

การออกแบบหัวเผาเพื่อการปรับปรุงการเผาไหม้ สำหรับเผาเตาเซรามิก

Burner Design for Improvement of Combustion for Ceramic Kiln

ศิริพงษ์ แก้วสีหมอก และมาลี สันติคุณาภรณ์*

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

ชาญณรงค์ อัสวเทศานุภาพ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Siripong Kaewsimok and Malee Santikunaporn*

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Channarong Asavatesanupap

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

หัวเผาเป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่สำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา โดยเฉพาะอุตสาหกรรมเซรามิก งานวิจัยนี้ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา โดยการปรับเปลี่ยนลักษณะการกระจายตัว จำนวน และขนาดของช่องเปิดอากาศและช่องฉีดเชื้อเพลิงแก๊ส การศึกษานี้ทดสอบหัวเผา 3 แบบ ซึ่งประกอบด้วยแบบ B1, B2 และ BN ซึ่งทดลองภายในเตาเผาจำลองขนาด 1 m^3 โดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สธรรมชาติที่มีอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง 1 : 10 ผลการศึกษาประสิทธิภาพและการวิเคราะห์แก๊สเผาไหม้พบว่าปริมาณอากาศส่วนเกินที่วัดจากแก๊สไอเสียที่ได้จากการเผาไหม้โดยใช้หัวเผาแบบ BN มีค่าต่ำที่สุด (8.5 %) เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากหัวเผาแบบ B1 และ B2 (12 %) การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเผาไหม้หัวเผาแบบ BN ให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงสุด (85 %) ขณะที่หัวเผาแบบ B1 และ B2 ให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ 74 และ 73 % ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าลักษณะของหัวเผาส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้น

คำสำคัญ : หัวเผา; เตาเผา; ประสิทธิภาพการเผาไหม้; อุตสาหกรรมเซรามิก

*ผู้รับผิดชอบบทความ : smalee@engr.tu.ac.th

Abstract

Burner is one of the important apparatus that can affect the combustion efficiency in the furnace, especially ceramic industry. This research investigated the improvement of the combustion efficiency in furnace by the modification of dispersion characteristics, number and size of nozzles for fuel and air injection. This study tested three different burners which are B1, B2 and BN types. The experiment was done in the 1 m³ of simulated furnace with natural gas and fuel to air mole ratio of 1 : 10. The flue gas analysis and efficiency were reported. Results showed that a measurement of excess air obtained from burner BN gave the minimum value of 8.5 compared to 12 % excess air for B1 and B2 burners. From the combustion efficiency analysis, burner BN found to be the highest combustion efficiency of 85 % while B1 and B2 burners showed the efficiency of 74 and 73 %, respectively. Therefore, it can be concluded that characteristics of burner influence on the combustion efficiency.

Keywords: air distribution; burner; furnace; combustion efficiency; ceramic industry

1. บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เซรามิกในประเทศไทยได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ ทำให้มีการพัฒนาและเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง แต่ขณะเดียวกันก็มีการแข่งขันค่อนข้างสูงทั้งจากตลาดภายในและภายนอกประเทศ ภาวะเศรษฐกิจที่ผ่านมามีผลกระทบต่ออุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เซรามิกขนาดเล็กต้องประสบปัญหาเรื่องต้นทุนค่อนข้างสูง อุตสาหกรรมเซรามิกมีความแตกต่างทั้งเรื่องของการผลิตและเทคโนโลยีที่ใช้ แต่เรื่องของการผลิตและเทคโนโลยีที่ใช้ แต่อุตสาหกรรมดังกล่าวส่วนใหญ่ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้ (1) กระบวนการเตรียมวัตถุดิบ (2) กระบวนการขึ้นรูปและตกแต่งชิ้นงาน (3) กระบวนการอบแห้ง (4) กระบวนการเคลือบ (5) กระบวนการเผา และ (6) การตรวจสอบคุณภาพและการจัดเก็บ ดังแสดงในตารางที่ 1

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เซรามิกพบว่าค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการเผามีค่าสูงสุด (ร้อยละ 65.5) ส่วนค่าแรงงานมีค่าต่ำสุด

(ร้อยละ 0.6) ดังแสดงในรูปที่ 2 ดังนั้นประสิทธิภาพของเตาเผาจึงเป็นสิ่งสำคัญของอุตสาหกรรมดังกล่าว

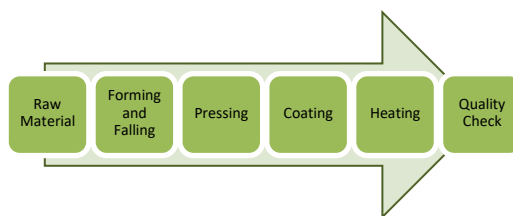


Figure 1 Process in ceramic industry

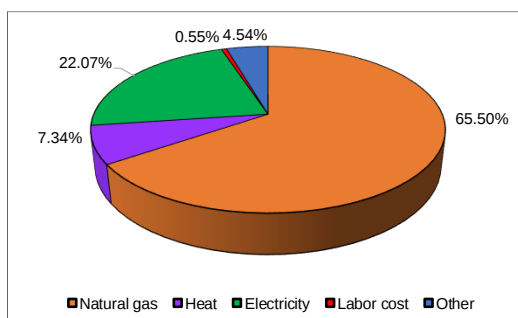


Figure 2 Proportion of ceramic factory cost: Case study of ceramic factory

เตาเผาถือเป็นเครื่องจักรสำคัญในกระบวนการผลิตเซรามิก เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เซรามิกมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นภายใต้สภาวะที่เหมาะสมเพื่อเปลี่ยนสภาพดินเป็นวัตถุที่มีความแข็งแกร่ง คงทน และสวยงาม เตาเผาอุตสาหกรรมมี 6 องค์ประกอบหลัก คือ (1) ฐานเตาและเปลือกเตา ซึ่งเป็นโครงสร้างเพื่อยึดผนวกร้อน (2) ผนวกร้อน (3) ห้องเผาไหม้ (4) ส่วนลำเลียงชิ้นงาน ซึ่งมีทั้งแบบต่อเนื่องและแบบกะ (5) ส่วนควบคุมซึ่งคอยควบคุมอุณหภูมิ ความดัน และการลำเลียงชิ้นงาน และ (6) อุปกรณ์นำความร้อนทั้งกลับมาใช้ [2] เนื่องจากกระบวนการเผามีการใช้เชื้อเพลิงปริมาณมากและต้องมีการควบคุมความร้อนภายในเตาให้กระจายอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึง โดยทั่วไปมาตรการอนุรักษ์พลังงานในเตาเผาเซรามิกที่นิยมดำเนินการ คือ การปรับปรุง/การเปลี่ยนเตาเป็นเตาผนังเซรามิกไฟเบอร์ การนำความร้อนส่วนทิ้งในไอเสียมาอุ่นอากาศสำหรับการเผาไหม้ รวมถึงการควบคุมประสิทธิภาพการเผาไหม้ ซึ่งคาดว่าจะการดำเนินการดังกล่าวสามารถประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 15-50 [3] นอกจากนี้การนำเทคโนโลยีหัวเผาแบบประสิทธิภาพสูงมาใช้แทนหัวเผาแบบเดิมก็ได้รับความนิยมเช่นกัน [4] หัวเผา (burner) เป็นอุปกรณ์สำคัญในการทำหน้าที่ให้อากาศที่มีความเร็วเข้าผสมกับเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกจากถังเก็บที่บริเวณปลายหัวเผา เพื่อก่อให้เกิดการเผาไหม้ในปริมาณที่เหมาะสม ค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง (AF Ratio) ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ โดยถ้าปรับค่าอัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงไม่พอดีจะส่งผลทำให้เกิดก๊าซมลพิษ และให้ค่าความร้อนหรืออุณหภูมิที่ต่ำลง สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

Kosasang และคณะ [5] ได้ตรวจสอบอัตราส่วนระหว่างอากาศและน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับแบบจำลองหัวเผาแบบเปิดในกระบวนการผลิต

เหล็กเส้น และพบว่าอัตราส่วนระหว่างอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิงที่เหมาะสมมีค่า 10.5670 และได้ปริมาณแก๊สเผาไหม้ที่ประกอบด้วยออกซิเจนร้อยละ 12.31 คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 4.3 และคาร์บอนมอนอกไซด์ 4 ppm ที่อุณหภูมิ 526.4 °C Starling และคณะ [6] ศึกษากระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงกับอากาศ พร้อมทั้งสรุปว่าการผสมระหว่างเชื้อเพลิงกับอากาศเป็นขั้นตอนที่ช้าที่สุดของกระบวนการดังกล่าว และ Bibrzycki และคณะ [7] กล่าวว่าว่าการเกิดการเผาไหม้ที่ใกล้ความสมบูรณ์มากที่สุดนั้นต้องอาศัยหลักการปั่นป่วนของแก๊สและอากาศเพื่อให้เกิดการผสมกันมากที่สุด

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงแก๊สของเตาเผาในอุตสาหกรรมเซรามิก โดยการปรับปรุงหัวเผา เพื่อให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น โดยใช้ข้อมูลจากโรงงานเซรามิกแห่งหนึ่งในจังหวัดสระบุรีเป็นกรณีศึกษา

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบเตาเผาเซรามิกแบบโรลเลอร์

เตาเผาแบบโรลเลอร์ (Roller kiln) เป็นเตาเผาที่มีลักษณะการทำงานแบบต่อเนื่อง โดยลักษณะและขนาดของหัวเผาที่ใช้จะขึ้นกับขนาดของเตาและการออกแบบของแต่ละสถานที่ สำหรับเตาเผาแคบที่ใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง หัวเผาที่ใช้เป็นแบบความดันต่ำมีลักษณะเป็นท่อเล็ก ๆ ขนาด 6-10 mm เรียงเป็นแถวยาวห่างกันประมาณ 30 cm โดยแบ่งเป็นชุด ชุดละ 8 ตัว อากาศกับเชื้อเพลิงแก๊สจะเข้ามาผสมกันภายในท่อและเคลื่อนที่มาที่หัวเผา ระบบนี้ให้ความร้อนน้อย ต้องใช้เวลานานมากในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สำหรับเตาเผากว้าง หัวเผาที่ใช้เป็นแบบความเร็วสูงแรงดันสูง กล่าวคือ ใช้อากาศและเชื้อเพลิงแก๊สที่มีความดันสูงเข้ามาผสมกันที่ปลายหัวเผา ซึ่งหัวเผามีขนาดใหญ่และ

ให้ความร้อนสูง แต่การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะไม่ค่อยสมบูรณ์นัก จึงมีการพัฒนาออกแบบให้มีการผสมระหว่างอากาศและเชื้อเพลิงแก๊สภายในหัวเผา โดยมีการลดความดันลงก่อนเกิดการเผาไหม้ที่เรียกว่าแบบความเร็วสูงความดันต่ำ ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น

2.2 หัวเผา

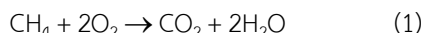
หัวเผา (burner) เป็นอุปกรณ์สำคัญในการทำหน้าที่ให้อากาศที่มีความเร็วเข้าผสมกับเชื้อเพลิงที่ถูกปล่อยออกจากถังเก็บ เพื่อก่อให้เกิดการเผาไหม้ในปริมาณที่เหมาะสม ตัวแปรหนึ่งที่ทำให้อากาศกับเชื้อเพลิงเกิดการผสมกันได้ดี คือ การหมุนวนของอากาศหรือค่าสัมประสิทธิ์การหมุนวน กล่าวคือ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การหมุนวนสูงจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาของการเผาไหม้อย่างรุนแรง ซึ่งสังเกตได้จากความยาวของเปลวไฟ หัวเผาที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยทั่วไปมี 4 แบบ ได้แก่ (1) หัวเผาแบบควบคุมต่อเนื่อง (modulating burner) เป็นหัวเผาที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการเผาไหม้ให้เหมาะสมกับภาระ (2) หัวเผาพ่นไฟแบบความเร็วสูง (high velocity burner) เป็นหัวเผาที่ให้เปลวไฟความเร็วสูง พุ่งตรงเข้าสู่ชิ้นงาน เพื่อให้ความร้อนถึงใจกลางชิ้นงานอย่างรวดเร็ว (3) หัวเผาแบบรีคูเพอเรทีฟ (recuperative burner) เป็นหัวเผาที่ดึงแก๊สร้อนจากการเผาไหม้ให้ไหลกลับมาสัมผัสผิวท่อของอากาศใหม่ที่เข้ามาเผาไหม้เพื่อทำการอุ่นอากาศก่อนการเผาไหม้ และ (4) หัวเผาแบบรีเจนเนอเรทีฟ (regenerative burner) เป็นหัวเผาที่ดึงความร้อนจากไอเสียมาเก็บที่รีเจนเนอเรเตอร์ (regenerator) เพื่อทำการอุ่นอากาศก่อนเผาไหม้ [2]

2.3 ทฤษฎีการเผาไหม้

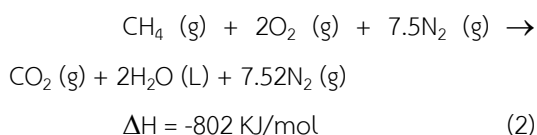
การเผาไหม้ (combustion) เป็นปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างวัตถุที่เผาไหม้ได้กับสารออกซิไดซ์ ซึ่งโดยทั่วไปเป็นออกซิเจนในอากาศเพื่อปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมา พร้อมกับการปล่อย

สารประกอบออกไซด์ การเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ส่วนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะได้แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศและก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับระบบที่ใช้และค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้

มีเทนเป็นแก๊สหลักที่ผสมอยู่ในแก๊สธรรมชาติ บ่อยครั้งที่มีการตั้งสมมติฐานให้แก๊สธรรมชาติประกอบด้วยมีเทนอยู่ 100 % เพื่อให้ง่ายในการคำนวณการเผาไหม้ แต่ควรระวังในการนำแก๊สธรรมชาติไปใช้งานจริง อาจใช้สมมติฐานแบบนี้ในการคำนวณการเผาไหม้ไม่ได้ เพราะองค์ประกอบอื่น ๆ เล็กน้อยเหล่านั้น อาจมีผลทำให้การคำนวณผิดพลาดได้ การเผาไหม้ของมีเทน (CH_4) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างแก๊สมิเทนกับออกซิเจน (O_2) โดยมีสมการเคมีดังแสดงในสมการที่ (1)



ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของมีเทนกับออกซิเจน คือ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ร้อน (CO_2) และไอน้ำร้อน (H_2O) ออกซิเจนที่ใช้ในการเผาไหม้มาจากอากาศ ซึ่งในอากาศมีสัดส่วนโดยประมาณของไนโตรเจน 79 % และออกซิเจน 21 % หมายความว่า 1 m^3 ของแก๊สต้องการอากาศประมาณ 10 m^3 การเผาไหม้ที่สมบูรณ์ของมีเทนที่ไม่มีอากาศส่วนเกินจะได้ CO_2 1 m^3 , H_2O 2 m^3 และ N_2 7.52 m^3 ขณะที่เกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ของมีเทนจะมีการปล่อยพลังงานความร้อนออกมาซึ่งมีค่า 802 KJ/mol ดังแสดงในสมการที่ 2



2.3.1 อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงจะเกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ก็ต่อเมื่อมีปริมาณออกซิเจนหรืออากาศเท่ากับหรือมากกว่าปริมาณอากาศตามทฤษฎี ซึ่งค่าดังกล่าวถูกกำหนดด้วยอัตราส่วนของอากาศต่อเชื้อเพลิง (air/fuel ratio, AF) ซึ่งคือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนโมลของอากาศต่อจำนวนโมลของเชื้อเพลิง ดังแสดงในสมการที่ 3

$$AF = N_{air} \div N_{fuel} \quad (3)$$

โดยที่ N_{air} และ N_{fuel} คือ จำนวนโมลของอากาศและเชื้อเพลิง ตามลำดับ

2.3.2 อัตราส่วนสมมูลของอากาศกับเชื้อเพลิง

อัตราส่วนสมมูลของอากาศกับเชื้อเพลิง (equivalent ratio, ϕ) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้งานจริงว่ามีค่ามากหรือน้อยกว่าสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎี ถ้าค่า ϕ มากกว่า 1 แสดงว่าเป็นส่วนผสมหนา (rich mixture) หมายถึงสัดส่วนของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้มีค่าน้อยกว่าเชื้อเพลิง แต่ถ้าค่า ϕ น้อยกว่า 1 แสดงว่าเป็นส่วนผสมบาง (lean mixture) หมายถึงสัดส่วนของอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้มีค่ามากกว่าเชื้อเพลิง ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$\phi = AF_{actual} \div AF_s \quad (4)$$

โดยที่ AF_{actual} และ AF_s คือ สัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้จริงและสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงที่ใช้ตามทฤษฎีตามลำดับ

3. ข้อมูลและวิธีดำเนินการ

ปัญหาหนึ่งของทางโรงงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษา คือ หัวเผาที่พบว่าการผสมกันระหว่างอากาศกับเชื้อเพลิงแก๊ส ซึ่งในที่นี้ คือ แก๊สธรรมชาติยังไม่ดีพอ จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา ดังนั้นผู้วิจัยจึงออกแบบหัวเผาใหม่เพื่อเปรียบเทียบ

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นกับหัวเผาแบบเดิม โดยศึกษาประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นภายในเตาเผาจำลองที่ได้ติดตั้งหัวเผาแบบต่าง ๆ และปรับค่าอัตราการไหลของเชื้อเพลิงและอากาศ และตรวจวัดค่าแก๊สไอเสีย โดยคำนวณหาประสิทธิภาพการเผาไหม้และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ เพื่อลดต้นทุนการผลิตกระเบื้องเซรามิก

3.1 เชื้อเพลิง

เชื้อเพลิงที่ใช้กับเตาเผา คือ แก๊สธรรมชาติ (natural gas) ซึ่งมีองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 1

Table 1 Composition of natural gas

Compositions	Amount % Vol.
Methane (CH ₄)	90.71
Ethane (C ₂ H ₆)	3.04
Propane (C ₃ H ₈)	0.92
Butane (C ₄ H ₁₀)	0.18
i-pentane (iC ₅ H ₁₂)	0.06
n-pentane (nC ₅ H ₁₂)	0.03
Hexene plus (C ₆ +)	0.04
Others	5.02

3.2 เตาจำลองสำหรับการทดสอบการเผาไหม้

เตาเผาของโรงงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษาเป็นเตาเผาแบบโรลเลอร์ที่ใช้แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง โดยหัวเผาที่ใช้เป็นแบบความเร็วสูง กล่าวคือมีการลดความดันของอากาศและแก๊สที่เข้ามาผสมกันก่อนการเผา โดยเมื่อตรวจวัดอุณหภูมิภายในเตาพบว่า มีลักษณะการกระจายอุณหภูมิ ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 7 โซน (A, B, C, D, E, F และ G) ดังแสดงในรูปที่ 3

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้สร้างเตาเผาจำลองขนาด 1.0×0.5×2.0 m โดยติดตั้งชุดหัวเผาสำหรับทดสอบอุปกรณ์ปรับและวัดอัตราการไหลของอากาศและ

เชื้อเพลิง รวมถึงการติดตั้งเทอร์โมคูปเปอร์เพื่อตรวจวัดค่าอุณหภูมิตามตำแหน่งต่าง ๆ ภายในเตาเผาจำลอง นอกจากนี้มีการติดตั้งอุปกรณ์สำหรับวัดปริมาณแก๊ส

ไอเสียที่เกิดขึ้น ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ และออกซิเจน เพื่อคำนวณค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 4

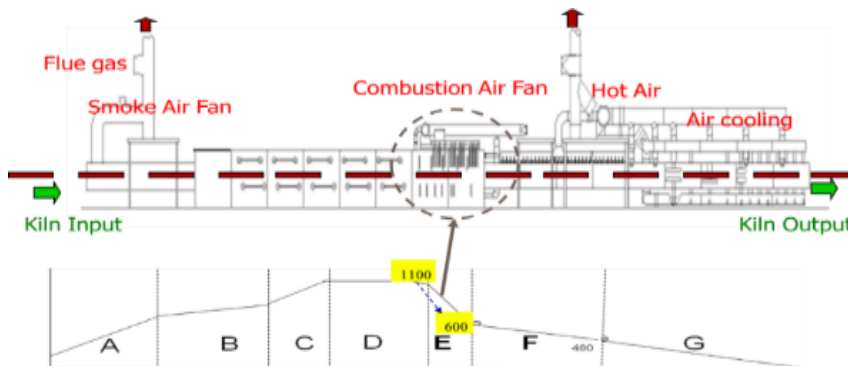


Figure 3 Temperature distribution of ceramic kiln: case study of ceramic factory

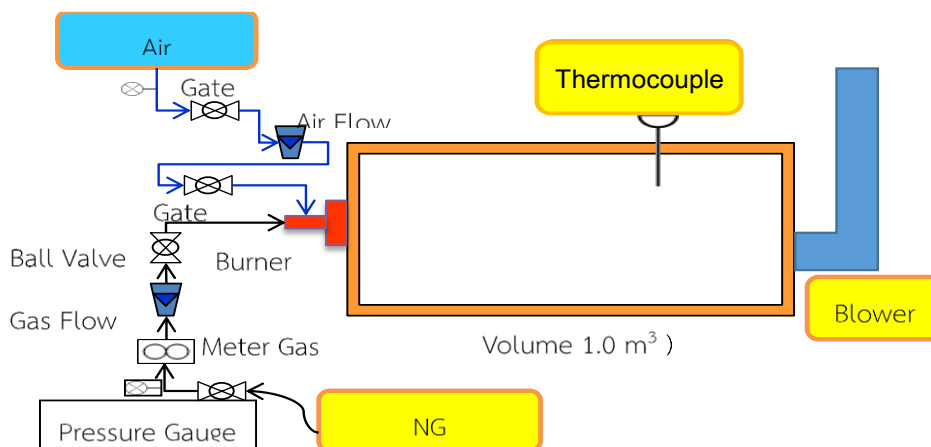


Figure 4 Kiln for testing

3.3 หัวเผาที่ใช้ศึกษา

หัวเผาเป็นชนิด diffusion burner หรือ external mixing burner ซึ่งการผสมอากาศกับเชื้อเพลิงแก๊สภายนอกและเกิดการเผาไหม้ขึ้นที่บริเวณปลายหัวเผา ทำให้ไม่เกิดปรากฏการณ์เปลวไฟวิ่งย้อนกลับ (backfire) และสามารถอุ่นอากาศและเชื้อเพลิงให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น

งานวิจัยนี้ศึกษาหัวเผา 3 แบบ คือ (1) แบบ

B1 (2) แบบ B2 และ (3) แบบ BN โดยหัวเผาแบบ B1 และ B2 เป็นหัวเผาที่ใช้ทางโรงงานใช้ในปัจจุบันหรือก่อนการปรับปรุง ส่วนแบบ BN คือ หัวเผาท่อออกแบบใหม่ ซึ่งการออกแบบนี้อาศัยหลักการปั่นป่วนของแก๊สและอากาศเพื่อทำให้เกิดการผสมกันมากที่สุด โดยทำให้อากาศและแก๊สไหลสวนทางกันทำมุม 45 องศา ตามหลักการของ Bibrzycki และคณะ [7] ดังแสดงในรูปที่ 5 a และ 5b

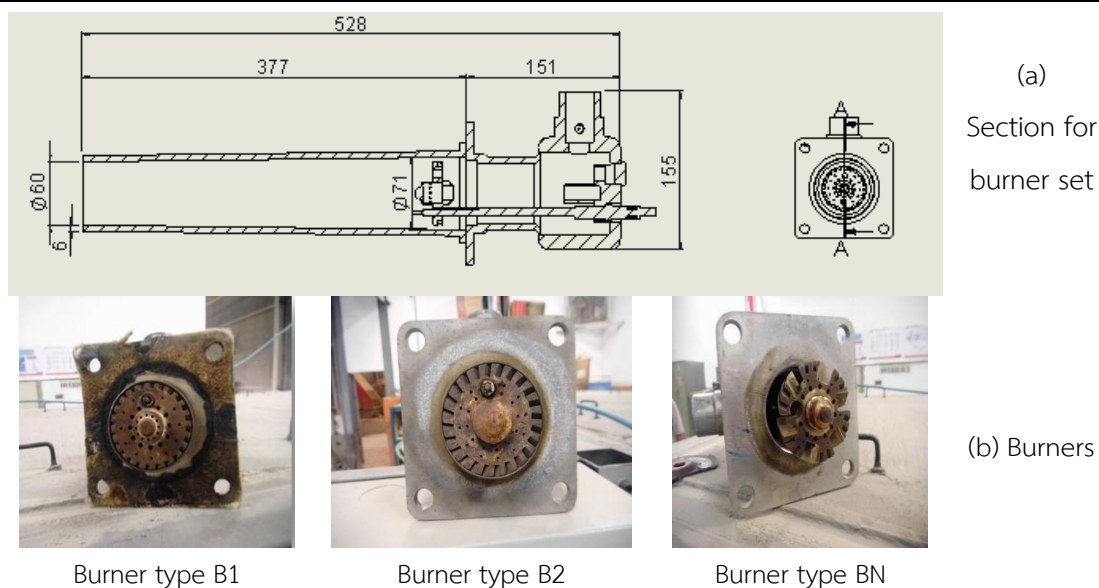


Figure 5 Burners used in this study

Table 2 Characteristics of burners used in this study

Burner types	Air distribution			Nozzles		
	Sizes (mm)	Area (mm ²)	Patterns of hole	Sizes (mm)	Area (mm ²)	Patterns of hole
B1	60	658.35	Straight/tiled 45°	1.75 x 24	131.88	Straight/tiled 45°
B2	60	827.43	Straight/tiled 45°	2.00 x 6	37.68	Straight/tiled 45°
BN	60	963.81	Tiled 45°	1.75 x 10	54.95	Tiled 45°

ลักษณะและรายละเอียดของหัวเผาแบบต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 2 การออกแบบเพื่อให้เกิดการผสมกันระหว่างแก๊สเชื้อเพลิงและอากาศได้เร็วและมากที่สุด จึงได้เพิ่มจำนวนช่องอากาศและลดปริมาณเชื้อเพลิง โดยเลือกขนาดรูฉีดแก๊สเชื้อเพลิงให้มีขนาดเล็ก นอกจากนี้นยังปรับช่องอากาศกับแก๊สเชื้อเพลิงโดยจัดการเรียงตัวในลักษณะ 45° ทั้งหมด

3.4 การตรวจวัดอุณหภูมิและแก๊สไอเสีย

ตรวจวัดอุณหภูมิภายในเตาและปริมาณแก๊สไอเสียเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง

วิเคราะห์แก๊สไอเสียรุ่น Testo Flue Gas Analyzer 300

3. ผลการวิจัย

การวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานของระบบเตาเผาที่ใช้ในโรงงานตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าพลังงานสูญเสียไปกับแก๊สไอเสียค่อนข้างสูง (ประมาณร้อยละ 59) และมีข้อจำกัดในการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์สำหรับกระบวนการเผาของเตาเผา นั้น ผู้วิจัยจึงเลือกปรับปรุงหัวเผาซึ่งเป็นมาตรฐานในการปรับปรุงให้

ประสิทธิภาพการเผาไหม้ดีขึ้น

ผู้วิจัยได้ศึกษาการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซึ่งเป็นแก๊สธรรมชาติที่มีมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 90.71 โดยทดลองกับหัวเผา 3 แบบ คือ แบบ B1, B2 และ BN ซึ่งทั้ง 3 แบบ มีรูปร่างของหัวเผาเหมือนกัน แต่มีลักษณะและกระจายตัวของช่องฉีดเชื้อเพลิง (nozzle) และช่องอากาศ (air distribution) ต่างกัน โดยแบบ B1 และ B2 เป็นหัวเผาที่มีการไหลของเชื้อเพลิงกับอากาศทำมุม 90° ซึ่งเป็นแบบที่โรงงานกรณีศึกษาใช้ แต่ในขณะที่แบบ BN มีลักษณะการไหลของเชื้อเพลิงกับอากาศทำมุม 45° การทดสอบทำภายใต้เตาเผาจำลองขนาด 1 m³ โดยใช้สัดส่วนของอากาศกับเชื้อเพลิงคงที่ที่ 1 : 10 และตรวจวัดค่าแก๊สไอเสียและอุณหภูมิ โดยทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง

Table 3 Energy analysis of kiln

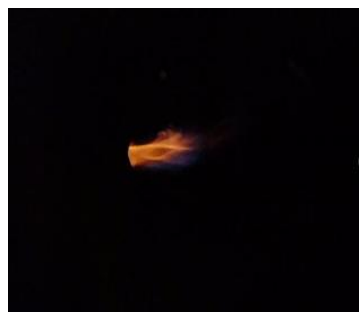
Energy	Volume (Kcal/h)
Heat in put	
Heat of natural gas	2,129,600.00
Heat out put	
Heat to products	570,836.00
Heat to exhaust	1,258,874.00
Heat to moisture	30,313.40
Heat losses: Walls, leaks and others	269,576.60

รูปที่ 6 แสดงลักษณะของเปลวที่เกิดขึ้นจากหัวเผาทั้ง 3 แบบ โดยรูปที่ 6a แบบ B1 แสดงให้เห็นว่าในการเผาไหม้มีเชื้อเพลิงอยู่มากเกินไป ทำให้เกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเกิด CO มากดังแสดงในตารางที่ 4 รูปที่ 6b แบบ B2 มีปริมาณก๊าซออกซิเจน (O₂) เกิดขึ้นในแก๊สเผาไหม้ ปริมาณ O₂ และอากาศที่ถูกปล่อยทั้ง

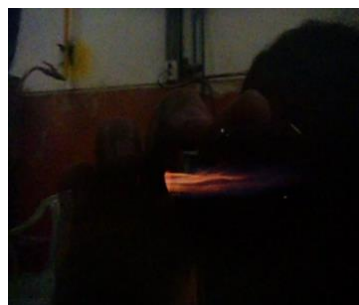
ทำให้ความร้อนสูญเสียไป ดังค่า O₂ ที่แสดงในตารางที่ 4 และเปลวไฟจะสั้น อัตราการเผาไหม้เร็ว เปลวไฟเผาย้อนเข้า nozzle (flame light- back) และเกิดความเสียหายกับ nozzle ได้ รูปที่ 6c แบบ BN ลักษณะเปลวไฟที่สมบูรณ์ เกิดขึ้นหลังการปรับปรุงช่องฉีดเชื้อเพลิง (nozzle) และช่องอากาศ (air distribution) และปรับมุมทำให้ปริมาณอากาศไหลได้มากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการสันดาปเป็นลักษณะสร้างความเป็นป่วนของระหว่างเชื้อเพลิงและอากาศทำให้เกิดการเผาไหม้ได้ใกล้ความสมบูรณ์มากที่สุดตามลักษณะงานที่ใช้



(a) Type B1



(b) Type B2



(c) Type BN

Figure 6 Flame characteristics of burners

Table 4 Volume exhaust gas of combustion for burner

Burner types	Temperature of kiln	Compositions of exhaust			Temperature of flame
	(°C)	O ₂	CO	CO ₂	(°C)
		(%)	(ppm)	(%)	
B1	262	12.00	506	5.00	311
B2	261	12.84	37	4.62	310
BN	280	8.54	54	7.06	320

ตารางที่ 4 แสดงอุณหภูมิของเปลวไฟ อุณหภูมิภายในเตาและปริมาณแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นจากหัวเผาทั้ง 3 แบบ หัวเผาแบบ B1 และ B2 มีอุณหภูมิภายในเตาใกล้เคียงกัน แต่ค่าอุณหภูมิภายในเตาที่ได้จากหัวเผาแบบ BN ปริมาณองค์ประกอบของแก๊สไอเสียที่เกิดขึ้นเห็นได้ว่าปริมาณออกซิเจน คาร์บอนมอนนอกไซด์ และคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการเผาไหม้โดยใช้หัวเผาแบบ BN มีค่า 8.54 %, 54 ppm และ 7.06 % ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดจากการทดสอบหัวเผาทั้ง 3 แบบ และเมื่อเปรียบเทียบผลดังกล่าวกับหัวเผาแบบ B1 และ B2 พบว่าหัวเผาแบบ BN มีปริมาณออกซิเจนหรืออากาศส่วนเกินต่ำสุด ภายใต้สภาวะที่ใช้ทดสอบเดียวกัน นั้นแสดงว่าหัวเผาแบบ BN ที่ปรับปรุงขึ้นใหม่โดยการเพิ่มช่องว่างของอากาศที่ไหลผ่านและมีช่องเปิดของอากาศทำมุม 45° และลดขนาดพื้นที่ของรูฉีดยาน้ำมัน ซึ่งก่อให้เกิดการเคลื่อนที่อย่างปั่นป่วน ทำให้อากาศและเชื้อเพลิงแก๊สเกิดการผสมกันได้ดีขึ้น และเกิดการเผาไหม้ดีขึ้น ทั้งนี้เป็นไปตามหลักการของ Bibrzycki และคณะ [7] ที่สรุปไว้ว่าการทำให้เกิดการเผาไหม้ใกล้เคียงความสมบูรณ์มากที่สุดต้องอาศัยทั้งการปั่นป่วนของเชื้อเพลิงและอากาศ เพื่อทำให้เกิดการผสมกันมากที่สุด และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ควรมีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณมาก ส่วนออกซิเจนที่เหลือจากกระบวนการเผาไหม้ควรมีในปริมาณต่ำ

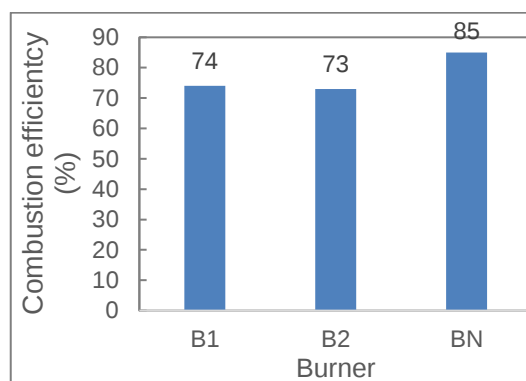


Figure 7 Combustion efficiency of various burners

รูปที่ 7 แสดงผลประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่ได้จากเครื่องมือวัด Testo Flue Gas Analyzer 300 ซึ่งพบว่าหัวเผาแบบ BN มีประสิทธิภาพสูงที่สุด (85 %) ขณะที่หัวเผาแบบที่ B1 และแบบ B2 ที่ใช้อยู่เดิมให้ค่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ใกล้เคียงกัน (73-74 %)

4. สรุป

การวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานความร้อนของระบบเตาเผาแบบเซรามิกแบบโรลเลอร์ของโรงงานต้นแบบพบว่าประสิทธิภาพการเผาไหม้ค่อนข้างต่ำ มาตรการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของเตาเผา คือ การปรับเปลี่ยนการกระจายตัวและลักษณะการเรียงตัวของช่องฉีดยาน้ำมัน และแก๊สของหัวเผา เพื่อให้เกิดการผสมกันระหว่าง

อากาศและเชื้อเพลิงแก๊สมากที่สุด ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ขึ้น ส่งผลให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานในระบบเตาเผาได้ นอกเหนือจากการปรับปรุงพารามิเตอร์ที่เกิดข้อบกพร่องกับการเผาไหม้ เช่น อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิง ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ เนื่องจากพารามิเตอร์ดังกล่าวอาจมีข้อจำกัดในขั้นตอนการออกแบบเตาเผา

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานผลิตเซรามิกที่อนุเคราะห์ข้อมูลการวิเคราะห์การใช้พลังงาน การเผาไหม้ และการดำเนินการของโรงงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้

7. References

- [1] Thailand Environment Institute Foundation, 2012, Environmental Management and Sustainable Pollution Prevention for the Ceramic Industry, Thailand Environment Institute Foundation, Nonthaburi, 199 p. (in Thai)
- [2] The Institute of Industrial Energy, 2015, Energy Conservation in Industrial Furnace, Center for Conservation Guidelines in the Industry, Bangkok, 68 p. (in Thai)
- [3] Samerjai, S., Improve Furnace for the Reduce Ceramic Industry Energy, Available Source: <http://thewindustry.com>, February 26 2014. (in Thai)
- [4] Saowara, A. and Somkiat, T., 2012, An assessment of energy consumption for high-efficiency burners in shuttle kiln for ceramic industry in Thailand, pp. 1019-1021, Industrial Engineering Network Conference, Silpakorn University, Nakhon Pathom. (in Thai)
- [5] Kronenburg, A., 2007, Spray combustion, A fresh perspective, pp. 20-25, Proceedings of the Australian Combustion Symposium, The University of Sydney, Sydney.
- [6] Starling, K.E., Ding, E.R., Harwell, J.H. and Mallinson, R.G., 1995, Method for improving natural gas energy density at ambient temperature, Energy Fuels 9: 1062-1065.
- [7] Bibrzycki, J., Poinso, T., Zajdel, A., 2010, Investigation of lamina flame speed of $\text{CH}_4/\text{N}_2/\text{O}_2$ and $\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{O}_2$ mixtures using reduced chemical kinetic mechanisms, Arch. Combust. 30: 287-296.