

การศึกษาเชิงทดลองเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้น

Experimental Study of Multiple Swirl Combustor for Burning Rice Husk

การุณ เลอะมาน ยุตพงษ์ มีสาคร พงษ์เจต พรหมวงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนน ชลองกรุง เขต ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520
โทรศัพท์ 0-2326-4197 โทรสาร 0-2326-4198 E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

Karun Loeman Yuttapong Mesakorn Pongjet Promvonge

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok 10800 Thailand

Tel: 0-2326-4197, Fax: 0-2326-4198 E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้นโดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง โดยเตาเผาเป็นการรวมเอาส่วนดีของเตาเผาไซโคลนและเตาเผาแบบวอร์เทกซ์เข้าไว้ด้วยกัน ภายในห้องเผาไหม้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ด้านบนจะเป็นห้องเผาไหม้แบบวอร์เทกซ์และห้องเผาไหม้ด้านล่างจะเป็นห้องเผาไหม้แบบไซโคลน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเตาเท่ากับ 0.3 เมตร สูง 1.856 เมตร โดยอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ประกอบด้วยอากาศปฐมภูมิและอากาศทุติยภูมิ ซึ่งจะเข้าไปภายในเตาตามแนวสัมผัส โดยใช้อัตราการป้อนแกลบเท่ากับ 18 กิโลกรัม/ชั่วโมง อัตราส่วนผสม (Φ) เท่ากับ 0.2, 0.25, 0.3 และ 0.35 สัดส่วนของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0, 0.15 และ 0.25

จากการทดลองจะพบว่าการกระจายอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่อัตราส่วนผสมเท่ากับ 0.2 และที่ λ=0.25 อยู่บริเวณที่ตำแหน่งความสูง 1.631 เมตร ให้อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ 950 องศาเซลเซียส

Abstract

This paper presents the experimental study of a multiple-swirl Combustor using rice husk as fuel. This furnace combines the advantages of cyclone and vortex furnaces. The combustion chamber is divided into 2 parts; the top combustion part is a premixing and main chamber between air and fuel and the bottom part is a secondary combustion chamber that produces swirl effects. The combustor has a cylindrical shape with 0.3 m. diameter and 1.856 m height. There are two air supply sources

for the combustor primary air and secondary air, entering tangentially into combustor. The fuel mass flow rate is 18 kg/hr and kept constant throughout. The equivalence ratio (Φ) is set to be 0.2, 0.25, 0.3 and 0.35 for each test run. For each run, the volumetric airflow rate fraction of secondary air to total air (λ) is adjusted to be 0, 0.15 and 0.25. The experiment shows the maximum temperature distribution is at Φ=0.2, λ=0.25 axial distance = 1.631 m. in the middle core region. The experiments show that maximum temperature inside the combustor is found to be 950 °C.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ความต้องการพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น แต่เราจะเห็นได้ว่าแหล่งวัตถุดิบที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อจะให้ความร้อนออกมาของเรามีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่จะได้จาก น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เป็นต้น สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นประเทศไทยของเราไม่สามารถผลิตได้เองจึงจำเป็นต้องนำเข้าทำให้เราเสียดุลการค้ากับต่างประเทศผู้ค้าน้ำมันอีกด้วย เพราะฉะนั้นเราควรหาแหล่งเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในประเทศมาใช้ให้มากขึ้นเพื่อลดการนำเข้าน้ำมัน เมื่อเราทำการศึกษาก็จะเห็นว่าเชื้อเพลิงชีวมวลเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถจะนำมาใช้เพื่อให้พลังงานความร้อนมาใช้งานได้ไม่ว่าจะเป็น แกลบ, ชี้อ้อย, ชานอ้อย เป็นต้นจากสถิติประเทศไทยมีปริมาณแกลบประมาณ 4.4 – 4.6 ล้านตันต่อปี และเมื่อทำการเปรียบเทียบศักยภาพทางความร้อนเท่ากับน้ำมันดิบ 1.46 – 1.53 ล้านตัน เมื่อได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของเชื้อเพลิงแกลบเราจะพบว่าแกลบให้ค่าความ

ร้อนเท่ากับ 3,580 kcal / kg เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเตาซึ่งจะมีค่าความร้อนประมาณ 9,900 kcal / kg จะพบว่าแกลบมีค่าความร้อนเกือบครึ่งหนึ่งของน้ำมันเตา แต่แกลบมีข้อเสียที่สำคัญคือจะมีปริมาณความชื้นและขี้เถ้าสูงปัจจุบันได้มีการวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งทำการวิจัยเกี่ยวกับเตาเผาประเภทต่าง ๆ มากมาย ผลงานวิจัยในประเทศ อาทิเช่น งานวิจัยของ เรือโทประจักษ์ จิตรีพิทย์[1] ทำการศึกษารูปแบบการไหลและลักษณะการสันดาปของห้องเผาไหม้แบบไซโคลนที่ใช้ขี้เถ้าเป็นเชื้อเพลิง ส่วนผลงานวิจัยในต่างประเทศ อาทิเช่น Sen Nieh และ Tim T. Fu[5] ได้ทำการทดลองโดยการทดสอบการไหลในเตาแบบจำลอง Cold models และ Hot models ของเตาแบบวอร์เทคโดยใช้ถ่านหินผง เตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้นเป็นเตาเผาที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยจะรวมข้อดีของเตาแบบไซโคลน, เตาแบบวอร์เทค, เตาถ่านหินผง(Pulverized Coal) เข้าด้วยกันเพื่อแก้ปัญหาในเรื่องของ slag, เชม่า, ขี้เถ้า ที่เกิดขึ้นกับเตาชนิดต่าง ๆ ข้างต้น รวมถึงการเพิ่มเวลาในการเผาไหม้เพื่อการเผาไหม้ที่ดีขึ้น เตาแบบหมุนวนหลายชั้นใช้เทคนิคของการไหลแบบหมุนวนความเร็วสูง การหมุนวนได้ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มความเสถียรของเปลวไฟ เพิ่มการผสมคลุกเคล้าของเชื้อเพลิงและอากาศ การหมุนวนช่วยเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลวนไปมาในบริเวณกึ่งกลางของเตา(Central recirculation zone) เป็นผลให้เกิดความปั่นป่วนอย่างรุนแรงขึ้นในแต่ละชั้นของการไหลวนไปมาสามารถนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้

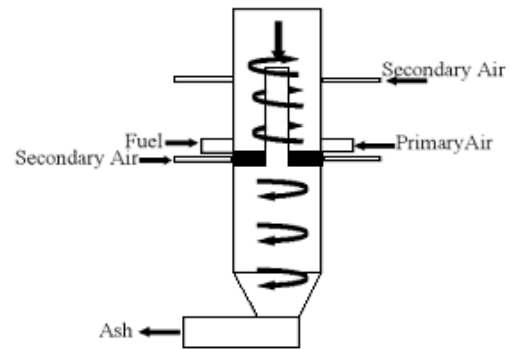
2 เครื่องมือและอุปกรณ์

ลักษณะของเตาเผาแบบหมุนวนหลายชั้นที่ใช้ทดลองนี้แบ่งห้องเผาไหม้ออกเป็น 2 ห้องคือห้องเผาไหม้ส่วนที่หนึ่งและห้องเผาไหม้ส่วนที่สอง โดยห้องเผาไหม้ส่วนที่หนึ่งอยู่ด้านบน ห้องเผาไหม้ทั้งสองห้องนี้เชื่อมต่อกันโดยท่อที่อยู่บริเวณกึ่งกลางเตา ซึ่งท่อนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 108 มิลลิเมตร ในตอนเริ่มต้นอากาศและเชื้อเพลิงจะไหลเข้ามาตามแนวสัมผัสและหมุนวนรอบท่อลอยขึ้นสู่ด้านบนของห้องเผาไหม้ส่วนที่หนึ่งเข้าสู่ปากท่อลงไปยังห้องเผาไหม้ส่วนที่สอง และก่อนที่อากาศกับเชื้อเพลิงจะไหลออกจากท่อเข้าสู่ห้องเผาไหม้ส่วนที่สองจะมีอากาศทุติยภูมิไหลเข้าในแนวสัมผัสทำให้อากาศที่ออกจากท่อยังมีการหมุนวนอยู่

จากรูปที่2 แสดงชุดอุปกรณ์การทดลองโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล (14) จำนวน 11 ตัวเพื่อวัดอุณหภูมิภายในเตาและอ่านค่าจากชุด Digital Thermo meter And Multi channel Switch (6) การเผาไหม้จะใช้อากาศสองส่วนด้วยกันคืออากาศปฐมภูมิ (Primary Air)(12) และอากาศทุติยภูมิ (Secondary Air) (13) ซึ่งได้จากแหล่งกำเนิดเดียวกันคือ Blower (1) มีชุด Power Supply ใช้ทำหน้าที่ควบคุมความเร็วรอบของชุดมอเตอร์ขับ Blower นอกจากนี้ชุด Gate Valve (16) ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ โดยสามารถวัดอัตราการไหลของอากาศด้วยชุด ออร์ฟิส (4) และอ่านค่าได้จากระดับน้ำในนาอิมิเตอร์ (3) ซึ่งอากาศปฐมภูมิจะเข้าไปผสมกับแกลบที่ถูกป้อนโดยชุดป้อนแกลบ Hopper(8) ซึ่งลำเลียงโดยใช้ Screw Feeder(7) โดยมีต้นกำลังมาจาก Motor(9) เป็นชุดขับเคลื่อนและมี Inverter(10) เป็นชุดปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ สำหรับอากาศทุติยภูมิจะถูกแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกจ่ายเข้าไปยังห้องเผาไหม้ที่หนึ่งตามแนวสัมผัสเพื่อ

ให้เกิดการผสมและคลุกเคล้าระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง อากาศทุติยภูมิส่วนที่สองจ่ายเข้าไปในห้องเผาไหม้ส่วนที่สอง

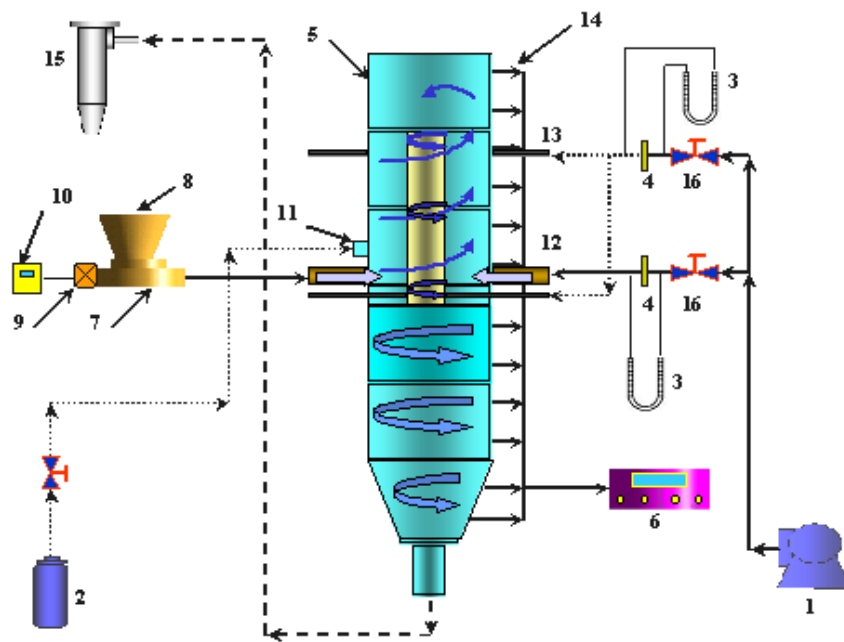
ขั้นตอนแรกของการทดลองจำเป็นต้องอุ่นเตาเพื่อให้แกลบสามารถจุดติดได้เองอย่างต่อเนื่องก่อน โดยการใช้แก๊สเชื้อเพลิงเหลว LPG ต่อกับหัวเผา แล้วทำการอุ่นเตาจนห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิประมาณ 450-500 องศาเซลเซียส แล้วจึงจะป้อนแกลบละเอียดเข้าไปและปล่อยอากาศปฐมภูมิเพียงเล็กน้อยจนกว่าอุณหภูมิภายในเตาจะอยู่ที่ประมาณ 700 องศาเซลเซียสจากนั้นจึงนำหัวเผาออก



รูปที่1แสดงทิศทางการไหลของอากาศและเชื้อเพลิงภายในเตา

3.การทดลองและวิธีการ

- 1.ทำการอุ่นเตาโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงเหลว LPG ต่อกับหัวเผาจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตามีค่าประมาณ 450 - 500 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการป้อนเชื้อเพลิงแกลบละเอียด พร้อมกับป้อนอากาศปฐมภูมิเพียงเล็กน้อยจนกระทั่งอุณหภูมิภายในเตาประมาณ 650 - 700 องศาเซลเซียส แล้วนำหัวเผาออกจากเตา
2. ทำการปรับอัตราการไหลของอากาศและอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเพื่อให้ได้อัตราส่วนสมมูลตามที่กำหนดไว้คือ 0.35
3. ทำการปรับอัตราการไหลของอากาศปฐมภูมิ 100 เปอร์เซ็นต์
4. ทำการบันทึกอุณหภูมิที่ตำแหน่งความสูงเท่ากับ 0.225เมตร, 0.375เมตร, 0.525เมตร, 0.675เมตร, 0.825เมตร, 1.631เมตร, และ 1.781เมตร โดยวัดจากส่วนล่างของเตาจากเว้นที่ตำแหน่งที่ความสูงเท่ากับ 1.031เมตร, 1.181เมตร, 1.331เมตร, และ 1.481เมตร เริ่มวัดที่ r/R เท่ากับ 0.4
5. เทอร์โมคัปเปิล จะวัดอุณหภูมิ 6 ตำแหน่งโดยวัดที่ r/R เท่ากับ 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1 โดยวัดจากศูนย์กลางของเตาถึงขอบเตา
6. ทำการบันทึกค่าทุก 3 นาทีเมื่อครบจึงเปลี่ยนตำแหน่ง
7. ทำการปรับอัตราส่วนอากาศประสมภูมิ 75 และ 85 อากาศทุติยภูมิ 25 และ 15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 5 และข้อ 6
8. ทำการปรับอัตราส่วนสมมูลเป็น 0.3, 0.25, และ 0.2 ตามลำดับ แล้วทำการทดลองซ้ำข้อ 3 ถึงข้อ 7



รูปที่ 2 แสดงชุดอุปกรณ์การทดลอง (1) Blower (2) LPG supply (3) Manometer (4) Orifice plate (5) Multiple- Swirl Combustor (6) Indicator (7) Screw feeder (8) hopper (9) Motor (10) Inverter (11) Burner (12) Primary air (13) Secondary air (14) Thermocouple (15) cyclone (16) Gate valve

4. ผลการทดลอง

จากการทดลองได้ศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนสมมูลและอัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศตุนภูมิต่ออากาศทั้งหมดที่มีผลต่อการเผาไหม้พบว่าถ้าอากาศส่วนเกินมากจะมีผลให้เกิดการเผาไหม้ดีแต่ถ้ามากเกินไปก็จะทำให้เตาดับได้ และถ้ามีการใช้อากาศตุนภูมิจะมีผลให้เกิดการเผาไหม้ดีขึ้นซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

4.1 อิทธิพลอัตราส่วนของอัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศตุนภูมิต่ออากาศทั้งหมด

จากรูปที่ 3 (ก) $\Phi = 0.2$ ที่ $\lambda = 0, 0.15$, และ 0.25 จะเห็นได้ว่าที่ห้องเผาไหม้ที่หนึ่งที่มีความสูง 1.031 เมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่เริ่มต้นของการเผาไหม้และเมื่อพิจารณากรณีที่ $\lambda = 0$ จะเห็นว่ามีความสูงของเปลวไฟที่ λ อื่นๆเนื่องจากอากาศที่เข้ามาบริเวณนี้คืออากาศประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ทำให้เกิดการคลุกเคล้ากันของอากาศกับเชื้อเพลิงอย่างดีจึงเกิดการเผาไหม้ได้ดี เมื่อการเผาไหม้มาถึงที่ความสูง 1.481 เมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการเผาไหม้มากขึ้น อุณหภูมิของกรณีที่ $\lambda = 0.15$ และ $\lambda = 0.25$ จะเริ่มสูงกว่ากรณีที่ $\lambda = 0$ เพราะว่ามีอากาศตุนภูมิเข้ามาในแนวรัศมีทำให้บริเวณนี้เกิดการคลุกเคล้าของอากาศและเชื้อเพลิงและผลจากความเร็วในแนวรัศมีของอากาศตุนภูมิทำให้เกิดการหมุนเชื้อเพลิงให้อยู่ในห้องเผาไหม้ที่หนึ่ง ได้นานขึ้นซึ่งส่งผลให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้สมบูรณ์มากขึ้นทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งสังเกตได้ว่า λ ยิ่งสูงอุณหภูมิยิ่งสูง

จุดที่อุณหภูมิสูงที่สุดจะอยู่ที่ความสูง 1.631 เมตรและ $r/R=0$ เพราะตรงนี้เกิดการปั่นป่วนที่รุนแรงมีผลมาจากการหมุนรอบแกน เมื่อเชื้อเพลิงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ส่วนที่สองแล้วอุณหภูมิจะลดต่ำลงและค่า λ มีอิทธิพลน้อยมาก ซึ่งมีผลมาจากเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ที่หนึ่งเกือบหมดเหลือเชื้อเพลิงเพียงบางส่วนที่เผาไหม้ในห้องเผาไหม้ส่วนที่สองจากรูปที่ 3 (ข) $\Phi=0.35$ ที่ $\lambda=0, 0.15$ และ 0.25 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณอากาศลดลงจะมีผลให้อุณหภูมิลดต่ำลงด้วยเนื่องจากปริมาณอากาศที่เข้ามาทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงในตอนแรกของการเผาไหม้น้อยกว่ากรณีที่ Φ อื่นๆ

4.2 อิทธิพลของอัตราส่วนสมมูล

จากรูปที่ 3 (ค) ที่ $\lambda=0.25$ และ $\Phi=0.2, 0.25, 0.3, 0.35$ เมื่อมีอากาศไหลเข้ามาอุณหภูมิจะสูงและมีการเผาไหม้ได้รวดเร็วกว่าจะเห็นได้ชัดตั้งแต่ทางเข้าที่ความสูง 1.031 เมตร ในกรณีของ $\Phi=0.2$ อากาศที่มีมากทำให้เกิดการปั่นป่วนได้มากกว่า การเผาไหม้ก็ทำได้รวดเร็วกว่าเมื่ออากาศตุนภูมิที่ความสูง 1.481 เมตร เข้ามาอุณหภูมิก็จะยิ่งสูงขึ้น และสูงสุดที่ความสูง 1.631 เมตร ที่ตำแหน่ง $r/R=0$ และเมื่อเชื้อเพลิงและอากาศไหลผ่านห้องเผาไหม้ส่วนที่สอง อุณหภูมิก็จะค่อย ๆ ลดลงจนถึงทางออกของเตาส่วนล่าง เนื่องจากเป็นช่วงท้ายของการเผาไหม้

4.3 ผลของก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

จากการทดลองผลของก๊าซไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้ เมื่อปรับอัตราส่วนอากาศให้ $\lambda = 0, 0.15$ และ 0.25 พบว่า

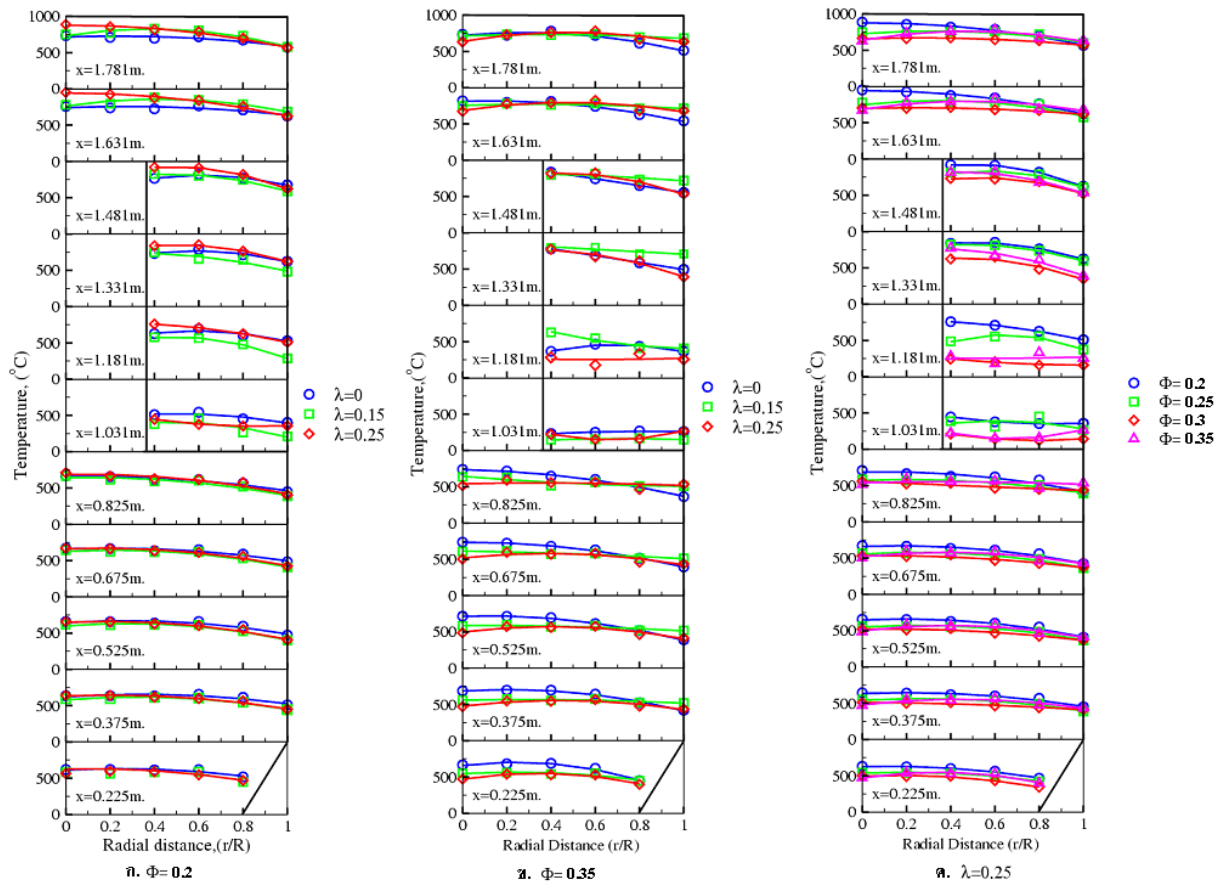
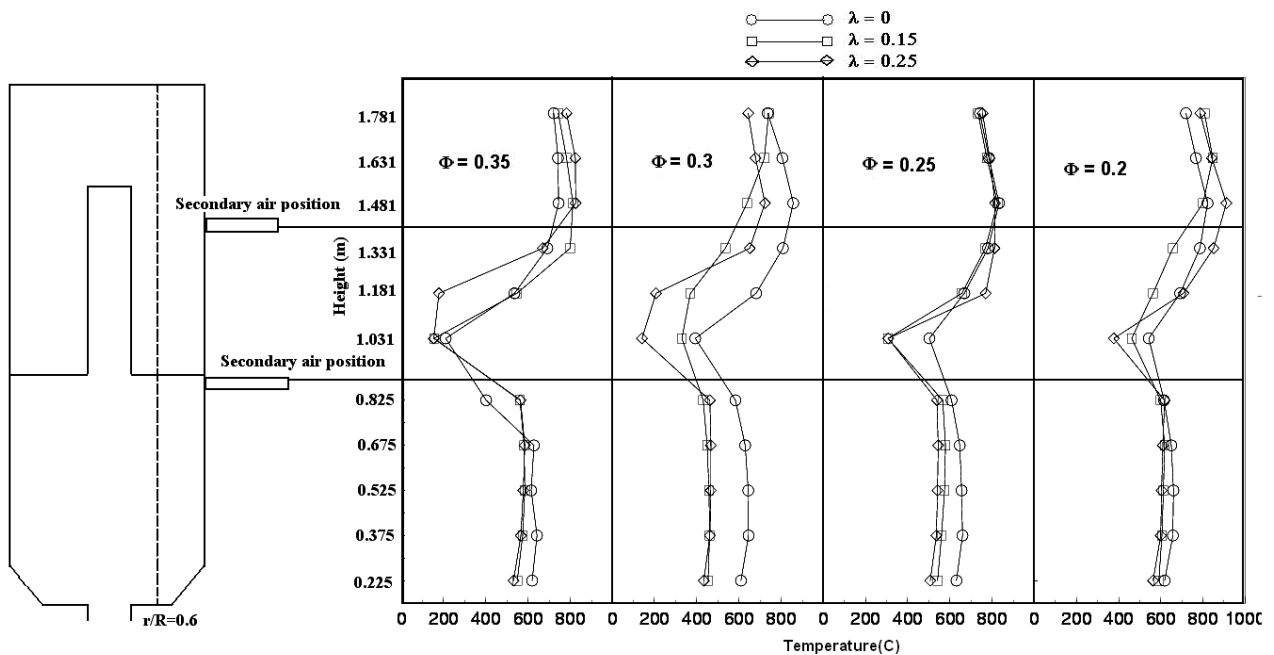


Figure 1

รูปที่ 3 แสดงการกระจายอุณหภูมิตามแนวรัศมีที่ตลอดความสูงของเตา



รูปที่ 4 แสดงการกระจายอุณหภูมิในแต่ละความสูงของเตาตามแนวรัศมีที่ $r/R=0.6$

การเปลี่ยนแปลงของ λ และ Φ มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, และก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ดังนี้

ที่ $\Phi=0.2$ จากการทดลองที่ $\lambda=0$ สามารถวัดค่าก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำสุดเท่ากับ 120 ppm ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์และก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 16 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในรูปที่ 5

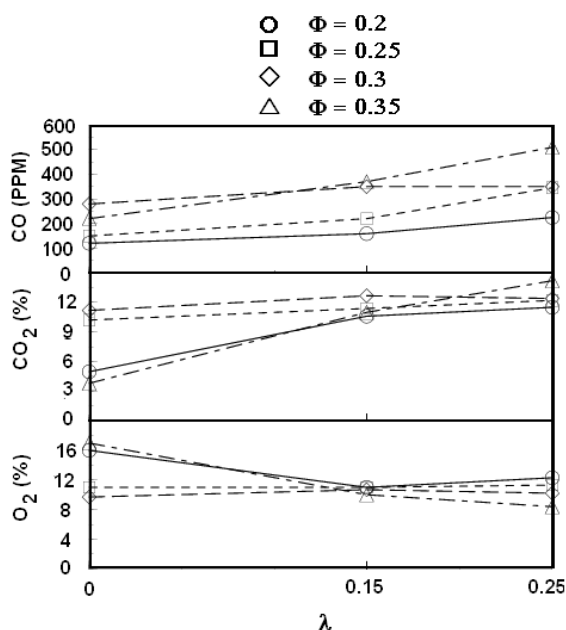
ที่ $\Phi=0.25$ จากการทดลองที่ $\lambda=0$ สามารถวัดค่าก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำสุดเท่ากับ 150 ppm ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 10.2 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 11 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในรูปที่ 5

ที่ $\Phi=0.3$ จากการทดลองที่ $\lambda=0$ สามารถวัดค่าก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำสุดเท่ากับ 280 ppm ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 11.2 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 9.7 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในรูปที่ 5

ที่ $\Phi=0.35$ จากการทดลองที่ $\lambda=0$ สามารถวัดค่าก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำสุดเท่ากับ 220 ppm ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 3.8 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 17 เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในรูปที่ 5

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเราพบว่าเมื่ออัตราส่วนสมมูลน้อย(ปริมาณอากาศมาก) และมีการฉีดอากาศทุติยภูมิ การเผาไหม้จะมีผลดีที่สุดแต่หากมีอากาศส่วนเกินมากเกินไปก็จะทำให้เตาดับได้ เนื่องจากระยะเวลาการเผาไหม้น้อยและอากาศส่วนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับเชื้อเพลิงจะพาความร้อนออกไปจากเตาได้มากด้วยซึ่งจากการทดลอง ถ้าอัตราส่วนสมมูลต่ำกว่า 0.2 เตาก็ไม่สามารถจุดติดได้ หรือถ้าอากาศสมมูลมากกว่า 0.35 ก็จะทำให้เตาดับไม่สามารถพาแลกเปลี่ยนไปเผาไหม้ได้เช่นกัน ดังนั้นช่วงที่สามารถจุดให้เตาติดได้อยู่ในช่วงที่มีค่าอัตราส่วนสมมูล 0.2-0.35 และจากการทดลองพบว่า $\Phi=0.2$ ที่ $\lambda=0.25$ ให้ผลดีที่สุด



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดีจากการได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และขอแสดงความขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนสำหรับงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] เรือโทประจักษ์ จิตร์พิทย. "การศึกษารูปแบบการไหลและลักษณะการสันดาปของห้องเผาไหม้แบบไซโคลนที่ใช้ชีลื้อเป็นเชื้อเพลิง" วิทยา-นิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2536
- [2] นางสาวศศิวิมล สูงสว่าง. "การเผาไหม้แก๊สในฟลูอิดไดซ์เบด" วิทยา-นิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต , สาขาเคมีเทคนิค จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526
- [3] พงษ์เจต พรหมวงศ์, ศุภชัย เลื่อนลอย, นิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์. "การตรวจสอบเชิงทดลองของคุณลักษณะการเผาไหม้แก๊สที่มีความชื้น", สัมมนาวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่15, 2544
- [4] Cheromisnoff, N.A. Encyclopedia of Fluid Mechanics. Volume 4 Solid and Gas Solid Flow. Houston: Gulf Publishing, 1986.