

การศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรที่มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบ หมุนวน

A Study and Parameter Analysis on Temperature Distribution in A Rice Husk Fired Swirl Combustor

วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล *

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

235 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10163

โทร. 0-2457-0068, โทรสาร 0-2457-3982, E-mail: wisitle17@yahoo.com, wisit.l@siam.edu

Wisit Lelaphatikul *

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University

235 Petkasam Road, Phasicharoen, Bangkok 10163

Tel. 0-2457-0068, Fax 0-2457-3982, E-mail: wisitle17@yahoo.com, wisit.l@siam.edu

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลอง ตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้แบบหมุนวน โดยตัวแปรที่ทำการทดลอง ได้แก่ ตำแหน่งของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ, ตำแหน่งการฉีดอากาศทุติยภูมิ, อัตราส่วนสมมูล และ อัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด โดยห้องเผาไหม้ปฐมภูมิมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ (D) 0.3 m ส่วนห้องเผาไหม้ทุติยภูมิมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.225 m มีความสูงรวมเท่ากับ 1.2 m ในการทดลองสามารถทำการปรับเปลี่ยนตำแหน่งห้องเผาไหม้ทุติยภูมิได้ 2 ตำแหน่ง (h/D) คือ 1.0 และ 2.0 ซึ่งจะมีการติดตั้งท่อฉีดอากาศไว้ในแนวสัมผัสรอบ ๆ ผนังห้องเผาไหม้ มีทั้งสิ้น 3 ตำแหน่ง (H/D) คือ 1.5, 2.5 และ 3.5 เพื่อให้อากาศภายในเกิดการไหลแบบหมุนวน โดยแต่ละการทดลองกำหนดค่าอัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด(λ) คงที่เท่ากับ 0.2 กำหนดค่า equivalence ratio (Φ)เท่ากับ 0.7, 0.85 และ 1.0 ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแบบคงที่เท่ากับ 0.2 kg/min จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ห้องเผาไหม้ทุติยภูมิที่ตำแหน่ง (h/D) เท่ากับ 1.0, และ ตำแหน่งการฉีดอากาศทุติยภูมิ (H/D) เท่ากับ 3.5, Φ เท่ากับ 1.0 จะให้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 1,000 °C และพบว่าก๊าซไอเสียที่วัดจากทางออกท่อไอเสียประกอบด้วย O₂= 3.8 %, CO₂= 21.1 % และ CO= 328 ppm คาร์บอนที่เกิดขึ้นมีปริมาณต่ำ

คำสำคัญ: ห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ, ห้องเผาไหม้ปฐมภูมิ, การไหลอากาศแบบหมุนวน, อากาศทุติยภูมิ

Abstract

This paper presents the experimental study of the secondary chamber position and the injection position of the secondary air on combustion behaviors in a swirl combustor for rice husk fuel. The primary combustion chamber is 0.3 m in diameter (D) and the secondary combustion chamber is 0.225 m in diameter and 1.2 m in height. The position of the secondary combustion chamber is designed to be adjustable at two-positions (h/D), 1.0 and 2.0 as desired with a set of secondary air nozzles placing circumferentially on the chamber is set to be three-positions (H/D), 1.5, 2.5 and 3.5 to produce air-swirl flow inside. The ratio of volumetric flow rates of the secondary air to total air (λ) was set to be 0.2. The equivalence ratios (Φ) are adjusted to be 0.7, 0.85 and 1.0. The feed rate of rice husk was held constant at 0.2 kg/min. Experimental results show that the maximum temperature of about 1,000 °C when the secondary chamber position (h/D) is 1.0 and the injection position of the secondary air (H/D) is 3.5, Φ = 1.0 with less smoke of flue gas. The emission of exhaust gas from stack is composed of O₂= 3.8 %, CO₂= 21.1 % and CO= 328 ppm.

Keywords: primary combustion chamber, secondary combustion chamber, air-swirl flow, secondary air

* Corresponding author

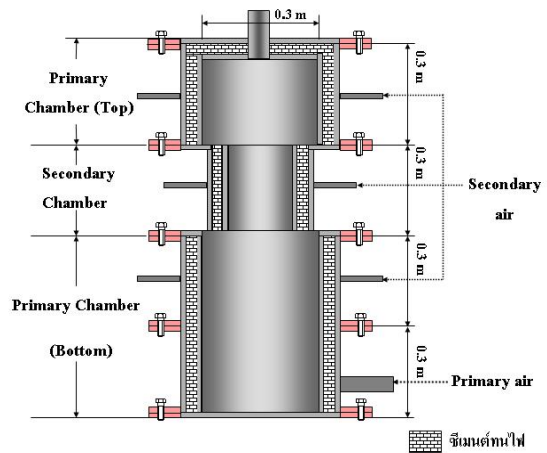
1. บทนำ

ในปัจจุบัน ในแต่ละประเทศใช้พลังงานจากน้ำมันปิโตรเลียมและถ่านหิน ซึ่งเป็นพลังงานที่หมดไปเรื่อยๆ และมีแนวโน้มว่าต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้น จึงต้องมองหาวัตถุดิบต่างๆ ที่มีอยู่ มาใช้เป็นพลังงานทดแทน ประเทศไทยในปัจจุบันต้องซื้อพลังงาน ในรูปแบบของปิโตรเลียมและถ่านหิน มาใช้จึงทำให้ประเทศของเราต้องขาดดุลการค้ากับต่างประเทศมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากใช้พลังงานมากขึ้นเรื่อยๆ จึงมองไปยังวัตถุดิบต่างๆ ที่แปรรูปเป็นพลังงาน โดยมองที่วัตถุดิบที่เหลือใช้ในประเทศ เช่น ขยะ ชี๊เลื้อย แกลบ ฟางข้าว แอลกอฮอล์จากการหมัก มาประยุกต์ใช้เป็นพลังงานทดแทน เพื่อลดการนำเข้าจากต่างประเทศ ประเทศไทยเป็นประเทศที่ปลูกข้าว ทุกภาคของประเทศ ในที่นี้ให้ความสนใจกับแกลบ ข้าวเปลือก 100 kg. นำไปสีแล้วจะได้ค่าความร้อน (Overall gross calorific value of rice husk) ประมาณ 2,900–4,560 kcal/kg. เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเตา จะได้ค่าความร้อนเพียงครึ่งหนึ่ง แต่ราคาต่ำกว่ามาก เมื่อนำแกลบมาเป็นพลังงานทดแทน จะทำให้ประหยัด ลดการนำเข้า และเป็นวัตถุดิบที่ใช้ได้อย่างเหลือเฟือ ถ้าใช้วิธีการเผาไหม้แกลบในเตาเปิดปกติจะทำให้ได้ปริมาณความร้อนน้อยกว่าที่ควรจะได้ และทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เนื่องจากชี๊เถาที่เกิดจากการเผาไหม้ ฉะนั้นวิธีเผาไหม้เพื่อให้มีประสิทธิภาพของการเผาไหม้ดีที่สุดและสภาพแก๊สที่ออกจากปล่องไฟเป็นมลพิษน้อยที่สุด โดยใช้เทคนิคการหมุนวนของอากาศความเร็วสูงแบบปั่นป่วน ที่มีผู้ได้ศึกษาและนำไปใช้เผาไหม้พวกเชื้อเพลิงถ่านหินและวัสดุชี๊วมวลให้ผลดีมาแล้ว

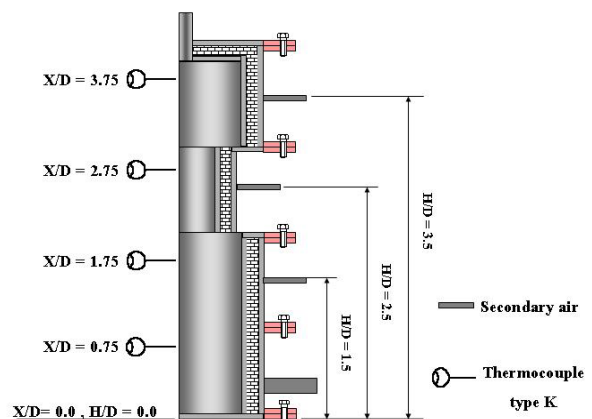
ปัจจุบันได้มีการวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งทำการวิจัยเกี่ยวกับเตาเผาประเภทต่าง ๆ มากมาย ในที่นี้จะกล่าวถึง เตาเผาแบบวอร์เทค ซึ่งผลงานวิจัย อาทิเช่น งานวิจัยของ พงษ์เจต พรหมวงศ์ [2] ทำการศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในช่องว่างภายในห้องเผาไหม้แบบวอร์เทค (Vortex Combustor: VC), งานวิจัยของ Sen Nieh และ Tim T. Fu [1] ได้ทำการทดลองโดยการทดสอบการไหลในเตาแบบจำลอง Hot test model ของเตาแบบวอร์เทคโดยใช้ถ่านหินผงและงานวิจัยต่อเนื่องถึงการทดสอบเตาแบบวอร์เทคโดยใช้เชื้อเพลิง Dry Ultra Find Coal และ Coal Water Fuel

2. อุปกรณ์การทดลอง

การออกแบบเตาเผาที่ใช้ในการทดลองนั้น กำหนดห้องเผาไหม้ปฐมภูมิ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.3 m (D) ส่วนห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.225 m (0.75D) ในการทดลองความสูงที่ติดตั้งของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ ถูกออกแบบให้ปรับเปลี่ยนได้ 2 ระดับ คือ 0.3 m (h/D=1.0) และ 0.6 m (h/D=2.0) ซึ่งในการทดลองนี้ ตำแหน่งของท่อฉีดอากาศทุติยภูมิจะถูกติดตั้งไว้รอบๆ ผนังห้องเผาไหม้ โดยมีตำแหน่งที่ติดตั้งไว้ทั้งสิ้น 3 ระดับ คือ 0.45 m (H/D = 1.5), 0.75 m (H/D = 2.5) และ 1.05 m (H/D = 3.5) เพื่อทำการทดสอบหาการกระจายอุณหภูมิสูงสุด ภายในห้องเผาไหม้แบบหมุนวน ซึ่งมีลักษณะและมิติ ต่างๆ ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2



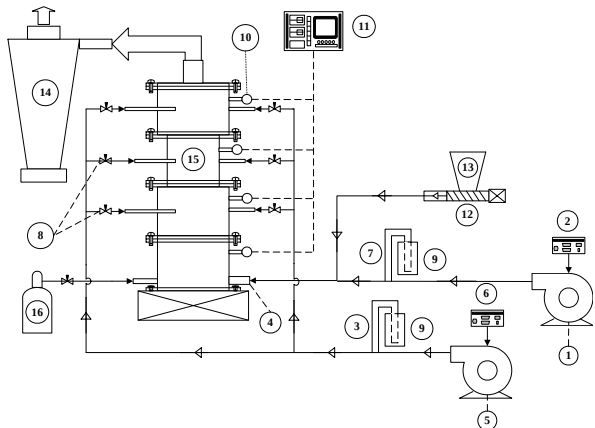
รูปที่ 1 แสดงลักษณะและตำแหน่งของห้องเผาไหม้ ปฐมภูมิ และ ทุติยภูมิ ของเตาเผา วอร์เทค



รูปที่ 2 แสดงตำแหน่งติดตั้งห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ และ ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ 4 ตำแหน่ง

การออกแบบเตาเผา วอร์เทคที่ใช้ในการทดลอง โดยห้องเผาไหม้ปฐมภูมิ (ส่วนล่าง) จะเป็นห้องผสมระหว่างอากาศปฐมภูมิและเชื้อเพลิงแกลบ มีการจัดวางตำแหน่งของท่อป้อนแกลบ กับท่ออากาศปฐมภูมิไว้เข้าด้วยกัน ท่ออากาศทุติยภูมิจะอยู่ตรงกึ่งกลางของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิในแนวสัมผัสเส้นรอบวงทุก ๆ 90 องศา จำนวน 4 จุด ในการติดตั้งอุปกรณ์การทดลองมีหลักการทำงานดังนี้ อากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ได้มาจาก Blower โดยแบ่งอากาศเป็นสองส่วน (ดังรูปที่ 3) คือ อากาศปฐมภูมิ และทุติยภูมิ โดยอากาศปฐมภูมิได้มาจาก Blower ตัวที่หนึ่ง (1) ควบคุมโดยใช้ Inverter ตัวที่หนึ่ง (2) มีแผ่น ออร์ฟิต (Orifice plate) (3) ในการปรับอัตราการไหล และวัดอัตราการไหลตามลำดับของอากาศปฐมภูมิ ส่วนอากาศทุติยภูมิได้มาจาก Blower ตัวที่สอง (5) มีตัวควบคุมโดย Inverter ตัวที่สอง (6) มีแผ่น ออร์ฟิต (Orifice plate) (7) เป็นตัวปรับอัตราการไหลและวัดอัตราการไหลของอากาศทุติยภูมิ ส่วนในการป้อนแกลบจะใช้ Screw feeder (12) ในตอนเริ่มทำการทดลองจำเป็นต้องใช้ก๊าซเชื้อเพลิง LPG (16) เพื่อช่วยในการอุ่นเตาทำให้อุณหภูมิภายใน เตาสูงจนสามารถทำให้เชื้อเพลิงแกลบเกิดการเผา

ไหมด้วยตัวเองได้ การวัดอุณหภูมิใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K (10) วัดการกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ 4 จุด จากตำแหน่งด้านล่างของเตา 0.225 m (X/D = 0.75), 0.525 m (X/D = 1.75), 0.825 m (X/D = 2.75), และ 1.125 m (X/D = 3.75) ตามลำดับ หลังจากนั้นก๊าซไอเสียที่เกิดการเผาไหม้ จะออกทางท่อทิ้งด้านบนของตัวเตา และเข้าสู่ Cyclone (14) เพื่อดักฝุ่นขี้เถ้า



1. Blower of Primary Air, 2. Inverter of Primary Air, 3. Orifice plate of Primary Air, 4. Primary Air nozzle, 5. Blower of Secondary Air, 6. Inverter of Secondary Air, 7. Orifice plate of Secondary Air, 8. Secondary air nozzle, 9. Manometer, 10. Thermocouple type K, 11. Digital thermocouple, 12. Screw feeder, 13. Hopper, 14. Cyclone, 15. Vortex combustor, 16. LPG supply

รูปที่ 3 แสดงแผนผังอุปกรณ์การทดลองเตาเผาแบบวอร์เทกซ์

ตารางที่ 1. ข้อมูลองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ [6]

Composition of rice husk	Percent (%)
Carbon	38.0
Hydrogen	5.70
Oxygen	41.6
Nitrogen	0.69
Sulfur	0.06
Volatile matter	55.6
Fixed carbon	20.1
Moisture	10.3
Ash	14.0

ค่า Equivalence ratio เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้จริงต่อทางทฤษฎี เราจะหาค่า Equivalence ratio ได้จากสมการต่อไปนี้ [3]

$$\Phi = \frac{(m_f / m_a)_{act}}{(m_f / m_a)_{sto}} \quad (1)$$

เมื่อ m_a คือ อัตราการไหลของอากาศ (kg/min)

m_f คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (kg/min)

โดยสัดส่วนผสมจะเรียกว่า

ส่วนผสมหนา Fuel-rich mixture เมื่อ $\Phi > 1$

ส่วนผสมพอดีทางเคมี Stoichiometric เมื่อ $\Phi = 1$

ส่วนผสมบาง Fuel-lean mixture เมื่อ $\Phi < 1$

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุกชนิดต่ออากาศทั้งหมดเป็นตัวแปรที่ศึกษา ในเรื่องของการเพิ่มความปั่นป่วนในขณะเกิดการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้ [5]

$$\lambda = \frac{Q_s}{Q_T} \quad (2)$$

เมื่อ Q_s คือ ปริมาณอากาศทุกชนิด

Q_T คือ ปริมาณอากาศทั้งหมด

3. วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งเตาเผาไหม้วอร์เทกซ์ที่ตำแหน่งความสูง 0.75 m โดยให้ห้องเผาไหม้ทุกชนิดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.75D (D=0.3 m) (ดังรูปที่ 3)
2. ปรับอัตราการไหลของอากาศให้ค่า equivalence ratio เท่ากับ 0.7
3. ปรับค่า $\lambda = 0.2$ (λ คือ อัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุกชนิดต่ออากาศทั้งหมด) ที่ตำแหน่งท่อฉีดอากาศทุกชนิดเท่ากับ H/D = 1.5
4. เริ่มบันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่ง X/D = 0.75, 1.75, 2.75 และ 3.75 ที่ ตำแหน่งวัดอุณหภูมิในแนวรัศมี r/R = 0.0
5. บันทึกอุณหภูมิที่เวลา นาทีที่ 10 และ นาทีที่ 15, บันทึกผลการทดลอง
6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 4 เปลี่ยนตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง X/D = 0.75, 1.75 และ 3.75 จาก r/R = 0.0 เป็น 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ ส่วนที่ตำแหน่ง X/D = 2.75 เปลี่ยนตำแหน่งวัดอุณหภูมิในแนวรัศมีจาก r/R = 0.0 เป็น 0.375 และ 0.75 ตามลำดับ บันทึกผลการทดลอง
7. ทำการทดลองตามข้อที่ 3-6 ปรับอัตราการไหลของอากาศให้ค่า equivalence ratio เท่ากับ 0.85, 1.0 ตามลำดับ บันทึกผลการทดลอง
8. จากข้อที่ 3 เปลี่ยนตำแหน่งฉีดอากาศทุกชนิด จากตำแหน่ง H/D=1.5 เป็น H/D = 2.5 และ 3.5 ตามลำดับ ทำการทดลองซ้ำ ข้อที่ 4-7
9. จากข้อที่ 1 เปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งห้องเผาไหม้ทุกชนิดจากตำแหน่ง 0.75 m เป็น 0.45 m

10. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 4 - 8 โดยเปลี่ยนตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $X/D = 0.75, 2.75$ และ 3.75 จาก $r/R = 0.0$ เป็น 0.5 และ 1.0 ตามลำดับ ส่วนที่ตำแหน่ง $X/D = 1.75$ เปลี่ยนตำแหน่งวัดอุณหภูมิในแนวรัศมีจาก $r/R = 0.0$ เป็น 0.375 และ 0.75 ตามลำดับ บันทึกผลการทดลอง

เมื่อ X คือ ตำแหน่งความสูงวัดอุณหภูมิของเตาเผาเวอร์เทค

H คือ ตำแหน่งฉีดอากาศทุติยภูมิ

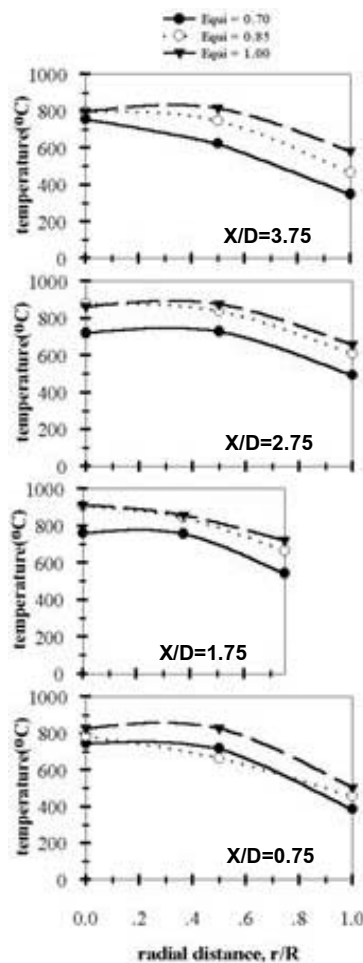
D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้องเผาไหม้

r/R คือ อัตราส่วนระหว่างตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิในแนวรัศมีต่อรัศมีภายในห้องเผาไหม้

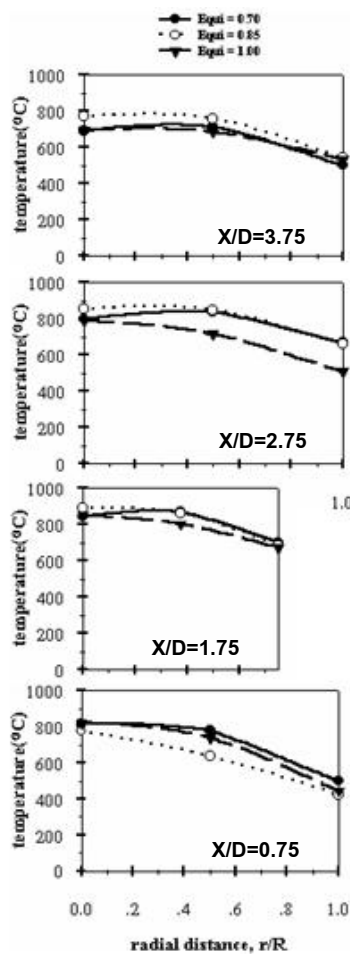
4. ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง จะทำการศึกษาพฤติกรรมการกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ โดยจะพิจารณาจากตำแหน่งห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ และ ตำแหน่งฉีดอากาศทุติยภูมิ

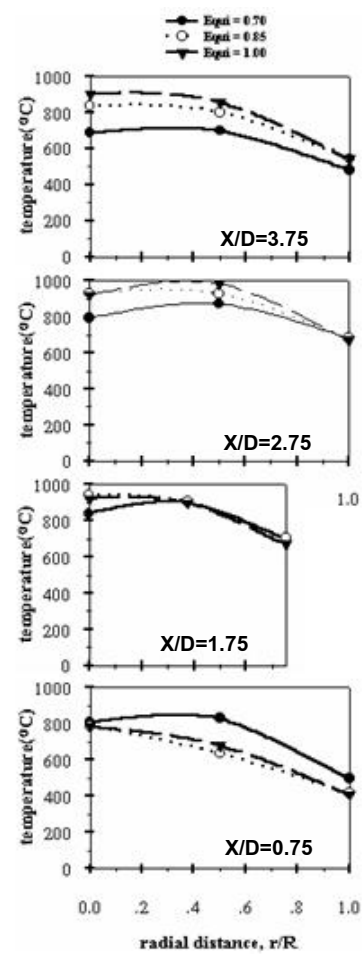
4.1 อิทธิพลของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ



รูป (ก)



รูป (ข)



รูป (ค)

รูปที่ 4 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ $h/D=1.0$ และ ตำแหน่งฉีดอากาศทุติยภูมิ (ก) ที่ $H/D=1.5$, (ข) ที่ $H/D=2.5$ และ (ค) ที่ $H/D=3.5$

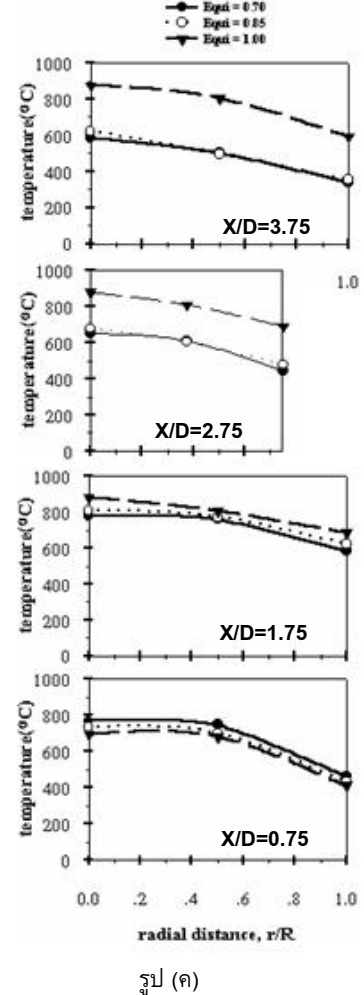
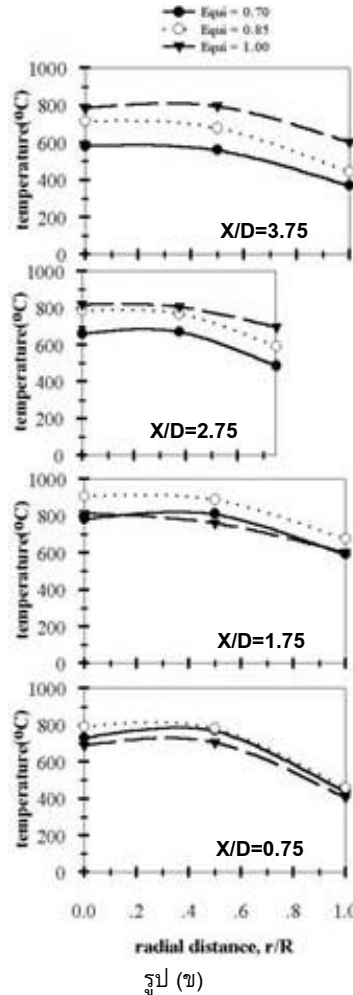
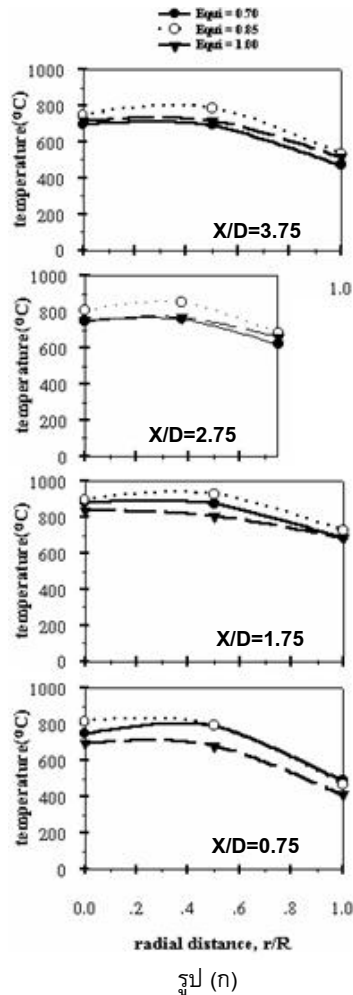
4.1.1 อิทธิพลห้องเผาไหม้ทุติยภูมิที่ตำแหน่ง $h/D=1.0$

จากรูปที่ 4 (ก) และ (ข) พบว่าเมื่อเชื้อเพลิงกลบผสมกับอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ปฐมภูมิที่ส่วนฐานล่างของเตาเผา $X/D = 0.75$ การเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้จึงเริ่มขึ้น เนื่องจากในขณะนั้นอุณหภูมิภายในมีอุณหภูมิประมาณ 650°C ซึ่งในช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้ การกระจายอุณหภูมิภายในยังไม่สม่ำเสมอมากนัก อุณหภูมิที่วัดได้ในช่วง $400-800^{\circ}\text{C}$ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การเผาไหม้ที่ตำแหน่ง $X/D=1.75$ และ 2.75 ซึ่งสังเกตจากกราฟนั้น แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิมีความสม่ำเสมอ

มากขึ้นกว่าที่ $X/D=0.75$ โดยอุณหภูมิที่วัดได้อยู่ในช่วง $550-850^{\circ}\text{C}$ เพราะสาเหตุเนื่องมาจากอิทธิพลของห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ ทำให้เกิดอากาศหมุนวนย้อนกลับในแนวแกนกลางเตาเผา recirculation flow[4] ซึ่งจะเพิ่มการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ โดยจะช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ให้ดำเนินต่อไป โดย รูป(ค) ที่ตำแหน่ง $X/D=2.75$ สามารถวัดอุณหภูมิสูงสุดได้ประมาณ $1,000^{\circ}\text{C}$ โดยการฉีดอากาศทุติยภูมิเข้าไปสู่ห้องเผาไหม้เพื่อเพิ่มความปั่นป่วนให้กับเชื้อเพลิงกับอากาศในขณะเกิดการเผาไหม้

[7] หลังจากการเผาไหม้ผ่านช่วงห้องเผาไหม้ทุติยภูมิมาที่ห้องเผาไหม้ส่วนบน ที่ตำแหน่ง $X/D=3.75$ พบว่าการกระจายของอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่อุณหภูมิที่วัดได้ลดลง เนื่องจากบริเวณดังกล่าว มีปริมาณเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่หมดบางส่วนผสมกับก๊าซร้อนในเตา อุณหภูมิ

ที่วัดได้ในช่วงนี้จึงเป็นอุณหภูมิจากก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ เพราะเชื้อเพลิงส่วนใหญ่เกิดปฏิกิริยาเผาไหม้ไปแล้ว



รูปที่ 5 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ $h/D=2.0$ และ ตำแหน่งฉีดาอากาศทุติยภูมิ (ก) ที่ $H/D=1.5$, (ข) ที่ $H/D=2.5$ และ (ค) ที่ $H/D=3.5$

4.1.2 อิทธิพลห้องเผาไหม้ทุติยภูมิที่ตำแหน่ง $h/D=2.0$

จากรูปที่ 5 พฤติกรรมการกระจายอุณหภูมิมีลักษณะแนวโน้มเช่นเดียวกับรูปที่ 4 แต่ถ้าเปรียบเทียบที่ $X/D=0.75$ และ 1.75 พบว่า รูปที่ 5 มีพื้นที่ห้องเผาไหม้ส่วนล่างที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้มากกว่ารูปที่ 4 ซึ่งจากพื้นที่ห้องเผาไหม้ที่มากกว่านั้น ส่งผลให้ช่วงเวลาการเผาไหม้นานกว่า จึงเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ให้อุณหภูมิสม่ำเสมอกว่า โดยการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศจะเกิดบริเวณที่ $X/D=1.75$ ทั้ง รูป (ก), (ข) และ (ค) ซึ่งสังเกตจากอุณหภูมิที่วัดได้สูงสุดของเตาเผาประมาณ 950°C แต่เมื่อการเผาไหม้ผ่านตำแหน่งห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ ($h/D=2.0$) ไปที่ตำแหน่งวัดอุณหภูมิที่ $X/D=2.75$ และ 3.75 ตามลำดับ อุณหภูมิที่วัดได้จากการเผาไหม้ลดลง แต่การกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของ recirculation flow[4]

เช่นเดียวกับรูปที่ 4 แต่เมื่อเปรียบเทียบกราฟจากรูปที่ 4 และ 5 หลังผ่านห้องเผาไหม้ทุติยภูมิ พบว่าการกระจายอุณหภูมิในรูปที่ 5 จะสม่ำเสมอจากรูปที่ 4 เพราะการติดตั้งตำแหน่งห้องเผาไหม้ทุติยภูมิเหมาะสมต่อช่วงลำดับชั้นการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ ซึ่งจากรูปที่ 5 มีการเผาไหม้มาเป็นลำดับ โดยเริ่มต้นจากการเผาไหม้ จากด้านล่าง ($X/D=0.75$) จนมาถึงด้านบนของเตาเผา ($X/D=3.75$) แต่ในรูปที่ 4 นั้น การเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศส่วนใหญ่เกิดที่ $X/D=2.75$ ซึ่งเป็นบริเวณด้านบนของห้องเผาไหม้ใกล้กับท่อทิ้งไอเสีย แต่ยังคงมีเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์เหลืออยู่ในปริมาณที่มากกว่า รูปที่ 5 ทำให้อุณหภูมิที่วัดได้จากการเผาไหม้จึงมีความแปรปรวนกว่า ดังสาเหตุที่ได้กล่าวไป

4.2 อิทธิพลของตำแหน่งอากาศหุติยภูมิ

จากรูปที่ 4 ตำแหน่งการฉีดอากาศหุติยภูมิที่ให้ผลการกระจายอุณหภูมิภายในสูงสุด นั่นคือ ที่ $H/D=3.5$, 1.5 และ 2.5 ตามลำดับ ส่วนรูปที่ 5 ตำแหน่งการฉีดอากาศที่ให้อุณหภูมิสูงสุด ได้แก่ $H/D=1.5$, 2.5 และ 3.5 ตามลำดับ ซึ่งจากการพิจารณา พบว่า การฉีดอากาศหุติยภูมิในรูปที่ 4 ที่ $H/D=2.5$ และ รูปที่ 5 ที่ $H/D=3.5$ เป็นตำแหน่งการฉีดอากาศหลังบริเวณห้องเผาไหม้หุติยภูมิ (คอคอด) เพียงเล็กน้อย ซึ่งการฉีดอากาศบริเวณดังกล่าว ทำให้การหมุนวนย้อนกลับ (recirculation) ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศที่บริเวณห้องเผาไหม้หุติยภูมิ ถูกยับยั้งจากอากาศหุติยภูมิที่ฉีดเข้าไปในลักษณะแนวสัมผัสเส้นรอบวงนี้ ส่งผลกระทบต่อการกระจายอุณหภูมิภายใน ซึ่งจากกราฟผลการทดลอง ดังรูปที่ 4 และ 5 พบว่า อุณหภูมิการเผาไหม้ภายในเตาเผา กรณีฉีดอากาศหลังบริเวณห้องเผาไหม้หุติยภูมิ จะต่ำกว่ากรณี การฉีดอากาศหุติยภูมิที่ตำแหน่งก่อนเข้าห้องเผาไหม้หุติยภูมิ และ บริเวณห้องเผาไหม้หลักส่วนบน(ใกล้ทางออกก๊าซไอเสีย)

4.3 อิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล

จากผลการทดลอง ดังรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 พบว่าการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในห้องเผาไหม้ส่วนใหญ่ จะเกิดบริเวณที่ตำแหน่ง $X/D=2.75$ และ 1.75 ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิที่วัดได้จากตำแหน่งดังกล่าว ให้การกระจายอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณอื่น โดยอุณหภูมิสูงสุดรูปที่ 4(ค) เกิดที่ $\Phi = 1.0$ เนื่องจากสัดส่วนของเชื้อเพลิงเท่ากับอากาศ ในขณะที่การเผาไหม้เมื่อให้ค่า $\Phi < 1.0$ ($\Phi = 0.85$ และ 0.7) นั้นการเผาไหม้จะมีสัดส่วนของเชื้อเพลิงน้อยกว่าอากาศ ซึ่งโดยลักษณะรูปทรงของห้องเผาไหม้ตรงส่วนบริเวณที่เป็นห้องเผาไหม้หุติยภูมิ ($h/D=1.0$) จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแคบกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของห้องเผาไหม้ปฐภูมิ(ห้องเผาไหม้หลัก) ทำให้พื้นที่ส่วนหนึ่งหายไป ฉะนั้นเวลาในขณะเกิดการเผาไหม้ก็จะลดลงเช่นกัน ซึ่งจากการทดลอง ถ้าให้อากาศมากกว่าเชื้อเพลิงในขณะเกิดการเผาไหม้มากเกินไป ($\Phi = 0.85$ และ 0.7) จะทำให้อากาศส่วนเกินนั้นไปดึงความร้อนออกจากก๊าซร้อนในเตาเผา ส่งผลให้อุณหภูมิที่วัดได้ภายในลดต่ำลง โดยการกระจายอุณหภูมิสูงสุดที่เหมาะสมเกิดที่ $\Phi = 1.0$, 0.85 และ 0.7 ตามลำดับ ส่วนในรูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิจะเป็นไปในลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ 4 แต่ต่างกันที่การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $X/D=0.75$ และ 1.75 เนื่องจากรูปทรงของห้องเผาไหม้ตรงส่วนบริเวณที่เป็นห้องเผาไหม้หุติยภูมิ($h/D=2.0$) จะมีพื้นที่ห้องเผาไหม้ ที่ $X/D=0.75$ และ 1.75 มากกว่ารูปที่ 4 ฉะนั้นการให้อากาศเกินในกรณีนี้ จึงเป็นผลดีกับการเผาไหม้ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วการเผาไหม้จำเป็นต้องให้อากาศมากกว่าเชื้อเพลิง เพื่อเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ให้ดำเนินได้อย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 5(ก) โดยการกระจายอุณหภูมิสูงสุดเกิดที่ $X/D=0.75$ ประมาณ 920°C จะเกิดเมื่อค่า $\Phi = 0.85$, 0.7 และ 1.0 ตามลำดับ ส่วนที่ $X/D=2.75$ และ 3.75 จะมีการกระจายอุณหภูมิหลังจากผ่านห้องเผาไหม้หุติยภูมิเช่นเดียวกับรูปที่ 4 (การกระจายอุณหภูมิสูงสุดเกิดเมื่อค่า $\Phi = 1.0$, 0.85 และ 0.7 ตามลำดับ)

5. สรุปผลการทดลอง

1. ผลการเปลี่ยนตำแหน่งของห้องเผาไหม้หุติยภูมิของเตาเผา พบว่า มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายใน ทำให้เกิดความปั่นป่วนต่อการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ในขณะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ เนื่องจากผลของ recirculation flow [4] โดย ณ ตำแหน่งห้องเผาไหม้หุติยภูมิที่ $h/D=2.0$ ให้ผลการกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอว่าที่ตำแหน่ง $h/D=1.0$ เพราะที่ตำแหน่ง $h/D=2.0$ มีพื้นที่ห้องเผาไหม้หลักส่วนล่างมากกว่า ที่ $h/D=1.0$ ซึ่งเนื่องจากมีพื้นที่ห้องเผาไหม้มากกว่า ฉะนั้นเวลาที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ก็นานขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาการเผาไหม้จึงค่อนข้างสมบูรณ์มากกว่า

2. ตำแหน่งการฉีดอากาศหุติยภูมิให้กับห้องเผาไหม้ที่เหมาะสม คือ บริเวณก่อนทางเข้าห้องเผาไหม้หุติยภูมิ (คอคอด) เพื่อช่วยเพิ่มการหมุนวนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ให้เกิดการคลุกเคล้าขณะเกิดการเผาไหม้ได้ดีขึ้น และ บริเวณใกล้ทางออกก๊าซไอเสีย เพื่อช่วยเพิ่มอากาศให้เข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้อย่างเนื่องกับเชื้อเพลิงที่ยังเผาไหม้ไม่สมบูรณ์

3. ในขณะเกิดการเผาไหม้ อากาศหุติยภูมิมีส่วนช่วย ทำให้เกิดความปั่นป่วนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ส่งผลให้อากาศสามารถเข้าทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงได้อย่างทั่วถึง

4. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่วัดได้มีค่าระหว่าง 76-88% ซึ่งมีอุณหภูมิทางออกของก๊าซไอเสีย ที่วัดได้อยู่ในช่วงประมาณ $670-880^\circ\text{C}$

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสยาม ที่ส่งเสริมเรื่องการทำงานวิจัยของคณาจารย์ และ ท่านอาจารย์ รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sen Nieh and Tim T. Fu, "Development of a Non-Slagging Vortex Combustor (VC) for Space/Water Heating Applications" Proc. 5th International Coal Conf., 1988, pp. 761-768.
- [2] Pongjet promvong, "A Low Emission Annular vortex Combustor Firing Rice Husk Fuel: Part II – Experiment Investigation" The First Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment, 1st-2nd December 2000 The Empress Hotel, Chang Mai, Thailand.
- [3] Stephen R. Turns, "An Introduction to Combustion (Concepts and Applications), International Editions, 1996, pp. 19.
- [4] David G. Sloan, Philip J. Smith and L. Douglas Smooth " Modeling of Swirl in Turbulent Flow Systems" Energy Combustion Sci, 1986, Vol. 12, pp. 163-250.
- [5] วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล "Effect of The Secondary Air on Collection Behaviors of A Multiple Dust Cyclone" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20 จังหวัดนครราชสีมา, 18-20 ตุลาคม 2549.

- [6] วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล "Experimental Study of A Shape and Exhaust Pipe Length on Combustion Characteristics in A Swirl Chamber for Burning Rice Husk" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20 จังหวัดนครราชสีมา, 18-20 ตุลาคม 2549.
- [7] วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล "Effect of The Height of Swirl Chamber on Combustion Behaviors of Rice Husk Fuel" การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 19 จังหวัดภูเก็ต, 19-21 ตุลาคม 2548. หน้า 1,121-1,127