

การศึกษาเชิงทดลองของห้องเผาไหม้วอร์เทคหลายชั้นต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ เชื้อเพลิงแกลบ

Experimental study of A Multiple Vortex Chamber on Combustion Characteristics of Rice Husk Fuel

วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

235 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพมหานคร 10163

โทร. 0-2457-0068, โทรสาร 0-2457-3982

Wisit Lelaphatikul

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University

235 Petkasem Road, Phasicharoen, Bangkok 10163

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

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษา คุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาหลายชั้น เพื่อจะได้เข้าใจถึงคุณลักษณะของระบบวอร์เทคหลายชั้นสำหรับเผาแกลบและตัวแปรที่มีผลต่อการเผาไหม้ ได้แก่ ค่า equivalence ratio (Φ) และ อัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่อการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา และ ก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้น โดยห้องเผาไหม้ของเตาเผาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.3 m(D) ความสูงเตาเผาโดยรวม เท่ากับ 1.2 m และมีแกนกลางท่อไอเสียภายในเตา ซึ่งมีการติดตั้งตำแหน่งท่อฉีดอากาศไว้ในแนวสัมผัสรอบ ๆ ผนังเตาเผาไหม้ เพื่อทำให้เกิดการไหลหมุนวนของอากาศภายใน ขนาดห้องเผาไหม้ของเตาเผาส่วนล่างและส่วนกลางถูกออกแบบให้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดได้ 2 ขนาด คือ 0.75D และ 0.5D ตามต้องการ การเปลี่ยนขนาดห้องเผาไหม้จะก่อให้เกิดการหมุนวนหลายชั้นภายในเตาเผา ซึ่งส่งผลต่อการเกิดการหมุนวนย้อนกลับไปมาอย่างรุนแรงในห้องเผาไหม้ส่วนบน การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาจะพิจารณาโดยการปรับค่า equivalence ratio (Φ) เท่ากับ 0.8, 1.0 และ 1.2 โดยแต่ละการทดลอง กำหนดอัตราส่วนของปริมาณการไหลของอากาศทุติยภูมิต่อปริมาณอากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0.0, 0.15 และ 0.25 ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบคงที่เท่ากับ 0.3 kg/min จากผลการทดลองที่ขนาดห้องเผาไหม้เตาเผาส่วนกลางขนาด 0.5D, $\Phi = 1.0$ และ $\lambda = 0.0$ จะให้อุณหภูมิสูงสุดภายในเตาเผาประมาณ 1,050 °C ที่บริเวณกึ่งกลางวงแหวนภายในห้องเผาไหม้ คิว้นที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย และพบว่าก๊าซไอเสียที่วัดจากทางออกท่อไอเสียประกอบด้วย $O_2 = 1.8\%$, $CO_2 = 17.6\%$ และ $CO = 288$ ppm.

คำสำคัญ: ห้องเผาไหม้วอร์เทคหลายชั้น, การหมุนวนย้อนกลับ

Abstract

This paper presents the study of combustion characteristics of rice husk fuel in a multiple vortex combustor. In order to understand the characteristics of system for burning rice husk, the effects of various operating parameters, such as the equivalence ratio and ratio of volumetric flow rates of secondary airflow on temperature distribution and pollutant emissions are investigated. The combustion chamber is 0.3 m in diameter (D) and 1.2 m in height with a centered exhaust pipe and has a set of air nozzles placing circumferentially on the combustor to produce air-vortex flow inside. The bottom and middle parts of the combustion chamber are designed to be adjustable for two sizes 0.75D and 0.5D as desired. The Change of combustion chamber size leads to multi-stages vortex inside the combustor that promotes strong recirculation at the top chamber. The temperature distribution inside the combustor is measured according to equivalence ratio, Φ of 0.8, 1.0, and 1.2. The ratio of volumetric flow rates of the secondary air to the total air, λ was set to be 0.0, 0.15, and 0.25 for each test condition. The feed rate of rice husk was held constant at 0.3 kg/min. The experiment shows the maximum temperature of about 1,050 °C in the annular chamber can be achieved with less smoke of flue gas for the middle chamber size of 0.5D, $\Phi = 1.0$ and $\lambda = 0.0$. The emission of exhaust gas from the stack are composed of $O_2 = 1.8\%$, $CO_2 = 17.6\%$ and $CO = 288$ ppm.

Keyword; multiple vortex combustor, recirculation

1. บทนำ

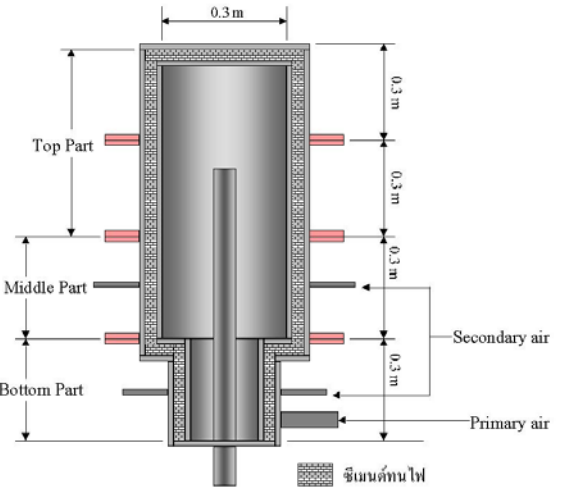
ปัจจุบันทั้งองค์กรรัฐและเอกชนต่างให้ความสนใจในการวิจัยและพัฒนาวัสดุเหลือใช้ทางภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม เพื่อนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานทดแทนแหล่งทรัพยากรทางธรรมชาติเดิมซึ่งได้แก่น้ำมันปิโตรเลียม, ก๊าซธรรมชาติ และ ถ่านหิน เป็นต้น ที่นับวันกำลังลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากมีความต้องการใช้พลังงานเป็นจำนวนมากในทุกวันนี้ แต่นอกจากทรัพยากรดังกล่าวแล้วนั้น เชื้อเพลิงอีกประเภทหนึ่งคือ เชื้อเพลิงชีวมวล เป็นเชื้อเพลิงที่เกิดจากผลพลอยได้ทางการเกษตรกรรมหรือวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น แกลบ ชี้เลี้ยง ชานอ้อย เป็นต้น ซึ่งถือเป็นเชื้อเพลิงคุณภาพต่ำ แต่ราคาถูกและสามารถนำมาเป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี ดังจะเห็นได้จาก การนำแกลบใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไอน้ำใช้ในโรงสีข้าวหรือนำความร้อนที่ได้จากการเผาแกลบไปอบเมล็ดพืช ซึ่งค่าความร้อนของแกลบ (Overall gross calorific Value of rice husk) ประมาณ 2,900-4,500 kcal/kg เนื่องจากแกลบเป็นวัสดุชีวมวลคุณภาพต่ำ ถ้าใช้วิธีการเผาไหม้แกลบในเตาเปิดปกติจะทำให้ได้ปริมาณความร้อนน้อยกว่าที่ควรจะได้และทำให้เกิดมลพิษทางอากาศเนื่องจากเถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ ฉะนั้นวิธีเผาไหม้เพื่อให้มีประสิทธิภาพของการเผาไหม้ที่ดีที่สุดและสภาพแก๊สที่ออกจากรถปล่อยไฟเป็นมลพิษน้อยที่สุด จึงทำการเผาไหม้ในเตาเผาไหม้แบบวอร์เทคโดยใช้เทคนิคการหมุนวนของอากาศความเร็วสูงแบบปั่นป่วน ที่มีผู้ได้ศึกษาและนำไปใช้เผาไหม้พวกเชื้อเพลิงถ่านหินและวัสดุชีวมวลให้ผลดีมาแล้ว[4]

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

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของการเผาไหม้ของแกลบภายในเตาเผาแบบวอร์เทคสองชั้น และสามชั้น โดยพิจารณาถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา วอร์เทค ชี้เต้า และ องค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งการหมุนวนอย่างปั่นป่วนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเกิดจากผลของ recirculation zone ซึ่งทำให้ได้ความร้อนสูงสุดที่เกิดจากการเผาไหม้ที่เหมาะสม

2. อุปกรณ์การทดลอง

การออกแบบเตาเผาที่ใช้ในการทดลองนั้น ขนาดของเตาเผาไหม้ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ขนาด คือ 0.5D, 0.75D, 1.0D. ตามลำดับ(โดยค่า D มีค่าเท่ากับ 0.3 m.) เพื่อทำการทดสอบการเผาไหม้เตาเผา วอร์เทค สองชั้น และสามชั้น ซึ่งลักษณะของเตาเผาแบบวอร์เทคมีลักษณะดังรูปที่ 1

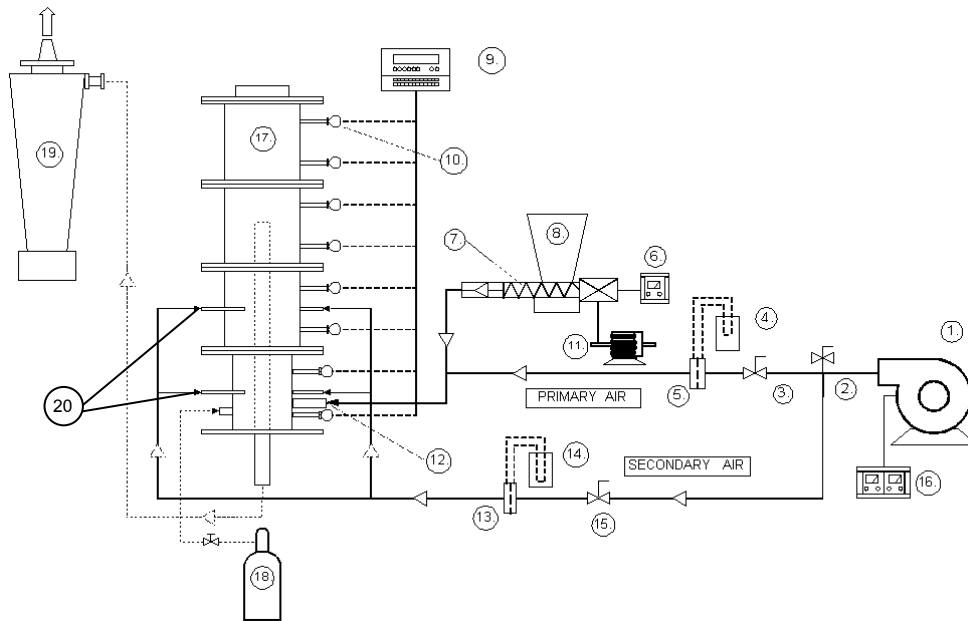


รูปที่ 1 แสดงลักษณะของเตาเผา วอร์เทค และท่อทิ้งไอเสีย

ในการติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง เริ่มต้นจากการประกอบตัวเตาเผาไหม้แต่ละส่วนเข้าด้วยกัน เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการติดตั้ง Thermocouple Type K จำนวน 8 ตัวเข้ากับชุด Digital Thermometer And Multichannel Switch (9) โดยอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ประกอบด้วยอากาศ 2 ส่วนด้วยกัน คือ อากาศส่วนปฐมภูมิ (Primary Air) และอากาศส่วนทุติยภูมิ (Secondary Air) ซึ่งได้จากแหล่งต้นกำลังแหล่งเดียวกัน คือ Blower (1) มีชุด Power Supply (16) ใช้ทำหน้าที่ปรับความเร็วรอบของชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนของ Blower (1) ในส่วนของอากาศในท่อ Primary Air จะผ่านชุด Needle Valve (3) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหล และวัดอัตราการไหลผ่านชุด Orifice Plate (5) และ Manometer (4) ซึ่งอากาศส่วนปฐมภูมิ จะเข้าไปผสมกับแกลบที่ชุดท่อลมของเครื่องป้อนแกลบ โดยแกลบจะถูกบรรจุภายใน Hopper (8) จะลำเลียงเข้าสู่ชุดท่อลมโดยใช้ Screw Feeder (7) ซึ่งมีต้นกำลังจาก Motor (11) เป็นชุดขับเคลื่อน และมี Inverter (6) เป็นชุดปรับรอบความเร็วของมอเตอร์ เพื่อทำให้เกิดการผสมและคลุกเคล้าอากาศกับเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่เตาเผาไหม้ ส่วน Secondary Air จะผ่านเข้าสู่ท่อลมโดยมีชุด Needle Valve (15) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลและวัดอัตราการไหลผ่านชุด Orifice Plate (13) และ Manometer (14) และจะแบ่งอากาศส่วนนี้ออกเป็น 8 ส่วนเท่า ๆ กันเพื่อจ่ายลมให้กับเตาเผาส่วนกลาง (4 ส่วน) และเตาเผาส่วนล่าง (4 ส่วน) โดยจะจ่ายลมเข้าทางผนังบริเวณกึ่งกลางเตาเผา ซึ่งท่อลมจะติดตั้งสัมผัสผนังด้านในของห้องเผาไหม้และตั้งฉากกับรัศมีเตาทุก ๆ 90 องศา ทั้งเตาเผาส่วนบนและส่วนล่าง เมื่อติดตั้งชุดอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงเริ่มทำการอุ่นเตาเผาไหม้แสดงดังรูปที่ 2

ในการเผาไหม้นั้นจำเป็นต้องมีการอุ่นเตา ก่อนเสมอ โดยจะอุ่นเตาด้วย LPG Supply (18) โดยใช้หัว Burner เป็นตัวปรับเปลวไฟให้เป็นสีน้ำเงิน จากนั้นนำเข้าไปที่ท่ออุ่นเตาของเตาเผา เพื่อให้มีอุณหภูมิสูงที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้เสียก่อน ซึ่งในขั้นต้นเริ่มอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิประมาณ 450°C จนอุณหภูมิภายในเริ่มคงที่ จึงทำการ Feed เชื้อเพลิงแกลบเข้าไปในปริมาณน้อย เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ ซึ่งหลังจากแกลบถูกเผาไหม้แล้วจะคายค่าความร้อนของแกลบออกมา มีผลทำให้

อุณหภูมิสูงขึ้น จนอุณหภูมิภายในสูงถึงประมาณ 600-700°C ซึ่งขณะนี้ เริ่มทำการทดลองต่อไป
แก๊สสามารถติดไฟได้ด้วยตัวเองแล้ว จึงหยุดให้ LPG Supply แล้ว



- | | | | |
|------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------|
| 1. Blower | 6. Inverter | 11. Motor | 16. Power Supply |
| 2. Bypass Valve | 7. Screw Feeder | 12. Primary Air Nozzle | 17. Vortex Combustor |
| 3. Needle Valve | 8. Hopper | 13. Orifice Plate | 18. LPG Supply |
| 4. Manometer | 9. Digital Thermometer Switch | 14. Manometer | 19. Cyclone |
| 5. Orifice Plate | 10. Thermocouple Type K | 15. Needle Valve | 20. Secondary Air Nozzle (x8) |

รูปที่ 2 ผังแสดงชุดอุปกรณ์การทดลอง เตาเผาออร์เทคหลายชั้น

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ[1]

สาร	%โดยมวล
คาร์บอน C	38.0
ไฮโดรเจน H	5.70
ออกซิเจน O	41.6
ไนโตรเจน N	0.69
ซัลเฟอร์ S	0.06
ความชื้น Moisture	10.3
ขี้เถ้า Ash	19.8

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

เมื่อ m_a คือ อัตราการไหลของอากาศ (kg/min)
เมื่อ m_f คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (kg/min)

โดยสัดส่วนผสมจะเรียกว่า

- | | | | |
|--------------------|-------------------|-------|------------|
| ส่วนผสมหนา | Fuel-rich mixture | เมื่อ | $\Phi > 1$ |
| ส่วนผสมพอดีทางเคมี | Stoichiometric | เมื่อ | $\Phi = 1$ |
| ส่วนผสมบาง | Fuel-lean mixture | เมื่อ | $\Phi < 1$ |

การเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยปกติแล้ว ต้องใช้ออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยาจึงเป็นการยากที่จะให้ออกซิเจนบริสุทธิ์เพียงอย่างเดียว การเผาไหม้จึงใช้อากาศเข้าทำปฏิกิริยา โดยแสดงปริมาณของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ ฉะนั้นจึงกำหนดให้อยู่ในรูปของ อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, Φ) [3] จะได้ว่า

3. การทดลอง

- ติดตั้งเตาเผาไหม้ออร์เทค โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องเผาไหม้ส่วนล่างเท่ากับ 0.75D และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องเผาไหม้ส่วนกลางและบนเท่ากับ 1.0D (ความสูงของเตาเผาออร์เทคส่วนล่างและส่วนกลางเท่ากับ 1.0D และส่วนบนเท่ากับ 2.0D) (โดยค่า D มีค่าเท่ากับ 0.3 m.)

2. เมื่อ $\lambda = 0.0$ (λ คือ อัตราส่วนของปริมาณการไหลของอากาศ
หุตุยภูมิต่อปริมาณอากาศทั้งหมด)

3. ปรับอัตราการไหลของอากาศให้ค่า equivalence ratio เท่ากับ
0.8

4. เริ่มบันทึกอุณหภูมิที่ระดับความสูง $x = 0.075 \text{ m}$, 0.225 m ,
 0.375 m , 0.525 m , 0.675 m ที่ $r/R = 0.25$ และ ที่ตำแหน่ง $x =$
 0.825 m , 0.975 m , และ 1.125 m ที่ $r/R = 0.0$

5. บันทึกอุณหภูมิที่เวลา นาทีที่ 10 และ นาทีที่ 15, บันทึกผลการ
ทดลอง สังเกตควันและเก็บซี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้และ วิเคราะห์
องค์ประกอบของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้

6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 4 ที่ตำแหน่ง $x = 0.075 \text{ m}$, 0.225 m วัด
อุณหภูมิที่ตำแหน่ง $r/R = 0.37$, 0.50 , 0.62 และ 0.75 ส่วนที่ตำแหน่ง $x =$
 0.375 m , 0.525 m และ 0.675 m วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $r/R = 0.44$,
 0.63 , 0.82 , และ 1.0 ตามลำดับ และที่ $x = 0.825 \text{ m}$, 0.975 m , และ
 1.125 m ทำการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $r/R = 0.25$, 0.44 , 0.63 , 0.82 ,
และ 1.0 ตามลำดับ

7. ทำการทดลองตามข้อที่ 3-6 ปรับอัตราการไหลของอากาศให้ค่า
equivalence ratio เท่ากับ 1.0, 1.2 ตามลำดับ บันทึกผล

8. ทำการทดลองตามข้อที่ 2 - 7 เมื่อ $\lambda = 0.15$ และเมื่อ $\lambda = 0.25$
ตามลำดับ บันทึกผลการทดลอง

9. ทำการทดลองตามข้อที่ 1 เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ
ห้องเผาไหม้ส่วนล่างจาก $0.75D$ เป็น $0.5D$ (เตาเผาออร์เทค 2 ชั้น) ทำ
การทดลองซ้ำข้อที่ 4 - 8 โดยเปลี่ยนการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $x =$
 0.075 m , 0.225 m โดยเริ่มวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $r/R = 0.25$, 0.31 ,
 0.38 , 0.44 , และ 0.50 ตามลำดับ บันทึกผลการทดลอง

10. ทำการทดลองตามข้อที่ 1 เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ
ห้องเผาไหม้ส่วนที่กลางจาก $1.0D$ เป็น $0.75D$ (เตาเผาออร์เทค 3 ชั้น)
ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 4 - 8 โดยเปลี่ยนการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $x =$
 0.375 m , 0.525 m โดยเริ่มวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $r/R = 0.25$, 0.37 ,
 0.50 , 0.62 , และ 0.75 ตามลำดับ บันทึกผลการทดลอง

11. ทำการทดลองตามข้อที่ 10 เปลี่ยนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง
ห้องเผาไหม้ส่วนกลางจาก $0.75D$ เป็น $0.5D$ (เตาเผาออร์เทค 3 ชั้น)
ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 4 - 8 โดยเปลี่ยนการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $x =$
 0.375 m , 0.525 m โดยเริ่มวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง $r/R = 0.25$, 0.31 ,
 0.38 , 0.44 , และ 0.50 ตามลำดับ บันทึกผลการทดลอง

เมื่อ x คือ ความสูงของเตาเผาออร์เทค

r/R คือ อัตราส่วนระหว่างตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิในแนวรัศมีต่อรัศมี
ภายในเตาเผาออร์เทค

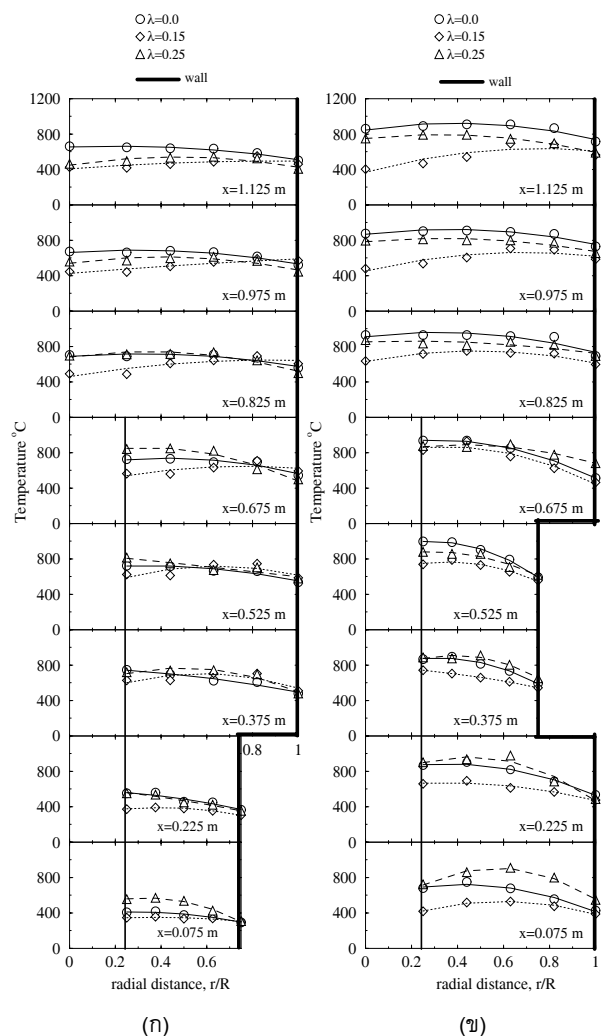
4. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองการเผาไหม้เตาเผาแบบวอร์เทคหลายชั้น โดยจะ
ใช้เตาเผาที่มีการปรับเปลี่ยนขนาดห้องเผาไหม้ของเตาเผาส่วนล่างและ
ส่วนกลางทั้งสิ้น 2 ขนาด คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ $0.75D$
และ $0.5D$ ตามลำดับ เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอสูงสุด
ภายในเตาเผาที่เหมาะสมที่สุด

สาขาการประยุกต์ใช้พลังงาน

4.1 เตาเผาออร์เทค 2 ชั้น และ 3 ชั้น

เตาเผาออร์เทค 2 ชั้น ประกอบด้วย วอร์เทคชั้นที่ 1 และ 2 ซึ่งก็คือ
ห้องเผาไหม้ส่วนล่าง, ห้องเผาไหม้ส่วนกลางและส่วนบน ตามลำดับ
โดยขนาดห้องเผาไหม้ส่วนกลางและส่วนบน มีขนาดเท่ากันคือ $(1.0D)$
ส่วนห้องเผาไหม้ส่วนล่างจะปรับเปลี่ยนให้มีขนาดเท่ากับ $0.75D$ หรือ
 $0.5D$ แล้วแต่การทดลอง ส่วนเตาเผาออร์เทค 3 ชั้น ประกอบด้วย วอร์
เทคชั้นที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งก็คือ ห้องเผาไหม้ส่วนล่าง, ส่วนกลาง และ
ส่วนบน ตามลำดับ โดยขนาดห้องเผาไหม้ส่วนล่างและส่วนบน มีขนาด
เท่ากันคือ $(1.0D)$ ส่วนห้องเผาไหม้ส่วนกลางจะปรับเปลี่ยนให้มีขนาด
เท่ากับ $0.75D$ หรือ $0.5D$ แล้วแต่การทดลอง โดยจะทำการศึกษา
อิทธิพลของ λ ที่มีผลต่อการเผาไหม้ที่ $\Phi = 0.8, 1.0$, และ 1.2 (แต่ใน
ที่นี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ $\Phi = 1.0$ เพราะผลการทดลองที่ได้ให้ค่า
การกระจายอุณหภูมิต่ำที่สุด)



รูปที่ 3 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทค ที่ค่า

$\Phi = 1.0$, (ก) 2 ชั้น ($0.75D$) และ (ข) 3 ชั้น ($0.75D$)

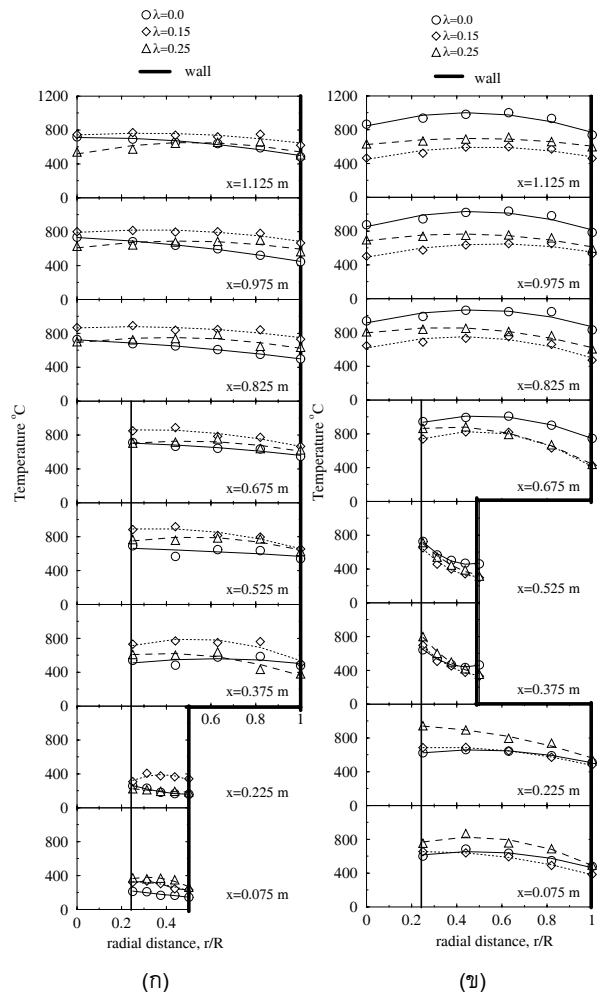
จากรูปที่ 3(ก) แสดงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาออร์เทค
2 ชั้น โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องเผาไหม้ส่วนล่าง เท่ากับ
 $0.75D$ เนื่องจากภายในห้องเผาไหม้ส่วนล่างนี้ เป็นช่วงเริ่มต้นการเผา

ไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ฉะนั้นการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้จึงยังไม่สมบูรณ์มากนัก ประกอบกับพื้นที่ภายในห้องเผาไหม้น้อยทำให้ความเร็วในแนวแกนของก๊าซร้อนสูง ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ขณะหมุนวนรอบผนังห้องเผาไหม้ลดลง ทำให้อุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ส่วนล่างนี้จึงมีการกระจายอุณหภูมิไม่สูงมากนัก แต่อิทธิพลจากอากาศทุติยภูมิ ซึ่งเป็นอากาศที่ฉีดเข้าด้านข้างรอบผนังห้องเผาไหม้มีส่วนที่ช่วยทำให้เกิดความปั่นป่วน ขณะเกิดการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้สูงขึ้นวัดได้ประมาณ 400-500°C เมื่อการเผาไหม้ดำเนินมาถึงห้องเผาไหม้ส่วนกลาง พบว่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก เนื่องมาจากพฤติกรรมกระเจิงของอากาศที่ไหลจากพื้นที่ห้องเผาไหม้แคบไปสู่ห้องเผาไหม้ที่กว้างกว่า (ลักษณะเหมือนกับปากกระฉิ่ง) จะเกิดบริเวณการหมุนวนย้อนกลับ (recirculation zone) [5] ตรงบริเวณแนวกึ่งกลาง (centerline) ของห้องเผาไหม้ ซึ่งประกอบด้วย swirling forward jet และ reverse flow ของอากาศ ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวเกิดความปั่นป่วนรุนแรงระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศในขณะเกิดการเผาไหม้ ซึ่งความปั่นป่วนรุนแรงนี้ช่วยทำให้อุณหภูมิของก๊าซที่ติดอยู่กับผิว particle ของเชื้อเพลิงแกลบหลุดออกง่ายขึ้น การเข้าทำปฏิกิริยาของอากาศบริเวณผิวนอก particle ของเชื้อเพลิงแกลบจึงเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง อุณหภูมิจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอและอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ภายในห้องเผาไหม้ส่วนกลางและส่วนบนน้อยอยู่ในช่วง 600-700°C

จากรูปที่ 3(ข) แสดงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาเวอร์เทค 3 ชั้น ซึ่งการเผาไหม้เริ่มต้นที่ห้องเผาไหม้ส่วนล่างเช่นเดียวกับรูปที่ 3 (ก) ต่างกันที่การกระจายอุณหภูมิภายในสูงกว่า โดยได้รับอิทธิพลของอากาศทุติยภูมิที่ ($\lambda = 0.25$) มากที่สุด และขนาดห้องเผาไหม้ที่กว้างขึ้นนี้ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในขณะเกิดการเผาไหม้จึงนานขึ้นด้วย การเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศจึงมีความสมบูรณ์มากกว่ารูปที่ 3(ก) แต่การกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ส่วนล่างนี้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ อุณหภูมิที่วัดได้อยู่ในช่วง 500-700°C หลังจากการเผาไหม้ดำเนินมาถึงห้องเผาไหม้ส่วนกลาง อุณหภูมิที่วัดได้สูงขึ้น เนื่องมาจากการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ จากห้องเผาไหม้ส่วนล่างมายังส่วนกลาง เริ่มเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากขึ้นเพราะว่าเวลาที่ใช้ในขณะเกิดการเผาไหม้นานขึ้น (ช่วงเวลาของขบวนการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงห้องเผาไหม้ส่วนกลาง) และยังได้รับอิทธิพลจากอากาศทุติยภูมิที่เพิ่มความปั่นป่วนช่วยคลุกเคล้าเชื้อเพลิงกับอากาศขณะเกิดการเผาไหม้ได้ดียิ่งขึ้น อุณหภูมิที่วัดได้อยู่ในช่วง 700-800°C เมื่อการเผาไหม้มาถึงยังห้องเผาไหม้ส่วนบนจะได้รับอิทธิพลของ recirculation zone เช่นเดียวกับรูปที่ 3(ก) ส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้นมาก แต่จากการสังเกตเส้นกราฟการกระจายอุณหภูมิพบว่าอิทธิพลของอากาศทุติยภูมิมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ส่วนบนนี้ไม่มากนัก และจากการทดลองสามารถวัดอุณหภูมิสูงสุดได้ที่บริเวณกึ่งกลาง annular อยู่ในช่วง 800-900°C

รูปที่ 4 (ก) เป็นรูปที่แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาเวอร์เทค 2 ชั้น ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางห้องเผาไหม้ส่วนล่าง เท่ากับ 0.5D ในขณะเริ่มการเผาไหม้ที่ห้องเผาไหม้ส่วนล่างนี้ พบว่าการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นสม่ำเสมอแต่ไม่สูงมากนัก ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิ

เพียง 200-350°C เท่านั้น โดยมีเชื้อเพลิงเพียงบางส่วนเท่านั้นที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ เนื่องมาจากพื้นที่ภายในห้องเผาไหม้ลดลงมากกว่า รูปที่ 3(ก) เวลาที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้จึงลดลงเช่นกัน จากผลการทดลอง พบว่าอิทธิพลของอากาศทุติยภูมิมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในน้อยมาก เมื่อการเผาไหม้ดำเนินมาถึงห้องเผาไหม้ส่วนกลางและส่วนบน แนวโน้มการกระจายอุณหภูมิจะคล้ายกับรูปที่ 3 (ก) อุณหภูมิที่วัดอยู่ในช่วง 700-800°C (อิทธิพลจาก recirculation zone)



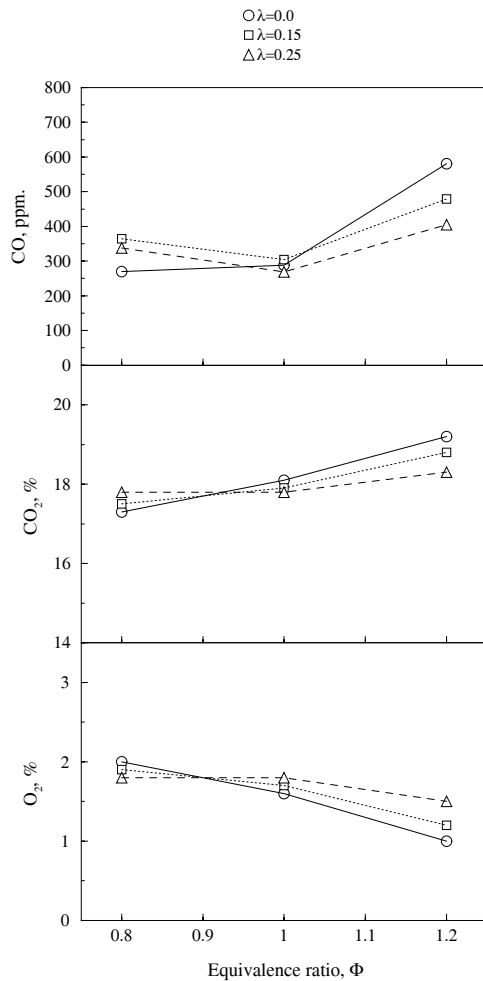
รูปที่ 4 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาเวอร์เทค ที่ค่า $\Phi = 1.0$, (ก) 2 ชั้น (0.5D) และ (ข) 3 ชั้น (0.5D)

รูปที่ 4(ข) มีการกระจายอุณหภูมิในลักษณะเดียวกับรูปที่ 3(ข) แต่อุณหภูมิที่เกิดขึ้นสูงกว่าทุกชั้นของห้องเผาไหม้ โดยห้องเผาไหม้ส่วนล่างมีอุณหภูมิสม่ำเสมอมากกว่าอยู่ในช่วง 700-800°C แต่ในส่วนกลางของห้องเผาไหม้ส่วนกลางอุณหภูมิลดลง เนื่องมาจากมีพื้นที่ภายในห้องเผาไหม้ลดลงครั้งหนึ่ง ช่วงเวลาที่ใช้ในขณะเกิดการเผาไหม้ต้องลดลงเช่นกัน เชื้อเพลิงที่เกิดการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ส่วนกลางนี้จะเกิดน้อยมาก อุณหภูมิที่วัดได้จึงลดลง ส่วนการเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ส่วนบนยังมีแนวโน้มเช่นเดียวกับรูปที่ 3(ข) แต่อุณหภูมิที่วัดได้จะสูง

กว่า พบว่า ที่ $\lambda = 0.0$ วัดช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่กึ่งกลาง annular อยู่ในช่วง 900-1,050°C

4.2 การศึกษาผลของก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

จากผลการทดลอง เมื่อปรับค่า equivalence ratio (Φ) เท่ากับ 0.8, 1.0 และ 1.2 และให้อัตราส่วนของปริมาณการไหลของอากาศทุกชนิดต่อปริมาณอากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0.0, 0.15 และ 0.25 ซึ่งจากการทดลองการเผาไหม้ในเตาเผาเวอร์เทค พบว่าการเปลี่ยนแปลง λ และค่า Φ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์, ก๊าซออกซิเจน และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการทดลองการเผาไหม้ในเตาเผาเวอร์เทค 3 ชั้น (0.5D) สามารถวัดค่าก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำสุดได้เท่ากับ 288 ppm, ก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 1.8% และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 17.6% (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 แสดงองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย ได้แก่ CO, O₂, และ CO₂ กับค่า $\Phi = 0.8, 1.0,$ และ 1.2 เมื่อ $\lambda = 0.0, 0.15, 0.25$

5. สรุปผลการทดลอง

1. การเปลี่ยนขนาดห้องเผาไหม้ส่วนล่างของเตาเผาเวอร์เทค 2 ชั้น จาก 0.75D เป็น 0.5 D พบว่าการกระจายอุณหภูมิจากเดิมวัดได้ 700°C เป็น 800°C สูงขึ้นกว่าเดิมประมาณ 14% ส่วนการเปลี่ยนขนาดห้องเผาไหม้ส่วนกลางของเตาเผาเวอร์เทค 3 ชั้น จาก 0.75D เป็น 0.5 D พบว่าการกระจายอุณหภูมิเดิมจาก 800°C เป็น 1,050°C สูงขึ้นกว่าเดิมประมาณ 31%

2. จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนของปริมาณการไหลของอากาศทุกชนิดต่อปริมาณอากาศทั้งหมด (λ) ที่มีความเหมาะสมต่อการเผาไหม้ของเตาเผาแบบเวอร์เทค คือ $\lambda=0.25$ ซึ่งจะช่วยให้เกิดการกระจายตัวของแก๊สภายในเตาเผาเวอร์เทคมากขึ้น แก๊สจึงไม่สามารถจับตัวเป็นก้อนได้ทำให้เกิดการผสมหรือการสัมผัสกันอย่างทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ และการเคลื่อนที่แบบหมุนวนภายในเตาเผาเวอร์เทคจะช่วยให้แก๊สมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานยิ่งขึ้น การกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จึงสูง

3. ในการเผาไหม้จริง การให้ส่วนผสมระหว่างอากาศมากกว่าเชื้อเพลิง (Fuel-lean mixture) จะพบว่าก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นมีองค์ประกอบของ CO และ CO₂ น้อยกว่า การเผาไหม้ที่ให้ส่วนผสมระหว่างอากาศน้อยกว่าเชื้อเพลิง (Fuel-rich mixture)

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสยามที่ส่งเสริมเรื่องการทำงานวิจัยของคณาจารย์ และ ท่านอาจารย์ รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ท่านได้แนะนำหลักการต่างๆเป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

- Pongjet promvonge, "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.
- 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.
- Stephen R. Turns, "An Introduction to Combustion (Concepts and Applications), International Editions, 1996, pp. 19.
- วิศิษฐ์ ลีลาชาติกุล " การเผาไหม้แก๊สในเตาเผาแบบเวอร์เทคหลายชั้น "วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 5 ฉบับที่ 9 (มกราคม 2546 - มิถุนายน 2547), หน้า 31-36.
- David G. Sloan, Philip J. Smith and L. Douglas Smooth " Modeling of Swirl in Turbulent Flow Systems" Engergy Combustion Sci, 1986, Vol. 12, pp. 163-250.