

การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงปิโตรเลียมเหลวในเตาวัสดุพรุน ที่มีการหมุนวนก๊าซไอเสีย

LPG Combustion in Porous Media with Flue Gas Recirculation

สรรพลสิทธิ์ ชลพันธ์* และ จารุวัตร เจริญสุข

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

*ติดต่อ: โทรศัพท์: (666) 5218314, E-mail: karateoni@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาการเผาไหม้ของก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) ในเตาเผาไหม้แบบวัสดุพรุน หลังจากมีการดัดแปลงเตาวัสดุพรุนจากงานวิจัยในอดีต มีการเพิ่มการหมุนวนก๊าซไอเสียกลับมาในห้องเผาไหม้ โดยศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิ ค่า NO_x emission ในช่วงการใช้งานของเตาตั้งแต่ 10 ถึง 20 กิโลวัตต์ การหมุนเวียนก๊าซไอเสียนี้ใช้หลักการของ jet pump เป็นแรงขับเคลื่อนให้เกิดการหมุนวนของไอเสียภายในเตา และนอกจากนี้ยังศึกษาความแตกต่างระหว่างการปล่อยอากาศแบบขั้น หรือที่เรียกว่า Air staged combustion และการผสมอากาศกับเชื้อเพลิง (LPG) ในห้องผสมก่อนปล่อยมาจากแผ่นกระจายการไหล หรือที่เรียกว่า Premixed Combustion ได้มีการแบ่งอากาศเพื่อป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่อัตราส่วนต่างๆ ออกเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งจะถูกป้อนเข้าทางหัวฉีดอีกส่วนหนึ่งจะนำไปอุ่นก่อนนำไปใช้ในการทำ Air staged หรือ Premixed Combustion มีการกำหนดสัดส่วนของอากาศ ที่ป้อนเข้าสู่หัวฉีดต่ออากาศที่ปล่อยเข้าห้องอุ้มนรอบตัวเตา โดยมี 3 อัตราส่วนคือ 1:1 2:1 และ 3:1 พบว่าที่อัตราส่วน 3:1 นั้นลักษณะของ Air staged Combustion มีผลดีต่อการกระจายอุณหภูมิมากกว่าการป้อนอากาศแบบ Premixed Combustion เนื่องจากความดันดันในห้องผสมน้อยกว่า โดยการเผาไหม้ในแบบ Air staged Combustion มีค่า NO_x Emission อยู่ในช่วง 29.5-108.3 ppm. ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรคาร์บอนในช่วงถึง 3.41- 8.99 เปอร์เซ็นต์ และ 78 ถึง 8836 ppm. ตามลำดับ โดยจากการทดลองนั้น ในกรณีที่ดีที่สุดจะได้ค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ 3.41 เปอร์เซ็นต์ และไฮโดรคาร์บอน 78 ppm. อัตราการเผาไหม้ 20 กิโลวัตต์

คำหลัก: เตาเผาไหม้แบบวัสดุพรุน, jet pump, air-staged combustion, Porous media

Abstract

This paper presents the combustion of LPG in porous media combustor with flue gas recirculation. In this study thermal distribution and NO_x emission are investigated within the operate range of 10 to 20 kw. Jet pump is used to circulate flue gas in the combustor. This study also concern with the investigation on the different in temperature distribution and emission of air-staged combustion and premixed combustion. Air is separated into two parts, first the air is sent into the nozzle and another part is sent into pre-heater and then fed into the combustion zone, either premixed under the distribution plate

or staged over it. This air separation has three ratios 1:1, 2:1 and 3:1. It is found that at the ratio 3:1, where majority of air is fed into the nozzle, the temperature is better distributed than that of premixed combustion and has NO_x emission range of 29.5-108.3 ppm. CO and HC range of 3.41-8.99% and 78-8836 ppm., respectively. This is due to less back pressure in the mixing chamber. The best case, at the firing power of 20 kw and staging ratio of 3:1, has CO emission of 3.41% with HC emission of 78 ppm.

Keywords: porous media combustor, jet pump, air-staged combustion, Porous media.

1. บทนำ

ปัญหาการใช้พลังงานอย่างขาดประสิทธิภาพ เป็นบทเรียนสำคัญที่ประเทศไทยต้องตระหนักถึงการพึ่งพาตนเองให้มากขึ้น ทางออกที่ดีที่สุดคือการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ รวมทั้งการพยายามหาแหล่งพลังงานอื่นมาทดแทน ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาระบบของเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ด้วยการติดตั้ง reformer เข้าไปในระบบเพื่อช่วยในการอุ่นก๊าซออกซิเจนและสังเคราะห์ก๊าซไฮโดรเจนก่อนเข้าทำปฏิกิริยา โดยแหล่งพลังงานความร้อนที่ป้อนให้กับ reformer ได้มาจากการติดตั้งเตาเผาไหม้เพิ่มเข้าไปในระบบ หนึ่งในเตาเผาไหม้ที่กำลังได้รับการพัฒนานั้นก็คือ เตาเผาไหม้วัสดุพูน ซึ่งมีการเผาไหม้ที่เสถียร และได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถลดปัญหาการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ [1] การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหลวโดยวัสดุพูนแบบทั่วไปได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและประสบความสำเร็จมาแล้วในระดับหนึ่ง แต่ยังคงต้องมีการพัฒนาให้ดีขึ้นกว่าเดิมทั้งนี้ยังบริเวณการเผาไหม้เกิดภายในวัสดุพูนมากเท่าไรยังเป็นผลดีมากกว่านั้น

งานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการ flue gas recirculation คือนำไอเสียกลับมาใช้ผสมอากาศ กับ LPG ก่อนนำไปใช้ในการเผาไหม้ โดยมีจุดประสงค์ให้ไอเสียวนอยู่ในตัวเตาเพื่อเพิ่มกระบวนการผสมระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงระหว่างเม็ดวัสดุเซรามิกส์ ซึ่ง flue gas recirculation จะทำให้อุณหภูมิไม่สูงเกินไป ช่วยลดค่า NO_x emission และไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ และยังต้องการเพิ่มกระแสความปั่นป่วนของอากาศภายในเตา โดยการดัดแปลง

เตาด้วยหลักการ flue gas recirculation , air-staged และ jet pump นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในเตา และตรวจดูค่า emission ที่ได้จากการเผาไหม้ที่ปริมาณอากาศส่วนเกินที่ต่างกัน ตามกรณีศึกษาที่ได้กำหนดไว้

2. การทดสอบ

2.1 องค์ประกอบของเชื้อเพลิง

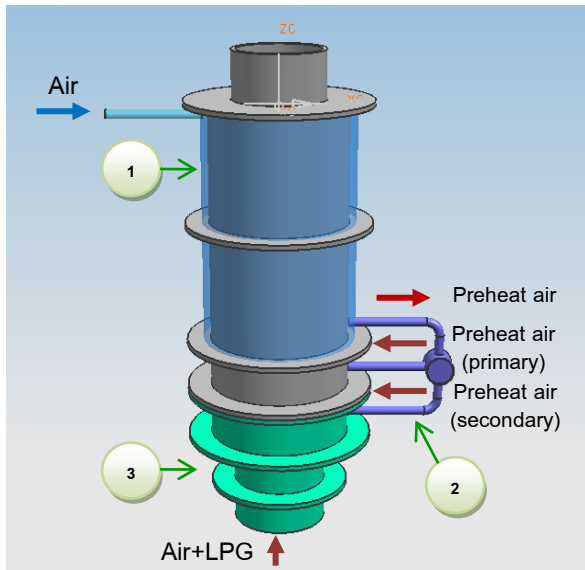
เชื้อเพลิงที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ LPG โดยในการทดลองจะก๊าซหุงต้มของการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย ซึ่งองค์ประกอบของ LPG นี้ประกอบด้วย โพรเพน (C_3H_8) 60 mol% และบิวเทน (C_4H_{10}) 40% โดยมีค่าความร้อน (LHV) เท่ากับ 45.6 MJ/kg (ที่มา: การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย) ซึ่งจะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของ LPG มีก๊าซไฮโดรคาร์บอนเป็นส่วนใหญ่ประกอบหลัก ไม่มีองค์ประกอบของไนโตรเจนและซัลเฟอร์

2.2 การดัดแปลงเตาเผาวัสดุพูน

ในการสร้างเครื่องทดสอบได้มีการดัดแปลงเตาเผาวัสดุพูนเพิ่มทั้งหมดสามส่วนหลักๆ ด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 สีเทาคือเตาเผาวัสดุพูนเดิมซึ่งภายในได้มีการติดตั้งท่ออะลูมิเนียมไว้สี่ท่อเพื่อที่จะนำไอเสียภายในเตาไปยังอุปกรณ์ส่วนที่ 3 นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์เพิ่มเติมอีกสองส่วนด้วยกันโดยมีหน้าที่ ดังนี้

ส่วนที่ 1 (สีฟ้า) ได้มีการเชื่อมแผ่นเหล็กคลุมรอบตัวเตาเผาวัสดุพูน และต่อท่อไว้ดังรูป เป็นส่วนที่ดัดแปลงมาเพื่อทำการอุ่นอากาศก่อนนำไปใช้ ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ เมื่อมีการปล่อยอากาศผ่านท่อเข้ามาจะนำอากาศมาอุ่นให้ร้อนขึ้นโดยใช้ความร้อนจากผนังเตาเผาวัสดุพูนก่อนจะผ่านไปยังส่วนที่ 2



รูปที่ 1 ลักษณะโดยรวมของเตาเผาที่ถูกดัดแปลง

ส่วนที่ 2 (สีม่วง) มีการต่อท่อออกมาจากส่วนที่ 1 โดยท่อนี้จะต่อกับวาล์วสามทางและท่อที่ต่อออกมาจากวาล์วทั้งสองนั้นจะต่อกับอุปกรณ์ที่ต่างกันตามลักษณะของการทดลอง ซึ่งอุปกรณ์นี้มีหลักการทำงานคือ เมื่ออากาศผ่านการอุ่นมาจากส่วนที่ 1 แล้วผ่านท่อมาสู่ส่วนที่สองนี้ จะมีการปรับวาล์วให้อากาศไหลไปทางใดทางหนึ่งระหว่าง ฐานของเตาวัสดุพูนซึ่งภายในได้บรรจุเม็ดเซรามิกขนาดเล็กไว้เพื่อกันเปลวไฟย้อนกลับ และ บริเวณชั้นแรกของส่วนที่ 3 ซึ่งในที่นี้เรียก primary และ secondary ตามลำดับ

ส่วนที่ 3 (สีเขียว) เป็นอุปกรณ์ที่สร้างมาและนำไปติดตั้งด้านล่างของเตาเพื่อดัดแปลงลักษณะการทำงานของเตา เป็นอุปกรณ์ติดตั้งหัวฉีด และมีหน้าที่ผสมอากาศ เชื้อเพลิง และไอเสียด้วยแรงดูดที่เกิดจากการป้อนอากาศเข้าที่หัวฉีด [2] ก่อนป้อนเข้าสู่เตา

2.3 สภาวะในการทดลอง

ในการทดลองจะแบ่งสภาวะในการทดลองออกเป็นกรณีที่แตกต่างกันโดยใช้เกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 1

จากเกณฑ์ในการแบ่งสภาวะการทดลองนี้ ทำให้ได้สภาวะการทดลองทั้งหมด 54 กรณีด้วยกัน โดยแบ่งได้เป็น 3 กรณีหลักๆ ตามพลังงานของเชื้อเพลิงได้เป็น 10 kw, 15 kw และ 20 kw

ตารางที่ 1 แสดงเกณฑ์ที่ใช้ในการแบ่งสภาวะสำหรับการทดลอง

สภาวะการทดลอง	กรณีศึกษา		
	1	2	3
พลังงานเชื้อเพลิง (kw)	10	15	20
การทำงานของวาล์ว (Primary: Secondary)	100:0	0:100	-
อากาศส่วนเกิน	110	100	80
อัตราส่วนอากาศที่ป้อนเข้า ต่ออากาศด้านบนกับ Nozzle	1:1	2:1	3:1

จากการทดลองทำให้ทราบว่ากรณีศึกษา 10 kw นั้นไม่สามารถนำมาทดลองเพื่อการศึกษาได้ เนื่องจากในทุกกรณีศึกษาของ 10 kw นั้น จะเกิดเปลวไฟลอยขึ้นมาด้านบน แสดงให้เห็นถึงการเผาไหม้ที่ยังไม่ดีนัก เนื่องจากการผสมของอากาศและ LPG ยังไม่ดีพอทำให้ LPG ยังมีเหลืออยู่มากและไปเผาไหม้อยู่ด้านบนของเตา

ในการทดลองเพื่อหากรณีศึกษา ได้ทำการคัดกรณีที่ไม่สามารถทำการเก็บค่าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ได้จากทั้งหมด 54 กรณีจึงเลือกได้ทั้ง 12 กรณีเพื่อเก็บผลนำไปวิเคราะห์ต่อไป โดยแบ่งเป็น 15 kw และ 20 kw อย่างละ 6 กรณี ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดของกรณีศึกษาที่ 15 kw

ที่	Valve ratio	Air (L/m)	a1:a2	a1(L/m): a2(L/m)
1	100:0	306.70	2:1	204.47:102.23
2	100:0	306.70	3:1	230.03:76.67
3	100:0	276.03	3:1	207.023:69.007
4	0:100	306.70	2:1	204.47:102.23
5	0:100	306.70	3:1	230.03:76.67
6	0:100	276.03	3:1	207.023:69.007
7	100:0	408.72	2:1	272.48:136.24
8	100:0	408.72	3:1	306.54:102.18
9	100:0	367.85	3:1	275.89:91.96
10	0:100	408.72	2:1	272.48:136.24
11	0:100	408.72	3:1	306.54:102.18
12	0:100	367.85	3:1	275.89:91.96

จากตารางกรณีศึกษาที่ 1-6 เป็นกรณีศึกษาที่ 15 kw มีอัตราการฉีด LPG 9.83 ลิตรต่อหน้าที่ ส่วนกรณี 7-12 เป็นกรณีศึกษาที่ 20 kw มีอัตราการฉีด LPG 13.1 ลิตรต่อหน้าที่ โดยในคอลัมน์แรกจะแสดง Valve ratio เป็นการระบุตำแหน่งซึ่ง 100 :0 คือการปล่อยอากาศเข้าที่ทางเข้า primary 100 % secondary 0% เป็นสภาวะ Air staged combustion ส่วนอัตราส่วน 0:100 ก็ตรงข้ามกันและเป็นการเผาไหม้แบบ p remix combustion อัตราส่วน a1 คือสัดส่วนอากาศที่ป้อนเข้าที่หัวฉีด a2 คืออัตราส่วนของอากาศที่ป้อนเข้าไปก่อนป้อนเข้าวาล์ว และในคอลัมน์สุดท้ายเป็นการบอกปริมาตรของอากาศในหน่วยลิตรต่อหน้าที่

2.4 อุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง

สำหรับอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย

- เตาเผาวัสดุพอร์ซันที่ถูกดัดแปลง ภายในบรรจุเม็ดวัสดุพอร์ซัน (Porous) ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 แสดงรูปร่างภายนอกของเตาเผาที่ดัดแปลง



รูปที่ 3 แสดงขนาดของเม็ดวัสดุพอร์ซัน (Porous)

- Thermocouple type K สำหรับวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 4 แสดง Thermocouple type K

- เครื่องวัดไอเสีย TECHNOTEST 488 Mutigas plus



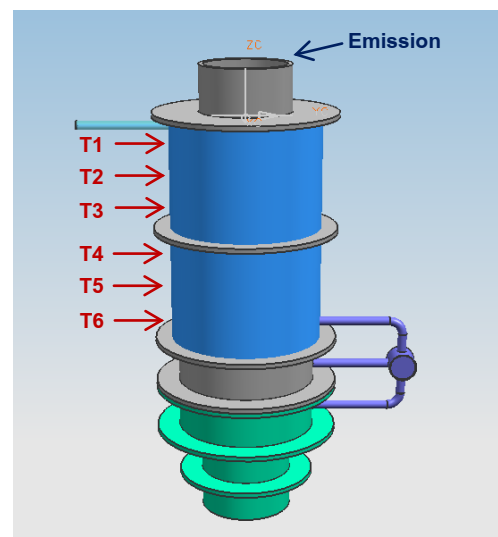
รูปที่ 5 แสดงลักษณะของเครื่องมือวัดไอเสีย

2.5 การเก็บข้อมูล

ก่อนทำการทดสอบจะต้องมีการอุ่นเตาก่อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในการทดสอบแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 4-5 ชั่วโมง เมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุล ทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทุกๆ 5 วินาที ตามระดับความสูง โดยจุดที่วัดจะห่างกันประมาณ 10 เซนติเมตร เมื่อเตาเผาอยู่ในสภาวะสมดุลแล้ว ทำการบันทึกก๊าซไอเสียที่ปล่อยไอเสียด้านบน โดยก๊าซไอเสียที่ทำการบันทึกประกอบไปด้วย O_2 , CO_2 , CO , NO_x , C_xH_y

2.5.1 การวัดอุณหภูมิ

ในการทดลองทำการวัดอุณหภูมิภายในเตาเผาที่จุดต่างๆ ทั้งหมด 6 จุด แต่ละจุดห่างกัน 10 เซนติเมตร โดยใช้ Thermocouple type K เป็นอุปกรณ์ในการวัดและใช้ Data logger เป็นอุปกรณ์ในการบันทึกผล



รูปที่ 6 แสดงตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและมลพิษ

2.5.2 การวัดมลพิษ

การวัดมลพิษใช้เครื่องมือวัดไอเสียของ Testo รุ่น 350 XL ทำการเก็บค่าที่ปล่อยไอเสียด้านบน โดย

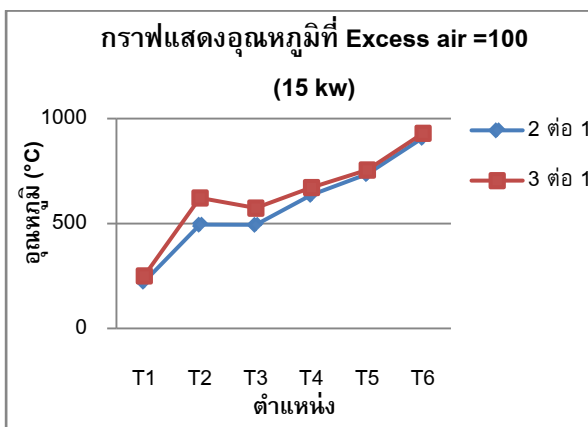
ก๊าซไอเสียที่ทำการบันทึกประกอบไปด้วย O_2 , CO_2 , CO , NO_x , C_xH_y และก๊าซอื่นๆ ที่ต้องการ ซึ่งระยะเวลาในการเก็บบันทึกจะทำการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 0.5-1 นาที แล้วเว้นระยะเวลา 10 นาที เพื่อพักเครื่องมือวัดไอเสีย โดยทุกค่าของข้อมูลถูกเก็บที่เงื่อนไขสภาวะคงตัว เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา นอกจากนี้ อุณหภูมิของก๊าซไอเสียยังถูกบันทึกไปพร้อมกับปริมาณก๊าซไอเสียที่เกิดขึ้นด้วย

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

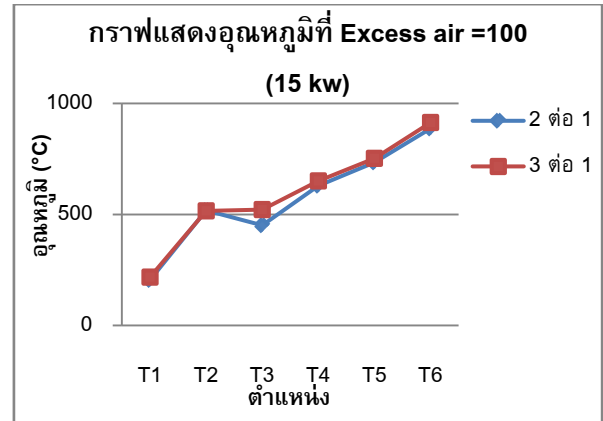
ในส่วนของการวิเคราะห์ข้อมูล จะมีการเปรียบเทียบอุณหภูมิและประสิทธิภาพของกรณีศึกษาต่างๆ เพื่อหากรณีศึกษาที่ให้ประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยแยกการเปรียบเทียบออกเป็นหลายกรณี เช่น เปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างกรณีที่ Excess air ต่างกัน, กรณีที่อัตราส่วนการป้อนอากาศต่างกัน และเปรียบเทียบ 15 kw กับ 20 kw เป็นต้น ข้อมูลการเปรียบเทียบเหล่านี้จะนำไปสู่การวิเคราะห์และข้อสรุปในการทดลอง ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4. ผลการทดลอง

จากการทดลองที่ Excess air = 100 (15 kw) ทั้งในกรณี Air staged combustion และ Premixed combustion เปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนอากาศ 2:1 และ 3:1 ปรากฏว่าในอัตราส่วน 3:1 มีอุณหภูมิที่สูงและใกล้เคียงกันมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

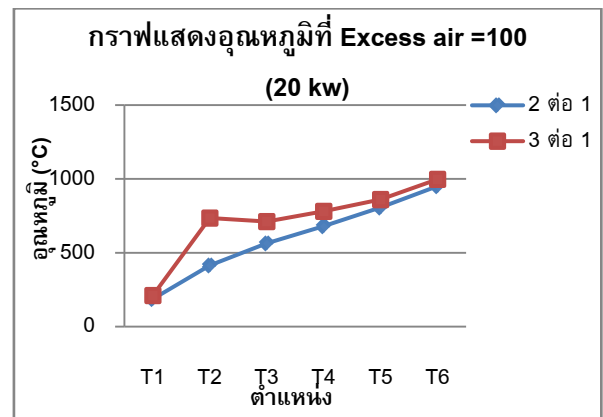


รูปที่ 7 แสดงอุณหภูมิกรณี Excess air 100 ที่ 15 kw (Air staged combustion) เปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วน 2:1 และ 3:1

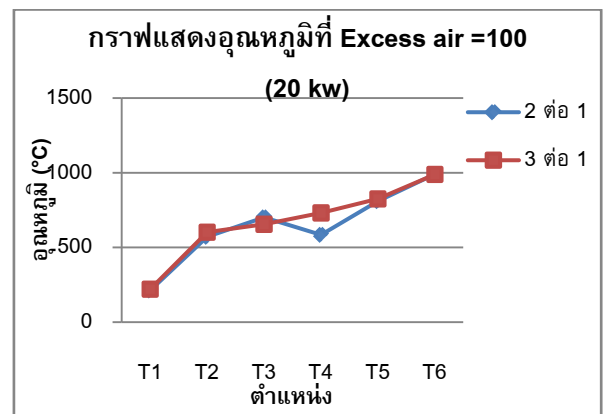


รูปที่ 8 แสดงอุณหภูมิกรณี Excess air 100 ที่ 15 kw (Premixed combustion) เปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วน 2:1 และ 3:1

ในกรณี 20 kw ก็ได้ผลการทดลองออกมาเช่นเดียวกับ 15 kw คืออัตราส่วน 3:1 มีอุณหภูมิสูงและใกล้เคียงกันมากกว่าเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ



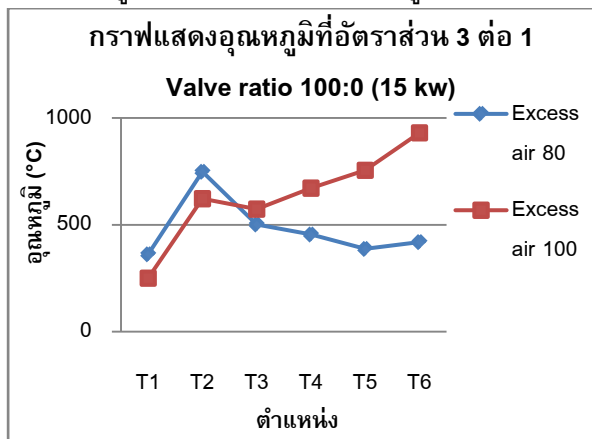
รูปที่ 9 แสดงอุณหภูมิกรณี Excess air 100 ที่ 20 kw (Air staged combustion) เปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วน 2:1 และ 3:1



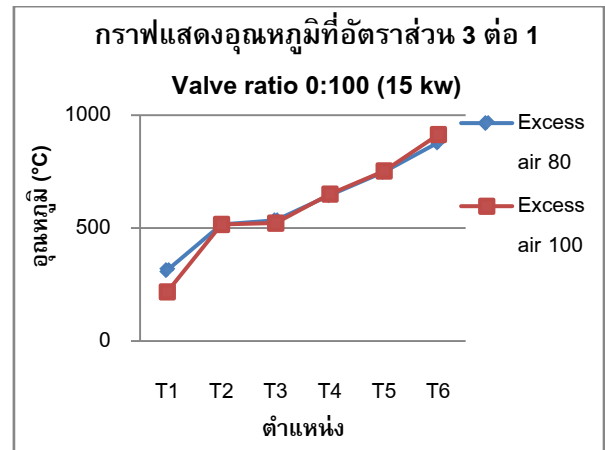
รูปที่ 10 แสดงอุณหภูมิกรณี Excess air 100 ที่ 20 kw (Premixed combustion) เปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วน 2:1 และ 3:1

ในกรณีที่ Valve ratio 100:0 หรือเป็น Air staged combustion ในอัตราส่วน 3:1 (15 kw) เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างที่ Excess air 80 กับ 100 แล้วพบว่าที่ Excess air 100 มีอุณหภูมิสูงกว่า และมีแนวโน้มเช่นเดียวกันในกรณีศึกษาอื่น แต่ในกรณีที่ Excess air 80 อุณหภูมิกลับลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 11 ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณอากาศที่หัวฉีดและอากาศส่วนเกินจะเป็นการเพิ่มอัตราการผสม ทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมามากขึ้น เนื่องจากเม็ดวัสดุสร้างความพรุณมีส่วนช่วยให้เกิดความปั่นป่วนน้อยๆ ในช่องว่างระหว่างเม็ดวัสดุ ทำให้อัตราการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงดีขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มอัตราการพา ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาขยับไปด้าน upstream เป็นผลให้อุณหภูมิมีความใกล้เคียงกัน

ส่วนในกรณีที่เป็นการ Premixed combustion อุณหภูมิที่ T6 ของ Excess air 100 สูงกว่าเล็กน้อย แต่ทั้งสองกรณีมีการเพิ่มของอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามความสูงเตาที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 12

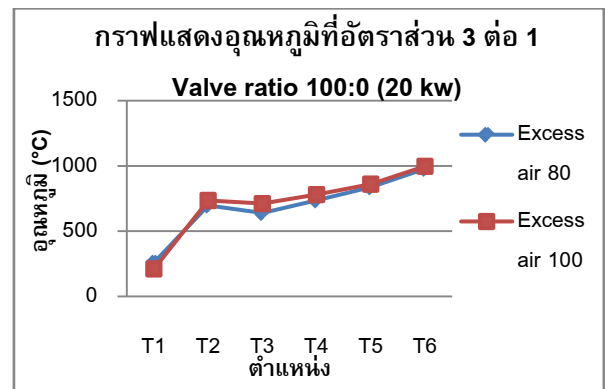


รูปที่ 11 แสดงอุณหภูมิระหว่าง Excess air 80 กับ 100 กรณี Air staged combustion (15kw)

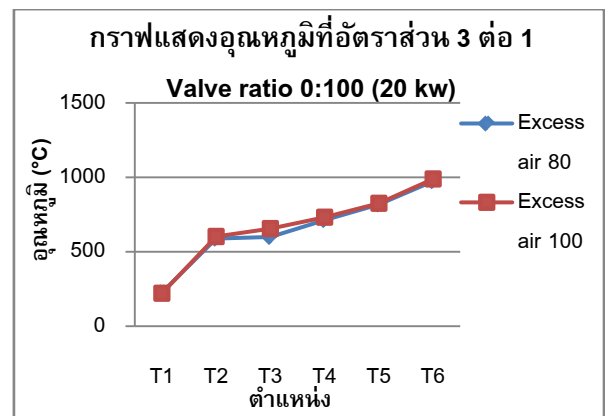


รูปที่ 12 แสดงอุณหภูมิระหว่าง Excess air 80 กับ 100 กรณี Premixed combustion (15kw)

ในกรณีเดียวกันที่ 20 kw ทั้งในกรณี Air staged combustion และ Premixed combustion ต่างก็มีอุณหภูมิสูงกว่าที่ Excess air 100 ดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14 ตาม ลำดับ



รูปที่ 13 แสดงอุณหภูมิระหว่าง Excess air 80 กับ 100 กรณี Air staged combustion (20kw)

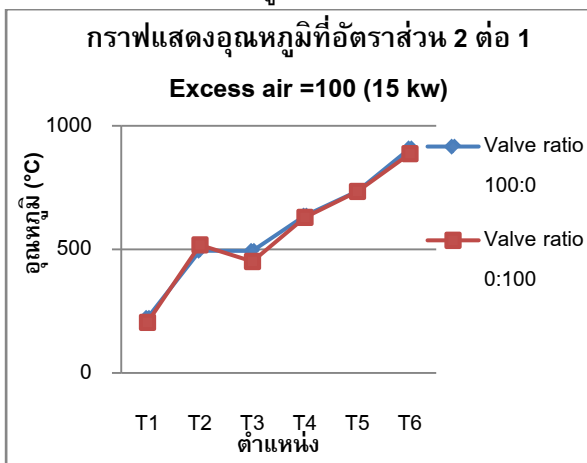


รูปที่ 14 แสดงอุณหภูมิระหว่าง Excess air 80 กับ 100 กรณี Premixed combustion (20 kw)

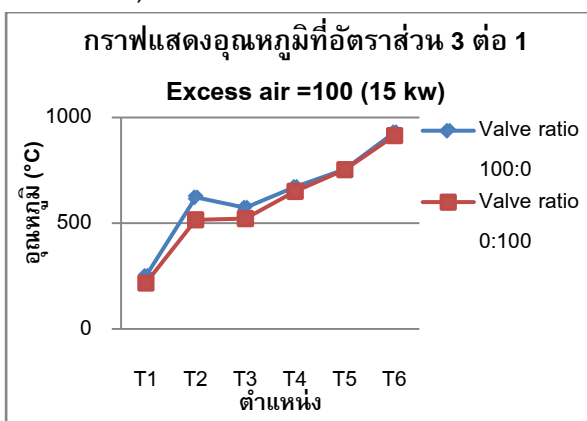
รูปที่ 15 และ 16 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างกรณี Valve ratio เป็น 100:0 (Air staged

combustion) กับ 0:100 (Premixed combustion) ที่ 15 kw และ Excess air 100 ของอัตราส่วน 2:1 และ 3:1 ตามลำดับ จากกราฟจะสังเกตเห็นได้ว่าที่ Air staged combustion จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าเล็กน้อย

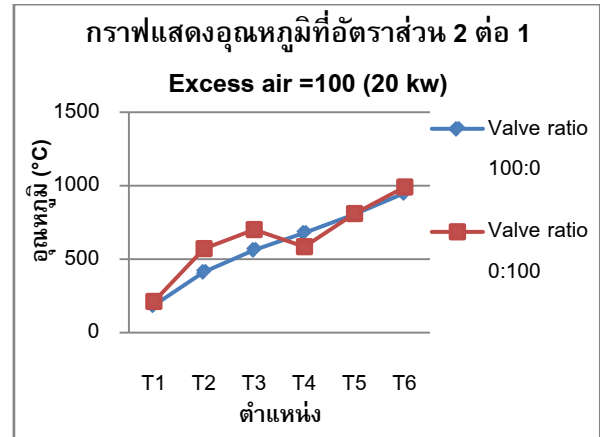
สำหรับที่ 20 kw ที่อัตราส่วน 3:1 อุณหภูมิของ Air staged combustion จะสูงกว่าเล็กน้อย เช่นเดียวกัน แตกต่างกับอัตราส่วน 2:1 ที่อุณหภูมิของ Premixed combustion จะสูงกว่า Air staged combustion ดังแสดงในรูปที่ 17 และ 18



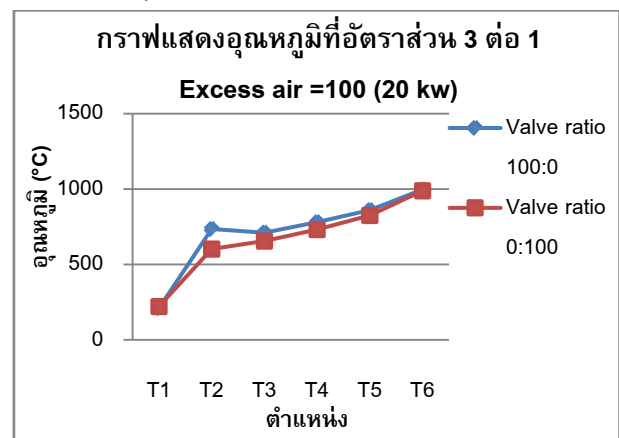
รูปที่ 15 แสดงอุณหภูมิที่อัตราส่วน 2:1 Excess air 100 (15 kw) ระหว่างกรณี Valve ratio เป็น 100:0 (Air staged combustion) กับ 0:100 Premixed combustion)



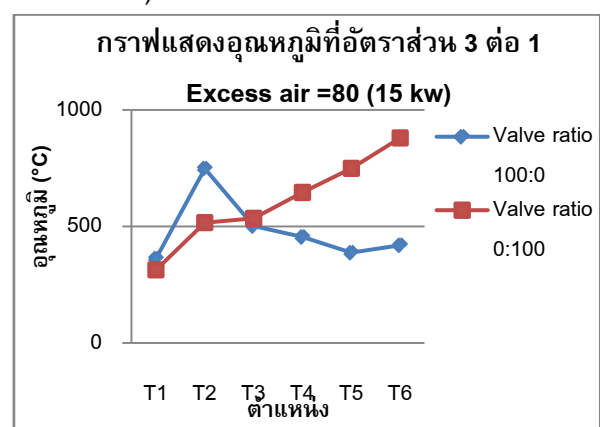
รูปที่ 16 แสดงอุณหภูมิที่อัตราส่วน 3:1 Excess air 100 (15 kw) ระหว่างกรณี Valve ratio เป็น 100:0 (Air staged combustion) กับ 0:100 (Premixed combustion)



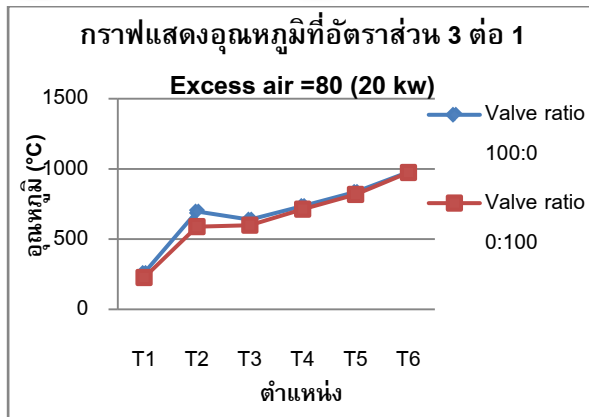
รูปที่ 17 แสดงอุณหภูมิที่อัตราส่วน 2:1 Excess air 100 (20 kw) ระหว่างกรณี Valve ratio เป็น 100:0 (Air staged combustion) กับ 0:100 (Premixed combustion)



รูปที่ 18 แสดงอุณหภูมิที่อัตราส่วน 3:1 Excess air 100 (20 kw) ระหว่างกรณี Valve ratio เป็น 100:0 (Air staged combustion) กับ 0:100 (Premixed combustion)



รูปที่ 19 แสดงอุณหภูมิที่อัตราส่วน 3:1 Excess air 80 (15 kw) ระหว่างกรณี Valve ratio เป็น 100:0 (Air staged combustion) กับ 0:100 (Premixed combustion)



รูปที่ 20 แสดงอุณหภูมิที่อัตราส่วน 3:1 Excess air 80 (20 kw) ระหว่างกรณี Valve ratio เป็น 100:0 (Air staged combustion) กับ 0:100 (Premixed combustion)

จากรูปที่ 15 - 20 จะเห็นว่า Air staged combustion มีอุณหภูมิที่สูง และใกล้เคียงกันมากกว่า Premixed combustion ในหลายกรณีเนื่องจาก Premixed combustion เป็นการผสมอากาศและเชื้อเพลิงในห้องผสมภายใต้เตาซึ่งทำให้เกิดความดันด้าน อากาศและเชื้อเพลิงที่ผสมแล้วไหลจึงผ่านไปยังเตาได้ยากกว่า ซึ่ง Air staged combustion จะปล่อยให้ส่วนผสมไหลผ่านไปก่อนแล้วจึงไปผสมในเตาทำให้มีการพาที่สูงกว่าจึงมีอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกันมากกว่า

5. สรุปผลการทดลอง

จากรูปแสดงผลการทดลองจะเห็นว่าปริมาณอากาศที่ป้อนออกมาจากหัวฉีด มีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิในเตาเป็นอย่างมาก พบว่าที่อัตราส่วนการแบ่งอากาศที่ 3:1 จะมีการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ดีกว่าอัตราส่วน 2:1 เนื่องจากเตาเผาใช้แรงที่ป้อนจากหัวฉีดเป็นแรงขับเคลื่อนในการเพิ่มการหมุนเวียนของไอเสียในเตา [3] ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณอากาศที่หัวฉีดและอากาศส่วนเกินจะเป็นการเพิ่มอัตราการผสม ทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมามากขึ้น เนื่องจากเม็ดวัสดุสร้างความพรุนมีส่วนช่วยให้เกิดความปั่นป่วนน้อยๆในช่องว่างระหว่างเม็ดวัสดุ ทำให้อัตราการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงดีขึ้น

ในการเปรียบเทียบระหว่าง Air staged combustion กับ Premixed combustion นั้นพบว่าในหลายกรณี Air staged combustion จะทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิดีกว่า เป็นผลมาจาก Premixed combustion จะทำให้เกิดความดันด้านที่ด้านล่างของเตาทำให้ส่วนผสมผสมไหลผ่านไปยังเตาได้ลำบาก ซึ่ง Air staged combustion จะมีการไหลที่สะดวกกว่าจึงมีการพาที่สูงทำให้มีอุณหภูมิสูงและใกล้เคียงกันมากกว่า

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] M. Abdul Mujeebu , M.Z. Abdullah , M.Z. Abu Bakar , A.A. Mohamad , M.K. Abdullah (2009). Application of porous media combustion technology.
- [2] Prabkeao, C. และ Aoki, K (2005). Study on the Optimum Mixing Throat Length for Drive Nozzle Position of the Central Jet Pump, vol. 8 No.4, 2005, หน้า 347-355
- [3] Jo~o Baltasar, Maria G. Carvalho, Pedro Coelho and Mario Costa. Flue gas recirculation in a gas-fired laboratory furnace: measurements and model-ling (1997).