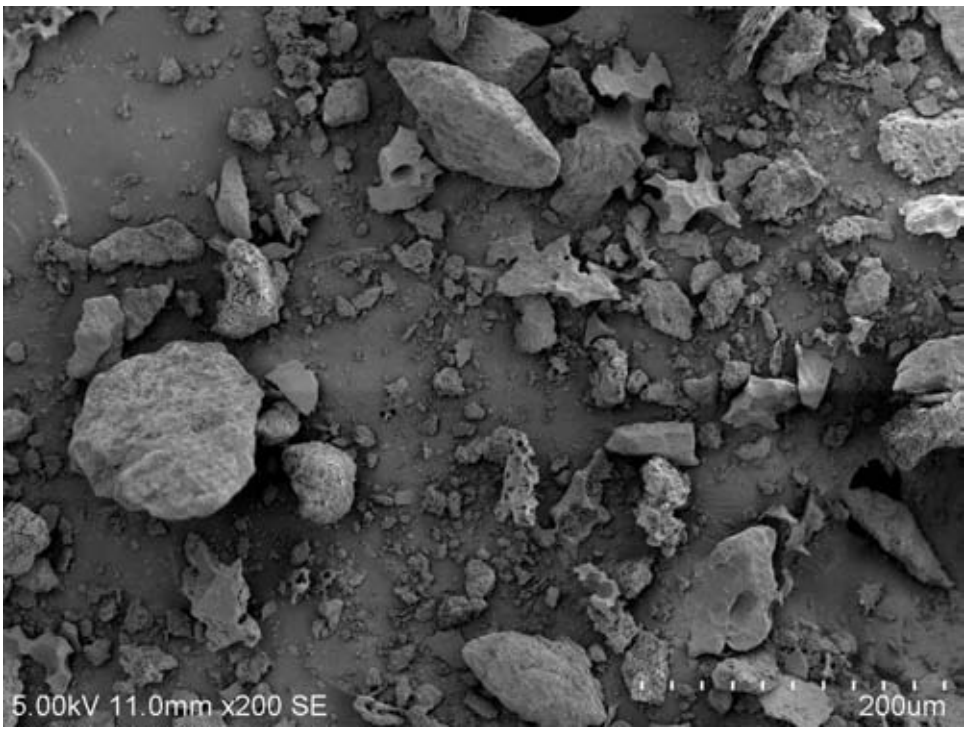
ภาพที่ 4.4 ภาพถ่ายจาก SEM ที่กำลังขยาย 4000 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ



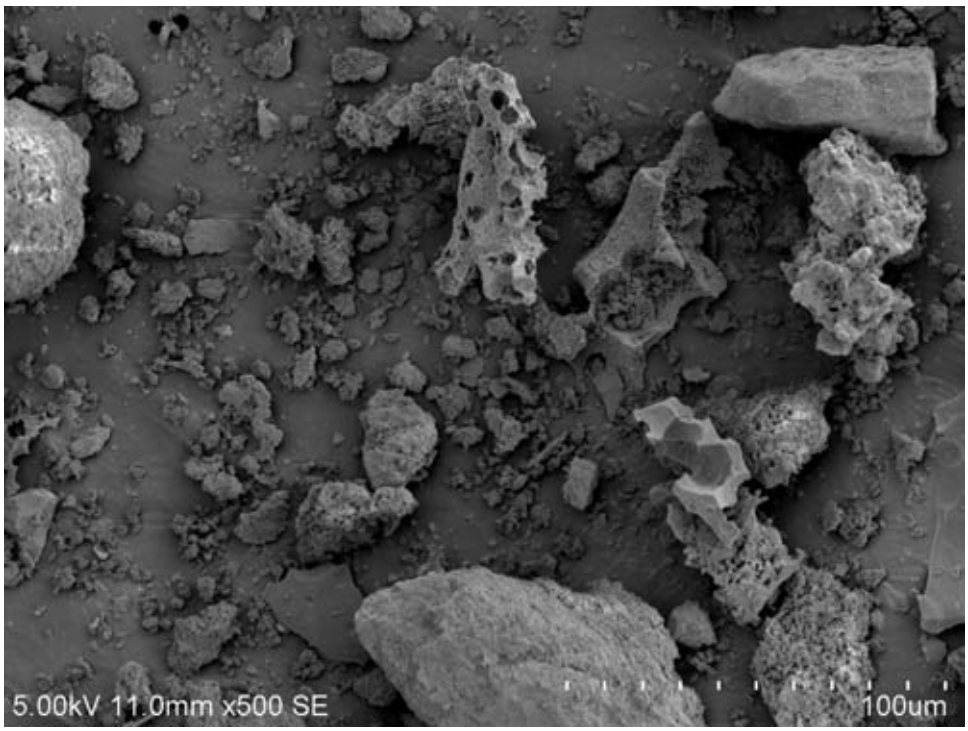
ภาพที่ 4.5 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี



ภาพที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1500 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี



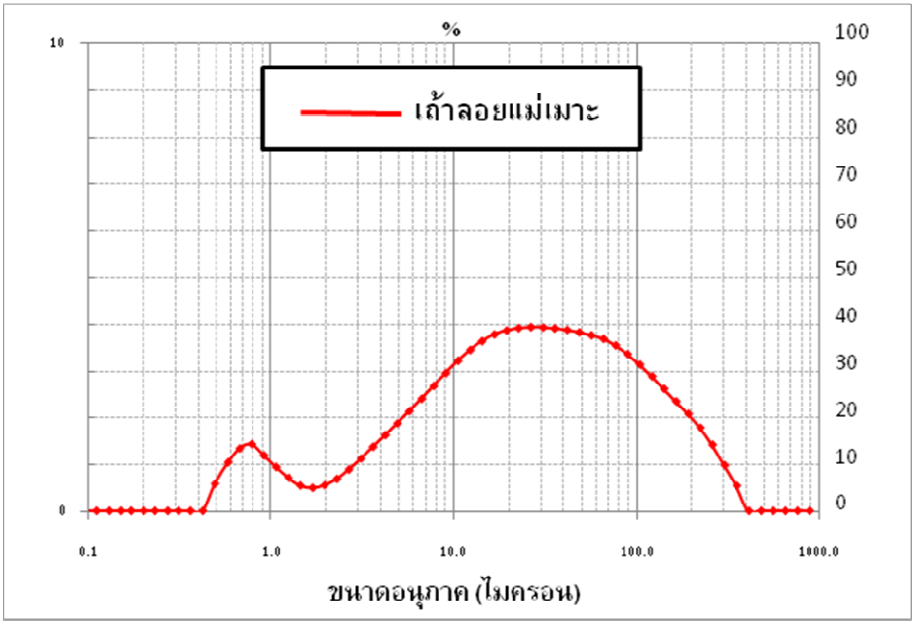
ภาพที่ 4.7 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 200 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส



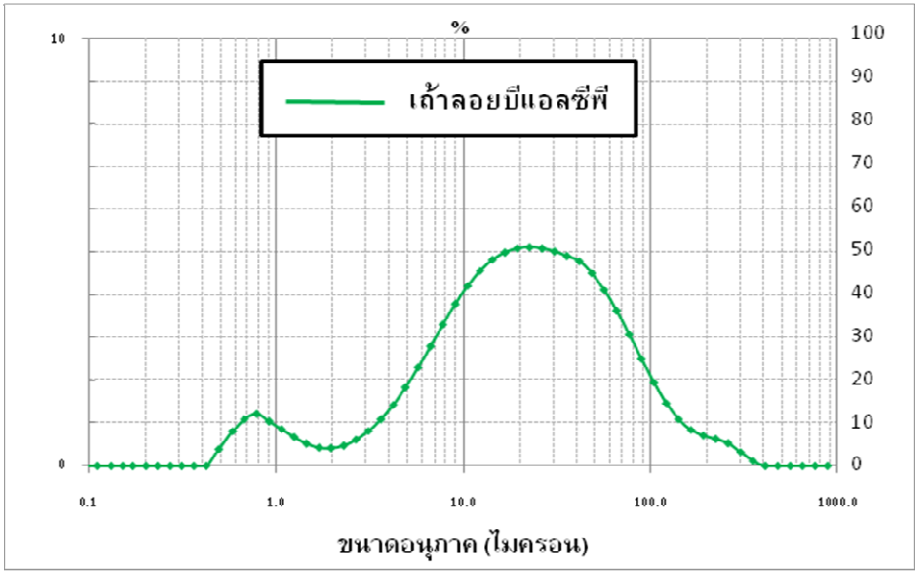
ภาพที่ 4.8 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่าของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส

4.1.3 การกระจายขนาดของอนุภาคของเถ้าลอย

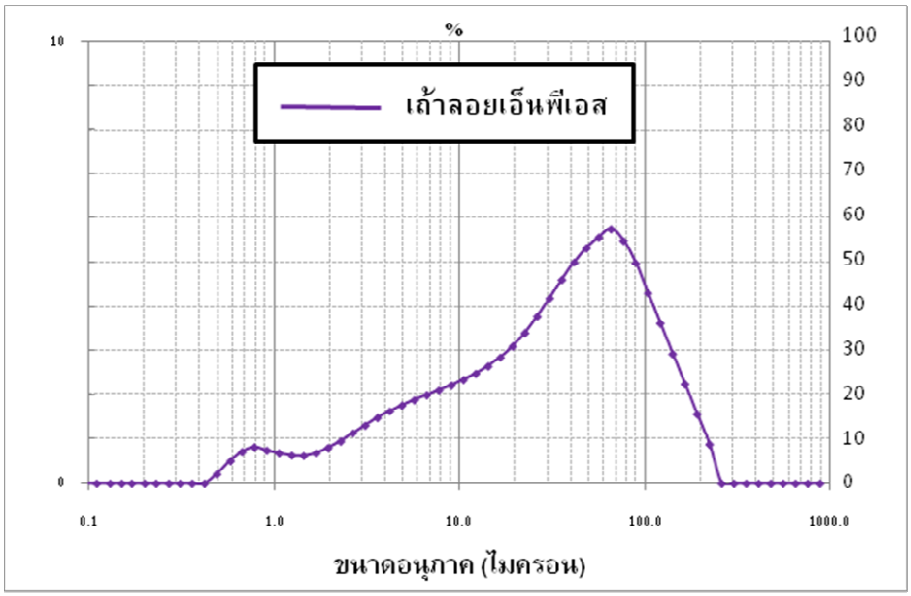
ผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายขนาดของอนุภาคเถ้าลอยด้วยเครื่องวัดการกระจายขนาด (Laser Particle Size Analyzer) ไว้ในภาพที่ 4.9 – 4.11 ซึ่งได้แสดงรายละเอียดผลของการวัดไว้ในภาคผนวก ค จากกราฟการกระจายขนาดของอนุภาคจะเห็นว่า ค่าการกระจายขนาดของอนุภาคเถ้าลอยทั้ง 3 โรงไฟฟ้าจะมีการกระจายตัวที่กว้าง โดยเถ้าลอยแม่เมาะมีการกระจายขนาดของอนุภาคตั้งแต่ 0.5-350 ไมครอน โดยมีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค (d_{50}) เท่ากับ 23.96 ไมครอน เถ้าลอยบีแอลซีพีมีการกระจายขนาดของอนุภาคตั้งแต่ 0.5-350 ไมครอน โดยมีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค (d_{50}) เท่ากับ 19.53 ไมครอน และเถ้าลอยเอ็นพีเอสมีการกระจายขนาดของอนุภาคตั้งแต่ 0.5-220 ไมครอน โดยมีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค (d_{50}) เท่ากับ 32.97 ไมครอน



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ



ภาพที่ 4.10 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี



ภาพที่ 4.11 กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีเอ็นพีเอส

4.1.4 ความหนาแน่นของอนุภาคเถ้าลอย

จากการวิเคราะห์หาความหนาแน่นของอนุภาคด้วยเครื่อง Ultrapycnometer ได้ผลการทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ค. พบว่าค่าความหนาแน่นของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มีค่าเท่ากับ 2.4699 g/cm^3 และค่าความหนาแน่นของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี มีค่า 2.5308 g/cm^3 ซึ่งมากกว่าค่าความหนาแน่นของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะเพียงเล็กน้อย

4.1.5 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง โดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ฟลูออเรสเซนต์ (X-ray Fluorescence Spectrometer: XRF) ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง (%โดยน้ำหนัก)

จากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่า ผลรวมของ $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ เท่ากับร้อยละ 60.36 (มีค่าระหว่างร้อยละ 50-70) ซึ่งจัดเป็นเถ้าถ่านหิน Class C และค่า % LOI ของเถ้าลอยแม่เมาะมีค่าน้อยมากเพียง 0.96 % แสดงว่าเกิดกระบวนการเผาไหม้แทบจะสมบูรณ์ และมีวัตถุมลทินอยู่เป็นจำนวนน้อยมาก

จากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่า ผลรวมของ $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ เท่ากับร้อยละ 72.82 (มากกว่าร้อยละ 70) ซึ่งจัดเป็นเถ้าถ่านหิน Class F และค่า % LOI ของเถ้าลอยบีแอลซีพี มีค่าเท่ากับ 3.04% ถือว่าเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 618 ที่กำหนดให้ไม่เกินร้อยละ 6.0

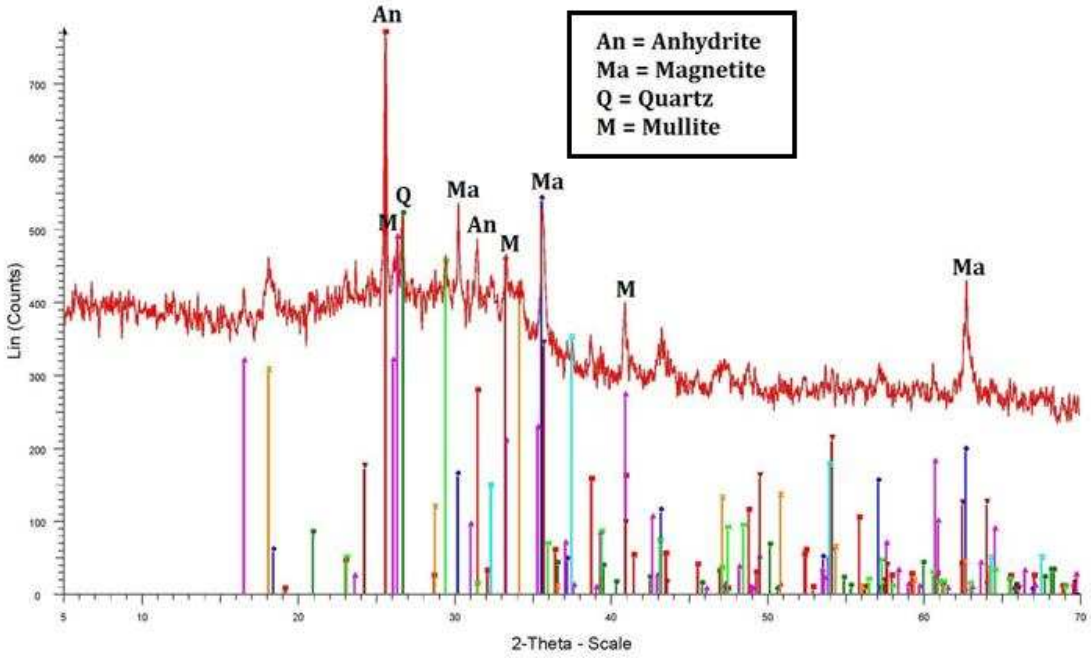
จากองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 พบว่า ผลรวมของ $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ เท่ากับร้อยละ 56.91 (มีค่าระหว่างร้อยละ 50-70) ซึ่งจัดเป็นเถ้าถ่านหิน Class C และค่า % LOI ของเถ้าลอยเอ็นพีเอสมีค่าสูงมากถึง 11.93% แสดงว่าเกิดกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากมีอุณหภูมิในการเผาไหม้ต่ำ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน 3 แห่ง (%โดยน้ำหนัก)

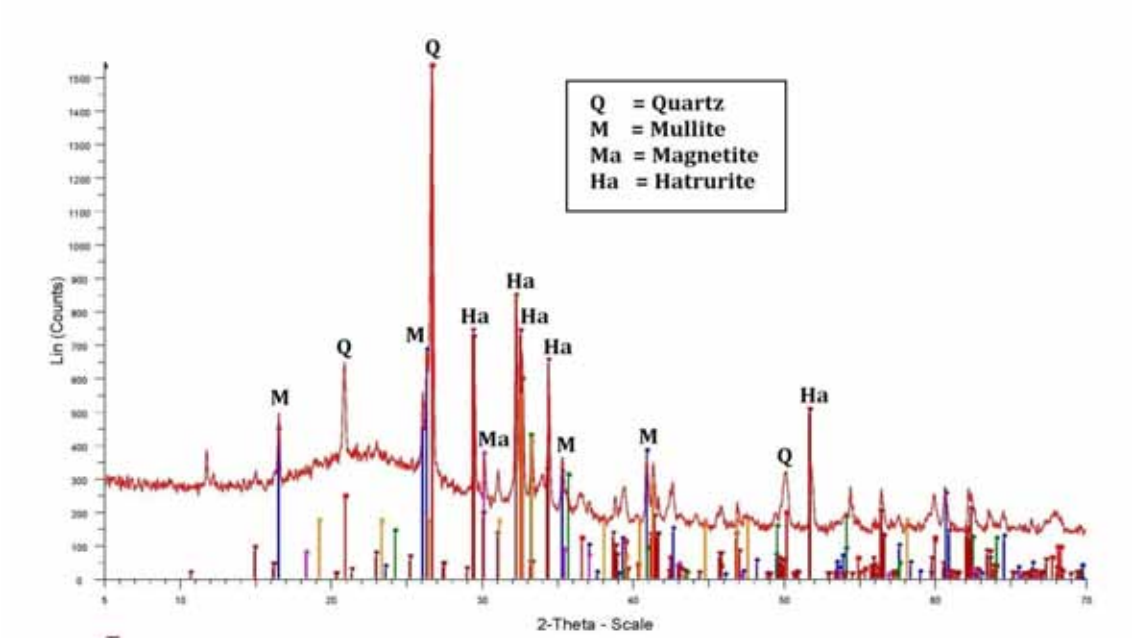
องค์ประกอบทางเคมี (% โดยน้ำหนัก)	แหล่งเถ้าลอยถ่านหิน		
	แม่เมาะ (Mae-Moh)	บีแอลซีพี (BLCP)	เอ็นพีเอส (NPS)
SiO_2	30.24	54.11	33.40
Al_2O_3	14.36	13.87	15.94
Fe_2O_3	15.76	4.84	7.57
CaO	23.57	18.08	17.51
MgO	2.63	0.82	0.84
P_2O_5	0.39	0.28	0.27
K_2O	3.26	1.29	2.15
Na_2O	1.89	0.51	0.21
TiO_2	0.42	1.14	0.93
SO_3	5.85	1.71	9.01
Cr_2O_3	0.27	0.04	0.03
MnO_2	0.21	0.09	0.07
NiO	-	-	0.01
CuO	0.01	0.01	0.01
ZnO	0.03	0.02	0.01
ZrO_2	-	0.08	0.03
SrO	0.01	-	-
BaO	0.14	0.07	0.08
LOI	0.96	3.04	11.93

4.1.6 ส่วนประกอบทางแร่วิทยาของเถ้าลอย

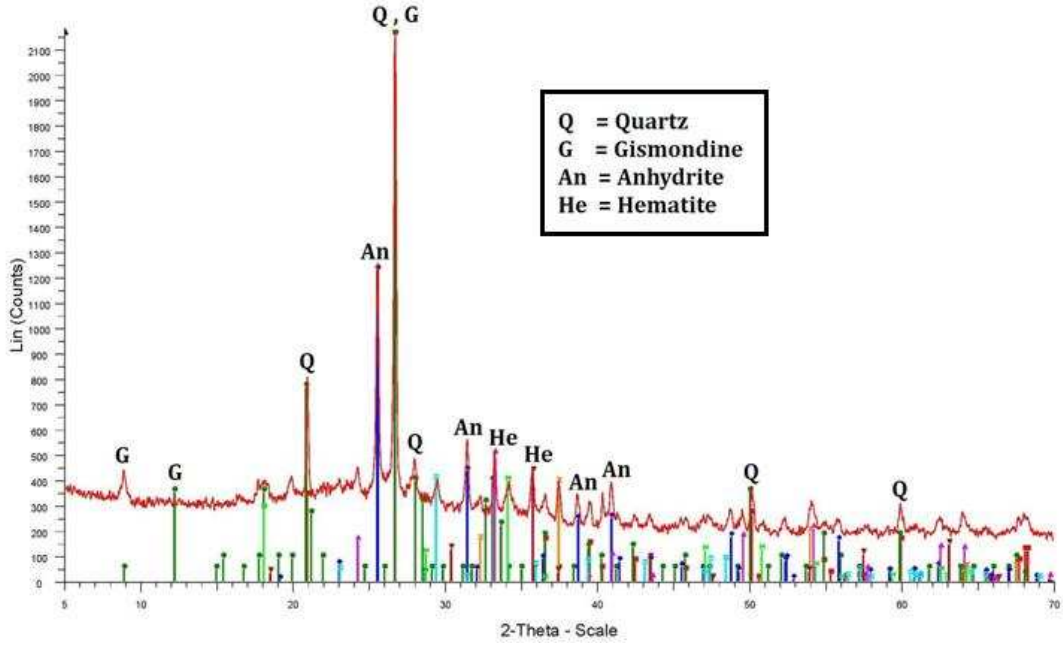
วิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าทั้ง 3 แห่ง โดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟเฟรกโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer: XRD) ดังแสดงองค์ประกอบในภาพที่ 4.12 - 4.14 จากการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางแร่วิทยาของเถ้าลอย พบว่าองค์ประกอบทางแร่ของเถ้าลอยประกอบด้วยส่วนที่เป็นสารผลึก (crystalline material) และส่วนที่เป็นสารแก้ว (glass material) จะเห็นว่าภาพที่ 4.12 เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีสารประกอบหลักเป็น Anhydrite ($CaSO_4$) และ Magnetite (Fe_3O_4) สารประกอบรองเป็น Quartz (SiO_2) และ Mullite ($3Al_2O_3.2SiO_2$) ภาพที่ 4.13 เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี มีสารประกอบหลักเป็น Quartz (SiO_2) และ Hatrurite (Ca_3SiO_5) และ Mullite ($3Al_2O_3.2SiO_2$) สารประกอบรองเป็น Magnetite (Fe_3O_4) ภาพที่ 4.14 เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอสมีสารประกอบหลักเป็น Quartz (SiO_2) และ Gismondine ($CaAl_2Si_2O_8.4H_2O$) สารประกอบรองเป็น Anhydrite ($CaSO_4$) และ Hematite (Fe_2O_3) ซึ่งจากผลวิเคราะห์สารประกอบทางแร่พบว่า มีผลเป็นไปในทำนองที่สอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 4.1



ภาพที่ 4.12 กราฟผลการวิเคราะห์ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่ของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ



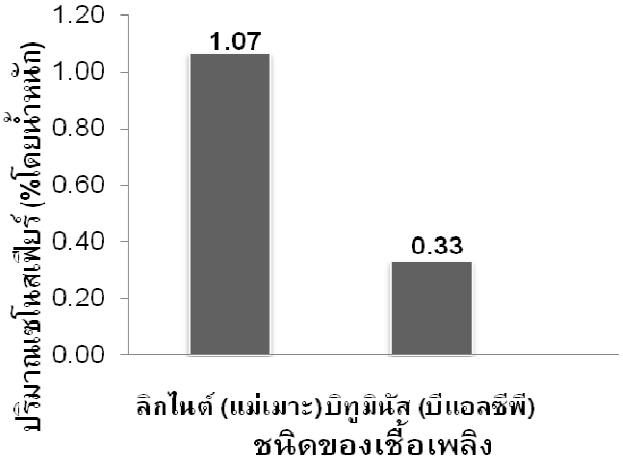
ภาพที่ 4.13 กราฟผลการวิเคราะห์ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่
ของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี



ภาพที่ 4.14 กราฟผลการวิเคราะห์ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่
ของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส

4.2 ผลการคัดแยกอนุภาคของเซโนสเฟียร์จากเถ้าลอยและผลปริมาณเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอย (Cenosphere yields)

จากการทดลองการคัดแยกอนุภาคของเซโนสเฟียร์จากเถ้าลอยด้วยวิธีลอยและจม (sink-float method) ด้วยของเหลว โดยใช้น้ำกลั่น พบว่าเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีปริมาณเซโนสเฟียร์ที่เก็บได้มากกว่าเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี คือ 1.07% และ 0.33% ตามลำดับ โดยแสดงปริมาณการคัดแยกได้ไว้ในภาคผนวก ค



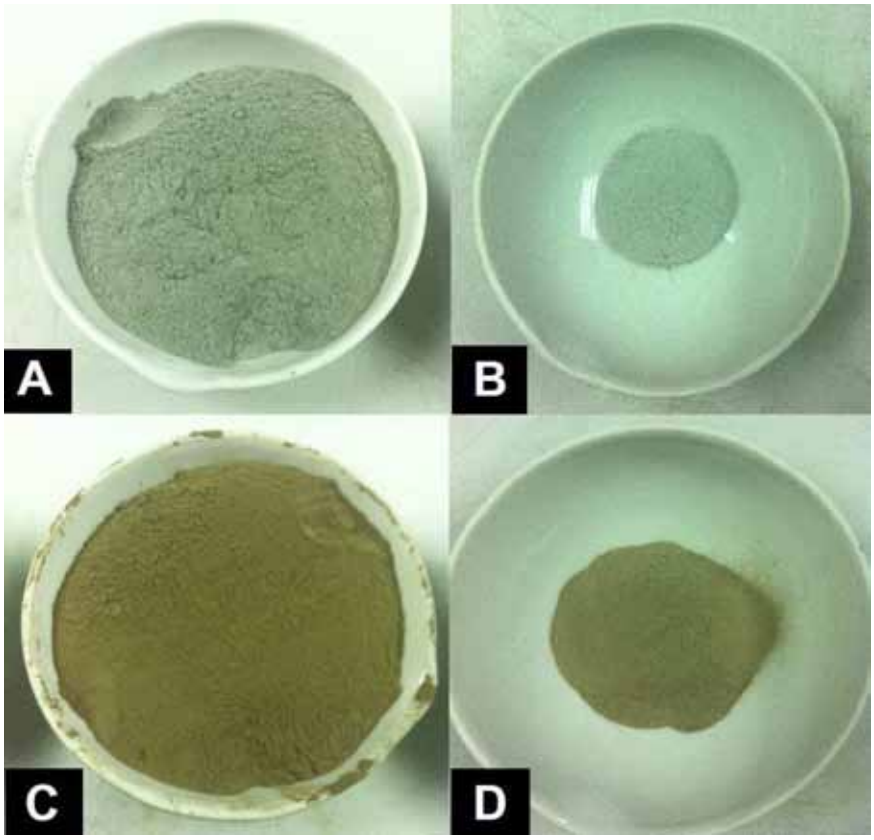
ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงเปรียบเทียบปริมาณเซโนสเฟียร์ที่เก็บได้
ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ (Cenospheres) **ที่คัดแยกจากเถ้าลอย**

จากการคัดแยกเซโนสเฟียร์จากเถ้าลอย ด้วยวิธีลอยและจม (sink–float method) ด้วยน้ำกลั่น เมื่อนำอนุภาคที่ลอยน้ำมาวิเคราะห์คุณลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่า ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีพบอนุภาคของเซโนสเฟียร์ แต่อนุภาคที่ลอยน้ำของเถ้าลอยเอ็นพีเอส ไม่ใช่อนุภาคของเซโนสเฟียร์ ดังนั้นในส่วนของผลการวิเคราะห์ที่จะกล่าวในลำดับต่อไป จะไม่กล่าวถึงอนุภาคที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส

4.3.1 **สีของอนุภาคเซโนสเฟียร์**

เมื่อพิจารณาสีของเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีและเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จะเห็นว่าสีของเซโนสเฟียร์จากทั้ง 2 แห่ง จะมีสีอ่อนลง เมื่อเทียบกับสีของเถ้าลอยก่อนการคัดแยก ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณขององค์ประกอบ Fe_2O_3 ในเซโนสเฟียร์ ที่แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า ปริมาณองค์ประกอบของ Fe_2O_3 ของเซโนสเฟียร์ทั้งจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี มีปริมาณองค์ประกอบของ Fe_2O_3 ลดลงถึง 50% เมื่อเทียบกับปริมาณ Fe_2O_3 ในเถ้าลอย ดังนั้นองค์ประกอบของ Fe_2O_3 เป็นตัวแปรหนึ่ง ซึ่งจะมีผลต่อสีของอนุภาคเซโนสเฟียร์



ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบสีของอนุภาคเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีกับโรงไฟฟ้าแม่เมาะ
A) เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี B) เซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี
C) เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ D) เซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

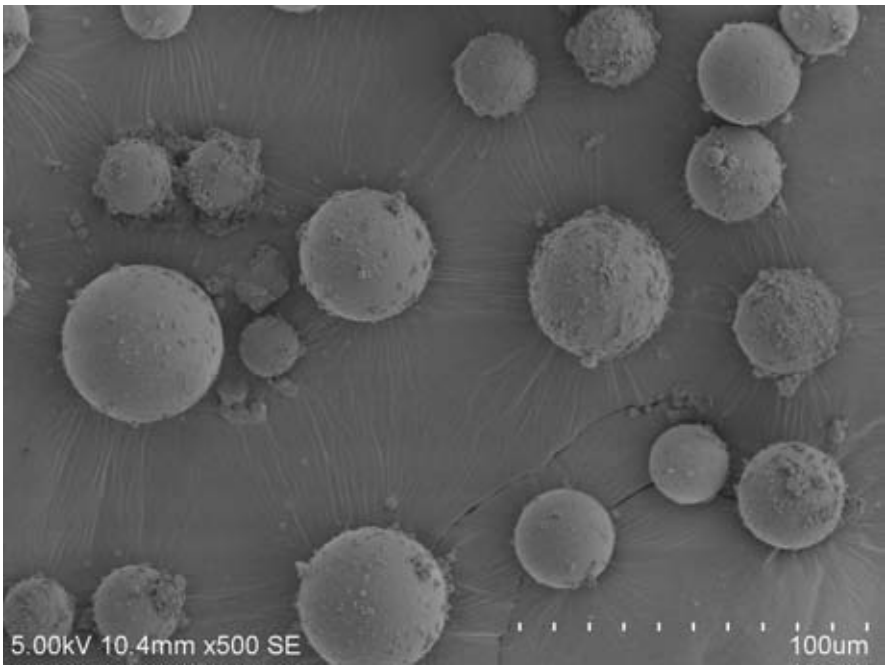
4.3.2 รูปร่างและลักษณะอนุภาคของเซโนสเฟียร์

จากการวิเคราะห์รูปร่างและลักษณะโครงสร้างของเซโนสเฟียร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่ช่วงกำลังขยายต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.17 – 4.23

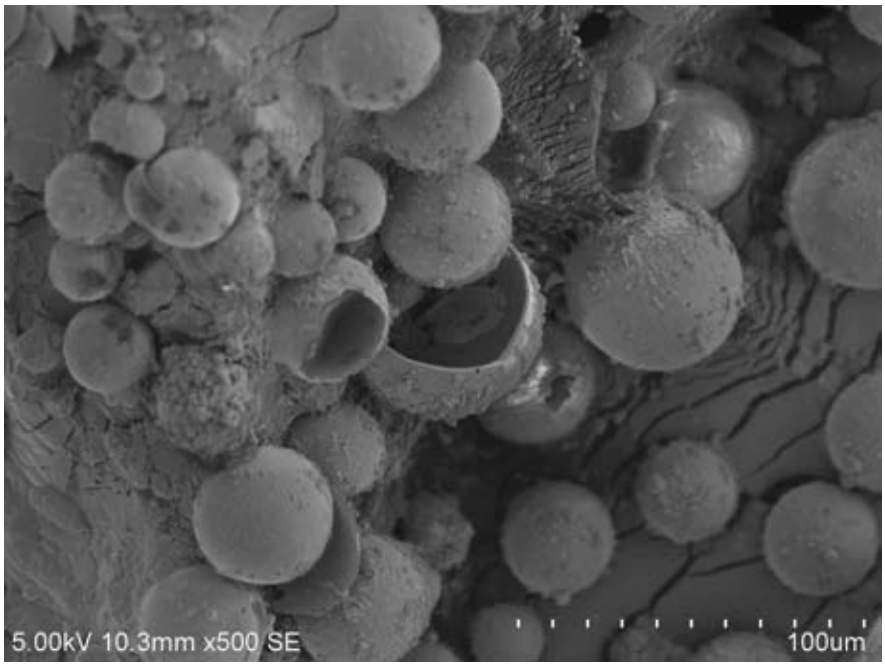
ภาพที่ 4.17 - 4.19 เป็นภาพแสดงอนุภาคเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะที่กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า ตามลำดับ ภาพที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าการคัดแยกเซโนสเฟียร์ด้วยวิธีลอยและจมด้วยน้ำกลั่น สามารถแยกเอาเถ้าลอยที่มีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยมออกไปได้เกือบหมด เหลือเพียงแต่อนุภาคทรงกลมของเซโนสเฟียร์ มีทั้งผิวเรียบและผิวขรุขระ ขนาดค่อนข้างใกล้เคียงกัน ภาพที่ 4.18 และ 4.19 แสดงอนุภาคเซโนสเฟียร์ของแม่เมาะ เป็นการยืนยันได้ว่าอนุภาคที่คัดแยกมาได้ คือเซโนสเฟียร์ จะเห็นถึงการแตกหักของอนุภาค ซึ่งพบว่าอนุภาคทรงกลมนี้ เป็นอนุภาคกลมกลวง ผนังบาง

ภาพที่ 4.20 และ 4.22 เป็นภาพแสดงอนุภาคเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีที่กำลังขยาย 200 500 และ 1800 เท่า ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าจากการคัดแยกสามารถแยกอนุภาคเถ้าลอยที่มีรูปหลายเหลี่มออกไปได้เกือบหมดเช่นเดียวกัน เหลือเพียงอนุภาคของเซโนสเฟียร์ที่มีรูปทรงกลม พื้นผิวของอนุภาคเซโนสเฟียร์บีแอลซีพีส่วนใหญ่มีผิวขรุขระ และมีการคละขนาดของอนุภาคมากกว่าของแม่เมาะ ภาพที่ 4.21 - 4.22 แสดงการแตกหักของอนุภาคเซโนสเฟียร์บีแอลซีพี มีผนังที่บางและผิวขรุขระเช่นกัน

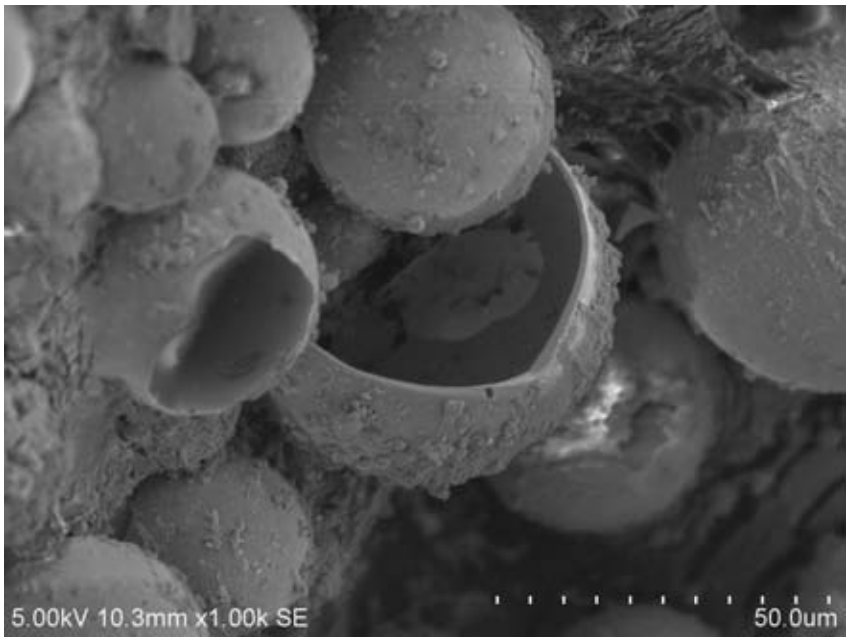
ภาพที่ 4.23 เป็นภาพแสดงอนุภาคของเถ้าที่ลอยบนผิวน้ำจากการทดสอบด้วยวิธีลอยและจมของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอสที่กำลังขยาย 100 เท่า พบว่าอนุภาคที่ลอยน้ำนี้ไม่ใช่อนุภาคของเซโนสเฟียร์ เนื่องด้วยรูปร่างลักษณะไม่เป็นไปตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2



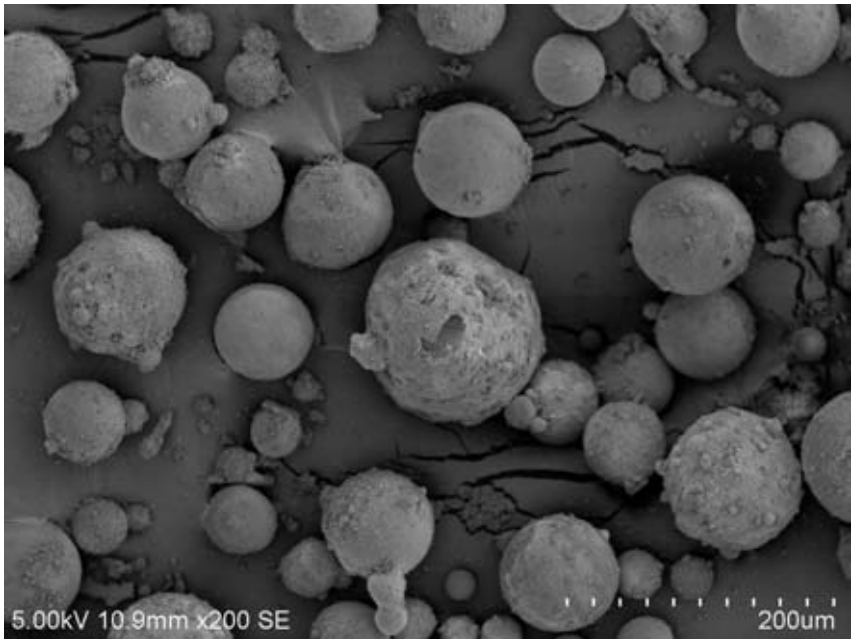
ภาพที่ 4.17 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่าของอนุภาคเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ



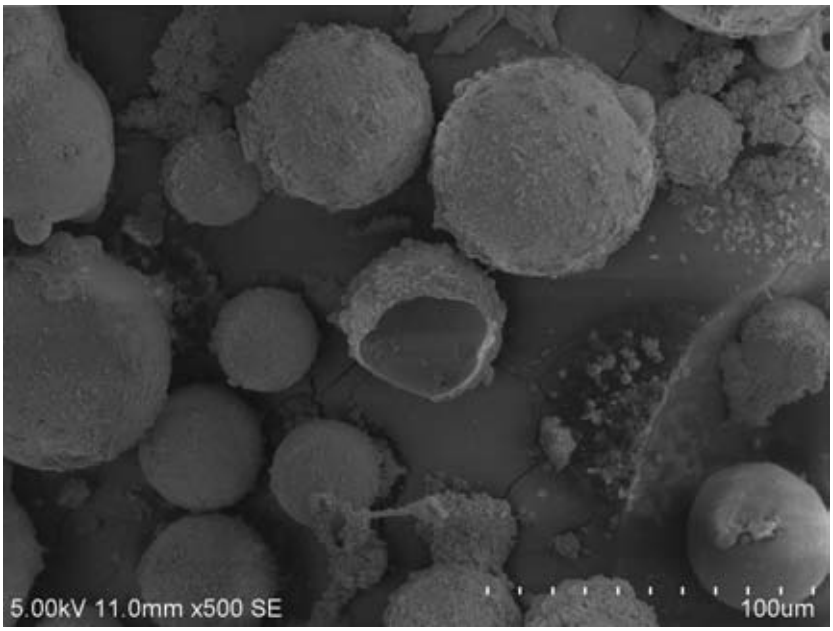
ภาพที่ 4.18 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงการแตกหักของอนุภาคเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ



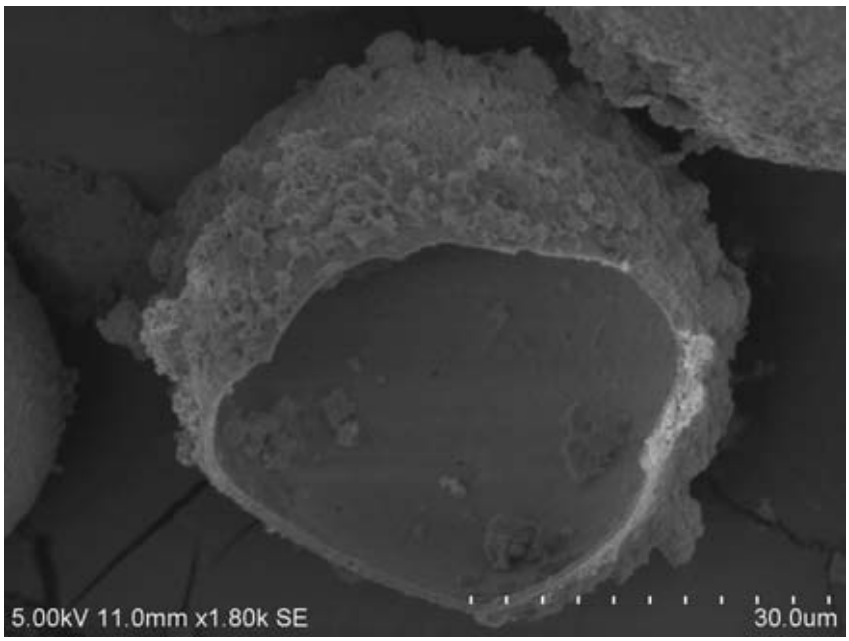
ภาพที่ 4.19 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า แสดงการแตกหักของอนุภาคเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ



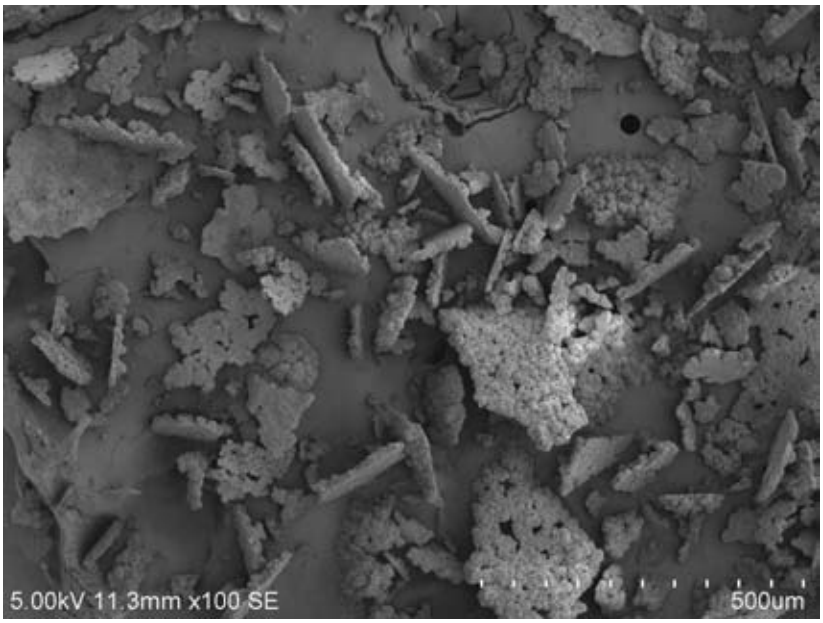
ภาพที่ 4.20 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 200 เท่าของอนุภาคเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี



ภาพที่ 4.21 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 500 เท่า แสดงการแตกหักของอนุภาคเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี



ภาพที่ 4.22 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 1800 เท่า แสดงการแตกหักของอนุภาคเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี



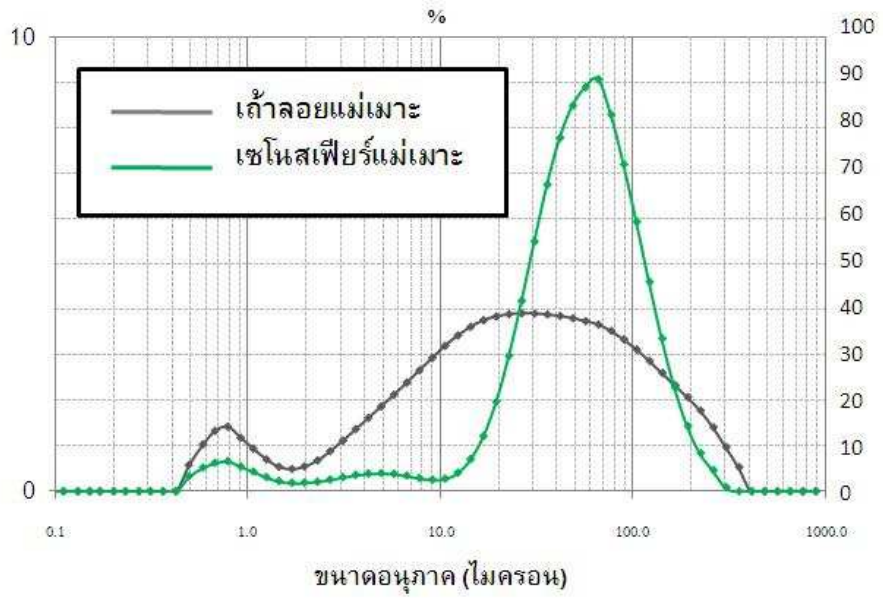
ภาพที่ 4.23 ภาพถ่าย SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่าของอนุภาคที่ลอยบนผิวน้ำ
จากการทดลองลอยและจมของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส

4.3.3 การกระจายขนาดของอนุภาคของเซโนสเฟียร์

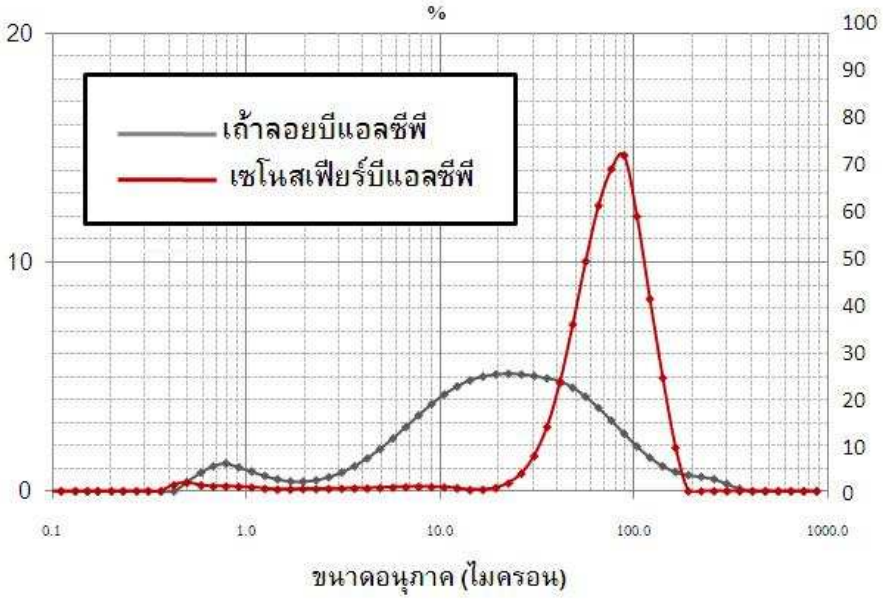
ผลการวิเคราะห์ค่าการกระจายขนาดอนุภาคเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ และโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี แสดงในภาพที่ 4.24 – 4.25 จากกราฟการกระจายขนาดของอนุภาคจะเห็นว่า ค่าการกระจายขนาดของเซโนสเฟียร์จะมีการกระจายตัวแคบลง โดยเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีการกระจายขนาดของอนุภาคตั้งแต่ 0.5 - 260 ไมครอน โดยมีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค (d_{50}) เท่ากับ 50.37 ไมครอน และเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมีการกระจายขนาดของอนุภาคตั้งแต่ 10 - 250 ไมครอน โดยมีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค (d_{50}) เท่ากับ 70.07

4.3.4 ความหนาแน่นของอนุภาคเซโนสเฟียร์

ผลการทดสอบหาค่าความหนาแน่นของอนุภาคเซโนสเฟียร์ ได้ผลการทดสอบดังแสดงในภาคผนวก ค. พบว่าค่าความหนาแน่นของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มีค่า 0.7521 g/cm^3 และค่าความหนาแน่นของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี มีค่า 0.8881 g/cm^3



ภาพที่ 4.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการกระจายขนาดอนุภาค
ของเถ้าลอยและเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ



ภาพที่ 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการกระจายขนาดอนุภาค
ของเถ้าลอยและเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี

4.3.5 **องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคเซโนสเฟียร์**

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี แสดงในตารางที่ 4.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ของทั้ง 2 แห่ง ซึ่งเซโนสเฟียร์มีองค์ประกอบทางเคมีเช่นเดียวกับองค์ประกอบเคมีของเถ้าลอย แต่จะมีปริมาณของ SiO_2 และ Al_2O_3 มากกว่าในเถ้าลอย

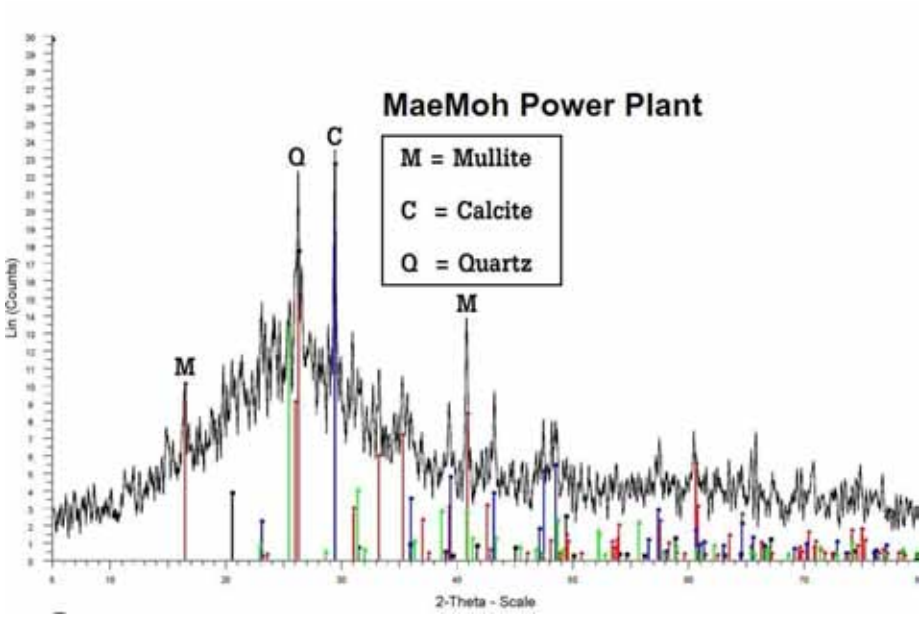
4.3.6 **ส่วนประกอบทางแร่วิทยาของเถ้าลอย**

วิเคราะห์องค์ประกอบทางแร่ของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี โดยใช้เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟเฟรกโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer: XRD) ดังแสดงองค์ประกอบในภาพที่ 4.26 - 4.27 พบว่าอนุภาคเซโนสเฟียร์ของทั้งโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี มีส่วนประกอบของ Mullite ($3Al_2O_3.2SiO_2$), Quartz (SiO_2) และ Calcite ($CaCO_3$) ซึ่งจากผลวิเคราะห์ XRD จะเห็นว่า อนุภาคเซโนสเฟียร์จะมีสารแก้ว (glass material) เป็นจำนวนมาก ส่วนสารผลึก (crystalline material) มีปริมาณน้อย จากผลวิเคราะห์ XRD นี้ มีความสอดคล้องกับองค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ในตารางที่ 4.2 ว่า องค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี ส่วนใหญ่ประกอบด้วย SiO_2 และ Al_2O_3 ซึ่งมีปริมาณ SiO_2 และ Al_2O_3 รวมกันสูงถึง 60-80%

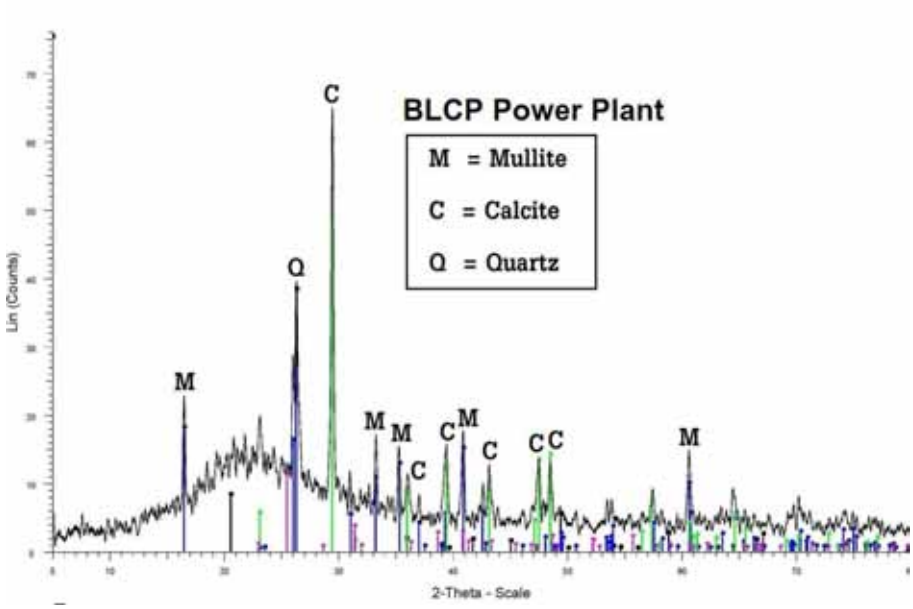
จากองค์ประกอบทางแร่ของเซโนสเฟียร์ของทั้งโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี จะเห็นได้ว่า ประกอบด้วย Quartz และ Mullite ซึ่งสารประกอบทั้งสองนี้มีอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวสูง คือ Quartz มีจุดหลอมเหลวที่ 1710^{o}C และ Mullite มีจุดหลอมเหลวที่ 1810°C แสดงว่าการก่อรูปของเซโนสเฟียร์เกิดขึ้นในเถ้าลอยถ่านหินในช่วงการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง แต่องค์ประกอบของ Calcite ซึ่งมีอุณหภูมิที่จุดหลอมเหลวเพียง 927^{o}C น่าจะสลายตัวไปในระหว่างการเผาไหม้ถ่านหินแล้ว เนื่องจากอุณหภูมิในการเตาเผาไหม้ถ่านหินของโรงไฟฟ้าสูงถึง 1300-1500°C ดังนั้น Calcite ที่เกิดขึ้น อาจเกิดจากการปนเปื้อนระหว่างการเก็บตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าที่จะมีการใช้ $CaCO_3$ ในการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (ระบบ FGD) หรืออาจเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารประกอบต่างๆที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองคัดแยกอนุภาคเซโนสเฟียร์จากเถ้าลอยที่มีการใช้น้ำเป็นตัวกลางในการคัดแยก

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี (%โดยน้ำหนัก)

องค์ประกอบทางเคมี (% โดยน้ำหนัก)	แหล่งเซโนสเฟียร์	
	แม่เมาะ (Mae-Moh)	บีแอลซีพี (BLCP)
SiO_2	41.67	58.05
Al_2O_3	20.50	22.04
Fe_2O_3	8.65	2.84
CaO	12.84	7.65
MgO	1.82	0.81
P_2O_5	0.24	0.23
K_2O	5.50	2.34
Na_2O	2.73	0.55
TiO_2	0.54	1.01
SO_3	1.67	0.76
Cr_2O_3	-	-
MnO_2	0.09	0.05
NiO	-	0.01
CuO	-	0.01
ZnO	0.02	0.02
ZrO_2	0.08	0.20
SrO	0.20	0.16
BaO	0.26	0.11
As_2O_3	0.04	-
LOI	3.08	3.13



ภาพที่ 4.26 กราฟผลวิเคราะห์ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่
ของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ



ภาพที่ 4.27 กราฟผลวิเคราะห์ XRD แสดงองค์ประกอบทางแร่
ของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี

4.4 เปรียบเทียบคุณลักษณะ คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าต่าง ๆ

จากผลการวิเคราะห์คุณลักษณะ คุณสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของเซโนสเฟียร์ในอุตสาหกรรมจากประเทศต่างๆ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา อินเดีย จีน และสวิตเซอร์แลนด์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่า คุณลักษณะของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมีลักษณะใกล้เคียงกับเซโนสเฟียร์ในอุตสาหกรรมมากกว่าเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยองค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี มีปริมาณของ SiO_2 อยู่ในเกณฑ์คุณสมบัติของเซโนสเฟียร์ในอุตสาหกรรม แต่ปริมาณ Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO และ MgO ยังมีค่าที่แตกต่างจากเกณฑ์ ลักษณะทางกายภาพ พบว่า สีของเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีอยู่ในเกณฑ์ของเซโนสเฟียร์ในอุตสาหกรรมคือ สีเทาขาว ส่วนเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะมีสีน้ำตาลแดง เนื่องด้วยปริมาณของ Fe_2O_3 ที่สูง การนำเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าแม่เมาะไปใช้ประโยชน์อาจมีผลต่อสีของผลิตภัณฑ์ได้ ในส่วนของขนาดอนุภาค ความหนาแน่นของอนุภาค และเปอร์เซ็นต์การสูญเสียจากการเผาของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีและโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ของเซโนสเฟียร์ในอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบคุณลักษณะของเซโนสเฟียร์ที่คัดแยกได้จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี กับเซโนสเฟียร์ที่ขายในอุตสาหกรรมจากประเทศต่างๆ [14, 22-24]

	เซโนสเฟียร์ของแม่เมาะ	เซโนสเฟียร์ของบีแอลซีพี	เซโนสเฟียร์ของบริษัท AM2F Energy ประเทศสหรัฐอเมริกา [22]	เซโนสเฟียร์ของบริษัท Durgesh Merchandise ประเทศอินเดีย [14]	เซโนสเฟียร์ของบริษัท Langfang Olan Glass Beads ประเทศจีน [23]	เซโนสเฟียร์ของบริษัท Omya ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ [24]
องค์ประกอบทางเคมี (% โดยน้ำหนัก)						
SiO_2	41.67	58.05	55-65	52-62	55-65	55-65
Al_2O_3	20.50	22.04	27-33	32-36	26-35	27-33
Fe_2O_3	8.65	2.84	4	1-2	0.2-1	6 (Max)
CaO	12.84	7.65	-	0.1-0.5	0.2-0.6	-
MgO	1.82	0.81	-	1-2.5	1-2	-
คุณสมบัติทางกายภาพ						
สี	น้ำตาล-แดง	เทาขาว	เทาขาว	เทาขาว	เทาขาว	เทาขาว
ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	20 - 165	10 - 250	5-500	40-600	10-850	5-500
ความหนาแน่นอนุภาค (กรัม/ลบ.ซม.)	0.8881	0.7521	0.6-0.9	0.65-0.75	0.4-0.8	0.6-0.85
การสูญเสียจากการเผา (LOI, %)	3.08	3.13	4	-	<1	2 (Max)

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะของเซโนสเฟียร์ (Cenospheres) ของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อน โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบปริมาณของเซโนสเฟียร์ คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเซโนสเฟียร์จากเถ้าลอยของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ถ่านหินประเภทต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

จากการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับความเป็นมาและการคัดแยกอนุภาคเซโนสเฟียร์ (Cenospheres) พบว่า อนุภาคเซโนสเฟียร์มีความหนาแน่นต่ำ คือ ความหนาแน่นน้อยกว่า 1 g/cm^3 ซึ่งต่ำกว่าความหนาแน่นของน้ำ จึงได้ทำการทดลองเชิงระดับห้องปฏิบัติการ ด้วยวิธีการคัดแยกด้วยวิธีการลอยและจมด้วยของเหลว (sink-float method) โดยใช้น้ำกลั่นเป็นตัวกลาง พบว่า โรงไฟฟ้าแม่เมาะมีปริมาณเซโนสเฟียร์ที่เก็บได้ 1.07% ของปริมาณเถ้าลอยทั้งหมด และโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมีปริมาณเซโนสเฟียร์ที่เก็บได้ 0.33% ของปริมาณเถ้าลอยทั้งหมด ส่วนในเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส ซึ่งใช้ถ่านหินและชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ไม่พบอนุภาคของเซโนสเฟียร์ เนื่องจากระบบการเผาไหม้ของโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส เป็นห้องเผาไหม้แบบฟลูอิไดซ์แบบหมุนเวียน (Circulated Fluidized Bed) อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ต่ำกว่า ซึ่งสรุปได้ว่า อนุภาคของเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยเกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินที่อุณหภูมิสูง

ลักษณะทางกายภาพของเซโนสเฟียร์ พบว่า สีของเซโนสเฟียร์ของทั้งโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมีสีอ่อนกว่าเมื่อเทียบกับสีของเถ้าลอย โดยสีของอนุภาคเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมีสีเทา-ขาว ซึ่งเป็นที่น่าสนใจกว่า เซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะที่มีสีน้ำตาล และขนาดของอนุภาคเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี อยู่ในช่วง 0.5 – 260 ไมครอน และ 10 - 250 ไมครอน ตามลำดับ

องค์ประกอบทางเคมีของเซโนสเฟียร์ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะและโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี องค์ประกอบหลักประกอบด้วย SiO_2 และ Al_2O_3 โดยมีปริมาณ SiO_2 และ Al_2O_3 รวมกันถึงร้อยละ 60-80 %โดยน้ำหนัก และองค์ประกอบทางแร่ของเซโนสเฟียร์ที่สำคัญ คือ แร่มุลไลต์ (mullite) และแร่ควอตซ์ (quartz)

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการคัดแยกอนุภาคเซโนสเฟียร์แบบเปียก (wet separation) ด้วยวิธีการลอยและจมด้วยของเหลว (sink-float method) อาจไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในการคัดแยกเชิงอุตสาหกรรมและพาณิชย์ เนื่องจากคุณสมบัติในการเชื่อมประสาน (Cementitious properties) ของเถ้าลอยเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีน้ำเพียงพอ ทำให้เถ้าลอยที่ไม่ได้ลอยน้ำเกิดการเชื่อมประสานและแข็งตัว และไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีก จึงจำเป็นต้องหาวิธีการคัดแยกแบบแห้ง (dry separation) มาใช้แทน หากต้องการนำไปพัฒนาใช้ในเชิงอุตสาหกรรมและพาณิชย์ จากงานวิจัยที่ผ่านมาในต่างประเทศพบว่า สามารถคัดแยกอนุภาคของเซโนสเฟียร์ด้วยกระแสลม (air classifiers) ควบคู่กับการแยกทางไฟฟ้าสถิตด้วยไตรโบอิเล็กทริก (tribo-electrostatic separator) ได้ ซึ่งอาจจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยพิจารณาตัวแปรที่เกี่ยวกับค่าประจุไฟฟ้าของเซโนสเฟียร์เพิ่มเติม

จากการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลประกอบการทำวิจัยครั้งนี้พบว่า ในต่างประเทศมีการนำเซโนสเฟียร์ไปใช้อย่างกว้างขวาง และมีบริษัทผู้ทำการคัดแยกและค้าขายเซโนสเฟียร์หลายบริษัท ไม่ว่าจะเป็นทั้งในอเมริกา จีน อินเดีย และญี่ปุ่น เป็นต้น จึงเป็นที่น่าสนใจหากในประเทศไทยจะมีการคัดแยกและนำเซโนสเฟียร์ไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมต่างๆบ้าง ดังที่ได้กล่าวไปในบทที่สอง เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของเถ้าลอยในภาคอุตสาหกรรมอื่นๆ นอกเหนือจากการนำไปใช้งานคอนกรีต และงานก่อสร้างเท่านั้น

รายการอ้างอิง

[1] เกริกชัย สุกาญจนัจที. ไอน้ำและพลังงานจากถ่านหิน. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

[2] บุญรอด วงษ์สวาท. ประเภทของถ่านหิน [ออนไลน์]. 2551. แหล่งที่มา: http://www.promma.ac.th/main/chemistry/boonrawd_site/kind_of_caol.htm [10 มกราคม 2555].

[3] ชัชวาล ฉัตรรัตนนนท์. การสังเคราะห์และลักษณะสมบัติของซีโอไลต์จากเถ้าลอยถ่านหินสำหรับการขจัดซัลเฟอร์ของเชื้อเพลิงชีวมวล. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

[4] The Babcock & Wilcox Company. Environmental Equipment: Dry Electrostatic Precipitator [Online]. Available from: http://www.babcock.com/products/environmental_equipment/dry_esp.html [2012, January 10].

[5] Siam Nathan International. Product & Service: Dust Collector (Bag House) [Online]. 2010. Available from: http://www.siamnathan.com/index.php?option=com_content&view=article&id=82&Itemid=53&lang=th [2012, January 10].

[6] Baghouse.com. Products: Dust Collection Systems: Cyclone Collectors [Online]. Available from: http://www.baghouse.com/products/dust-collection-systems/cyclone-collectors/ [2012, January 10].

[7] ณรงค์ชัย วิวัฒนาช่าง. บทบาทของเถ้าถ่านหินแยกขนาด 5 แหล่ง ที่มีต่อกำลังอัดของมอร์ต้าและการกัดกร่อนเนื่องจากกรดซัลฟูริคต่อคอนกรีต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.

[8] อำนาจ เลิศประเสริฐวงศ์. บทบาทของเถ้าถ่านหินแม่เมาะที่มีขนาดอนุภาคต่างกันต่อการต้านทานการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริคในมอร์ต้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจองเกล้าธนบุรี, 2540.

[9] สมิตร ส่งพิริยะกิจ. ผลกระทบของความละเอียดจากการบดและการแยกเถ้าถ่านหินแม่เมาะต่อคุณสมบัติของมอร์ต้าร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2538.

[10] American Society for Testing and Materials. ASTM C618-91 : Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. 1991 Annual Books of ASTM Standard, Vol. 04.02, 303-305. Philadelphia : ASTM, 1991.

[11] Alonso, J.L., and Wesche, K. Characterization of fly ash. Fly Ash in Concrete : Properties and Performance, pp.3-22. RILEM Report 7, 1991.

[12] จักรพงศ์ ศศิธร. การใช้ประโยชน์เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าในการดูดซับสารไฮโดรคาร์บอนที่ปนเปื้อนในน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

[13] ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์. การเก็บกลับคืนทรัพยากรและนำกลับมาใช้ใหม่. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

[14] Durgesh Meschandish Pvt. Ltd. Cenosphere : India's Leading Export House for Cenosphere, Iron Ore, Microsilica [Online]. Available from : http://durgeshgroup.com/products_cenosphere.html [2009,December 20].

[15] ชัยวัฒน์ พรหมภูเบศร์. การเผาไหม้เชื้อเพลิงผสมถ่านหินและชีวมวลในฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

[16] Ghosal, S., and Self, S.A. Particle size-density relation and cenosphere content of coal fly ash. Fuel 74, 4 (1995) : 522-529.

[17] Blanco, F., Garcia, P., Mateos, P., and Ayala, J. Characteristics and properties of lightweight concrete manufactured with cenospheres. Cement and Concrete Research 30 (2000) : 1715-1722.

[18] Kolay, P.K., and Singh, D.N. Physical, chemical, mineralogical, and thermal properties of cenospheres from an ash lagoon. Cement and Concrete Research 31 (2001) : 539-542.

[19] Ngu, L., Wu, H., and Zhang, D. Characterization of Ash Cenospheres in Fly Ash from Australian Power Stations Energy fuels 21 (2007) : 3437-3445.

[20] Sarkar, A., Rano, R., Mishra, K.K, and Mazumder, A. Characterization of Cenospheres Collected from Ash-pond of a Super Thermal Power Plant. Energy Source 30 (2008) : 271-283.

[21] Hirajima, T., and others. Recovery of cenospheres from coal fly ash using a dry separation process: Separation estimation and potential application. International Journal of Mineral Processing 95 (2010) : 18-24.

[22] AM2F Energy. Products: Cenosphere [Online]. Available from : http://am2fenergy.com/products/cenosphere/ [2012,February 9].

[23] Langfang Olan Glass Beads Co.,Ltd. Products: Cenosphere (hollow microspheres) [Online]. Available from : http://www.glassbead.org.cn/products/cenosphere/ [2012,February 15].

[24] Omya Group. Products: Product Information – Standard Grades [Online]. Available from : http://www.fillite.com/C12577060044726E/vwWebPagesByID/7661CB105194DE4FC125770C005716D4 [2012,February 17].

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลโรงไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าแม่เมาะ

ประวัติความเป็นมา

ปี 2460 ในสมัยรัชกาลที่ 6 พลเอกพระเจ้าบรมวงศ์เธอกรมพระกำแพงเพชรอัครโยธิน ซึ่งขณะนั้นทรงดำรงตำแหน่งอธิบดีกรมรถไฟหลวง ทรงมีพระประสงค์จะสงวนป่าไม้ไว้ จึงได้โปรดให้มีการสำรวจหาเชื้อเพลิงอย่างอื่นนำมาใช้แทนฝืนสำหรับหัวรถจักรไอน้ำของรถไฟ ในการนี้ได้ว่าจ้างผู้เชี่ยวชาญชาวฝรั่งเศส ชื่อนายบัวแยร์ (MG.Boy-er) ให้มาดำเนินการสำรวจในระยะแรก และในปี 2464 - 2466 ได้ว่าจ้างชาวอเมริกัน ชื่อนายวอลเลซ ลี (Wallace Lee) ดำเนินการสำรวจต่อไป จากผลการสำรวจพบว่ามีถ่านหินลิกไนต์ที่บริเวณแม่เมาะ จังหวัดลำปางและที่คลองขนาน จังหวัดกระบี่

เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ 2470 พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาประชาธิปก พระปกเกล้าเจ้าอยู่หัว รัชการที่ 7 ได้ทรงมีพระบรมราชโองการให้สงวนแหล่งถ่านหินที่มีอยู่ในประเทศไว้ เพื่อให้ทางราชการเท่านั้นเป็นผู้ดำเนินการ และห้ามมิให้ประทานบัตรการทำเหมืองแก่เอกชนอื่นใดอีก

เมื่อวันที่ 25 มกราคม 2497 มีการจัดตั้งสำนักงานสำรวจภาวะถ่านลิกไนต์ขึ้น เพื่อดำเนินการตรวจสอบว่ามีถ่านลิกไนต์มากเท่าใด มีวิธีขุดอย่างไรจึงจะเสียค่าใช้จ่ายน้อย และจะนำมาใช้ประโยชน์อย่างไรบ้าง จากการสำรวจพบว่าปริมาณถ่านลิกไนต์ในเบื้องต้นที่แม่เมาะจำนวน 15 ล้านตันและคาดว่าอาจจะพบเพิ่มในปริมาณสูงถึง 120 ล้านตัน ดังนั้นจะได้ร่างแผนงานเบื้องต้นขึ้นเพื่อนำเสนอต่อรัฐบาล โดยมีโครงการขุดถ่านลิกไนต์ขึ้นมาเพื่อจำหน่ายเป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าและใช้เป็นวัตถุมูลฐานในการทำเคมีภัณฑ์ และใช้เป็นถ่านหุงต้ม

เมื่อรัฐบาลเห็นชอบข้อเสนอดังกล่าว ในปี 2497 จึงได้ตราพระราชกฤษฎีกาจัดตั้งองค์การพลังงานไฟฟ้าลิกไนต์ เพื่อดำเนินกิจการถ่านหินลิกไนต์ให้บังเกิดผลอย่างจริงจัง และในปีเดียวกันนี้เององค์การพลังงานไฟฟ้าลิกไนต์ได้ก่อสร้างที่ทำการและบ้านพักที่แม่เมาะด้วยงบประมาณจากรัฐบาล เครื่องจักรเครื่องมือที่ได้รับจากรัฐบาลและสหรัฐอเมริกา และผู้เชี่ยวชาญองค์การลิกไนต์จากประเทศออสเตรเลียจำนวน 3 นายมาเป็นที่ปรึกษา ได้เปิดการทำเหมืองแม่เมาะโดยเปิดหน้าดินก่อนแล้วจึงขุดถ่านลิกไนต์

ในปี 2497 ได้เริ่มผลิตถ่านลิกไนต์จากเหมืองแม่เมาะออกจำหน่ายให้แก่โรงบ่มใบยาสูบในภาคเหนือ โรงงานของการรถไฟแห่งประเทศไทยที่นครราชสีมา โรงปูนซีเมนต์ของบริษัทชลประทานซีเมนต์ จำกัด ที่ตาคลี (นครสวรรค์) ในขณะเดียวกันก็ดำเนินการเจาะสำรวจหาปริมาณถ่านลิกไนต์ควบคู่ไปด้วย ได้พบว่าที่แม่เมาะนี้มีถ่านลิกไนต์ฝังตัวอยู่ทั่วบริเวณ ประมาณ 120 ล้านตัน และสามารถที่จะขุดขึ้นมาใช้งานได้คุ้มค่า 43.6 ล้านตัน

เมื่อประสบความสำเร็จในการดำเนินงานตามแผนการขั้นแรกคือ การผลิตลิกไนต์จำหน่ายเป็นเชื้อเพลิง ขั้นต่อมาก็ได้ดำเนินการก่อสร้างโรงจักรแม่เมาะขนาดกำลังผลิต 12,500 กิโลวัตต์ ใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงล้วน

เพื่อให้การดำเนินงานเกี่ยวกับกิจการลิกไนต์คล่องตัวและกว้างขวางขึ้น รัฐบาลจึงได้ตราพระราชบัญญัติจัดตั้ง "การลิกไนต์" เมื่อวันที่ 14 ธันวาคม 2503 โดยได้โอนกิจการและทรัพย์สินขององค์การพลังงานไฟฟ้ามาเป็นของการลิกไนต์ มีอำนาจดำเนินการในเขตท้องที่จังหวัดลำปาง ลำพูน เชียงใหม่และตาก จนกว่าการไฟฟ้ายันฮีจะขยายกิจการไปถึง

ในปี 2503 คณะผู้เชี่ยวชาญองค์การ เอ.ไอ.ดี (Agency for International Development) ได้สำรวจความต้องการไฟฟ้าในประเทศไทย และได้เสนอให้ก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำแม่เมาะให้แล้วเสร็จในปี 2513 แต่ในขณะนั้นความต้องการไฟฟ้าในภาคเหนือยังมีไม่มาก และถ้าจะส่งพลังงานไฟฟ้ามายังภาคกลางก็จะต้องลงทุนก่อสร้างสายส่งไฟฟ้ายาวหลายร้อยกิโลเมตร เมื่อรวมราคาก่อสร้างโรงไฟฟ้าและขยายเหมืองแม่เมาะแล้ว ผลที่ได้ยังไม่คุ้มกับการลงทุน ดังนั้นจึงได้ชะลอโครงการไว้ก่อน

ในปี 2511 รัฐบาลได้ตราพระราชบัญญัติจัดตั้งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ขึ้นโดยรวมเอากิจการของการลิกไนต์การไฟฟ้ายันฮี และการไฟฟ้าตะวันออกเฉียงเหนือมาเป็นหน่วยงานเดียวกัน เมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม 2512 ดังนั้น กฟผ.จึงได้รับโอนทรัพย์สิน สิทธิ หน้าที่ และภาระทั้งมวลจากทั้ง 3 องค์การมาดำเนินการ

เมื่อวันที่ 17 สิงหาคม 2515 คณะรัฐมนตรีได้อนุมัติ โครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าลิกไนต์แม่เมาะจำนวน 2 หน่วย ขนาดหน่วยละ 75,000 กิโลวัตต์ พร้อมกับงานขยายเหมืองแม่เมาะ เพื่อเพิ่มกำลังผลิตจากที่เคยผลิตได้วันละแสนกว่าตันเป็นล้านตัน จนถึงปัจจุบัน กฟผ.ได้ก่อสร้างและติดตั้งหน่วยผลิตไฟฟ้าเสร็จใช้งานแล้ว 13 หน่วย

ปัจจุบันโรงไฟฟ้าแม่เมาะ มีทั้งหมด 13 เครื่อง มีกำลังผลิตรวม 2,625 เมกะวัตต์ ประกอบด้วย

โรงไฟฟ้าเครื่องที่ 1-3	กำลังผลิตเครื่องละ	75 เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าเครื่องที่ 4-7	กำลังผลิตเครื่องละ	150 เมกะวัตต์
โรงไฟฟ้าเครื่องที่ 8-13	กำลังผลิตเครื่องละ	300 เมกะวัตต์

โรงไฟฟ้าเครื่องที่ 1 และ 2 ได้หยุดเดินเครื่องตั้งแต่ 1 มีนาคม 2543 และเครื่องที่ 3 หยุดเดินเครื่องตั้งแต่ 13 กันยายน 2542 ดังนั้นโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จึงมีกำลังผลิตปัจจุบันคือเครื่องที่ 4-13 จำนวน 2,400 เมกะวัตต์

จ่ายไฟฟ้าสำหรับภาคเหนือ 50% ภาคกลาง 30% และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 20% ใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื่อเพลิงปีละประมาณ 16 ล้านตัน

กฟผ. ได้ดำเนินการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากโครงการโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ตั้งแต่ปี 2520 เป็นต้นมา เพื่อควบคุมผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากโครงการ ฯ ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (สวล.) ในปี 2533 กฟผ.ได้วางแผนให้โรงไฟฟ้าแม่เมาะเครื่องที่ 12-13 มีระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization System - FGD) โดยให้ดำเนินการก่อสร้างพร้อมกับการก่อสร้างโรงไฟฟ้า ซึ่งได้ดำเนินการแล้วเสร็จในปี 2538 ขณะเดียวกันได้ศึกษาความเหมาะสมในการติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ฯ สำหรับโรงไฟฟ้าแม่เมาะเครื่องอื่น ๆ ที่ได้เดินเครื่องจ่ายไฟเข้าระบบแล้ว
ในปัจจุบันโรงไฟฟ้าแม่เมาะได้ติดตั้งเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ฯ แล้วเสร็จสำหรับโรงไฟฟ้าแม่เมาะเครื่องที่ 4-13

สถานที่ตั้ง

โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ตั้งอยู่ที่ ตำบลแม่เมาะ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ห่างจากตัวเมืองลำปาง เป็นระยะทางประมาณ 26 กิโลเมตร

ข้อมูลด้านเทคนิคโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

รายละเอียดโรงไฟฟ้าแม่เมาะ เครื่องที่ 1-13

เครื่องที่	กำลังการผลิต (เมกะวัตต์)	พลังงานไฟฟ้าปีละ (ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง)	ใช้ถ่านหินลิกไนต์ ประมาณปีละ (ล้านตัน)	ประสิทธิภาพ เครื่องดักฝุ่น (%)
1	75	↓	↓	98.5-99.5
2	75	1-3 รวมกัน 1,480	1.5	98.5-99.5
3	75	↑	↑	98.5-99.5
4	150	985	1.0	99.5
5	150	985	1.0	99.5
6	150	985	1.0	99.5
7	150	985	1.0	99.5
8	300	1,970	2.0	99.7
9	300	1,970	2.0	99.7
10	300	1,970	2.0	99.7
11	300	1,970	2.0	99.7
12	300	1,970	2.0	99.7
13	300	1,970	2.0	99.7

รายละเอียดเครื่องกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (FGD) โรงไฟฟ้าแม่เมาะ เครื่องที่ 4-13

เครื่องที่	ปริมาณก๊าซที่เครื่องรับได้		ประสิทธิภาพในการทำงาน
	ความเข้มข้น(มิลลิกรัม/ลบ.ซม.)	มวล(ตัน/ชั่วโมง)	%
4-7	เครื่องละ 17,000	เครื่องละ 19.8	เครื่องละ 97.0
8-11	เครื่องละ 11,000	เครื่องละ 12.5	เครื่องละ 95.0
12-13	เครื่องละ 11,000	เครื่องละ 12.8	เครื่องละ 92.0

คุณภาพถ่านออกแบบโรงไฟฟ้าและที่มีในเหมืองแม่เมาะ

องค์ประกอบ	เครื่องที่ 4-7	เครื่องที่ 8-13
LHV (kcal/kg)	2,011-3,299	2,000-3,100
Moisture (%)	25.0-38.9	25.0-36.0
Ash (%)	6.9-35.0	11.0-36.0
Sulphur (%)	1.32-4.00	0.94-3.35

คุณภาพถ่านหินในเหมือง

LHV 1,300-3,600 kcal/kg เฉลี่ย 2,790 kcal/kg , Sulphur Content > 1.2% เฉลี่ย 2.88%

ความรู้เกี่ยวกับโรงไฟฟ้า

โรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง ด้วยการแปรสภาพพลังงานสะสมของถ่านลิกไนต์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้น้ำเป็นตัวกลาง กระบวนการแปรสภาพพลังงานดังกล่าว มีขั้นตอนดังนี้

1. เปลี่ยนพลังงานสะสมในถ่านลิกไนต์ให้เป็นพลังงานความร้อน โดยการเผาไหม้หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการสันดาป (Combusion or Oxidation)
2. พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ถูกส่งผ่านไปให้กับน้ำทำให้น้ำกลายเป็นไปน้ำอุณหภูมิและความดันสูง
3. เปลี่ยนพลังงานความร้อนของไอน้ำให้เป็นพลังงานกล โดยใช้ไอน้ำไปหมุนกังหันไอน้ำ
4. เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยให้กังหันไอน้ำไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นการสิ้นสุดขั้นตอนการแปรสภาพพลังงาน

การทำงานของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

การทำงานของโรงไฟฟ้าแม่เมาะเป็นเช่นเดียวกับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนทั่วไป โดยใช้ถ่านลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง อุปกรณ์ของโรงไฟฟ้า ประกอบด้วย

- เครื่องอุ่นอากาศ (Air Heater) เป็นอุปกรณ์เพิ่มอุณหภูมิแก่อากาศก่อนที่จะเข้าไปช่วยในการเผาไหม้เชื้อเพลิง เครื่องอุ่นอากาศนี้ทำงานโดยรับความร้อนจากก๊าซร้อนที่ออกจากหม้อน้ำและถ่ายความร้อนดังกล่าวให้กับอากาศ

- แผงท่อรับความร้อน (Economizer) คือแผงท่อน้ำซึ่งทำให้น้ำที่เข้าไปในหม้อน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นอีกขั้นหนึ่ง แผงนี้จะติดตั้งอยู่บริเวณช่วงสุดท้ายก่อนที่ก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้จะออกจากตัวหม้อน้ำ เพื่อรับความร้อนจากก๊าซร้อนและถ่ายเทให้แก่น้ำที่เข้าหม้อน้ำ
- เครื่องแยกไอน้ำ (Boiler Drum) ลักษณะเป็นเหล็กหนารูปแคปซูลที่สามารถทนความดันและอุณหภูมิสูง ภายในเครื่องแยกไอน้ำมีอุปกรณ์ Cyclone Separator และ Steam Scrubber ทำหน้าที่แยกไอน้ำออกจากน้ำ โดยอาศัยหลักของแรงหนีศูนย์กลางและการเปลี่ยนทิศทางการไหล
- หม้อน้ำ (Boiler) คือตัวเตาซึ่งมีท่อเหล็กทนต่อความดันและอุณหภูมิสูงประกอบกันเป็นผนัง 4 ด้านของเตา ภายในท่อเหล่านจะมีน้ำไหลวนอยู่ ส่วนบนของตัวเตามีแผงท่อไอน้ำแขวนลอย เป็นท่อรับไอน้ำที่ออกจากเครื่องแยกไอน้ำ (Boiler Steam Drum) มารับความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงอีกครั้งเพื่อเพิ่มอุณหภูมิแก่ไอน้ำให้สูงขึ้นและส่งไอน้ำอุณหภูมิสูงนี้ออกจากหม้อน้ำไปยังท่อนำไอน้ำเพื่อไปหมุนเครื่องกังหันไอน้ำ

ขั้นตอนการใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง

ถ่านลิกไนต์ที่ขุดจากเหมืองแม่เมาะ ถูกส่งเข้ามาบดในเครื่องย่อยถ่านชุดแรกและผ่านออกมาในขนาดไม่โตกว่า 30 ลบ.ซม. จากนั้นจะใช้สายพานลำเลียงมากองไว้ยังบานกองย่อย ถ่านจากลานกองจะถูกส่งขึ้นมายังโรงย่อยถ่าน โดยมีระบบแม่เหล็กไฟฟ้าและระบบตรวจสอบโลหะเพื่อแยกโลหะไม่พึงประสงค์ออก ก่อนจะผ่านไปยังเครื่องย่อยถ่านชุดที่สอง ซึ่งจะย่อยถ่านให้มีขนาดไม่โตกว่า 3 ลบ.ซม. และส่งไปเก็บไว้ในยุ้งถ่าน (Coal Bunker) ในตัวโรงไฟฟ้าเพื่อเตรียมใช้งานต่อไป

ถ่านลิกไนต์ติดไฟค่อนข้างยาก ในช่วงแรกของการจุดเตาจึงต้องใช้ Light Oil จุดนำก่อน โดยใช้หัวฉีดน้ำมัน ฉีด Light Oil ให้กระจายเป็นฝอยเข้าไปในตัวเตาใช้ระบบจุดระเบิดโดยการ Sprak ของไฟฟ้าแรงสูง ทำให้ Light Oil ลุกไหม้ภายในเตา เมื่อการเผาไหม้ Light Oil อยู่ในสภาวะคงที่ (Stable) และอุณหภูมิภายในเตาสูงพอ จึงจะเริ่มเผาถ่านลิกไนต์

ถ่านลิกไนต์จากยุ้งเก็บถ่านถูกป้อนเข้าโม่บดโดยเครื่องป้อนถ่าน (Coal Feeder) ซึ่งเป็นตัวควบคุมปริมาณถ่านที่จะเผา ในโม่บดถ่านจะมีลมร้อนจากเครื่องอุ่นอากาศเป่าเข้าไปในโม่ ถ่านจะถูกบดโดยมีลมร้อนเป็นตัวกวนให้การบดมีประสิทธิภาพดีและไล่ความชื้นออกจากถ่าน

ถ่านที่บดแล้วจะมีขนาดประมาณ 75/1000 มิลลิเมตร และอุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ถูกลมร้อนพาขึ้นไปตามท่อส่งถ่านไปยังหัวฉีดถ่าน (Coal Burner) หัวฉีดถ่านจะทำหน้าที่ควบคุมให้ถ่านกระจายเข้าไปในเตาอย่างมีระเบียบ เมื่อผงถ่านปะทะกับ Light Oil ที่กำลัง

ลุกไหม้และมีอุณหภูมิสูง ผงถ่านจะติดไฟและเกิดการเผาไหม้ขึ้น ในช่วงนี้ก็จะหยุดใช้ Light Oil และใช้ถ่านเพียงอย่างเดียวได้

การเผาถ่าน จะทำให้เกิดขี้เถ้า ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

- ขี้เถ้าหนัก (Wet Ash) จะตกลงสู่ก้นเตาและถูกลำเลียงออกจากเตาโดยระบบสายพานเหล็ก (Scrapper Conveyor)
- ขี้เถ้าเบา (Fly Ash or Dry Ash) จะปนไปกับก๊าซร้อน ปริมาณขี้เถ้าเบาที่เกิดขึ้นมีปริมาณร้อยละ 80-95 ของขี้เถ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมด จึงต้องมีการติดตั้งเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Precipitator) เพื่อแยกฝุ่นออกจากก๊าซร้อน ก่อนจะปล่อยก๊าซออกทางปล่องควัน

ที่มา : http://maemoh.egat.com/index_maemoh/index.php

โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี (BLCP POWER)

ประวัติความเป็นมา

โรงไฟฟ้าบีแอลซีพี เป็นบริษัทร่วมทุนของไทย (50:50) ระหว่างบริษัทในเครือของบริษัท บ้านปู จำกัด (มหาชน) และบริษัท ผลิตไฟฟ้า จำกัด มหาชน หรือ เอ็กโก กรุ๊ป

โรงไฟฟ้าบีแอลซีพีดำเนินธุรกิจผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์และเทคโนโลยีการผลิตที่ทันสมัยควบคู่กับการบริหารจัดการด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวด เพื่อให้สอดคล้องกับมาตรฐานของภาครัฐ และเพื่อคำนึงถึงความรู้สึกและความต้องการของชุมชนเป็นสำคัญ โรงไฟฟ้าบีแอลซีพีใช้ถ่านหินคุณภาพดีประเภทบิทูมินัสเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งส่วนใหญ่นำเข้ามาจากประเทศออสเตรเลีย มีกำลังการผลิตรวม 1,434 เมกะวัตต์

สถานที่ตั้ง

โรงไฟฟ้าบีแอลซีพีตั้งอยู่ในพื้นที่ท่าเรืออุตสาหกรรมมาบตาพุดระยะที่ 2 ซึ่งเป็นท่าเรือน้ำลึก โดยบริษัทฯได้ลงนามในสัญญาเช่าพื้นที่จากการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย (กนอ.) ประมาณ 600 ไร่ ตั้งแต่วันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ. 2543 รวมระยะเวลาเช่า 30 ปี ทั้งนี้โรงไฟฟ้าแห่งนี้ได้รับใบอนุญาตต่างๆ ในการก่อสร้างและดำเนินการ รวมทั้งได้ปฏิบัติตามมาตรฐานกฎเกณฑ์และข้อบังคับเช่นเดียวกับโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ตำบลมาบตาพุด จังหวัดระยอง

ข้อมูลทางด้านเทคนิค

ชนิดของถ่านหิน

โรงไฟฟ้าบีแอลซีพีใช้ถ่านหินคุณภาพดีประเภทบิทูมินัสเป็นเชื้อเพลิง จากประเทศออสเตรเลียและอินโดนีเซีย มีค่าความร้อนสูง แต่ปริมาณกำมะถันต่ำ

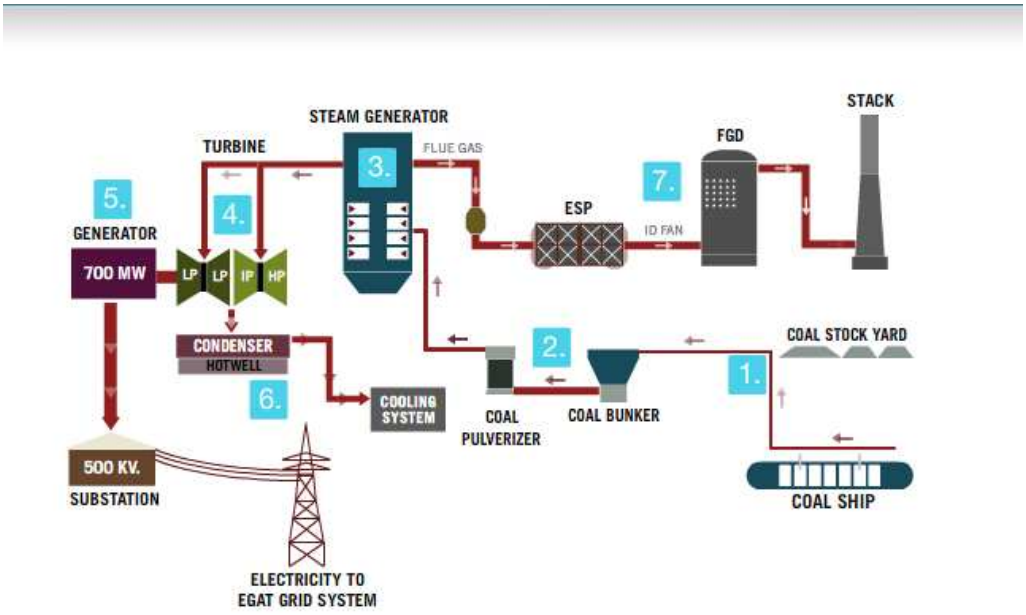
แหล่งที่มาของถ่านหิน

ท่าเรือขนถ่ายถ่านหินอยู่ติดกับตัวโรงไฟฟ้า (ไม่ได้ยื่นออกไปในทะเล) และใช้สายพานลำเลียงที่มีแผ่นกำบังลมปิดกั้น และยังมีการติดตั้งอุปกรณ์สเปรย์น้ำที่ Unloader Hopper เพื่อป้องกันฝุ่นฟุ้งกระจาย น้ำจากการสเปรย์จะถูกรวบรวมลงถังพักและสูบกลับเพื่อนำมาบำบัด ไม่มีการปล่อยน้ำลงทะเล นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทะเลรอบบริเวณท่าเรือขนถ่ายถ่านหินอย่างสม่ำเสมอ

ลานกองถ่านหิน ใช้พลาสติกกันซึมคุณภาพดี HDPE (High Density Polyethylene) ปูด้านล่างเพื่อป้องกันน้ำซึมลงสู่ใต้ดิน โดยน้ำจากรอบลานกองถ่านหิน มีรางระบายน้ำเพื่อรวบรวมน้ำจากลานกองถ่านหินไปยังบ่อตกตะกอนเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ นอกจากนี้ยังมีการตรวจวัดฝุ่นละอองทุก 3 เดือน และมีกำแพงเปลี่ยนทิศทางลมกันลมปะทะกับลานกองถ่านหินโดยตรง

โรงไฟฟ้าบีแอลซีพีมีกำลังการผลิต 1,434 เมกะวัตต์โดยใช้ถ่านหินบิทูมินัสคุณภาพดีประมาณ 3.6 ล้านตันต่อปี และติดตั้งเครื่องดักจับฝุ่นระบบไฟฟ้าสถิตย์ (ESP), เครื่องดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (FGD), เตาเผาชนิดควบคุมอุณหภูมิ (Low NO_x Burner) ระบบบำบัดน้ำเสีย และอุปกรณ์จัดการด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งมีมูลค่ากว่า 14,000 ล้านบาท หรือร้อยละ 25 ของเงินลงทุนทั้งหมด

กระบวนการผลิตไฟฟ้า



1.โรงไฟฟ้าบีแอลซีพีใช้ถ่านหินคุณภาพดีชนิดบิทูมินัส จากประเทศออสเตรเลียและประเทศอินโดนีเซียเป็นเชื้อเพลิง ถ่านหินจะถูกขนส่งทางเรือและขนถ่ายที่ท่าเรือของของโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี จากนั้นจะถูกลำเลียงไปยังลานกองถ่านหินจำนวน 3 กอง โดยมีปริมาณรวมทั้งสิ้นประมาณ 700,000 เมตริกตัน ซึ่งถ่านหินจำนวนนี้สามารถใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 60 วันต่อเนื่อง

2.จากลานกองถ่านหิน ถ่านหินจะถูกลำเลียงเข้าสู่โรงไฟฟ้าด้วยระบบสายพานลำเลียงไปยัง Coal Bunker และส่งต่อไปยัง Coal Pulverizer เพื่อบดถ่านจนเป็นผงละเอียดก่อนที่จะถูกส่งเข้าไปยังหม้อไอน้ำ (Boiler Furnace) โดยการใช้ลมพาผงถ่านเข้าไป เมื่อถ่านหินเกิดการเผาไหม้ก็จะคายพลังงานความร้อนออกมาและถ่ายเทให้น้ำที่ อยู่ภายในท่อรอบ ๆ ผนังหม้อไอน้ำ น้ำที่ใช้จะต้องเป็นน้ำที่แร่ธาตุ (Demineralized water)

3.เมื่อน้ำได้รับความร้อนจากการเผาไหม้ก็จะมีอุณหภูมิสูงจนเดือดและน้ำบางส่วน จะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำ อุปกรณ์ที่เรียกว่า Boiler Drum ซึ่งติดตั้งอยู่ส่วนบนของเตาเผาจะทำหน้าที่แยกไอน้ำและน้ำออกจากกัน ส่วนที่เป็นน้ำก็จะกลับไปสู่เตาเผาอีกครั้งหนึ่ง ส่วนที่เป็นไอ

น้ำจะผ่านไปเข้า Superheat Coil เพื่อเพิ่มอุณหภูมิและความดันให้เหมาะสมกับการที่จะนำไปใช้ในการขับเคลื่อน กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) ต่อไป

4.ไอน้ำเมื่อผ่านกังหันจะคายพลังงานเพื่อทำให้ตัวกังหันหมุน แกนของกังหันจะต่อไปยังเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

5. เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุน สนามแม่เหล็กจะหมุนไปตัดกับขดลวดที่อยู่ภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำให้เกิด กระแสไฟฟ้าขึ้น กระแสไฟฟ้าส่วนนี้จะถูกยกระดับแรงดันขึ้นด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า (Generator Transformer) เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าเหมาะสมต่อการส่งกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบของการไฟฟ้าฝ่าย ผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) ต่อไป

6.ไอน้ำที่ไปหมุนกังหันแล้วจะมีอุณหภูมิและความดันลดลง จะถูกควบแน่นให้กลายเป็นน้ำภายในเครื่องควบแน่น (Condenser) เพื่อส่งกลับไปต้มในห้องเผาไหม้ต่อไป

7.กระบวนการเผาไหม้ของถ่านหินจะเกิดเถ้าขึ้นหลังจากการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ ส่วนที่มีน้ำหนักมากจะตกลงสู่ด้านล่างของเตาเผาซึ่งเรียกว่าเถ้าหนัก (Bottom Ash) เถ้าส่วนที่มีน้ำหนักน้อยจะลอยขึ้นไปกับอากาศที่ถูกเผาไหม้แล้ว (Flue gas) สู่ส่วนบนของเตาเผาไหม้ ส่วนนี้จะถูกดักจับด้วยเครื่องดักจับฝุ่นระบบไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitator : ESP) และเนื่องจากในถ่านหินจะมีกำมะถันปนอยู่ด้วย เมื่อเกิดการเผาไหม้ กำมะถันนี้จะถูกเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และจะถูกดักจับด้วย เครื่องดักจับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulphurization : FGD) ก่อนที่จะปล่อยสู่ชั้นบรรยากาศต่อไป

การจัดการกากของเสีย

กากของเสียที่เกิดขึ้นจากโครงการโรงไฟฟ้านี้ แบ่งได้เป็น

- ของเสียจากสำนักงาน (โดยส่วนใหญ่จะเป็นกระดาษ) จะถูกรวบรวมไว้ในถังขยะขนาดใหญ่ และมีบริษัทภายในท้องถิ่นที่รับเก็บรวมรวมขยะมาเก็บไปทุกสัปดาห์ รวมทั้งกากตะกอนจากระบบผลิตน้ำดีซึ่งเป็นของเสียที่ไม่เป็นอันตรายด้วย
- ของเสียที่เป็นสารเคมีหรือมีการปนเปื้อนน้ำมัน ของเสียเหล่านี้จะมีปริมาณน้อย เช่น ภาชนะที่บรรจุน้ำมันหรือสารเคมีที่ใช้แล้ว หรือสารเคมีที่หมดอายุการใช้งาน จะถูกเก็บไว้ในถังเก็บสารเคมีเพื่อรอส่งไปยังบริษัทฯที่ได้รับใบอนุญาต ประกอบกิจการ Recycle จากกรมโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

- เถ้าถ่านหินจากการเผาไหม้ การเผาไหม้เชื้อเพลิงของโรงไฟฟ้าจะทำให้เกิดขี้เถ้าประมาณ 360,000 ตันต่อปีโดยประมาณว่า 10% ของเถ้าถ่านหินนี้จะเป็นเถ้าหนัก (Bottom Ash) ส่วนที่เหลือจะเป็นถ้าลอย (Fly Ash) ทางโครงการจะจัดการกับกากของเสียประเภทนี้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การจัดการเถ้าถ่านหิน

ในการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าที่เต็มกำลังการผลิตทั้ง 2 หน่วยผลิต จะใช้ถ่านหินประเภทบิทูมินัสประมาณ 3.6 ล้านตันต่อปีและจะเกิดเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุพลอยได้ ประมาณ 0.36 ล้านตันต่อปี เถ้าถ่านหินที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือเถ้าลอย (Fly Ash) มีสัดส่วนประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและเถ้าหนัก (Furnace Ash or Bottom Ash) อีกประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

บริษัทฯ ทำสัญญาขายเถ้าลอยที่ได้คุณภาพทั้งหมดให้แก่บริษัทผลิตภัณฑ์และวัตถุก่อสร้าง (CPAC) บริษัทนครหลวงคอนกรีตจำกัด (SCCO) บริษัท บอรอล คอนกรีต (ประเทศไทย) จำกัด (BORAL) และบริษัททอรัส พอซโซลานซ์ จำกัด (TAURUS) โดยผู้ซื้อต้องการเถ้าลอยเพื่อใช้ผสมทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตและปรับปรุง คุณภาพคอนกรีตของตนให้ดียิ่งขึ้น ดังนั้นเถ้าลอยที่ได้คุณภาพทั้งหมดจะถูกแปรรูปไปเป็นคอนกรีตและผลิตภัณฑ์ของคอนกรีต

ในขณะเดียวกันบริษัทฯทำสัญญาซื้อบริการกับบริษัทปูนซีเมนต์ไทย บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวงในการนำเถ้าหนักและเถ้าลอยที่ไม่ได้คุณภาพทั้งหมดไป ใช้ประโยชน์เพื่อทดแทนวัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์ที่จังหวัดสระบุรี เถ้าหนักและเถ้าลอยที่ไม่ได้คุณภาพจะถูกแปรรูปไปเป็นผงปูนซีเมนต์ที่ใช้กัน อยู่ทั่วไปในท้องตลาด เถ้าหนักประมาณร้อยละ 10 ของการผลิต ทางบริษัททอรัส พอซโซลานซ์ จำกัด (TAURUS) รับไปใช้เป็นวัตถุดิบทดแทนทรายในการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบา ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์คอนกรีตชนิดใหม่ชนิดที่กำลังเป็นที่นิยมในตลาดวัสดุก่อสร้างในปัจจุบัน

การจัดเก็บและขนส่งเถ้าถ่านหิน

เถ้าลอยที่ถูกดักจับไว้ด้วยอุปกรณ์ดักจับด้วยไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Precipitation, EP) จะถูกขนส่งทางท่อด้วยระบบลม (Pneumatic) ไปเก็บไว้ที่ไซโลเก็บเถ้าลอย (Fly Ash Silo) ผู้ซื้อทั้งสองรายจะส่งรถบรรทุกแบบถังปิดที่ปกติใช้สำหรับขนส่งปูนซีเมนต์ เข้ามารับเถ้าลอยจากหัวจ่ายที่ติดอยู่บริเวณใต้ไซโล เถ้าหนักที่เกิดขึ้นจะหล่นลงในน้ำบริเวณใต้ห้องเผาไหม้ หลังจากนั้นจะถูกกวาดและย่อยขนาดให้เล็กก่อนส่งด้วยสายพานขึ้นไปเก็บไว้ใน ไซโลเก็บเถ้าหนัก (Bottom Ash Silo)

ที่มา : http://www.blcp.co.th/th/index.php

โรงไฟฟ้าเนชั่นแนล เพาเวอร์ ซัพพลาย (NPS)

ประวัติความเป็นมา

โรงไฟฟ้าของบริษัท เนชั่นแนล เพาเวอร์ ซัพพลาย จำกัด (National Power Supply Co.,Ltd ; NPS) ก่อสร้างเมื่อปี พ.ศ. 2539 เปิดดำเนินการเมื่อปี พ.ศ. 2542 มีกำลังการผลิตสูงสุด 300 เมกกะวัตต์ ขายให้กับการไฟฟ้าแห่งประเทศไทยเป็นหลัก ส่วนไฟฟ้าที่เหลือพร้อมทั้งไอน้ำที่ผลิตได้ป้อนให้กับโรงงานในนิคมอุตสาหกรรม 304 โรงงานกระดาษในเครือแอ๊ดวานซ์ อะโกร โรงไฟฟ้า NPS ถูกออกแบบให้ใช้ถ่านหินและเชื้อเพลิงชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงหลักในการผลิตไฟฟ้า โดยถ่านหินนำเข้ามาจากต่างประเทศส่วนเชื้อเพลิงชีวภาพนำมาจากแหล่งผลิตภายในประเทศ

จากการดำเนินงานของโรงไฟฟ้า NPS ที่ผ่านมา พบว่ากากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น เศษไม้ เปลือกไม้ กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นต้น สามารถนำมาทดแทนเชื้อเพลิงปัจจุบันได้ โรงไฟฟ้า NPS จึงมีโครงการที่จะนำกากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดที่มีศักยภาพสำหรับเป็นเชื้อเพลิง นำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงเดิมในโรงงานไฟฟ้า NPS บางส่วน การดำเนินการดังกล่าวจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อโรงไฟฟ้า NPS รวมทั้งโรงงานในเครือแอ๊ดวานซ์ อะโกรอย่างมาก รวมถึงผลดีต่อสิ่งแวดล้อม การจัดการขยะ และด้านพลังงาน

สถานที่ตั้ง

ตั้งอยู่เลขที่ 206 หมู่ 4 ตำบลท่าตูม อำเภอศรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี

ข้อมูลทางด้านเทคนิค

- มีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 164 เมกะวัตต์ จำนวน 2 ยูนิต
- ห้องเผาไหม้เป็นแบบ Circulated Fluidized Bed
- ใช้ถ่านหิน (บิทูมินัส) และเชื้อเพลิงชีวมวล (แกลบและชิ้นไม้สับ) เป็นเชื้อเพลิงหลัก

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ภาพที่ ข1 เครื่อง Ultrasonic Bath รุ่น Metason 120

ภาพที่ ข2 ตู้อบ

ภาพที่ ข3 เครื่องชั่งสาร ความละเอียด 2 ตำแหน่ง

ภาพที่ ข4 เครื่อง Laser Particle Size Analyzer รุ่น Mestersizer S long bed ver.2.19
ที่มา : http://www.malvern.com/labeng/products/mastersizer/mastersizer_range.htm

ภาพที่ ข5 เครื่อง Ultrapycnometer รุ่น Ultrapycnometer 1000, Quantachrome

ที่มา: http://www.giangarloscientific.com/analytical/quantachrome/pentapycnometer.html

ภาพที่ ข6 เครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD) รุ่น Bruker AXS Model D8 Discover

ภาพที่ ข7 เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

ภาพที่ ข8 เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) รุ่น Hitachi S-3400N

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลอง และตัวอย่างการคำนวณ

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: MM
Sample File: CHULA17
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : water
Ultrasonic : no
Additives : no

Run Number: 13
Record Number: 182

Measured: Mon Nov 21 2011 3:55PM
Analysed: Mon Nov 21 2011 3:55PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 19.6 %
Residual: 1.245 %

Result Statistics

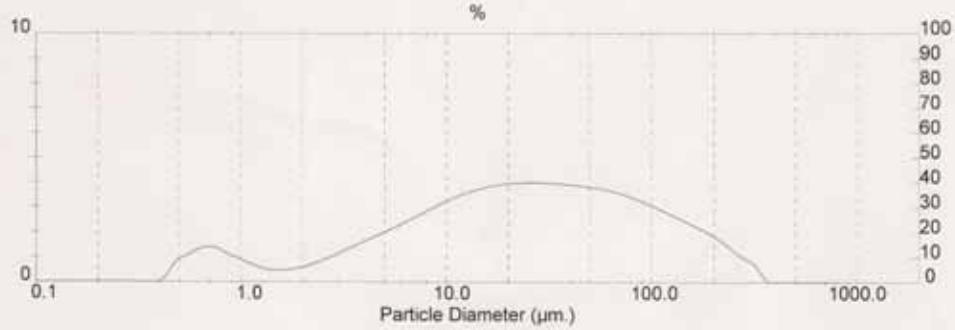
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 48.85 um

Concentration = 0.0203 %Vol
D (v, 0.1) = 2.55 um
D [3, 2] = 5.69 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 24.19 um
Span = 5.410E+00

Specific S.A. = 1.0550 sq. m / g
D (v, 0.9) = 133.40 um
Uniformity = 1.625E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	2.64	7.72	23.23
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	2.92	9.00	26.16
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	3.20	10.48	29.35
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	3.44	12.21	32.79
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	3.64	14.22	36.44
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	3.80	16.57	40.23
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	3.90	19.31	44.14
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.96	22.49	48.10
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.99	26.20	52.09
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	3.99	30.53	56.08
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	3.97	35.56	60.05
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	3.93	41.43	63.97
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	3.87	48.27	67.84
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	3.79	56.23	71.63
0.42	0.60	0.49	0.60	56.23	3.70	65.51	75.34
0.49	1.04	0.58	1.64	65.51	3.55	76.32	78.89
0.58	1.32	0.67	2.96	76.32	3.35	88.91	82.24
0.67	1.41	0.78	4.36	88.91	3.13	103.58	85.37
0.78	1.17	0.91	5.54	103.58	2.88	120.67	88.25
0.91	0.93	1.06	6.47	120.67	2.62	140.58	90.87
1.06	0.69	1.24	7.16	140.58	2.36	163.77	93.23
1.24	0.53	1.44	7.69	163.77	2.09	190.80	95.32
1.44	0.48	1.68	8.17	190.80	1.77	222.28	97.09
1.68	0.54	1.95	8.72	222.28	1.37	258.95	98.46
1.95	0.67	2.28	9.38	258.95	0.97	301.68	99.43
2.28	0.87	2.65	10.25	301.68	0.57	351.46	100.00
2.65	1.10	3.09	11.35	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.35	3.60	12.70	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.59	4.19	14.29	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.84	4.88	16.13	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.10	5.69	18.23	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.36	6.63	20.59	754.23	0.00	878.67	100.00

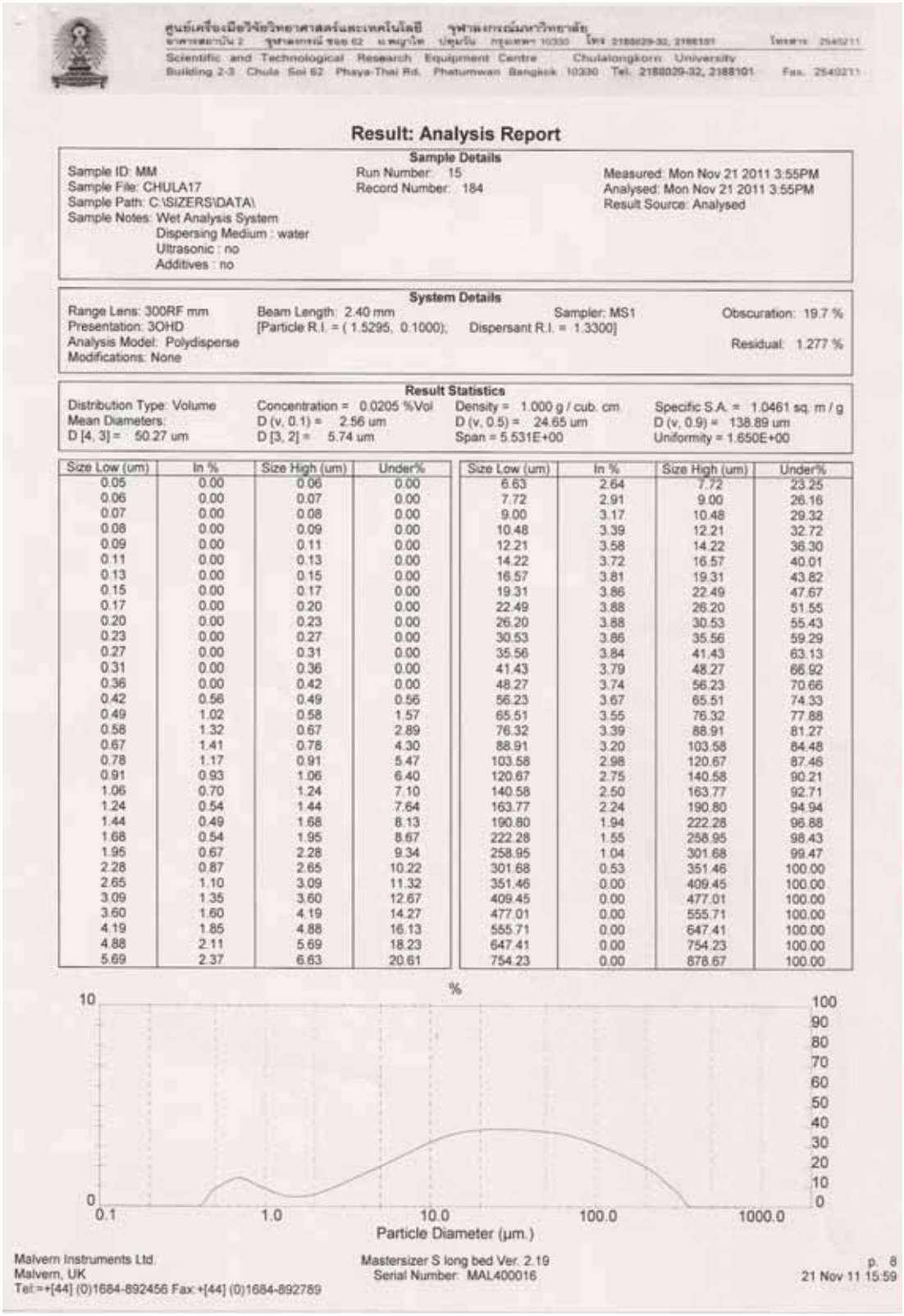


Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 7
21 Nov 11 15:58

รูปที่ ค1 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ - 1



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: MM
Sample File: CHULA17
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : water
Ultrasonic : no
Additives : no

Run Number: 15
Record Number: 184

Measured: Mon Nov 21 2011 3:55PM
Analysed: Mon Nov 21 2011 3:55PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 19.7 %
Residual: 1.277 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 50.27 um

Concentration = 0.0205 %Vol
D (v, 0.1) = 2.56 um
D [3, 2] = 5.74 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 24.65 um
Span = 5.531E+00

Specific S.A. = 1.0461 sq. m / g
D (v, 0.9) = 138.89 um
Uniformity = 1.650E+00

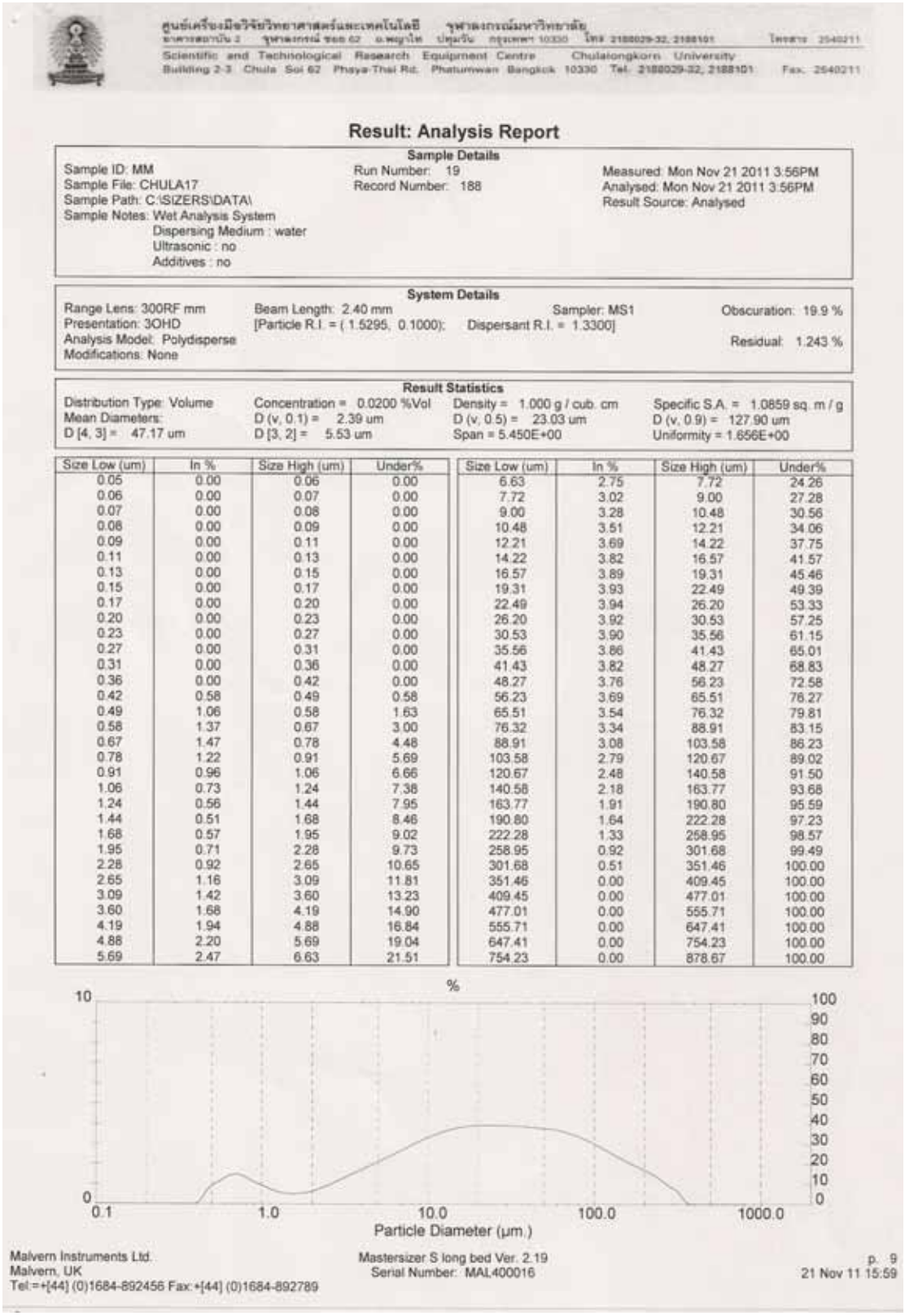
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	2.64	7.72	23.25
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	2.91	9.00	26.16
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	3.17	10.48	29.32
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	3.39	12.21	32.72
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	3.58	14.22	36.30
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	3.72	16.57	40.01
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	3.81	19.31	43.82
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.86	22.49	47.67
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.88	26.20	51.55
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	3.88	30.53	55.43
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	3.86	35.56	59.29
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	3.84	41.43	63.13
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	3.79	48.27	66.92
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	3.74	56.23	70.66
0.42	0.56	0.49	0.56	56.23	3.67	65.51	74.33
0.49	1.02	0.58	1.57	65.51	3.55	76.32	77.88
0.58	1.32	0.67	2.89	76.32	3.39	88.91	81.27
0.67	1.41	0.78	4.30	88.91	3.20	103.58	84.48
0.78	1.17	0.91	5.47	103.58	2.98	120.67	87.46
0.91	0.93	1.06	6.40	120.67	2.75	140.58	90.21
1.06	0.70	1.24	7.10	140.58	2.50	163.77	92.71
1.24	0.54	1.44	7.64	163.77	2.24	190.80	94.94
1.44	0.49	1.68	8.13	190.80	1.94	222.28	96.88
1.68	0.54	1.95	8.67	222.28	1.55	258.95	98.43
1.95	0.67	2.28	9.34	258.95	1.04	301.68	99.47
2.28	0.87	2.65	10.22	301.68	0.53	351.46	100.00
2.65	1.10	3.09	11.32	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.35	3.60	12.67	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.60	4.19	14.27	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.85	4.88	16.13	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.11	5.69	18.23	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.37	6.63	20.61	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 8
21 Nov 11 15:59

รูปที่ ค2 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ - 2



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: MM
Sample File: CHULA17
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : water
Ultrasonic : no
Additives : no

Run Number: 19
Record Number: 188

Measured: Mon Nov 21 2011 3:56PM
Analysed: Mon Nov 21 2011 3:56PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 19.9 %
Residual: 1.243 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 47.17 um

Concentration = 0.0200 %Vol
D (v, 0.1) = 2.39 um
D [3, 2] = 5.53 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 23.03 um
Span = 5.450E+00

Specific S.A. = 1.0859 sq. m / g
D (v, 0.9) = 127.90 um
Uniformity = 1.656E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	2.75	7.72	24.26
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	3.02	9.00	27.28
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	3.28	10.48	30.56
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	3.51	12.21	34.06
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	3.69	14.22	37.75
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	3.82	16.57	41.57
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	3.89	19.31	45.46
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.93	22.49	49.39
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.94	26.20	53.33
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	3.92	30.53	57.25
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	3.90	35.56	61.15
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	3.86	41.43	65.01
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	3.82	48.27	68.83
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	3.76	56.23	72.58
0.42	0.58	0.49	0.58	56.23	3.69	65.51	76.27
0.49	1.06	0.58	1.63	65.51	3.54	76.32	79.81
0.58	1.37	0.67	3.00	76.32	3.34	88.91	83.15
0.67	1.47	0.78	4.48	88.91	3.08	103.58	86.23
0.78	1.22	0.91	5.69	103.58	2.79	120.67	89.02
0.91	0.96	1.06	6.66	120.67	2.48	140.58	91.50
1.06	0.73	1.24	7.38	140.58	2.18	163.77	93.68
1.24	0.56	1.44	7.95	163.77	1.91	190.80	95.59
1.44	0.51	1.68	8.46	190.80	1.64	222.28	97.23
1.68	0.57	1.95	9.02	222.28	1.33	258.95	98.57
1.95	0.71	2.28	9.73	258.95	0.92	301.68	99.49
2.28	0.92	2.65	10.65	301.68	0.51	351.46	100.00
2.65	1.16	3.09	11.81	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.42	3.60	13.23	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.68	4.19	14.90	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.94	4.88	16.84	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.20	5.69	19.04	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.47	6.63	21.51	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 9
21 Nov 11 15:59

รูปที่ ค3 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ - 3

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: BLCP
Sample File: CHULA17
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : water
Ultrasonic : no
Additives : no

Run Number: 24
Record Number: 164

Measured: Mon Nov 21 2011 3:45PM
Analysed: Mon Nov 21 2011 3:45PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 20.7 %
Residual: 1.226 %

Result Statistics

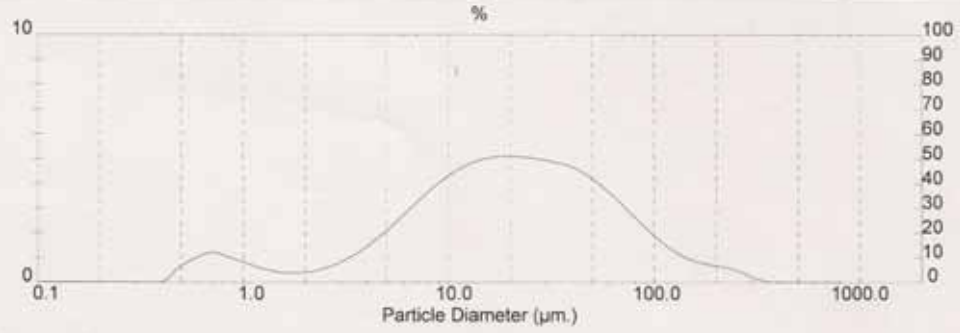
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 34.02 um

Concentration = 0.0230 %Vol
D (v, 0.1) = 3.56 um
D [3, 2] = 6.27 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 19.70 um
Span = 3.822E+00

Specific S.A. = 0.9568 sq. m / g
D (v, 0.9) = 78.87 um
Uniformity = 1.267E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	3.32	7.72	21.63
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	3.82	9.00	25.45
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.26	10.48	29.71
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.61	12.21	34.32
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.87	14.22	39.19
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	5.02	16.57	44.22
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	5.10	19.31	49.31
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	5.11	22.49	54.42
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	5.06	26.20	59.48
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	4.98	30.53	64.47
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	4.87	35.56	69.34
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	4.74	41.43	74.08
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	4.47	48.27	78.55
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	4.10	56.23	82.66
0.42	0.40	0.49	0.40	56.23	3.64	65.51	86.29
0.49	0.81	0.58	1.21	65.51	3.11	76.32	89.40
0.58	1.08	0.67	2.29	76.32	2.56	88.91	91.96
0.67	1.20	0.78	3.49	88.91	2.02	103.58	93.98
0.78	1.03	0.91	4.52	103.58	1.54	120.67	95.52
0.91	0.84	1.06	5.36	120.67	1.17	140.58	96.69
1.06	0.65	1.24	6.01	140.58	0.91	163.77	97.60
1.24	0.50	1.44	6.51	163.77	0.75	190.80	98.35
1.44	0.40	1.68	6.91	190.80	0.66	222.28	99.01
1.68	0.38	1.95	7.30	222.28	0.54	258.95	99.56
1.95	0.43	2.28	7.73	258.95	0.33	301.68	99.88
2.28	0.56	2.65	8.29	301.68	0.12	351.46	100.00
2.65	0.76	3.09	9.05	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.03	3.60	10.08	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.38	4.19	11.45	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.79	4.88	13.24	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.27	5.69	15.52	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.79	6.63	18.31	754.23	0.00	878.67	100.00

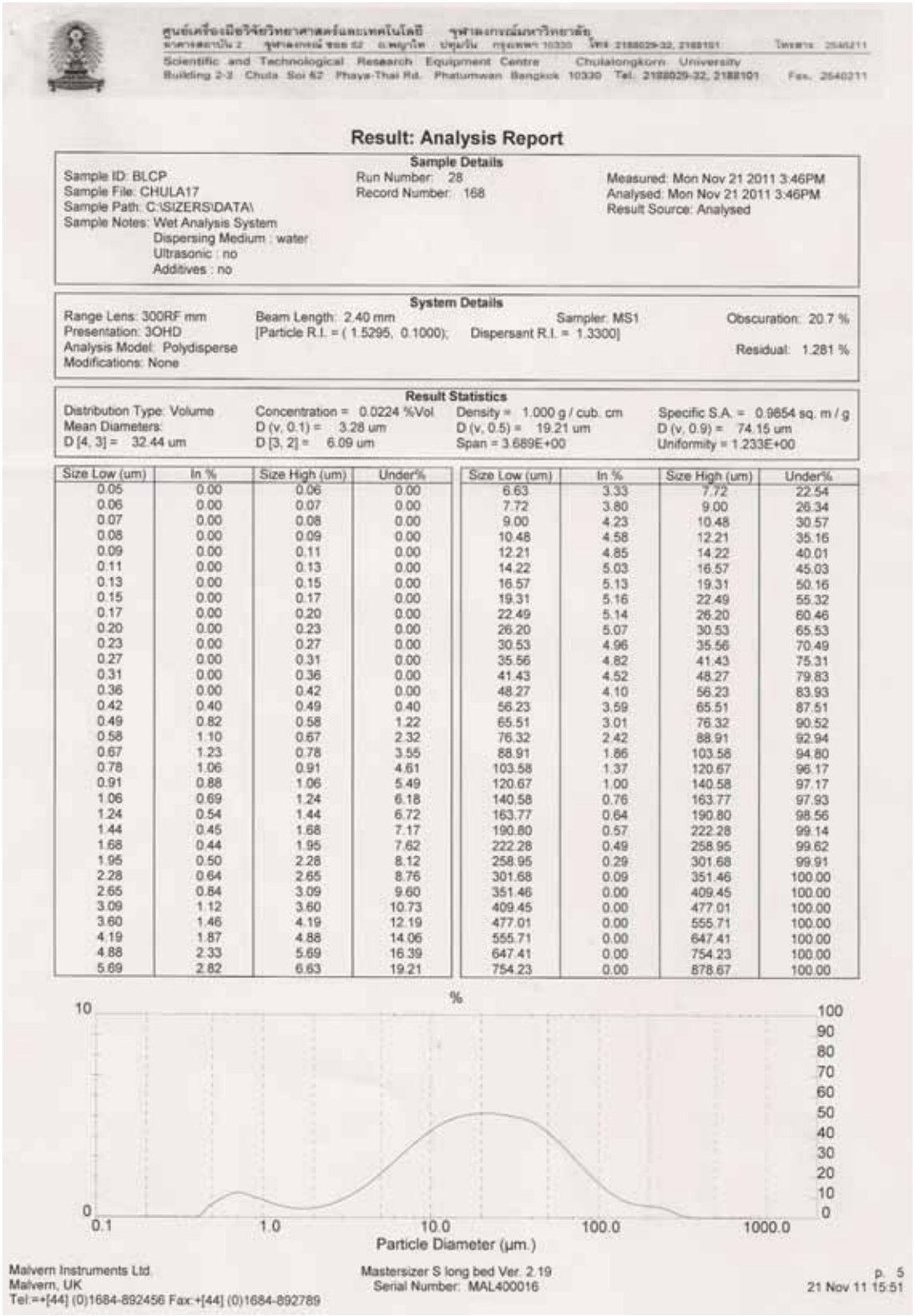


Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 4
21 Nov 11 15:50

รูปที่ ค4 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี - 1



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-2 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2640211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: BLCP
Sample File: CHULA17
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : water
Ultrasonic : no
Additives : no

Run Number: 28
Record Number: 168

Measured: Mon Nov 21 2011 3:46PM
Analysed: Mon Nov 21 2011 3:46PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 20.7 %
Residual: 1.281 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 32.44 um

Concentration = 0.0224 %Vol
D (v, 0.1) = 3.28 um
D [3, 2] = 6.09 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 19.21 um
Span = 3.689E+00

Specific S.A. = 0.9654 sq. m / g
D (v, 0.9) = 74.15 um
Uniformity = 1.233E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	3.33	7.72	22.54
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	3.80	9.00	26.34
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.23	10.48	30.57
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.58	12.21	35.16
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.85	14.22	40.01
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	5.03	16.57	45.03
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	5.13	19.31	50.16
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	5.16	22.49	55.32
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	5.14	26.20	60.46
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	5.07	30.53	65.53
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	4.96	35.56	70.49
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	4.82	41.43	75.31
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	4.52	48.27	79.83
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	4.10	56.23	83.93
0.42	0.40	0.49	0.40	56.23	3.59	65.51	87.51
0.49	0.82	0.58	1.22	65.51	3.01	76.32	90.52
0.58	1.10	0.67	2.32	76.32	2.42	88.91	92.94
0.67	1.23	0.78	3.55	88.91	1.86	103.58	94.80
0.78	1.06	0.91	4.61	103.58	1.37	120.67	96.17
0.91	0.88	1.06	5.49	120.67	1.00	140.58	97.17
1.06	0.69	1.24	6.18	140.58	0.76	163.77	97.93
1.24	0.54	1.44	6.72	163.77	0.64	190.80	98.56
1.44	0.45	1.68	7.17	190.80	0.57	222.28	99.14
1.68	0.44	1.95	7.62	222.28	0.49	258.95	99.62
1.95	0.50	2.28	8.12	258.95	0.29	301.68	99.91
2.28	0.64	2.65	8.76	301.68	0.09	351.46	100.00
2.65	0.84	3.09	9.60	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.12	3.60	10.73	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.46	4.19	12.19	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.87	4.88	14.06	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.33	5.69	16.39	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.82	6.63	19.21	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 5
21 Nov 11 15:51

รูปที่ ค5 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี - 2

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-33, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: BLCP
Sample File: CHULA17
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : water
Ultrasonic : no
Additives : no

Run Number: 30
Record Number: 170

Measured: Mon Nov 21 2011 3:46PM
Analysed: Mon Nov 21 2011 3:46PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 20.7 %
Residual: 1.248 %

Result Statistics

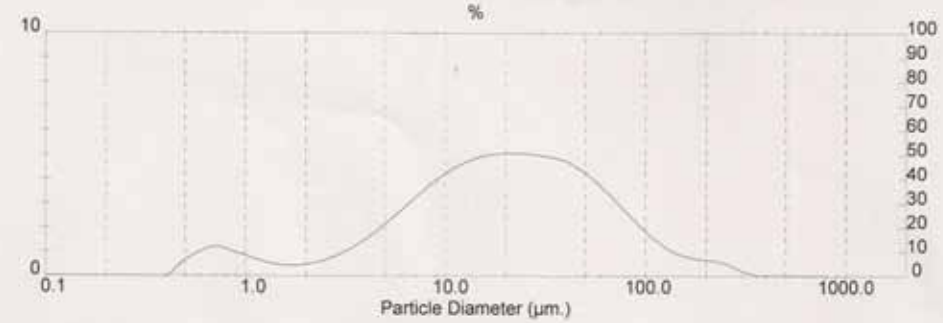
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 33.89 um

Concentration = 0.0226 %Vol
D (v, 0.1) = 3.32 um
D [3, 2] = 6.17 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 19.69 um
Span = 3.796E+00

Specific S.A. = 0.9720 sq. m / g
D (v, 0.9) = 78.05 um
Uniformity = 1.269E+00

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	3.27	7.72	22.29
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	3.74	9.00	26.02
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	4.15	10.48	30.18
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	4.49	12.21	34.67
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	4.75	14.22	39.42
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	4.92	16.57	44.34
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	5.02	19.31	49.35
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	5.06	22.49	54.41
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	5.05	26.20	59.46
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	4.99	30.53	64.45
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	4.90	35.56	69.35
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	4.80	41.43	74.15
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	4.53	48.27	78.68
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	4.14	56.23	82.82
0.42	0.39	0.49	0.39	56.23	3.66	65.51	86.48
0.49	0.80	0.58	1.19	65.51	3.11	76.32	89.59
0.58	1.08	0.67	2.28	76.32	2.54	88.91	92.13
0.67	1.21	0.78	3.49	88.91	1.98	103.58	94.11
0.78	1.04	0.91	4.53	103.58	1.49	120.67	95.59
0.91	0.87	1.06	5.39	120.67	1.11	140.58	96.70
1.06	0.68	1.24	6.08	140.58	0.86	163.77	97.56
1.24	0.53	1.44	6.61	163.77	0.73	190.80	98.29
1.44	0.45	1.68	7.06	190.80	0.66	222.28	98.95
1.68	0.45	1.95	7.51	222.28	0.56	258.95	99.52
1.95	0.51	2.28	8.02	258.95	0.35	301.68	99.87
2.28	0.64	2.65	8.66	301.68	0.13	351.46	100.00
2.65	0.85	3.09	9.51	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.12	3.60	10.63	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.45	4.19	12.08	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.85	4.88	13.93	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	2.30	5.69	16.23	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.78	6.63	19.02	754.23	0.00	878.67	100.00

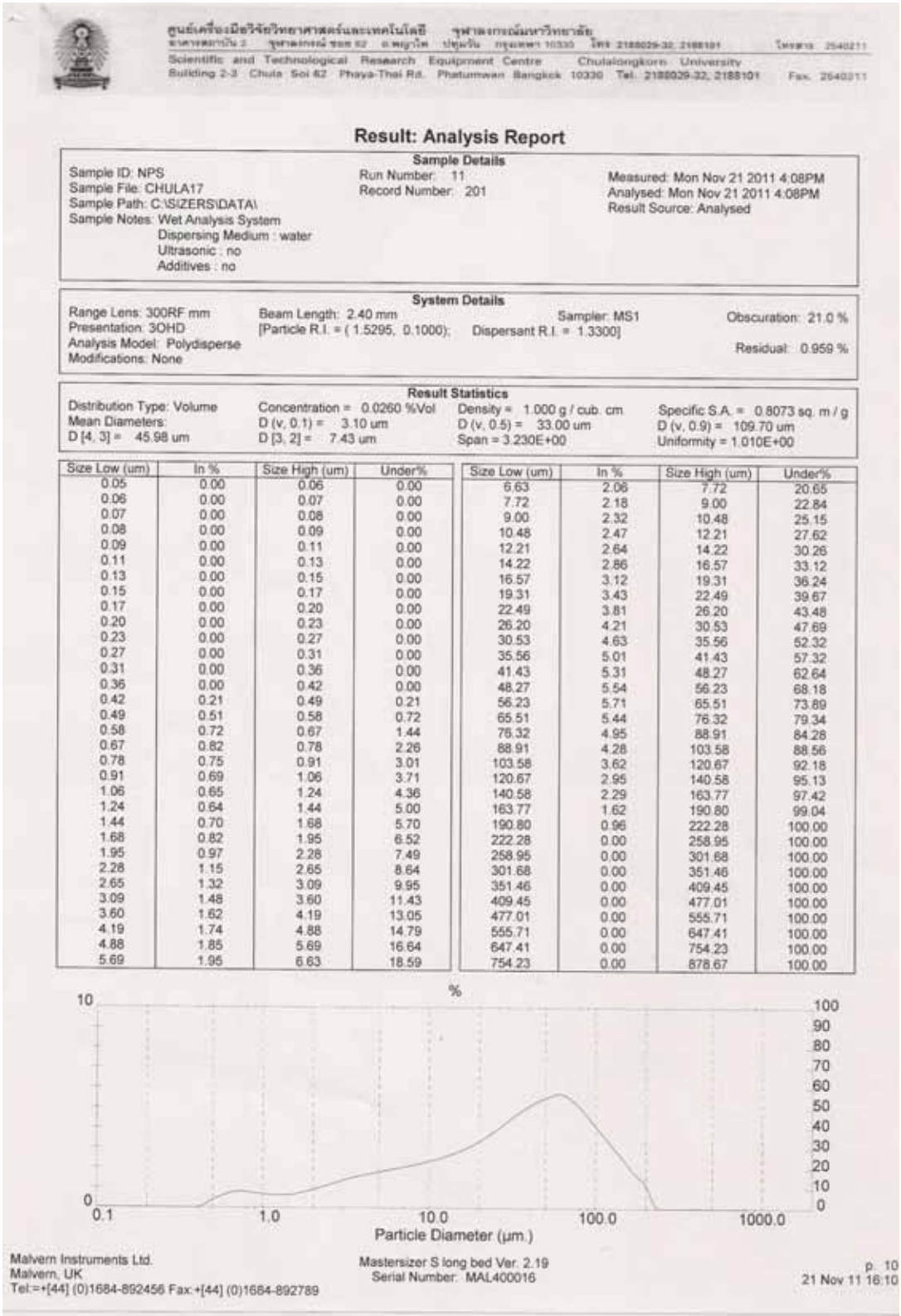


Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 6
21 Nov 11 15:51

รูปที่ ค6 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี – 3



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตึกวิทยาศาสตร์ 2 ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: NPS
Sample File: CHULA17
Sample Path: C:\S\ZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : water
Ultrasonic : no
Additives : no

Run Number: 11
Record Number: 201

Measured: Mon Nov 21 2011 4:08PM
Analysed: Mon Nov 21 2011 4:08PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 21.0 %
Residual: 0.959 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 45.98 um

Concentration = 0.0260 %Vol
D (v, 0.1) = 3.10 um
D [3, 2] = 7.43 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 33.00 um
Span = 3.230E+00

Specific S.A. = 0.8073 sq. m / g
D (v, 0.9) = 109.70 um
Uniformity = 1.010E+00

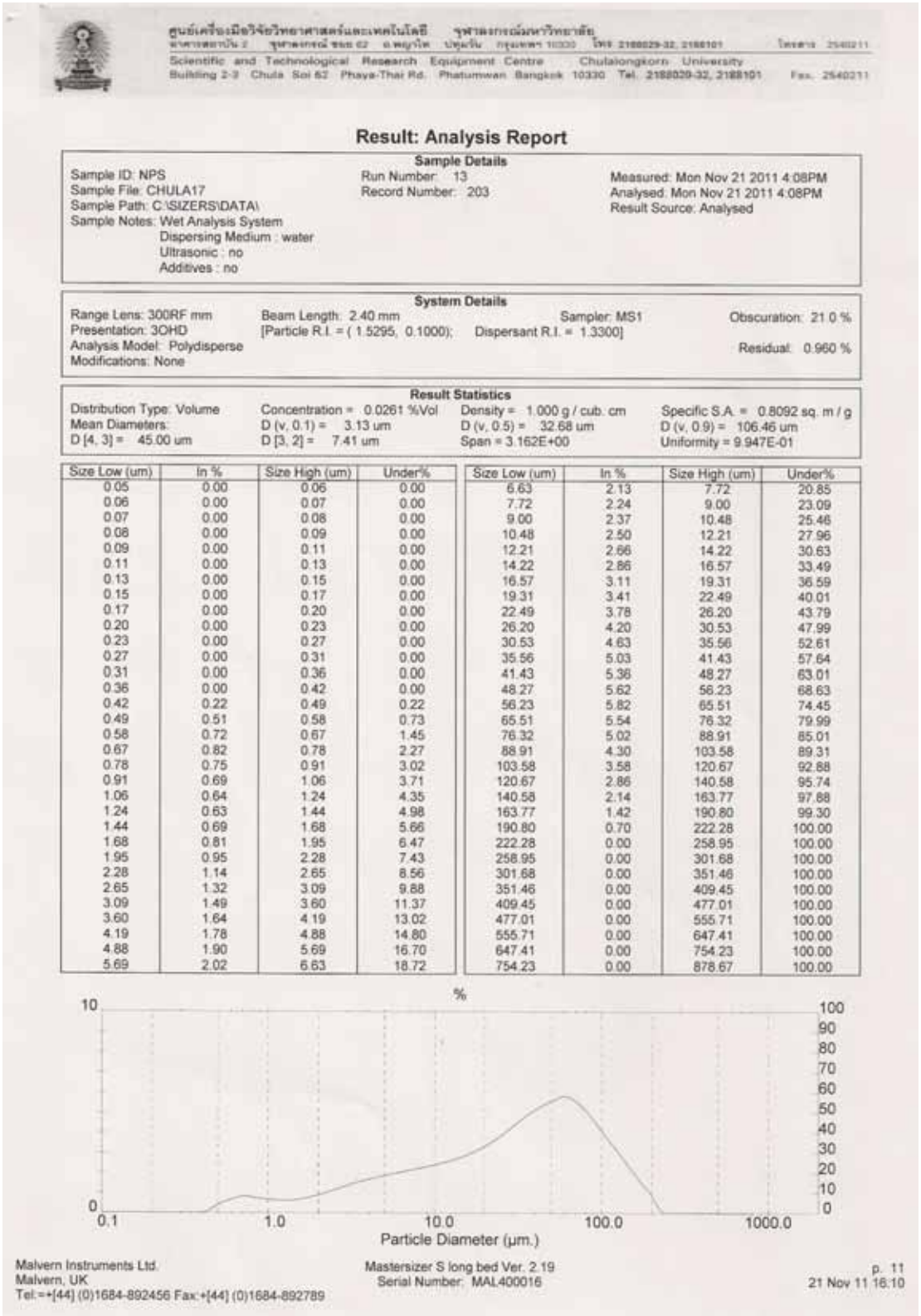
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	2.06	7.72	20.65
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	2.18	9.00	22.84
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	2.32	10.48	25.15
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	2.47	12.21	27.62
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	2.64	14.22	30.26
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	2.86	16.57	33.12
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	3.12	19.31	36.24
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.43	22.49	39.67
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.81	26.20	43.48
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	4.21	30.53	47.69
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	4.63	35.56	52.32
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	5.01	41.43	57.32
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	5.31	48.27	62.64
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	5.54	56.23	68.18
0.42	0.21	0.49	0.21	56.23	5.71	65.51	73.89
0.49	0.51	0.58	0.72	65.51	5.44	76.32	79.34
0.58	0.72	0.67	1.44	76.32	4.95	88.91	84.28
0.67	0.82	0.78	2.26	88.91	4.28	103.58	88.56
0.78	0.75	0.91	3.01	103.58	3.62	120.67	92.18
0.91	0.69	1.06	3.71	120.67	2.95	140.58	95.13
1.06	0.65	1.24	4.36	140.58	2.29	163.77	97.42
1.24	0.64	1.44	5.00	163.77	1.62	190.80	99.04
1.44	0.70	1.68	5.70	190.80	0.96	222.28	100.00
1.68	0.82	1.95	6.52	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.97	2.28	7.49	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.15	2.65	8.64	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.32	3.09	9.95	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.48	3.60	11.43	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.62	4.19	13.05	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.74	4.88	14.79	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	1.85	5.69	16.64	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	1.95	6.63	18.59	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 10
21 Nov 11 16:10

รูปที่ ค7 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส - 1



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: NPS
Sample File: CHULA17
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : water
Ultrasonic : no
Additives : no

Run Number: 13
Record Number: 203

Measured: Mon Nov 21 2011 4:08PM
Analysed: Mon Nov 21 2011 4:08PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 21.0 %
Residual: 0.960 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 45.00 um

Concentration = 0.0261 %Vol
D (v, 0.1) = 3.13 um
D [3, 2] = 7.41 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 32.68 um
Span = 3.162E+00

Specific S.A. = 0.8092 sq. m / g
D (v, 0.9) = 106.46 um
Uniformity = 9.947E-01

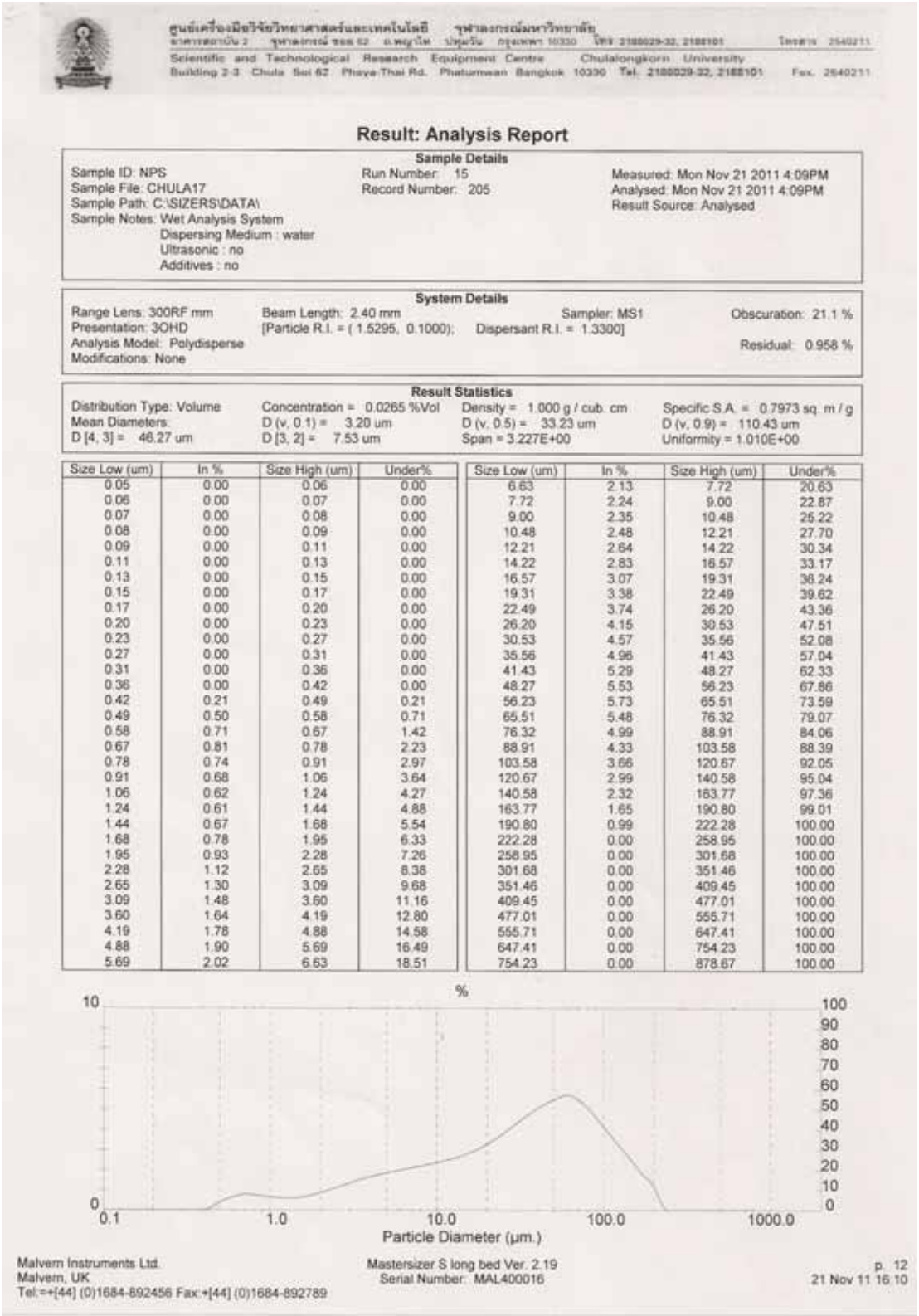
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	2.13	7.72	20.85
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	2.24	9.00	23.09
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	2.37	10.48	25.46
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	2.50	12.21	27.96
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	2.66	14.22	30.63
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	2.86	16.57	33.49
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	3.11	19.31	36.59
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.41	22.49	40.01
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.78	26.20	43.79
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	4.20	30.53	47.99
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	4.63	35.56	52.61
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	5.03	41.43	57.64
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	5.36	48.27	63.01
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	5.62	56.23	68.63
0.42	0.22	0.49	0.22	56.23	5.82	65.51	74.45
0.49	0.51	0.58	0.73	65.51	5.54	76.32	79.99
0.58	0.72	0.67	1.45	76.32	5.02	88.91	85.01
0.67	0.82	0.78	2.27	88.91	4.30	103.58	89.31
0.78	0.75	0.91	3.02	103.58	3.58	120.67	92.88
0.91	0.69	1.06	3.71	120.67	2.86	140.58	95.74
1.06	0.64	1.24	4.35	140.58	2.14	163.77	97.88
1.24	0.63	1.44	4.98	163.77	1.42	190.80	99.30
1.44	0.69	1.68	5.66	190.80	0.70	222.28	100.00
1.68	0.81	1.95	6.47	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.95	2.28	7.43	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.14	2.65	8.56	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.32	3.09	9.88	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.49	3.60	11.37	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.64	4.19	13.02	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.78	4.88	14.80	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	1.90	5.69	16.70	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.02	6.63	18.72	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 11
21 Nov 11 16:10

รูปที่ ค8 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส - 2



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: NPS
Sample File: CHULA17
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : water
Ultrasonic : no
Additives : no

Run Number: 15
Record Number: 205

Measured: Mon Nov 21 2011 4:09PM
Analysed: Mon Nov 21 2011 4:09PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 21.1 %
Residual: 0.958 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 46.27 um

Concentration = 0.0265 %Vol
D (v, 0.1) = 3.20 um
D [3, 2] = 7.53 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 33.23 um
Span = 3.227E+00

Specific S.A. = 0.7973 sq. m / g
D (v, 0.9) = 110.43 um
Uniformity = 1.010E+00

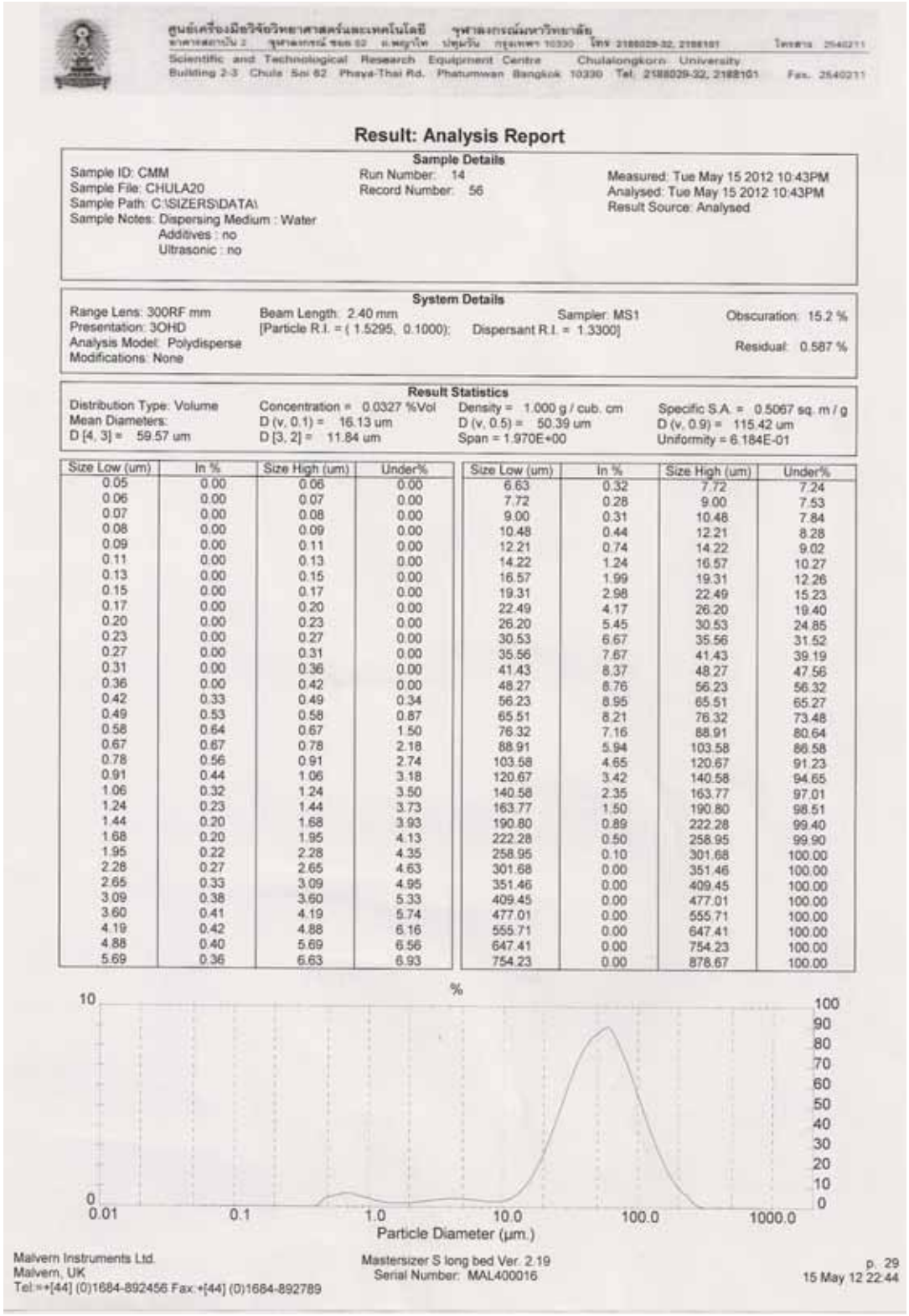
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	2.13	7.72	20.63
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	2.24	9.00	22.87
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	2.35	10.48	25.22
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	2.48	12.21	27.70
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	2.64	14.22	30.34
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	2.83	16.57	33.17
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	3.07	19.31	36.24
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	3.38	22.49	39.62
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	3.74	26.20	43.36
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	4.15	30.53	47.51
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	4.57	35.56	52.08
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	4.96	41.43	57.04
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	5.29	48.27	62.33
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	5.53	56.23	67.86
0.42	0.21	0.49	0.21	56.23	5.73	65.51	73.59
0.49	0.50	0.58	0.71	65.51	5.48	76.32	79.07
0.58	0.71	0.67	1.42	76.32	4.99	88.91	84.06
0.67	0.81	0.78	2.23	88.91	4.33	103.58	88.39
0.78	0.74	0.91	2.97	103.58	3.66	120.67	92.05
0.91	0.68	1.06	3.64	120.67	2.99	140.58	95.04
1.06	0.62	1.24	4.27	140.58	2.32	163.77	97.36
1.24	0.61	1.44	4.88	163.77	1.65	190.80	99.01
1.44	0.67	1.68	5.54	190.80	0.99	222.28	100.00
1.68	0.78	1.95	6.33	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.93	2.28	7.26	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	1.12	2.65	8.38	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	1.30	3.09	9.68	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	1.48	3.60	11.16	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	1.64	4.19	12.80	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	1.78	4.88	14.58	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	1.90	5.69	16.49	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	2.02	6.63	18.51	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 12
21 Nov 11 16:10

รูปที่ ค9 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าเอ็นพีเอส – 3



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบันวิจัย 2 ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: CMM
Sample File: CHULA20
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Dispersing Medium : Water
Additives : no
Ultrasonic : no

Run Number: 14
Record Number: 56

Measured: Tue May 15 2012 10:43PM
Analysed: Tue May 15 2012 10:43PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 15.2 %
Residual: 0.587 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 59.57 um

Concentration = 0.0327 %Vol
D (v, 0.1) = 16.13 um
D [3, 2] = 11.84 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 50.39 um
Span = 1.970E+00

Specific S.A. = 0.5067 sq. m / g
D (v, 0.9) = 115.42 um
Uniformity = 6.184E-01

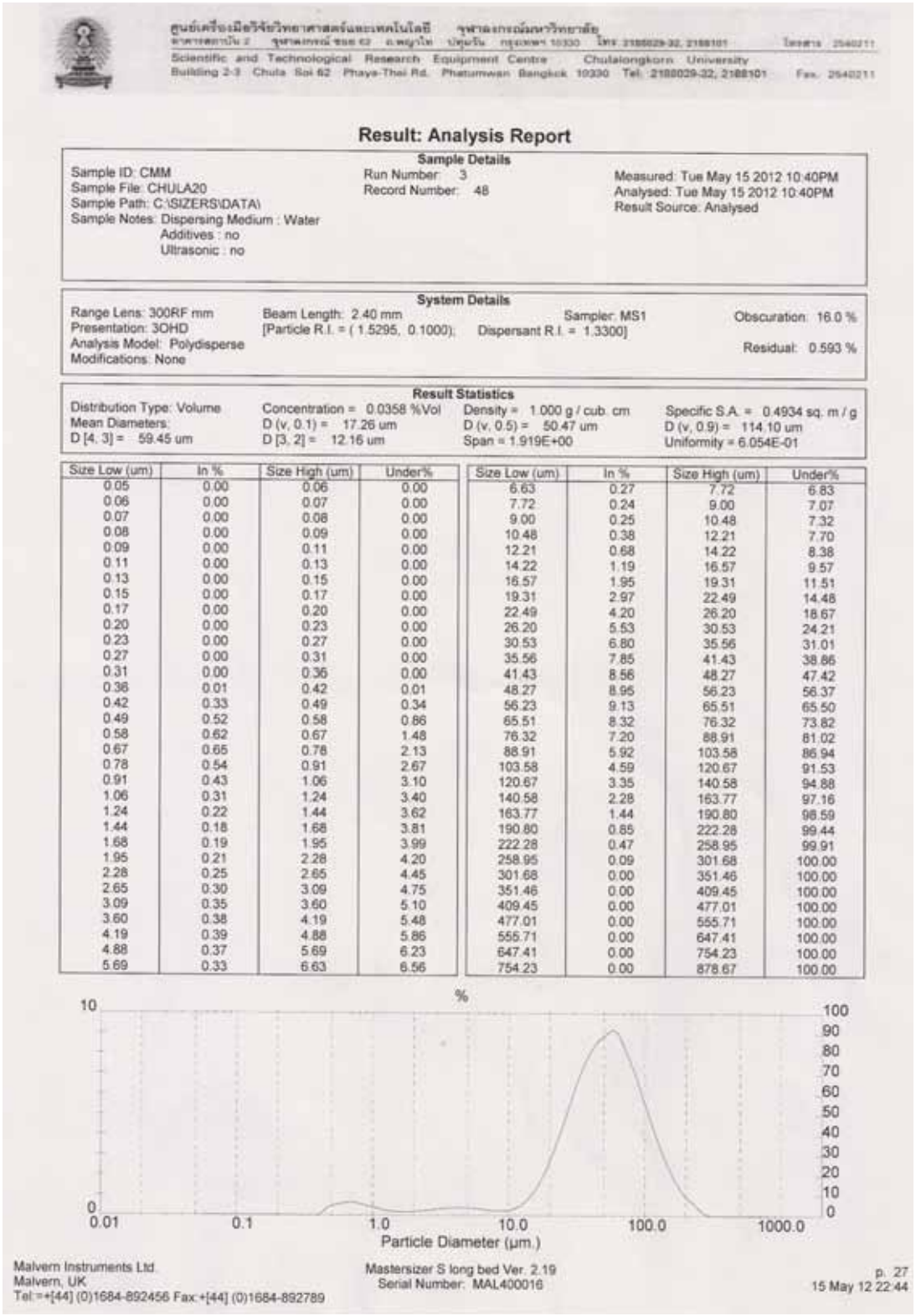
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	0.32	7.72	7.24
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.28	9.00	7.53
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.31	10.48	7.84
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.44	12.21	8.28
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.74	14.22	9.02
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	1.24	16.57	10.27
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	1.99	19.31	12.26
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	2.98	22.49	15.23
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	4.17	26.20	19.40
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	5.45	30.53	24.85
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	6.67	35.56	31.52
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	7.67	41.43	39.19
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	8.37	48.27	47.56
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	8.76	56.23	56.32
0.42	0.33	0.49	0.34	56.23	8.95	65.51	65.27
0.49	0.53	0.58	0.87	65.51	8.21	76.32	73.48
0.58	0.64	0.67	1.50	76.32	7.16	88.91	80.64
0.67	0.67	0.78	2.18	88.91	5.94	103.58	86.58
0.78	0.56	0.91	2.74	103.58	4.65	120.67	91.23
0.91	0.44	1.06	3.18	120.67	3.42	140.58	94.65
1.06	0.32	1.24	3.50	140.58	2.35	163.77	97.01
1.24	0.23	1.44	3.73	163.77	1.50	190.80	98.51
1.44	0.20	1.68	3.93	190.80	0.89	222.28	99.40
1.68	0.20	1.95	4.13	222.28	0.50	258.95	99.90
1.95	0.22	2.28	4.35	258.95	0.10	301.68	100.00
2.28	0.27	2.65	4.63	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.33	3.09	4.95	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.38	3.60	5.33	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.41	4.19	5.74	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.42	4.88	6.16	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.40	5.69	6.56	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.36	6.63	6.93	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:++[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 29
15 May 12 22:44

รูปที่ ค10 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ -1



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถานีที่ 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: CMM
Sample File: CHULA20
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Dispersing Medium : Water
Additives : no
Ultrasonic : no

Run Number: 3
Record Number: 48

Measured: Tue May 15 2012 10:40PM
Analysed: Tue May 15 2012 10:40PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 16.0 %
Residual: 0.593 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 59.45 um

Concentration = 0.0358 %Vol
D (v, 0.1) = 17.26 um
D [3, 2] = 12.16 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 50.47 um
Span = 1.919E+00

Specific S.A. = 0.4934 sq. m / g
D (v, 0.9) = 114.10 um
Uniformity = 6.054E-01

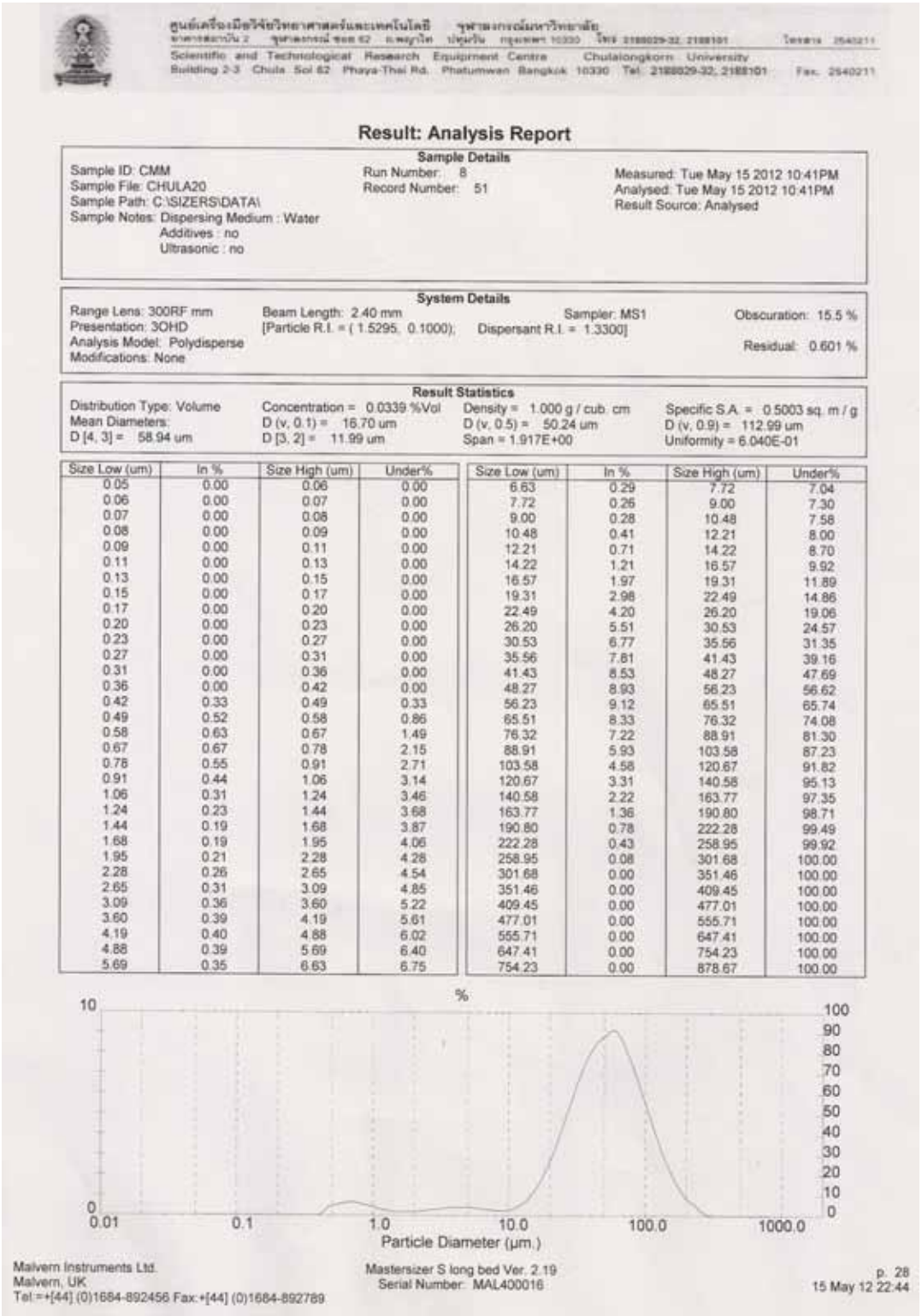
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	0.27	7.72	6.83
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.24	9.00	7.07
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.25	10.48	7.32
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.38	12.21	7.70
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.68	14.22	8.38
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	1.19	16.57	9.57
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	1.95	19.31	11.51
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	2.97	22.49	14.48
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	4.20	26.20	18.67
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	5.53	30.53	24.21
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	6.80	35.56	31.01
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	7.85	41.43	38.86
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	8.56	48.27	47.42
0.36	0.01	0.42	0.01	48.27	8.95	56.23	56.37
0.42	0.33	0.49	0.34	56.23	9.13	65.51	65.50
0.49	0.52	0.58	0.86	65.51	8.32	76.32	73.82
0.58	0.62	0.67	1.48	76.32	7.20	88.91	81.02
0.67	0.65	0.78	2.13	88.91	5.92	103.58	86.94
0.78	0.54	0.91	2.67	103.58	4.59	120.67	91.53
0.91	0.43	1.06	3.10	120.67	3.35	140.58	94.88
1.06	0.31	1.24	3.40	140.58	2.28	163.77	97.16
1.24	0.22	1.44	3.62	163.77	1.44	190.80	98.59
1.44	0.18	1.68	3.81	190.80	0.85	222.28	99.44
1.68	0.19	1.95	3.99	222.28	0.47	258.95	99.91
1.95	0.21	2.28	4.20	258.95	0.09	301.68	100.00
2.28	0.25	2.65	4.45	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.30	3.09	4.75	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.35	3.60	5.10	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.38	4.19	5.48	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.39	4.88	5.86	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.37	5.69	6.23	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.33	6.63	6.56	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 27
15 May 12 22:44

รูปที่ ค11 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ -2



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel: 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: CMM
Sample File: CHULA20
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Dispersing Medium : Water
Additives : no
Ultrasonic : no

Run Number: 8
Record Number: 51

Measured: Tue May 15 2012 10:41PM
Analysed: Tue May 15 2012 10:41PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 15.5 %
Residual: 0.601 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 58.94 um

Concentration = 0.0339 %Vol
D (v, 0.1) = 16.70 um
D [3, 2] = 11.99 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 50.24 um
Span = 1.917E+00

Specific S.A. = 0.5003 sq. m / g
D (v, 0.9) = 112.99 um
Uniformity = 6.040E-01

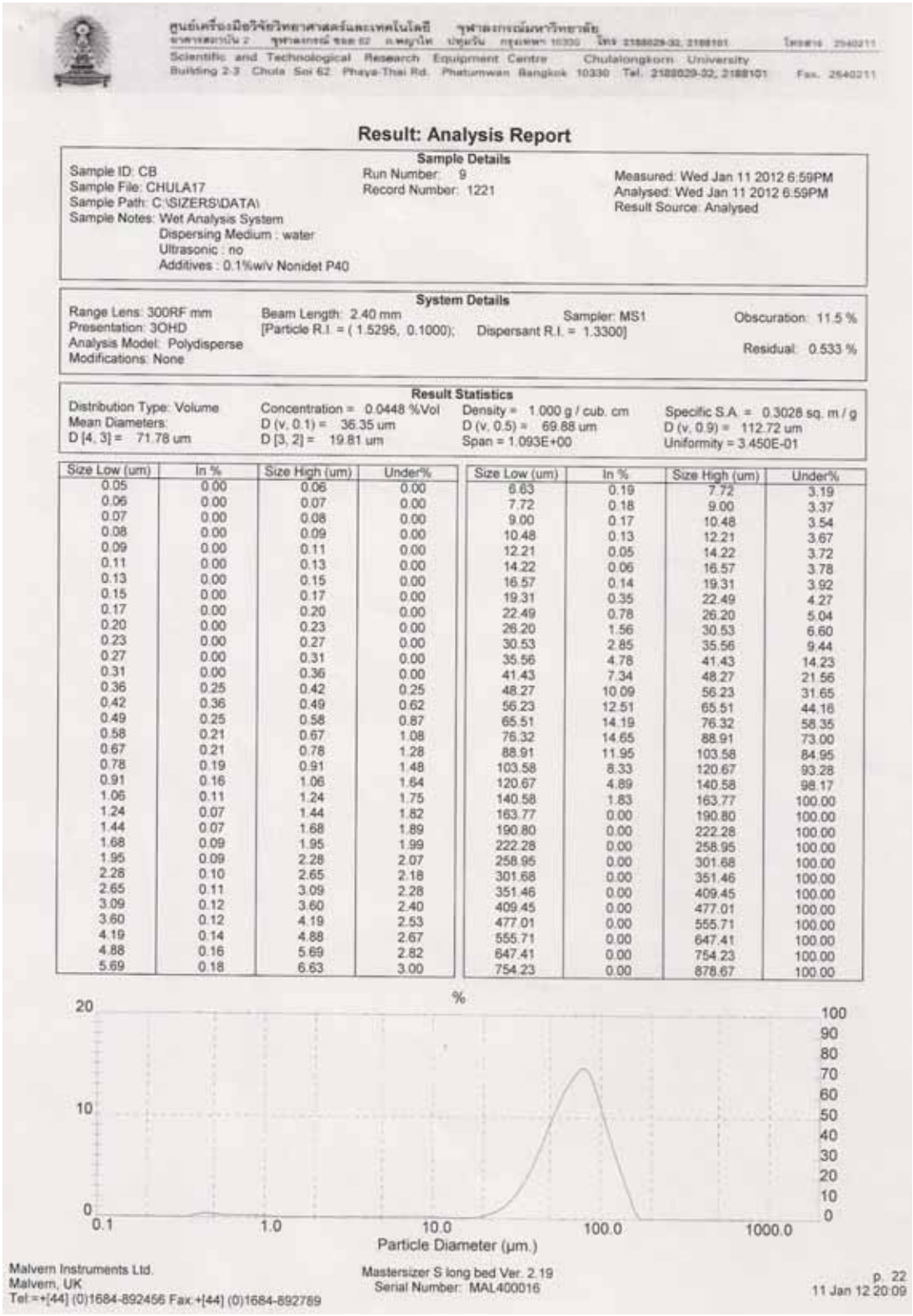
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	0.29	7.72	7.04
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.26	9.00	7.30
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.28	10.48	7.58
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.41	12.21	8.00
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.71	14.22	8.70
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	1.21	16.57	9.92
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	1.97	19.31	11.89
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	2.98	22.49	14.86
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	4.20	26.20	19.06
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	5.51	30.53	24.57
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	6.77	35.56	31.35
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	7.81	41.43	39.16
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	8.53	48.27	47.69
0.36	0.00	0.42	0.00	48.27	8.93	56.23	56.62
0.42	0.33	0.49	0.33	56.23	9.12	65.51	65.74
0.49	0.52	0.58	0.86	65.51	8.33	76.32	74.08
0.58	0.63	0.67	1.49	76.32	7.22	88.91	81.30
0.67	0.67	0.78	2.15	88.91	5.93	103.58	87.23
0.78	0.55	0.91	2.71	103.58	4.58	120.67	91.82
0.91	0.44	1.06	3.14	120.67	3.31	140.58	95.13
1.06	0.31	1.24	3.46	140.58	2.22	163.77	97.35
1.24	0.23	1.44	3.68	163.77	1.36	190.80	98.71
1.44	0.19	1.68	3.87	190.80	0.78	222.28	99.49
1.68	0.19	1.95	4.06	222.28	0.43	258.95	99.92
1.95	0.21	2.28	4.28	258.95	0.08	301.68	100.00
2.28	0.26	2.65	4.54	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.31	3.09	4.85	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.36	3.60	5.22	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.39	4.19	5.61	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.40	4.88	6.02	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.39	5.69	6.40	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.35	6.63	6.75	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 28
15 May 12 22:44

รูปที่ ค12 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ -3



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: CB
Sample File: CHULA17
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : water
Ultrasonic : no
Additives : 0.1%w/v Nonidet P40

Run Number: 9
Record Number: 1221

Measured: Wed Jan 11 2012 6:59PM
Analysed: Wed Jan 11 2012 6:59PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 11.5 %
Residual: 0.533 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 71.78 um

Concentration = 0.0448 %Vol
D (v, 0.1) = 36.35 um
D [3, 2] = 19.81 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 69.88 um
Span = 1.093E+00

Specific S.A. = 0.3028 sq. m / g
D (v, 0.9) = 112.72 um
Uniformity = 3.450E-01

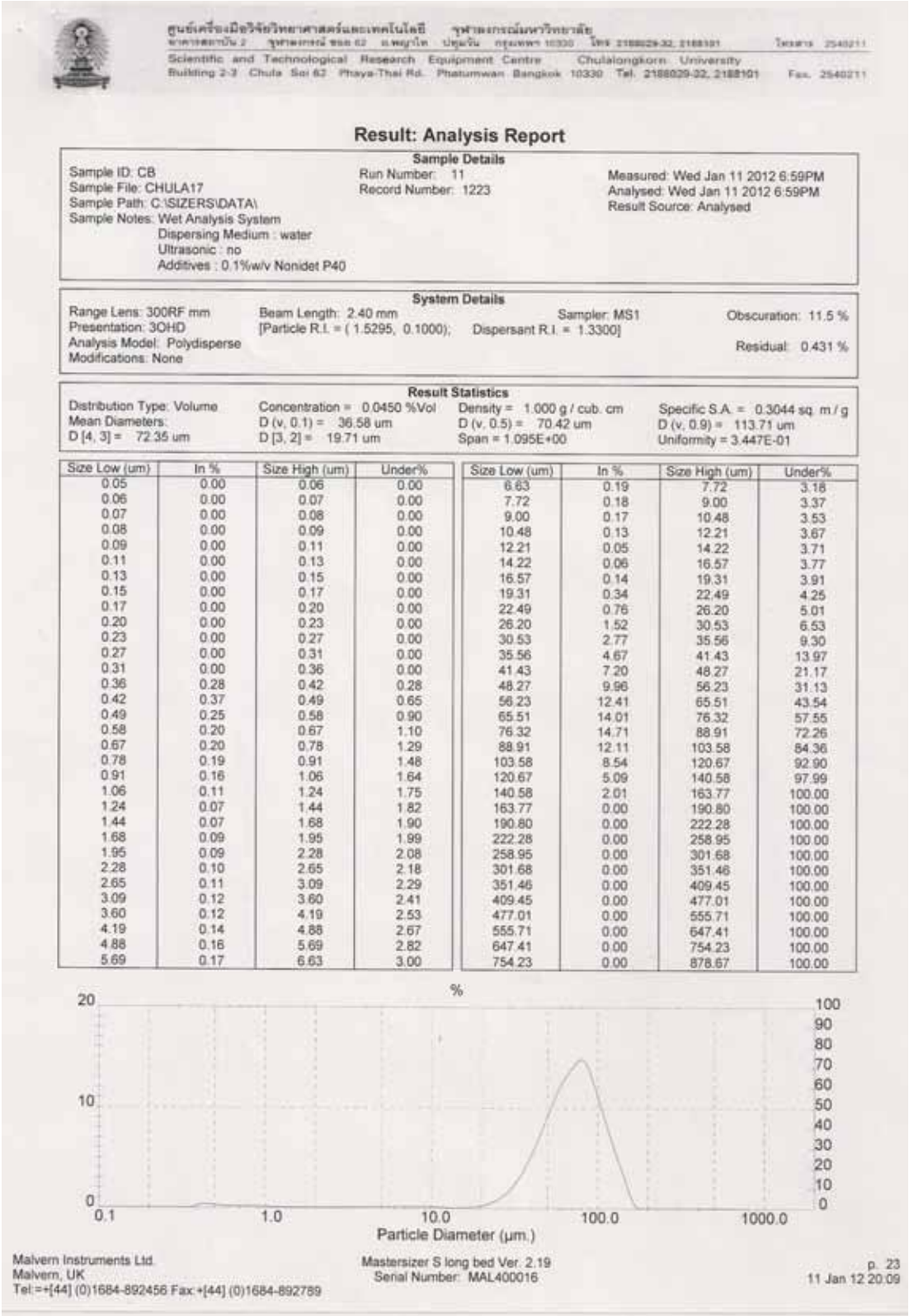
Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	0.19	7.72	3.19
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.18	9.00	3.37
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.17	10.48	3.54
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.13	12.21	3.67
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.05	14.22	3.72
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.06	16.57	3.78
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.14	19.31	3.92
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	0.35	22.49	4.27
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	0.78	26.20	5.04
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	1.56	30.53	6.60
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.85	35.56	9.44
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	4.78	41.43	14.23
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	7.34	48.27	21.56
0.36	0.25	0.42	0.25	48.27	10.09	56.23	31.65
0.42	0.36	0.49	0.62	56.23	12.51	65.51	44.16
0.49	0.25	0.58	0.87	65.51	14.19	76.32	58.35
0.58	0.21	0.67	1.08	76.32	14.65	88.91	73.00
0.67	0.21	0.78	1.28	88.91	11.95	103.58	84.95
0.78	0.19	0.91	1.48	103.58	8.33	120.67	93.28
0.91	0.16	1.06	1.64	120.67	4.89	140.58	98.17
1.06	0.11	1.24	1.75	140.58	1.83	163.77	100.00
1.24	0.07	1.44	1.82	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.07	1.68	1.89	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.09	1.95	1.99	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.09	2.28	2.07	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.10	2.65	2.18	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.11	3.09	2.28	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.12	3.60	2.40	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.12	4.19	2.53	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.14	4.88	2.67	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.16	5.69	2.82	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.18	6.63	3.00	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel: +[44] (0)1684-892456 Fax: +[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 22
11 Jan 12 20:09

รูปที่ ค13 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี1



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: CB
Sample File: CHULA17
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : water
Ultrasonic : no
Additives : 0.1%w/v Nonidet P40

Run Number: 11
Record Number: 1223

Measured: Wed Jan 11 2012 6:59PM
Analysed: Wed Jan 11 2012 6:59PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 11.5 %
Residual: 0.431 %

Result Statistics

Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 72.35 um

Concentration = 0.0450 %Vol
D (v, 0.1) = 36.58 um
D [3, 2] = 19.71 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 70.42 um
Span = 1.095E+00

Specific S.A. = 0.3044 sq. m / g
D (v, 0.9) = 113.71 um
Uniformity = 3.447E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	0.19	7.72	3.18
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.18	9.00	3.37
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.17	10.48	3.53
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.13	12.21	3.67
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.05	14.22	3.71
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.06	16.57	3.77
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.14	19.31	3.91
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	0.34	22.49	4.25
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	0.76	26.20	5.01
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	1.52	30.53	6.53
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.77	35.56	9.30
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	4.67	41.43	13.97
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	7.20	48.27	21.17
0.36	0.28	0.42	0.28	48.27	9.96	56.23	31.13
0.42	0.37	0.49	0.65	56.23	12.41	65.51	43.54
0.49	0.25	0.58	0.90	65.51	14.01	76.32	57.55
0.58	0.20	0.67	1.10	76.32	14.71	88.91	72.26
0.67	0.20	0.78	1.29	88.91	12.11	103.58	84.36
0.78	0.19	0.91	1.48	103.58	8.54	120.67	92.90
0.91	0.16	1.06	1.64	120.67	5.09	140.58	97.99
1.06	0.11	1.24	1.75	140.58	2.01	163.77	100.00
1.24	0.07	1.44	1.82	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.07	1.68	1.90	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.09	1.95	1.99	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.09	2.28	2.08	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.10	2.65	2.18	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.11	3.09	2.29	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.12	3.60	2.41	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.12	4.19	2.53	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.14	4.88	2.67	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.16	5.69	2.82	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.17	6.63	3.00	754.23	0.00	878.67	100.00

Malvern Instruments Ltd.
Malvern, UK
Tel:=+[44] (0)1684-892456 Fax:+[44] (0)1684-892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number: MAL400016

p. 23
11 Jan 12 20:09

รูปที่ ค14 กราฟแสดงผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี2

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถานีที่ 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details

Sample ID: CB
Sample File: CHULA17
Sample Path: C:\SIZERS\DATA\
Sample Notes: Wet Analysis System
Dispersing Medium : water
Ultrasonic : no
Additives : 0.1%w/v Nonidet P40

Run Number: 13
Record Number: 1225

Measured: Wed Jan 11 2012 6:59PM
Analysed: Wed Jan 11 2012 6:59PM
Result Source: Analysed

System Details

Range Lens: 300RF mm
Presentation: 3OHD
Analysis Model: Polydisperse
Modifications: None

Beam Length: 2.40 mm
[Particle R.I. = (1.5295, 0.1000); Dispersant R.I. = 1.3300]

Sampler: MS1

Obscuration: 11.4 %
Residual: 0.509 %

Result Statistics

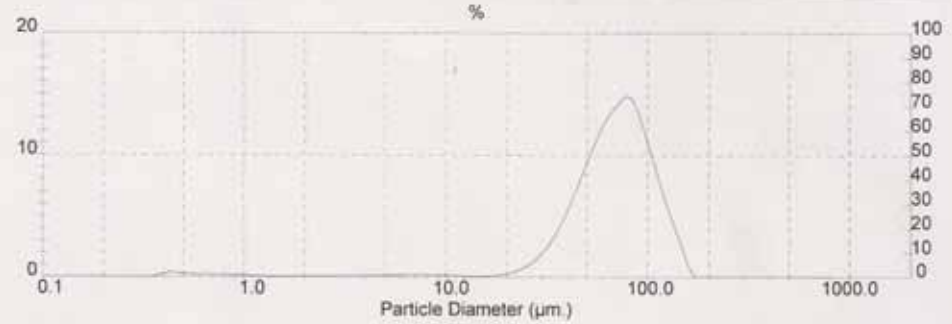
Distribution Type: Volume
Mean Diameters:
D [4, 3] = 71.82 um

Concentration = 0.0441 %Vol
D (v, 0.1) = 36.35 um
D [3, 2] = 19.55 um

Density = 1.000 g / cub. cm
D (v, 0.5) = 69.92 um
Span = 1.094E+00

Specific S.A. = 0.3069 sq. m / g
D (v, 0.9) = 112.82 um
Uniformity = 3.455E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.05	0.00	0.06	0.00	6.63	0.19	7.72	3.23
0.06	0.00	0.07	0.00	7.72	0.18	9.00	3.42
0.07	0.00	0.08	0.00	9.00	0.17	10.48	3.58
0.08	0.00	0.09	0.00	10.48	0.13	12.21	3.72
0.09	0.00	0.11	0.00	12.21	0.05	14.22	3.76
0.11	0.00	0.13	0.00	14.22	0.06	16.57	3.82
0.13	0.00	0.15	0.00	16.57	0.14	19.31	3.97
0.15	0.00	0.17	0.00	19.31	0.35	22.49	4.31
0.17	0.00	0.20	0.00	22.49	0.77	26.20	5.08
0.20	0.00	0.23	0.00	26.20	1.54	30.53	6.62
0.23	0.00	0.27	0.00	30.53	2.82	35.56	9.45
0.27	0.00	0.31	0.00	35.56	4.76	41.43	14.20
0.31	0.00	0.36	0.00	41.43	7.32	48.27	21.53
0.36	0.27	0.42	0.27	48.27	10.10	56.23	31.63
0.42	0.38	0.49	0.65	56.23	12.53	65.51	44.16
0.49	0.25	0.58	0.90	65.51	14.07	76.32	58.23
0.58	0.20	0.67	1.10	76.32	14.68	88.91	72.91
0.67	0.20	0.78	1.30	88.91	11.98	103.58	84.89
0.78	0.19	0.91	1.50	103.58	8.35	120.67	93.24
0.91	0.17	1.06	1.66	120.67	4.91	140.58	98.15
1.06	0.11	1.24	1.77	140.58	1.85	163.77	100.00
1.24	0.07	1.44	1.84	163.77	0.00	190.80	100.00
1.44	0.08	1.68	1.92	190.80	0.00	222.28	100.00
1.68	0.10	1.95	2.01	222.28	0.00	258.95	100.00
1.95	0.09	2.28	2.10	258.95	0.00	301.68	100.00
2.28	0.11	2.65	2.21	301.68	0.00	351.46	100.00
2.65	0.11	3.09	2.32	351.46	0.00	409.45	100.00
3.09	0.12	3.60	2.44	409.45	0.00	477.01	100.00
3.60	0.13	4.19	2.57	477.01	0.00	555.71	100.00
4.19	0.14	4.88	2.71	555.71	0.00	647.41	100.00
4.88	0.16	5.69	2.87	647.41	0.00	754.23	100.00
5.69	0.18	6.63	3.05	754.23	0.00	878.67	100.00



รูปที่ ค15 ผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี3

ตารางที่ ค1 ผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคเฉลี่ยของเถ้าลอย

Fly ash Sources	D_{10} (μm)	D_{25} (μm)	D_{50} (μm)	D_{75} (μm)	D_{90} (μm)
MaeMoh -1	2.55	5.69	24.19	48.85	133.40
MaeMoh -2	2.56	5.74	24.65	50.27	138.89
MaeMoh -3	2.39	5.53	23.03	47.17	127.90
MaeMoh average	2.50	5.65	23.96	48.76	133.40
BLCP -1	3.56	6.27	19.70	34.02	78.87
BLCP -2	3.28	6.09	19.21	32.44	74.15
BLCP -3	3.32	6.17	19.69	33.89	78.05
BLCP average	3.39	6.18	19.53	33.45	77.02
NPS -1	3.10	7.43	33.00	45.98	109.70
NPS -2	3.13	7.41	32.68	45.00	106.46
NPS -3	3.20	7.53	33.23	46.27	110.43
NPS average	3.14	7.46	32.97	45.75	108.86

ตารางที่ ค2 ผลการวัดการกระจายขนาดอนุภาคเฉลี่ยของเซโนสเฟียร์

Cenospheres	D_{10} (μm)	D_{25} (μm)	D_{50} (μm)	D_{75} (μm)	D_{90} (μm)
MaeMoh -1	16.13	11.84	50.39	59.57	115.42
MaeMoh -2	17.26	12.16	50.47	59.45	114.10
MaeMoh -3	16.70	11.99	50.24	58.94	112.99
MaeMoh average	16.70	12.00	50.37	59.32	114.17
BLCP -1	36.35	19.81	69.88	71.78	112.72
BLCP -2	36.58	19.71	70.42	72.35	113.71
BLCP -3	36.35	19.55	69.92	71.82	112.82
BLCP average	36.43	19.69	70.07	71.98	113.08

ตารางที่ ค3 ผลการวัดค่าความหนาแน่นของเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

MTEC
a member of NSTDA

MTEC No. 0926/55

Report of Samples Analysis

Issued Date	:	22 March 2012
Customer	:	MS.Manasawee Chuearuen Mining and Petroleum Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 254 Phayathai Road, Pathumwan, Bangkok. 10330 Tel : 08 6999 3461
Tested by	:	Powder Characterization Laboratory, Materials Characterization Research Unit, MTEC
Date received	:	19 March 2012
Date analyzed	:	21 March 2012
Sample	:	Fly ash 2 samples.
Identification No.	:	1. MM 2. BLCP
Instrument	:	Ultrapycnometer 1000, Quantachrome.
Test method	:	Gas displacement technique.
Analytical conditions	:	Gas : Helium gas (99.999 %) Cell : Micro cell Number of experiments : 5 Temperature : 22.6 °C
Sample preparation	:	1 gram of sample in micro cell was analyzed by Ultrapycnometer 1000.

Results :

The results of apparent density of Fly ash samples are shown in table 1 – 2.

Table 1 The results of MM sample from Ultrapycnometer 1000.

Mass,(g)	No. of experiments	Volume,(cm^3)	Apparent Density, (g/cm^3)	SD
1.0763	1	0.4357	2.4706	0.0202
	2	0.4338	2.4809	
	3	0.4424	2.4329	
	4	0.4353	2.4727	
	5	0.4317	2.4932	
	Average	**0.4358**	**2.4699**	

MTEC
a member of NSTDA

ตารางที่ ค4 ผลการวัดค่าความหนาแน่นของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี

Table 2 The results of BLCP sample from Ultrapycnometer 1000.

Mass,(g)	No. of experiments	Volume,(cm^3)	Apparent Density, (g/cm^3)	SD
1.0748	1	0.4252	2.5277	0.0308
	2	0.4344	2.4744	
	3	0.4219	2.5473	
	4	0.4228	2.5419	
	5	0.4190	2.5649	
	Average	**0.4247**	**2.5308**	

Interpretation/Opinion : None

Work performed and approved by :

A. Siya.

(Mr.Arintarached Sirinantawittaya)
Deputy of Laboratory Supervisor

Remark

1. MTEC does not allow any alteration or modification of this report, or any part of this report, without prior formal written permission from MTEC.
2. MTEC will not accept liability for any damage whatsoever, resulting directly or indirectly, from using data, results, conclusions or recommendations in this report for the purpose of designing, manufacturing or for other purposes.
3. Experimental results are only valid for the specimens tested.

MTEC
a member of NSTDA

ตารางที่ ค5 ผลการวัดค่าความหนาแน่นของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ

MTEC
a member of NSTDA

MTEC No. 0814/55

Report of Samples Analysis

Issued Date	:	6 March 2012
Customer	:	Universal Polybag Co., Ltd. Mining and Petroleum Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 254 Phayathai Road, Pathumwan, Bangkok. 10330 Tel : 08 6999 3461
Tested by	:	Powder Characterization Laboratory, Materials Characterization Research Unit, MTEC
Date received	:	5 March 2012
Date analyzed	:	5 March 2012
Sample	:	Fly ash 2 samples.
Identification No.	:	1. CMM 2. CBLCP
Instrument	:	Ultrapycnometer 1000, Quantachrome.
Test method	:	Gas displacement technique.
Analytical conditions	:	Gas : Helium gas (99.999 %) Cell : Micro cell Number of experiments : 5 Temperature : 22.6 °C
Sample preparation	:	1 gram of sample in micro cell was analyzed by Ultrapycnometer 1000.

Results :

The results of apparent density of Pellet plastic samples are shown in table 1 – 2.

Table 1 The results of CMM sample from Ultrapycnometer 1000.

Mass,(g)	No. of experiments	Volume,(cm^3)	Apparent Density, (g/cm^3)	SD
1.0843	1	1.4434	0.7512	0.0015
	2	1.4425	0.7517	
	3	1.4429	0.7515	
	4	1.4399	0.7531	
	5	1.4401	0.7529	
	Average	**1.4418**	**0.7521**	

MTEC
a member of NSTDA

ตารางที่ ค6 ผลการวัดค่าความหนาแน่นของเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี

Table 2 The results of CBLCP sample from Ultrapycnometer 1000.

Mass,(g)	No. of experiments	Volume,(cm^3)	Apparent Density, (g/cm^3)	SD
1.0724	1	1.2109	0.8856	0.0022
	2	1.2094	0.8867	
	3	1.2068	0.8886	
	4	1.2055	0.8896	
	5	1.2051	0.8899	
	Average	**1.2075**	**0.8881**	

Interpretation/Opinion : None

Work performed and approved by :

(Mr.Arintarached Sirinantawittaya)
Deputy of Laboratory Supervisor

Remark

1. MTEC does not allow any alteration or modification of this report, or any part of this report, without prior formal written permission from MTEC.
2. MTEC will not accept liability for any damage whatsoever, resulting directly or indirectly, from using data, results, conclusions or recommendations in this report for the purpose of designing, manufacturing or for other purposes.
3. Experimental results are only valid for the specimens tested.

MTEC
a member of NSTDA

ตารางที่ ค7 ผลการทดลองหาปริมาณเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยแม่เมาะ ด้วยวิธี sink–float method

การทดลอง	เถ้าลอย (กรัม)	น้ำกลั่น (มล.)	อนุภาคที่ลอย (กรัม)	Yield (% โดยน้ำหนัก)
MM - 1	50	500	0.4	0.80
MM - 2	50	500	0.5	1.00
MM - 3	50	500	0.6	1.20
MM - 4	50	500	0.6	1.20
MM - 5	50	500	0.6	1.20
MM - 6	50	500	0.6	1.20
MM - 7	50	500	0.6	1.10
MM - 8	50	500	0.6	1.20
MM - 9	50	500	0.4	0.70
MM - 10	50	500	0.4	0.70
MM - 11	50	500	0.5	1.00
MM - 12	50	500	0.6	1.10
MM - 13	50	500	0.6	1.20
MM - 10	50	500	0.6	1.20
MM - 14	50	500	0.5	0.90
MM - 15	50	500	0.6	1.10
MM - 16	50	500	0.6	1.10
MM - 17	50	500	0.7	1.30
			% Cenosphere Yield	= 1.07

ตารางที่ ค8 ผลการทดลองหาปริมาณเซโนสเฟียร์ในเถ้าลอยบีแอลซีพี ด้วยวิธี sink–float method

การทดลอง	เถ้าลอย (กรัม)	น้ำกลั่น (มล.)	อนุภาคที่ลอย (กรัม)	Yield (% โดยน้ำหนัก)
BLCP-1	50	500	0.2	0.40
BLCP-2	50	500	0.2	0.40
BLCP-3	50	500	0.2	0.40
BLCP-4	50	500	0.3	0.50
BLCP-5	50	500	0.2	0.30
BLCP-6	50	500	0.2	0.30
BLCP-7	50	500	0.2	0.40
BLCP-8	50	500	0.2	0.40
BLCP-9	50	500	0.3	0.50
BLCP-10	50	500	0.2	0.30
BLCP-11	50	500	0.2	0.40
BLCP-12	50	500	0.2	0.30
BLCP-13	50	500	0.2	0.40
BLCP-14	50	500	0.1	0.20
BLCP-15	50	500	0.1	0.20
BLCP-16	50	500	0.2	0.40
BLCP-17	50	500	0.1	0.20
BLCP-18	50	500	0.1	0.20
BLCP-19	50	500	0.1	0.10
BLCP-20	50	500	0.2	0.40
BLCP-21	50	500	0.1	0.20
BLCP-22	50	500	0.2	0.30
			% Cenosphere Yield = 0.33	

ตัวอย่างการคำนวณ

1. **การคำนวณหาปริมาณเซโนสเฟียร์** (% Cenosphere yields)

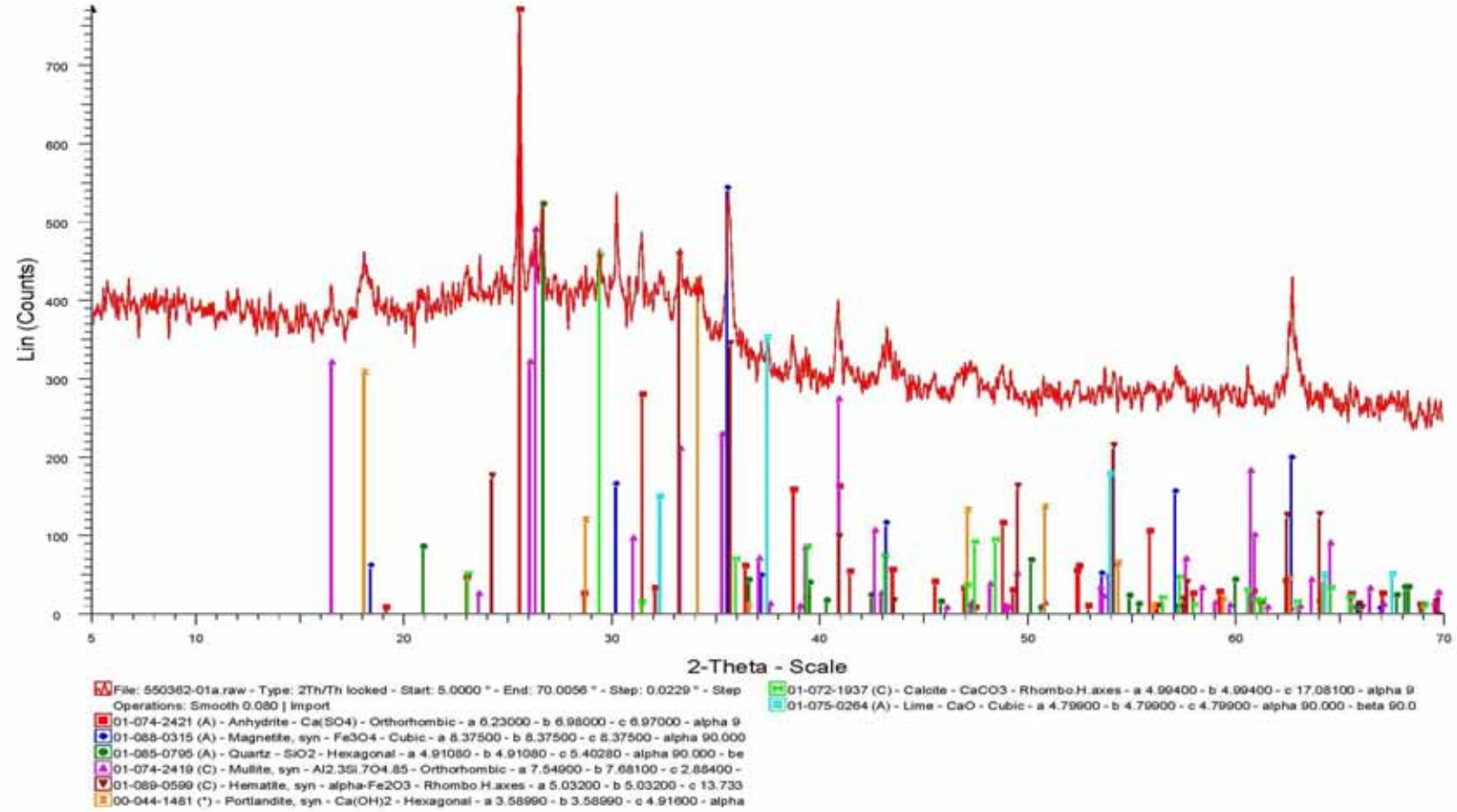
จากสมการ ที่ (3.1)

$$\text{ปริมาณเซโนสเฟียร์ (\%โดยน้ำหนัก)} = \frac{\text{น้ำหนักอนุภาคที่ลอย}}{\text{น้ำหนักเถ้าลอยทั้งหมด}} \times 100 \qquad (3.1)$$

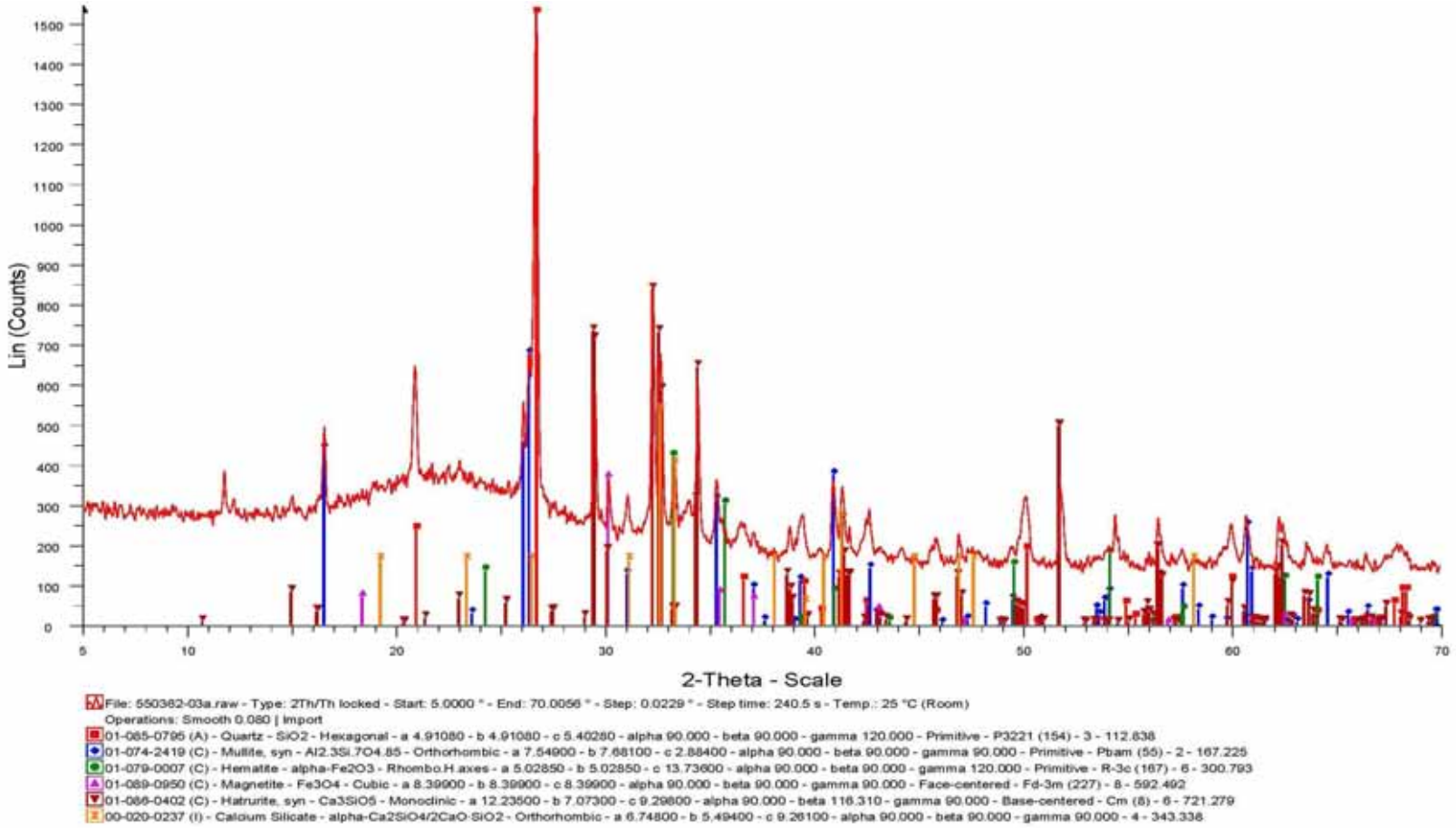
เช่น น้ำหนักอนุภาคที่ลอย = 0.4 กรัม, น้ำหนักเถ้าลอยทั้งหมด = 50 กรัม

ปริมาณเซโนสเฟียร์ (%โดยน้ำหนัก) = (0.4 / 50) x 100

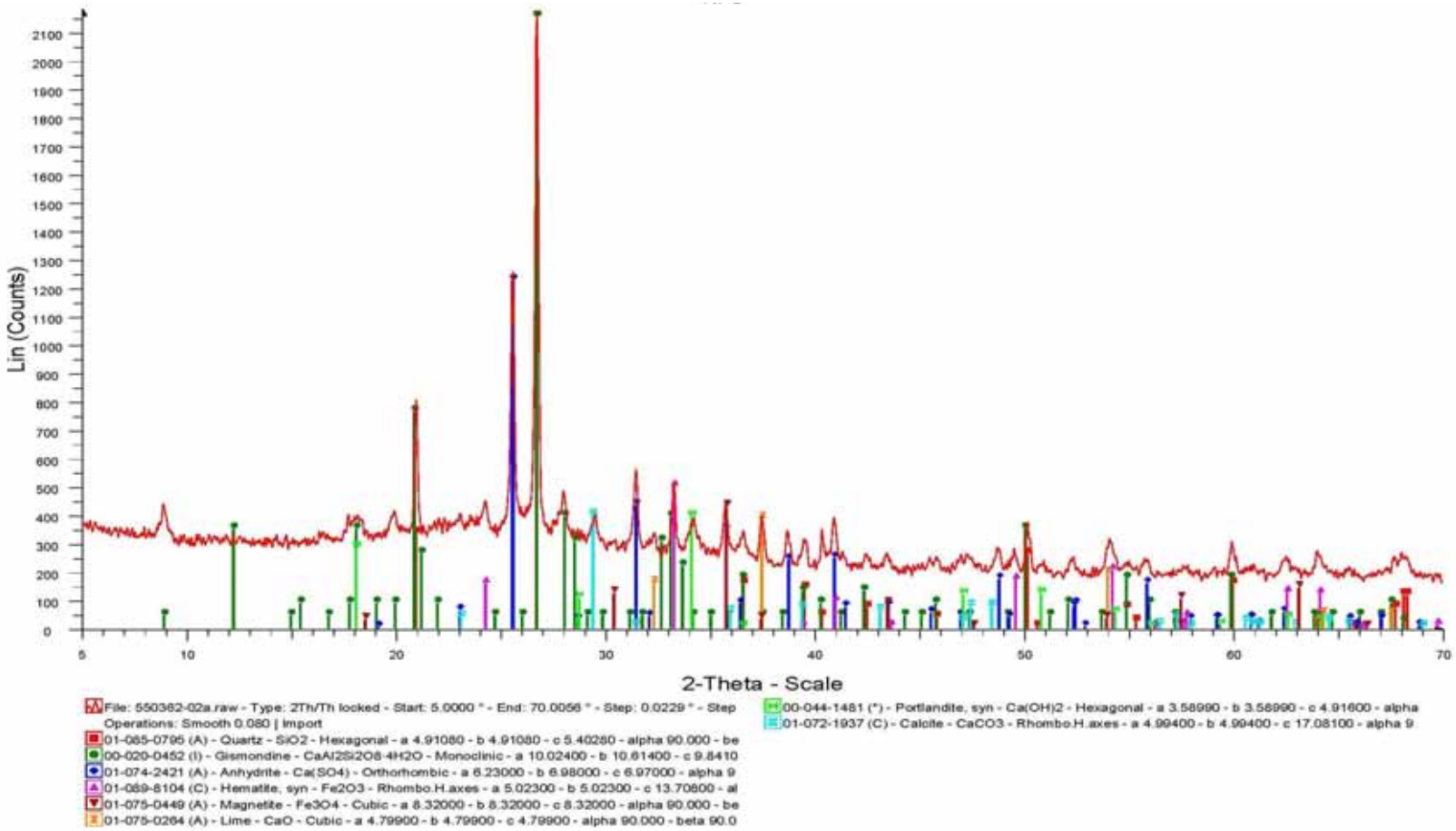
= 0.80 %



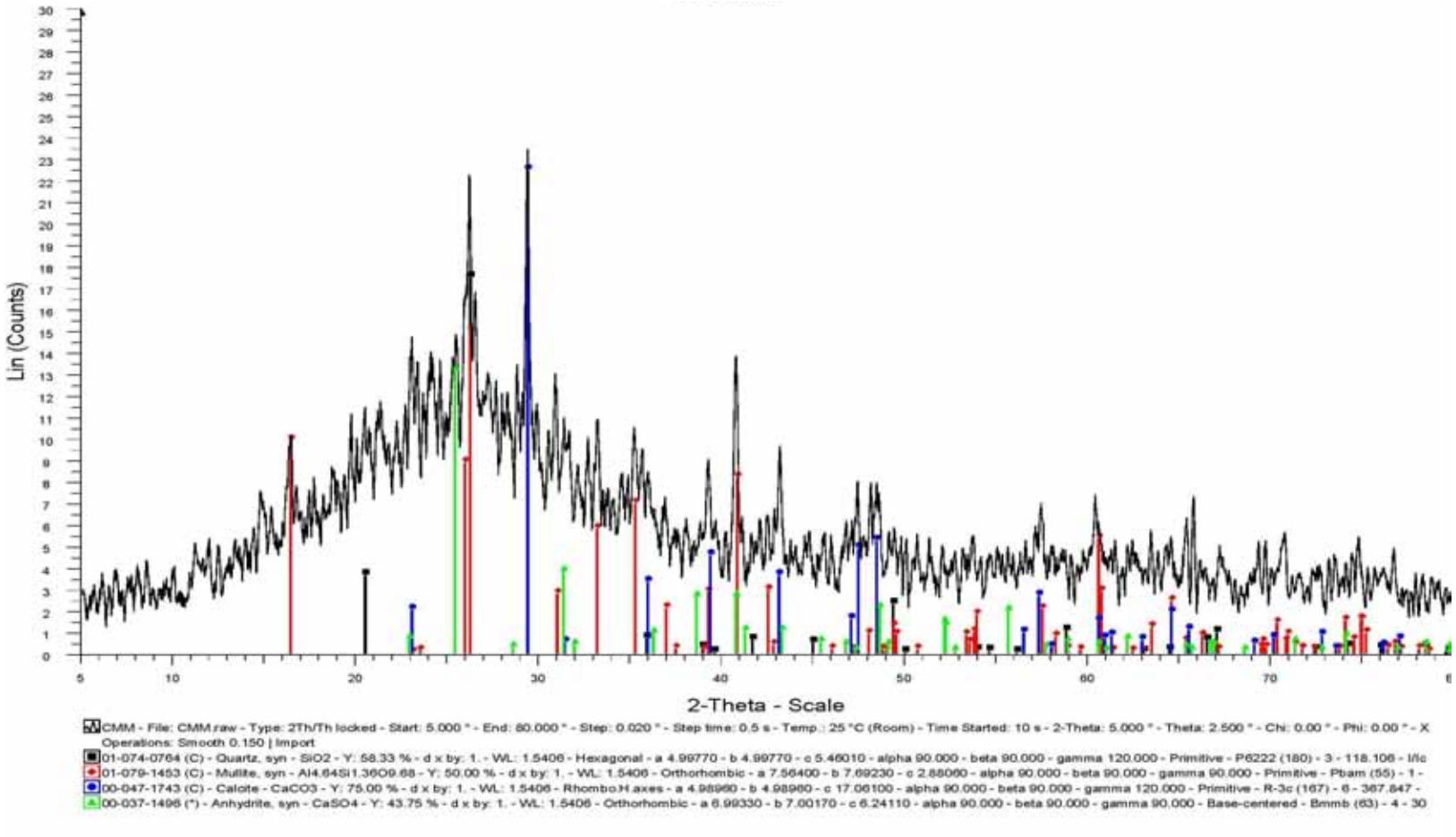
รูปที่ ค16 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ



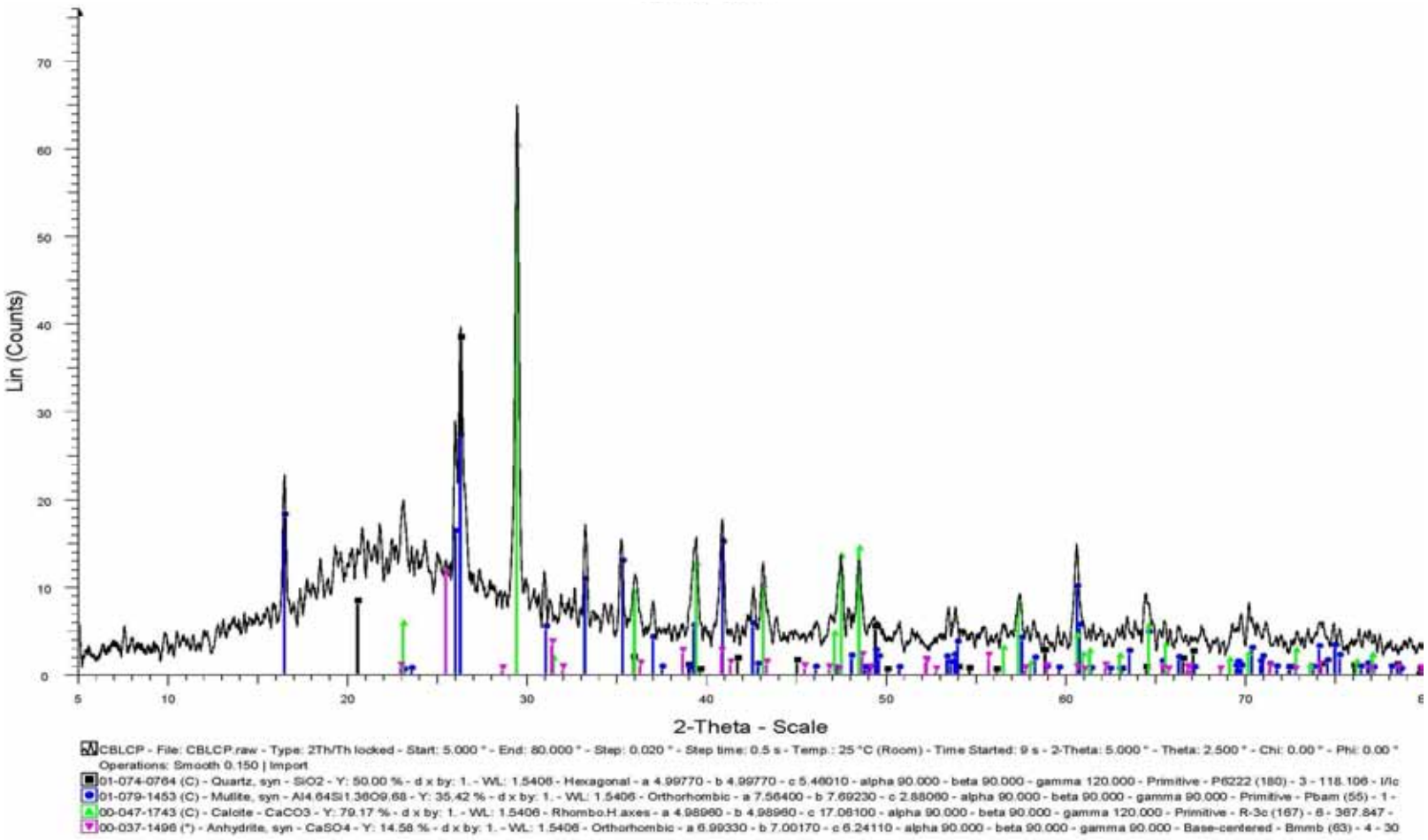
รูปที่ ค17 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่บีแอลซีพี



รูปที่ ค18 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เอ็นพีเอส



รูปที่ ค19 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่างเซโนสเฟียร์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ



รูปที่ ค20 กราฟแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD ของตัวอย่างเถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าบีแอลซีพี

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ – ชื่อสกุล นางสาวมนัสวี เชื้อรื่น

วัน เดือน ปี เกิด 15 กุมภาพันธ์ 2529

สถานที่เกิด กรุงเทพมหานคร

ที่อยู่ปัจจุบัน 222/4 ถนนเทศบาลรังรักษ์เหนือ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

ระดับการศึกษา (วุฒิการศึกษา) / สถานศึกษา / ปีที่สำเร็จการศึกษา

- มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนราชนันทาจารย์ สามเสนวิยาลัย 2 / พ.ศ.2543
- มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสายปัญญา ในพระบรมราชินูปถัมภ์ / พ.ศ.2546
- ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ / พ.ศ.2550
- ปัจจุบันได้เข้ารับการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552