

การเพิ่มผลผลิตเตาเผาอิฐแบบโดมโดยการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ Increase of Brick Product in a Dome Type–Brick Kiln West heat recovery

สมพล วงศ์ต่อม

แผนกวิชาช่างยนต์ คณะวิชาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ จ.เชียงใหม่ 50300

โทร 0-53224891 โทรสาร 0-53224891E-mail: w_sompon@yahoo.com

ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

สาขาวิศวกรรมพลังงาน ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50200

โทร 0-53944148-9 โทรสาร 0-53944145E-mail: tanong@dome.eng.cmu.ac.th

Sompon Wongtom

Department of Mechanical Rajamangala Institute of Technology. Northern Campus. Chiang Mai Thailand 50300

Tel. 0-53224891 โทรสาร 0-53224891E-mail: w_sompon@yahoo.com

Tanongkiat Kiatsirirot

Department of Mechanical Engineering Chiang Mai University Chiang Mai 50200

Tel. 0-53944148-9 โทรสาร 0-53944145E-mail: tanong@dome.eng.cmu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพการใช้พลังงานในกระบวนการเผาอิฐแบบโดมขนาด 100 m³ การทำงานของเตามี 3 กระบวนการเริ่มต้นจาก การไล่ความชื้น, การเผา, การระบายความร้อน, โดยในการศึกษาจะพิจารณาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อกระบวนการเผาอิฐรูปตัวไอ ที่มีน้ำหนักเปียก 2.1 kg/ก้อน, น้ำหนักก่อนเข้าเตาเผา 1.4 kg/ก้อน, น้ำหนักสุก 1.2 kg/ก้อน ผลจากการศึกษาพบว่า

กระบวนการเผาอิฐ โดยใช้พลังงานฟืน ที่มีความเร็วพัดลมดูดอากาศที่ 6-7 m/s พบว่า เมื่อกระบวนการไล่ความชื้น มีอุณหภูมิในเตาเฉลี่ยเท่ากับ 323 °C, ใช้เวลา 50 ชั่วโมง กระบวนการเผาโดยใช้พลังงานฟืน มีอุณหภูมิในเตาเฉลี่ยเท่ากับ 684 °C, ใช้เวลา 70 ชั่วโมง, กระบวนการระบายความร้อนใช้เวลา 136 ชั่วโมง, โดยในการระบายความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้ 100 °C /day กำลังการผลิต เพิ่มขึ้น 28.58 %, ระยะเวลาคืนทุน 1.77 ปี, IRR เท่ากับ 48.41 %

ในการทดลองครั้งนี้ทำให้ได้แนวทางของ อุณหภูมิการทำงานภายในเตาเผาอิฐแบบโดมขนาด 100 m³ รวมทั้งการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่โดยเครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอน เพื่อที่มารถวัดอุณหภูมิก่อนนำไปเผา สามารถทำให้อุณหภูมิเข้า

ห้องอบได้ 40-60 °C ในขั้นตอนกระบวนการเผาและ ระบายความร้อน แต่อย่างไรก็ตามขั้นตอนนี้จะมีการจัดการวางวัตถุดิบเพื่อจะให้ความร้อนถ่ายเทได้อย่างทั่วถึง

Abstract

This research work is to study energy utilization in a 100 m³ dome-type brick kiln. There are 3 processes in the kiln operation: moisture reduction, brick burning and kiln cooling. The I-shape brick is considered. The starting weight of each new brick is 2.1 kg and the weight for firing is 1.4 kg. The outcome weight is 1.2 kg.

The energy comes from wood sticks. The air ventilation is 6-7 m/s. For the moisture reduction process which is around 50 h, the average temperature in the kiln is 323 °C. The burning process is 70 h and the average temperature is 684 °C. In the kiln cooling, the period used is 130 h and the temperature reduction rate is 100 °C/d. It could be found that the outcome is increase 28.58 % with the payback of 1.77 y and the IRR of 48.41 %

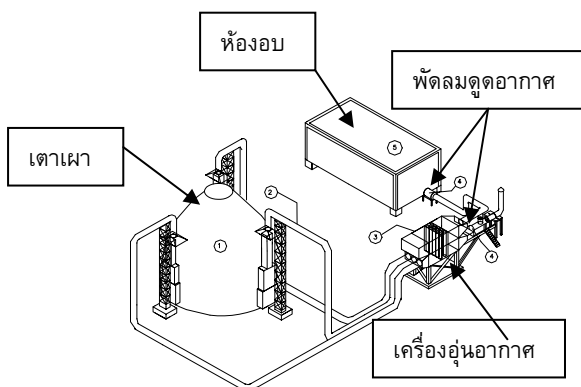
This research work have been the operating temperature profile in the 100 m³ dome-type brick could be constructure. Waste heat recovery from thermosyphon air pre-heater could be used for drying new bricks in the storage room. The air temperature is around 40-60 °C during the brick firing and the kiln cooling process. The warm air is suited for new brick drying. However the brick arrangement is a main factor for drying purpose.

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

บริษัทแห่งหนึ่งในภาคเหนือ มีเตาอิฐแบบโดมขนาดความจุ 100 m³ ใช้พื้นที่เป็นแหล่งพลังงาน การทำงานของเตาเริ่มต้นจากการไล่ความชื้น, การเผา, การระบายความร้อน, กระบวนการทำงานทั้งหมดนี้โดยปกติจะใช้ประสบการณ์จากผู้ปฏิบัติงานเป็นหลักและการระบายความร้อนตามธรรมชาติจะใช้เวลานาน ยิ่งไปกว่านั้นยังมีปัญหาการขาดแคลนไม้ฟืนที่นำมาเป็นเชื้อเพลิง จึงมีความจำเป็นที่จะศึกษาเทคโนโลยีต่างๆ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิในเตาเผา และความร้อนที่สูญเสียจากระบบ

เพื่อที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จะทำการหารูปแบบการใช้พลังงานในเตาเผาและ มีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลเพื่อวัดอุณหภูมิในเตาเผาในแต่ละขั้นตอนของการทำงาน เพื่อหาแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานในเตาเผา, การสมดุลความร้อนของเตาเผา ความร้อนจากแก๊สไอเสียที่มีอุณหภูมิเฉลี่ย 200 °C สามารถนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่โดยใช้เครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอน เพื่อมาอบวัตถุดิบก่อนจะนำไปเผา และในขณะที่เดียวกันในขั้นตอนการระบายความร้อนได้นำความร้อนจากเตาไปใช้อบวัตถุดิบที่ห้องอบชิ้นงานต่อไป



รูปที่ 1 การติดตั้งอุปกรณ์กับเตาเผาอิฐแบบโดมขนาด 100 m³

ในการเลือกเครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอนและ อัตราการไหลของอากาศที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์กับกระบวนการในเตาเผาในแต่ละจุด และในขณะที่เดียวกันจะมีการพิจารณาในขั้นตอนการระบายความร้อนใน

เตาเผา เพื่อลดระยะเวลาในการระบายความร้อน และการระบายความร้อนนี้จะไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างของเตา

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในการทดลองได้ศึกษาสภาพการใช้พลังงานกระบวนการเผาอิฐแบบโดมขนาด 100 m³ โดยใช้พลังงานฟืนและ การระบายความร้อน, การนำความร้อนที่ทิ้งแล้วกลับมาอบชิ้นงานโดยเครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอน, การสมดุลความร้อนของเตาเผาที่ตั้งแสดงในตารางที่ 1, การหาระยะเวลาต้นทุนดังแสดงในตารางที่ 2

2.1 ทฤษฎีการคำนวณสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอน
สมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนสองสถานะแบบท่อนวนตั้งสามารถแสดงได้โดยค่าความต้านทานรวม (Z_{total}) อัตราการส่งถ่ายความร้อนตามจริง (Q) และผลต่างทางด้านอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้ความร้อนและแหล่งรับความร้อน ΔT

$$Q = \frac{\Delta T}{Z_{total}} \quad (1)$$

$$(\Delta T = T_{so} - T_{si} - \Delta T_h)$$

2.2 ปริมาณความร้อนภายในเตา

ค่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นภายในเตาดังรูปที่ 1 สามารถแสดงได้ดังนี้

2.2.1 ความร้อนที่ให้กับเตาเผา

$$q = (mHV) \quad (2)$$

2.2.2 ความร้อนที่สูญเสียจากปล่องไอเสีย

(Flue gas Loss)

$$q = \left(\dot{m} c_p \Delta T \right) \Delta t \quad (4)$$

2.2.3 ความร้อนที่สูญเสียโดยการนำความร้อนที่ผนังเตา

(Conduction Loss)

$$q = \left(\frac{kA \Delta T}{\Delta x} \right) \Delta t \quad (5)$$

2.2.4 ความร้อนที่สูญเสียจากการสะสมในผนังเตา

(Kiln Storage Loss)

$$q = (m_k c_p \Delta T) \quad (6)$$

2.2.5 ความร้อนที่สูญเสียจากการพาความร้อนที่
หน้าห้องเผาไหม้(Convection Loss)

$$q = \bar{h} A_s (T_s - T_\infty) \quad (7)$$

2.3 วิธีการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

ในการวิเคราะห์การลงทุนด้านการเงิน มีจุดประสงค์เพื่อต้องการหาว่าโครงการที่ลงทุนนี้มีความเหมาะสมด้านการเงิน โดยพิจารณาจากผลตอบแทนการลงทุน และผลการดำเนินโครงการนี้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเท่าไร โดยทั่วไปเกณฑ์ที่ใช้การวิเคราะห์ ได้แก่

2.3.1 ระยะเวลาคืนทุน(Simple Payback period)

ระยะเวลาคืนทุน คือ ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับเงินลงทุน

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{ผลกำไรสุทธิ/เงินลงทุนเบื้องต้น} \quad (8)$$

2.3.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ หมายถึงผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของรายรับ และค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ

$$NPV = \frac{NCF}{(1+i)^n} - TIC \quad (9)$$

TIC = เงินลงทุนทั้งหมด (บาท)
= (ค่าชุดเครื่องอุ่นอากาศพร้อมท่อ + ห้องอบอิฐ + พัดลมดูดอากาศพร้อมมอเตอร์ + ค่าติดตั้งอุปกรณ์+ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา + ค่าอัตราดอกเบี้ย + ค่าไฟฟ้า)

NCF= กระแสเงินสดสุทธิในปีที่ , (บาท/ปี)
= รายได้ในแต่ละปี - ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา - ภาษี -ดอกเบี้ย

2.3.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุน(IRR)

อัตราผลตอบแทนการลงทุนหมายถึง อัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายจากการลงทุน วิธีการหาอัตราผลตอบแทนนี้ เป็นการหาโดยใช้วิธีลองผิดลองถูก โดยหาอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่ได้รับเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่จ่าย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือหาอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิในการลงทุนเท่ากับศูนย์ หรือเข้าใกล้ศูนย์ ค่าอัตราส่วนลดที่หาได้คือ IRR

เกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ ถ้า IRR มีค่ามากกว่าอัตราขั้นต่ำของผลตอบแทนที่ยอมรับได้ก็ คุ่มค่าที่จะลงทุน อย่างไรก็ดี

ถึงแม้ว่า IRRจะเป็นเกณฑ์การตัดสินใจที่ดี และเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป

3 วิธีดำเนินการทดสอบ

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการทำงานของกระบวนการเผาอิฐโดยใช้พลังงานฟืน ในการศึกษาจะแยกการทดสอบ ทำการทดสอบโดยใช้พลังงานจากฟืน เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อกระบวนการเผาอิฐและแนวทางในการระบายความร้อนของเตาอิฐแบบโดม ในการทดสอบมีดังต่อไปนี้

3.1 จัดเตรียมอุปกรณ์ที่จะใช้ในการทดสอบ เตาเผาอิฐ (Brick Kiln), ชุดท่อปล่อยไอเสีย(Flue gas Duct), เครื่องอุ่นอากาศ (Air - Pre Heater), พัดลมดูดอากาศ(Blower), ห้องอบอิฐ(Brick Dryer), สายเทอร์โมคัปเปิ้ลพร้อมหัววัดอุณหภูมิ (Thermocouple wire), เครื่องมือเก็บข้อมูล(Data Logger), คอมพิวเตอร์, กล่องควบคุม (Control Box),

3.2 เตรียมอิฐชนิดอิฐรูปตัวไอจำนวน 48,000-50,000 ก้อน นำหนักก่อนเข้าเตาเผา 1.4 kg/ก้อน

3.3 นำอิฐเข้าเตาโดยใช้สายพานรื้อเลี้ยงช่วยผ่อนแรง และใช้แรงงานคนในการจัดเรียงจะใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน

3.4 เตรียมฟืนที่จะใช้ในการให้พลังงานความร้อนกับเตาเผา ปริมาณ 72.5 m³/batch

3.5 เตรียมติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ

3.6 เริ่มต้นกระบวนการไล่ความชื้นของอิฐจะใช้เวลาประมาณ 50 ชั่วโมง ทำการติดเชื้อเพลิงที่ห้องเผาไหม้เพื่อให้ความร้อนไปไล่ความชื้นจากอิฐ และมีพัดลมดูดอากาศที่ตำแหน่งหลังเครื่องอุ่นอากาศเพื่อที่จะปล่อยไอเสียไปที่ท่อไอเสียที่มีความชื้นสูงและอุณหภูมิเฉลี่ย 61 °C จึงมีผลทำให้เครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอนมีอุณหภูมิต่ำ ยังไม่เหมาะที่จะนำไปเข้าห้องอบอิฐ จึงมีการปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศ

3.7 กระบวนการเผาอิฐจะใช้เวลาประมาณ 70 ชั่วโมง มีการใส่จำนวนเชื้อเพลิงให้มากเพื่อทำให้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้สูง และมีผลทำให้อุณหภูมิในส่วนต่างๆ สูงตามไปด้วย อุณหภูมิที่ปล่อยไอเสียอยู่ระหว่าง 226 °C และมีพัดลมดูดอากาศที่ตำแหน่งหลังเครื่องอุ่นอากาศเพื่อให้เครื่องอุ่นอากาศทำงานโดยอุณหภูมิที่ได้นำไปเข้าห้องอบอิฐอยู่ระหว่าง 40-50 °C ที่มีความชื้นต่ำ

3.8 กระบวนการระบายความร้อนของเตาเผาอิฐจะใช้เวลาประมาณ 136 ชั่วโมงและมีพัดลมดูดอากาศที่ตำแหน่งหลังเครื่องอุ่นอากาศเพื่อให้เครื่องอุ่นอากาศทำงานโดยอุณหภูมิมีแนวโน้มจะต่ำลงจึงมีการนำความร้อนมาที่ห้องโดยตรงเพื่อที่จะให้อุณหภูมิเข้าห้องอบอิฐอยู่ระหว่าง 40-50 °C และความชื้นต่ำ จะใช้เวลา 156 ชั่วโมง สามารถลดอุณหภูมิได้ประมาณ 100°C /day

3.9 หลังจากทดสอบครบทั้ง 3 กระบวนการแล้ว พิจารณาคุณภาพของอิฐที่เผาได้และเตรียมเตาเพื่อที่จะทดสอบครั้งต่อไปอีกโดยใช้เวลาระเบออิฐทั้งหมดอยู่ระหว่าง 256 ชั่วโมง

3.10 วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบผลการสมดุลความร้อนของเตาเผาอิฐแบบโดมขนาด 100 m³ ก่อนปรับปรุงเตาและหลังปรับปรุงเตา

4. ผลและการวิเคราะห์

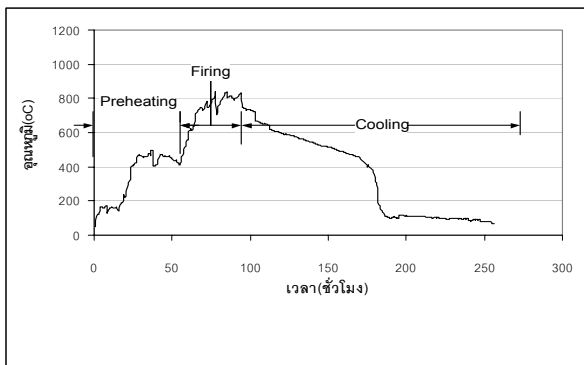
งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้พลังงานในเตาเผาอิฐแบบโดมขนาด 100 m³ โดยใช้พลังงานจากพื้นที่ความเร็วพัดลมดูดอากาศที่ 6-7 m/s ในการศึกษาได้ทำการทดสอบเผาอิฐรูปตัวไอมีน้ำหนักเปียก 2.1 kg/ก้อน, น้ำหนักก่อนเข้าเตา 1.4 kg/ก้อน, น้ำหนักหลังจากเผา 1.2 kg/ก้อน, เพื่อพิจารณาถึงผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อกระบวนการเผาอิฐ การใช้พลังงานในกระบวนการไล่ความชื้น, การใช้พลังงานในการเผาอิฐ, อุณหภูมิในเตาเผา, เวลาที่ใช้ในกระบวนการ, กำลังการผลิต, การนำความร้อนทิ้งจากไอเสียกลับมาใช้โดยชุดเครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอนเพื่อไปอบอิฐ รวมไปถึงระยะคืนทุนและค่า IRR ผลจากการศึกษามีแสดงอุณหภูมิในเตาเผาแต่ละกระบวนการดังรูปที่ 2 และสรุปได้ดังนี้

4.1 กระบวนการไล่ความชื้น (Preheat Process) จะได้ อุณหภูมิเฉลี่ยในเตาเผา 323 °C , ได้อุณหภูมิเฉลี่ยในปล่องไอเสีย 61 °C, ได้อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเผาไหม้ 350°C จะสามารถไล่ความชื้นจากอิฐให้หมดตามปกติและ ในช่วงนี้ปล่องไอเสียมีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสูงจึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในการอบวัตถุดิบ

4.2 กระบวนการเผา (Firing Process) ได้อุณหภูมิเฉลี่ยในเตาเผา 648 °C , ได้อุณหภูมิเฉลี่ยในปล่องไอเสีย 226°C, ได้ อุณหภูมิเฉลี่ยในห้องเผาไหม้ 695 °C สามารถเผาอิฐให้สุกได้ตามปกติและ ในช่วงนี้ปล่องไอเสียอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำจึงเหมาะกับการนำไปใช้ในการอบชิ้นงานและทำให้ชุดเครื่องอุ่นอากาศทำงานได้

4.3 กระบวนการระบายความร้อน(Cooling Process) ใช้พลังงานไฟฟ้า ที่พัดลมดูดอากาศในกระบวนการระบายความร้อนในเตาเผาจะสามารถลดอุณหภูมิเฉลี่ยในเตาเผา 100 °C/วัน , ไม่มีผลกระทบต่อเตาและผลผลิต จะสามารถใช้เวลาลดลงจากเดิมมีผลทำให้สามารถเพิ่มกำลังผลิตขึ้นจากเดิม 28.56 % , ระยะคืนทุน 1.64 ปีและ ค่า IRR 121.73 %

จากการทดลองเตาเผาอิฐแบบโดมโดยการระบายอากาศได้ อุณหภูมิภายในเตาเผาในแต่ละกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 2

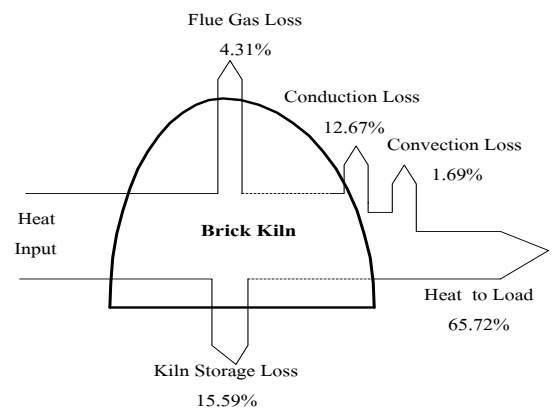


รูป 2 แผนภูมิอุณหภูมิในเตาเผาในแต่ละกระบวนการเผาอิฐในระยะเวลา 256 ชั่วโมง โดยใช้พลังงานพื้น

Process	ก่อนปรับปรุง			หลังปรับปรุง		
	Pre heating	Firing	Total	Pre heating	Firing	Total
time(h)	72	144	216	50	70	120
Wood consumption(kg)	5220	10440	15660	6500	9100	15660
wood energy**(GJ)	75.846	151.69	227.53	94.8	132.22	227.53
Kiln storage-loss(GJ, %)	10.43	25.05	35.48	11.39	20.04	37.89
	15.29	16.02	15.59	12.01	20.04	16.65
Conduction-loss(GJ, %)	5	23.99	28.85	4.16	12.32	16.48
	6.59	15.81	12.67	4.38	9.31	7.24
Convection-loss(GJ, %)	0.64	2.36	3.85	0.613	0.85	1.46
	0.84	1.55	1.69	0.64	0.64	0.64
Flue gas loss(GJ, %)	0.93	8.88	9.81	0.5	4.5	5.03
	1.23	5.88	4.31	0.53	3	2.21
Firing energy (GJ, %)	58.64	91.41	149.54	78.13	86.40	164.53
	77.3	60.26	65.72	82.42	65.34	72.31

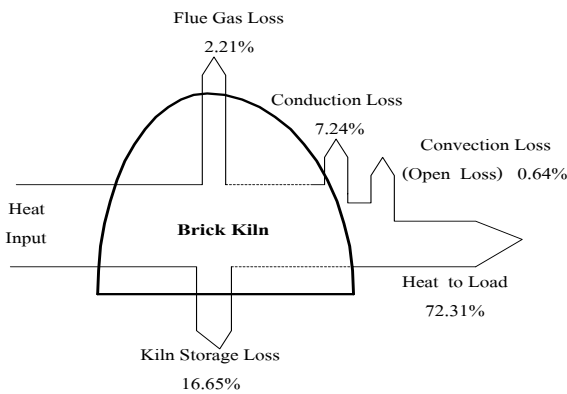
** Based on heating value of 14.530 MJ/kg wood

จากการสมดุลความร้อนของเตาเผาอิฐแบบโดมก่อนปรับปรุง ทำให้ได้ค่าความร้อนที่ให้กับกระบวนการเผา, ความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสีย, ความร้อนที่สูญเสียไปผนังเตาด้านการนำและสะสม, ความร้อนที่สูญเสียไปกับการพาเนื่องจากการเปิดห้องเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิแสดงการสมดุลความร้อนก่อนปรับปรุงเตา

จากการหาปริมาณความร้อนของเตาเผาอิฐแบบโดมก่อนปรับปรุง ทำให้ได้ค่าความร้อนที่ให้กับกระบวนการเผา, ความร้อนที่สูญเสียไปกับไอเสีย, ความร้อนที่สูญเสียไปผนังเตาโดยการนำความร้อนและสะสม, ความร้อนที่สูญเสียไปกับการพาเนื่องจากเปิดห้องเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 4 จากการใช้พัดลมดูดอากาศที่ความเร็ว 6-7 m/s เป็นผลให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ ความร้อนภายในเตาเกิดการถ่ายเทได้ดี จะได้ปริมาณความร้อนที่ให้กับอิฐเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4 แผนภูมิแสดงการสมดุลความร้อนหลังปรับปรุงเตาโดยใช้พัดลมดูดอากาศที่ความเร็ว 6-7 m/s

จากการทดสอบการเผาอิฐแบบโดมโดยเทคนิคการระบายอากาศทำให้ลดเวลาในกระบวนการเผาลง เป็นผลให้เพิ่มผลผลิต และสามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนและค่า IRR ได้ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าระยะคืนทุน,IRR, คุณภาพของอิฐ

กำไร	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
	ผลิตได้ ตั 52083 ก่อน/เดือน	ผลิตได้ ตั 66958 ก่อน/เดือน
บาท/ก้อน	1.1	1.1
บาท/เดือน	57291	73654
บาท/ปี	687496	883846
ระยะเวลาคืน ทุน(ปี)	-	1.77
IRR%	-	48.41
คุณภาพของอิฐ ค่าเฉลี่ย	เสีย 11%	เสีย 4.73%

อักษรย่อและสัญลักษณ์

c_p	=	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg-K)
Δt	=	ช่องของเวลาที่พิจารณา (s)
h	=	สัมประสิทธิ์การพาของอากาศ (W/m ² -k)
HV	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (J/kg)
i	=	อัตราส่วนลด (%)
k	=	ค่าการนำความร้อน (W/m-K)
m'	=	อัตราการของอากาศ (kg/s)
m	=	มวล (kg)
q	=	ความร้อนที่ได้จากเชื้อเพลิง (J)
t	=	เวลา (s)
T	=	อุณหภูมิของอากาศ (°C)
T_c	=	อุณหภูมิของอากาศห้องเผาไหม้ (°C)
T_a	=	อุณหภูมิของอากาศบรรยากาศ(°C)
T_s	=	อุณหภูมิของผิวของประตูเตาเผา(°C)
T_α	=	อุณหภูมิของอากาศ(°C)
ΔT	=	ผลต่างของอุณหภูมิ (°C)
ΔX	=	ผลต่างของพื้นที่นำความร้อน(m)

บรรณานุกรม

- 1.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2535). การออกแบบระบบพลังงานความร้อน. สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
- 2.วารุณี เตีย. 2540. เอกสารประกอบการบรรยาย เรื่อง การวิเคราะห์พลังงานทางเศรษฐศาสตร์ และกรณีศึกษาการประหยัดและการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ : คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- 3.อดิพงษ์ นันทพันธ์และ ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ . การคำนวณหาสมรรถนะของเครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์มไซฟอนที่สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนไม่คงที่.การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลครั้งที่ 14 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เชียงใหม่, 2543
4. Holman, J. P. (1997). *Heat Transfer*. (8th ed). New York: McGraw-Hill, INC
5. Hewitt, G.F. Shires, G.L. and Bott, T. R. 1994. *Process Heat Transfer*. U.S.A. : CRC Press, Inc.