สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงกระบวนการลดขนาดของถ่านหินภายในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน ถ่านหินที่นำมาศึกษาคือ ถ่านหินจากแหล่งต่างๆ ที่มีการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ ถ่านหินแม่ทะ ถ่านหินลานนา และถ่านหินจากอินโดนีเซีย ซึ่งเหมาะสมในการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงาน ในการทดลองได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการลดขนาดของถ่านหิน ได้แก่ อุณหภูมิ และชนิดของถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยดังกล่าวภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะก่อนเพื่อสังเกตกระบวนการลดขนาดของถ่านหินที่เกิดขึ้นภายในเครื่องปฏิกรณ์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีการเคลื่อนที่ของถ่านหิน

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ส่วนที่ 1 คือผลการวิเคราะห์สมบัติของถ่านหิน ได้แก่ การวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณและแบบแยกธาตุ ส่วนที่ 2 คือผลการศึกษาการลดขนาดของถ่านหินในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ และส่วนที่ 3 คือผลการศึกษาการลดขนาดของถ่านหินในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของถ่านหิน

4.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis)

องค์ประกอบโดยประมาณของถ่านหินที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนคงตัว ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และปริมาณความชื้น ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 ผลการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) ของถ่านหินจากแหล่งต่างๆ

องค์ประกอบ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)	ชนิดของถ่านหิน		
	แม่ทะ	ลานนา	อินโดนีเซีย
คาร์บอนคงตัว	30.51	43.44	41.16
ขี้เถ้า	20.50	5.87	11.50
สารระเหย	35.75	35.51	35.56
ความชื้น	13.24	15.38	11.78

4.1.2 การวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis)

การวิเคราะห์แบบแยกธาตุเป็นการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ฯลฯ ผลการวิเคราะห์เป็นร้อยละองค์ประกอบของธาตุในเชื้อเพลิง แสดงดังตารางที่ 4.2 (ทัศนัย องค์กบิลย์, 2550)

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ (Ultimate analysis) ของถ่านหินจากแหล่งต่างๆ

ธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)	ชนิดของถ่านหิน		
	แม่ทะ	ลานนา	อินโดนีเซีย
คาร์บอน	56.21	54.70	59.61
ไฮโดรเจน	5.01	5.46	6.00
ไนโตรเจน	1.49	1.21	1.02
อื่น ๆ	37.29	38.63	33.37

จากการวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุของถ่านหินแต่ละชนิดพบว่า ถ่านหินทั้ง 3 ชนิด จะมีปริมาณสารระเหยที่ใกล้เคียงกันมาก นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบของธาตุที่ใกล้เคียงกัน ทำให้เหมาะที่จะนำมาทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการลดขนาดของเชื้อเพลิง เนื่องจากถ่านหินทั้ง 3 ชนิดมีค่า Hardgrove Grindability Index; (HGI) ที่แตกต่างกัน ตารางที่ 4.3 แสดงถึงความยาก - ง่ายในการบดถ่านหินให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ โดยใช้เครื่อง Hardgrove machine เป็นเครื่องมือในการทดสอบ ถ่านหินที่มีค่า HGI สูง แสดงว่ามีลักษณะเปราะบาง สามารถบดได้ง่าย ส่วนถ่านหินที่มีค่า HGI ต่ำ จะเป็นถ่านหินที่แข็งและทนทานต่อการบด (www.egat.co.th/fuel/ (2008))

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ความสึกกร่อนของถ่านหินแต่ละชนิด

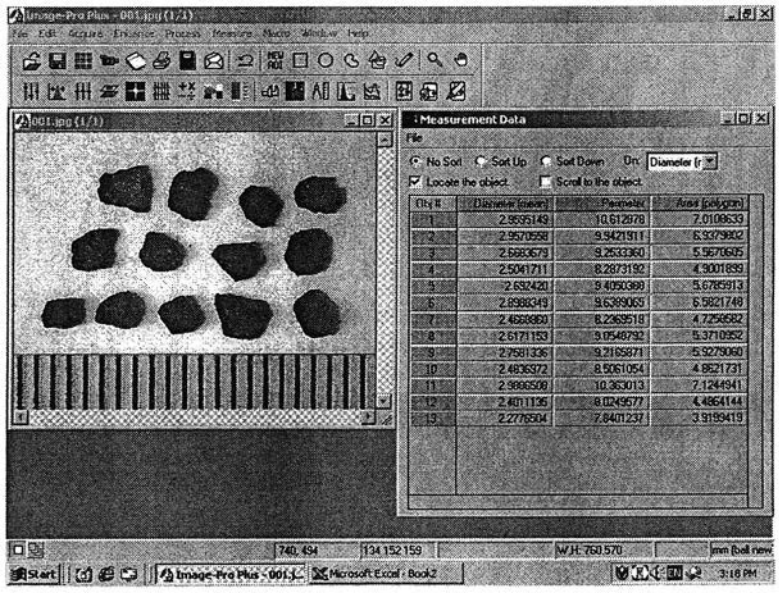
	ชนิดของถ่านหิน		
	แม่ทะ	ลานนา	อินโดนีเซีย
Hardgrove Grindability Index (HGI)	37	40	45

4.2 ผลการศึกษาการลดขนาดของถ่านหินในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

เป็นการศึกษาผลการลดขนาดของถ่านหิน ซึ่งเกิดจากการระเหยของสารระเหยที่อยู่ภายในอนุภาคถ่านหินภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ เพื่อหลีกเลี่ยงการลดขนาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการชนกันของอนุภาค

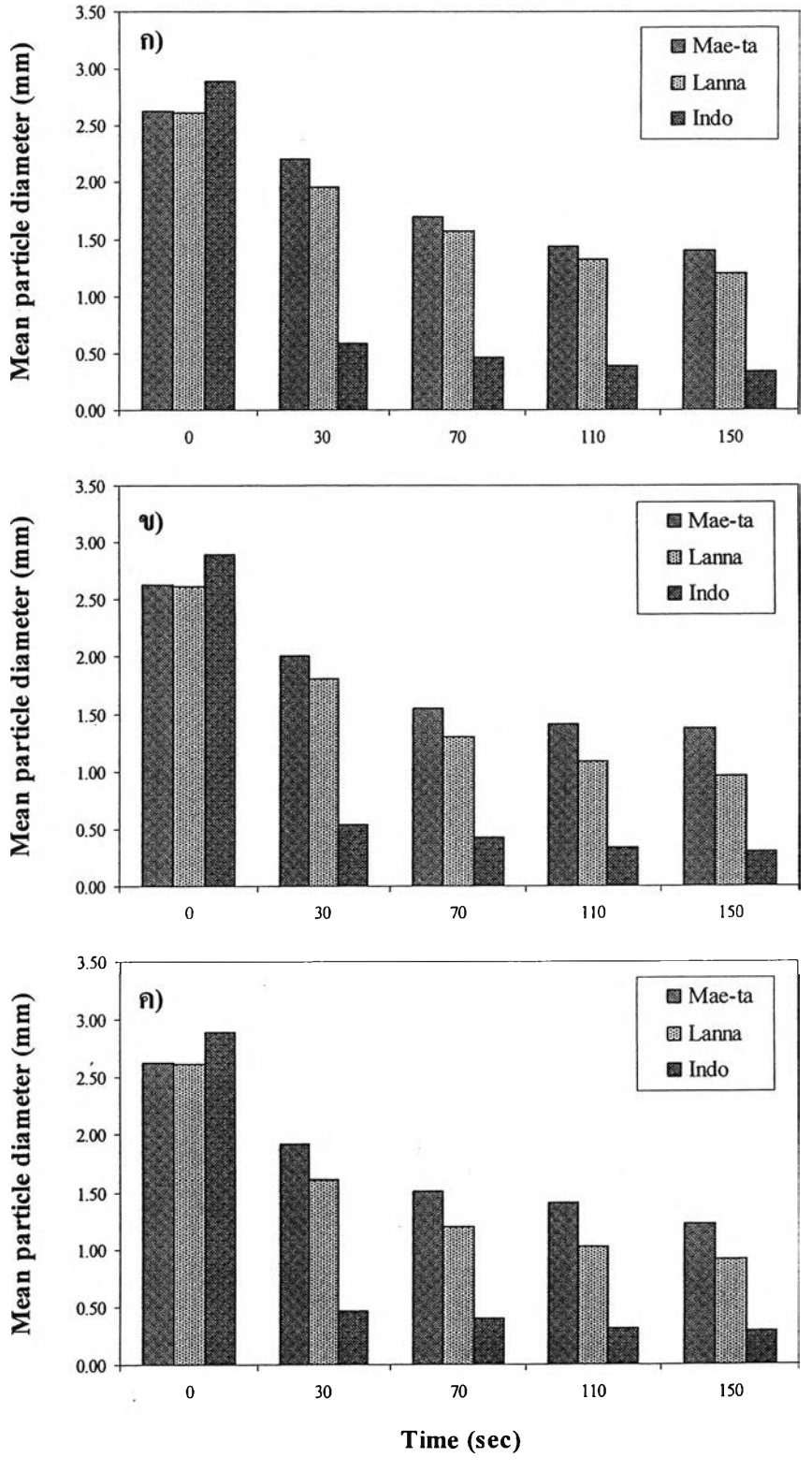
4.2.1 ผลของชนิดถ่านหิน

จากการทดลอง โดยใช้ถ่านหินแม่ทะ ถ่านหินลานนา และถ่านหินอินโดนีเซีย ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สพาเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการเผาไหม้ภายในเครื่องปฏิกรณ์ เก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ประมาณสารระเหยทุก 10 วินาที เพื่อหาเวลาที่ใช้ในการทดลองภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ สำหรับกระบวนการ Devolatilization พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปมากกว่า 120 วินาที ปริมาณสารระเหยจะเหลืออยู่น้อยมากหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากไปกว่าเดิมอีก ในการทดลองจึงใช้เวลา 150 วินาที เพื่อสังเกตการลดขนาดของถ่านหินที่เกิดขึ้นเนื่องจากการระเหยของสารระเหยในถ่านหิน และนำตัวอย่างที่ได้หลังการทดลองไปวิเคราะห์ขนาดโดยใช้กล้อง CCD และโปรแกรม Image Pro Plus ดังรูปที่ 4.1 เพื่อช่วยในการหาขนาดเฉลี่ยของถ่านหินแต่ละชนิดหลังจากผ่านกระบวนการ Devolatilization ซึ่งจะมีผลให้เกิดการแฟรกเมนเทชันของถ่านหิน ทำให้ถ่านหินมีขนาดเล็กลง เนื่องจากความดันภายในที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการระเบิด และแตกออกเป็นชิ้นที่มีขนาดเล็กลง



รูปที่ 4.1 โปรแกรม Image Pro Plus ที่ใช้ช่วยในการหาขนาดของอนุภาคจากภาพถ่าย

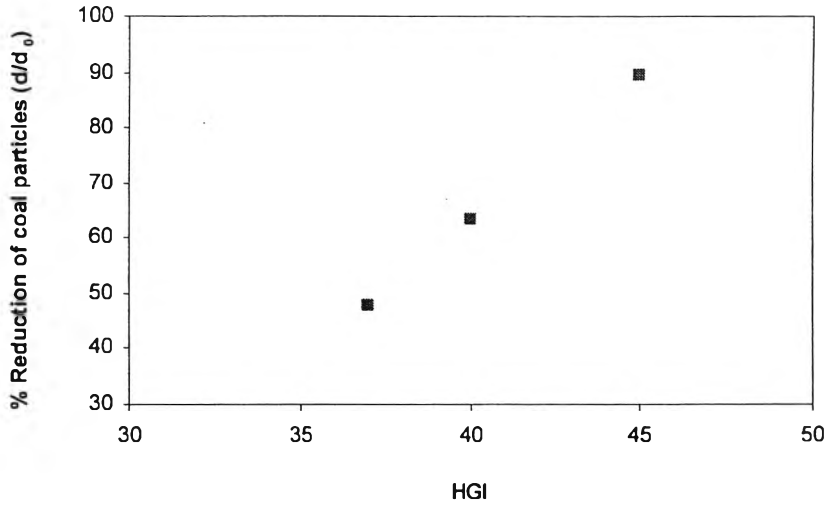
I34544818



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบขนาดถ่านหินเฉลี่ยทั้ง 3 ชนิดหลังจากเกิด Devolatilization ก) อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ข) อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียสและ ค) อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.2 แสดงขนาดเฉลี่ยของถ่านหินทั้ง 3 ชนิดหลังเกิดการ Devolatilization จากรูปจะเห็นได้ว่า ถ่านหินมีขนาดเฉลี่ยหลังจากที่เกิดการแตกออกแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะถ่านหินจากแหล่งอินโดนีเซีย มีลักษณะการลดขนาดมากที่สุด ขณะที่ถ่านหินแม่ทะและถ่านหินลานนามีลักษณะการลดขนาดที่ใกล้เคียงกัน จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าถ่านหินทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณสารระเหยที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการแฟรกเมนเทชันของถ่านหิน Zhang et al. (2002) อธิบายว่าการแตกตัวแบบแฟรกเมนเทชันของถ่านหินมีผลมาจากกระบวนการ Devolatilization ซึ่งขึ้นกับปริมาณสารระเหยได้ในถ่านหิน แต่จากการสังเกตในการทดลองนี้ถ่านหินทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณสารระเหยง่ายใกล้เคียงกันแต่กลับให้ผลของการลดขนาดมีความแตกต่างกัน จึงบอกให้ทราบทางอ้อมว่าไม่ใช่ปริมาณสารระเหยง่ายเท่านั้นที่เป็นปัจจัยต่อการลดขนาดแบบแฟรกเมนเทชันของถ่านหิน จากตารางที่ 4.3 แสดงค่าความง่ายต่อการสึกกร่อนของถ่านหิน (Hardgrove Grindability Index; HGI) เป็นคุณสมบัติของถ่านหินอีกอย่างที่ส่งผลต่อการลดขนาดของถ่านหินได้เช่นกัน (Lee et al. (2003)) จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าถ่านหินอินโดนีเซียจะมีค่า HGI มากที่สุด นั้นคือถ่านหินอินโดนีเซีย มีลักษณะที่เปราะ ง่ายต่อการลดขนาด ทำให้ถ่านหินอินโดนีเซียลดขนาดได้มากกว่าถ่านหินลานนา และถ่านหินแม่ทะตามลำดับ

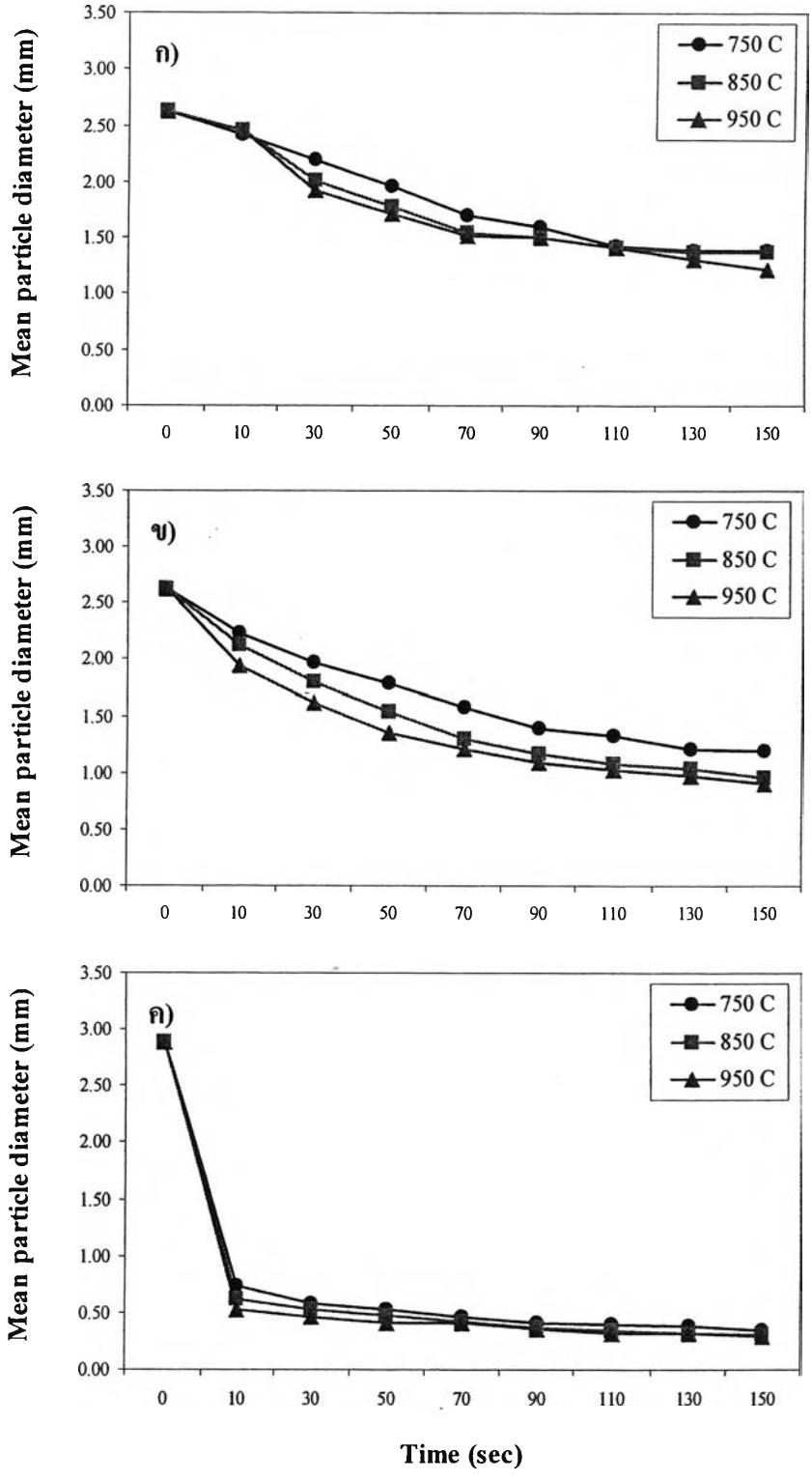
จากรูปที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์การลดขนาดของถ่านหินแต่ละชนิดกับค่าความง่ายต่อการสึกกร่อนของถ่านหิน (HGI) ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าถ่านหินที่มีค่า HGI สูงจะมีลักษณะการลดขนาดได้มากกว่าถ่านหินที่มีค่า HGI ต่ำ เนื่องมาจากถ่านหินที่มีค่า HGI สูงจะมีลักษณะที่เปราะกว่า เมื่อสารระเหยง่ายเกิดการระเหยออกมาอย่างรวดเร็ว จะทำให้อนุภาคของถ่านหินเกิดการบวมและแตกได้ง่ายกว่าถ่านหินที่มีค่า HGI ต่ำกว่า เป็นเหตุทำให้ถ่านหินอินโดนีเซียซึ่งมีค่า HGI สูง สามารถลดขนาดลงได้มากกว่าถ่านหินลานนาและถ่านหินแม่ทะตามลำดับ



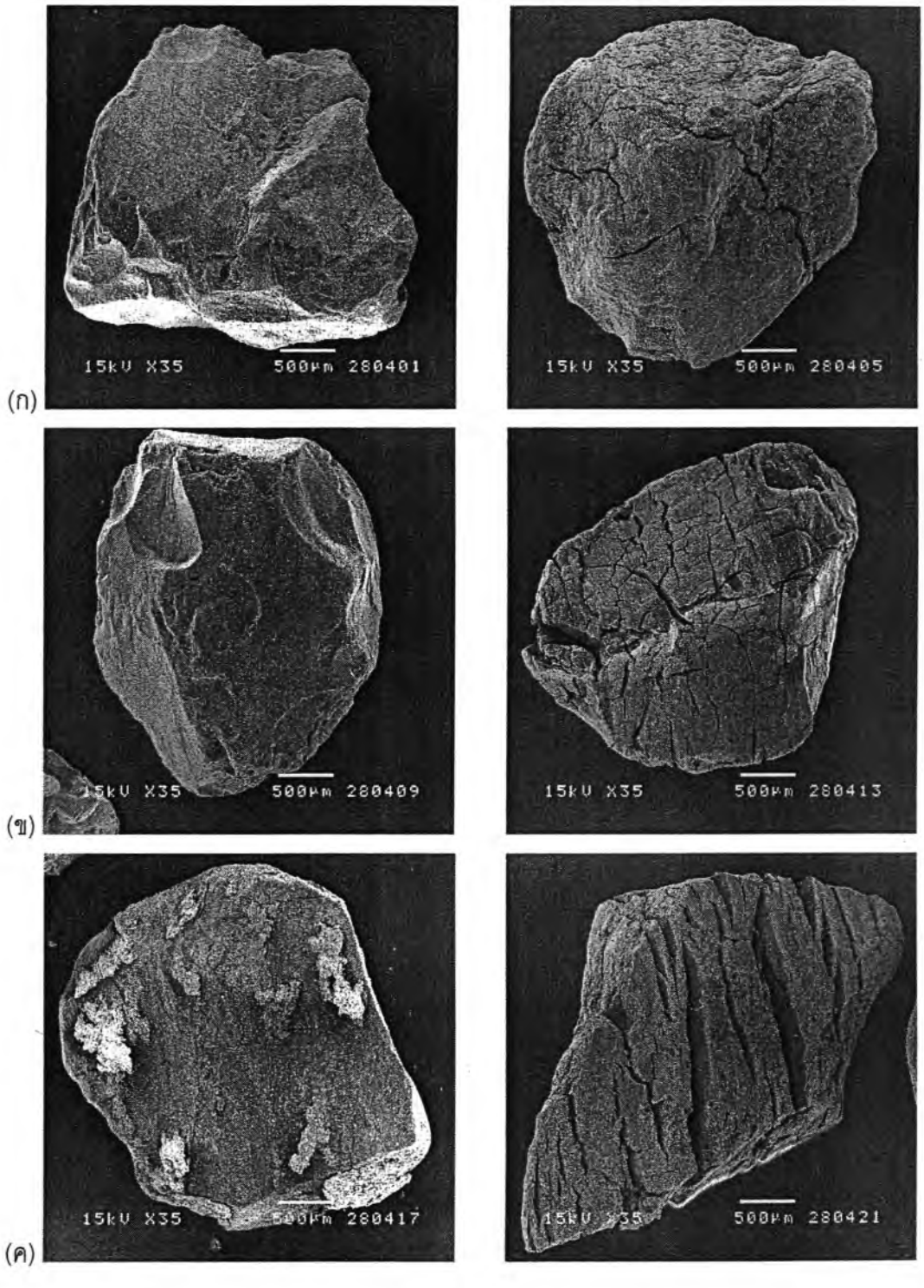
รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การลดขนาดของถ่านหินที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส กับค่าความง่ายต่อการสึกกร่อนของถ่านหิน (HGI)

4.2.2 ผลของอุณหภูมิ

จากการทดลอง เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิโดยใช้ถ่านหินแม่ทะ ถ่านหินลานนา และถ่านหินอินโดนีเซีย ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 750 850 และ 950 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และนำตัวอย่างที่ได้หลังการทดลองไปวิเคราะห์ขนาดโดยการใช้กล้อง CCD และโปรแกรม Image Pro Plus ช่วยในการหาขนาด รูปที่ 4.4 แสดงขนาดเฉลี่ยของถ่านหินทั้ง 3 ชนิด หลังจากเกิด Devolatilization ของถ่านหินที่อุณหภูมิแตกต่างกัน จากรูปจะเห็นได้ว่า ขนาดเฉลี่ยของถ่านหินแต่ละชนิดจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกันคือ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้สูงขึ้นขนาดเฉลี่ยของถ่านหินแต่ละชนิดจะลดลง ดังนั้นที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส ถ่านหินทั้ง 3 ชนิด จึงมีขนาดเฉลี่ยลดลงไปมากที่สุด เนื่องจาก การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้สารระเหยที่อยู่ภายในถ่านหินเกิดการระเหยออกมาได้มากขึ้น ทำให้ความดันภายในที่เกิดจากสารระเหยที่เพิ่มสูงขึ้น จนกระทั่งเกิดการระเบิดภายในจนถ่านหินแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ โดยถ่านหินแม่ทะ และถ่านหินลานนามีแนวโน้มของการลดขนาดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้นใกล้เคียงกัน ต่างจากถ่านหินอินโดนีเซียที่มีลักษณะการลดขนาดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกอย่างมาก และหลังจากนั้นลักษณะการลดขนาดของถ่านหินอินโดนีเซียจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แม้ว่าอุณหภูมิที่ใช้จะเพิ่มขึ้นก็ตาม



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่ใช้ในเครื่องปฏิกรณ์ ในกระบวนการ Devolatilization ก) ถ่านหินแม่ทะ ข) ถ่านหินลานนาและ ค) ถ่านหินอินโดนีเซีย



รูปที่ 4.5 อนุภาคถ่านหินแต่ละชนิดก่อนและหลังการ Devolatilization ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สพา ก) ถ่านหินแม่ทะ ข) ถ่านหินลานนา และ ค) ถ่านหินอินโดนีเซีย

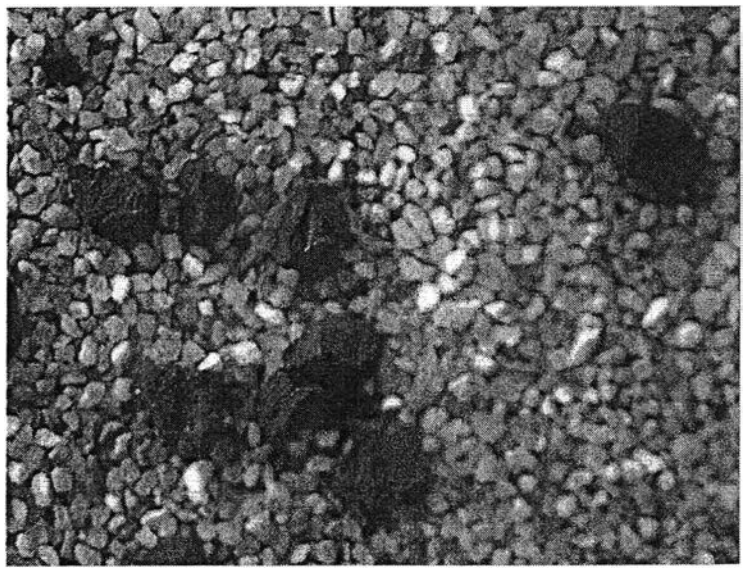
เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการแตกตัวของถ่านหิน ถ่านหินทั้ง 3 ชนิด จะถูกนำไปถ่ายรูปด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราดทั้งก่อนและหลังจากการทดลองจากเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ สำหรับรูปที่ 4.5 เป็นผลวิเคราะห์ถ่านหินทั้ง 3 ชนิดที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ ภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะโดยใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สพา พบว่าผิวของอนุภาคถ่านหินทั้ง 3 ชนิด เกิดการแตกขึ้น เนื่องจากสารระเหยง่ายที่อยู่ภายในอนุภาคถ่านหินเกิดการระเหยออกมาอย่างรวดเร็วตามรูพรุนของอนุภาคถ่านหิน โดยจะสังเกตได้ว่าถ่านหินแม่ทะจะเกิดรอยแตกขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้ถ่านหินแม่ทะมีลักษณะการลดขนาดลงได้น้อยที่สุด ในขณะที่ถ่านหินลานนาและถ่านหินอินโดนีเซียมีรอยแตกเกิดขึ้นมากภายหลังที่เกิดการ Devolatilization แต่ถ่านหินอินโดนีเซียจะมีลักษณะของรอยแตกเป็นแนวเดียวกันตลอดทั้งอนุภาค ซึ่งต่างจากถ่านหินแม่ทะและถ่านหินลานนาที่มีรอยแตกเกิดขึ้นที่ลึกทั้งแนวแกนและแนวรัศมี แสดงให้เห็นว่าถ่านหิน อินโดนีเซียมีโครงสร้างที่มีความแข็งแรงในบางทิศทางน้อยกว่าในอีกทิศทาง ซึ่งเกิดการแตกไปในทิศทางเดียวกันไปเกือบทั้งหมด เป็นเหตุให้ถ่านหินอินโดนีเซียมีโอกาสที่จะแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ ได้มากกว่าถ่านหินแม่ทะและถ่านหินลานนา

4.3 ผลการศึกษาการลดขนาดของถ่านหินในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

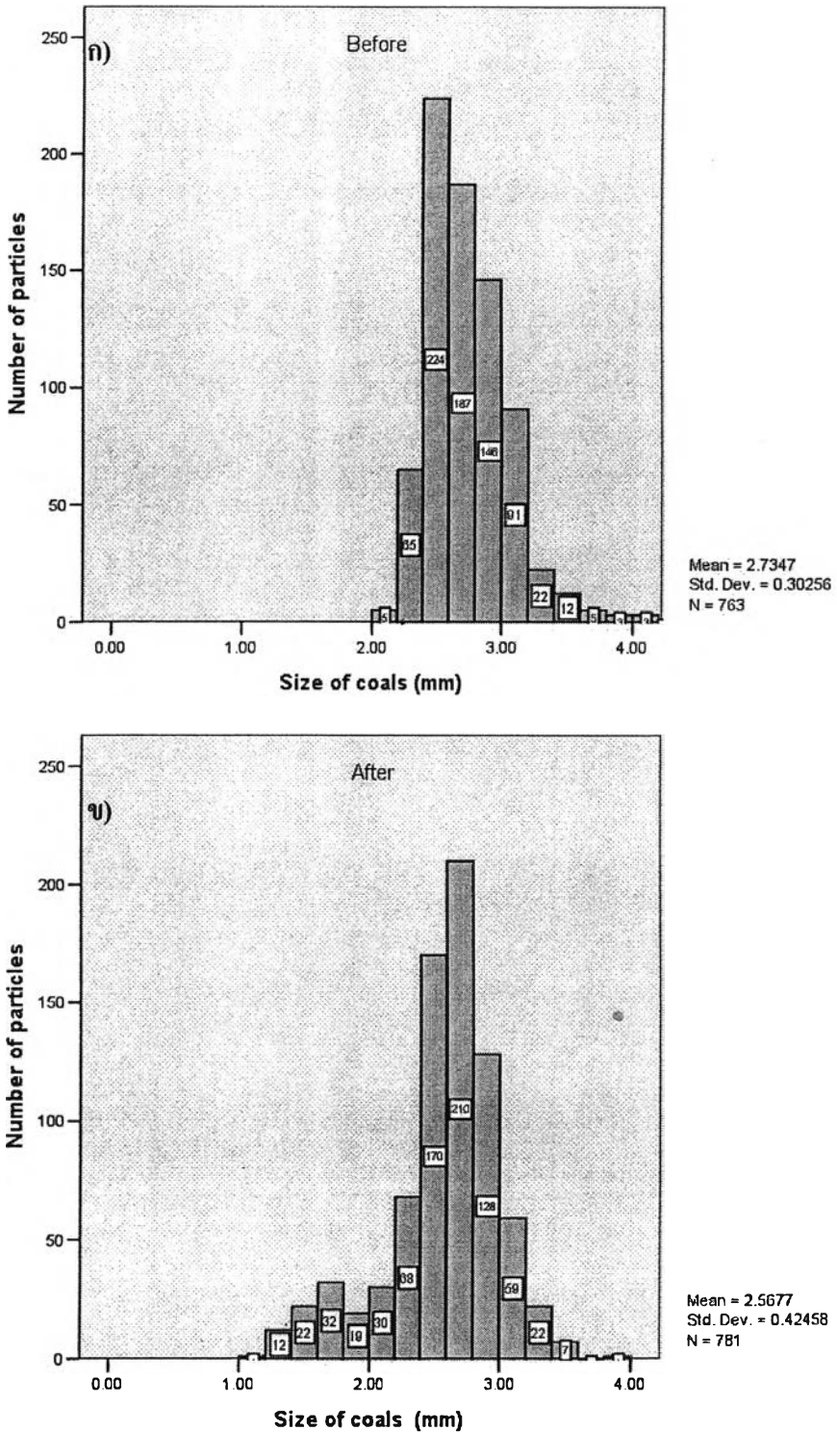
เป็นการศึกษาผลการลดขนาดของถ่านหินใน 3 ลักษณะอันได้แก่ การลดขนาดเนื่องจากการแอตทริชันของอนุภาค การเกิดแฟรกเมนเทชันขั้นปฐมภูมิ และการเกิดแฟรกเมนเทชันขั้นทุติยภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

4.3.1 ผลการแอตทริชันที่อุณหภูมิห้อง

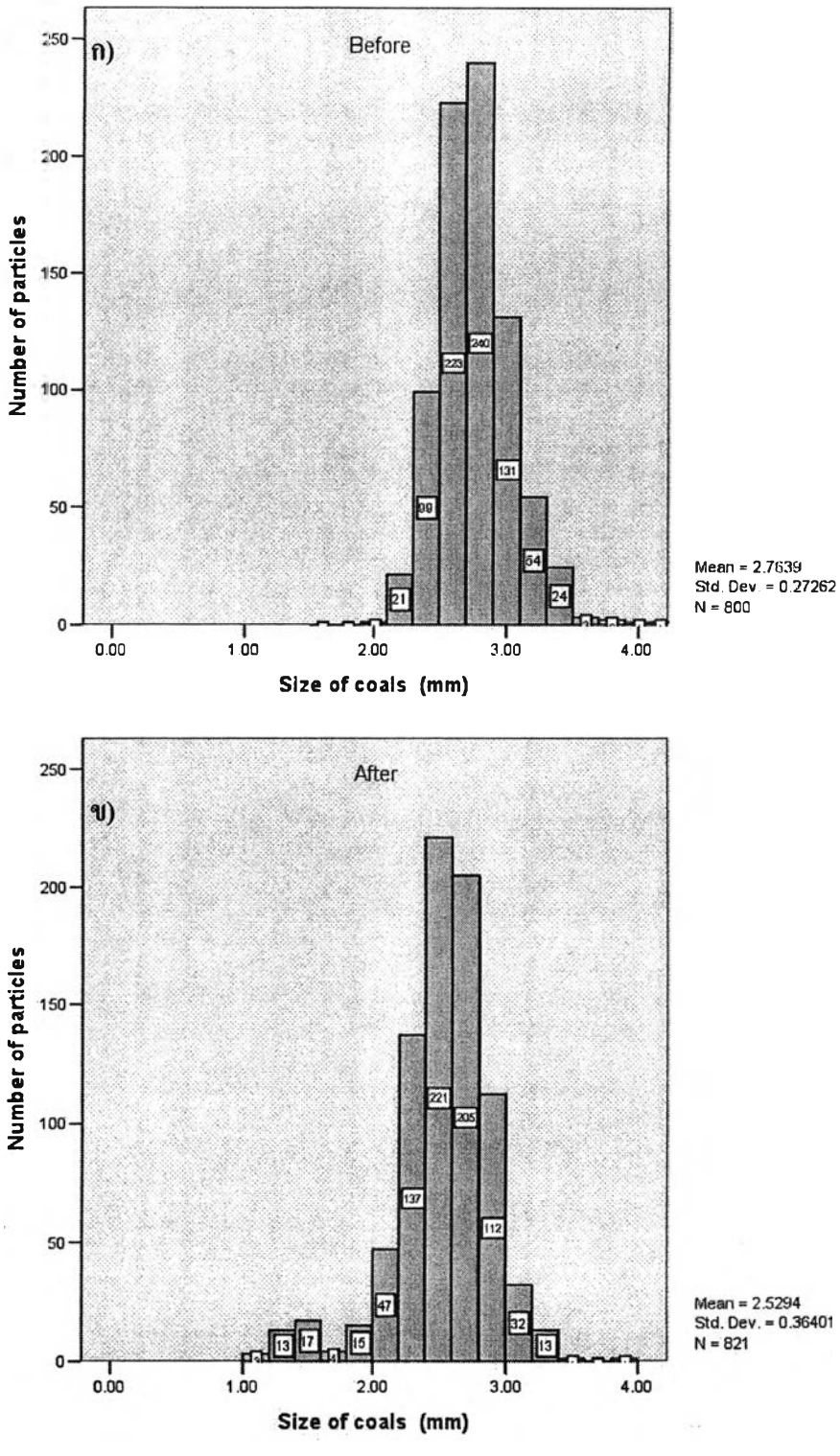
นำถ่านหินที่ต้องการศึกษาป้อนเข้าสู่เครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน (รูปที่ 3.4) ซึ่งมีทรายเป็นวัสดุเบด เดินเครื่องเป็นเวลา 200 นาที (ภาคผนวก ข.1) ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ใช้อากาศเป็นแก๊สพา เก็บตัวอย่างที่ได้ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นอนุภาคผสมระหว่างถ่านหินและเบด นำไปแยกขนาดโดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อแยกอนุภาคของเบดออกจากถ่านหินโดยประมาณ ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ต่อโดยใช้เครื่อง Particle size distribution analyzer สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร และ นำไปวิเคราะห์ด้วย กล้อง CCD และโปรแกรม Image pro plus สำหรับอนุภาคที่ใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.6 อนุภาคของแข็งภายหลังจากการทดลองในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ ใช้อากาศเป็นแก๊สพา

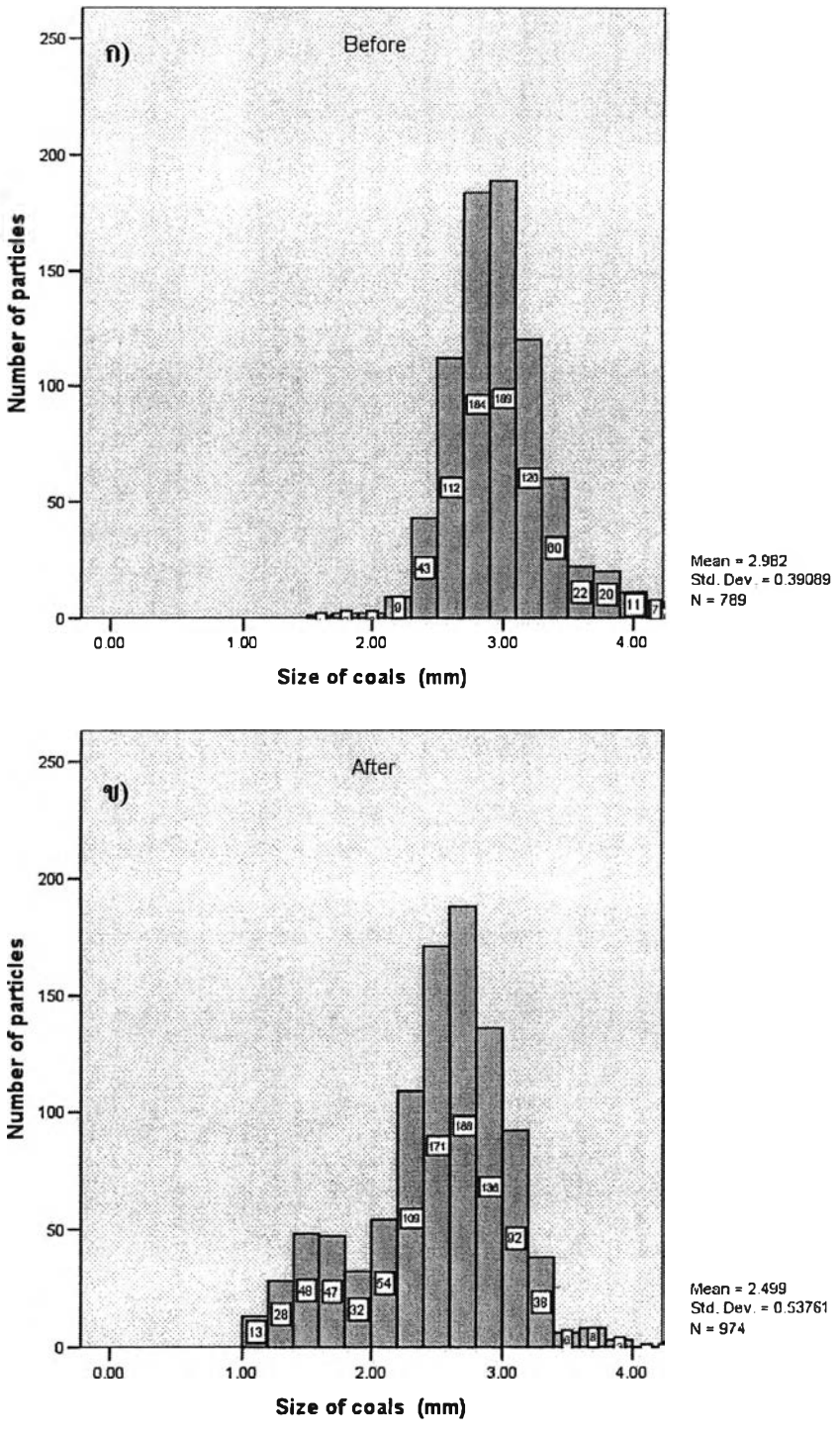


รูปที่ 4.7 การกระจายขนาดของถ่านหินแม่ทะในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน สำหรับอนุภาคที่ขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้อากาศเป็นแก๊สพา ก) การกระจายขนาดก่อนการทดลองและ ข) การกระจายขนาดหลังการทดลอง



รูปที่ 4.8 การกระจายขนาดของถ่านหินลานนาในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน สำหรับอนุภาคที่ขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้อากาศเป็นแก๊สพา

ก) การกระจายขนาดก่อนการทดลองและ ข) การกระจายขนาดหลังการทดลอง



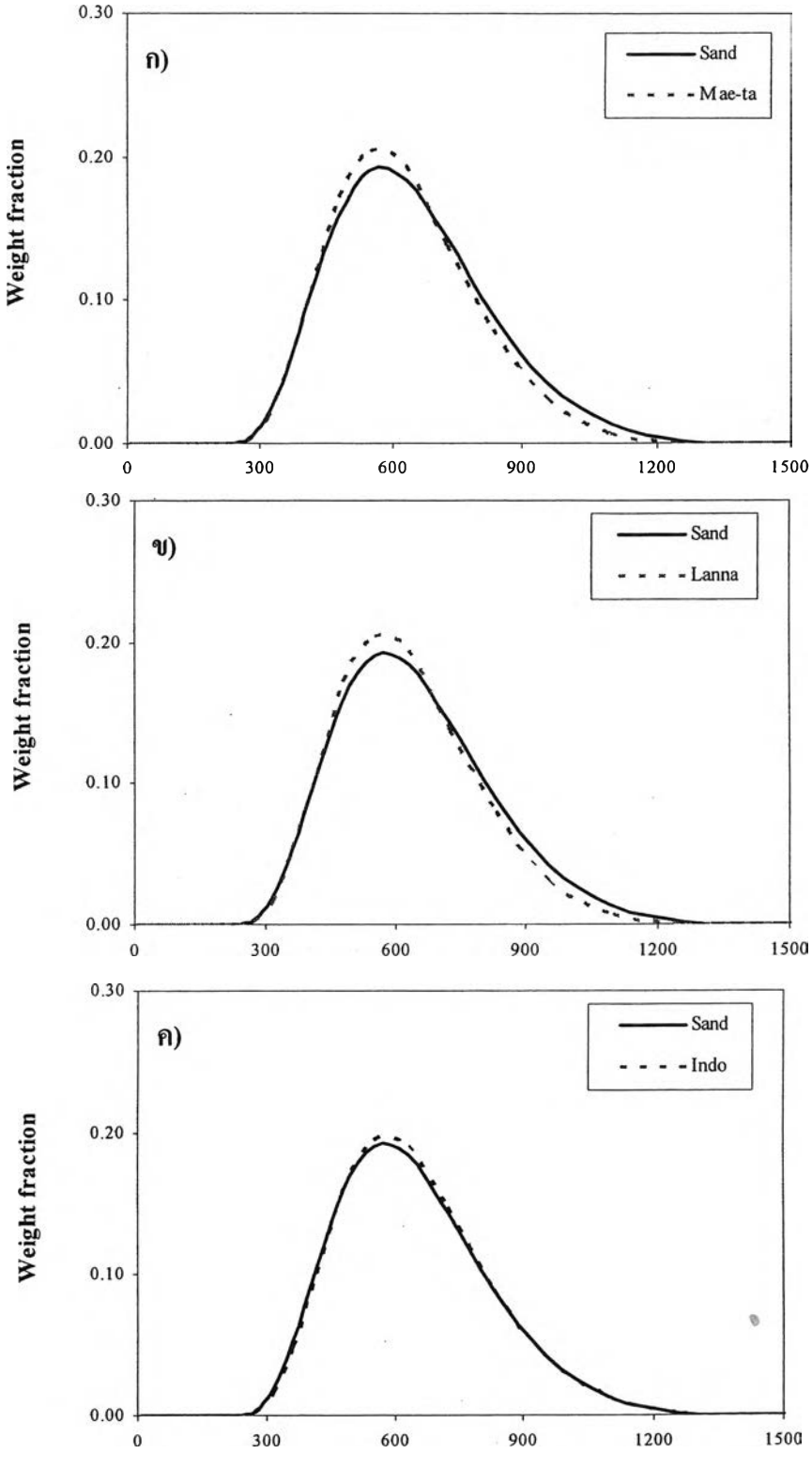
รูปที่ 4.9 การกระจายขนาดของถ่านหินอินโดนีเซียในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน สำหรับอนุภาคที่ขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้อากาศเป็นแก๊สพา

ก) การกระจายขนาดก่อนการทดลองและ ข) การกระจายขนาดหลังการทดลอง

ผลการทดลองพบว่า จากรูปที่ 4.7 – 4.9 แสดงการกระจายขนาดของถ่านหินทั้ง 3 ชนิด ก่อนและหลังจากการทดลองในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน จะเห็นได้ว่าภายหลังการทดลองถ่านหินทั้ง 3 ชนิด จะมีอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร เพิ่มขึ้นมาเป็นผลเนื่องมาจากการชนกันของอนุภาคภายในเครื่องปฏิกรณ์ ทำให้อนุภาคของแข็งเกิดการแตกจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กลง แต่เมื่อนำอนุภาคในช่วงที่มีขนาดมากกว่า 1 มิลลิเมตร มาหาขนาดเฉลี่ยจะพบว่า ขนาดเฉลี่ยของถ่านหินแม่ทะ ถ่านหินลานนา และถ่านหินอินโดนีเซียจะเปลี่ยนแปลงไปเพียง 5.86% 8.33% และ 16.11% ตามลำดับ จากขนาดเฉลี่ยของถ่านหินก่อนทดลองเท่านั้น โดยตารางที่ 4.4 แสดงถึงขนาดเฉลี่ยของถ่านหินที่ใช้ในการทดลองก่อนและหลังทดลอง จะเห็นได้ว่าขนาดเฉลี่ยของถ่านหินทั้ง 3 ชนิดแตกต่างไปจากเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ถ่านหินอินโดนีเซียจะมีขนาดเฉลี่ยที่เปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด เนื่องมากจากลักษณะของถ่านหินอินโดนีเซียที่มีรูปร่างค่อนข้างแบน ง่ายต่อการแตกหรือหักมากกว่าถ่านหินอีก 2 ชนิด เป็นเหตุให้ถ่านหินอินโดนีเซียเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดมากกว่าถ่านหินชนิดอื่นเมื่อเกิดการแอตทริชันที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ 4.4 ขนาดเฉลี่ยของถ่านหินแต่ละชนิดก่อนและหลังทดลองที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้อากาศเป็นแก๊สพา

ชนิดของถ่านหิน	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (mm)		% Reduction
	ก่อน	หลัง	
ถ่านหินแม่ทะ	2.73 ± 0.30	2.57 ± 0.42	5.86%
ถ่านหินลานนา	2.76 ± 0.27	2.53 ± 0.36	8.33%
ถ่านหินอินโดนีเซีย	2.98 ± 0.39	2.50 ± 0.53	16.11%



รูปที่ 4.10 การกระจายขนาดของอนุภาคผสมระหว่างเบดกับถ่านหินแต่ละชนิดที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ภายในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ ก) ถ่านหินแม่ทะ ข) ถ่านหินลานนา ค) ถ่านหินอินโดนีเซีย

นอกจากนี้เมื่อนำข้อมูลของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร มาพิจารณาจะพบว่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่มาจากของผสมระหว่างอนุภาคของถ่านหินที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร กับทรายซึ่งใช้เป็นเบด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการกระจายขนาดของอนุภาคทรายซึ่งใช้เป็นเบดเพียงอย่างเดียว จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าอนุภาคผสมของถ่านหินทั้ง 3 ชนิด มีการกระจายขนาดใกล้เคียงกับการกระจายขนาดของเบดมาก แสดงให้เห็นว่าอนุภาคของถ่านหินที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยมากที่เกิดการแตกจากอนุภาคขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร ไปเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ทำให้การกระจายขนาดของอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดขึ้นไม่ชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับการกระจายขนาดของอนุภาคเบด แสดงให้เห็นว่าการชนกันของอนุภาคภายในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่อุณหภูมิห้อง มีผลต่อการลดขนาดของถ่านหินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และจะเห็นได้ว่าลักษณะการลดขนาดของถ่านหินทั้ง 3 ชนิดยังคงมีแนวโน้มเช่นเดียวกับผลการทดลองในข้อที่ 4.2.1 ซึ่งเป็นผลมาจากคุณสมบัติความทนทานต่อการบดของอนุภาคถ่านหินแต่ละชนิด (HGI) ทำให้ขนาดเฉลี่ยของถ่านหินอินโดนีเซียมีการเปลี่ยนแปลงไปมากกว่าถ่านหินชนิดอื่น

4.3.2 ผลการแฟรกเมนเทชันขั้นปฐมภูมิ

ทำการเดินเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนกับถ่านหิน 3 ชนิดดังที่กล่าวมาแล้วที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้แก๊สไนโตรเจนแก๊สพา เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง ใช้เวลาเท่ากับการทดลองที่ 4.2.1 เพื่อลังเกตการลดขนาดที่เกิดขึ้นจากการ Devolatilization ของถ่านหินซึ่งทำให้เกิดการระเบิดขึ้นภายในอนุภาคของถ่านหิน เรียกกระบวนการนี้ว่า "แฟรกเมนเทชันขั้นปฐมภูมิ" ภายในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน จากนั้นเก็บตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.11 นำไปแยกขนาดโดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อแยกอนุภาคของเบดออกจากถ่านหินโดยประมาณ ก่อนจะนำไปวิเคราะห์ต่อโดยใช้เครื่อง Particle size distribution analyzer สำหรับอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร และ วิเคราะห์ด้วย กล้อง CCD และโปรแกรม Image pro plus สำหรับอนุภาคที่ใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 4.12 – 4.14 แสดงการกระจายขนาดของถ่านหินทั้ง 3 ชนิด ก่อนและหลังการทดลองในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน จะเห็นได้ว่าภายหลังการทดลองถ่านหินทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะการกระจายขนาดของอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน โดยอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร จะเพิ่มจำนวนมากขึ้น เนื่องมาจากการความดันภายในที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากการระเหยของปริมาณสารระเหยที่อยู่ภายในถ่านหินทำให้เกิดการบวมและแตกออกในที่สุด

ส่งผลให้อนุภาคของแข็งที่มีขนาดใหญ่เกิดการลดขนาดลงเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กที่มีจำนวนมากขึ้น จะสังเกตได้ว่าภายหลังจากการทดลองอนุภาคจะมีการกระจายขนาดที่กว้างขึ้น และขนาดเฉลี่ยของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตรจะลดลงไปมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการลดขนาดเนื่องจากกระบวนกการแอตทริชันที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งเมื่อเรานำขนาดของอนุภาคในช่วงที่มีขนาดมากกว่า 1 มิลลิเมตร มาหาขนาดเฉลี่ยพบว่าขนาดเฉลี่ยของถ่านหินแม่ทะ ถ่านหินลานนา และถ่านหินอินโดนีเซีย จะเปลี่ยนแปลงไป 24.18% 31.51% และ 37.58% ตามลำดับ โดยตารางที่ 4.5 แสดงถึงขนาดเฉลี่ยของถ่านหินที่ใช้ในการทดลองก่อนและหลังทดลองทั้งในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน และตารางที่ 4.6 เป็นการเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของการลดขนาดซึ่งเกิดจากการแฟรกเมนเทชัน ระหว่างเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนกับเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ เพื่อเปรียบเทียบผลการลดขนาดของอนุภาคถ่านหินที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองพบว่า เมื่อนำขนาดเฉลี่ยของถ่านหินที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตรมาเปรียบเทียบกัน ขนาดเฉลี่ยของถ่านหินที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนจะมีขนาดเฉลี่ยลดลงมากกว่าในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ คาดว่าเกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่อุณหภูมิสูง ซึ่งโครงสร้างของอนุภาคของถ่านหินมีความเปราะบางลงเนื่องจากสารระเหยที่อยู่ภายในระเหยออกไปทำให้อนุภาคถ่านหินบางส่วนบวม และมีโครงสร้างที่เปราะบางกว่าอนุภาคถ่านหินที่อุณหภูมิห้องซึ่งผลจากการเคลื่อนที่ภายในเครื่องปฏิกรณ์ส่งผลต่อการลดขนาดเพียงเล็กน้อย

รูปที่ 4.11 อนุภาคของแข็งภายหลังจากการทดลองในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ ใช้แก๊สไนโตรเจนป็นแก๊สพา

ตารางที่ 4.5 ขนาดเฉลี่ยของถ่านหินแต่ละชนิดก่อนและหลังทดลองที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สพา

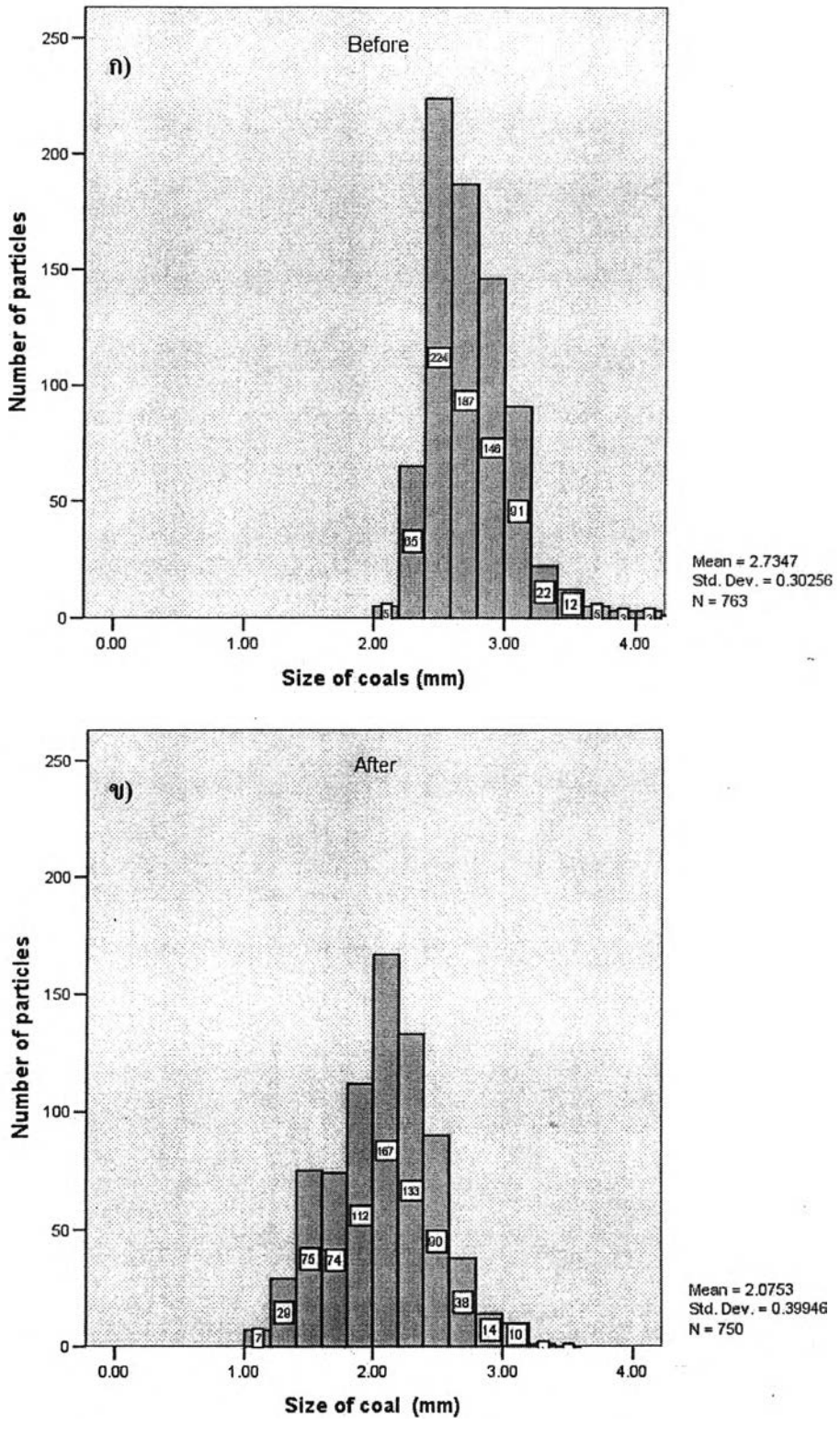
ชนิดของถ่านหิน	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย (mm)		% Reduction
	ก่อน	หลัง (CFB)	
ถ่านหินแม่ทะ	2.73 ± 0.30	2.07 ± 0.40	24.18 %
ถ่านหินลานนา	2.76 ± 0.27	1.89 ± 0.39	31.51 %
ถ่านหินอินโดนีเซีย	2.98 ± 0.39	1.86 ± 0.37	37.58 %

เมื่อนำข้อมูลของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร มาเปรียบเทียบจะพบว่าการกระจายขนาดของอนุภาคที่มาจากของผสมระหว่างอนุภาคของถ่านหินที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร กับทรายซึ่งใช้เป็นเบด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการกระจายขนาดของอนุภาคทรายเมื่อมีเพียงทรายเป็นวัสดุเพียงอย่างเดียวในเครื่องปฏิกรณ์ จะเห็นได้ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของการกระจายขนาดเกิดขึ้น จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าการกระจายขนาดของอนุภาคผสมของถ่านหินทั้ง 3 ชนิด เลื่อนไปทางซ้ายมากขึ้น แสดงให้เห็นถึงผลการลดขนาดเนื่องจากกระบวนการแฟรกเมนเทชันขั้นปฐมภูมิ มีอิทธิพลต่อการลดขนาดของถ่านหินมากกว่ากระบวนการแอตทริชัน เนื่องจากสารระเหยที่อยู่ภายในอนุภาคถ่านหินเกิดการระเหยออกมาอย่างรวดเร็วทำให้อนุภาคถ่านหินระเบิดและแตกออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กๆ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการกระจายขนาดที่ชัดเจนมากกว่าผลกระทบเนื่องจากการชนกันของอนุภาคภายในเครื่องปฏิกรณ์ ซึ่งจะสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงขนาดเฉลี่ยของถ่านหินทั้ง 3 ชนิด หลังจากผ่านกระบวนการ

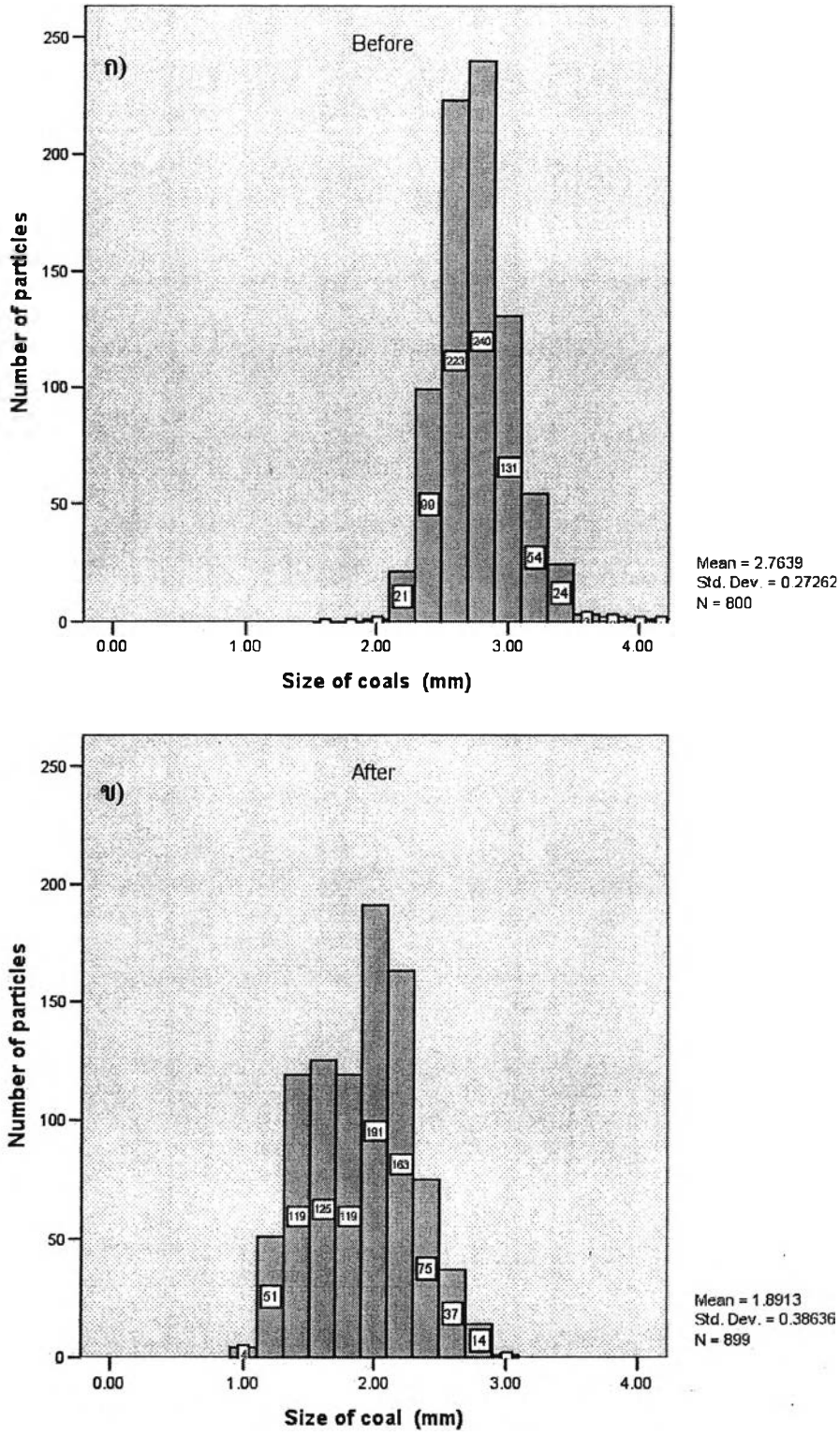
ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การลดขนาดของถ่านหินแต่ละชนิดภายในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ และเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้แก๊สไนโตรเจนเป็นแก๊สพา

ชนิดของถ่านหิน	% Reduction of coal particles	
	Batch*	CFB
ถ่านหินแม่ทะ	22.34 %	24.18 %
ถ่านหินลานนา	20.29 %	31.51 %
ถ่านหินอินโดนีเซีย	18.12 %	37.58 %

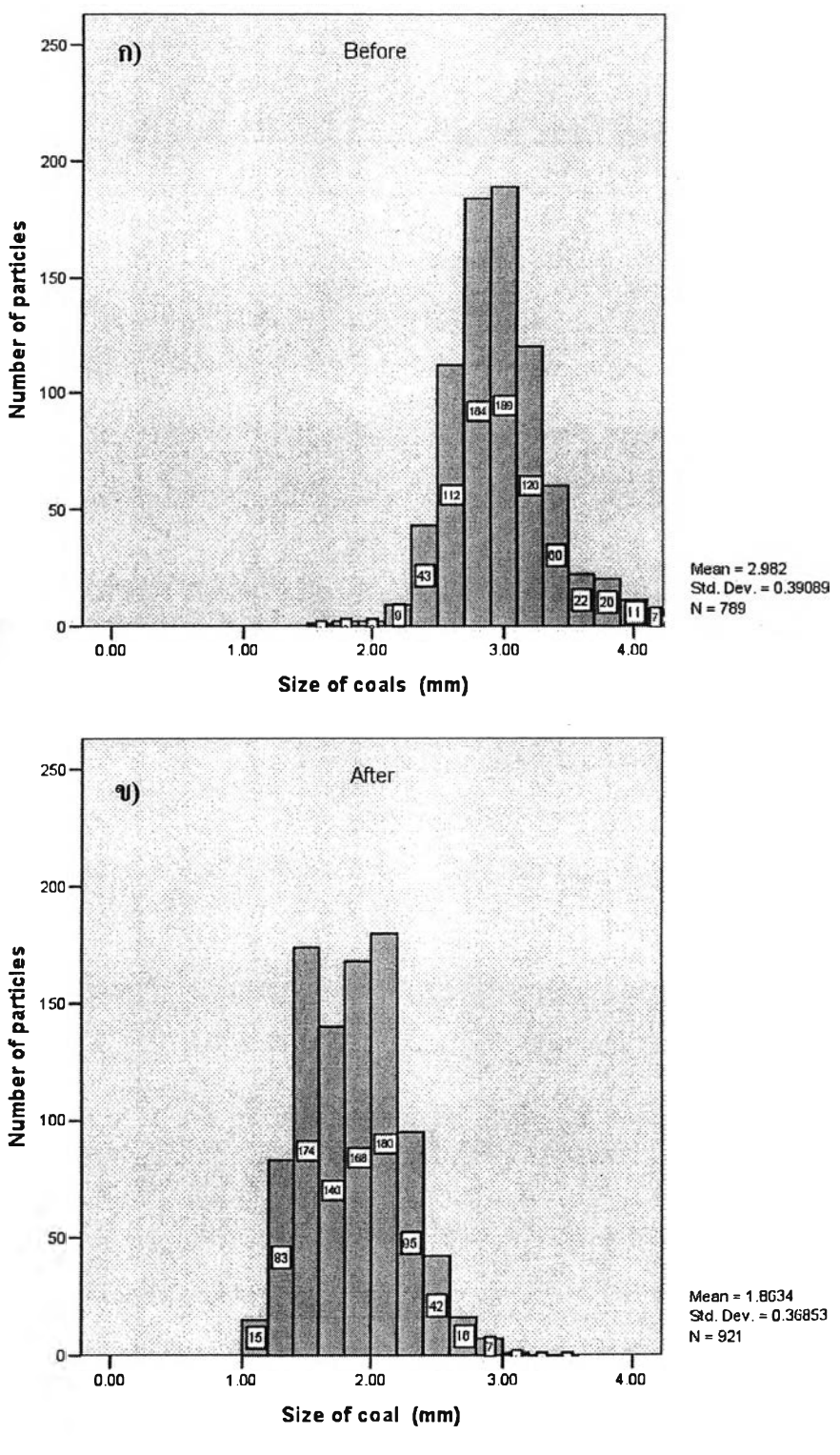
*ขนาดเฉลี่ยของถ่านหินที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.12 การกระจายขนาดของถ่านหินแม่ทะในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน ของอนุภาคที่ขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สพา ก) การกระจายขนาดก่อนการทดลองและ ข) การกระจายขนาดหลังการทดลอง

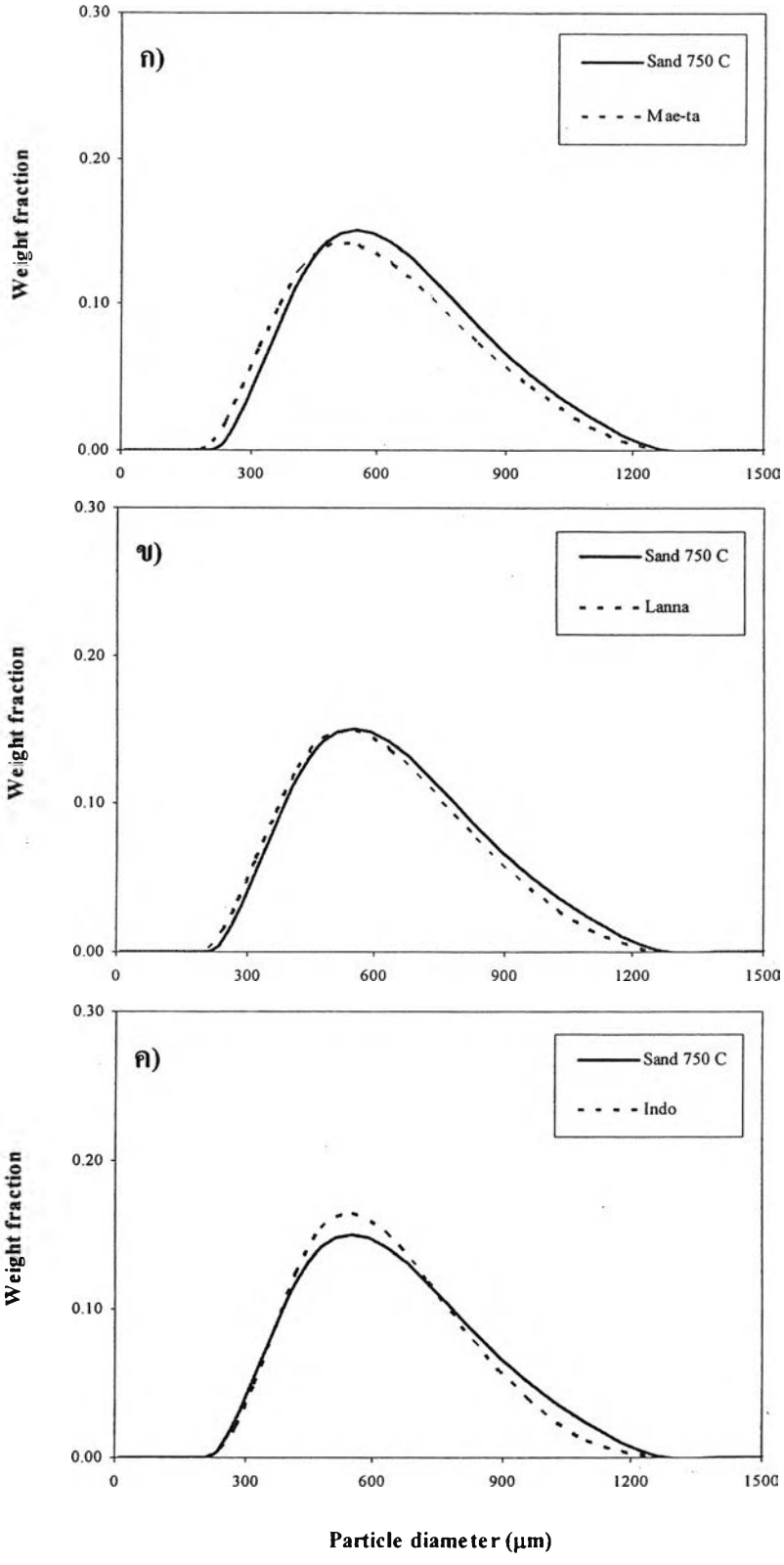


รูปที่ 4.13 การกระจายขนาดของถ่านหินลานนาในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน ของอนุภาคที่ขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ ใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สพา ก) การกระจายขนาดก่อนการทดลองและ ข) การกระจายขนาดหลังการทดลอง



รูปที่ 4.14 การกระจายขนาดของถ่านหินอินโดนีเซียในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน ของอนุภาคที่ขนาดใหญ่กว่า 1 มิลลิเมตร อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้ไนโตรเจนเป็นแก๊สพา

ก) การกระจายขนาดก่อนการทดลองและ ข) การกระจายขนาดหลังการทดลอง



รูปที่ 4.15 การกระจายขนาดของอนุภาคผสมระหว่างเบดกับถ่านหินแต่ละชนิดที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ภายในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ ก) ถ่านหินแม่ทะ ข) ถ่านหินลานนา ค) ถ่านหินอินโดนีเซีย

4.3.3 ผลการแฟรกเมนเทชันขั้นทุติยภูมิ

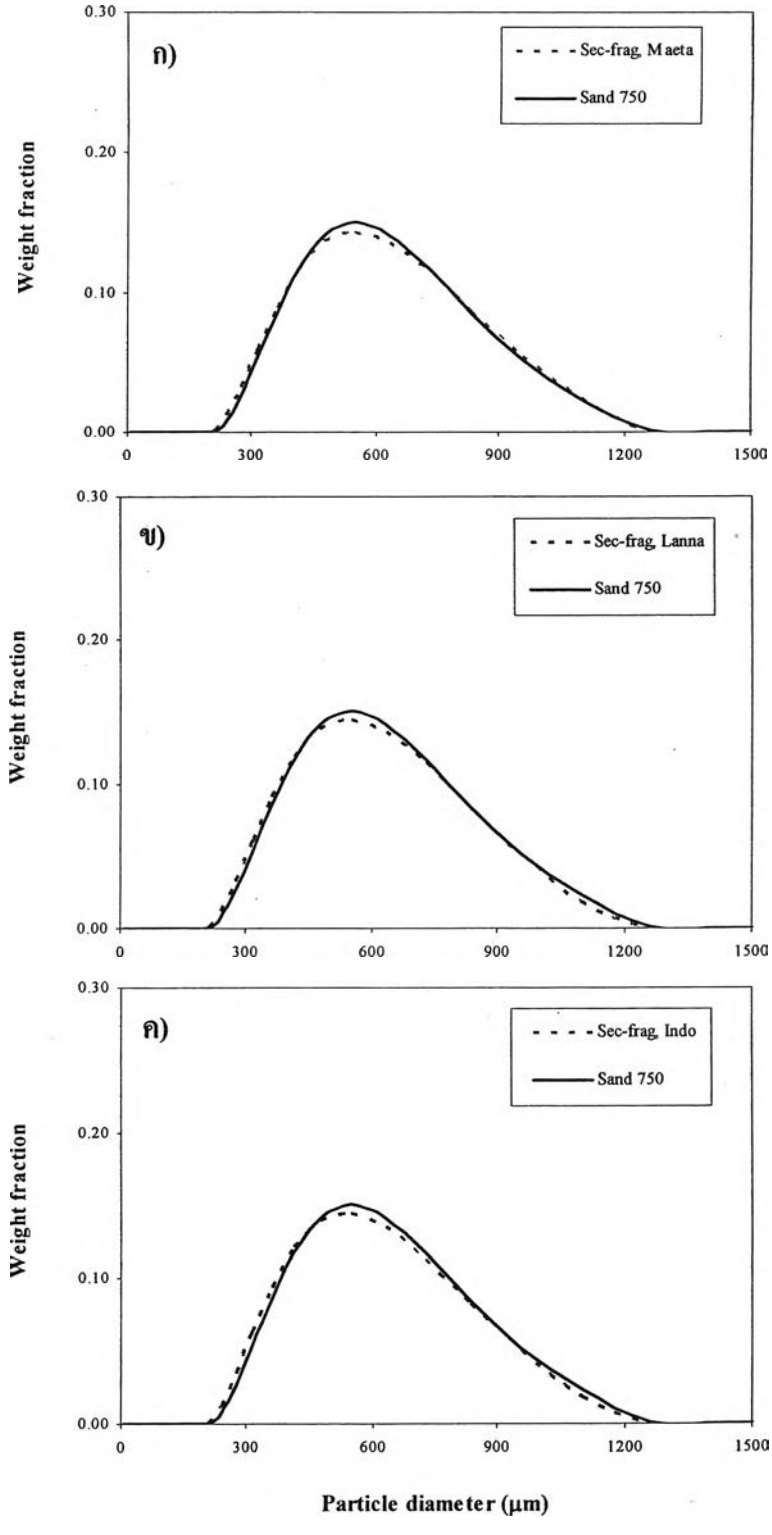
ทำการเดินเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียนกับถ่านหิน 3 ชนิดดังที่กล่าวมาแล้ว ที่อุณหภูมิ 750 และ 850 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ และใช้อากาศแก๊สพา เพื่อสังเกตลักษณะการลดขนาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของกระบวนการเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้โครงสร้างภายในของถ่านหินเปราะบางและไม่ทนต่อแรงที่มากระทำต่ออนุภาค ทำให้แตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ เรียกกระบวนการนี้ว่า "แฟรกเมนเทชันขั้นทุติยภูมิ" ภายในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน ใช้เวลาเท่ากับการทดลองที่ 4.2.1 เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการลดขนาดที่เกิดขึ้น ระหว่างกระบวนการ Devolatilization กับกระบวนการเผาไหม้ จากนั้นเก็บตัวอย่างนำไปแยกขนาดโดยผ่านตะแกรงร่อนขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อแยกอนุภาคของเบดออกจากถ่านหินโดยประมาณ แต่เนื่องจากเชื้อเพลิงมีการเผาไหม้ จึงทำให้อนุภาคที่เหลืออยู่เพียงแต่อนุภาคเบดเท่านั้น ดังรูปที่ 4.16 แสดงอนุภาคภายหลังการทดลองที่อุณหภูมิ 750 และ 850 องศาเซลเซียส สังเกตได้ว่าไม่มีอนุภาคถ่านหินเหลืออยู่เลย

จากผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Particle size distribution analyzer เพื่อสังเกตการกระจายขนาดของอนุภาคที่เหลืออยู่พบว่า รูปที่ 4.17 – 4.18 แสดงการกระจายขนาดของอนุภาคผสมที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิ 750 และ 850 องศาเซลเซียส จะเห็นได้ว่าการกระจายขนาดอนุภาคผสมที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงไปจากการกระจายขนาดของอนุภาคทรายเมื่อมีทรายเป็นเบดเพียงอย่างเดียวเล็กน้อยเท่านั้น แต่ที่อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส จะมีการกระจายขนาดในช่วงประมาณ 100 ไมโครเมตร เพิ่มขึ้นมาอีกเล็กน้อย ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากการชนกันของอนุภาคภายในเครื่องปฏิกรณ์ทำให้อนุภาคบางส่วนมีขนาดเล็กลง แต่การกระจายขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ที่เกิดจากผลของแฟรกเมเทชันขั้นทุติยภูมิ จะเห็นได้ว่าแทบจะไม่มีความแตกต่างไปจากการกระจายขนาดเนื่องจากผลของแฟรกเมนเทชันขั้นปฐมภูมิเลย แสดงให้เห็นว่า ผลของการลดขนาดเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้จะมีผลทำให้เชื้อเพลิงที่ใช้เกิดการเผาไหม้ตัวเองกลายเป็นขี้เถ้า ซึ่งส่วนหนึ่งก็จะลอยออกไปผ่านไซโคลน และบางส่วนก็จะยังคงรวมอยู่กับเบดทำให้การกระจายขนาดของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย

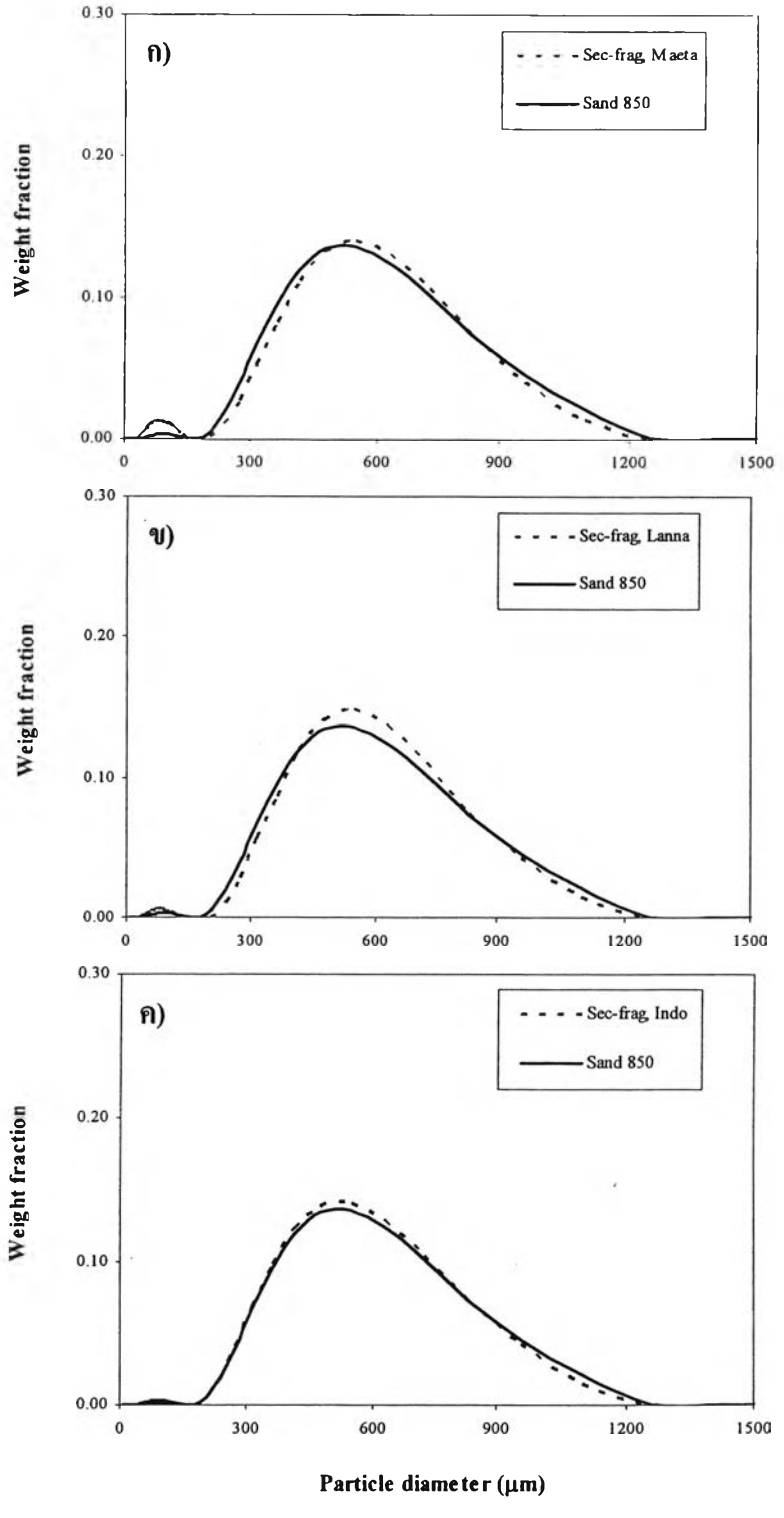
ก)

ข)

รูปที่ 4.16 อนุภาคของแข็งภายหลังจากการทดลองในเครื่องฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน
ก) อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส และ ข) อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.17 การกระจายขนาดของอนุภาคผสมระหว่างเบดกับถ่านหินแต่ละชนิด ที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ภายในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ หลังจากเกิดแฟรกเมนเทชันขั้นทุติยภูมิ ก) ถ่านหินแม่ทะ ข) ถ่านหินลานนา ค) ถ่านหินอินโดนีเซีย



รูปที่ 4.18 การกระจายขนาดของอนุภาคผสมระหว่างเบดกับถ่านหินแต่ละชนิด ที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ภายในเครื่องปฏิกรณ์ฟลูอิไดซ์เบดแบบหมุนเวียน อุณหภูมิ 850 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ หลังจากเกิดแฟรกเมนเทชันขั้นทุติยภูมิ ก) ถ่านหินแม่ทะ ข) ถ่านหินลานนา ค) ถ่านหินอินโดนีเซีย