

การประยุกต์ใช้ชุดอุปกรณ์เติมแก๊สออกซิเจนหัวเผาเวนจูรี ในเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก

Application of Oxygen-inlet Venturi Burner in Ceramic Kilns

ยุทธพงษ์ นาคโสมณ^{1*}

^{1*} คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย 234 ถนนเลย-เชียงคาน ตำบลเมือง อำเภอเมือง จังหวัดเลย 42000

โทรศัพท์ 042-835232 โทรสาร 042-835232 E-mail : yut007@hotmail.com

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้ชุดอุปกรณ์เติมแก๊สออกซิเจนหัวเผาเวนจูรี มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเผาของเตาเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดทางเดินลมร้อนลง โดยอาศัยการควบคุมอัตราการไหลของแก๊สออกซิเจนเข้าสู่หัวเผาแบบเวนจูรีด้วยเกจควบคุมแรงดันพร้อมกับเชื้อเพลิงแก๊สปิโตรเลียมเหลว จำนวน 6 ชุด ในเตาเผาขนาด 1 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นตรวจสอบประสิทธิภาพการเผา ผลการวิจัยพบว่า ชุดอุปกรณ์เติมแก๊สออกซิเจนหัวเผาเวนจูรี มีประสิทธิภาพการเผาที่อุณหภูมิ 1220 องศาเซลเซียส คือ สามารถเผาได้ทั้งบรรยากาศออกซิเดชันและรีดักชัน ใช้เวลาในการเผา 10 และ 10 ชั่วโมง อัตราการเผา 122 และ 122 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง โดยใช้ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิง 25.2 และ 29.6 กิโลกรัม และปริมาณแก๊สออกซิเจน 12.9 และ 9.4 กิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาโดยใช้หัวเผาแบบปกติและการเผาแบบใช้ชุดอุปกรณ์เติมแก๊สออกซิเจนหัวเผาเวนจูรี พบว่า การเผาที่อุณหภูมิ 1220 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชัน ใช้เวลาการเผาลดลง 4 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 28.57 อัตราการเผาเร็วขึ้น 35 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 40.23 และปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาลดลง 8.9 กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละ 26.10 เมื่อศึกษาต้นทุนและผลตอบแทน พบว่า มีต้นทุนเพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงหัวเผา 9,000 บาท จุดคุ้มทุนที่ต้องใช้ชุดอุปกรณ์เติมแก๊สออกซิเจนในการเผาผลิตภัณฑ์ จำนวน 563 ครั้ง มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ 2,417.47 บาท อัตราผลตอบแทนของโครงการ ร้อยละ 19.82 ซึ่งเป็นค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยที่ใช้ในการคำนวณ ร้อยละ 10 และระยะเวลาคืนทุน 3.86 ปี

คำสำคัญ: เตาเผา, หัวเผาเวนจูรี, เติมแก๊สออกซิเจน, ประสิทธิภาพการเผา

Abstract

The aim of the direct oxygen-inlet Venturi burner is to optimize the firing efficiency of downdraft ceramic kilns by controlling the flow rate of oxygen into the Venturi burner with the amount of 6 units of LPG per 1 cubic meter of kiln space. There follows tests of its firing efficiency. The results found that it fires at 1220 degrees Celsius and that it is able to burn at both oxidation and reduction atmospheres for 10 hours, the firing rate is 122 degrees Celsius/hour, with 25.2 and 29.6 kilograms of spent LPG fuel, and 12.9 and 9.4 kilograms of spent oxygen, respectively.

When comparing the combustion performance of conventional firing against that of direct-oxygen flow equipment at 1220 degrees Celsius within an oxidation atmosphere, it was found that firing time can be reduced by 4 hours or 28.57%, with an increased burn rate of 35 degrees Celsius/hour or 40.23% and a reduction in the consumption of LPG fuel to 8.9 kilograms or 26.10%. When studying the costs and returns, it was found that the cost of upgrading a burner was 9000 Baht. The break-even point is 563 times, with a Net Present Value (NPV) of 2,417.47 Baht, an Internal Rate of Return (IRR) of 19.82% (10 % higher than the interest rate used for the calculation) and a payback period (PBP) of 3.86 years.

Keywords: kiln, venturi burner, oxygen-inlet, firing efficiency

1. บทนำ

หัวเผาเวนจูรี (Venturi burner) เป็นหัวเผาในบรรยากาศเปิดชนิดเปลวไฟแก๊สผสมอากาศ (Premixed flames) ใช้หลักการเดียวกับตะเกียงเบนเซน (Bunsen burner) คือใช้โมเมนตัมของแก๊สที่พุ่งผ่านหัวฉีดออกมาถึงอากาศส่วนแรกเข้าผสมเป็นส่วนผสมแรก เกิดเปลวไฟขึ้นในเหนือหัวเผา แล้วเกิดเปลวไฟขึ้นนอกโดยการแพร่ของอากาศที่อยู่ล้อมรอบเข้าหาผลผลิตที่ยังเผาไหม้ได้ที่อยู่จากเปลวไฟขึ้นในส่วนประกอบสำคัญของหัวเผา ได้แก่ หัวฉีดแก๊ส (Injector) ช่องเปิดให้อากาศส่วนแรกเข้า (Primary air port) ท่อผสมส่วนคอคอดและท่อเวนจูรี (Throat and diffuser) ส่วนหัวเตา (Burner head) และช่องเปลวไฟ (Flame port or burner port) ควบคุมอากาศไหลเข้าโดยการปรับแผ่นกั้นอากาศ (Air baffle) เพื่อนำอากาศเข้าไปผสมกับแก๊ส (Air-gas mixed) (Bunyakit, K., 2001) การตรวจสอบและปรับปรุงสมรรถนะของหัวเผานับเป็นหัวใจสำคัญของการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ ซึ่งมีแนวทางในการตรวจสอบและปรับปรุงหลายวิธี อาทิ Kosasang, P. et al. (2011) ดำเนินการตรวจสอบอัตราส่วนระหว่างอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับแบบจำลองหัวเผาแบบเปิดในกระบวนการผลิตเหล็กเส้น โดยทดสอบอัตราส่วนที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่พอดีกันพบว่า อัตราส่วนระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง (A/F Ratio) ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 10.5670 คือ ออกซิเจน ร้อยละ 12.31 คาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 4.3 คาร์บอนมอนอกไซด์ 4 ppm ที่อุณหภูมิ 526.4 องศาเซลเซียส ส่วน กนกกาญจน์ ว่องวัชรพร (2556) (Wongwatcharaphon, K., 2013) ศึกษาการใช้วัสดุพรุน (Porous materials) ในการประยุกต์สำหรับการเผาไหม้สมรรถนะสูง พบว่าวัสดุประเภทซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) อลูมินา (Al_2O_3) และเซอร์โคเนียไดออกไซด์ (ZrO_2) เหมาะสำหรับการเผาไหม้ชนิดเปลวผสม ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยการหมุนเวียนความร้อนด้วยการแผ่รังสีความร้อนและการนำความร้อนในเนื้อของวัสดุแข็ง ในขณะที่มีการปลดปล่อยมลภาวะต่ำทั้งไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) และคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) รวมทั้งมีความเร็วในการเผาไหม้สูงเมื่อเทียบกับการเผาแบบเปิดทั่วไป นอกจากนี้ สบสันต์ อุตกฤษฎ์ และคณะ (2521) (Utakrit, S. et al. 1978) ระบุว่า การสันดาประหว่างแก๊สอะเซทิลีนและแก๊สออกซิเจนบริสุทธิ์จากแหล่งที่มีความดัน เช่น จากถังบรรจุแก๊ส เพื่อช่วยการสันดาปให้สมบูรณ์ที่สุดนั้น จะต้องใช้แก๊สทั้งสองชนิดร่วมกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำไว้โดยเฉพาะเท่านั้น ได้แก่ หัวเชื่อม เครื่องบังคับแก๊สและอื่น ๆ แก๊สทั้งสองจะรวมกันกลายเป็นแก๊สผสม

ก่อนที่จะพ่นผ่านหัวเชื่อมออกมาสันดาปภายนอก ความร้อนที่ได้จากการสันดาปวิธีนี้ จะสูงกว่าวิธีอื่น ๆ ทั้งหมด และถ้าแก๊สทั้งสองชนิดผสมกันด้วยอัตราที่เหมาะสม จะให้ความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึง 3200 องศาเซลเซียส การสันดาปจะสมบูรณ์ที่สุดปราศจากเขม่าและควัน ในขณะที่ Hong, S. K., Noh, D. S. and Lee, E. K. (2015) พบว่า การเผาแบบอาศัยแก๊สออกซิเจนช่วยในการสันดาป จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนได้ดี และประสิทธิภาพในการเผาไหม้จะดียิ่งขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับวิธีดักไอเสียทางอ้อม (Exhaust gas bypass method) และวิธีควบคุมการไหลหมุนเวียนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ recirculation method)

วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้ จะเป็นการปรับปรุงหลักการควบคุมอากาศไหลเข้าของหัวเผาแบบเวนจูรี โดยการปรับแผ่นกั้นอากาศร่วมกับการใช้แก๊สออกซิเจนผสมกับแก๊สเชื้อเพลิงภายในท่อเวนจูรี จากนั้นแก๊สผสมจะไหลออกทางด้านปลายท่อ ก่อนที่จะพ่นผ่านหัวเผาแบบเวนจูรีออกมาสันดาปภายนอก เพื่อช่วยการสันดาปให้สมบูรณ์ที่สุด และให้ความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูง ซึ่งจะเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการเผาไหม้ขั้นสูงต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อปรับปรุงและติดตั้งชุดอุปกรณ์เติมแก๊สออกซิเจนหัวเผาเวนจูรี

2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของชุดอุปกรณ์หัวเผาแบบใช้แก๊สออกซิเจนร่วมในการเผา

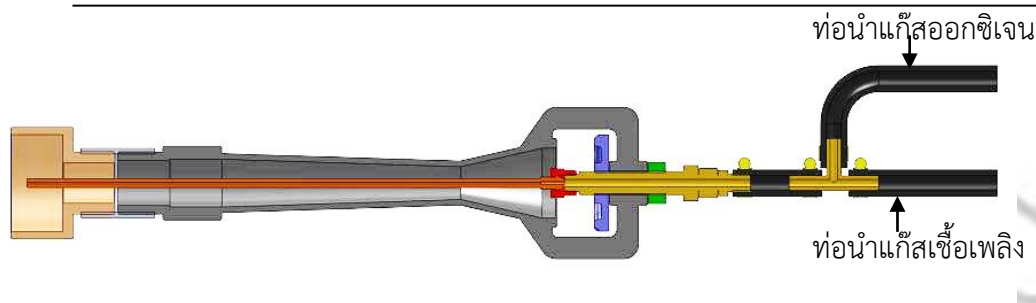
3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย มีทั้งสิ้น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 การปรับปรุงและติดตั้งชุดอุปกรณ์หัวเผา ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผา ขั้นตอนที่ 3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผา และขั้นตอนที่ 4 การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทน

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการปรับปรุงและติดตั้งชุดอุปกรณ์เติมแก๊สออกซิเจนหัวเผาเวนจูรี

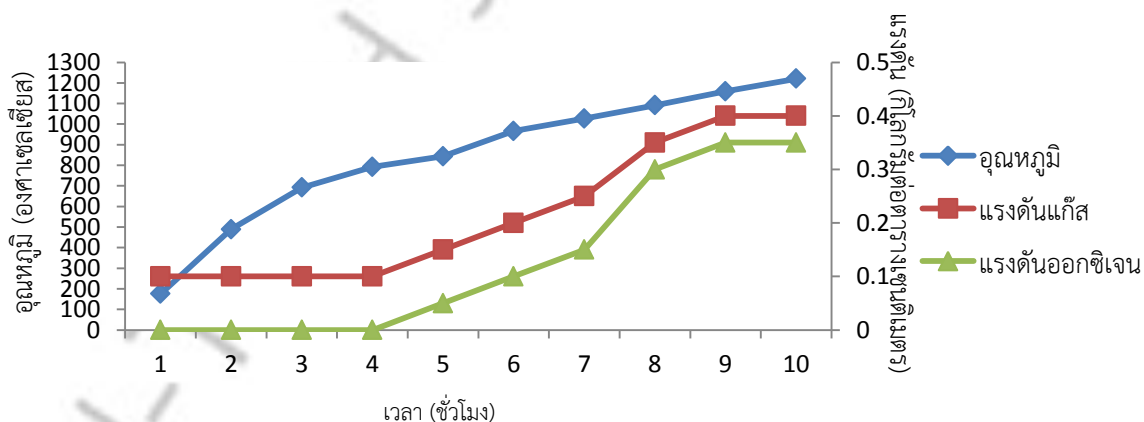
การปรับปรุงหัวเผาแบบเวนจูรีโดยการต่อท่อทองแดงกับหัวฉีดหัวเผาเวนจูรี จากนั้นต่อสายเข้ากับเกจแรงดัน (อากาศ) และถังบรรจุแก๊สออกซิเจน เพื่อควบคุมปริมาณแก๊สออกซิเจนเข้าสู่หัวเผา โดยการควบคุมเกจแรงดัน (อากาศ) สามารถประกอบชุดอุปกรณ์หัวเผา ดังภาพที่ 1



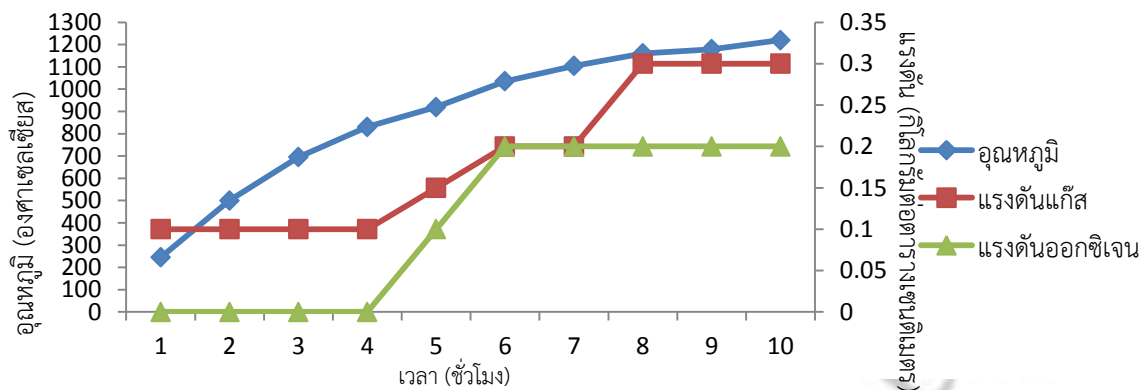
ภาพที่ 1 โครงสร้างภายในของชุดอุปกรณ์หัวเผาแบบใช้แก๊สออกซิเจนร่วมในการเผา

4.2 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานของชุดอุปกรณ์หัวเผาแบบใช้แก๊สออกซิเจนร่วมในการเผา

- 1) ผลการตรวจสอบอุณหภูมิการเผาด้วยอุปกรณ์ไพโรมิเตอร์ พบว่า ชุดอุปกรณ์หัวเผาที่ผ่านการปรับปรุงสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 1220 องศาเซลเซียส
- 2) ผลการตรวจสอบเวลาการเผาด้วยการบันทึกกราฟการเผา พบว่า การเผาที่อุณหภูมิ 1220 องศาเซลเซียส ที่บรรยากาศออกซิเดชันและรีดักชัน ใช้เวลาการเผา 10 และ 10 ชั่วโมง ตามลำดับ
- 3) ผลการตรวจสอบบรรยากาศการเผาด้วยการสังเกตสีผลิตภัณฑ์ทดสอบหลังการเผา พบว่า การเผาที่อุณหภูมิ 1220 องศาเซลเซียส เผาได้ทั้งบรรยากาศออกซิเดชันและรีดักชัน
- 4) ผลการคำนวณอัตราการเผา พบว่า อัตราการเผาที่อุณหภูมิ 1220 องศาเซลเซียส ที่บรรยากาศออกซิเดชันและรีดักชัน เท่ากับ 122 และ 122 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ตามลำดับ
- 5) ผลการคำนวณปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา พบว่า ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาที่อุณหภูมิ 1220 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชันและรีดักชัน เท่ากับ 25.2 และ 29.6 กิโลกรัม ตามลำดับ
- 6) ผลการคำนวณปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในการเผา พบว่า ปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในการเผาที่อุณหภูมิ 1220 องศาเซลเซียส บรรยากาศออกซิเดชันและรีดักชัน เท่ากับ 12.9 และ 9.4 กิโลกรัม ตามลำดับ



ภาพที่ 2 กราฟการเผาแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา อุณหภูมิ และแรงดัน บรรยากาศออกซิเดชันจากการเผาแบบใช้ชุดอุปกรณ์หัวเผาเติมแก๊สออกซิเจนร่วมในการเผา



ภาพที่ 3 กราฟการเผาแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เวลา อุณหภูมิ และแรงดัน บรรยากาศที่ติดขึ้นจากการเผาแบบใช้ชุดอุปกรณ์หัวเผาเติมแก๊สออกซิเจนร่วมในการเผา

จากภาพที่ 2 และ 3 พบว่า ชุดอุปกรณ์หัวเผาเวนจูรีแบบเติมแก๊สออกซิเจนร่วมในการเผาสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 1220 องศาเซลเซียส โดยเผาได้ทั้งบรรยากาศออกซิเดชันและบรรยากาศรีดักชัน โดยใช้เวลาในการเผา 10 และ 10 ชั่วโมง และอัตราการเผาเท่ากับ 122 และ 122 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ตามลำดับ

4.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผา

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผาโดยใช้หัวเผาแบบปกติ และการเผาแบบใช้ชุดอุปกรณ์หัวเผาเติมแก๊สออกซิเจนร่วมในการเผา ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการเผา

รายการเปรียบเทียบ	การเผาแบบปกติ (ก่อนการปรับปรุง)	การเผาแบบใช้ ชุดอุปกรณ์เติมแก๊สออกซิเจน (หลังการปรับปรุง)
อุณหภูมิการเผาสูงสุด (องศาเซลเซียส)	1220	1220
เวลาการเผา (ชั่วโมง)	14	10
บรรยากาศการเผา	ออกซิเดชัน	ออกซิเดชัน
อัตราการเผา (องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง)	87	122
ปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา (กิโลกรัม)	34.10	25.20
ปริมาณแก๊สออกซิเจนที่ใช้ในการเผา (กิโลกรัม)	-	12.90
ค่าแก๊สเชื้อเพลิง (บาท)	852.50	630
ค่าแก๊สออกซิเจน (บาท)	-	206.40
รวมค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน (บาท)	852.50	836.40

หมายเหตุ: ค่าแก๊สเชื้อเพลิงต่อกิโลกรัม เท่ากับ 25 บาท

ค่าแก๊สออกซิเจนต่อกิโลกรัม เท่ากับ 16 บาท

4.4 ผลการศึกษาต้นทุนและผลตอบแทน

1) ต้นทุนที่เพิ่มขึ้น คือ ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงหัวเผา ชุดละ 1,500 บาทต่อหัว จำนวน 6 หัว รวมเป็นเงิน 9,000 บาท

2) จุดคุ้มทุน

$$\begin{aligned}\text{ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลง} &= \text{การเผาแบบปกติ} - \text{การเผาแบบใช้ชุดอุปกรณ์เติมแก๊สออกซิเจน} \\ &= 852.50 - 836.40 = 16.10 \text{ บาท}\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น จุดคุ้มทุนในการลงทุนเพิ่ม คือ } \frac{9,000}{16.10} = 562.5$$

ต้องใช้ชุดอุปกรณ์เติมแก๊สออกซิเจนในการเผาผลิตภัณฑ์ จำนวน 563 ครั้ง

3) การประเมินคุณค่าโครงการ

1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ หรือ Net Present Value (NPV)

ถ้าประเมินคุณค่าโครงการจากอายุการใช้งาน (t) 5 ปี มีเงินลงทุนเริ่มต้นโครงการ (B) ที่ใช้ในการปรับปรุงหัวเผา 9,000 บาท อัตราคิดลดหรืออัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสของทุน (r) คิดเป็น ร้อยละ 10 ต่อปี มูลค่าซาก คิดเป็น 500 บาท และมีกระแสเงินสด (C) ที่ได้จากค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลดลงในการเผาครั้งละ 16.10 บาท โดยใช้เผาผลิตภัณฑ์ 182 ครั้งต่อปี คิดเป็น 2,930 บาทต่อปี คำนวณโดยใช้สูตร

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$$\text{ดังนั้น NPV} = 2,417.47 \text{ บาท}$$

2) อัตราผลตอบแทนของโครงการ หรือ Internal rate of return (IRR)

หลักการหา IRR คือ NPV = 0 (จุดเท่าทุน) คำนวณโดยใช้สูตร

$$IRR = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} = 0$$

สุ่มค่า i = 19 %

ดังนั้น IRR = 19.82 %

3) ระยะเวลาคืนทุน หรือ Payback Period (PBP)

$$PBP = 3.86 \text{ ปี}$$



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 ชุดอุปกรณ์ในการทดลองและการติดตั้งระบบ

(ก) ส่วนประกอบชุดอุปกรณ์หัวเผาเวนจูรีแบบเติมแก๊สออกซิเจนร่วมในการเผา

(ข) ระบบท่อและวาล์วควบคุมแก๊สเชื้อเพลิงและออกซิเจน

5. อภิปรายผลการวิจัย

5.1 การปรับปรุงหัวเผา

การปรับปรุงหัวเผาแบบใช้ชุดอุปกรณ์หัวเผาเติมแก๊สออกซิเจนร่วมในการเผา ช่วยให้การสันดาปสมบูรณ์ และให้ความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูง สอดคล้องกับ สบสันต์ อุตกฤษฎ์ และคณะ (2521) (Utakrit, S. et al., 1978) กล่าวว่า การสันดาประหว่างแก๊สอะเซทิลีน และแก๊สออกซิเจนบริสุทธิ์จากแหล่งที่มีความดัน เช่น จากถังบรรจุแก๊ส เพื่อช่วยการสันดาปให้สมบูรณ์ที่สุดนั้น จะต้องใช้แก๊สทั้งสองชนิดร่วมกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำไว้โดยเฉพาะเท่านั้น ได้แก่ หัวเชื่อม เครื่องบังคับแก๊สและอื่น ๆ แก๊สทั้งสองจะรวมกันกลายเป็นแก๊สผสม ก่อนที่จะพุ่งผ่านหัวเชื่อมออกมา สันดาปภายนอก ความร้อนที่ได้จากการสันดาปวิธีนี้ จะสูงกว่าวิธีอื่น ๆ ทั้งหมด และถ้าแก๊สทั้งสองชนิดผสมกันด้วยอัตราที่เหมาะสม จะให้ความร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูงถึง 3200 องศาเซลเซียส การสันดาปจะสมบูรณ์ที่สุดปราศจากเขม่า และกัญจนา บุญเกียรติ (2544) (Bunyakiat, K., 2001) กล่าวว่า แก๊สปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gases หรือ LPG) เป็นแก๊สที่บรรจุอยู่ในถัง ขนาดต่าง ๆ ที่สามารถขนส่งไปยังผู้ใช้ได้สะดวก ประกอบด้วย ไฮโดรคาร์บอน อิ่มตัวสองชนิดหลัก คือ โพรเพน (Propane, C_3H_8) และบิวเทน (Butane, C_4H_{10}) เป็นส่วนใหญ่ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน เช่นร้อยละ 65 โพรเพน และร้อยละ 35 บิวเทน และสมบูรณ์ เต็งหงษ์เจริญ (2545) (Tonghongcharoen, S., 2002) กล่าวว่า การใช้แก๊สออกซิเจน + โพรเพน ให้ความร้อนสูงสุดโดยประมาณ 2500 องศาเซลเซียส หรือ 4600 องศาฟาเรนไฮต์ และ อากาศ + โพรเพน ให้ความร้อนสูงสุดโดยประมาณ 1750 องศาเซลเซียส หรือ 3200 องศาฟาเรนไฮต์ โดยจะเห็นได้ว่าการใช้แก๊สออกซิเจนร่วมกับแก๊สเชื้อเพลิง จะให้ความร้อนที่สูงกว่า ทั้งนี้ Ozdermir, I. B. and Kantas, M. (2016) ยังพบว่า การเผาไหม้ของหัวเผาโดยทั่วไปที่ไม่ได้ผสมแก๊ส (Non-premixed) พลังงานความร้อนจะสูญเสียออกสู่บรรยากาศ โดยการรั่วไหลรอบเปลวไฟ ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลง ก่อให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเป็นการปลดปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ เข้าสู่บรรยากาศมากขึ้น

5.2 การทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผา

1) การตรวจสอบอุณหภูมิการเผา เป็นการตรวจสอบอุณหภูมิที่ตำแหน่งด้านบนใกล้กับปล่องไฟ โดยเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K และอ่านค่าอุณหภูมิด้วยอุปกรณ์ดิจิทัล มีค่าเท่ากับ 1220 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิในช่วงของการเผาเคลือบ ซึ่งในการเผาเคลือบไม่ว่าจะเป็นเคลือบชนิดไฟต่ำหรือไฟสูงก็ตาม จะต้องเผาให้ได้อุณหภูมิตามกำหนดของน้ำเคลือบแต่ละชนิด มิฉะนั้นการเผาจะเกิดการเสียหายได้ (Prompruek, T., 1980) โดยเคลือบอุณหภูมิสูง เป็นเคลือบที่เผาอุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสขึ้นไป (Raksawongsa, K., 1995)

2) การตรวจสอบเวลาการเผา เป็นการจับเวลาตั้งแต่เริ่มจุดเตาจนกระทั่งอุณหภูมิการเผาเท่ากับ 1220 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิการเผาเคลือบ โดยการทดลองของ ภควดี ศิริห้ำ และคณะ (2551) (Sirilar, P. et al., 2008) พบว่า การเผาเคลือบที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการเผาเฉลี่ย 8.30 ชั่วโมง

3) การตรวจสอบบรรยากาศการเผา โดยการสังเกตสีของเปลวไฟในขณะทดสอบการเผา พบว่า เปลวไฟมีสีเขียว-ฟ้า นั่นคือการเผาไหม้ มีอากาศส่วนเกิน (Excess air) มากพอที่จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Remmy, G. B., 1994) การเผาไหม้ หากป้อนอากาศเข้าเผาไหม้ในปริมาณที่พอดีกับค่าทางทฤษฎีแล้ว เป็นการยากที่จะทำให้ออกซิเจนพบกับธาตุต่าง ๆ ในเชื้อเพลิงได้หมดและทั่วถึงกัน จึงเป็นผลให้การเผาไหม้ในลักษณะอากาศที่ไม่เพียงพอ จะทำให้พลังงานความร้อนออกมาน้อยกว่าการเผาไหม้สมบูรณ์ เกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ เชื้อเพลิงที่ไม่เผาไหม้ เเขม่า และควันดำ ในทางปฏิบัติการเผาไหม้จริง จำเป็นที่จะต้องป้อนอากาศให้เกินกว่าความต้องการในเชิงทฤษฎี (Poogungploy, P., 2012 : 13 as cited in Department of Alternative Energy Development and Efficiency, 2010) ทั้งนี้ไม่พบเขม่าดำภายในห้องเผาที่อาจจะเกิดขึ้นในกรณีบรรยากาศการเผาเป็นแบบรีดักชัน (Ceramic Industrial Development, Center, 1999) การเผาในเตาเผาที่มีบรรยากาศแตกต่างกัน ได้แก่ การเผาบรรยากาศออกซิเดชัน และรีดักชัน การเผาทั้งสองแบบนี้ทำให้ได้สีแตกต่างกัน เคลือบที่มีส่วนผสมออกไซด์ของโลหะทองแดง เมื่อนำมาเผาในบรรยากาศสมบูรณ์ จะให้สีเขียว แต่เมื่อนำมาเผาในบรรยากาศไม่สมบูรณ์ เคลือบที่มีออกไซด์ของทองแดงโลหะจะให้สีแดงสด (Pichayapaiboon, P., 1995)

4) การคำนวณอัตราการเผา เป็นสัดส่วนของอุณหภูมิการเผาต่อเวลาการเผา มีค่าเท่ากับ 122 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ทั้งนี้อัตราการเผาจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญประการหนึ่ง คือ การผสมเป็นเนื้อเดียวกันของเชื้อเพลิงที่มีไฮโดรคาร์บอนกับอากาศที่ใช้ในการเผา โดยในอากาศจะมีปริมาณออกซิเจนที่จำเป็นต่อการเผาไหม้ ถ้าปริมาณออกซิเจนต่ำเกินไป การเผาไหม้จะเกิดขึ้นช้า และหากปริมาณออกซิเจนเหมาะสมการเผาไหม้จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Ceramic Industrial Development, Center, 1999)

5) การคำนวณปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผา เป็นผลต่างของน้ำหนักถังแก๊สก่อนการเผาและน้ำหนักถังแก๊สหลังการเผา หรือระบุเป็นค่าการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงการเผา ทั้งนี้ในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถวัดการสิ้นเปลืองการเผาแต่ละครั้งได้จากน้ำหนักที่แตกต่างกันของก่อนและหลังการใช้งานของถังบรรจุแก๊สแอลพีจี (Ceramic Industrial Development, Center, 1999) การใช้พลังงานสูงในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก คือ ปัญหาหนึ่งที่ผู้ผลิตส่วนใหญ่ไม่

ความสำคัญต่อกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หรือการผลิตสีเขียว เป็นสาเหตุหนึ่ง ที่ผลิตภัณฑ์เซรามิกไม่มีศักยภาพที่สามารถส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศได้ (Lawanwadeekul, S., Khunyosying, T. and Moolintha, S., 2017, 280 as cited in Department of Environmental Quality Promotion, 2015)

6) การศึกษาต้นทุนและผลตอบแทน มีต้นทุนเพิ่มขึ้นจากการปรับปรุงหัวเผา 9,000 บาท จุดคุ้มทุนที่ต้องใช้ชุดอุปกรณ์เดิมแก๊สออกซิเจนในการเผาผลิตภัณฑ์ จำนวน 563 ครั้ง มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) 2,417.47 บาท อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR) ร้อยละ 19.82 และระยะเวลาคืนทุน (PBP) 3.86 ปี มีความคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจาก เปรมชัย มูลห้ำ และคณะ (2560) (Moolla, P. et al., 2017) การคำนวณ NPV มีค่ามากกว่าศูนย์ หรือเป็นบวก แสดงว่าโครงการมีความเหมาะสมที่จะลงทุน และถ้าค่า IRR ที่ได้สูงกว่าอัตราดอกเบี้ยหรือค่าเสียโอกาสลงทุน จะเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ทดสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาโดยวิธีจำลองสถานการณ์การไหลทางวิศวกรรม (Flow simulation) จะช่วยทำนายประสิทธิภาพการเผาได้ดียิ่งขึ้น ทั้งนี้จำเป็นต้องจัดหาซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมในการใช้งานเพิ่มเติม

6.2 ทดสอบหาปริมาณ CO และ CO₂ โดยใช้เครื่องวัดประสิทธิภาพการเผาไหม้จะช่วยให้ทราบปริมาณแก๊สที่ลดลงได้ ทั้งนี้จำเป็นต้องจัดหาเครื่องมือที่เหมาะสมในการทดสอบเพิ่มเติม

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.สมนึก ศิริสุนทร ผู้อำนวยการฝ่ายอาวุโสฝ่ายพัฒนากำลังคนและถ่ายทอดเทคโนโลยี ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำหรับคำแนะนำในการปฏิบัติงานวิจัย ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย สำหรับการส่งเสริมการพัฒนางานวิจัย และขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย สำหรับความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และอุปกรณ์ประกอบการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

Bunyakiat, K. (2001). **Fuel and Combustion**. Bangkok : Chulalongkorn University Press. (in Thai)

Ceramic Industrial Development, Center. (1999). **Training Documents of Kiln Firing for Ceramics**. Lampang : author. (in Thai)

Hong, S. K., Noh, D. S. and Lee, E. K. (2015). Improvement in thermal efficiency of regenerator system by using oxy-fuel combustion. **Applied Thermal Engineering**. 87, pp. 648-654.

Kosasang, P., Sanrach, C. and Ascharyaphotha, N. (2011). Determination of A/F Ratio for the Open Burner Model. **The 49th Conference of Kasetsart University**,

- Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Lawanwadeekul, S., Khunyosying, T. and Moolintha, S. (2017). Development of environmental friendly production process of ceramic industries in Lampang Province. **The 3rd National Conference of Industrial Technology**, Rajabhat Maha Sarakham University, Maha Sarakham. (in Thai)
- Moolla, P., Phongphanok, S. and Graurysawat, V. (2017). Efficiency Enhancement and Performance Evaluation of Cassava Rasper with Engineering Economics. **IE Network Conference 2017**, Chiang Mai University, Chiang Mai. (in Thai)
- Ozdemir, I. B. and Kantas, M. (2016). Investigation of partially-premixed combustion in a household cooker-top burner. **Fuel Processing Technology**. 151, pp. 107-116.
- Pichayapaiboon, P. (1995). **Ceramics : Techniques and methods of creativity**. Bangkok : Chulalongkorn University Press. (in Thai)
- Poogungploy, P. (2012). **Designed and Built a small Low Pressure Boilers for Medium and Small Industries**. Loei : Loei Rajabhat University. (in Thai)
- Prompruek, T. (1980). **Introduction to Ceramics**. Bangkok : Odeon Store. (in Thai)
- Raksawongsa, K. (1995). **Teachings document of Glaze 2**. Bangkok : Rajabhat Institute Phranakhon. (in Thai)
- Remmy, G. B. (1994). **Firing ceramics**. Singapore : World Scientific.
- Sirilar, P., Pebkhuntod, N., Naksopon, Y., Charuenying, P. and Bootpeng, P. (2008). **Production-power Increasing and Product Design Development of Ceramic OTOP in Loei**. Loei : Loei Rajabhat University. (in Thai)
- Tonghongcharoen, S. (2002). **Metal Welding 1**. Bangkok : Technique Center Publishing House. (in Thai)
- Utakrit, S. et al. (1978). **Welding and Metal Cutting by Oxygen-Acetylene**. Bangkok : Office of service and research King Mongkut's Institute of Technology. (in Thai)
- Wongwatcharaphon, K. (2013). **High Performance Porous Burner**. Princess of Naradhiwas University Journal. 5(1), 109-123. (in Thai)