



การศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล
เพื่อประยุกต์ใช้งานด้านความร้อนในเตาเผาเซรามิก
A STUDY ON THE EFFICIENCY OF BIOMASS GASIFICATION SYSTEM
BASED ON THERMAL APPLICATIONS IN CERAMIC KILN

วรณูช แจ้งสว่าง
ศูนย์วิจัยพลังงานยั่งยืน สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

บทคัดย่อ

การผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลเพื่อทดแทนการใช้พลังงานจากแก๊สปิโตรเลียมเหลวในอุตสาหกรรมเซรามิกเป็นความท้าทายในการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนจากชีวมวล ในการเผาเซรามิกครั้งที่ 1 หรือที่เรียกว่าการเผาบิสกิต เป็นการเผาพื้นฐานที่ผลิตภัณฑ์เซรามิกทุกประเภทจะต้องผ่านกระบวนการนี้ ดังนั้นเพื่อควบคุมคุณภาพการเผาบิสกิตที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงจึงจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิตลอดช่วงของการเผาให้ไปตามกราฟควบคุมอุณหภูมิในการเผาบิสกิต ชีวมวลที่ใช้ในการศึกษานี้ใช้เศษไม้จากโรงงานเฟอร์นิเจอร์ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อ (1) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดช่วงการเผาในเตาเผาบิสกิตที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง และ(2) ศึกษาประสิทธิภาพเชิงความร้อนโดยรวมของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล ผลการศึกษาพบว่าในการเผาบิสกิตโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงสามารถควบคุมให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดช่วงของการเผามีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟควบคุมอุณหภูมิของการเผาบิสกิตและพบว่าระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนตลอดช่วงระยะเวลาการเผามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีสภาวะการทำงานที่มีเสถียรภาพ โดยมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยร้อยละ 73.14

คำสำคัญ: เซรามิก, การเผาบิสกิต, แก๊สเชื้อเพลิง, ชีวมวล, ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

ABSTRACT

Producer gas produced from biomass to substitute the energy usage from liquefied petroleum gas is talent to promote using energy sustainability in ceramic industries. For the first firing of ceramic products or may be called the biscuit firing, that is the basic firing process for all kind of ceramic product. Thus to control the quality of biscuit firing that use the producer gas produced from biomass as fuel, it needs to control the temperature distribution during the biscuit firing is the same trend as the kiln temperature profile in biscuit firing. The biomass that be used in this study is waste wood from furniture factory. Thus, the objectives of this study are (1) to study the temperature distribution during the biscuit firing that use producer gas as fuel (2) to study the thermal efficiency of gasification system. The study results showed that using the producer gas produced from biomass as fuel can control the temperature profile during the biscuit firing is the same trend as using liquefied petroleum gas as fuel and the thermal efficiency of biomass gasification system during the biscuit firing of each stage are in the same range. This implies that the biomass gasification system has been operated with the stable state. The average of the thermal efficiency of biomass gasification system is around 73.14.

KEYWORDS: Ceramic, Biscuit Firing, Producer Gas, Biomass and Thermal Efficiency.

1. บทนำ

กระบวนการผลิตเซรามิกจำเป็นต้องใช้ความร้อนในการเผาผลิตภัณฑ์ ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานถือเป็นต้นทุนหลัก พลังงานส่วนใหญ่ที่นิยมใช้ได้แก่ไฟฟ้าและแก๊สปิโตรเลียมเหลวหรือที่นิยมเรียกกันว่าแก๊สหุงต้ม เนื่องจากปัจจุบันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงสูงขึ้นมาก การพัฒนาพลังงานเพื่อทดแทนการใช้พลังงานรูปแบบเดิมที่ใช้กันอยู่จึงเป็นเรื่องที่อุตสาหกรรมต่าง ๆ ให้ความสนใจเป็นอย่างมาก สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกที่ใช้พลังงานจากแก๊สปิโตรเลียมเหลวในการเผาผลิตภัณฑ์ สามารถเปลี่ยนรูปแบบพลังงานมาใช้พลังงานแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลแทนได้ เนื่องจากเชื้อเพลิงที่ใช้มีลักษณะเหมือนกันคือเป็นเชื้อเพลิงแก๊ส ดังนั้นเพื่อให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ผ่านการเผาโดยใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษารายละเอียดในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านคุณสมบัติของชีวมวลที่นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ด้านการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล และด้านอุณหภูมิตลอดช่วงของการเผาในเตาเผาเซรามิก เป็นต้น ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล มีหลักการทำงานคือเครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิงผลิตแก๊สเชื้อเพลิงภายใต้สภาวะปริมาณอากาศที่ใช้ในกระบวนการต่ำกว่าปริมาณอากาศที่ใช้ในการเผาไหม้ที่สมบูรณ์โดยปริมาณอากาศที่ใช้ประมาณร้อยละ 30 ของปริมาณอากาศที่ต้องการในทางทฤษฎีสำหรับการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงประกอบด้วย แก๊สเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้ แก๊สเชื้อเพลิงที่เผาไหม้ไม่ได้ น้ำมันดิน เชม่า และเถ้า ดังนั้นการนำแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ไปใช้ประโยชน์จำเป็นต้องนำแก๊สเชื้อเพลิงไปผ่านระบบบำบัดแก๊สเชื้อเพลิงเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ออกก่อนที่จะนำไปใช้งาน [1] ในกระบวนการผลิตเซรามิกจะมีการเผาทั้งสิ้น 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเผาครั้งที่ 1 เป็นการเผาโดยให้ความร้อนเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เพื่อไล่ความชื้นและสารอินทรีย์ เรียกว่าการเผาดิบหรือการเผาบิสกิต (biscuit firing) การเผาครั้งที่ 2 เป็นการเผาผลิตภัณฑ์บิสกิตที่ผ่านการชุบเคลือบแล้ว เพื่อให้เคลือบหลอมเป็นเนื้อแก้วติดแน่นอยู่บนผิวผลิตภัณฑ์ เรียกว่าการเผาเคลือบ (glaze firing) การเผาครั้งที่ 3 เป็นการเผาเพื่อตกแต่งลดทอนลงบนผลิตภัณฑ์เซรามิก เรียกว่าการเผาตกแต่ง (decoration firing) [2] แต่ทั้งนี้ในกระบวนการผลิตเซรามิกอาจไม่จำเป็นต้องมีการเผาครบทั้ง 3 ขั้นตอน ทั้งนี้ขึ้นกับประเภท และลักษณะของผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ต้องการผลิต แต่กระบวนการเผาดิบหรือที่เรียกว่าการเผาบิสกิตนั้นเป็นกระบวนการเผาพื้นฐานที่ผลิตภัณฑ์เซรามิกจะต้องมีการเผาในขั้นตอนนี้ การนำแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลมาทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มในการเผาเซรามิก เป็นความท้าทายในการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนจากชีวมวลของอุตสาหกรรมเซรามิก ชีวมวลที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่นิยมใช้ชีวมวลที่หาได้ในท้องถิ่น เช่น ไม้ยูคาลิปตัส วัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการต่าง ๆ เช่น วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร วัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมไม้ เป็นต้น [3] เพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงจาก ชีวมวลเพื่อทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มในการเผาเซรามิกนั้นจะต้องควบคุมอุณหภูมิตลอดการเผาในเตาเผาเซรามิกให้เป็นไปตามรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละช่วง (temperature profile) ที่ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อ (1) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดช่วงการเผาในเตาเผาบิสกิตที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง และ (2) ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนโดยรวมของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล

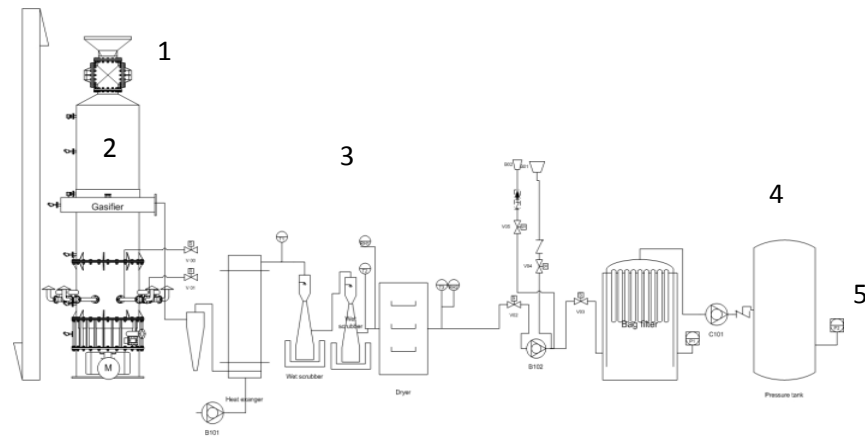
2. วัสดุ อุปกรณ์ และระเบียบวิธีวิจัย

2.1 วัสดุ อุปกรณ์

วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วยวัสดุ และอุปกรณ์หลัก ๆ 3 ส่วน ได้แก่ (1) ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล (2) ชีวมวล และ (3) เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่าง ๆ

2.1.1 ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล

ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นระบบที่ติดตั้งที่บริษัทอิมพีเรียลพोटเตอร์จำกัด จังหวัดลำปาง ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน ได้แก่ (1) ระบบป้อนเชื้อเพลิง (2) เครื่องผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (3) ระบบบำบัดแก๊สเชื้อเพลิง (4) ระบบบรรจุแก๊สเชื้อเพลิง และ (5) ระบบการนำแก๊สเชื้อเพลิงไปใช้ประโยชน์ ภาพรวมของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 1 [4]



รูปที่ 1 ภาพรวมของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

2.1.2 ชีวมวล

ชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในการศึกษานี้ใช้เศษไม้จากโรงงานเฟอร์นิเจอร์ ลักษณะของเศษไม้เป็นชิ้นไม้รูปทรงสี่เหลี่ยมมีขนาดความกว้างประมาณ 1-2 นิ้ว และความยาวประมาณ 2-5 นิ้ว ลักษณะเชื้อเพลิงที่ใช้ในระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เศษไม้จากโรงงานเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง

2.1.3 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่าง ๆ

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยตัว (1) เครื่องมือวัดความเร็วของแก๊สเชื้อเพลิงในท่อ (2) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (3) เครื่องชั่งน้ำหนักชีวมวลและ (4) ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง ในบทความนี้จะขอนำเสนอรายละเอียดเฉพาะชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก 2 ส่วนได้แก่ ชุดเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิงและ ถังเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง

ชุดเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง เป็นอุปกรณ์เฉพาะที่ออกแบบเพื่อนำมาใช้ในการเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง ตามมาตรฐานการตรวจวัดฝุ่นและน้ำมันดิน [5] ชุดการเก็บตัวอย่างประกอบด้วย ขวดอิมพิงเจอร์จำนวน 4 ขวด บรรจุสารละลายไอโซโพรพานอลเพื่อละลายน้ำมันดินออกจากกระแสแก๊ส ขวดอิมพิงเจอร์ทั้ง 3 ขวดเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมด้วยสายยาง และนำมาต่อเข้ากับขวดอิมพิงเจอร์ขวดที่ 4 ซึ่งเป็นขวดเปล่า เพื่อควมแน่นสารระเหยออกจากแก๊สเชื้อเพลิงก่อนที่แก๊สเชื้อเพลิงจะไหลผ่านกรองละเอียดและไหลผ่านปั๊มสุญญากาศ เพื่อดูดแก๊สเชื้อเพลิงเข้าไปในถุงเก็บแก๊สเพื่อส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สโดยใช้เครื่องโครมาโตกราฟีต่อไป ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิงดูเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง เป็นถุงอลูมิเนียมทึบแสงขนาด 2 ลิตร สำหรับเก็บ ตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิงที่ไหลจากระบบบำบัดแก๊สเชื้อเพลิงขั้นสุดท้าย ลักษณะดูเก็บแก๊สเชื้อเพลิง แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ดูเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง

2.2 วิธีการศึกษาวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลเพื่อประยุกต์ใช้งานด้านความร้อนในเตาเผาเซรามิก แบ่งการศึกษาเป็น 3 ขั้นตอนต่อเนื่องกันเป็นลำดับดังนี้

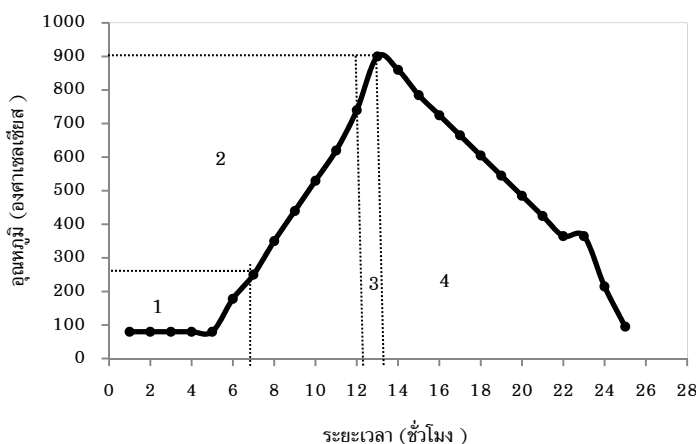
ขั้นตอนที่ 1 ทดสอบการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลเพื่อใช้ในการเผาอบสีกัดในเตาเผาเซรามิก ขั้นตอนนี้จะทดสอบการใช้งานแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลที่นำมาใช้แทนแก๊สหุงต้มในการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิกในการเผาอบสีกัด โดยในการทดสอบจะควบคุมให้อุณหภูมิการเผาในแต่ละช่วงเวลาเป็นไปตามกราฟอุณหภูมิการเผาอบสีกัด (Kiln Temperature Profile in Biscuit Firing) ที่โรงงานใช้อ้างอิง ซึ่งแบ่งช่วงการเผาเป็น 4 ช่วงดังนี้

ช่วงที่ 1 เป็นช่วงอบแห้งเพื่อลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ เป็นช่วงที่เริ่มให้ความร้อนแก่เตาเผาอบสีกัด ทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผาเริ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส ช่วงอบแห้งนี้จะใช้เวลาในการเผาประมาณ 7 ชั่วโมง

ช่วงที่ 2 เป็นช่วงของการเพิ่มอุณหภูมิ ช่วงนี้อุณหภูมิเพิ่มจาก 300 องศาเซลเซียส ไปจนถึงอุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจาก 300 องศาเซลเซียส ไปจนถึงอุณหภูมิประมาณ 650 องศาเซลเซียส เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความคงรูป และในช่วงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ไปจนถึงอุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส ช่วงนี้จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งตัวเพิ่มขึ้น ช่วงเพิ่มอุณหภูมิใช้เวลาประมาณ 5 ชั่วโมง

ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่อุณหภูมิคงที่ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส ช่วงอุณหภูมิคงที่ใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง

ช่วงที่ 4 เป็นช่วงการเย็นตัวของผลิตภัณฑ์ ช่วงนี้อุณหภูมิลดลง ไม่ใช่แก๊สเชื้อเพลิงกราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการเผาอบสีกัดแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟอุณหภูมิที่ใช้ในการควบคุมการเผาปิסקิต

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจวัดและวิเคราะห์ปริมาณและคุณภาพของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ในแต่ละช่วง ในขั้นตอนนี้จะทำการเก็บตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบและหาค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง

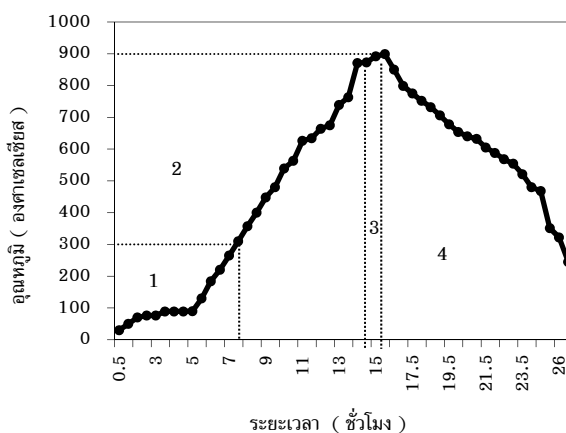
ขั้นตอนที่ 3 คำนวณประสิทธิภาพของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลและวิเคราะห์ผลที่ได้จากข้อมูลต่างๆ ขั้นตอนนี้จะนำผลที่ได้มาคำนวณประสิทธิภาพของการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในแต่ละช่วงของการเผาผลิตภัณฑ์เซรามิก และวิเคราะห์ผล

3. ผลการศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

3.1 ระดับและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาเผาปิסקิต

เนื่องจากดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ (key performance indicator) ของการนำแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลมาใช้ในการเผาปิסקิต จะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละช่วงภายในเตาเผาปิסקิต โดยอุณหภูมิตลอดช่วงของการเผา รวมถึงอัตราการให้ความร้อนจะต้องควบคุมให้เป็นไปตามกราฟควบคุมอุณหภูมิการเผาผลิตภัณฑ์ ซึ่งแสดงตามรูปที่ 5

ผลการทดสอบระดับและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาเผาปิסקิตที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากเศษไม้เฟอร์นิเจอร์ เป็นเชื้อเพลิงตลอดช่วงการเผาแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ระดับและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาเผาปิסקิตที่ใช้แก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

จากกราฟในรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่า การใช้แก๊สเชื้อเพลิงสามารถควบคุมให้อุณหภูมิภายในเตาเผาบิสกิตมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการควบคุมเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งแบ่งช่วงการเผาตามระดับของอุณหภูมิเป็น 4 ช่วงคือ

ช่วงที่ 1 อุณหภูมิภายในเตาเผาเริ่มสูงขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้นจนถึงอุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียส ในช่วงอบแห้งนี้ จะใช้เวลาในการเผาประมาณ 7 ชั่วโมง ซึ่งเป็นไปตามกราฟควบคุมอุณหภูมิการเผาบิสกิต

ช่วงที่ 2 อุณหภูมิในช่วงนี้เริ่มจาก 300 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิประมาณ 900 องศาเซลเซียส โดยใช้ระยะเวลาในการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 7 ชั่วโมง

ช่วงที่ 3 อุณหภูมิคงที่ที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียสโดยใช้เวลาในช่วงนี้ประมาณ 1 ชั่วโมง

ช่วงที่ 4 เป็นช่วงการเย็นตัวของผลิตภัณฑ์ ช่วงนี้อุณหภูมิจะลดลง ไม่ใช้แก๊สเชื้อเพลิง

3.2 อัตราการใช้เชื้อเพลิง

จากผลการศึกษาระดับและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในเตาเผาบิสกิต ซึ่งแบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่ (1) ช่วงอุ่นเตา (2) ช่วงเพิ่มอุณหภูมิเตาเผาบิสกิต และ (3) ช่วงคงที่อุณหภูมิเตาเผาบิสกิต เพื่อให้ทราบข้อมูลอัตราการใช้เชื้อเพลิงในแต่ละช่วงในการเผาบิสกิต ดังนั้นอัตราการใช้เชื้อเพลิงจะพิจารณาตามช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งอัตราการใช้เชื้อเพลิงมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตามลักษณะการใช้งานโดยอัตราการใช้เชื้อเพลิงในแต่ละช่วงแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการใช้เชื้อเพลิง

ช่วงการเผา	เวลาเริ่มต้น (นาฬิกา)	เวลาเสร็จสิ้น (นาฬิกา)	ปริมาณเชื้อเพลิง (kg)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (kg/hr)
ช่วงอุ่นเตา	13.00	17.37	392	98
ช่วงเพิ่มอุณหภูมิ	18.00	20.30	328	109.33
ช่วงคงที่อุณหภูมิ	0.30	2.24	361	180.5

จากอัตราการใช้เชื้อเพลิงดังแสดงในตารางที่ 1 สรุปได้ว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงมีค่าเปลี่ยนแปลงตามระดับอุณหภูมิในแต่ละช่วง ช่วงที่มีอุณหภูมิสูงอัตราการใช้เชื้อเพลิงจะสูงกว่าช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยช่วงอุ่นเตาบิสกิตมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 98 กิโลกรัม/ชั่วโมง ช่วงเพิ่มอุณหภูมิเตาบิสกิตมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 109.33 กิโลกรัม/ชั่วโมง และ ช่วงคงที่อุณหภูมิ ซึ่งเป็นช่วงที่มีระดับอุณหภูมิสูงสุด มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเฉลี่ย 180.5 กิโลกรัม/ชั่วโมง

3.3 อัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

แก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในการศึกษานี้มีนำไปใช้งานในการเผาเซรามิกทั้งหมด เนื่องจากจำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตามกราฟควบคุมอุณหภูมิการเผาบิสกิต ดังนั้นแก๊สเชื้อเพลิงที่มากกว่าความต้องการจึงต้องปล่อยระบายทิ้ง ดังนั้นค่าอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแสดงดังสมการที่ 1

$$\text{อัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง} = \text{อัตราการใช้แก๊สเชื้อเพลิง} + \text{อัตราการระบายแก๊สเชื้อเพลิง} \quad (1)$$

ค่าอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในช่วงการเผาปิסקิตแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ช่วงการเผา	เวลา (นาฬิกา)	อัตราการ ใช้แก๊สเชื้อเพลิง (Nm ³ /hr)	อัตราการ ระบายแก๊สเชื้อเพลิง (Nm ³ /hr)	อัตราการ ผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Nm ³ /hr)
ช่วงอุ่นเตา	13.30	32.44	193.92	226.36
	14.30	32.44	205.75	238.19
ค่าเฉลี่ย				237.27
ช่วงเพิ่มอุณหภูมิ	16.31	79.50	147.49	226.99
	17.55	79.50	142.62	222.12
	18.23	102.71	133.11	235.82
	19.50	189.20		189.20
	20.00	156.77	188.28	345.05
	20.15	180.19		180.19
	20.38	184.26		184.26
	20.50	213.54		213.54
ค่าเฉลี่ย				224.64
ช่วงคงที่อุณหภูมิ	2.30	214.62	188.28	402.90
ค่าเฉลี่ย				402.90

จากค่าอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงดังแสดงในตารางที่ 2 สรุปได้ว่าอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงมีค่าเปลี่ยนแปลงตามช่วง ของการเผาปิסקิต ช่วงที่มีอัตราการใช้เชื้อเพลิงสูงจะมีค่าอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสูงเช่นกัน โดยช่วงอุ่นเตาปิסקิตมีอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ย 237.27 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ช่วงเพิ่มอุณหภูมิเตาปิסקิตมีอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ย 224.64 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง และ ช่วงคงที่อุณหภูมิซึ่งเป็นช่วงที่มีอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสูงสุด มีอัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงเฉลี่ย 402.92 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

3.4 ค่าความร้อนแก๊สเชื้อเพลิง

ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตจากระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจะคำนวณจากปริมาณแก๊สเชื้อเพลิงที่สามารถเผาไหม้ได้ ซึ่งได้แก่ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ มีค่าความร้อน 12.63 เมกกะจูล/ลูกบาศก์เมตร แก๊สมีเทน มีค่าความร้อน 35.88 เมกกะจูล/ลูกบาศก์เมตร และแก๊สไฮโดรเจน มีค่าความร้อน 10.78 เมกกะจูล/ลูกบาศก์เมตร สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงแสดงดังสมการที่ 2

$$GLHV = ((CO\% \times 12.63) + (CH_4\% \times 35.88) + (H_2 \times 10.78)) / 100 \text{ MJ/Nm}^3 \quad (2)$$

จากผลการทดสอบพบว่าองค์ประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงในแต่ละช่วงมีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีค่า 21.35 % แก๊สมีเทน (CH₄) มีค่า 3.86% และ แก๊สไฮโดรเจน (H₂) มีค่า 17.08 % และผลการคำนวณค่าความร้อนเฉลี่ยของแก๊สเชื้อเพลิงมีค่า 5.35 เมกกะจูล / ลูกบาศก์เมตร ค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงแสดงที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความร้อนแก๊สเชื้อเพลิง

ช่วงการเผา	เวลา	ตัวอย่างแก๊สเชื้อเพลิง	องค์ประกอบแก๊สเชื้อเพลิง (%โดยปริมาตร)			ค่าความร้อนแก๊สเชื้อเพลิง (MJ/ Nm ³)
			CO	CH ₄	H ₂	
ช่วงอุ่นเตา	11.30	1/1	16.23	4.99	18.42	5.83
	12.30	1/2	25.20	2.72	17.65	6.06
		2/1	4.85	16.02	16.04	5.49
	14.30	2/2	24.61	2.47	17.68	5.81
		3/1	25.31	2.09	17.95	5.79
		3/2	25.70	2.37	18.38	5.99
เฉลี่ย			22.17	3.25	17.69	5.83
ช่วงเพิ่มอุณหภูมิ	16.00	4/1	22.98	2.54	17.47	5.63
	18.30	4/2	26.09	3.21	17.43	6.23
		5/1	24.58	2.52	18.79	5.96
	20.30	5/2	24.67	2.75	18.52	6.02
		6/1	16.23	2.48	13.35	4.34
		6/2	17.86	2.31	15.50	4.72
เฉลี่ย			22.07	2.64	16.84	5.48
ช่วงคงที่อุณหภูมิ	0.30	7/1	20.62	2.71	17.63	5.44
		7/2	18.98	0.00	15.78	4.04
เฉลี่ย			19.8	2.71	16.71	4.74
เฉลี่ย			21.35	3.86	17.08	5.35

3.4. ประสิทธิภาพระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

จากข้อมูลด้านแก๊สเชื้อเพลิง ได้แก่ อัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง และค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง และข้อมูลด้านชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ได้แก่ อัตราการใช้ชีวมวล และค่าความร้อนของชีวมวล สามารถคำนวณค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงได้จากสมการที่ 3

$$\eta_{th} = \dot{Q}_G \times LHV_G \times 100 / (\dot{m}_f \times LHV_f) \quad (\%) \quad (3)$$

เมื่อ η_{th} คือประสิทธิภาพของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

\dot{Q}_G คืออัตราการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

LHV_G คือค่าความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิง

\dot{m}_f คืออัตราการใช้เชื้อเพลิง

LHV_f คือค่าความร้อนของเชื้อเพลิง

จากข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเศษไม้เฟอร์นิเจอร์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยค่าความร้อนของเศษไม้เฟอร์นิเจอร์มีค่า

18.42 เมกกะจูล ต่อกิโลกรัม ค่าประสิทธิภาพของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในแต่ละช่วงของการเผาปัสกิตมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 73.14 ค่าประสิทธิภาพระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง

ช่วงการเผา	เวลา (นาฬิกา)	อัตรา การผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Nm ³ /hr)	ค่าความร้อน แก๊สเชื้อเพลิง (MJ/Nm ³)	อัตรา การใช้เชื้อเพลิง (kg/hr)	ประสิทธิภาพเชิงความร้อน ระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (%)
ช่วงอุ่นเตา	13.30	226.36	5.77	98	73.46
	14.30	238.19	5.89	98	78.91
ช่วงเพิ่มอุณหภูมิ	16.30	226.99	5.63	98	71.88
	17.55	222.12	5.96	98	74.46
	18.23	235.82	5.96	109.33	70.86
	20.00	345.05	4.34	109.33	75.50
ช่วงคงที่อุณหภูมิ	02.30	402.9	5.44	180.5	66.93
	เฉลี่ย			113.02	73.14

4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลเพื่อประยุกต์ใช้งานด้านความร้อนในเตาเผาเซรามิก สามารถสรุปผลในประเด็นต่างๆ ได้ดังนี้

- (1) แก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวลสามารถนำมาทดแทนการใช้แก๊สหุงต้มในการผลิตเซรามิกได้ จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าจากการใช้แก๊สเชื้อเพลิงในการเผาปัสกิตสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในเตาเผาปัสกิตให้มีค่าเป็นไปตามกราฟควบคุมอุณหภูมิการเผาปัสกิต
- (2) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงในแต่ละช่วงของการเผาปัสกิตมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีการทำงานที่มีเสถียรภาพ โดยประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยตลอดช่วงใช้งานในการเผาปัสกิตมีค่าร้อยละ 73.14

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทอิมพีเรียลฟู้ดเตอร์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนในการเข้าไปทำการศึกษาวิจัยและอนุญาตให้นำผลการศึกษามาเผยแพร่

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรณช แจงสว่าง. เทคโนโลยีการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงจากชีวมวล, แดเน็กซ์ อินเทอร์เน็ตคอร์ปอเรชั่น, กรุงเทพฯ, 2556.
- [2] See <http://ceramiccenter.dip.go.th/LinkClick.aspx?fileticket=Lgit8erPEco%3D&tabid=36>
- [3] Basu, P. Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory, Elsevier, USA, 2010.
- [4] วรณช แจงสว่าง. รายงานการตรวจวัดประสิทธิภาพระบบผลิตแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากชีวมวล, เสนอต่อสำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, กรุงเทพฯ, 2555.
- [5] J.P.A. Neeft, Senternoverm. Rationale for set up of impinge train, CEN BT/TF 143 Organic contaminant (Tar) in biomass producer gases, January, 2005.