

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 19  
19-21 ตุลาคม 2548 จังหวัดภูเก็ต

## อิทธิพลของความสูงห้องเผาไหม้แบบหมุนวนต่อพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบ

### Effect of The Height of Swirl Chamber on Combustion Behaviors of Rice Husk Fuel

วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล\*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

235 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10163

โทร. 0-245-0068, โทรสาร 0-2457-3982

E-mail: [wisitle17@yahoo.com](mailto:wisitle17@yahoo.com), [visit.l@siam.edu](mailto:visit.l@siam.edu)

ยุทธนา พลอยฉาย

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

38 ถนนหาดเจ้าสำราญ อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี 76000

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](mailto:wisitle17@yahoo.com), [visit.l@siam.edu](mailto:visit.l@siam.edu)

Yuttana Ploychay

Faculty of Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University

38 Hardchaosamran Rd., Muang, Phetchaburi 76000

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองของอิทธิพลความสูงห้องเผาไหม้แบบหมุนวนต่อพฤติกรรมการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาเวอร์เทค โดยห้องเผาไหม้ของเตาเผาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.25m(D) ความสูงของห้องเผาไหม้ถูกออกแบบให้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดได้ 3 ขนาด คือ 0.75 m (3D), 1.0 m (4D) และ 1.25 m (5D) ตามต้องการ ซึ่งมีการติดตั้งตำแหน่งท่อฉีดอากาศไว้ในแนวสัมผัสรอบๆ ผังเตาเผาไหม้ เพื่อทำให้เกิดการไหลหมุนวนของอากาศภายใน การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาจะพิจารณาโดยการปรับค่า equivalence ratio ( $\Phi$ ) เท่ากับ 0.8, 1.0 และ 1.2 โดยแต่ละการทดลองกำหนดอัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทั้งหมด ( $\lambda$ ) เท่ากับ 0.0, 0.15 และ 0.25 ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบคงที่เท่ากับ 0.2 kg/min จากผลการทดลองที่ความสูงของห้องเผาไหม้ขนาด 1.0 m (4D),  $\Phi = 1.0$  และ  $\lambda = 0.15$  จะให้อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในเตาเผาประมาณ 1,000 °C ที่บริเวณกึ่งกลางห้องเผาไหม้ควันทที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย และพบว่าก๊าซไอเสียที่วัดจากทางออกท่อไอเสียประกอบด้วย  $O_2 = 1.9\%$ ,  $CO_2 = 17.5\%$  และ  $CO = 250$  ppm.

**คำสำคัญ:** ห้องเผาไหม้แบบหมุนวน, การไหลหมุนวนอากาศ

#### Abstract

This paper presents the experimental study of the height effect of swirl chamber on combustion behaviors of rice husk fuel in a vortex combustor. The diameter of combustion chamber is 0.25m (D). The heights of the combustion chamber are designed to be adjustable for three-size 0.75m (3D), 1.0m (4D) and 1.25 m (5D) as desired with a set of air nozzles placing circumferentially on the combustor to produce air-swirl flow inside. The temperature distribution inside the combustor is measured according to equivalence ratio,  $\Phi$  of 0.8, 1.0, and 1.2. The ratio of volumetric flow rates of the secondary air to the total air,  $\lambda$  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 0.2 kg/min. The experiment shows the maximum average temperature about 1,000 °C in the annular chamber can be achieved with less smoke of flue gas when the height of chamber size is 1.0 m (4D),  $\Phi = 1.0$  and  $\lambda = 0.15$ . The emission of exhaust gas from the stack are composed of  $O_2 = 1.9\%$ ,  $CO_2 = 17.5\%$  and  $CO = 250$  ppm.

**Keyword:** swirl chamber, air-swirl flow

\* Corresponding author

## 1. บทนำ

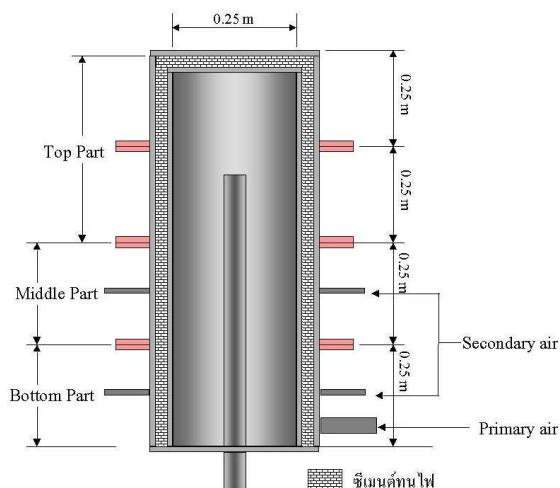
ปัจจุบันทั้งองค์กรรัฐและเอกชนต่างให้ความสนใจในการวิจัยและพัฒนาวัสดุเหลือใช้ทางภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม เพื่อนำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานทดแทนแหล่งทรัพยากรทางธรรมชาติเดิมซึ่งได้แก่ น้ำมันปิโตรเลียม, ก๊าซธรรมชาติ และ ถ่านหิน เป็นต้น ที่นับวันกำลังลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากมีความต้องการใช้พลังงานเป็นจำนวนมากในทุกวันนี้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

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

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลความสูงห้องเผาไหม้แบบหมุนวนต่อพฤติกรรมการเผาไหม้ของแกลบภายในเตาเผาแบบวอร์เทค โดยพิจารณาถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค และ องค์ประกอบของก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งการหมุนวนอย่างปั่นป่วนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงเกิดจากผลของ recirculation zone[4] ซึ่งทำให้ได้ความร้อนสูงสุดที่เกิดจากการเผาไหม้ที่เหมาะสม

## 2. อุปกรณ์การทดลอง

การออกแบบเตาเผาที่ใช้ในการทดลองนั้น ความสูงของห้องเผาไหม้ที่ใช้ในการทดลองมี 3 ขนาด คือ 0.75 m (3D), 1.0 m (4D) และ 1.25 m (5D) ตามลำดับ(โดยค่า D มีค่าเท่ากับ 0.25 m.) เพื่อทำการทดสอบหาการกระจายอุณหภูมิสูงสุดภายในเตาเผาแบบวอร์เทค ซึ่งลักษณะของเตาเผาแบบวอร์เทคมีลักษณะดังรูปที่ 1

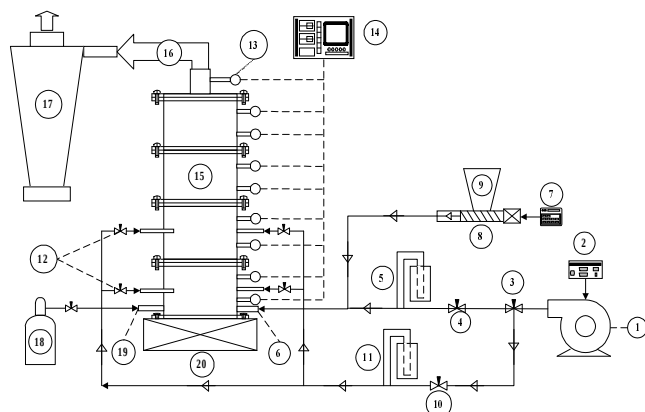


รูปที่ 1 แสดงลักษณะของเตาเผาแบบวอร์เทคที่มีความสูง 1.0 m (4D) และแกนกลางภายในห้องเผาไหม้

ในการติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง เริ่มต้นจากการประกอบตัวเตาเผาไหม้แต่ละส่วนเข้าด้วยกัน เมื่อติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการติดตั้ง Thermocouple Type K จำนวน 8 ตัวเข้ากับชุด Digital Thermometer And Multichannel Switch (14) โดยอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ประกอบด้วยอากาศ 2 ส่วนด้วยกัน คือ อากาศส่วนปฐมภูมิ (Primary Air) และอากาศส่วนทุติยภูมิ (Secondary Air) ซึ่งได้จากแหล่งต้นกำลังแหล่งเดียวกัน คือ Blower (1) มีชุด Power Supply (2) ใช้ทำหน้าที่ปรับความเร็วรอบของชุดมอเตอร์ขับเคลื่อนของ Blower (1) ในส่วนของอากาศในท่อ Primary Air จะผ่านชุด Needle Valve (4) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหล และวัดอัตราการไหลผ่านชุด Orifice Plate และ Manometer (5) ซึ่งอากาศส่วนปฐมภูมิ จะเข้าไปผสมกับแกลบที่ชุดท่อลมของเครื่องป้อนแกลบ โดยแกลบจะถูกบรรจุภายใน Hopper (9) จะลำเลียงเข้าสู่ชุดท่อลมโดยใช้ Screw Feeder (8) และมี Inverter (7) เป็นชุดปรับรอบความเร็วของมอเตอร์ เพื่อทำให้เกิดการผสมและคลุกเคล้าอากาศกับเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่เตาเผาไหม้ ส่วน Secondary Air จะผ่านเข้าสู่ท่อลมโดยมีชุด Needle Valve (10) ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลและวัดอัตราการไหลผ่านชุด Orifice Plate และ Manometer (11) และจะแบ่งอากาศส่วนนี้ออกเป็น 8 ส่วนเท่า ๆ กันเพื่อจ่ายลมให้กับเตาเผาส่วนกลาง (4 ส่วน) และเตาเผาส่วนล่าง (4 ส่วน) โดยจะจ่ายลมเข้าทางผนังบริเวณกึ่งกลางเตาเผา ซึ่งท่อลมจะติดตั้งสัมผัสผนังด้านในของห้องเผาไหม้และตั้งฉากกับรัศมีเตาทุก ๆ 90 องศา ทั้งเตาเผาส่วนบนและส่วนล่าง เมื่อติดตั้งชุดอุปกรณ์เรียบร้อยแล้วจึงเริ่มทำการอุ่นเตาเผาไหม้แสดงดังรูปที่ 2

ในการเผาไหม้นั้นจำเป็นต้องมีการอุ่นเตาเผาให้ร้อนก่อน โดยจะอุ่นเตาด้วย LPG Supply (18) โดยใช้หัว Burner เป็นตัวปรับเปลวไฟให้เป็นสีน้ำเงิน จากนั้นนำเข้าไปที่ท่ออุ่นเตาของเตาเผา (19) เพื่อให้มีอุณหภูมิสูงที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้เสียก่อน ซึ่งในขั้นต้นเริ่มอุ่นเตาให้มีอุณหภูมิประมาณ 450°C จนอุณหภูมิภายในเริ่มคงที่ จึงทำการ Feed เชื้อเพลิงแกลบเข้าไปในปริมาณน้อย เพื่อทำให้เกิดการเผาไหม้ ซึ่งหลังจากแกลบถูกเผาไหม้แล้วจะคายค่าความร้อนของแกลบออกมาให้มีผลทำ

ให้อุณหภูมิสูงขึ้น จนอุณหภูมิภายในสูงถึงประมาณ 600-700°C ซึ่งขณะนี้แก๊สสามารถติดไฟได้ด้วยตัวเองแล้ว จึงหยุดให้ LPG Supply แล้วเริ่มทำการทดลองต่อไป



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

รูปที่ 2 ผังแสดงชุดอุปกรณ์การทดลอง เตาเผาเวอร์เทค

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 ในเรื่องของการเพิ่มความดันป่วนในขณะที่เกิดการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้ [6]

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

เมื่อ  $Q_s$  คือ ปริมาณอากาศทุกชนิด

$Q_T$  คือ ปริมาณอากาศทั้งหมด

ตารางที่ 1. ข้อมูลองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแก๊ส [4]

| องค์ประกอบเชื้อเพลิงแก๊ส | เปอร์เซ็นต์โดยมวล |
|--------------------------|-------------------|
| 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              |

### 3. การทดลอง

1. ติดตั้งเตาเผาไหม้เวอร์เทคพร้อมอุปกรณ์การทดลอง (ดังรูปที่ 2) เริ่มทำการอุ่นเตาก่อนการทดลอง หลังจากนั้นป้อนแก๊สและอากาศเพื่อทำการเผาไหม้จนอุณหภูมิภายในเริ่มคงที่.

2. เมื่อ  $\lambda = 0.0$  ( $\lambda$  คือ อัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุกชนิดต่ออากาศทั้งหมด)

3. ปรับอัตราการไหลของอากาศให้ค่า  $\Phi = 0.8$

4. เริ่มบันทึกอุณหภูมิที่ระดับความสูง  $x = 0.0625 \text{ m}$ ,  $0.1875 \text{ m}$ ,  $0.3125 \text{ m}$ ,  $0.4375 \text{ m}$ ,  $0.5625 \text{ m}$  ที่  $r/R = 0.30$  และ ที่ตำแหน่ง  $x = 0.6875 \text{ m}$  ที่  $r/R = 0.0$

5. บันทึกอุณหภูมิที่เวลา นาทีที่ 10 และ นาทีที่ 20, บันทึกผลการทดลอง สังเกตควันและเก็บซีเถ้าที่ได้จากการเผาไหม้และ วิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้

6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 4 ที่ตำแหน่ง  $x = 0.0625 \text{ m}$ ,  $0.1875 \text{ m}$ ,  $0.3125 \text{ m}$ ,  $0.4375 \text{ m}$  และ  $0.5625 \text{ m}$  วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง  $r/R = 0.65$  และ  $1.0$  ตามลำดับ ส่วนที่ตำแหน่ง  $x = 0.6875 \text{ m}$  วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง  $r/R = 0.30$ ,  $0.65$  และ  $1.0$  ตามลำดับ

7. ทดลองตามข้อที่ 3-6 ปรับ  $\Phi = 1.0$ ,  $1.2$  ตามลำดับ บันทึกผล

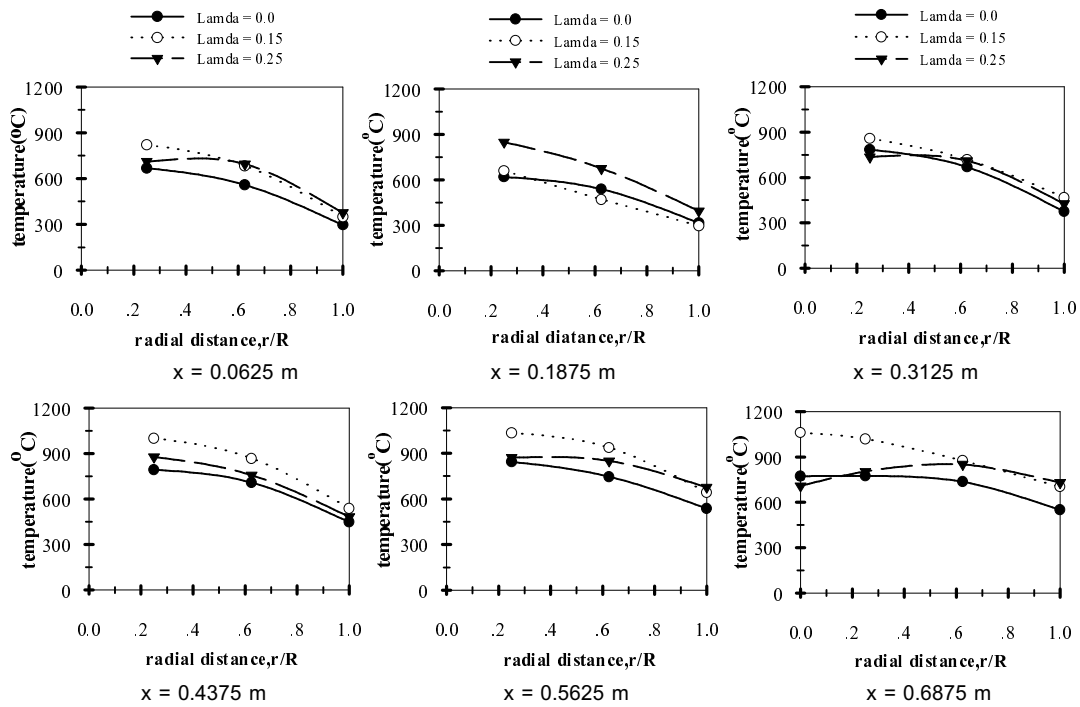
8. ทดลองตามข้อที่ 2-7 ปรับ  $\lambda = 0.15$  และ  $\lambda = 0.25$  ตามลำดับ บันทึกผลการทดลอง

9. ทำการทดลองตามข้อที่ 1 เพิ่มความสูงของห้องเผาไหม้จาก  $0.75 \text{ m}$  (3D) เป็น  $1.0 \text{ m}$  (4D) ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 2-8 โดยเพิ่มการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง  $x = 0.8125 \text{ m}$ ,  $0.9375 \text{ m}$  โดยเริ่มวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง  $r/R = 0.0$ ,  $0.30$ ,  $0.65$  และ  $1.0$  ตามลำดับ บันทึกผลการทดลอง

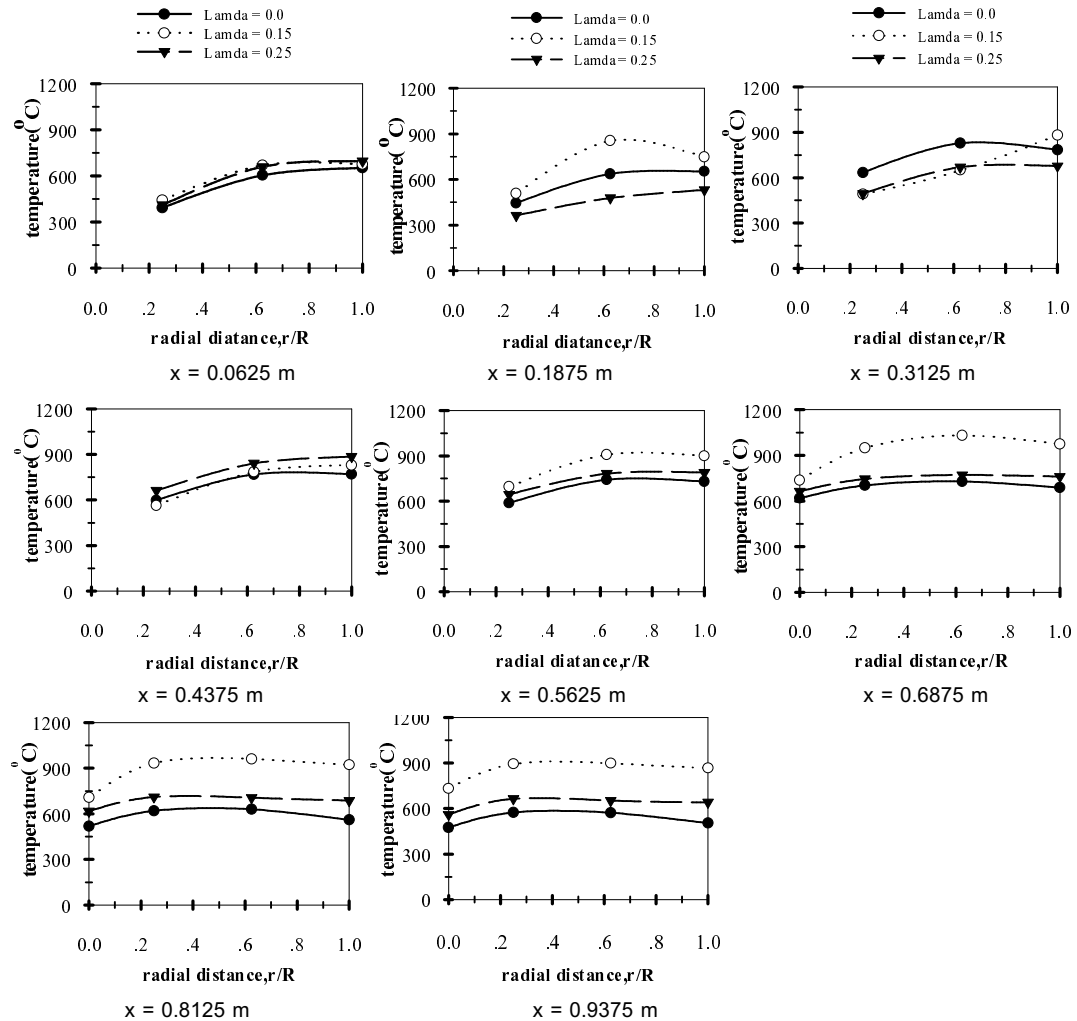
10. ทำการทดลองตามข้อที่ 9 เพิ่มความสูงของห้องเผาไหม้จาก  $1.0 \text{ m}$  (4D) เป็น  $1.25 \text{ m}$  (5D) ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 4 - 9 โดยเพิ่มการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง  $x = 1.0625 \text{ m}$ ,  $1.1875 \text{ m}$  โดยเริ่มวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง  $r/R = 0.0$ ,  $0.3$ ,  $0.65$  และ  $1.0$  ตามลำดับ บันทึกผลการทดลอง

เมื่อ  $x$  คือ ความสูงของเตาเผาเวอร์เทค

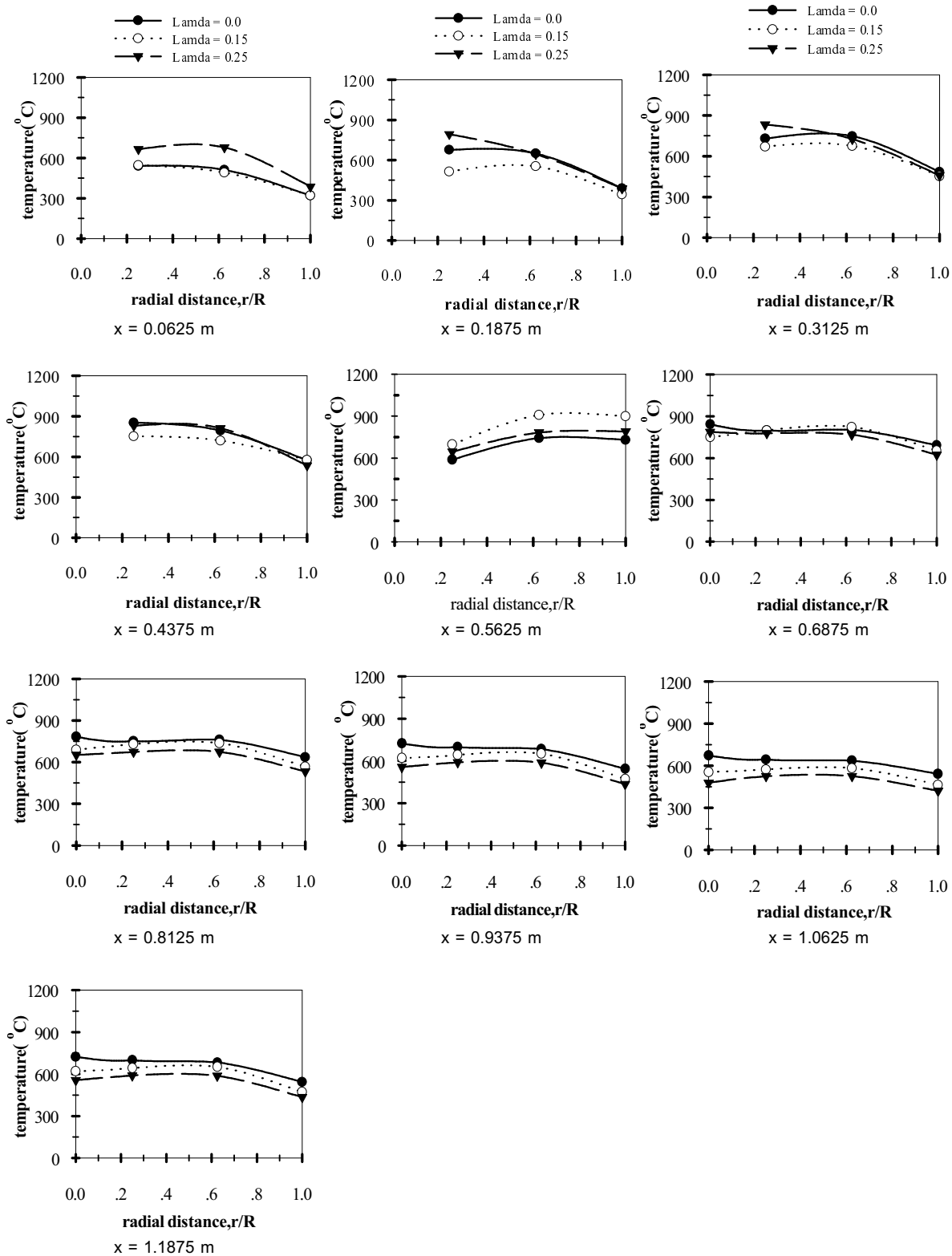
$r/R$  คือ อัตราส่วนระหว่างตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิในแนวรัศมีต่อรัศมีภายในเตาเผาเวอร์เทค



รูปที่ 3 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ความสูงของห้องเผาไหม้  $0.75\text{ m}$  (3D),  $\Phi = 1.0$



รูปที่ 4 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ความสูงของห้องเผาไหม้  $1.0\text{ m}$  (4D),  $\Phi = 1.0$



รูปที่ 5 เปรียบเทียบการกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ที่ความสูงของห้องเผาไหม้ 1.25 m (5D),  $\Phi = 1.0$

#### 4. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองการเผาไหม้เตาเผาแบบวอร์เทค โดยการวัดตำแหน่งอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ส่วนล่าง, ส่วนกลาง และส่วนบน ดังรูปที่ 2 เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอสูงสุด ภายในห้องเผาไหม้ของเตาเผา

##### 4.1 อิทธิพลของความสูงห้องเผาไหม้ที่ 0.75 m (3D)

จากรูปที่ 3 แสดงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค เนื่องจากภายในห้องเผาไหม้ส่วนล่างนี้  $x = 0.0625 \text{ m}$ ,  $0.1875 \text{ m}$  เป็นช่วงเริ่มต้นการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ฉะนั้นการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้จึงยังไม่สมบูรณ์มากนัก ทำให้อุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้ส่วนล่างนี้จึงมีการกระจายอุณหภูมิไม่สม่ำเสมอนัก แต่ผลจากอากาศชุดยุมุม ซึ่งเป็นอากาศที่ฉีดเข้าด้านข้างรอบผนังห้องเผาไหม้มีส่วนที่ช่วยทำให้เกิดความปั่นป่วน ขณะเกิดการเผาไหม้เพิ่มขึ้น ทำให้อุณหภูมิที่เกิดจากการเผาไหม้สูงขึ้นวัดได้ประมาณ  $600-700^{\circ}\text{C}$  เมื่อการเผาไหม้ดำเนินมาถึงห้องเผาไหม้ส่วนกลาง  $x = 0.3125 \text{ m}$ ,  $0.4375 \text{ m}$  พบว่าการกระจายอุณหภูมิก่อนข้างสม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง  $700-800^{\circ}\text{C}$  โดยได้รับผลจาก  $\lambda = 0.15$  มากที่สุด เมื่อการเผาไหม้ดำเนินมาถึงห้องเผาไหม้ส่วนบน พบว่าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก เนื่องจาก พฤติกรรมการไหลของอากาศที่ไหลจากพื้นที่ห้องเผาไหม้แคบไปสู่ห้องเผาไหม้ที่กว้างกว่า จะเกิดบริเวณการหมุนวนย้อนกลับ(recirculation zone)[5] ตรงบริเวณแนวกึ่งกลาง(centerline) ของห้องเผาไหม้ ซึ่งประกอบด้วย swirling forward jet และ reverse flow ของอากาศ ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวเกิดความปั่นป่วนรุนแรงระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศในขณะที่เกิดการเผาไหม้ ซึ่งความปั่นป่วนรุนแรงนี้ช่วยทำให้อนุภาคของซีเถ้าที่ติดอยู่กับผิว particle ของเชื้อเพลิงแตกหลุดออกง่ายขึ้น การเข้าทำปฏิกิริยาของอากาศบริเวณผิววนนอก particle ของเชื้อเพลิงจึงเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง และอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ภายในห้องเผาไหม้ส่วนกลางและส่วนบนนี้อยู่ในช่วง  $800-950^{\circ}\text{C}$

##### 4.2 อิทธิพลของความสูงห้องเผาไหม้ที่ 1.0 m (4D)

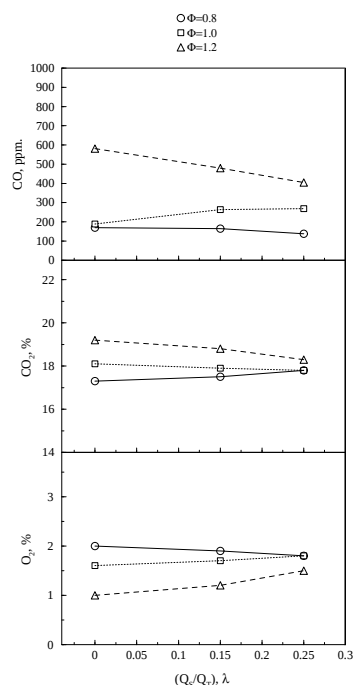
จากรูปที่ 4 การเผาไหม้เริ่มต้นที่ห้องเผาไหม้ส่วนล่างเช่นเดียวกับรูปที่ 3 โดยได้รับผลของอากาศชุดยุมุมที่ ( $\lambda = 0.15$ ) มากที่สุด แต่การกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ส่วนล่างนี้สม่ำเสมอกว่า รูปที่ 3 อุณหภูมิที่วัดได้ภายในช่วง  $500-800^{\circ}\text{C}$  หลังจากการเผาไหม้ดำเนินมาถึงห้องเผาไหม้ส่วนกลาง  $x = 0.3125 \text{ m}$ ,  $0.4375 \text{ m}$  อุณหภูมิที่วัดได้สูงขึ้นมีลักษณะแนวโน้มเดียวกับรูปที่ 3 อุณหภูมิที่วัดได้ภายในช่วง  $700-800^{\circ}\text{C}$  เมื่อการเผาไหม้มาถึงยังห้องเผาไหม้ส่วนบน  $x = 0.5625 \text{ m}$ ,  $0.6875 \text{ m}$ ,  $0.8125 \text{ m}$  และ  $0.9375 \text{ m}$  จะได้รับผลของ recirculation zone ส่งผลให้อุณหภูมิสูงขึ้น แต่จากการสังเกตเส้นกราฟการกระจายอุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอ เนื่องด้วยความสูงของห้องเผาไหม้ที่สูงขึ้น ทำให้เวลาที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้นานยิ่งขึ้น นั้นส่งผลให้การกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้เป็นไปอย่างทั่วถึง และจากการทดลองสามารถวัดอุณหภูมิเฉลี่ยได้ประมาณ  $800-900^{\circ}\text{C}$

##### 4.3 อิทธิพลของความสูงห้องเผาไหม้ที่ 1.25 m (5D)

รูปที่ 5 แสดงถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาแบบวอร์เทค ที่มีขนาดความสูงห้องเผาไหม้ เท่ากับ 5D ในขณะที่เริ่มการเผาไหม้ที่ห้องเผาไหม้ส่วนล่างนี้ พบว่าการกระจายอุณหภูมิที่เกิดขึ้นค่อนข้างสม่ำเสมอซึ่งมีช่วงอุณหภูมิอยู่ที่  $500-650^{\circ}\text{C}$  จากผลการทดลอง ที่ห้องเผาไหม้ส่วนล่าง, ส่วนกลาง และส่วนบน พบว่าผลของอากาศชุดยุมุมมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในน้อยมาก เนื่องมาจากขนาดความสูงของห้องเผาไหม้ส่วนบน( $x = 0.8125 \text{ m}$ ,  $0.9375 \text{ m}$ ,  $1.0625 \text{ m}$  และ  $1.1875 \text{ m}$ ) ซึ่งมีความสูงกว่าในกรณีที่ 0.75 m และ 1.0 m ทำให้ปริมาตรอากาศภายในมีอยู่อย่างเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและความสูงของห้องเผาไหม้ส่วนบนที่สูงขึ้น ยังส่งผลต่อเวลาที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้นานขึ้นด้วย อุณหภูมิที่วัดได้จึงกระจายอย่างสม่ำเสมอจากรูปที่ 4 (4D) แต่อุณหภูมิจะต่ำกว่า อยู่ในช่วง  $600-750^{\circ}\text{C}$

##### 4.4 ผลของก๊าซไอเสียที่เกิดจากการเผาไหม้

จากผลการทดลอง เมื่อปรับค่า equivalence ratio ( $\Phi$ ) เท่ากับ 0.8, 1.0 และ 1.2 และให้อัตราส่วนของปริมาณการไหลของอากาศชุดยุมุมต่อปริมาณอากาศทั้งหมด( $\lambda$ ) เท่ากับ 0.0, 0.15 และ 0.25 ซึ่งจากการทดลองการเผาไหม้ในเตาเผาแบบวอร์เทค พบว่าการเปลี่ยนแปลง  $\lambda$  และค่า  $\Phi$  มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์, ก๊าซออกซิเจน และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการทดลองการเผาไหม้ในเตาเผาแบบวอร์เทคที่ความสูงเท่ากับ 1.0 m(4D) สามารถวัดค่า ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ต่ำสุดได้เท่ากับ 250 ppm, ก๊าซออกซิเจนเท่ากับ 1.9% และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับ 17.5% (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 แสดงองค์ประกอบของก๊าซไอเสีย ได้แก่ CO, O<sub>2</sub>, และ CO<sub>2</sub> กับ

ค่า  $\Phi = 0.8, 1.0$ , และ 1.2 เมื่อ  $\lambda = 0.0, 0.15, 0.25$

## 5. สรุปผลการทดลอง

1. การเปลี่ยนความสูงห้องเผาไหม้ของเตาเผาเวิร์ทเคจจาก 0.75 m (3D) เป็น 1.0 m (4D) และ 1.25 m (5D) ตามลำดับ พบว่าความสูงที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้อย่างมาก โดยมีแนวโน้มของการกระจายอุณหภูมิสม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องมาจากเวลาการเผาไหม้นานขึ้นและพื้นที่ภายในห้องเผาไหม้ที่เหมาะสมต่อการคลุกเคล้าในขณะเกิดการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้

2. อัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศต่อน้ำมันต่ออากาศทั้งหมด ( $\lambda$ ) ที่มีความเหมาะสมต่อการเผาไหม้ คือ  $\lambda=0.15$  ซึ่งอากาศส่วนนี้จะช่วยให้เกิดการกระจายตัวของแก๊สภายในเตาเผาเวิร์ทเคจมากขึ้น แก๊สจึงไม่สามารถจับตัวเป็นก้อนได้ ทำให้เกิดการผสมกันอย่างทั่วถึงระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ และการเคลื่อนที่แบบหมุนวนภายในห้องเผาไหม้จะช่วยทำให้แก๊สมีระยะเวลาในการเผาไหม้นานยิ่งขึ้น การกระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้จึงสูง

3. การให้ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงน้อยกว่าอากาศ (Fuel-lean mixture,  $\Phi < 1$ ) จะพบว่าก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นมีองค์ประกอบของ CO และ CO<sub>2</sub> น้อยกว่าแต่มี O<sub>2</sub> มากกว่า การเผาไหม้ที่ให้ส่วนผสมระหว่างเชื้อเพลิงมากกว่าอากาศ (Fuel-rich mixture,  $\Phi > 1$ )

## 6. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสยามที่ส่งเสริมเรื่องการทำงานวิจัยของคณาจารย์ และ ท่านอาจารย์ รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์ หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] 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, 1<sup>st</sup>-2<sup>nd</sup> December 2000 The Empress Hotel, Chang Mai, Thailand.
- [2] Sen Nieh and Tim T. Fu, "Development of a Non-Slagging Vortex Combustor (VC) for Space/Water Heating Applications" Proc. 5<sup>th</sup> International Coal Conf., 1988, pp. 761-768.
- [3] Stephen R. Turns, "An Introduction to Combustion (Concepts and Applications), International Editions, 1996, pp. 19.
- [4] วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล " การศึกษาเชิงทดลองของห้องเผาไหม้เวิร์ทเคจหลายชั้นต่อคุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊ส " การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1 จังหวัดชลบุรี, 11-13 พฤษภาคม 2548. หน้า 77-82
- [5] 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.
- [6] วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล " ผลกระทบของอากาศต่อน้ำมันต่อคุณลักษณะการเผาไหม้ "วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม ปีที่ 5 ฉบับที่ 10 (กรกฎาคม 2547 - มิถุนายน 2548), หน้า 34-39.