การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบหมุนเวียน

FLUIDIZED BIOMASS COMBUSTION BEHAVIORS IN A CIRCULATING-BED

ฐิติวัจน์ ผุนลาวงษ์ พงษ์เจต พรหมวงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนน ฉลองกรุง เขต ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198 E-mail: kppongje@kmitl.ac.th
Thitiwat Phunlawong[1] Pongjet Promvonge[1]*
[1]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520
Tel: 0-2326-4197, Fax: 0-2326-4198 E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ ได้นำเสนอถึงการศึกษาในเชิงทดลองเกี่ยวกับพฤติกรรม การเผาไหม้ในเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบดและการศึกษาถึงอิทธิพลของผนังเตาเผาที่เป็นแบบผิวเรียบทางด้านและฟรีบอร์ดใหญ่โดยนำไซโคลนใส่ไว้ด้านใน กรณีของการทดลองได้ทำการทดลองที่อัตราการไหลเชิงมวลของแกลบที่ 6-12 kg/hr โดยทำการปรับเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกิน 3 ค่า คือ 20%, 40% และ 60% โดยทำการวัดและสังเกตการณ์กระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่าง ๆภายในเตา, ขี้เถ้า, ควันที่ออกมากับก๊าซไอเสีย จากการทดลองอัตราการไหลเชิงมวลของแกลบที่ 9 kg/hr และอากาศส่วนเกินที่ 60% มีการเผาไหม้ดีที่สุด หลังจากนั้นทำการปรับท่อลมหลัก 3 ค่า คือ 50%, 40% และ 30% ของอากาศทั้งหมด ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าที่อากาศ 40% มีการเผาไหม้ดีที่สุด ซึ่งจะมีอุณหภูมิไอเสียระหว่าง 700-750°C ส่วนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้อยู่ที่ 950°C จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100–300 ppm ก๊าซ NO อยู่ระหว่าง 100-300 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 97-99%

ABSTRACT

This paper presents an experimental study of a fluidized-bed on rice husk combustion characteristics. The experiments were made of the fluidized bed with a large freeboard having a cyclone inside. Each type of the beds was tested for the same mass flow rates of rice husk ranging from 6–12 kg/hr and for percent excess air of 20%, 40% and 60%. Temperature distributions inside the bed were measured at selected locations and fly ash, smoke and exhaust gas emissions were observed and measured by a gas analyzer. Optimum test run was found at the excess air of 60% and mass flow rates of rice husk of 9 kg/hr. Varying primary air at 50%, 40% and 30% of total air was also studied. From experimental results, maximum flue gas temperatures for each beds are found between 700 and 750°C and the maximum temperature in the combustor is about 950°C for the case 40%. From exhaust gas emission measurements, it is found that CO is in a range of 100–300 ppm, NO between 100 and 300 ppm and combustion efficiency ranging from 97% to 99%

1. บทนำ

ในการที่จะนำแกลบมาเป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงานความร้อน จำเป็นที่จะต้องหาเทคโนโลยีหรือเทคนิคมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสร้างเตาเผา อาทิเช่น เตาเผาไซโคลน, เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด, เตาเผาวอร์เทค เป็นต้น ในที่นี้จะให้ความสำคัญกับเทคโนโลยีฟลูอิดไดซ์เบด แต่เนื่องด้วยแกลบจัดเป็นเชื้อเพลิงแข็งชนิดหนึ่งและเป็นเชื้อเพลิงแข็งที่เบามากหากจะใช้เทคโนโลยีฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งจากการศึกษา พบว่า วิธีการของฟลูอิดไดซ์เบดนั้นต้องการห้องเผาไหม้ (ฟรีบอร์ด) ที่สูงมากเพื่อลดอัตราการหลุดลอยของอนุภาคเชื้อเพลิงและทำให้อนุภาคอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นห้องเผาไหม้แบบทรงกระบอกผิวเรียบขนาดใหญ่และมีความสูงมาก ซึ่งหากจะนำเตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมภายในครัวเรือนควรให้มีขนาดเล็กและมีเสถียรภาพทางอุณหภูมิที่ดีด้วย

ดังนั้น จึงเกิดแนวความคิดที่จะนำเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบผิวเรียบ มีฟรีบอร์ดใหญ่ และนำไซโคลนใส่เข้าไปด้าน เข้ามาใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ ซึ่งสามารถทำให้การคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงแกลบกับอากาศและระยะเวลาที่เชื้อเพลิงอยู่ในห้องเผาไหม้นานขึ้น สามารถที่จะทำให้ห้องเผาไหม้มีขนาดเล็กและสั้นลงได้

2. วัตถุประสงค์

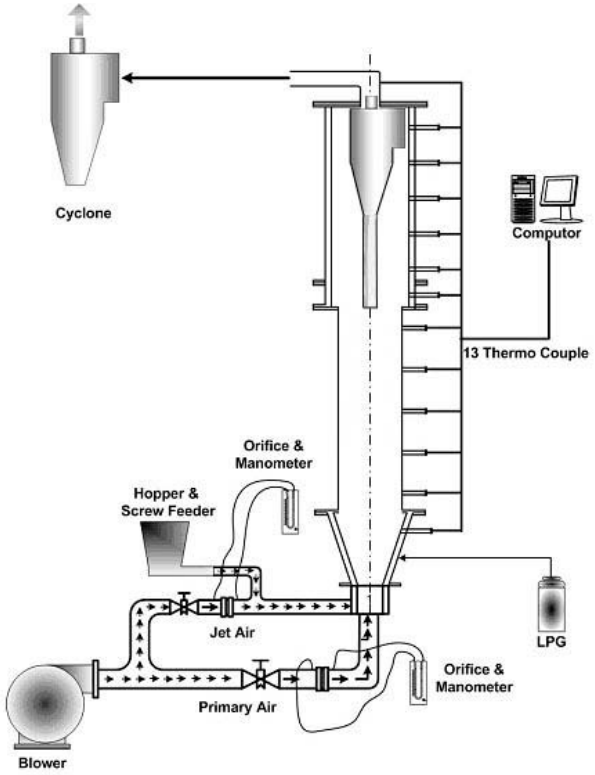
จากแนวคิดดังกล่าวจึงได้ทำการศึกษาและพัฒนาเตาเผาแกลบฟลูอิดไดซ์เบดและทำการศึกษาถึงอิทธิพลของหอทดลองที่มีผลต่อลักษณะการเผาไหม้ อีกทั้งศึกษาถึงอิทธิพลของเตาเผาลักษณะต่าง ๆต่อการกระจายอุณหภูมิในตำแหน่งต่าง ๆภายในเตา, ขี้เถ้าที่ออกมากับก๊าซไอเสียและศึกษาถึงผลของการปรับเปลี่ยนลมที่เข้าตรงตามแนวแกน (ลมหลัก) และลมแนวเข้าตามแนวผิวท่อ (ลมรอง) โดยใช้เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบมีฟรีบอร์ดใหญ่และใส่ไซโคลนด้านใน เข้ามาใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ ทำให้สามารถลดความสูงของห้องเผาไหม้ได้ ไม่เกิดการแยกชั้นของการไหลของอนุภาค ช่วยให้เชื้อเพลิงสามารถอยู่ภายในห้องเผาไหม้นานขึ้นทำให้มีเวลาเพียงพอในการทำปฏิกริยา

3. ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทดลองเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบมีฟรีบอร์ดใหญ่ และมีไซโคลนด้านใน
2. เชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบขนาดปกติ (ประมาณ 2 มม. x 8 มม.)
3. ใช้อากาศส่วนเกิน 20%, 40% และ 60% ของอัตราส่วนผสมของอากาศแบบพอดี อัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแกลบอยู่ระหว่าง 0.1–0.2 kg/min
4. ทำการศึกษาถึงผลกระทบของการปรับเปลี่ยนลมที่เข้าตรงตามแนวแกน (ลมหลัก) เป็น 50%, 40% และ30% จากลมที่เข้าทั้งหมด ที่อากาศส่วนเกิน 40%
5. ทำการวัดการกระจายอุณหภูมิภายใน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ในแนวแกนที่กำหนดไว้ของเตาเผา 11 ตำแหน่ง การกระจายอุณหภูมิในแนวรัศมี 5 ตำแหน่ง อุณหภูมิห้องผสม 1 ตำแหน่ง อุณหภูมิไอเสีย 1 ตำแหน่ง
6. วิเคราะห์ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น และ ขี้เถ้า เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเตาเผา

4. อุปกรณ์และวิธีการ

เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดมีขนาดความสูงห้องเผาไหม้ 2,100 mm. เส้นผ่าศูนย์กลางภายในห้องเผาไหม้ 200 mm. เส้นผ่าศูนย์กลางภายในฟรีบอร์ด 400 mm. สำหรับห้องผสมมีลักษณะเป็นทรงกรวยมีความสูง 300 mm. ด้านนอกของผนังห้องเผาไหม้และห้องผสมได้ทำการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียออกจากระบบ ที่ผนังของห้องเผาไหม้ได้ทำการติดตั้งตำแหน่งวัดอุณหภูมิทั้งสิ้น 11 ตำแหน่ง ตามระยะที่ได้ทำการกำหนดไว้ แสดงดังรูปที่ 1 ไอเสียหลังจากเผาไหม้แล้วจะถูกวัดอุณหภูมิและนำออกจากห้องเผาไหม้ทางด้านบนของห้องเผาไหม้ ระบบป้อนเชื้อเพลิงสามารถป้อนเชื้อเพลิงเข้าเตาเผาอย่างต่อเนื่อง และสามารถปรับอัตราการไหลของเชื้อเพลิงตามที่ต้องการ ระบบป้อนเชื้อเพลิงประกอบด้วย Inverter, Motor, Screw Feed และ Hopper การวัดอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ และอากาศทุติยภูมิใช้ ออริฟิส (Orifice) และค่าความดันตกคร่อมที่ผ่านออริฟิสสามารถอ่านค่าโดยใช้มาโนมิเตอร์ (Manometer) เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าอัตราการไหล และอุณหภูมิภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด ถูกวัดโดยเทอร์โมคับเปิลชนิด K ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นจากการทดลองสามารถวิเคราะห์ค่าปริมาณของแก๊สต่าง ๆที่ออกมาด้วยเครื่องวิเคราะห์ไอเสีย TESTO TESTO 350M XL และสมมติให้ระบบที่ทำการศึกษาเป็นระบบแบบอะเดียบาติกและเชื้อเพลิงแกลบที่ใช้ในการทดลองเป็นแกลบขนาดปกติ (2 มม. x 8 มม.)



รูปที่ 1 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาฟลูอิไดซ์เบด

5. การทดลองและบันทึกผลการทดลอง

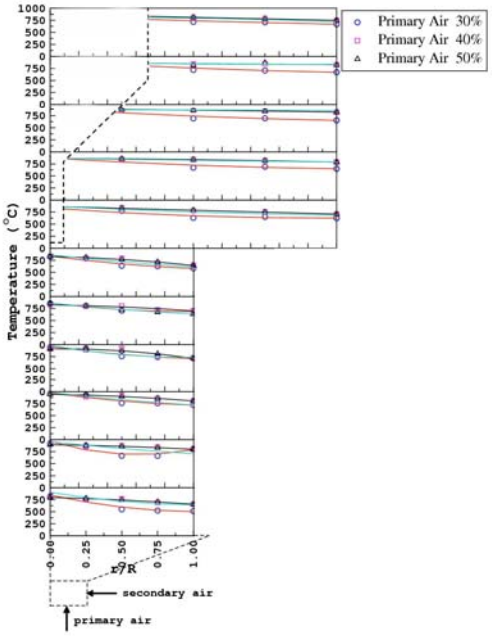
1. ทำการอุ่นเตา โดยใช้เชื้อเพลิงก๊าซ LPG จนกระทั่งอุณหภูมิ ภายในเตามีค่าประมาณ 500 ^{o}C - 650^{o}C จากนั้นเริ่มป้อนเชื้อเพลิงแกลบ (มีขนาดประมาณ 2 mm. x 8 mm.) เข้าสู่ห้องเผาไหม้พร้อมกับอากาศปฐมภูมิ จนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาประมาณ 700^{o}C - 750^{o}C แล้วทำการเอาชุดอุ่นเตาออก
2. อัตราการป้อนของเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 9 kg/hr, อัตราการไหลของอากาศ 77.3 kg/hr
3. บันทึกค่าอุณหภูมิภายในที่ตำแหน่งตามแนวแกนที่ 400 mm., 600 mm., 800 mm., 1,000 mm., 1,200 mm., 1,350 mm., 1,500 mm., 1,700 mm., 1,900 mm., 2,100 mm.และ 2,300 mm. ตามลำดับ ที่ระยะ r/R= 0.25 บันทึกผลของอุณหภูมิ สังเกตลักษณะขี้เถ้า และควันที่เกิดจากการเผาไหม้ และวัดค่าไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

4. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 3 ที่ตำแหน่งตามแนวแกนที่กำหนดไว้ ที่ระยะ r/R = 0.25, 0.50, 0.75 และ1.0 ตามลำดับ
5. อัตราการป้อนเชื้อเพลิงแกลบอยู่ที่ 6-12 kg/hr แล้วทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ 3-4
6. ทำการทดลองผลของการปรับเปลี่ยนลมด้านหลัก เป็น 50%, 40%, และ 30% ของลมเข้าทั้งหมดตามลำดับ

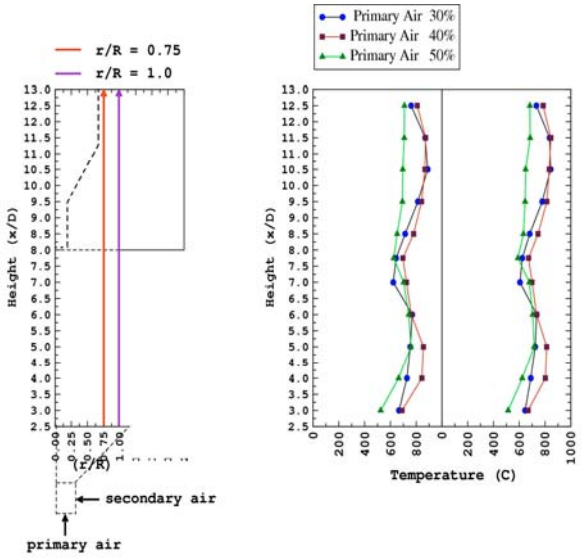
*r/R คือ อัตราส่วนระหว่างตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิในแนวรัศมีกับรัศมีภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด

6. ผลการทดลอง

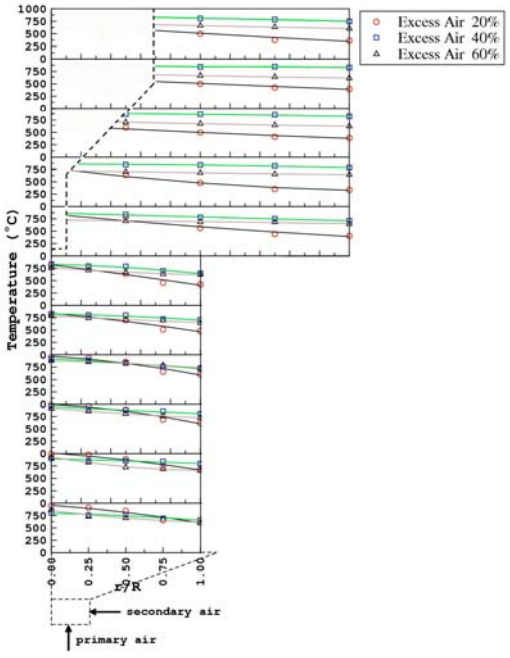
จากการทดลองอัตราการไหลเชิงมวลของแกลบที่ 9 kg/hr และอากาศส่วนเกินที่ 60% มีการเผาไหม้ดีที่สุด หลังจากนั้นทำการปรับท่อลมหลัก 3 ค่า คือ 50%, 40% และ 30% ของอากาศทั้งหมด ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนลมหลักที่ 40% ของลมเข้าทั้งหมด มีการเผาไหม้ดีที่สุด ซึ่งจะมีอุณหภูมิไอเสียระหว่าง 700-750°C ส่วนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้อยู่ที่ 950°C จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100–300 ppm ก๊าซ NO อยู่ระหว่ง 100-300 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 97-99%



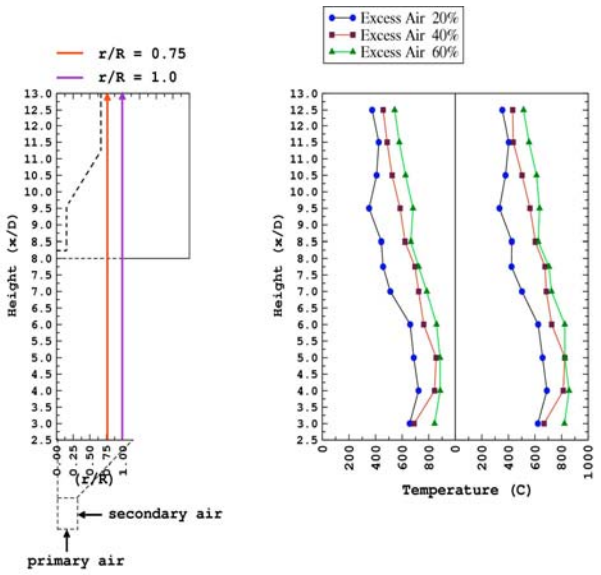
รูปที่ 2 แสดงอุณหภูมิตามแนวรัศมีของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบมีไซโคลนอยู่ด้านใน ปรับเปลี่ยนลมด้านหลัก เป็น 50%, 40% และ 30% ของลมเข้าทั้งหมดตามลำดับ



รูปที่ 3 แสดงอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบมีไซโคลนอยู่ด้านในที่ปรับเปลี่ยนลมด้านหลัก เป็น50%, 40% และ 30% ตามลำดับ



รูปที่ 4 แสดงอุณหภูมิตามแนวรัศมีของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบมีไซโคลนอยู่ด้านในอัตราการป้อน 9kg/hr ที่อากาศส่วนเกิน 20%, 40%, 60% ตามลำดับ



รูปที่ 5 แสดงอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบมีไซโคลนอยู่ด้านในที่อัตราการป้อน 9kg/hr ที่อากาศส่วนเกิน 20%, 40% และ 60% ตามลำดับ

7. สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดที่มีลักษณะของห้องเผาไหม้ที่ต่างชนิดกัน การทดลองนี้ได้ทำการทดลองเพื่อทำการเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้นโดยทำการทดลองที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 9kg/hr และแน่นอนว่าการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงแข็งจำเป็นต้องมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกินในปริมาณที่มาก ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการศึกษาที่ค่าเปอร์เซ็นต์ของอากาศส่วนเกิน 20%, 40% และ 60% ตามลำดับ และเปอร์เซ็นต์อากาศส่วนเกิน 60% ให้ผลดีสุด ปรับด้านลมหลักเป็น 30%, 40% และ 50% จากลมที่เข้าทั้งหมดที่อากาศส่วนเกิน 60% ซึ่งอัตราส่วน 40% ให้ผลทางด้านการเผาไหม้ และ ผลทางด้านความร้อนดีสุด โดยเตาเผาจะมีอุณหภูมิไอเสียระหว่าง 700-750°C ส่วนอุณหภูมิในห้องเผาไหม้อยู่ที่ 950°C จากการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียปริมาณของก๊าซ CO อยู่ระหว่าง 100–300 ppm ก๊าซ NO อยู่ระหว่าง 100-300 ppm และประสิทธิภาพการเผาไหม้อยู่ระหว่าง 97 – 99%

เอกสารอ้างอิง

[1] นายวุฒิ แจ่มอ้น และ คณะ “การศึกษาพฤติกรรมการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดผิวคลื่น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.

[2] นายดิษฐพร ตุงโสธานนท์ “พฤติกรรมการเผาไหม้แกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดผิวคลื่น” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง, 2548.

[3] เสรีย์ ตู้ประกาย “การศึกษาและออกแบบเตาเผากากตะกอนแบบฟลูอิดไดซ์เบด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540

[4] สุวิทย์ เตีย และคณะ (2542) “ การเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด ” วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม, หน้า 47 - 63.

[5] สำเริง จักรใจ “การเผาไหม้” พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547

[6] ศศิวิมล สูงสว่าง “การเผาไหม้แกลบในฟลูอิดไดซ์เบด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.

[7] Daizo K., Octave L., Fluidization Engineering. Butterworth-Heinemann. Second Editions,1991.

[8] Lin. C.H., Teng J.T. and Chyang C.S., “ Evatuation of the Combustion Efficiency and Emission of Pollutants by Coal Particles in a Vortexing Fluidized Bed, Combustion and Flame”, 1997, Vol.110, pp. 163 – 172.

[9] Nieh S. and Yang G., “Particle Flow Pattern in the Free board of a Vortexing Fluidized Bed, Powder Technology, 1987, Vol. 50, pp. 121 – 131.

[10] Nieh, S. Yang G., Zhu A.Q and Zhao C.S. “Measurements of gas – particle flows and elutriation of an 18 inch i.d. cold Vartexing fluidized – bed combustion mode Powder Technology, 1992, Vol. 69, pp. 139 – 146.

[11] Parmchart W., Kouprianov V.I. and Tantimuratha L. “Experimental study on a conical fluidized bed Combustor firing rice husk” The Second Regional Conference on Energy Technology Towords a Clean Enviroment, 12 – 14 February 2003, Phuket, Thailand.

[12] Stephen R., Turns, An Introduction to Combustion (Concepts And Applications). McGrawHill International Editions, 1996, pp. 19.