

ผลของความสูงเบดต่อก๊าซไอเสียจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในเตาเผาไซโคลน

The Effect of The Height of Bed on Exhaust Gas in A Cyclone Combustor for Burning Rice Husk Fuel

วิศิษฐ์ ลีลาผาทิกุล

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

235 ถนนเพชรเกษม เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160

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 10160

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

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลองการเผาไหม้ในเตาเผาไซโคลน โดยห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.4 m มีความสูงรวมเท่ากับ 2.8 m ในการทดลองกำหนดความสูงของเบดในเตาเผาทั้งหมด 4 ระดับ คือ 30, 45, 50 และ 60 cm ซึ่งจะมีการติดตั้งท่อฉีดอากาศไว้ในแนวสัมผัสผนังห้องเผาไหม้ เพื่อให้อากาศภายในเกิดการไหลแบบหมุนวน โดยแต่ละการทดลองกำหนดอัตราการป้อนปริมาณแกลบ และ อากาศที่เข้าห้องเผาไหม้ คงที่ เท่ากับ 0.04 kg/s และ 1.8 m³/s ตามลำดับ จากผลการทดลอง ที่ระดับความสูงเบด เท่ากับ 50 cm ก๊าซไอเสียที่วัดจากทางออกท่อไอเสียประกอบด้วย O₂=18%, CO=1,651 ppm, SO_x=8 ppm และ NO_x= 49 ppm ซึ่งสามารถวัดประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดได้ 85 %

คำสำคัญ: เตาเผาไซโคลน, เบด, การไหลอากาศแบบหมุนวน

Abstract

This paper presents the experimental study of the combustion in a cyclone combustor. The combustion chamber is a cylindrical shape 1.4 m in diameter and 2.8 m in height. The height of bed in chamber is designed to be adjustable at four levels: 30, 45, 50 and 60 cm as desired with a set of air nozzles placing circumferentially on the chamber to produce air-swirl flow inside. The feed rate of rice husk and air flow rate was held constant at 0.04 kg/s and 1.8 m³/s, respectively. Experimental results show that the emission of exhaust gas from stack is composed of O₂=18%, CO=1,651 ppm, SO_x=8 ppm and NO_x= 49 ppm at 50 cm bed-height. The maximum thermal efficiency is 85%.

Keywords: cyclone combustor, bed, air-swirl flow

1. บทนำ

ในภาวะปัจจุบันราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้น เนื่องจากวิกฤตการณ์ทางเศรษฐกิจและคาดว่าราคาน้ำมันก็จะสูงขึ้นอีก เพราะจำนวนของน้ำมันที่กำลังมีแนวโน้มลดน้อยลง ทำให้ต้นทุนในการเดินเครื่องจักรเพื่อการผลิตเพิ่มสูงขึ้น จึงได้เล็งเห็นความสำคัญของการใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนทางอุตสาหกรรม, เกษตรกรรม และ การดำรงชีวิต เพราะในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจจะเจริญเติบโตก้าวหน้าได้นั้น ประการสำคัญคือ การใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาทางด้านอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพัฒนาด้านการเกษตรกรรม ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่ทั่วทุกภาคของประเทศไทยเป็นพื้นที่เกษตรกรรม จึงมีสิ่งที่เหลือใช้ทางเกษตรกรรมมากมาย ที่พบมาก ได้แก่ แกลบ ฟาง ชานอ้อย เป็นต้น ซึ่งสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ โดยผ่านกระบวนการเปลี่ยนรูปสิ่งที่เหลือใช้นั้นมาเป็นพลังงานทดแทน เพื่อลดการนำเข้าพลังงานจากต่างชาติได้แก่ น้ำมันปิโตรเลียม และ ถ่านหิน เป็นต้น ในที่นี้ได้ให้ความสนใจกับแกลบข้าว ซึ่งเมื่อนำข้าวเปลือก 100 kg ไปสีแล้วจะได้แกลบประมาณ 26.12 kg (คิดเป็นประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) จะได้ค่าความร้อน (Overall gross calorific value of rice husk) ประมาณ 2,900–4,560 kcal/kg. เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเตา จะได้ค่าความร้อนเพียงครึ่งหนึ่ง แต่ราคาต่ำกว่ามาก เมื่อนำแกลบมาเป็นพลังงานทดแทน จะทำให้ประหยัด ลดการนำเข้า และเป็นวัตถุดิบที่ใช้ได้อย่างเหลือเฟือ แต่ถ้าวิธีการเผาไหม้แกลบในเตาเปิดปกติจะทำให้ได้ปริมาณความร้อนน้อยกว่าที่ควรจะได้ และทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ เนื่องจากเชื้อเพลิงที่เกิดจากการเผาไหม้ ฉะนั้นวิธีเผาไหม้เพื่อให้มีประสิทธิภาพของการเผาไหม้ดีที่สุดและสภาพแก๊สที่ออกจากปล่องไฟเป็นมลพิษน้อยที่สุด โดยใช้เทคนิคการหมุนวนของอากาศความเร็วสูงแบบปั่นป่วน

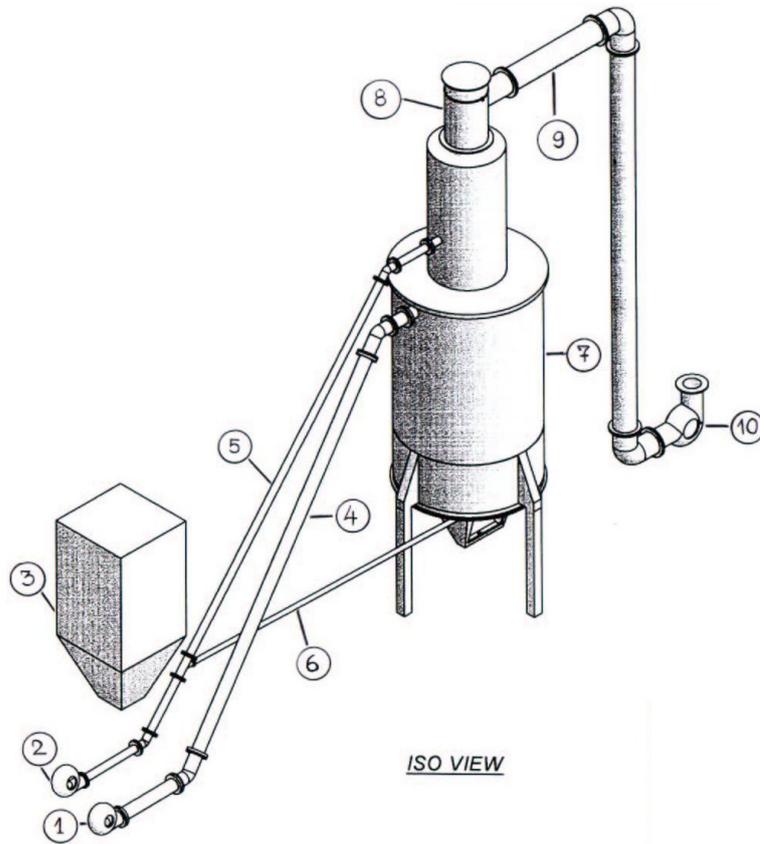
ปัจจุบันได้มีการวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งทำการวิจัยเกี่ยวกับเตาเผาประเภทต่าง ๆ มากมาย อาทิเช่น งานวิจัยของ พงษ์เจต พรหม

วงศ์[1] ทำการศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบในช่องว่างภายในห้องเผาไหม้แบบวอร์เทค (Vortex Combustor:VC), งานวิจัยของ ประจักษ์ จิตร์ทิพย์ ทำการศึกษารูปแบบการไหลและลักษณะการสันดาปของห้องเผาไหม้แบบไซโคลนที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิง[3], งานวิจัยของ สุพจน์ นาน้ำโชด ทำการศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้แบบไซโคลนชนิดอากาศเข้าหลายช่องทาง[4] งานวิจัยของ Sen Nieh และ Tim T. Fu [2] ได้ทำการทดลองโดยการทดสอบการไหลในเตาแบบจำลอง Hot test model ของเตาแบบวอร์เทคโดยใช้ถ่านหินผงและงานวิจัยต่อเนื่องถึงการทดสอบเตาแบบวอร์เทคโดยใช้เชื้อเพลิง Dry Ultra Find Coal และ Coal Water Fuel

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาความสูงของเบดในเตาเผาไซโคลน ซึ่งระบบการเผาไหม้ของเตาเผาแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพในการเผาไหม้สูง และสามารถควบคุมมลพิษที่เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ จึงมีการวิจัยและพัฒนา เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไปในอนาคต

2. อุปกรณ์การทดลอง

การติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง เริ่มต้นจากการประกอบตัวถังไซโคลนแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน(7) โดยอากาศที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอากาศ 3 ส่วน คือ อากาศส่วนปฐมภูมิ (Primary Air) เป็นอากาศที่เข้าทาง inlet air (4), อากาศส่วนทุติยภูมิ (Secondary Air) เป็นอากาศที่ฉีดเข้าทางท่อลม (Secondary Air Nozzle) [5] และ อากาศส่วนตติยภูมิ (Thirdary Air Nozzle) [6] โดยอากาศทั้ง 3 ส่วนจะได้จากแหล่งต้นกำลัง คือ Blower จำนวน 2 ชุด(1,2) และมี Butterfly Valve ทำหน้าที่ปรับอัตราการไหลของก๊าซไอเสียที่ท่อทิ้งไอเสีย(9) โดยมี Blower(10) ทำหน้าที่ดูดก๊าซไอเสียออกจากท่อทิ้งไอเสีย ดังแสดงในรูปที่ 1



- | | | | | |
|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|------------------------|
| 1. Primary Blower | 2. Secondary Blower | 3. Hopper | 4 Primary Inlet air | 5. Secondary Inlet air |
| 6.Thirdary Inlet air | 7. Cyclone Combustor | 8. Butterfly Valve | 9. Stack | 10. Thirdary Blower |

รูปที่ 1 ผังแสดงชุดอุปกรณ์การทดลองไซโคลน

ในการศึกษาสมรรถนะของไซโคลน ได้ทำการทดลองหาจากประสิทธิภาพทางความร้อนของไซโคลน ซึ่งสามารถหาได้ จากสมการดังนี้

$$Thermal\ Efficiency\ (\eta_c) = \frac{H_s}{H_A} \quad (1)$$

โดย H_s = ความร้อนของอากาศที่นำไปใช้ประโยชน์ (Heat Supplied)

H_A = ความร้อนของอากาศที่ได้จากเชื้อเพลิง (Heat Available)

ตารางที่ 1. ข้อมูลองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ [5]

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

3. วิธีการทดลอง

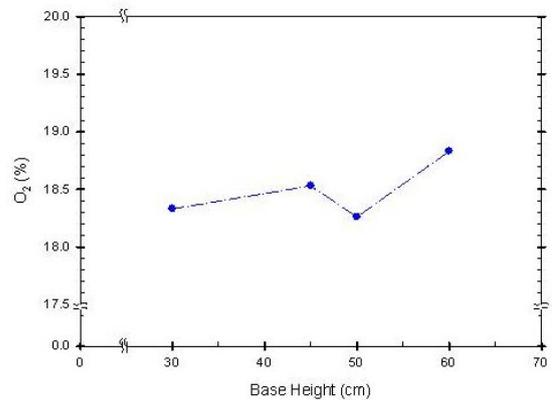
1. ติดตั้งเตาเผาไหม้แบบไซโคลน (ดังรูปที่ 1)
2. ทำการอุ่นเตาเผา ด้วย LPG จนอุณหภูมิประมาณ 450-600 °C
3. บ้อนเชื้อเพลิงแกลบที่ผสมกับอากาศ โดยปรับอากาศที่ Blower 1 เพื่อให้เกิดการเผาไหม้เริ่มต้นก่อน จนอุณหภูมิเริ่มคงที่ประมาณ 700 °C และหยุดการให้ LPG
4. ปรับอัตราการบ้อนเชื้อเพลิงแกลบคงที่ เท่ากับ 0.04 kg/s และปรับอากาศที่ Blower 2 ให้จ่ายอากาศมายังอากาศส่วนที่ 2 และอากาศส่วนที่ 3 เท่ากับ 80% และ 20% ของอากาศทั้งหมด ตามลำดับ
5. เมื่อความสูงของเบตภายในมีระดับความสูงที่ 30 cm ทำการวัดก๊าซโอเลียมที่เกิดจากการเผาไหม้ ทุก 10 นาที จนถึง 120 นาที บันทึกผลการทดลอง
6. ทำการทดลองซ้ำข้อ 5 เพิ่มระดับความสูงเบตจากเดิม 30 cm เป็น 45, 50 และ 60 cm ตามลำดับ บันทึกผลการทดลอง

4. ผลการทดลอง

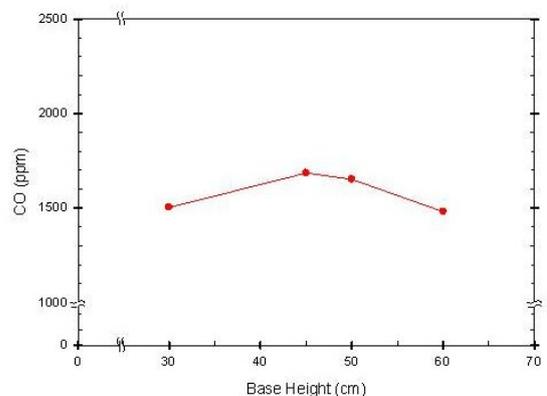
จากผลการทดลอง ได้ทำการศึกษาความสูงของเบตที่มีผลต่อการเกิดก๊าซจากการเผาไหม้ ได้แก่ O_2 , CO, SO_x และ NO_x ดังนี้

จากรูปที่ 2 พบว่าจากผลทดลอง ที่ระดับความสูงเบต 30-50 cm จะมีจำนวนของ O_2 ที่วัดได้อยู่ในช่วง 18.2-18.5% ซึ่งปริมาณของ O_2 ที่วัดได้นั้น เกิดจากการให้อากาศส่วนเกินในขณะที่เกิดการเผาไหม้แก่เตาเผาไซโคลน จึงทำให้มี O_2 เหลือหลังจากการเผาไหม้ และที่ระดับความสูงเบต 30-50 cm นี้ เบตจะมีปริมาณการทับถมของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์บางส่วนเหลืออยู่ ซึ่งจะทำการปฏิกิริยากับอากาศส่วนเกินที่ฉีดเข้าไปใหม่ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนผลการทดลองที่ระดับความสูง

เบต 60 cm นั้นเกิดการทับถมของเชื้อเพลิงที่เบตมากเกินไป ทำให้อากาศส่วนเกินที่ฉีดเข้าไปใหม่ ทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับเชื้อเพลิงไม่ต่อเนื่องมากนัก เพราะตามหลักทฤษฎีของการเผาไหม้ จะเริ่มที่ผิวชั้นนอกของอนุภาคก่อนแล้วจึงลามเข้าไปที่แกนกลาง โดยเชื้อเพลิงที่มีขนาดของอนุภาคใหญ่(เปรียบได้กับเบตที่มีระดับสูงเกินไป) จะทำให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้นได้อย่างช้า ๆ เฉพาะที่บริเวณผิวหน้าของเบตเท่านั้น ซึ่งปริมาณ O_2 ในอากาศส่วนเกินที่ฉีดเข้าไปในเตาเผา จึงไม่สามารถทำปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้ทันทีกับเชื้อเพลิง จึงเหลือปริมาณ O_2 มากกว่าที่ระดับความสูงอื่น ดังนั้นการวัด O_2 ที่ระดับความสูงเบตที่ 60 cm นี้จึงสามารถวัดปริมาณ O_2 ได้มากกว่าระดับความสูงเบตที่ตำแหน่ง 30-50 cm



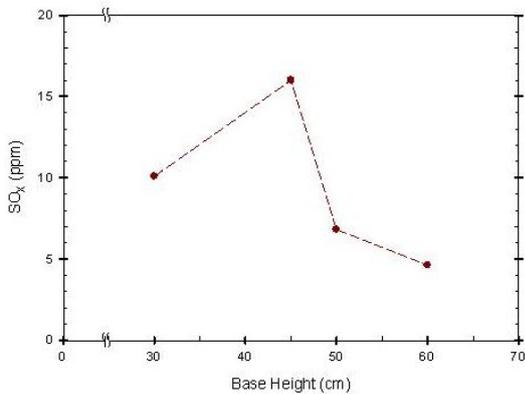
รูปที่ 2 ก๊าซออกซิเจน (O_2) ที่วัดได้ ณ. ความสูงเบตต่าง ๆ



รูปที่ 3 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่วัดได้ ณ. ความสูงเบตต่าง ๆ

จากรูปที่ 3 พบว่าที่ระดับความสูงของเบตในช่วง 30-60 cm ค่า CO ที่วัดได้อยู่ในเกณฑ์สูงอยู่ในช่วง 1,500-1,700 ppm เนื่องจากการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศ เกิดขึ้นอย่างไม่ทั่วถึง โดยขั้นตอนการเผาไหม้เริ่มเมื่อเชื้อเพลิงแกลบถูกบ้อนเข้าเตาเผาด้านบน ในลักษณะสัมผัสสั้นรอบวง ซึ่งในขณะที่เกิดการเผาไหม้นั้น เชื้อเพลิงแกลบจะตกลงมาบนฐานของห้องเผาไหม้ตามแรงโน้มถ่วงของโลกและเกิดการทับถมของเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่สมบูรณ์จนเกิดเป็นชั้นความหนาของเบต ซึ่งบริเวณผิวหน้าของเบตที่มีอากาศสัมผัสเท่านั้นที่มีการเผาไหม้ ทำให้เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ยังคงไม่ถูกเผาไหม้

โดยจากการทดลองค่า CO ที่วัดได้อยู่ในปริมาณที่สูง เนื่องมาจากอีกเหตุผลที่ว่า การเผาไหม้ที่สมบูรณ์นั้นต้องเกิดการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศอย่างเหมาะสม แต่ในกรณีของการทดลองนี้เชื้อเพลิงกลับไม่เกิดการคลุกเคล้ากับอากาศอย่างทั่วถึง เหมือนกับกรณีการไหลปั่นป่วนของเตาเผาแบบวอร์เทคและเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด ที่เกิดการคลุกเคล้าระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศทั่วทั้งห้องเผาไหม้ ซึ่งค่า CO ที่วัดได้ของเตาเผาทั้งสองอยู่ในช่วงระหว่าง 250-400 ppm เท่านั้น

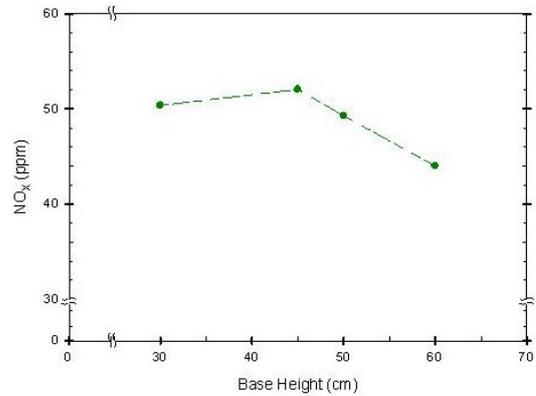


รูปที่ 4 ก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) ที่วัดได้ ณ. ความสูงเบตต่าง ๆ

จากรูปที่ 4 ปริมาณ SO_x ที่วัดได้มีปริมาณค่อนข้างต่ำอยู่ในช่วง 5-16 ppm เนื่องมาจากว่าก๊าซ SO_x มี Sulfur เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมักจะพบได้ในเชื้อเพลิง ประเภท น้ำมันดิบ ถ่านหิน และอยู่ในสารประกอบของโลหะต่าง ๆ ได้แก่ อลูมิเนียม ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว และ เหล็ก เป็นต้น แต่ในการทดลองนี้ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ ซึ่งมีองค์ประกอบของ Sulfur ในปริมาณต่ำ จึงทำให้ในขณะเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้กับอากาศนั้น เกิดปริมาณของ SO_x ไม่สูงมากนัก โดยที่ระดับความสูงเบตที่ 45 cm สามารถวัดปริมาณ SO_x ได้สูงสุดประมาณ 16 ppm ซึ่งแสดงได้ว่าที่ระดับดังกล่าว การเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ระหว่างเชื้อเพลิงแกลบและอากาศเกิดมากที่สุด จึงทำให้เกิดการรวมตัวของ Sulfur ในเชื้อเพลิงแกลบกับอากาศเกิดเป็น SO_x สูงที่สุด แต่แตกต่างกับที่ระดับความสูงเบต 60 cm เพราะที่ระดับความสูงนี้ต้องมีปริมาณของเชื้อเพลิงมากที่สุด ซึ่งตามหลักความเป็นจริงแล้ว ถ้ามี Sulfur ในปริมาณมาก เมื่อเกิดปฏิกิริยารวมกับอากาศส่วนเกินภายในห้องเผาไหม้ ก็ควรต้องมี SO_x มากเช่นกัน แต่จากการทดลองนี้ ที่ระดับความสูง 60 cm เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ต่ำ ฉะนั้นจึงเป็นสาเหตุให้เกิดการรวมตัวของ Sulfur กับอากาศในปริมาณที่น้อย โดยสามารถวัดปริมาณ SO_x ได้ประมาณ 5 ppm

จากรูปที่ 5 การทดลองการเผาไหม้ที่ความสูงเบต 30, 45, 50 และ 60 cm สามารถวัดค่า NO_x อยู่ในช่วง 44-52 ppm ซึ่งจัดว่าอยู่ในปริมาณไม่มากนัก เนื่องจาก NO_x จะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยปัจจัยของอุณหภูมิที่สูง ในขณะที่เกิดการเผาไหม้ โดยจากผลการทดลอง รูปที่ 4 และ รูปที่ 5 จะมีแนวโน้มของก๊าซไอเสียที่วัดได้คล้ายคลึงกัน โดยที่ระดับความสูงเบต 45 cm สามารถวัดปริมาณ NO_x ได้สูงสุด เท่ากับ

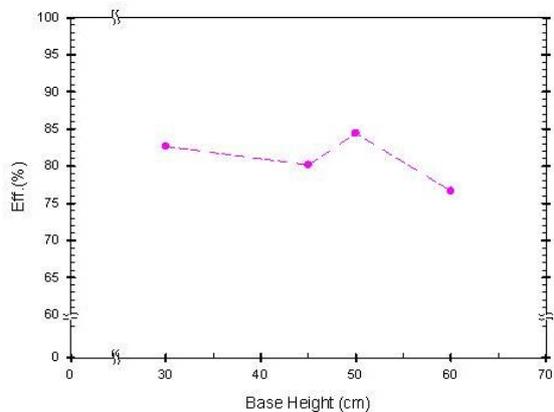
52 ppm ซึ่งค่า NO_x นั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยขององค์ประกอบต่าง ๆ ของก๊าซไอเสีย เช่น ไฮโดรคาร์บอน โอโซน และ สารประกอบของซัลเฟอร์ (Sulfur) โดยจากรูปที่ 4 สามารถวัดค่า SO_x ได้สูงที่สุดที่ตำแหน่งความสูงเบต เท่ากับ 45 cm ฉะนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ระดับความสูงเบตที่ 45 cm จึงสามารถวัดค่า NO_x ได้สูงที่สุดเช่นเดียวกัน



รูปที่ 5 ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่วัดได้ ณ. ระดับความสูงเบตต่าง ๆ

5. สรุปผลการทดลอง

1. การทดลองการเพิ่มระดับความสูงเบตของเตาเผาไซโคลนพบว่า มีผลต่อปริมาณก๊าซไอเสียที่วัดได้ โดยระดับความสูงเบตที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้ และ ให้ปริมาณก๊าซไอเสียที่ยอมรับได้ คือ ที่ระดับ 50 cm หรือ ประมาณ 0.2 เท่าของความสูงเตาเผา
2. การเผาไหม้ ที่ทำให้เกิดก๊าซไอเสียในปริมาณต่ำนั้น (โดยเฉพาะองค์ประกอบของ CO และ O₂) เชื้อเพลิงควรจะเกิดการคลุกเคล้ากับอากาศอย่างเหมาะสม ตลอดช่วงเวลาการเผาไหม้ ซึ่งถ้าเชื้อเพลิงไม่เกิดปฏิกิริยาดังกล่าวแล้ว ค่า CO ที่วัดได้จะมีปริมาณที่สูงมาก
3. ประสิทธิภาพทางความร้อนที่วัดได้สูงสุดประมาณ 85% ที่ระดับความสูงเบตที่ 50 cm ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ประสิทธิภาพทางความร้อนที่วัดได้ ณ. ระดับความสูงเบตต่าง ๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยสยาม ที่ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] ประจักษ์ จิตร์ทิพย์ "การศึกษารูปแบบการไหลและลักษณะของการสันดาปของห้องเผาไหม้แบบไซโคลนที่ใช้ชี้อ้อยเป็นเชื้อเพลิง" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2535
- [4] สุพจน์ นานาโชค "การเผาไหม้ชี้อ้อยในห้องเผาไหม้แบบไซโคลนชนิดอากาศเข้าหลายช่องทาง" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2536
- [5] วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล "การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเผาไหม้แก๊สในเตาเผาฟลูอิดไดซ์เบด" การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4 จังหวัดนครปฐม, 14-16 พฤษภาคม 2551.