

เตาเผาออร์เทคหลายชั้นสำหรับเผาแกลบ

A Multistage Vortex Combustor for Burning Rice Husk

พงษ์เจต พรหมวงค์ วิศิษฐ์ สีสลาพิติกุล ชินรัชย์ เขียรพงษ์
 ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ถ. ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
 โทร (662)326-9987, Fax (662)326-9053, E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

นิวัติ พิริยะรุ่งโรจน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
 ถนน เข็มสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ ๑๐530

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ ได้ทำการศึกษาขนาดและรูปร่างของเตาเผาแกลบแบบวอร์เทคที่มีอิทธิพลต่อการเผาไหม้ภายในเตา โดยทำการออกแบบสร้างและทดสอบขนาดและรูปร่างของเตาเผา ที่มีลักษณะเป็นท่อลดขนาดทรงกระบอก 2 ส่วน คือ ส่วนบนและส่วนล่าง ซึ่งขนาดของเตาเผาส่วนบนที่ใช้ในการทดลองมีทั้งสิ้น 3 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 260, 305 และ 360 mm. ส่วนขนาดของเตาเผาไหม้ส่วนล่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 180 mm. และมีแกนภายในเตาเผาเพื่อให้เกิดการหมุนวนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 101 mm. โดยพิจารณาความสัมพันธ์ของการกระจายอุณหภูมิภายในเตา เมื่อทำการปรับค่า Equivalence ratio (Φ) เท่ากับ 0.8, 1.0 และ 1.2 จากการทดลอง เมื่ออัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบเท่ากับ 0.3 kg/min และปรับค่า Equivalence ratio (Φ) เท่ากับ 1.0 พบว่าอุณหภูมิสูงสุดภายในเตาเผาเท่ากับ 932.4°C และการเผาไหม้ในเตาเผามีความเสถียรสูง

Abstract

The paper deals with experimental study of the size and shape of rice husk vortex combustor effecting on combustion characteristics. The combustor is a cylindrical shape with different diameters. The top part of combustor is varied to be 3 different diameters : 260, 305 and 360 mm., while the bottom part of combustor is fixed and 180 mm. diameter with centred exhaust pipe of 101 mm. in diameter. The temperature distribution inside the combustor is measured for each equivalence ratio, Φ of 0.8, 1.0, and 1.2. For the rice husk flow rate of 0.3 kg/min and equivalence ratio, Φ of 1.0, the experiment shows the maximum temperature of 932.4°C in the combustor. The combustor has a high combustion stability.

1. บทนำ

การค้นคว้าและการวิจัยเกี่ยวกับด้านการใช้พลังงานจากชีวมวลเป็นที่สนใจมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นพลังงานที่สามารถใช้ทดแทนพลังงานเดิม ได้แก่ น้ำมันปิโตรเลียม, ถ่านหิน, ลิกไนต์, ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ซึ่งนับวันจะเหลือในปริมาณน้อยลงเรื่อยๆ วัสดุจากชีวมวลที่จะนำมาใช้เป็นพลังงานคือ ชี้อเลื่อย แกลบ ฟางข้าว ปาล์ม หรือ แอลกอฮอล์ที่ได้จากการหมัก เป็นต้น

การเกษตรกรรมของประเทศส่วนใหญ่คือ การเพาะปลูก โดยเฉพาะข้าว ดังนั้นแกลบจึงเป็นวัสดุชีวมวลที่ได้จากการสีข้าว และมีจำนวนมาก ราคาถูก จึงเป็นเชื้อเพลิงที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้มากที่สุด ตัวอย่างเช่นถ้าทำการสีข้าวที่มีน้ำหนัก 100 กิโลกรัม จะได้แกลบออกมา 20.12 กิโลกรัม ค่าความร้อนของแกลบมีค่าประมาณ 2,900–4,560 kcal/kg เมื่อเทียบกับค่าความร้อนของชี้อเลื่อยประมาณ 4,000–4,300 kcal/kg [4] แต่ชี้อเลื่อยมีข้อเสียคือ มีความชื้นและชื้นถ้าสูงกว่าแกลบ และเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเตา ซึ่งมีค่าความร้อนประมาณ 9,900 kcal/kg [4] โดยทั้งแกลบและชี้อเลื่อยมีค่าความร้อนใกล้เคียงกันและมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของน้ำมันเตาแต่ราคาถูกกว่า

ปัจจุบันได้มีการวิจัยทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งทำการวิจัยเกี่ยวกับเตาเผาประเภทต่าง ๆ มากมาย ในที่นี้จะกล่าวถึง เตาเผาแบบวอร์เทคซึ่งผลงานวิจัยในประเทศ อาทิเช่น งานวิจัยของ พงษ์เจต พรหมวงค์ และ คณะ [1] ทำการศึกษาเชิงทดลองของการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาแกลบแบบวอร์เทค พิจารณาถึงการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา โดยปรับอัตราการไหลเชิงมวลอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 0.5 kg/min ปรับค่า Φ เท่ากับ 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 1.0, และ 1.05 สำหรับแต่ละค่าของอัตราการไหลของแกลบ จากการทดลองพบว่า เมื่อป้อนแกลบด้วยอัตราการไหลของแกลบเท่ากับ 0.3 kg/min และปรับค่า Φ เท่ากับ 0.95 พบว่าอุณหภูมิในเตาเผาแกลบมีการกระจายอุณหภูมิเสถียรสูงและควันทันได้มีปริมาณน้อย ส่วนผลงานวิจัยในต่างประเทศ อาทิเช่น งานวิจัยของ Sen Nieh และ Tim T. Fu [2] ได้ทำการทดลองโดยการทดสอบการไหลในเตาแบบจำลอง Cold models และ Hot models ของเตาเผาแบบวอร์เทคโดยใช้ถ่านหินผงและงานวิจัยต่อเนื่องถึงการทดสอบ

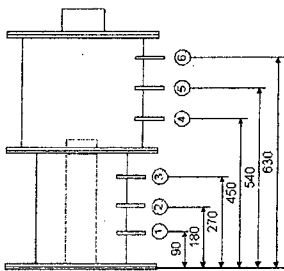
เตาแบบบอร์เทคโดยใช้เชื้อเพลิง Dry Ultra Find Coal และ Coal Water Fuel

เตาเผาแบบบอร์เทคเป็นเตาที่ถูกพัฒนามาจากเตาเผาแบบไซโคลน(Cyclone Furnace)โดยเทคนิคของไหลแบบหมุนวนความเร็วสูงช่วยในการเผาไหม้ ซึ่งรายละเอียดสามารถดูได้จาก [1]

ในบทความนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลขนาดและรูปร่างของเตาเผาแบบบอร์เทคและแกนที่ช่วยทำให้เกิดการหมุนวนของอากาศและเชื้อเพลิงต่อการเผาไหม้ ซึ่งการหมุนวนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นเป็นการผสมผสานระหว่างเตาเผาแบบบอร์เทคและเตาเผาแบบไซโคลน โดยพิจารณาความสัมพันธ์จากการกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผา เมื่อมีการปรับค่า Equivalence ratio ค่าต่าง ๆ เพื่อให้ได้ความร้อนสูงสุดที่เกิดจากการเผาไหม้ที่เหมาะสม โดยใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาและพัฒนาต่อไปในอนาคต

2. เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

การออกแบบเตาเผาที่ใช้ในการทดลองนั้น เตาเผาจะประกอบด้วยกัน 2 ส่วน คือ เตาเผาส่วนล่างและเตาเผาส่วนบน โดยเตาเผาส่วนล่างกำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 180 mm. และมีแกนกลางภายในมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 101 mm. ส่วนเตาเผาส่วนบนได้ทำการออกแบบให้มีขนาดที่ใช้ในการทดลอง 3 ขนาด คือ มีขนาดโดยประมาณ 1.5, 1.75, และ 2.0 เท่าของขนาดเตาเผาส่วนล่าง คือ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 260 mm., 305 mm., 360 mm. ตามลำดับ ซึ่งลักษณะของเตาเผาแบบบอร์เทคมีลักษณะดังรูปที่(1)



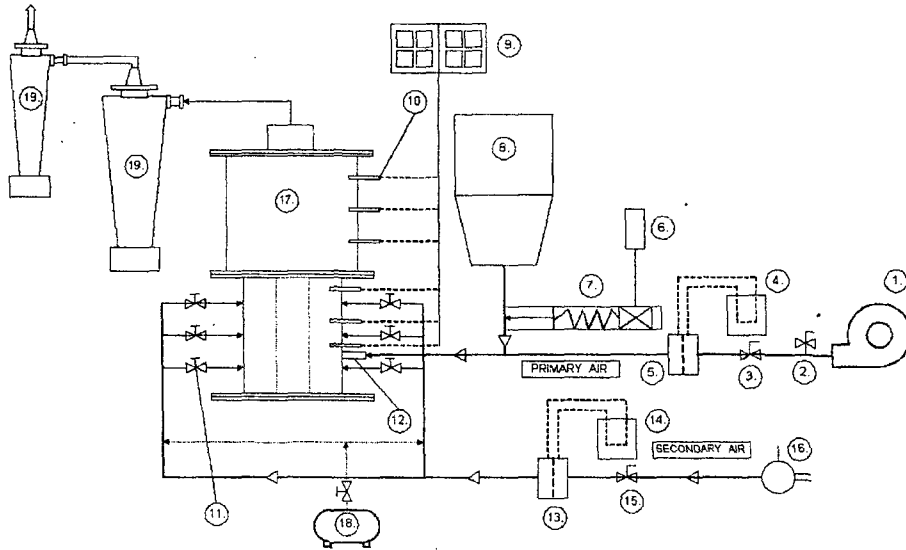
รูปที่ 1. ตำแหน่ง ที่ใช้วัดอุณหภูมิภายในเตาเผา (หน่วยเป็น มม.)

จากการทดลองเตาเผาแบบบอร์เทค สามารถเผาไหม้เชื้อเพลิงแกลบละเอียดได้อย่างต่อเนื่อง โดยที่ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ช่วยในการเผาไหม้ แต่ก่อนเริ่มทำการทดลองจำเป็นต้องใช้แก๊สเชื้อเพลิงเหลว LPG เพื่อช่วยในการอุ่นเตาทำให้อุณหภูมิภายในเตาสูงจนสามารถทำให้เชื้อเพลิงแกลบเกิดการเผาไหม้ด้วยตัวเองได้ ในการติดเตาต้องใช้เฉพาะอากาศส่วนที่ 1 ที่ได้จาก Blower เพื่อช่วยลำเลียงแกลบละเอียดเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการติดเตา ไฟที่ได้จากแก๊สเชื้อเพลิงเหลว LPG ถูกจ่ายเข้าไปยังส่วนล่างของเตา ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จ่ายอากาศส่วนที่ 2 เมื่ออุณหภูมิภายในเตาเผามีค่าประมาณ 600 °C แล้วจึงหยุดการอุ่นเตาด้วยแก๊ส LPG

เตาเผาแบบบอร์เทค จะใช้อากาศ 2 ส่วน ซึ่งอากาศส่วนที่ 1 ได้จาก Blower(1) ขนาด 3 Hp อากาศถูกควบคุมอัตราการไหล โดย Needle valve(3) และสามารถวัดอัตราการไหลโดยใช้ชุด Orifice meter (4,5) แกลบละเอียดที่ใช้ในการทดลองจะถูกบรรจุใช้ภายใน Hopper(8) ซึ่งมีความจุเท่ากับ 0.055 m³ ซึ่งลำเลียงจาก Hopper เข้าสู่ท่ออากาศส่วนที่ 1 โดยใช้ Screw feeder(7) ซึ่งมีต้นกำลังมาจาก Inverter(6) ฉะนั้นการปรับอัตราการไหล ซึ่งมีต้นกำลังมาจาก Inverter(6) ฉะนั้นการปรับอัตราการไหล ของแกลบละเอียด โดยใช้ Inverter ควบคุมความเร็วรอบของ Motor เพื่อให้ได้อัตราการไหลของแกลบละเอียดได้ตามต้องการ ในการป้อนอากาศส่วนที่ 2(Secondary Air) ซึ่งอากาศจะได้จาก Air compressor(16)อากาศส่วนที่ 2 จะถูกส่งผ่านชุด Orifice Meter(13,14) ทั้งหมด 12 ชุดสามารถปรับอัตราการไหลทั้ง 12 ชุด โดยใช้ Needle valve(11) ทั้งหมด 12 ตัว ซึ่งจะทำให้อากาศส่วนที่ 2 ที่เข้าไปยังเตาเผาแบบบอร์เทคมีอัตราการไหลของอากาศเท่ากับทุกจุด โดยเตาเผาส่วนล่างมีความสูงทั้งหมด 360 mm. ตำแหน่งในการป้อนอากาศส่วนที่ 2 จำนวน 12 รู ทำการเจาะส่วนที่เป็นผนังเตาด้านละ 3 รู ทุกๆ 90 องศา ในแนวแกน y เจาะทุก ๆ ความสูง 90 mm. ของความสูงของเตาเผา ส่วนการวัดอุณหภูมิ ซึ่งจะเจาะรูเพื่อใส่ Thermocouple type K ในการวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาขณะทำการทดลอง โดยจะเจาะรูจำนวน 3 รู ในแนวแกน y อย่างสมมาตร ทั้งเตาเผาส่วนล่างและส่วนบน รวมทั้งสิ้น 6 ตำแหน่ง ดังรูปที่ (1) ส่วนการเจาะรูช่อง Primary air ที่ความสูง 135 mm. จากส่วนฐานล่างของเตา ส่วนเตาเผาส่วนบน จะขยายเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวเตาเพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเผาไหม้มีทั้งสิ้น 3 ขนาดได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 260 , 305 , 360 mm. ความสูงของเตาเผาตัวบนมีขนาด 360 mm.และมีการใช้แกนกลางภายในที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 101 mm เพื่อช่วยในการหมุนวน โดยจะยึดติดกับฐานของเตาเผาส่วนล่างและมีความสูงของแกนทั้งสิ้นเท่ากับ 370 mm.

3. การทดลอง

1. การทดลองนี้เป็นการศึกษาการเผาไหม้ ในเตาเผาไหม้ขนาดต่าง ๆ เปรียบเทียบอุณหภูมิกับเวลาโดยอากาศเป็นตัวแปรหลักในการเผาไหม้ เริ่มจากการประกอบเตาตัวล่างและเตาตัวบนขนาดห้องเผาไหม้ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 260 mm. ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล 6 ตำแหน่งและติดตั้งท่อลมทาง Secondary air ทั้ง 12 ตำแหน่ง แล้วอุ่นเตาจนอุณหภูมิเท่ากับ 600 °C แล้วจึงทำการทดลองดังต่อไปนี้ปรับอัตราการไหลของแกลบให้มีค่าเท่ากับ 0.3 kg/min โดยการปรับรอบที่ Inverter ให้มอเตอร์มีความเร็วรอบที่ 350 รอบ/นาที
2. ปรับอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าของ Primary air และ Secondary air ให้เท่ากับที่ $\Phi = 1.2$ โดยปรับ Primary air ที่ชุดมานอมิเตอร์ที่ค่า $\Delta h = 49.3$ mm. และทาง Secondary air ปรับที่ชุดออริฟิตที่ค่า $\Delta h = 4.157$ mm.(จากการคำนวณ)
3. ทำการบันทึกอุณหภูมิ โดยอ่านค่าแสดงจากตัวแสดงอุณหภูมิแบบดิจิตอลโดยใช้ Thermocouple type K เป็นตัววัดอุณหภูมิทั้ง 6 ตำแหน่ง บนเตาเผาในทุก ๆ 2 นาที จนครบ 30 นาที



- | | | | |
|------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| 1. Blower | 6. Inverter | 11. Needle valve | 16. Air compressor |
| 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 thermocouple | 14. Manometer | 19. Cyclone |
| 5. Orifice plate | 10. Thermocouple type K | 15. Needle feed | |

รูปที่ 2. ระบบอุปกรณ์การทดลองของเตาเผาแบบ (Vortex Combustor)

- ปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศทั้งของ Primary air และ Secondary air จาก $\Phi = 1.2$ เป็น 1.0 และ 0.8 ตามลำดับ
- เมื่อปรับอัตราการไหลครบหมดแล้วทำการเปลี่ยนขนาดเตาเผาใหม่ส่วนบนและทำการทดลองซ้ำข้อ 3-4 ซึ่งเดิมขนาดห้องเผาใหม่ส่วนบนเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 260 mm. เปลี่ยนเป็น 305 mm. และ 360 mm. ตามลำดับ

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

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

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 $\Phi < 1$

ตารางที่ 1. ข้อมูลองค์ประกอบของเชื้อเพลิงแกลบ [4]

องค์ประกอบเชื้อเพลิงแกลบ	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

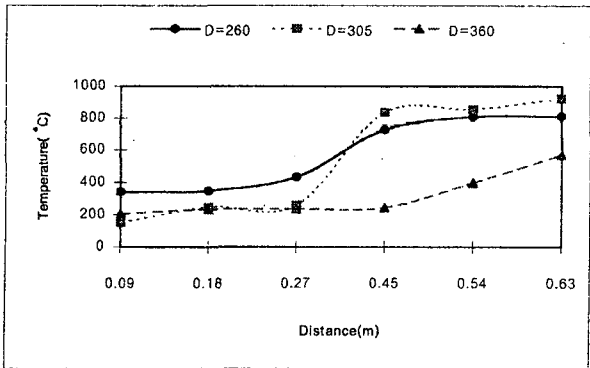
ตารางที่ 2. เงื่อนไขของการทดลอง

เงื่อนไข	ค่าที่ใช้
อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบ	0.3 kg/min
อัตราการไหลของอากาศ	1.46 kg/min
Calorific value	3,308 kcal/kg

4. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองการเผาไหม้เตาเผาแบบวอร์เทค โดยจะใช้เตาเผาที่มีการปรับเปลี่ยนขนาดของเตาเผาส่วนบนทั้งสิ้น 3 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 260 , 305 และ 360 mm.ตามลำดับ และมีแกนกลางภายในเตาเผาส่วนล่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 101 mm. โดยมีขนาดของเตาเผาส่วนล่างเท่ากับ 180 mm. การปรับเปลี่ยนกรณีต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น เพื่อศึกษาการกระจายอุณหภูมิที่สม่ำเสมอภายในเตาเผาที่เหมาะสมที่สุด

จากกราฟการทดลองรูปที่ (3) ลักษณะการกระจายของอุณหภูมิภายในเตาเผาแต่ละจุด ณ.อุณหภูมิที่ระยะ(0.09-0.27 m.) มีการกระจายของอุณหภูมิก่อนข้างคงที่ของแกนหมวนภายในเตาเผาส่วนล่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 101 mm. เมื่อขนาดของเตาเผาส่วนบนใหญ่ขึ้น ณ. ตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลที่ระยะ(0.27-0.45 m.) เป็นช่วงที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิมาก เนื่องจากเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงการเผาไหม้จากเตาเผาส่วนล่างไปยังเตาเผาส่วนบนจากอิทธิพลของการหมุนวนระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง จากการทดลองพบว่า ขนาดของเตาเผาส่วนบนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 305 mm. จะมีการกระจายของอุณหภูมิภายในคงที่สูงสุด เนื่องจากขนาดของเตาเผาส่วนบนใหญ่ขึ้นพื้นที่และเวลาในการเผาไหม้มากขึ้น การเผาไหม้ระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงจึงเกิดการคลุกเคล้าอย่างทั่วถึงและเหมาะสม อุณหภูมิที่ได้จึงสูงกว่าเตาเผาส่วนบนที่มีขนาด 260 mm. แต่ที่เตาเผาส่วนบนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 360 mm. อุณหภูมิ ณ.เตาเผาส่วนบนจะสูงขึ้นอย่างช้า เนื่องจากขนาดของเตาเผาที่มีขนาดใหญ่เวลาในการหมุนวนหรือการถ่ายเทความร้อนเชื้อเพลิงมากแต่ต้องสูญเสียความร้อนบางส่วนในการอุ่นอากาศภายในเตาเผาให้เพียงพอต่อการลุกไหม้ของเชื้อเพลิง การกระจายอุณหภูมิที่ได้จึงมีอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสูงขึ้นแต่ไม่สูงมากนักซึ่งที่ระยะ 0.63 m. จะเป็นตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดของเตาเผาคือ 922.3 °C

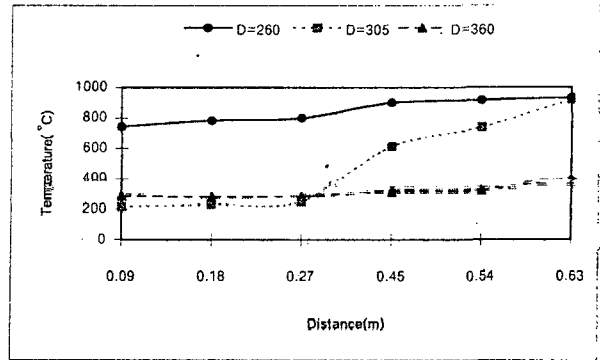


รูปที่ 3. กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิ ที่ระยะต่าง ๆ ตามแนวแกน เมื่อ $\Phi = 0.8$

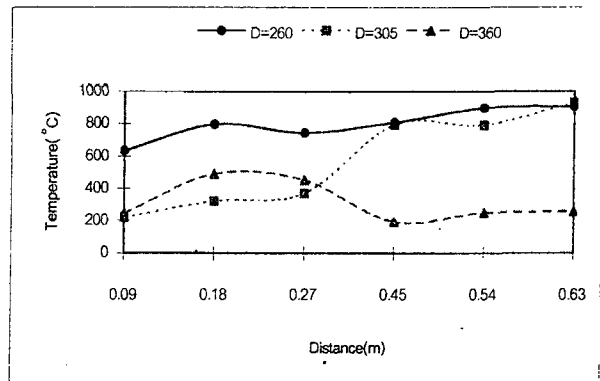
จากกราฟการทดลองรูปที่ (4) ลักษณะการกระจายอุณหภูมิภายในแต่ละตำแหน่งคล้ายกับที่ $\Phi = 0.8$ แต่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาจะสูงกว่าที่ $\Phi = 0.8$ เนื่องจาก ณ. $\Phi = 1.0$ นั้น อากาศที่ใช้กับอากาศทางทฤษฎีเท่ากัน เกิดความสมดุลกันระหว่างการผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิง การเผาไหม้ที่เกิดจึงสมบูรณ์อุณหภูมิภายในแต่ละตำแหน่งจึงมีอุณหภูมิสูงกว่า ซึ่งสังเกตจากกราฟที่ $\Phi = 1.0$ ที่ขนาดเตาเผาส่วนบนมีขนาดเท่ากับ 260 mm. มีการกระจายอุณหภูมิภายในคงที่สูงสุด ที่ระยะ 0.63 m. มีอุณหภูมิสูงสุด = 932.4 °C

จากกราฟการทดลองรูปที่ (5) ที่ระยะ(0.09-0.27 m.) ยังมีการกระจายของอุณหภูมิกงที่ ส่วนที่ระยะ(0.27-0.45 m.) มีความแตกต่างของอุณหภูมิมาก ซึ่ง ณ.ตำแหน่งที่ 0.63 m. เป็นตำแหน่งที่มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 925.5°C โดยขนาดเตาเผาที่มีการกระจายอุณหภูมิกงที่สูงสุด คือ ขนาดเตาเผาส่วนบนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 305 mm.

ซึ่งถ้าเราสังเกตจากกราฟ การทดลองที่ขนาดเตาเผาส่วนบนเท่ากับ 360 mm. อุณหภูมิจะตกลงที่ระยะ(0.27-0.45 m.) คือ เมื่อเริ่มต้นการเผาไหม้ภายในเตาเผาส่วนล่างไปยังส่วนบน เนื่องจากอากาศ(ทฤษฎี)ที่ให้กับเตาน้อย การหมุนวนของอากาศและเชื้อเพลิงไม่สม่ำเสมอ จึงมีเชื้อเพลิงบางส่วน ตกค้างอยู่ภายในเตาเผาส่วนล่างเป็นจำนวนมาก เมื่อเกิดการเผาไหม้ที่เตาเผาส่วนบนจึงทำให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์อยู่ในเกณฑ์ต่ำและเกิดควันดำ



รูปที่ 4. กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิ ที่ระยะต่าง ๆ ตามแนวแกน เมื่อ $\Phi = 1.0$



รูปที่ 5. กราฟแสดงการกระจายอุณหภูมิ ที่ระยะต่าง ๆ ตามแนวแกน เมื่อ $\Phi = 1.2$

5. สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองพบว่าเมื่อให้ปริมาณอากาศที่ใช้น้อยปริมาณอากาศทางทฤษฎี (rich) $\Phi = 1.2$ อุณหภูมิในเตาเผาต่ำ ควันที่ออกมา มีสีดำปริมาณมาก เมื่อเพิ่มปริมาณอากาศที่ใช้มากขึ้นพบว่าอุณหภูมิในเตาเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ปริมาณควันที่เกิดขึ้นน้อยลงจนกระทั่ง $\Phi = 1.0$ ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ทำให้ปริมาณอากาศที่ใช้เท่ากับปริมาณอากาศทางทฤษฎี และถ้าเมื่อให้ปริมาณอากาศที่ใช้มากกว่าปริมาณอากาศทางทฤษฎี (lean) $\Phi = 0.8$ พบว่าอุณหภูมิในเตาเผาหรือเตาหม้อต้มและควันที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อย ควันที่ได้จากการทดลองมีลักษณะสีเทาปนดำ
2. ที่ขนาดของเตาเผาส่วนบนเท่ากับ 260 mm. ตำแหน่งระยะวัดอุณหภูมิภายในที่(0.09-0.27 m.)จากฐานล่างของเตาเผา อุณหภูมิ

ภายในก่อนข้างคองที่ เนื่องจากในช่วงนี้เริ่มมีการเผาไหม้ระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิง อุณหภูมิจึงไม่สูงมากนัก ส่วนอุณหภูมิที่ระยะตำแหน่ง(0.27-0.45 m.)จากฐานล่างของเตา มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์สูง เนื่องจากพื้นที่ภายในเตาเผาส่วนล่างที่เกิดการหมุนวนระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงและเวลาในการเผาไหม้น้อยจึงทำให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ไม่สมบูรณ์อุณหภูมิจึงต่ำ แต่หลังจากเริ่มเผาไหม้ในส่วนบนของเตาเผา ซึ่งมีพื้นที่มากขึ้นรวมถึงเวลาในการเผาไหม้ก็มากขึ้นด้วย จึงทำให้มีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น อุณหภูมิที่วัดได้จึงสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งโดยเฉลี่ยช่วงระยะตำแหน่งที่ 0.63 m.จากฐานล่างของเตา จะมีอุณหภูมิสูงสุดภายในเตาเผา

3. เราสามารถสรุป การกระจายอุณหภูมิภายในเตาเผาที่มีอุณหภูมิต่ำที่สุด ตามลำดับ คือ

2.1 ที่ $\Phi = 1.0$, ขนาดของเตาเผาส่วนบน = 260 mm.

2.2 ที่ $\Phi = 1.2$, ขนาดของเตาเผาส่วนบน = 260 mm.

2.3 ที่ $\Phi = 0.8$, ขนาดของเตาเผาส่วนบน = 305 mm.

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ที่สนับสนุนการทดลองนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พงษ์เจต พรหมวงศ์ และ คณะ (2543) " การศึกษาเชิงทดลองของการกระจายอุณหภูมิในเตาเผาแบบบอร์เทค "วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง ปีที่ 8 ฉบับที่ 3 (ธันวาคม), หน้า 19-24
- [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] Stephen R. Turns , "An Introduction to Combustion (Concepts and Applications), International Editions, 1996 , pp. 19
- [4] นิวัติ ทิริยะรุ่งโรจน์ "การศึกษาเชิงทดลองของเตาเผาแบบบอร์เทค" วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544