

การศึกษาเชิงทดลองของการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบแผ่นกระจายคู่

Experimental Study of Burning Rice Husk in a Dual Distributor Fluidized-bed Combustor

นิยม ศรีศิริสิทธิกุล¹ สมินทร์ เอี่ยมสอาด² ประสิทธิ์ คำพันธ์¹ พงษ์เจต พรหมวงศ์¹
¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
โทรศัพท์ 662-326-4197 ต่อ 104 , โทรสาร 662-326-4198 , e-mail : kppongje@kmitl.ac.th, yomland2000@yahoo.com

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ถ.เชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530 e-mail : Smith@mut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบสร้างเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบแผ่นกระจายคู่ โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งลักษณะของห้องเผาไหม้เป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเตาเท่ากับ 300 มิลลิเมตร และมีความสูงเท่ากับ 2,250 มิลลิเมตร โดยเตาเผาแบบนี้จะมีแผ่นกระจายอยู่ 2 ชุด แผ่นแรกจะเป็นตัวช่วยทำให้เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เซชัน ส่วนแผ่นที่ 2 เป็นตัวช่วยพองแกลบ และอัตราการไหลเชิงมวลของแกลบคงที่เท่ากับ 18 กิโลกรัม / ชั่วโมง และทำการปรับอัตราส่วนสมมูล , $\Phi = 0.2, 0.25, 0.3$ และ 0.35 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนสมมูล = 0.3 ในกรณี $\lambda = 0.4$ ให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาสูงสุดประมาณ 910°C และที่ระยะกึ่งกลางเตาตามแนวรัศมีจะเป็นตำแหน่งที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด และจากผลการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียของเตาเผาจะพบว่า $\text{O}_2=7.7\%, \text{CO}_2=7.6\%, \text{CO}=328\text{ ppm}, \text{NO}=308\text{ ppm}, \text{NO}_x=324\text{ ppm}$

Abstract

This paper presents the design and test of a Dual Distributor fluidized-bed combustor (DDFBC) using rice husk as fuel. The combustor has a cylindrical shape with 300 mm in diameter and 2,250 mm. height. The combustor have two distributor plates for supply air the first one helps to occur a fluidization phenomenon and the other helps to inject rice husk into the combustion chamber 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 experiment show that maximum temperature inside

the combustor is found to be 910°C for the case of $\Phi=0.3$ with the fraction of secondary air to total air, $\lambda =0.4$, the emissions of flue gases for this case $\text{O}_2= 7.7\%$, $\text{CO}_2= 7.6\%$, $\text{CO}=328\text{ ppm}$, $\text{NO}= 308\text{ ppm}$, and $\text{NO}_x= 324\text{ ppm}$

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้จะเห็นได้ว่าการนำแกลบมาเผาเพื่อผลิตพลังงานเนื่องจากสภาวะทางเศรษฐกิจตกต่ำอีกทั้งยังเป็นผลมาจากภาวะสงครามระหว่างประเทศอียิปต์กับฝ่ายพันธมิตรซึ่งทำให้ราคาน้ำมันสูงขึ้นดังนั้นทางภาครัฐจึงได้มีนโยบายเพื่อที่จะหาแหล่งพลังงานอื่นเพื่อมาใช้ทดแทนพลังงานจากน้ำมัน จึงได้มีการส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนอื่นๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานลม และพลังงานที่มาจากชีวมวล เช่น แกลบ, ชี้อ้อย, ซาฮอช, ฯลฯ สำหรับการศึกษาครั้งนี้เราจะสนใจที่จะนำแกลบมาใช้เป็นเชื้อเพลิงเพราะว่าจากการสำรวจพบว่าเรามีปริมาณแกลบอยู่เป็นจำนวนมากทั่วประเทศ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเตาเผาที่มีอยู่ในปัจจุบันได้แก่ งานวิจัยของ สุวิทย์ เตีย และคณะ [2] ได้วิจัยเตาเผาแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวล โดยทำการเปลี่ยนการป้อนของอากาศ ที่อัตราการป้อนของเชื้อเพลิงคงที่เท่ากับ 15 กิโลกรัมต่อชั่วโมงระบบการป้อนเป็นแบบ overfeed ซึ่งบางครั้งต้องการระบบหล่อเย็น งานวิจัยของ Natarajan และคณะ [4] ได้ทำการรวบรวมบทความของคุณลักษณะการเผาไหม้และ Gasification ของเชื้อเพลิงแกลบของระบบฟลูอิดไดซ์เบด งานวิจัยของ Abdullah และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาลักษณะการเกิดฟลูอิดไดซ์เซชันโดยใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นวัสดุเบด โดยปรับเปลี่ยนเชื้อเพลิงหลายๆชนิดเพื่อทำการหาค่าความเร็วที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เซชันเปรียบเทียบกับผลการคำนวณทางทฤษฎี

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาการเผาไหม้ขึ้นภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบแผ่นกระจายโดยเทคนิคของการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศเข้าผสมกันก่อนป้อนเข้าสู่ห้องการเผาไหม้เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิที่ทางเข้าของการป้อนเชื้อเพลิง อีกทั้งยังช่วยให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่องของอนุภาคเชื้อเพลิงแกลบใน free board และยิ่งช่วยให้การคลุกเคล้าของอากาศกับเชื้อเพลิงดี โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของการกระจายอุณหภูมิภายในเตาและมลพิษที่เกิดขึ้นภายในเตาเผา เมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่า Equivalence ratio ที่ค่าต่าง ๆ กันเพื่อใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาและพัฒนาต่อไป

2. พื้นฐานเกี่ยวกับการเผาไหม้ [1]

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต้องอาศัยปัจจัยที่สำคัญ 3 ประการคือ

- 1) เวลาต้องนานเพียงพอ เพื่อให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้หมดโดยไม่ถูกอากาศส่วนเกินนำออกทางปล่องคว้นก่อนถูกเผาไหม้
- 2) อุณหภูมิต้องสูงพอที่จะทำให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่อง
- 3) การผสมผสานระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศต้องอยู่ในลักษณะของการผสมแบบปั่นป่วน

ค่าอัตราส่วนสมมูล เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้ทางทฤษฎีที่แท้จริง เราจะหาค่าอัตราส่วนสมมูลได้จากสมการต่อไปนี้

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

เมื่อ m_a คือ อัตราการไหลของอากาศ (kg/min)

m_f คือ อัตราการไหลของเชื้อเพลิง (kg/min)

โดยที่ $\Phi < 1.0$ คือ อัตราส่วนผสมบาง (Lean)

$\Phi = 1.0$ คือ อัตราส่วนผสมพอดี (Stoichiometric)

$\Phi > 1.0$ คือ อัตราส่วนผสมหนา (Rich)

สัดส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศหุตุยภูมิที่ป้อนในแนวสัมผัสเข้าสู่เตาต่ออากาศทั้งหมดเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความแรงของการไหลหมุนวนแบบวอร์เทคของการไหล ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

เมื่อ Q_s คือ อัตราการไหลของอากาศหุตุยภูมิ (kg/min)

Q_T คือ อัตราการไหลของอากาศทั้งหมด (kg/min)

3. อุปกรณ์และเครื่องมือทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2 ซึ่งห้องเผาไหม้จะได้รับอากาศมาจาก 3 ส่วนจาก Blower (1) คือ อากาศปฐุมภูมิซึ่งจะถูกควบคุมอัตราการไหลโดย Globe valve (18) และเราจะใช้ Orifice meter (3) วัดอัตราการไหลของอากาศ (โดย Orifice meter ทั้งสามชุดจะถูกทำการปรับเทียบด้วย Flow Meter) ซึ่งจะไหลผ่านมาทางด้านล่างของเบด และอากาศส่วนที่ 2 คืออากาศหุตุยภูมิที่ได้มาจาก Blower ซึ่งจะส่งไปยัง Globe valve (18) เพื่อ

ทำการปรับอัตราการไหล และทำการวัดโดย Orifice meter (3) ซึ่งอากาศหุตุยภูมิจะเข้าทางด้านข้างแนวสัมผัสกับเตาเผา สำหรับเชื้อเพลิงแกลบนั้นจะถูกบรรจุอยู่ใน Hopper (7) และจะถูกลำเลียงโดย Screw feeder (6) ซึ่งจะได้รับต้นกำลังจาก Motor (8) และได้ทำการควบคุมอัตราการป้อนของแกลบด้วย Inverter (5) โดยแกลบจะเข้าสู่ท่อลำเลียงและเข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้วยอากาศปฐุมภูมิส่วนที่ 2 (nozzle Jet) ซึ่งที่จุดนี้เป็นการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงในลักษณะการผสมแบบ premixed โดยแกลบจะเข้าสู่ท่อลำเลียงและเข้าสู่ห้องเผาไหม้ด้วยอากาศปฐุมภูมิส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นท่ออยู่ที่กึ่งกลางของเบด โดยมีแผ่นกระจายแผ่นแรกจะเป็นตัวช่วยให้เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์เซชัน ส่วนแผ่นกระจายแผ่นที่ 2 เป็นตัวช่วยส่งแกลบไปยังห้องเผาไหม้โดยการฉีดพ่น (ซึ่งสามารถดูรายละเอียดได้จากรูปที่ 2) จะไหลขึ้นมาจากด้านล่างของเบดทำให้เกิดการผสมคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ และส่วนอากาศส่วนที่ 3 คือ อากาศหุตุยภูมิซึ่งจะไหลเข้าทางแนวเส้นสัมผัสที่ด้านข้างของห้องเผาไหม้และการวัดการกระจายของอุณหภูมิภายในเตาเผาจะใช้ Thermocouple type K (15) ซึ่งจะทำการวัดทั้งสิ้น 12 จุด และ Thermocouple type R 1จุด สำหรับวัดอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม และอ่านค่าอุณหภูมิได้จาก Indicator (5) และทำการวัดมลพิษด้วย flue gas analyzer (19) (Testo 300 MI) ที่ออกจากห้องเผาไหม้โดยการวัดก่อนเข้าชุดไซโคลนตัวที่ 1 (16)

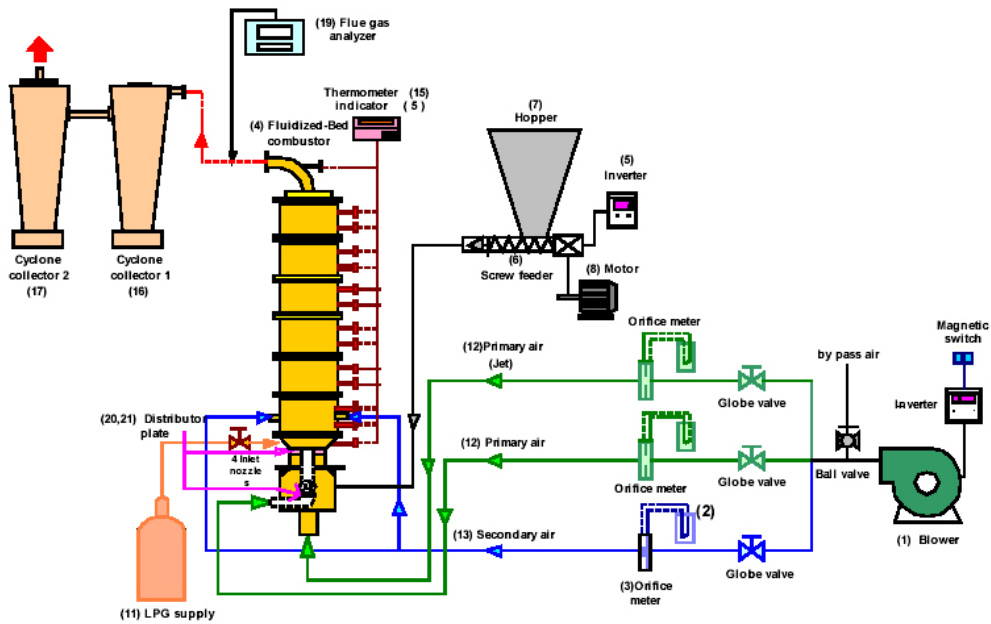
ส่วนลักษณะรายละเอียดของการฉีดอากาศหุตุยภูมิสามารถศึกษาได้จากเอกสาร [3]

4. วิธีการทดลอง

รายละเอียดของการทดลองสามารถดูได้จากเอกสารอ้างอิงที่ [3] โดยปรับทำการปรับอัตราส่วนสมมูลเป็น 0.2, 0.25, 0.3 และ 0.35 ตามลำดับ

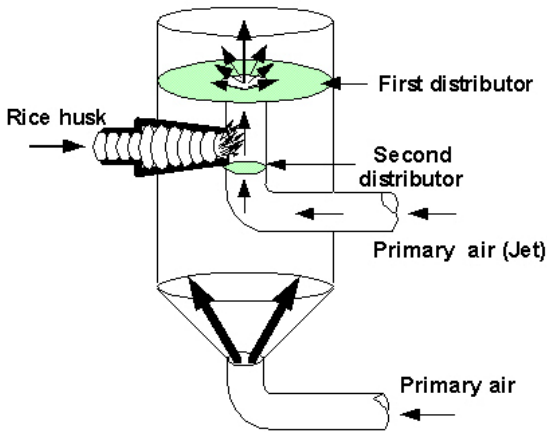
ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลอง

เงื่อนไขในการทดลอง	ค่าที่ใช้
-เส้นผ่าศูนย์กลางภายในห้องเผาไหม้ (D),mm.	300
-ความสูงของห้องเผาไหม้ (H),mm	2,250
-เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นกระจายแผ่นที่ 1, mm.	150
-เส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นกระจายแผ่นที่ 2, mm.	30
-จำนวนรูของแผ่นกระจายแผ่นที่ 1, mm.	250
-จำนวนรูของแผ่นกระจายแผ่นที่ 2, mm.	50
-อัตราป้อนของเชื้อเพลิงแกลบ, kg/hr.	18
-อัตราส่วนสมมูล (Equivalence ratio, Φ)	0.2,0.25,0.3, และ 0.35
-ขนาดของเชื้อเพลิงแกลบ ,mm.	2X8
-ความชื้นของแกลบ , %	10.2
-ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน, U_{mf}	0.4 m/s



- | | | | | |
|------------------|------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------------|
| (1) Blower | (2) Manometer | (3) Orifice plate | (4) Fluidized-bed combustor | (5) Indicator |
| (6) Screw feeder | (7) Hopper | (8) Motor | (9) Inverter | (10) Burner |
| (11) LPG Supply | (12) Primary air | (13) Secondary air | (14) Bypass air | (15) Thermocouple Type K |
| (16) Cyclone 1 | (17) Cyclone 2 | (18) Gate valve | (19) Flue gas analyzer | (20,21) Distributor1, 2 |

รูปที่ 1 ระบบอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 รูปร่างลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงแกลบเข้าสู่ห้องเผาไหม้และห้องเผาไหม้แบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบแผ่นกระจายตัว (DDFBC)

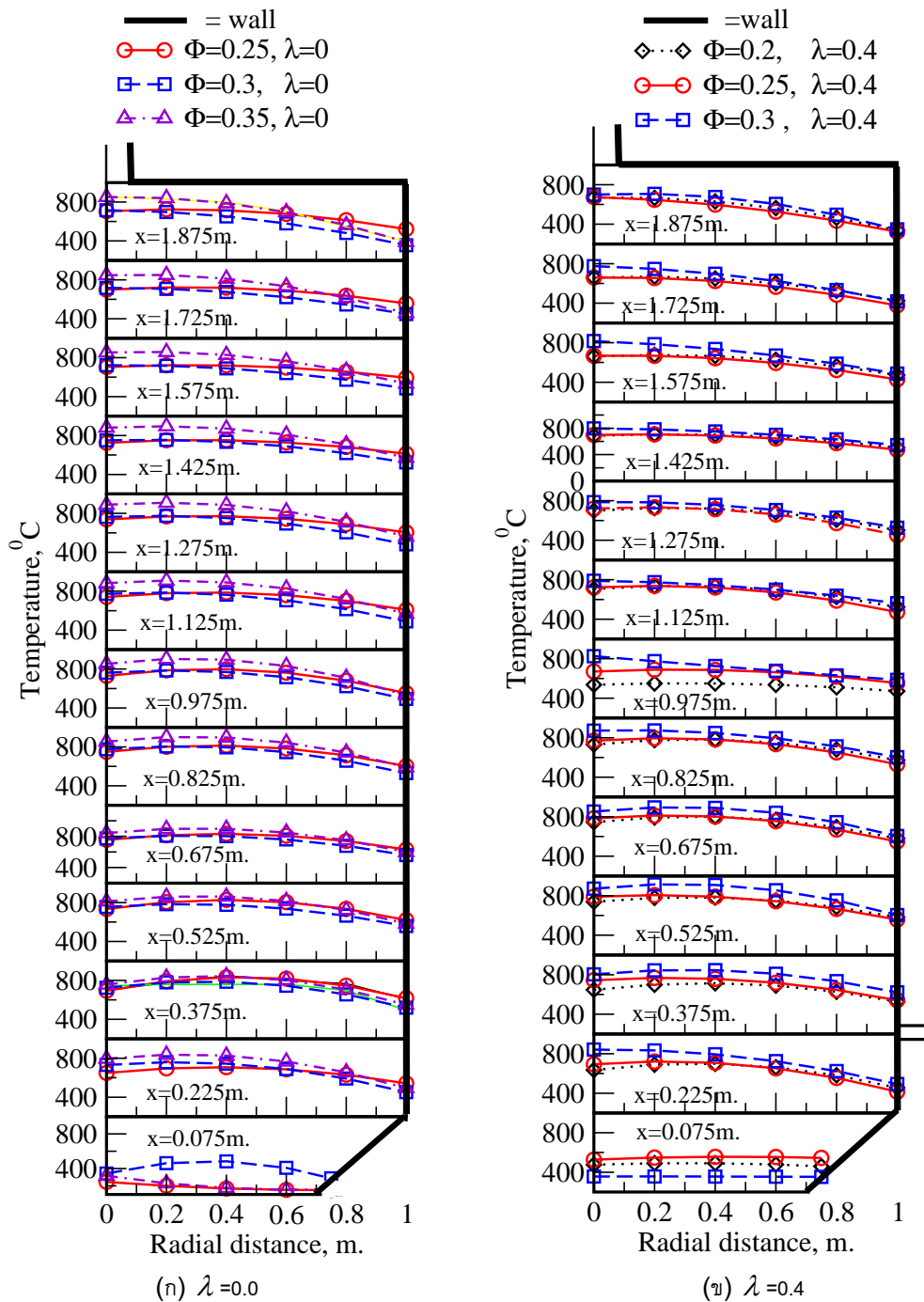
5. ผลการทดลองและการอภิปราย

จากผลการทดลองการเผาไหม้ของ (DDFBC) โดยที่มีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนสมมูลทั้งสิ้น 4 ค่า คือ 0.2, 0.25, 0.3 และ 0.35 ตามลำดับ ดังกล่าวข้างต้นเพื่อศึกษาลักษณะอากาศหมุนระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศภายในห้องเผาไหม้เพื่อหาการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอภายในเตาเผาที่เหมาะสมที่สุดและมลพิษที่ออกจากเตาเผา

น้อยที่สุด โดยอัตราการป้อนแกลบคงที่เท่ากับ 18 kg/hr ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้

5.1 อิทธิพลของอัตราส่วนสมมูลที่มีผลต่อการเผาไหม้

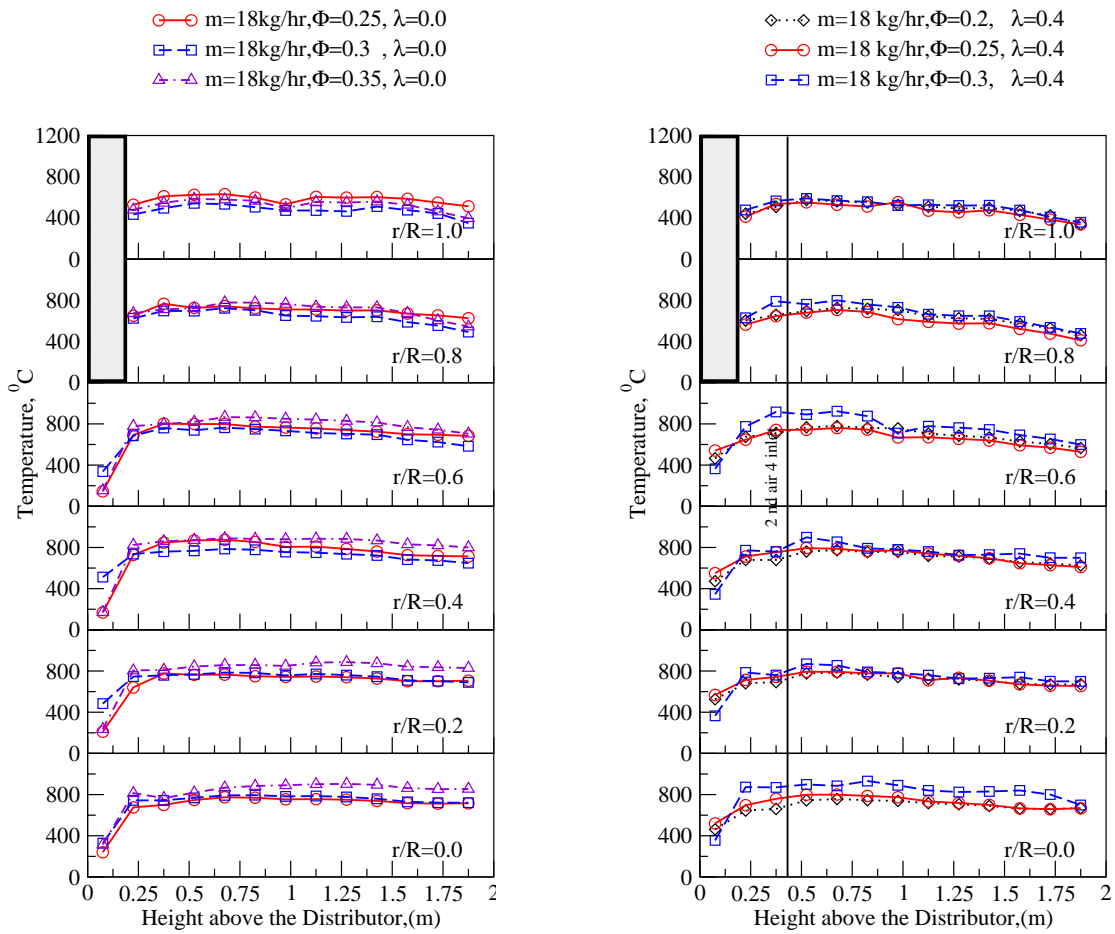
จากรูปที่ 3ก พิจารณาการกระจายอุณหภูมิตามแนวรัศมีที่ $\lambda = 0.0$ กรณีไม่มีการฉีดอากาศทุติยภูมิจะพบว่าที่ตำแหน่ง $x = 0.075$ m. เป็นช่วงเขต ซึ่งบริเวณนี้จะเป็นช่วงเริ่มต้นของการเผาไหม้เนื่องจากบริเวณนี้เป็นบริเวณที่ใกล้กับหัวฉีดที่และแผ่นกระจายแผ่นที่ 1 ซึ่งเป็นจุดที่รวมตัวกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงจึงทำให้อุณหภูมิบริเวณนี้มีค่าไม่สูงมากนักแต่ก็เริ่มติดไฟได้ และ เมื่อพิจารณาการกระจายอุณหภูมิจะพบว่าที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.35 จะให้การกระจายสม่ำเสมอทั่วทั้งเตาเผาและมีค่าสูงกว่าที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.25 และ 0.3 เนื่องจากที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.35 จะใช้อากาศน้อยกว่าทำให้การเผาไหม้ได้ดีกว่าทั้งสองกรณี ส่วนที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.2 ที่ $\lambda = 0.0$ ไม่สามารถทดลองได้เนื่องจากในกรณีอากาศเข้าไปภายในเตาทำให้อุณหภูมิภายในเตาจะค่อย ๆ ลดลงและส่วนรูปที่ 3 ข จะเป็นการพิจารณาการกระจายอุณหภูมิตามแนวรัศมีที่กรณีนี้ที่ $\lambda = 0.4$ จะพบว่าที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.3 จะให้การกระจายอุณหภูมิที่สูงและสม่ำเสมอทั่วทั้งเตาเผาโดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยมีค่าประมาณ 910°C ที่ระยะ $r/R=0$ เมื่อพิจารณาการกระจายอุณหภูมิตามแนวรัศมีอาจจะมองไม่เห็นภาพมากนักดังนั้นจึงขอพิจารณาตามแนวความสูงของเตาเพื่อให้เห็นภาพมากขึ้น



รูปที่ 3 การกระจายอุณหภูมิภายในตามแนวรัศมีที่อัตราการป้อนแก๊สเท่ากับ 18 kg/hr ที่ $\lambda = 0.0$ และ $\lambda = 0.4$

จากรูปที่ 4ก เป็นกราฟที่แสดงอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตาเผาที่อัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio), Φ เท่ากับ 0.25, 0.3, 0.35 ที่ $\lambda = 0$ จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนสมมูล (equivalence ratio), Φ เท่ากับ 0.25 ตำแหน่งความสูงเท่ากับ 0.75m. ที่ระยะ $r/R=0.4$ จะให้อุณหภูมิสูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 800 °C และมีค่าสูงกว่าที่ระยะ r/R เท่ากับ 0 และ 0.2 เนื่องจากที่บริเวณนี้เป็นช่วงเกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดซ์

เซชันที่ของแข็งประพฤติตัวเหมือนของไหล ของแผ่นกระจายแผ่นที่ 2 ซึ่งบริเวณนี้จะเป็นบริเวณของการผสมกันระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศซึ่งมีลักษณะคล้ายกับน้ำพุทำให้การเผาไหม้บริเวณนี้เผาไหม้ได้ดีและมีอุณหภูมิสูงกว่าระยะ r/R ทั้ง 2 ระยะคือ 0 และ 0.2 และสาเหตุอีกประการหนึ่งอาจเกิดจากที่บริเวณกึ่งกลางเตาเป็นจุดรวมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงซึ่งจะผสมกันอยู่มาก



(ก) $\lambda = 0.0$

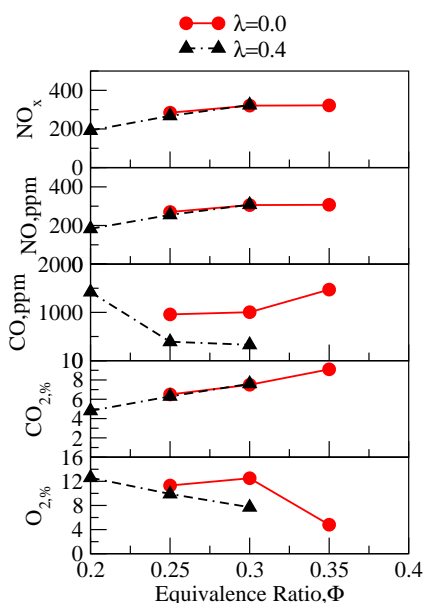
(ข) $\lambda = 0.4$

รูปที่ 4 การกระจายอุณหภูมิภายในตามแนวความสูงของเตาเผาที่อัตราการป้อนแก๊สเท่ากับ 18 kg/hr ที่ $\lambda = 0.0$ และ $\lambda = 0.4$

ส่วนที่ตำแหน่งความสูงเท่ากับ 1.5 m. เริ่มมีค่าอุณหภูมิของทั้ง 3 ระยะเริ่มจะไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องบริเวณนี้ใกล้กับทางออกของท่อไอเสีย เป็นกราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาตามแนวความสูงของเตาเผาที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.3 ที่ $\lambda = 0.0$ จะสังเกตได้ว่าที่ระยะ $r/R=0$ ที่ตำแหน่งความสูงเท่ากับ 0.075 m. คือจะเป็นช่วงของการเริ่มต้นของการเผาไหม้และอุณหภูมิจะค่อยเริ่มสูงขึ้นและมีค่าเกือบจะคงที่ตลอดทั้งความสูงของเตาเผา โดยอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งเตาประมาณ 790°C ส่วนที่ระยะ $r/R=0.2$ และ $r/R=0.4$ จะให้อุณหภูมิต่ำลงมาเล็กน้อยแต่จะลดต่ำลงมาอย่างเห็นได้ชัดบริเวณส่วนบนและพิจารณาการกระจายอุณหภูมิที่ $\Phi = 0.35$ ในกรณีนี้ที่ $\lambda = 0$ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเริ่มต้นของการเผาไหม้มีค่าต่ำเนื่องในกรณีอากาศปฏิกิริยาที่มีใช้อากาศน้อยทำให้อากาศกับเชื้อเพลิงผสมกันได้พอดีทำให้การเผาไหม้มีค่าสม่ำเสมอทั่วทั้งเตาเผาโดยอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 850°C ที่ระยะ $r/R = 0.4$ และจากรูปที่ 4 ข พิจารณาการกระจายอุณหภูมิที่ $\Phi = 0.2, 0.25, 0.3$ กรณี $\lambda = 0.4$ จะเห็นได้ว่าที่ $\Phi = 0.2$ การฉีดอากาศทุติยภูมิ 40 % ก็คือฉีดอากาศเข้าในแนว

สัมผัสให้อากาศผสมกับเชื้อเพลิงทำให้การเผาไหม้ได้ดี จึงทำให้อุณหภูมิเริ่มต้นมีค่าสูง และมีค่าคงที่เนื่องจากที่ตำแหน่ง $x = 0.225$ m. มีการฉีดอากาศทุติยภูมิเข้าผสมทำให้อุณหภูมิช่วงนี้มีค่าคงที่และจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากการหมุนวนทำให้อากาศและเชื้อเพลิงผสมกันได้ดีจะทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้จึงมีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นโดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 780°C ที่ระยะ $r/R = 0.2$ ที่ $x = 0.25$ m. ส่วนการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นตามแนวแกนที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.25 กรณี $\lambda = 0.4$ จะสังเกตได้ว่าที่จุดเริ่มต้นมีการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงเนื่องจากปริมาณของอากาศปฏิกิริยาอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะทำให้อากาศกับเชื้อเพลิงผสมกันได้ดีอีกทั้งยังมีอากาศทุติยภูมิเข้าไปช่วยเพิ่มออกซิเจนและเกิดการคลุกเคล้ากันระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศทำให้การเผาไหม้ได้ดี โดยการเผาไหม้ที่เหมาะสมภายในเตาอยู่ที่ประมาณความสูงตั้งแต่ $x = 0.5$ ถึง $x = 1.25$ m. โดยอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 800°C ที่ $x = 0.5$ m. ตามแนวความสูงที่ระยะ $r/R = 0$ และจะเห็นได้ว่าที่กรณี $\Phi = 0.25$ จะมีอุณหภูมิสูงกว่าในกรณี $r/R = 0.2$ กรณี $\lambda = 0.4$ เนื่องจากในกรณีนี้ที่ $\Phi = 0.2$, $\lambda = 0.4$ จะใช้ปริมาณ

อากาศในการเผาไหม้มากกว่า จึงทำให้ปริมาณออกซิเจนเข้ามา มาก จึงทำให้อุณหภูมิมีค่าไม่สูงมากนักและที่ค่า $\Phi = 0.3$, $\lambda = 0.4$ จะสังเกตได้ว่าที่ระยะเริ่มต้นของการเผาไหม้คือระยะ $x = 0.075$ m อุณหภูมิการเผาไหม้มีค่าไม่สูงมากนักเนื่องจากในกรณีอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้จะน้อยกว่า ทำให้ความสูงของอากาศที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ฟลูอิดไดเซชันต่ำลง ประกอบกับจะต้องใช้อากาศหมุนวนตามแนวสัมผัส 40 % ทำให้บริเวณนี้อุณหภูมิยังไม่สูงมากนัก แต่ผลของอากาศส่วนที่ 2 จะทำให้อากาศหมุนวนทำให้เชื้อเพลิงกับอากาศรวมตัวกันได้ดี ทำให้การเผาไหม้ได้และจะเป็นได้ชัดที่บริเวณ $x = 0.225$ m. ตามแนวความสูง อุณหภูมิจะคงที่จนถึง $x = 0.375$ m. เนื่องจากช่วงบริเวณที่เป็นช่วงใกล้กับบริเวณการฉีดอากาศทุติยภูมิทำให้อากาศเย็นเข้ามาผสมจึงอุณหภูมิมืดที่ แต่หลังจากนั้นก็เริ่มเผาไหม้ได้ต่ออีกเนื่องจากผลของการหมุนวนจะเห็นได้ชัดว่าที่ระยะ $r/R = 0$ นั้นให้อุณหภูมิสูงและความร้อนสูงกว่าที่ระยะ $r/R = 0.2$ และ 0.4 โดยที่อุณหภูมิสูงที่ $x = 0.7$ m. อุณหภูมิสูงสุดประมาณ 910 °C จะเห็นได้ว่าที่กรณีนี้จะให้อุณหภูมิสูงเมื่อเทียบกับ $\Phi = 0.2$ และ $\Phi = 0.25$ ที่ $\lambda = 0.4$ ส่วนที่ระยะ $r/R = 1.0$ จะเห็นว่าอุณหภูมิลดต่ำลงเนื่องจากบริเวณดังกล่าวเป็นจุดที่ใกล้กับผนังเตาจึงทำให้อุณหภูมิลดต่ำลง. และรูปที่ 5 จากผลการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียใน จะเห็นได้ว่าค่าออกซิเจนจะมีค่าน้อยลงเมื่อ A/F ratio เข้าใกล้ Stoichiometric ในทุกกรณีและ CO จะมีค่าสูงเนื่องจากใช้อากาศเข้ามาเผาไหม้มาก และจะเห็นได้ว่าที่ $\Phi = 0.35$ กรณีที่ $\lambda = 0$ ค่า CO จะมีค่าสูงเนื่องจากในกรณีนี้จะมีออกซิเจนน้อยทำให้การผสมกันของออกซิเจนจึงทำให้ CO มีค่ามากขึ้น ส่วนค่า NO และ NO_x จะมีค่ามากเมื่ออุณหภูมิสูงเกินกว่า 900 °C



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซไอเสียที่ $\lambda = 0.0$ และ 0.4

6. สรุปผลการทดลอง

เนื่องจากการทดลองนี้เป็นทดลองเบื้องต้นของการศึกษา การเผาไหม้ภายในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบแผ่นกระจายคู่ (DDFBC) โดยใช้เชื้อเพลิงแกลบเป็นเชื้อเพลิง โดยเทคนิคของการป้อนเชื้อเพลิงและอากาศแบบpremix เข้าผสมกันก่อนการเผาไหม้ และยังเป็นทดลองการเกิดเปลวไฟย้อนกลับไปยังชุดป้อนเชื้อเพลิง และเป็นการลดอุณหภูมิที่ทางเข้าของการป้อนเชื้อเพลิง อีกทั้งยังช่วยให้เกิดการเผาไหม้ได้อย่างต่อเนื่องของอุณหภูมิเชื้อเพลิงแกลบใน free board และยังช่วยให้การคลุกเคล้าของอากาศกับเชื้อเพลิง โดยที่ได้มุ่งผลไปที่ทำการศึกษาการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาและมลพิษที่เกิดขึ้นภายในเตาเผา ซึ่งจากการทดลองเราสามารถสรุปผลได้ว่าการกระจายอุณหภูมิภายใน DDFBC ในกรณีที่ค่าอัตราส่วนผสมเท่ากับ 0.3 ที่ $\lambda = 40\%$ ให้การกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอและมีค่าสูง จะให้อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้มีค่าสูงสุดประมาณ 910 °C และจากผลการวิเคราะห์ก๊าซไอเสียของเตาเผาจะพบว่า $\text{O}_2 = 7.7\%$, $\text{CO}_2 = 7.6\%$, $\text{CO} = 328$ ppm, $\text{NO} = 308$ ppm, $\text{NO}_x = 324$ ppm

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากการได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาตรีภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลชั้นปีที่ 3 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ช่วยเหลือในการทดลอง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศุภชัย เลื่อนลอย (2545) "อิทธิพลของความชื้นของแกลบต่อคุณลักษณะการเผาไหม้" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- [2] สุวิทย์ เตีย และคณะ (2542) "การเผาไหม้ชีวมวลในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด" วารสารวิจัยพัฒนา มจร. ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 (พฤษภาคม - สิงหาคม 2542), หน้า 47 - 63
- [3] นิยม ศรีศิริสิทธิกุล และคณะ (2545), "เตาเผาฟลูอิดไดซ์เบดแบบอากาศหมุนวนสำหรับเผาแกลบ" สัมมนาวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 16, 2545 หน้า 660-665
- [4] E. Natarajan et al., "Overview of Combustion and Gasification of Rice husk in Fluidized Bed Reactors" Biomass and Bioenergy, 1998, Vol. 14, pp 533-546.
- [5] M.Z.Abdullah et al., "Analysis of Cold flow Fluidization Test Results for various Biomass" Biomass and Bioenergy, 2003, Vol. 24, pp 487-494

