



การปรับปรุงประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง

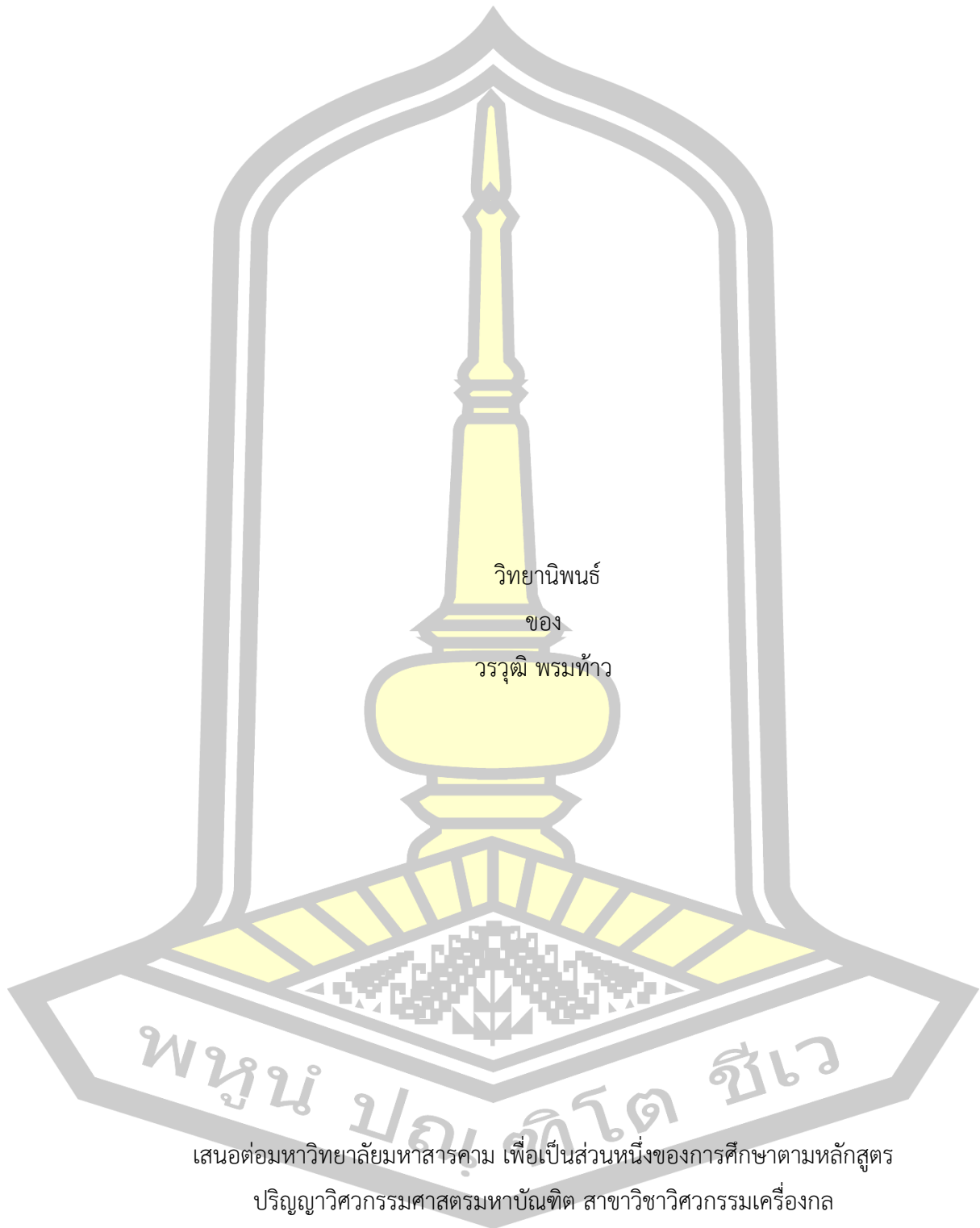
วิทยานิพนธ์
ของ
วรวิฑูฒิ พรหมท้าว

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

กรกฎาคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การปรับปรุงประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง



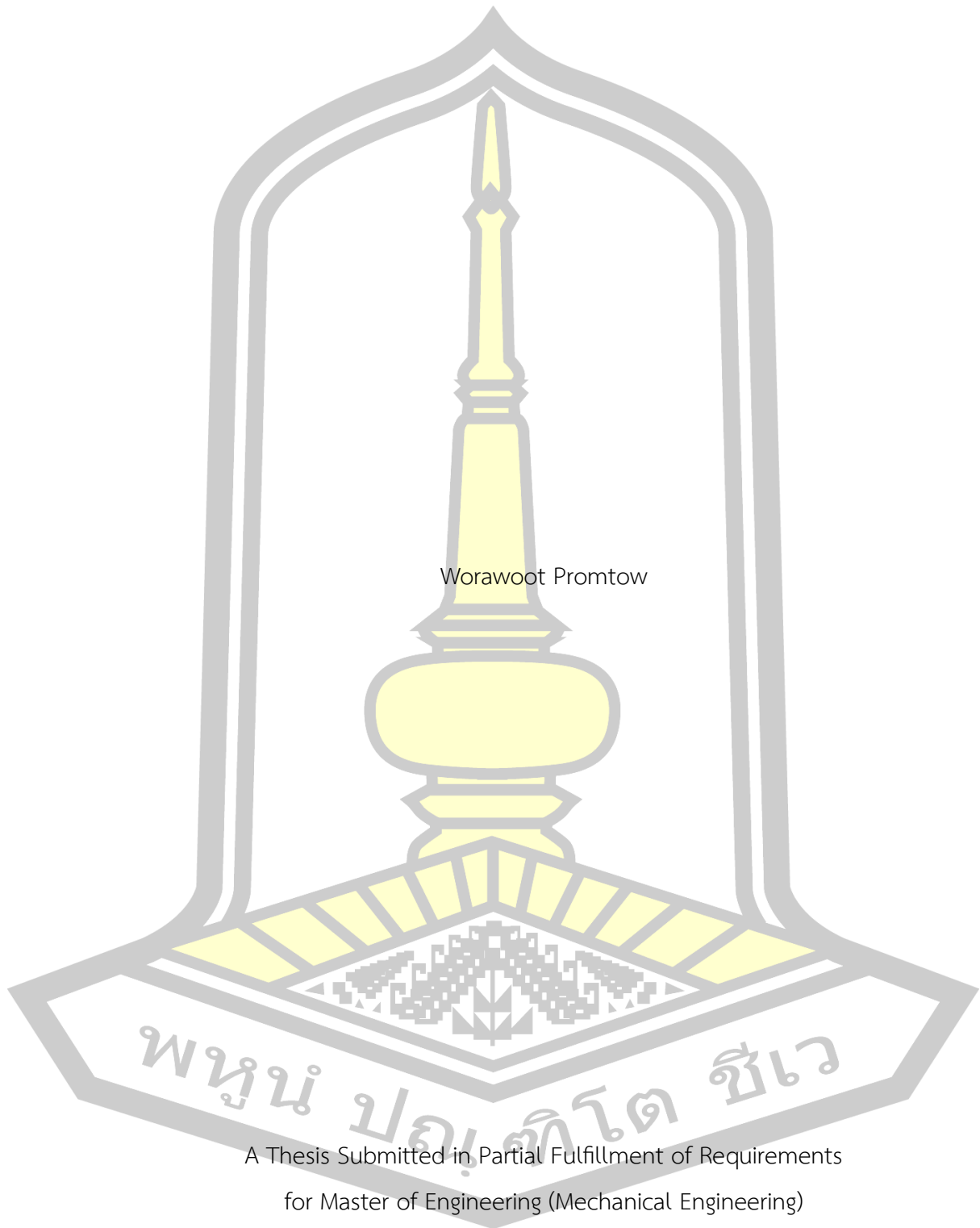
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

กรกฎาคม 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Thermal Efficiency Improvement of Clay Brick Rectangle Down Draft Kilns



Worawoot Promptow

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for Master of Engineering (Mechanical Engineering)

July 2023

Copyright of Maharakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายวรุฒิ พรหมท้าว แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. คำนิง วาทยธา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. โสภา แคนสี ปร.ด.)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. อีรพัฒน์ ชมภูคำ)

.....กรรมการ

(ผศ. ดร. เชิดพงษ์ เชี่ยวชาญวัฒนา)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....
(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การปรับปรุงประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง		
ผู้วิจัย	วรวิทย์ พรหมท้าว		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. โสภกา แคนสี ปร.ด.		
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม	ปีที่พิมพ์	2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของอิฐ การใช้เตาเผาอิฐ พลังงานที่ใช้ในการเผา ความร้อนสูญเสียของเตาเผาอิฐ และประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง แล้วหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง โดยเลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนสูญเสียที่เหมาะสมและหาได้ง่ายในท้องถิ่น คือ อากาศซีเมนต์ ซีเมนต์กลบ ทำการทดสอบโดยการทำเป็นฉนวนป้องกันความร้อนสูญเสียที่ผนัง ความหนาของฉนวน ขนาด 10 เซนติเมตร และ 15 เซนติเมตร และที่ความหนาแน่นของฉนวนสามระดับ คือ มาก ปานกลาง และน้อยตามลำดับ ซึ่งได้การทดลองทั้งหมด 14 การทดลอง แล้วเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาก่อนและหลังการใส่ฉนวน ผลจากการศึกษาพบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำของอิฐ 4 รู 13.68 % อิฐ 8 รู 12.37 % ค่าการหดตัวของอิฐ 8 รู 1.06 % ของอิฐ 4 รู 1.65 % ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากไม้ฟืนทั้งหมด 142,777 เมกะจูล จำนวนอิฐที่ใช้ในการเผาทั้งหมด 50,997 ก้อน มีน้ำหนัก 56,678 กิโลกรัม ค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการเผาอิฐ 2.52 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ ค่าพลังงานสูญเสียสะสมที่ผนังเตา 34,466.57 เมกะจูล คิดเป็น 11.15 % พลังงานความร้อนสูญเสียออกจากปล่อง 6,695.38 เมกะจูล คิดเป็น 4.69 % พลังงานร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐ 85,700.22 เมกะจูล คิดเป็น 60.02% คำนวนหาค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาได้เท่ากับ 0.06 ผลของการทดลองพบว่าเตาเผาอิฐที่มีอากาศเป็นฉนวน ความหนา 15 เซนติเมตร มีค่าการสูญเสียความร้อนที่ผนังน้อยสุด คือ 9.56 เมกะจูล ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตา 0.32 จึงนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาก่อนใส่ฉนวนพบว่า ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนของผนังเตาก่อนใส่ฉนวนคือ 261.56 เมกะจูล ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาทดสอบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น 26.47 %

คำสำคัญ : เตาเผาอิฐ, ความร้อนสูญเสีย, ฉนวนกันความร้อน, ประสิทธิภาพทางความร้อน

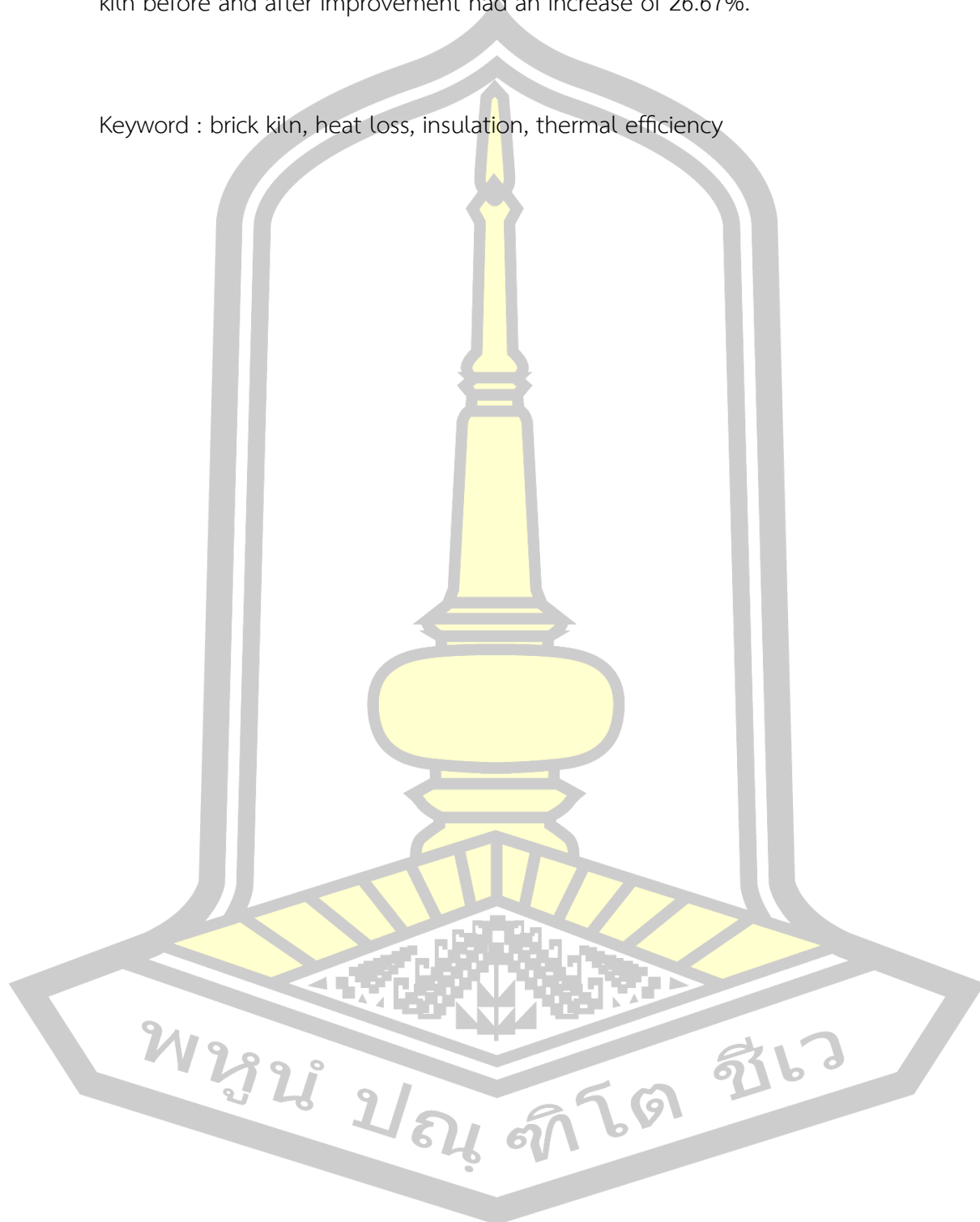
TITLE	Thermal Efficiency Improvement of Clay Brick Rectangle Down Draft Kilns		
AUTHOR	Worawoot Promtow		
ADVISORS	Assistant Professor Sopa Cansee , Ph.D.		
DEGREE	Master of Engineering	MAJOR	Mechanical Engineering
UNIVERSITY	Maharakham University	YEAR	2023

ABSTRACT

The purpose of this research is study the properties of bricks, use of a brick kiln, energy used to burn, heat loss of brick kiln and the thermal efficiency of a rectangular down draft brick kiln. Then improvement to increase the efficiency of the rectangular down draft brick kiln. By selecting suitable thermal insulation materials that are simply to find locally, namely air, wood ash and rice husk ash. Conducted the test by insulating to prevent heat loss at the kilns wall. The insulation thickness was 10 cm. and 15 cm., and at three levels of insulation densities:high,medium and low. A total of 14 experiments were conducted. Then compare the heat efficiency of the furnace before and after the insulation. The results showed that the water absorption capacity of the 4-hole brick was 13.68%, the 8-hole brick 12.37%, the shrinkage of the 8-hole brick 1.06%, of the 4-hole brick 1.65%, and the total heat energy obtained from firewood was 142,777 MJ, the total number of bricks used in burning is 50,997 pices, weighing 56,678 Kg. The specific energy consumption used in burning bricks is 2.52 KJ/Kg of bricks. Accumulated energy loss at the kiln wall 34,466.57 MJ, equivalent to 24.14% ;heat energy lost by conduction 15,914.83 MJ, equivalent to 11.15% heat loss from the chimney 6,695.38 MJ, equivalent to 4.69%. The heat transferred to the brick is 85,700.22 MJ, representing 60.02%.The thermal efficiency of the kiln can be calculated as 0.60. The results showed that a brick kiln with insulated air with a thickness of 15 centimeters had the lowest heat loss at the wall, Of 9.56 MJ, with a thermal efficiency of 0.32. The heat loss from the thermal conductivity of the furnace wall before insulating is 261.56 MJ.

Corresponding with the thermal efficiency was 0.06 The thermal efficiency of the test kiln before and after improvement had an increase of 26.67%.

Keyword : brick kiln, heat loss, insulation, thermal efficiency



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก
 ผศ.ดร.โสภา แคนสี ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. คำนิง วาทยโยทา ประธาน
 กรรมการสอบ และ ผศ.ดร.ธีรพัฒน์ ชมภูคำ และ ผศ.ดร.เชิดพงษ์ เขียวชาญพัฒนา กรรมการสอบ
 ขอขอบพระคุณ ศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงบ้านดอนมัน ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย
 จังหวัดมหาสารคาม ให้ความอนุเคราะห์สถานที่สำหรับสร้างเตาทดสอบการเผาอิฐของงานวิจัย
 ขอขอบพระคุณ โรงอิฐมอญเมืองยศ ตำบลทุ่งนางโกล อำเภอมือง จังหวัดยโสธร ที่เอื้อเพื่อ
 สถานที่และเตาเผาอิฐสำหรับเก็บข้อมูลเตาเผาอิฐ
 ขอขอบพระคุณโรงอิฐบ้านขุมเงิน ตำบลโคกสว่าง อำเภอนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด ที่เอื้อเพื่อ
 อิฐสำหรับการทดสอบในงานวิจัย
 ขอขอบพระคุณ คุณนันทวัฒน์ บุตรวงศ์ และ คุณศราวุธ แสนคำ ที่ช่วยอำนวยความสะดวก
 และช่วยเก็บข้อมูลของงานวิจัย

วรวุฒิ พรหมท้าว

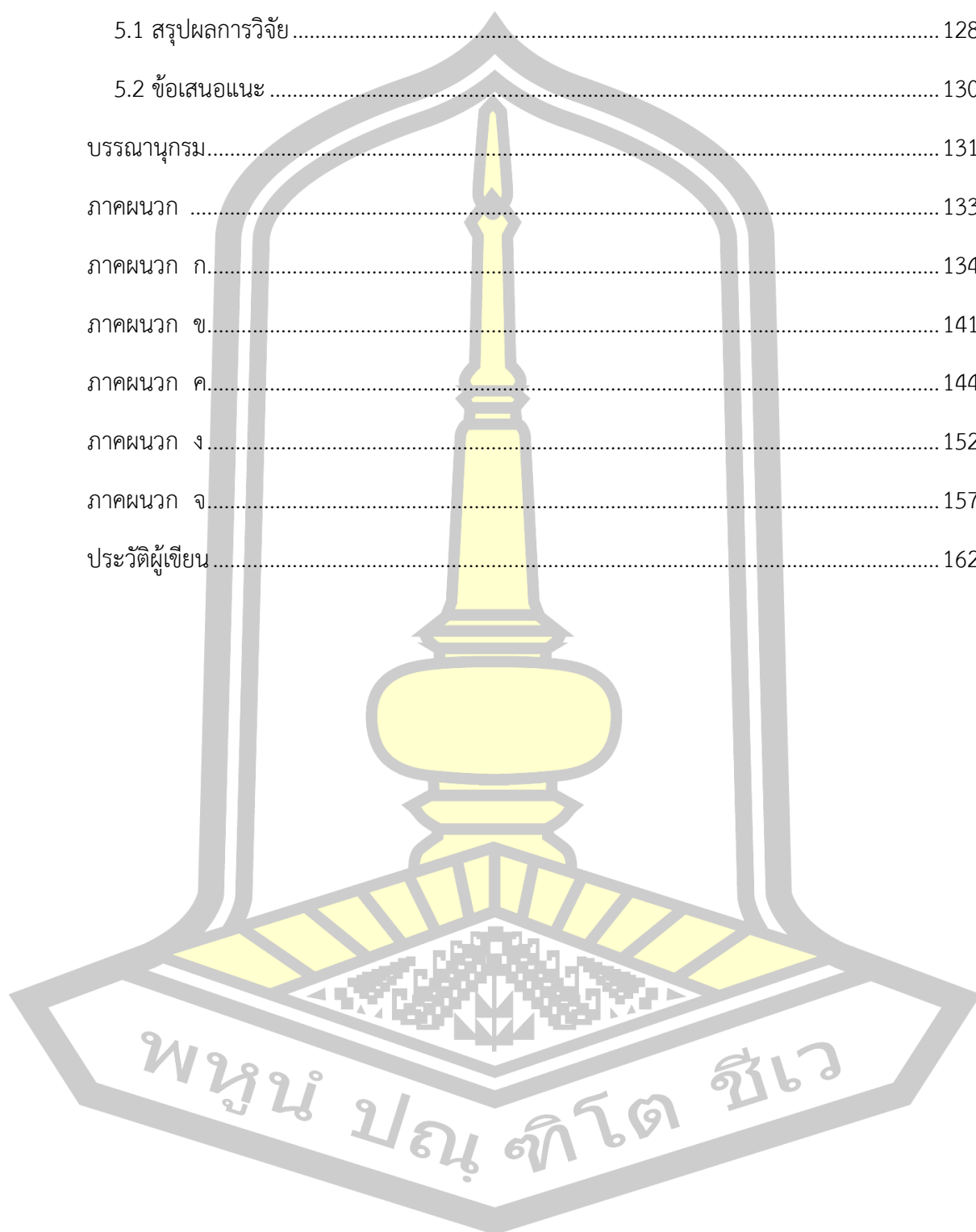


สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ช
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญภาพประกอบ.....	ต
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	4
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.5 สถานที่ดำเนินงานวิจัย	5
บทที่ 2	6
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 อธิฐและชนิดของอิฐ.....	6
2.2 การผลิตอิฐของโรงอิฐบ้านชุมเงิน	7
2.3 ประวัติและวิวัฒนาการของเตาเผา.....	12
2.4 ประเภทของเตาเผา.....	15
2.5 ส่วนประกอบของเตาเผา.....	17
2.6 การแบ่งประเภทของเตา	19

2.7	กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการเผาอิฐ.....	27
2.8	ทฤษฎีเกี่ยวกับความร้อนและกฎของเทอร์โมไดนามิก (ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์, 2529)(ชัยศักดิ์ ชรา ตรีจันทร์สกุล, 2545).....	30
2.9	การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (YoshihikoTakamura, 2543).....	31
2.10	การเผาไหม้เชื้อเพลิง (YoshihikoTakamura, 2543).....	32
2.11	กลไกการถ่ายโอนความร้อน (มะลิ หุ่นสม, 2551)(Brid, R.B., Stewart, W. E., 2001) (ประกิต ชูหว่าง, 2551).....	33
2.12	การวิเคราะห์ผลการทดสอบเตาเผาอิฐ.....	38
2.13	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	41
บทที่ 3	.....	45
วิธีดำเนินการศึกษา	.....	45
3.1	การศึกษาคุณสมบัติของอิฐ การใช้เตาเผาอิฐ พลังงานที่ใช้ในการเผาและความร้อนสูญเสียของ เตาเผาอิฐแบบเดิม.....	45
3.2	การพัฒนาและปรับปรุงเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง.....	55
3.3	ทดสอบและประเมินสมรรถนะของเตาหลังการปรับปรุง เปรียบเทียบค่าความร้อนสูญเสียและ ประสิทธิภาพทางความร้อนเทียบกับเตาเดิม.....	65
บทที่ 4	.....	66
ผลการศึกษาและอภิปรายผล	.....	66
4.1	ผลการศึกษาคุณสมบัติของอิฐ การใช้เตาเผาอิฐ พลังงานที่ใช้ในการเผาและความร้อนสูญเสีย ของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง.....	66
4.2	ผลการหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง โดย เลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมและหาง่ายในท้องถิ่น.....	88
4.3	ผลการทดสอบและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาทดสอบก่อนและหลังการปรับปรุง	122
4.4	อภิปรายผล.....	127
บทที่ 5	.....	128

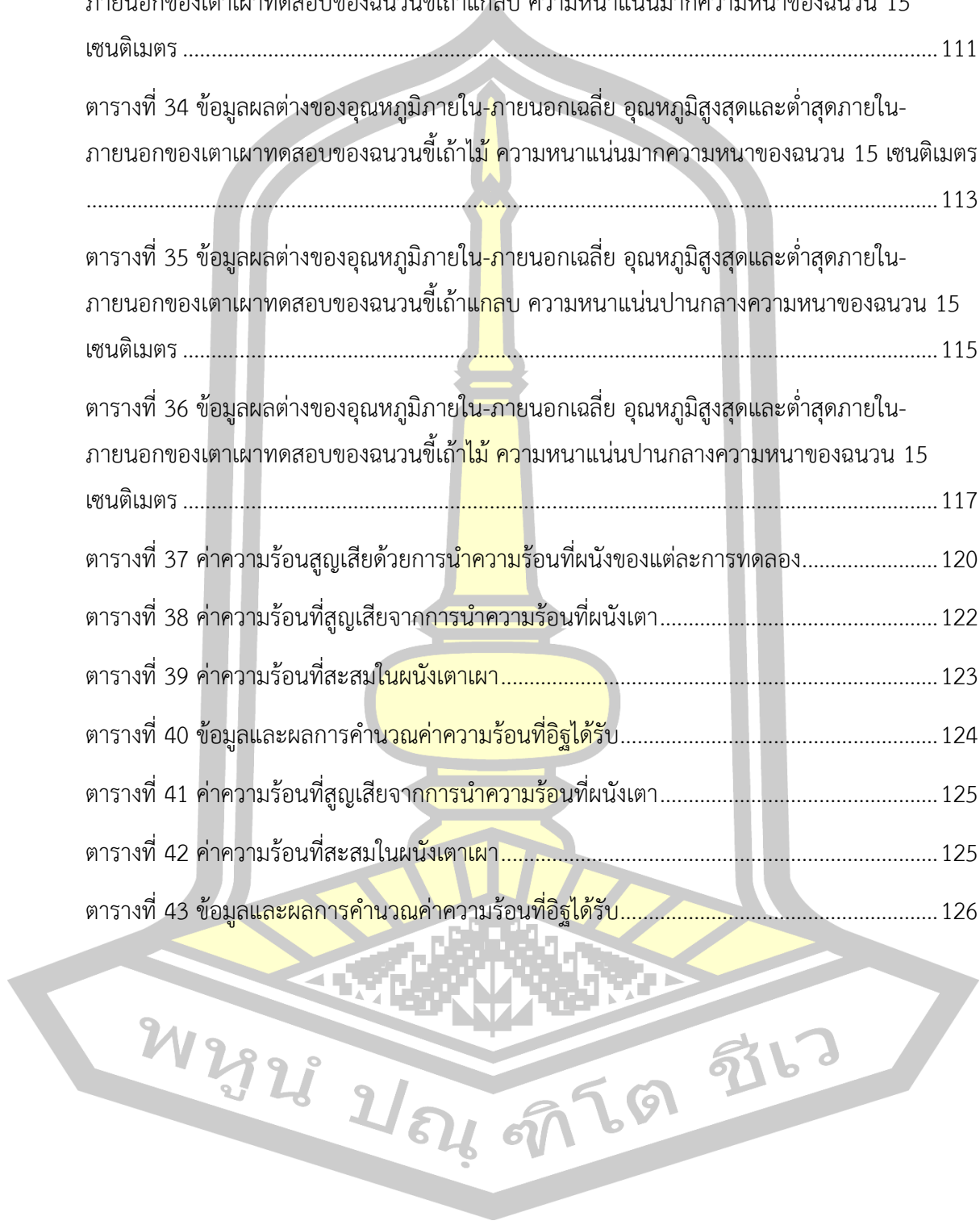
สรุปผลและข้อเสนอแนะ	128
5.1 สรุปผลการวิจัย	128
5.2 ข้อเสนอแนะ	130
บรรณานุกรม.....	131
ภาคผนวก	133
ภาคผนวก ก.....	134
ภาคผนวก ข.....	141
ภาคผนวก ค.....	144
ภาคผนวก ง.....	152
ภาคผนวก จ.....	157
ประวัติผู้เขียน.....	162



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรไร้หน่วย.....	37
ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลอง.....	61
ตารางที่ 3 ข้อมูลเบื้องต้นของเตาเผา.....	66
ตารางที่ 4 ข้อมูลเบื้องต้นของเตาเผา (ต่อ).....	67
ตารางที่ 5 ขนาดอิฐมอญ 4 รู ก่อนเผา-หลังเผา.....	68
ตารางที่ 6 ขนาดอิฐมอญ 8 รู ก่อนเผา-หลังเผา.....	68
ตารางที่ 7 ผลการศึกษาด้านปริมาณและคุณภาพของอิฐหลังการเผา	69
ตารางที่ 8 อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดในห้องเผาใหม่ทางด้านขวาของเตาเผา.....	73
ตารางที่ 9 อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณห้องเผาใหม่ทางด้านซ้ายของเตาเผา	74
ตารางที่ 10 ข้อมูล อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณผนังด้านหน้าของเตาเผา ...	75
ตารางที่ 11 ข้อมูล อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณผนังด้านซ้ายของเตาเผา....	76
ตารางที่ 12 ข้อมูล อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณผนังด้านขวาของเตาเผา	77
ตารางที่ 13 ข้อมูล อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณผนังด้านหลังของเตาเผา ...	78
ตารางที่ 14 อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณผนังด้านบนของเตาเผา.....	79
ตารางที่ 15 อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณผนังเตาทั้งสี่ด้านและผนังด้านบน. 80	
ตารางที่ 16 อุณหภูมิเฉลี่ยภายใน และภายนอกเตาเผา.....	83
ตารางที่ 17 ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนที่ผนังเตา.....	86
ตารางที่ 18 ค่าความร้อนที่สะสมในผนังเตาเผา.....	86
ตารางที่ 19 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนที่อิฐได้รับ.....	87
ตารางที่ 20 วิธีการทดลองและข้อมูลการทดลองเบื้องต้น.....	89

ตารางที่ 33 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์แก้ว ความหนาแน่นมากความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร	111
ตารางที่ 34 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์แก้ว ความหนาแน่นมากความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร	113
ตารางที่ 35 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์แก้ว ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร	115
ตารางที่ 36 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์แก้ว ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร	117
ตารางที่ 37 ค่าความร้อนสูญเสียด้วยการนำความร้อนที่ผนังของแต่ละการทดลอง.....	120
ตารางที่ 38 ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนที่ผนังเตา.....	122
ตารางที่ 39 ค่าความร้อนที่สะสมในผนังเตาเผา.....	123
ตารางที่ 40 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนที่อิฐได้รับ.....	124
ตารางที่ 41 ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนที่ผนังเตา.....	125
ตารางที่ 42 ค่าความร้อนที่สะสมในผนังเตาเผา.....	125
ตารางที่ 43 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนที่อิฐได้รับ.....	126



พูน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพที่ 1 การหมักดินก่อนนำไปรีดขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐ.....	7
ภาพที่ 2 เครื่องรีดดิน (Extruder) สำหรับรีดดินเหนียวให้เป็นเส้น.....	8
ภาพที่ 3 เครื่องตัดแบ่งก้อนอิฐอัตโนมัติสำหรับตัดเส้นดินให้เป็นก้อน.....	9
ภาพที่ 4 การตากอิฐให้แห้งก่อนนำไปเผา.....	9
ภาพที่ 5 การเรียงอิฐสี่รูในเตาเผาให้เต็มเตาก่อนทำการเผา.....	10
ภาพที่ 6 การเผาอิฐให้สุกด้วยเตาแบบสี่เหลี่ยมชนิดความร้อนลง.....	11
ภาพที่ 7 การเรียงอิฐสุกชนิด 4 รูใส่พาเลทเพื่อนำไปจำหน่าย.....	11
ภาพที่ 8 ลานเก็บอิฐที่แพคใส่พาเลทแล้วเพื่อรอการจำหน่าย.....	12
ภาพที่ 9 ลักษณะทางเดินลมร้อนของเตาทางเดินลมร้อนขึ้น.....	25
ภาพที่ 10 ลักษณะทางเดินลมร้อนของเตาทางเดินลมร้อนลง.....	26
ภาพที่ 11 แสดงขั้นตอนในการเกิดกระบวนการเผา.....	27
ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบลักษณะการซินเทอร์.....	28
ภาพที่ 13 แสดงขั้นตอนการเกิด Solid state sintering(Michel, 1997).....	29
ภาพที่ 14 ภาพของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดความร้อนลง.....	47
ภาพที่ 15 อิฐสี่รู ขนาด 6.5x6.5x15 เซนติเมตร.....	48
ภาพที่ 16 อิฐแปดรู ขนาด 12x6.5x20 เซนติเมตร.....	48
ภาพที่ 17 เทอโมคัปเปิล Type K ยี่ห้อ Interheat และสายสัญญาณ.....	49
ภาพที่ 18 Data locker ยี่ห้อ Lutron รุ่น BMT-4208SD แบบ 12 channel.....	49
ภาพที่ 19 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบยิงรังสีอินฟราเรด 1350 °C ยี่ห้อ BENETECH.....	50
ภาพที่ 20 ภาพแสดงจุดที่จะทำการวัดอุณหภูมิเตาเผาอิฐ.....	51
ภาพที่ 21 แสดงภาพอิฐที่เผาสุกแล้วภายในเตา.....	51

ภาพที่ 22 ภาพเตาเผาแบบความไหลร้อนลงสำหรับเผาเตาอังโล่.....	56
ภาพที่ 23 เตาโดมหรือเตาเจดีย์.....	57
ภาพที่ 24 สมดุลความร้อนของเตาเผาอิฐแบบโดม (สมพล และทะนงเกียรติ, 2547).....	57
ภาพที่ 25 ภาพแสดงเตาเผาอิฐจำลองที่ใส่นวนกันความร้อน.....	58
ภาพที่ 26 Heat transfer process.....	60
ภาพที่ 27 เตาทดลองก่อนที่จะใส่นวนกันความร้อน.....	64
ภาพที่ 28 การจัดเรียงอิฐภายในเตาเผา.....	67
ภาพที่ 29 การวัดขนาดและชั่งน้ำหนักของอิฐมอดู.....	68
ภาพที่ 30 การทำงานในกระบวนการอุ่นอิฐ.....	70
ภาพที่ 31 ลักษณะของอิฐสุก.....	71
ภาพที่ 32 ลักษณะการสิ้นสุดกระบวนการเผาและเปิดเตา.....	71
ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องเผาไหม้โดยเฉลี่ย.....	72
ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องเผาไหม้ทางด้านขวา.....	73
ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องเผาไหม้ทางด้านซ้าย.....	74
ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผนังเตาด้านหน้า.....	75
ภาพที่ 37 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผนังเตาด้านซ้าย.....	76
ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผนังเตาด้านขวา.....	77
ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผนังเตาด้านหลัง.....	78
ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผนังเตาด้านบน.....	79
ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผนังเตาเผา ด้านหน้า ด้านข้าง ทางซ้าย ด้านข้างทางขวา ด้านหลัง โดยเฉลี่ย เปรียบเทียบกับผนังด้านบน.....	80
ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาเผาเฉลี่ย 5 ด้าน.....	81
ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิปล่องไอเสีย.....	82
ภาพที่ 44 แสดงอุณหภูมิในกระบวนการเผา.....	85

ภาพที่ 55 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวาและผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นน้อยความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร	110
ภาพที่ 56 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวาและผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นมากความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร	112
ภาพที่ 57 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวาและผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นมากความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร	114
ภาพที่ 58 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวาและผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร	116
ภาพที่ 59 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวาและผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร	118
ภาพที่ 60 กราฟเปรียบเทียบข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของผนังเตาทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวา	119
ภาพที่ 61 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาของด้านบนเตา	120
ภาพที่ 62 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียความร้อนที่ผนังของแต่ละการทดลอง	121
ภาพที่ 63 สมดุลความร้อนของเตาเผาอิฐทดสอบก่อนปรับปรุง	124
ภาพที่ 64 สมดุลความร้อนของเตาเผาอิฐทดสอบหลังปรับปรุง	127

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อิฐดินเผา อิฐแดง หรืออิฐมอญ เป็นชื่อเรียกอิฐก่อสร้างที่ผลิตจากดินเหนียว ขึ้นรูปเป็นก้อนตามขนาดที่ต้องการ นำไปตากหรือผึ่งให้แห้งแล้วเอาไปเผาที่อุณหภูมิ 700-900 องศาเซลเซียส จนโครงสร้างของดินเปลี่ยนเป็นของแข็งสามารถนำไปใช้งานในการก่อสร้างได้ ภูมิปัญญาการทำอิฐดินเผานี้มีมาตั้งแต่สมัยโบราณนับ 1000 ปีจนถึงปัจจุบันแม้จะมีเทคโนโลยีการผลิตวัสดุการทำผนัง แบบอื่นมาทดแทนก็ตามแต่อิฐ ดินเผายังได้รับความนิยมนำไปใช้งานอยู่มาก เห็นได้จากจากบทวิเคราะห์ทางการตลาดรายงานว่า วัสดุก่อสร้างสำหรับงานผนังในประเทศไทยปี 2557 ทั้งหมดที่มีมูลค่า 30,000 ล้านบาท อิฐดินเผามีส่วนแบ่งการตลาดกว่า 50 % คิดเป็นพื้นที่ 150 ล้านตารางเมตร มีมูลค่า 15,000 ล้านบาท และยิปซัม ไม้อัด และอื่น ๆ 40% และบล็อกมวลเบา 10 % (ณัฐวรินทร์ ไตรภพสกุล, และชวิต หวังมุกิตากุลม, 2557) นอกจากนี้จากการสำรวจพบว่าประเทศไทยมีโรงงานผลิตอิฐดินเผามากถึง 951 โรงงาน ผลิตอิฐได้มากถึง 2,100 ล้านก้อนต่อปีหรือประมาณ 175 ล้านก้อนต่อเดือน (ไพลิน สายยศ, 2559) จะเห็นได้ว่าอิฐดินเผามีความสำคัญและยังเป็นที่ต้องการใช้ในงานก่อสร้างของประเทศเป็นอย่างมาก

การผลิตอิฐดินเผาของไทยในปัจจุบันสามารถแบ่งขั้นตอนการผลิตหลัก ๆ ได้เป็น 4 ขั้นตอน คือ 1) การเตรียมดิน หรือการหมักดิน 2) การขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐอาจมีได้หลายวิธีแต่วิธีหลักๆที่นิยมใช้กันอยู่ คือ การขึ้นรูปด้วยเครื่องรีดดิน (Extruder) และการขึ้นรูปด้วยมือหรือที่เรียกว่าอิฐปั้นมือ(พงษ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ และวรพงศ์ วรสุนทรโรสถ, 2546) 3) การผึ่งหรือการตากให้แห้ง 4) การเผา จากการศึกษาพบว่าหนึ่งในต้นทุนหลักของการผลิตอิฐคือ ต้นทุนจากการเผาอิฐ ปัจจัยด้านจำนวนของเชื้อเพลิงที่ลดน้อยลงหรือมีเท่าเดิมแต่มีปริมาณความต้องการใช้มากขึ้นส่งผลให้ราคาของเชื้อเพลิงสูงขึ้นทำให้โรงงานผลิตอิฐดินเผามีต้นทุนค่าเชื้อเพลิงในการเผาอิฐสูงขึ้นตามด้วยอีกทั้งเทคโนโลยีของเตาเผาอิฐที่ยังใช้รูปแบบการเผาแบบดั้งเดิม นอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเผาแล้วยังก่อให้เกิดมลพิษอีกด้วย

เตาเผาอิฐที่สำรวจพบในประเทศไทยในปัจจุบัน หลัก ๆ มีอยู่ 6 ชนิดด้วยกันคือ 1) เตาเผาอิฐแบบสุ่มกลบ 2) เตาสี่เหลี่ยม หรือเตาสก๊อต 3) เตาโดมหรือเตารังผึ้ง 4) เตาอุโมงค์ (Tunnel) 5) เتامังกร และ 6) เตาชัตเติล (Shuttle) เรียงตามจำนวนเตาจากมากไปหาน้อย เฉพาะ

อิฐดินเผาที่เป็นการเผาด้วยเตาเผาแบบสุ่มแกลบ และเตาสีเหลี่ยม และมีมากถึง 87.5% ของทั้งประเทศ (ศิริพรรณ นิลไพรัชและคณะ, 2563) ซึ่งเตาเผาอิฐทั้ง 2 แบบดังกล่าวเป็นเตาเผาที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก เนื่องด้วยเป็นเตาเผาอิฐแบบสุ่มกอง และแบบความร้อนไหลขึ้น ซึ่งหลักการเผาของเตาชนิดแบบสุ่มกอง เป็นการเผาเชื้อเพลิงให้ลุกไหม้ตามธรรมชาติรอบอิฐที่ต้องการเผา จนวัสดุเชื้อเพลิงนั้นเป็นถ่าน แล้วถ่านและถ่านของเชื้อเพลิงนั้น (แกลบ) จะทับถมและถ่ายเทความร้อนให้กับอิฐที่ทำการเผา ซึ่งต้องทำการเติมเชื้อเพลิงอยู่เรื่อย ๆ ทุกวัน วันละ 2 ครั้ง ให้ท่วมอิฐที่เรียงอยู่ทำซ้ำ ๆ อย่างนี้อยู่ 7-8 วัน จนอิฐสุก และบ่มความร้อนทิ้งไว้อีก 1-2 วัน จึงสามารถนำขึ้นเข้าออกจากอิฐได้ แล้วรอให้เย็นอีก 1 วัน จึงนำอิฐออกขายได้ รวมเวลาในการทำงานของเตามากกว่า 10 วัน และใช้แกลบในการเผามากถึง 12 ตันต่อการเผาอิฐประมาณ 200,000 ก้อน ส่วนเตาเผาอิฐแบบความร้อนไหลขึ้น เป็นการให้ความร้อนทางด้านล่างของเตา โดยการจุดไฟให้เชื้อเพลิงโดยส่วนใหญ่เป็นไม้ฟืนให้ลุกไหม้อยู่ฐานล่างของเตา ที่ทำเป็นช่องไว้สำหรับสอดไม้ฟืนเป็นช่อง ๆ 3-6 ช่องอยู่ตรงข้ามกันทั้งสองด้านของเตา จำนวนช่องใส่ไม้ฟืนจะขึ้นอยู่กับขนาดและความสูงของเตาเผาอิฐ ความร้อนของการเผาจะลอยขึ้นผ่านอิฐที่เรียงไว้ในเตาแล้วลอยออกไปทางด้านบนของเตา ผู้ที่ทำการเผาอิฐต้องเติมไม้ฟืนอยู่ทุก 1-3 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับชนิดของไม้ และเติมไม้อยู่ 3-4 วันจนอิฐสุกจึงหยุดการเผา บ่มความร้อนทิ้งไว้อีก 1-2 วัน จึงสามารถเปิดเตาได้ แล้วรอให้เย็นอีก 1-2 วัน จึงเก็บอิฐไปขายได้ รวมเวลาในการทำงานของเตามากกว่า 7 วัน และใช้ไม้ฟืนมาก 10-40 ตันต่อเตา คิดเป็นต้นทุนค่าพลังงานสูงถึง 30% ของต้นทุนทั้งหมด (Prasertsan, 1995) จะเห็นได้ว่าเตาเผาอิฐทั้งสองแบบนี้นอกจากจะใช้เชื้อเพลิงในการเผามากแล้วยังใช้เวลาในการเผามากด้วยเช่นกัน ซึ่งทั้งหมดที่กล่าวมา คือ ต้นทุนที่ผู้ประกอบการต้องแบกรับ จากการเผาอิฐทั้งสองแบบ จนทำให้ผู้ประกอบการโรงอิฐหลายราย มองหาการเผาอิฐในรูปแบบใหม่ที่ดีขึ้น ใช้เวลาในการเผา น้อยลง ประหยัดเชื้อเพลิงมากขึ้นว่าการเผาอิฐแบบเดิม แต่ลงทุนในการเปลี่ยนแปลงไม่มาก หนึ่งในเตาเผาอิฐที่เป็นทางเลือกของผู้ประกอบการ คือเตาเผาอิฐแบบสีเหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง ซึ่งเป็นเตาเผาที่ออกแบบเพื่อให้ความร้อนถูกเก็บอยู่ในเตานานขึ้น สามารถเผาได้อย่างทั่วถึงในอุณหภูมิที่สูงขึ้นและช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้ดีกว่าเตาแบบทางเดินลมร้อนขึ้น และเตาเผาแบบสุ่มกองซึ่งเตาแบบนี้ยังสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการเผาให้เป็นเตาแบบทางเดินลมร้อน 2 ระบบ (Double Draft Kiln) ได้อีกด้วย ซึ่งเตาแบบทางเดินลมร้อน 2 ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ เพื่อให้การเผาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยเป็นการนำข้อดีจากเตาระบบทางเดินลมร้อนขึ้นและทางเดินลมร้อนลงมาผนวกเข้ากัน โดยช่วงแรก เเผาแบบทางเดินลมร้อนขึ้น และช่วงหลังเผาแบบทางเดินลมร้อนลง (สุขุมาล เล็กสวัสดิ์, 2548) และเมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาอิฐที่ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม ประสิทธิภาพการเผาใหม่ที่คำนวณจากสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อ ผลรวมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น 3-4% อีกทั้งเตาเผาอิฐแบบสีเหลี่ยมทางเดินลมร้อนลงยังสามารถ เพิ่มปริมาณก้อนอิฐต่อครั้งของการ

เผาเพิ่มความเพิ่มขึ้น 42.85% และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลลดลงประมาณ 4 ตัน/ ครั้ง โดยอิฐที่เผาในเตาเผาแบบสี่เหลี่ยมทางเดินลมร้อนลงมีดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ เท่ากับ 2.26 เมกะจูล/ กิโลกรัม ส่งผลต่อต้นทุนการเผาอิฐแต่ละก้อนมีต้นทุนลดลง ประมาณ 44.25% (อุกฤษ สมัครสมาน และคณะ, 2564) จากการสำรวจเพิ่มเติมของผู้วิจัยพบว่า ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้เตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมทางเดินลมร้อนลง แล้วสามารถทำเป็นแบบทางเดินลมร้อน 2 ระบบได้นี้ ประมาณ 30 กว่าเตาจาก 18 โรงงานทำอิฐดินเผา ทั่วประเทศไทยและประเทศลาว และกำลังเป็นที่สนใจสำหรับโรงงานผลิตอิฐดินเผาที่ต้องการลดต้นทุนด้านการเผาอิฐลง แต่เตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมทางเดินลมร้อนลงที่สามารถทำเป็นแบบทางเดินลมร้อน 2 ระบบได้นี้ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันยังคงมีจุดที่เกิดการ สูญเสียความร้อนจากการเผาอิฐอยู่นั่นคือ ผนังเตาที่ก่อด้วยอิฐและดินเหนียว (ไม่มีฉนวนกันความร้อน) จากการสังเกตความร้อนที่แผ่ออกข้างผนังเตาด้านนอกมีความร้อนค่อนข้างสูงเวลาทำการเผาอิฐ ซึ่งนั่นคือ ความร้อนสูญเสียที่เกิดขึ้น และจากการศึกษาพบว่า หนึ่งในวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผา คือ การปรับปรุงผนังเตาโดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน เตาเผาที่มี ฉนวนกันความร้อนจะสามารถลด การสะสมของความร้อน และลดการนำความร้อนของผนังได้ดีกว่าผนังเตาเผาที่ใช้อิฐเป็นผนังอย่าง เดียว (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2547) จึงมีสมมุติฐานว่า ถ้าหากเราสามารถ เก็บกักความร้อนไม่ให้สูญเสียหรือสูญเสียน้อยลงทางผนังนี้ได้ โดยการเพิ่มฉนวนกันความร้อนที่ผนัง เตาจะทำให้การเผาอิฐด้วยเตาเผาแบบทางเดินลมร้อนลงนี้ ประหยัดเชื้อเพลิงขึ้นได้ ลดค่าแรงและ เวลาในการเผาอิฐลงได้ ซึ่งหมายถึงการลดต้นทุนในการเผาอิฐของผู้ประกอบการลงนั่นเอง

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาถึงการใช้พลังงานในการเผาอิฐ ความร้อนสูญเสียที่ ผนังของเตาเผาอิฐ และการเพิ่มฉนวนกันความร้อนสำหรับเตาสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง แต่ด้วย เซรามิกไฟเบอร์เป็นฉนวนกันความร้อนที่มีราคาสูง จึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้สำหรับเตาเผาอิฐ ระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือนที่มีมูลค่าของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างน้อย สำหรับงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะ ศึกษาเปรียบเทียบผนังเตาเผาอิฐที่มีฉนวนกันความร้อนโดยใช้วัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่น ราคาถูก และ เหมาะสมกับการเผาอิฐระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือนคือ อากาศ ซีเมนต์ขาวจากแกลบ และซีเมนต์จาก ไม้ผืน เพื่อที่จะนำไปสู่แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาให้สูงขึ้น ลดความ สิ้นเปลืองพลังงานจากการใช้เชื้อเพลิงไม้ผืนลง ช่วยลดต้นทุนการผลิตให้กับผู้ประกอบการ เพิ่มขีด ความสามารถในการแข่งขัน พร้อมสร้างความมั่นคงในการประกอบกิจการได้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของอิฐ การใช้เตาเผาอิฐ พลังงานที่ใช้ในการเผา ความร้อนสูญเสียของเตาเผาอิฐ และประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง

1.2.2 เพื่อหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง โดยเลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมและหาง่ายในท้องถิ่น

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลงและประเมินสมรรถนะของเตาเผา ก่อนและหลังการปรับปรุง

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ทำการศึกษาและวัดความร้อนที่ผนังเตา ของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดความร้อนลงที่ใช้ไม่ฝืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผา ขนาดเตากว้างxยาวxสูง คือ 9x5x2.5 เมตรตามลำดับซึ่งมีปริมาตรความจุภายในเท่ากับ 80 ลูกบาศก์เมตร

1.3.2 อิฐที่ใช้ทดสอบเป็นอิฐสิ่ว ขนาดกว้างxยาวxสูง คือ 7x7x16 เซนติเมตรตามลำดับ น้ำหนักอิฐดิบแห้งอยู่ที่ 1 กิโลกรัม ความชื้นในเนื้อดินประมาณ 5-10%

1.3.3 เชื้อเพลิงที่ใช้เป็นไม้ฝืนรวม โดยซังเป็นน้ำหนัก (กิโลกรัม) ในการเติมเชื้อเพลิงแต่ละครั้ง พัดลมอัดอากาศ (Blower) ที่ใช้เติมอากาศเข้าห้องเผาเป็นพัดลมอัดอากาศแบบแรงดันขนาด 5 แรงม้า 2,800 rpm air flow 2664-5268 CMH, pressure 1578-1989 Pa

กำหนดช่องสำหรับใส่ฉนวนกันความร้อนที่ 10 และ 15 เซนติเมตร อิฐที่ใช้ทำผนังด้านนอกเป็นอิฐทางโรงงานขนาด 6.5x11x20 เซนติเมตร อิฐที่ใช้ยึดผนังด้านนอกและด้านในเป็นอิฐทางโรงงานขนาด 6.5x11x39 เซนติเมตร วัสดุฉนวนที่จะทดสอบคือ อากาศ ขี้เถ้าขาวจากแกลบ และขี้เถ้าจากไม้ฝืน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเผาอิฐสำหรับเตาเผาอิฐ

1.4.2 ได้ทราบค่าความร้อนที่สูญเสียออกจากผนังของเตาเผาอิฐแบบเดิมและแบบใหม่

1.4.3 ได้ทราบถึงฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมสำหรับเตาเผาอิฐอุตสาหกรรมในครัวเรือน

1.4.4 ได้เตาเผาอิฐแบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงกว่าเตาแบบเดิม

- 1.4.5 ได้ทำให้ผู้ประกอบการทราบถึงต้นทุนที่แท้จริงของค่าพลังงานในการเผาอิฐ
- 1.4.6 ได้ช่วยผู้ประกอบการลดต้นทุนการเผา และลดการใช้ไม้ฟืนในการเผา

1.5 สถานที่ดำเนินงานวิจัย

- 1.5.1 โรงอิฐบ้านชุมเงิน 74 หมู่ 8 ตำบลโคกสว่าง อำเภอนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด
- 1.5.2 โรงอิฐมอญเมืองยศ ตำบลทุ่งนางโกล อำเภอมือง จังหวัดยโสธร
- 1.5.3 ศูนย์เรียนรู้เศรษฐกิจพอเพียงบ้านดอนมัน ตำบลขามเรียง อำเภอมือง จังหวัดมหาสารคาม



บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับอิฐดินเผาและชนิดของอิฐ การผลิตอิฐ ประวัติ และวิวัฒนาการของเตาเผา ประเภทของเตาเผา ส่วนประกอบของเตาเผา กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการเผา เตาเผาอิฐชนิดต่าง ๆ ของโลก และวิธีการเผา ทฤษฎีทางความร้อน การถ่ายเทความร้อน และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 อิฐและชนิดของอิฐ

อิฐดินเผา หรืออิฐมอญ (สยาม ณรงค์ฤทธิ, 2533) เป็นอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไปโดยมีการผลิตกันทุกภาคของประเทศไทยตั้งแต่รูปแบบของอุตสาหกรรมในครัวเรือนจนกระทั่งถึงการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตอิฐมอญได้แก่ ดินเหนียว ผสมกับแกลบ หรือขี้เลื่อยอย่างใดอย่างหนึ่ง คุณสมบัติของอิฐมอญนั้นสามารถให้ความร้อนถ่ายเทเข้าออกได้ง่าย และเก็บความร้อนสะสมไว้ในตัวเองเป็นเวลานาน ก่อนที่จะค่อย ๆ ถ่ายเทสู่ภายนอก เนื่องจากอิฐมอญมีความจุความร้อนสูงจึงเหมาะกับการใช้กับบริเวณที่ใช้งานเฉพาะช่วงกลางวัน อิฐมอญ เป็นหนึ่งในผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน (มผช.) รองรับโดยเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานประกอบด้วยลักษณะทั่วไป ที่ต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าวอาจจะบิ่นได้เล็กน้อยมีความลาดเคลื่อนของรูปทรง ที่ความกว้าง ความยาวและความหนา ไม่เกิน ± 5 มิลลิเมตร มีความต้านทานแรงอัดไม่น้อยกว่า 7 เมกะปาสคาล และการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 25 อุณหภูมิที่เผาให้สุกตัวควรอยู่ในช่วง 950-1100 องศาเซลเซียสเพื่อให้อิฐมีความแกร่งโดยไม่มีการหดตัวหรือผิรุ่ยมากเกินไป

การแบ่งชนิดของอิฐโดยใช้ลักษณะการแบ่งตามขั้นตอนกรรมวิธีการผลิตได้ดังนี้ (พงพันธ์ วรสุนทรโรสถ และวรพงศ์ วรสุนทรโรสถ, 2546)

อิฐที่ทำด้วยมือ ขนาดของอิฐจะไม่มีขนาดสม่ำเสมอเท่าที่ควร ทำให้เกิดความลาดเคลื่อนของอิฐได้ ทั้งนี้มีสาเหตุมาจาก แรงที่ใช้ในการอัดไม่เท่ากัน แบบของอิฐไม่เท่ากัน ส่วนผสมที่ไม่สม่ำเสมอทำให้การหดตัวของดินที่ใช้ในการผลิตไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามมีการใช้ในงานก่อสร้างได้เป็นอย่างดีและยังเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน โดยแหล่งที่ทำมีอยู่ทั่วไป เช่น อยุธยา สิงห์บุรี เชียงใหม่ เป็นต้น

อิฐที่ทำด้วยเครื่องมือกล ซึ่งเป็นกรรมวิธีในการผลิตดีกว่าอิฐที่ทำด้วยมือ เป็นอิฐที่มีความหนาแน่นดี แบบหรือแม่พิมพ์ของอิฐชนิดนี้ทำด้วยเหล็กทำให้มีความอิฐมีความสม่ำเสมอ แรงอัดที่

สม่าเสมอทำให้มีความหนาแน่นเสมอกันดี วัสดุที่ใช้ทำอิฐชนิดนี้เป็นดินเหนียวที่มีคุณภาพดีอยู่แถว จังหวัดพระนครศรีอยุธยา และอ่างทองซึ่งตามเส้นทางจากอยุธยา ป่าโมกข์ อ่างทอง จะเห็นโรงงาน อิฐชนิดนี้อยู่มากมาย

อิฐที่มีคุณภาพดีและเป็นที่ต้องการของตลาดต้องมีลักษณะดังนี้ (สยาม ณรงค์ฤทธิ, 2533)

- 1) ผลิตด้วยเครื่องจักรหรือด้วยแรงงานคนอย่างประณีต
- 2) มีความสูงเสมอกันทั้งก้อน
- 3) มีความแข็งแรงไม่แตกง่าย
- 4) มีรูปร่างลักษณะเรียบร้อยไม่บิดหรือแฉ่น
- 5) ทุกเหลี่ยมของอิฐต้องได้ฉากตลอด
- 6) มีขนาดเท่ากันทุกก้อน
- 7) เมื่ออิฐหักจะมองเห็นเนื้อภายในคล้ายหินที่แน่นมากไม่มีรูพรุนไม่มีรอยแตกร้าว
- 8) โดยทั่วไปขนาดความยาวของอิฐควรเป็นสองเท่าของความกว้าง

2.2 การผลิตอิฐของโรงอิฐบ้านขุมเงิน

ในกระบวนการการผลิตอิฐของโรงอิฐบ้านขุมเงินที่ผู้วิจัยเข้าไปทำการศึกษา มีขั้นตอนในการผลิตอยู่ 7 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

1) หมักดิน

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำดินเหนียวที่ได้เตรียมไว้มาลงในบ่อหมักโดยแล้วเปิดน้ำลงในบ่อพอประมาณเพื่อให้เนื้อดินเหนียวที่แข็งๆแตกตัวและอ่อนตัวลงใช้เวลาประมาณ 1-3 วัน เมื่อดินเหนียวหมัก ได้ที่แล้วก็จะถูกตักขึ้นมากองเตรียมไว้เพื่อที่จะรอดักใส่เครื่องในขั้นตอนต่อไป โดยการตักดินเหนียวมากองไว้ นั้นจะผสมกับทรายละเอียดทำเป็นชั้นสลับกัน อัตราส่วน 2:1 โดยประมาณ (ขึ้นอยู่กับความเหนียวของดิน) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การหมักดินก่อนนำไปรีดขึ้นรูปเป็นก้อนอิฐ

2) เครื่องรีดดิน (Extrusion)

ดินที่หมักแล้วจะถูกตักมาใส่ที่เครื่องนี้ ซึ่งดินจะถูกกบดในตัวเครื่องดันเข้าไปในท่อเกลียวแล้วดินถูกดันออกทางด้านหน้าเครื่องผ่านแม่พิมพ์อิฐตามที่ต้องการเป็นเส้นดินยาวๆก่อนที่จะถูกตัดเป็นก้อนด้วยเครื่องตัดแบ่งก้อนอิฐอัตโนมัติ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เครื่องรีดดิน (Extruder) สำหรับรีดดินเหนียวให้เป็นเส้น

3) เครื่องตัดแบ่งก้อนอิฐอัตโนมัติ

เมื่อเส้นดินยาวๆที่ไหลออกมาจากเครื่องรีดมาผ่านเครื่องนี้ ซึ่งจะทำหน้าที่ตัดแบ่งเส้นดินให้เป็นก้อนด้วยลวดตัดที่ติดกับเครื่องตามขนาดความยาวที่ได้ตั้งค่าไว้ ดังแสดงในภาพที่ 3 จากนั้นอิฐที่ถูกตัดเป็นก้อนแล้วจะถูกดันเข้าสู่สายพานลำเลียงเพื่อให้คนงานหยิบใส่ถาดไม้รองและนำไปตากต่อไป

พหุ ประถมศึกษา



ภาพที่ 3 เครื่องตัดแบ่งก้อนอิฐอัตโนมัติสำหรับตัดเส้นดินให้เป็นก้อน

4) การตากอิฐให้แห้ง

ในขั้นตอนนี้อิฐที่ถูกตัดเป็นก้อนแล้วจะไหลมาตามสายพานลำเลียงแล้วจะถูกคนงานจับออกไปเรียงในใส่ถาดไม้รอง (พาเลทไม้) หลังจากที่คนงานเรียงอิฐจนเต็มพาเลทแล้ว รถโฟล์คลิฟจะตักเอาถาดไม้รองนี้ไปยังลานตาก ดังแสดงในภาพที่ 4 เพื่อตากอิฐให้แห้งก่อนที่จะนำไปเข้าเตาเผาต่อไป



ภาพที่ 4 การตากอิฐให้แห้งก่อนนำไปเผา

5) การเรียงอิฐเข้าเตาเผา

หลังจากที่อิฐถูกนำมาตากได้ประมาณ 4-7 วันโดยประมาณ (ขึ้นกับสภาพอากาศ) อิฐในพาเลทจะถูกกรรไกรฟอล์คลิฟต์ตักไปเข้าเตาเผาอิฐ อิฐที่ตักมาจากลานตากจะถูกเรียงขึ้นเป็นแผงๆ ละเท่าๆกันในเตาโดยมีระยะห่างระหว่างแผงแต่ละแผงและผนังประมาณ 10-15 เซนติเมตรและแผงอิฐมีความหนาประมาณ 30-45 เซนติเมตรโดยที่ฐานล่างของแผงจะเรียงอิฐให้เป็นช่องว่างสูงประมาณ 7-9 ชั้น ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเรียงอิฐสี่รูในเตาเผาให้เต็มเตาก่อนทำการเผา

6) การเผาอิฐ

เมื่อเรียงอิฐจนเต็มเตาแล้ว จะทำการปิดเตาด้วยอิฐสุกที่ทางเอาอิฐเข้าจนเต็มแล้วฉาบด้วยโคลนเพื่อกันความร้อนออก ส่วนด้านบนของเตาจะเอาอิฐที่สุกแล้วก้อนใหญ่ปิดจนเต็มด้านบนของเตาแล้วปิดทับด้วยทรายอีกชั้นเพื่อกันความร้อนออก ก่อนที่จะทำการเผาอิฐจะมีการจุดไฟเพื่ออุ่นเตาและไล่ความชื้นออกจากอิฐก่อน ในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 1-2 วัน ก่อนที่จะทำการเผาอิฐ

เมื่ออุ่นเตาได้ที่และไล่ความชื้นออกจากอิฐจนหมดแล้ว (สังเกตจากไอน้ำขาวๆจะหมด) จะเริ่มทำการเผาอิฐด้วยการเติมไม้ฟืนเข้าไปในห้องเผาประมาณครึ่งหนึ่งของห้องเผานั้นปิดห้องเผาแล้วเปิดพัดลมอัดอากาศเข้าไปในห้องเผาประมาณ 1-1.5 ชั่วโมงค่อยปิดพัดลมอัดอากาศ เปิดประตูห้องเผาแล้วเติมไม้ฟืนใหม่อีกรอบ ทำซ้ำอย่างนี้จนครบ 36 ชั่วโมง จึงหยุดเติมไม้ฟืนปิดพัดลมอัดอากาศแล้วรอให้ไม้ฟืนไหม้จนเป็นถ่านให้หมดจึงปิดพัดลมเป็นการเสร็จสิ้นการเผา ดังแสดงในภาพที่ 6 จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง เพื่อเป็นการอบความร้อนไว้ก่อน จึงจะเปิดเตาทิ้งไว้อีก 12 ชั่วโมง เพื่อให้อิฐเย็นแล้วสามารถเก็บออกขายได้



ภาพที่ 6 การเผาอิฐให้สุกด้วยเตาแบบสี่เหลี่ยมชนิดความร้อนลง

7) การเก็บอิฐออกจากเตาเผาเพื่อนำไปจำหน่าย

หลังจากอิฐในเตาเย็นแล้วคนงานจะเข้าไปเอาอิฐที่สุกแล้ว เรียงใส่พาเลทไม้จนได้จำนวนชั้นที่ต้องการแล้วจะเอาฟิล์มพันพาเลทมาพันอิฐไว้เพื่อกันอิฐร่วงหรือหล่นออกจากพาเลท ดังแสดงในภาพที่ 7 หลังจากทีคนงานเก็บอิฐได้เต็มพาเลทแล้วรถโฟล์คลิฟท์จะตักพาเลทอิฐออกไปยังลานเก็บสต็อกและรอการขายต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 7 การเรียงอิฐสุกชนิด 4 รูใส่พาเลทเพื่อนำไปจำหน่าย



ภาพที่ 8 ลานเก็บอิฐที่แพคใส่พาเลทแล้วเพื่อรอการจำหน่าย

2.3 ประวัติและวิวัฒนาการของเตาเผา

หนังสือ “เตาและการเผา (Kiln & Firing)” ของ (ทวี พรหมพฤษภ์, 2525) ได้กล่าวไว้ว่าเตาเผา (Kiln) ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน นับได้ว่าประสบความสำเร็จก้าวหน้ามาตามลำดับ สามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูงและสามารถเผาต่อเนื่องกันได้ตลอดเวลา ซึ่งผลสำเร็จทั้งหลายได้มาจากการวิวัฒนาการมาเป็นเวลาไม่น้อยกว่าพัน ๆ ปี โดยเริ่มตั้งแต่เตาเผาแบบขุดหลุมตื้น (Primitive Shallow-pit Kiln) บนพื้นดินและต่อมาก็ขุดเป็นโพรงตามแหล่งธรรมชาติ เช่นเตาเผา (Bank Kiln) ต่ลิง ตลอดจนเผาในถ้ำ เตาเผาจอมปลวกที่มีชื่อเสียงมากของญี่ปุ่นเรียกว่า แอนกามา (Angama) ภายหลังจากต่อมาเมื่อมนุษย์มีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น รู้จักการควบคุมความร้อน การให้ความร้อน ตลอดจนเทคนิคต่าง ๆ จึงได้มีการสร้างเตาเผาขึ้น ตามข้อสันนิษฐานเตาเผาที่เก่าแก่ที่สุดและสร้างก่อนสมัยคริสตศักราชที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา มีลักษณะรูปร่างเป็นรูปทรงกระบอกในประเทศอียิปต์โบราณ แต่เป็นเตาที่ใช้อุณหภูมิต่ำไม่มากนัก ประมาณว่าในศตวรรษที่ 10 การทำเครื่องปั้นดินเผาของจีนได้ประสบความสำเร็จและเจริญก้าวหน้าเป็นอันมาก สาเหตุนี้เนื่องจาก จีนได้มีการออกแบบก่อสร้างเตาชนิดที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง สามารถเผาได้ในอุณหภูมิสูง จึงทำให้เครื่องปั้นดินเผาของจีนมีชื่อเสียงมากและเป็นชาติแรกในโลกที่สามารถทำผลิตภัณฑ์ชนิด เปอร์สเลน (Porcelain) ได้เป็นผลสำเร็จดังมาต่อมาในปีศตวรรษที่ 18 การทำเครื่องปั้นดินเผาขยายตัวในรูปแบบอุตสาหกรรม ได้มีการออกแบบสร้างเตาชนิดเตาแบบระบายความร้อนขึ้น (Updraft Kiln) และภายหลังจากก็สร้างเตา

แบบทางลมร้อนลง (Downdraft kiln) เป็นครั้งแรกในประเทศอังกฤษ มีชื่อว่าเตามินตัน (Minton) เป็นเตาชนิดที่สามารถเผาในอุณหภูมิสูงอีกแบบหนึ่ง การออกแบบก่อสร้างเตาเผา ได้กระทำกันอย่างกว้างขวาง ได้มีการศึกษาเทคนิคต่าง ๆ ตลอดจนฝึกทักษะอย่างชำนาญ พอมาในสมัยกลางศตวรรษที่ 19 ได้มีผู้ออกแบบสร้างเตาแบบต่อเนื่อง เกิดขึ้นเป็นครั้งแรก เป็นเตาแบบวงแหวน (Ring Kiln) ในปี ค.ศ. 1889 โดย Mr. Fangeron เป็นชาวฝรั่งเศสได้ศึกษาค้นคว้าสร้างเตาแบบอุโมงค์ขึ้น (Tunnel Kiln) เป็นผลสำเร็จ เป็นเตาที่มีประสิทธิภาพสูงสามารถเผาได้ติดต่อกันโดยไม่ต้องหยุดเลย

ประเทศไทยได้ชื่อว่าเป็นประเทศที่มีเครื่องปั้นดินเผาที่รู้จักกันทั่วโลก ซึ่งได้แก่เครื่องสังคโลก ทำขึ้นในสมัยสุโขทัย ซึ่งมีอายุประมาณหลายร้อยปีมาแล้ว โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ก็ย่อมหมายถึงมีเตาเผาดี เเผาในอุณหภูมิสูง ซึ่งมีชื่อเรียกว่า

- 1) เตาเวียงกาหลง
- 2) เตาสันกำแพง
- 3) เตาทุเรียง

โดยมีรายละเอียดของเตาเผาแต่ละชนิด ดังนี้

- 1) เตาเวียงกาหลง

เป็นเตาที่ค้นพบในจังหวัดเชียงรายเขตอำเภอเวียงป่าเป้าลักษณะโดยทั่วไปของเตาเผาใช้อิฐก่อเป็นตัวเตาเป็นเตายาวสร้างขนานกับพื้นดินมีปล่องไฟหลังคาต่อโค้งตามหลักฐานที่สำรวจตัวเตามีขนาดกว้าง 2 เมตรยาว 4.30 เมตร ปล่องไฟเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.12 เมตรผนังเตาหนา 0.40 เมตร ภายในเตามีฐานกว้างไว้บรรจุผลิตภัณฑ์เผาเคลือบ

ผลิตภัณฑ์เวียงกาหลงเขียนลวดลายด้วยสีดำใต้เคลือบ(Under Glaze Decoration) ลวดลายที่เขียนตกแต่งเป็นลวดลายเรียบแบบธรรมชาติ (พันธุ์พฤกษา) ภาชนะที่ทำขึ้นส่วนใหญ่เป็นถ้วยชามคนโทกระปุก ไห เท้าที่ค้นพบ

- 2) เตาสันกำแพง

เป็นเตาที่ค้นพบในภาคเหนือในเขตอำเภอสันกำแพงจังหวัดเชียงใหม่ ลักษณะของเตาโดยทั่วไปมีลักษณะเป็นเตายาวเป็นรูปไข่ตามหลักฐานที่สำรวจกว้าง 1.55 เมตรยาว 3.60 เมตร ผนังเตาหนา 0.6 เมตรใช้อิฐก่อตัวเตาเป็นอิฐชนิดบนทรายโครงสร้างหลังคาเตาเป็นรูปโค้งพื้นที่ภายในเตาแบ่งออกเป็น 2 ตอนคือที่ใส่ไฟและที่วางภาชนะเคลือบพื้นเตาสร้างลาดเอียงประมาณ 30 องศา มีปล่องติดตัวเตา เตาสันกำแพงเป็นเตาที่สามารถเผาให้อุณหภูมิสูงมากสังเกตได้จากเนื้อผลิตภัณฑ์เคลือบเสียงกังวานชั้นสโตนแวร์ (stoneware) เตาสันกำแพงเท้าที่ค้นพบประมาณ 200 เตาเป็นเตาชนิดเดียวกันหมดลักษณะของผลิตภัณฑ์สันกำแพงเนื้อดิน (Body) หยาบกว่าเตาสุโขทัยเคลือบมีลักษณะเป็นเคลือบด้านข้อสังเกตอีกประการหนึ่งเวลาเคลือบปากและก้นถ้วยภาชนะจะไม่มีเคลือบเลย ลวดลายที่ตกแต่งนิยมเขียนเป็นรูปปลาคู่กลับหัวกลับหางกันลวดลายออกแบบวงกลมแบบพฤษชาติ

และบุบพขาดินนอกจากนี้ยังมีลวดลายเป็นรูปสัตว์ต่าง ๆ การบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาตามข้อสันนิษฐานว่าใช้บรรจุทางด้านช่องใส่ไฟเวลานำของออกจากเตาก็เช่นเดียวกันปัจจุบันเตาสันกำแพงถูกทอดทิ้งเหลือแต่ซากและยังถกเถียงกันอยู่ว่าเตาสันกำแพงกับเตาสุโขทัยอันไหนมีอายุมากกว่ากัน

3) เตาทุเรียง

เตาทุเรียงเป็นเตาที่เกิดขึ้นในสมัยสุโขทัยเป็นเตาที่เผาผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อเสียงไปทั่วโลก เรียกว่าเครื่องสังคโลกอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาได้เจริญรุ่งเรืองในสมัยสุโขทัยจนถึงอยุธยาตอนต้น ตรงกับประเทศจีนในสมัยราชวงศ์ซ่งราชวงศ์หยวนและราชวงศ์หมิง แหล่งที่พบเตาเผาในสมัยสุโขทัยมี 3 แหล่งด้วยกันกล่าวคือ

ก) เตาที่เมืองสุโขทัยเก่าตั้งอยู่บริเวณริมแม่น้ำโจนตามที่สำรวจพบมีอยู่ประมาณ 49 เตาเรียงรายเป็นกลุ่มเป็นเตาที่เผาผลิตภัณฑ์ภาชนะใช้สอยเป็นส่วนใหญ่นิยมเขียนลวดลายใต้เคลือบ ตกแต่งด้วยสีดำสีน้ำตาลเคลือบสีเขียวไขกานานิยมเขียนลวดลายด้วยพู่กันมีลวดลายเป็นปลาตายดอกไม้ใบไม้และลายจักร

ข) เตาเผาที่ป่ายาง (อำเภอสวรรคโลก) ศรีสังขาลัยเป็นเตาที่ก่อขึ้นนอกเหนือกำแพง เป็นเตาที่มีขนาดใหญ่ก่อด้วยอิฐเป็นเตาเผาภาชนะถ้วยชามเครื่องประกอบสถาปัตยกรรมเช่นยักษ์ มังกรนิยมใช้ตกแต่งลวดลายใต้เคลือบด้วยสีดำฝีมือประณีตเป็นสินค้าส่งออกจำหน่ายในต่างประเทศ

ค) เตาเผาที่ตั้งอยู่บนเกาะน้อยสวรรคโลกตั้งอยู่ริมแม่น้ำยมนอกเมืองศรีสังขาลัยเขต อำเภอสวรรคโลกมีแหล่งเตาเป็นจำนวนมากมีการเผาเครื่องถ้วยชามเคลือบเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง เป็นแหล่งผลิตที่สำคัญและเป็นที่ยอมรับทั่วไปในเอเชียอาคเนย์ภาชนะที่ผลิตขึ้นเป็นชามจานจานเชิงโถ ขวดนิยมใช้เคลือบด้วยสีต่าง ๆ

สีเคลือบที่เรียกว่าผลิตภัณฑ์เซราดอนของสวรรคโลกมีคุณภาพดีเป็นมันแวววาวมีสีเขียวไขกานาและสีเขียวอมฟ้า (Turquoise)

เตาทุเรียงที่บ้านเกาะน้อยมีลักษณะเป็นเตานอน ก่อยาว 9.80 เมตรกว้าง 3.18 เมตรเป็นเตาสร้างบนเนินดินมีคันทันไฟสูง 0.85 เมตรความหนาผนังเตา 0.30 เมตรเอียงลาดประมาณ 85 องศาใช้ฟันเป็นเชื้อเพลิงเตาเผาสวรรคโลกที่ใช้รองเคลือบ (Stilts) เป็นเตาที่เผาให้ความร้อนสูงมากเพราะพบภาชนะบิดเบี้ยวมาก อุณหภูมิที่ใช้เผาไม่ต่ำกว่า 1000 องศาเซลเซียส

โดยเฉพาะกลองเตาทุเรียงมีขนาดใหญ่มากเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.80 เมตรยาว 1.8 เมตรการเผาผลิตภัณฑ์ของเตาทุเรียงสันนิษฐานว่าเผาแบบรีดักชันรีดักชัน (Reduction) จะเห็นได้จากภาชนะสีเขียวไขกานาในเตาทุเรียงไม่ปรากฏพบจ้อหรือหีบทนไฟในเตาเลยพบแต่ชิ้นส่วนรูปทรงกระบอกใช้รองรับผลิตภัณฑ์เวลาเผาเคลือบ

2.4 ประเภทของเตาเผา

เตาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ได้มีผู้ออกแบบตลอดจนรูปร่างขนาดให้เหมาะสมกับความต้องการ และมีประสิทธิภาพสูงประหยัดเชื้อเพลิงปลอดภัยควบคุมสะดวกได้แบ่งประเภทตามลักษณะต่าง ๆ กล่าวคือ

- 1) แบ่งตามประเภทการใช้งานของเตา
- 2) แบ่งตามประเภททางเดินของลมร้อน
- 3) แบ่งตามลักษณะของเปลวไฟ
- 4) แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิง

2.4.1 แบ่งตามประเภทการใช้งานของเตา (Parodic Kiln)

หมายความถึงเตาชนิดต่าง ๆ จะเป็นเตาน้ำมันเตาแก๊สเตาไฟฟ้าเตาฟืนโดยเผาเป็นครั้งคราวเผาแบบกึ่งต่อเนื่องหรือเผาตลอดเวลา (Continuous Kiln) แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิตที่จะต้องการจะสนองความต้องการของอุตสาหกรรมซึ่งแบ่งออกเป็นชนิดต่าง ๆ คือ

1) เตาเผาที่ไม่ต่อเนื่องอัน (Un Continuous Kiln) หมายถึงเตาเผาที่เผาเป็นครั้งคราวโดยเผาไม่ติดต่อกันต้องใช้เวลานานพอสมควรเพื่อให้เตาเย็นจึงจะมีการบรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตาใหม่เป็นเตาที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมภายในครอบครัวงานค้นคว้าวิจัยงานทดลองต่าง ๆ

2) เตาเผาชนิดกึ่งการต่อเนื่อง (Semi Continuous Kiln) เป็นเตาที่สามารถเผาเกือบจะติดต่อกันไปทำให้เป็นการประหยัดเชื้อเพลิงโดยอาศัยความร้อนส่วนหนึ่งของเตาเผาและควรเป็นเตาที่ใช้รถบรรจุผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นอีกคันหนึ่งหมุนเวียนสลับกันไปซึ่งกำลังเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไป

3) เตาเผาชนิดที่เผาต่อเนื่อง (Continuous Kiln) เป็นเตาเผาแบบอุโมงค์ (Tunnel kiln) หรือเตาแบบวงแหวนเป็นเตาที่ออกแบบให้เผาติดต่อกันได้ตลอดเวลาเป็นเตาที่มีระบบการควบคุมอย่างดีลงทุนสูงใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

2.4.2 แบ่งตามประเภทของทางเดินลมร้อน

เป็นการออกแบบเตาเผาที่ให้ความร้อนเดินไปในทิศทางที่ต้องการและได้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพสูงในการใช้งานกล่าวคือ

1) เตาเผาชนิดทางเดินลมร้อนในแนวนอน (horizontal Draft kiln) เป็นเตาชนิดที่มีรูปร่างยาวขนานกับพื้นดินหลังคาโค้งตลอดจนถึงแนวปล่องเป็นเตาที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงและสามารถเผาได้อุณหภูมิสูงซึ่งได้แก่เตาจีนเตาภูเตาเผาเคลือบเซรามิคที่เชียงใหม่เตาเผาสังคโลกที่มีชื่อเสียงในสมัยสุโขทัยปัจจุบันเตาแบบนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมเนื่องจากต้นทุนในการผลิตสูงและเชื้อเพลิงที่ใช้ก็หายากเช่นกันและอีกประการหนึ่งต้องคอยควบคุมตลอดเวลา

2) เตาเผาชนิดทางลมร้อนขึ้น (Updraft kiln) เป็นเตาที่ลงทุนสร้างไม่สู้แพงนักเป็นเตาที่สร้างง่ายแต่อุณหภูมิเผาได้ไม่สูงมากนักเป็นเตาเผาเคลือบไฟฟ้าต่ำได้ดีเตาชนิดนี้ผู้สร้างจะต้องเรียงตะกรับ (Checker work) หลายๆชั้นจะช่วยให้ความร้อนภายในเตาสมาเสมอความร้อนเท่ากันทั้งเตา

3) เตาเผาชนิดทางลมร้อนลง (Downdraft kiln) เป็นเตาที่มีบทบาทสำคัญมากเป็นเตาเผาที่สามารถเผาในอุณหภูมิสูงเป็นเตาเผาที่ใช้เทคนิคสูงและการลงทุนค่อนข้างแพงโดยเฉพาะวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างเตาต้องเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดีสามารถทนต่อสภาวะต่าง ๆ ปัจจุบันเตาประเภทนี้นิยมสร้างเป็นเตาน้ำมันเตาแก๊สสำหรับเตาแก๊สใช้อิฐประเภทเบา (insulating Brick) ช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้ดี

2.4.3 แบ่งตามประเภทของเปลวไฟ

เตาที่เผาผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันนี้เตาบางประเภทมักออกแบบเป็นเตาให้เปลวไฟสัมผัสผลิตภัณฑ์โดยตรงก็มีแต่เตาบางชนิดโดยเฉพาะเตาเผาเคลือบจะต้องออกแบบไม่ให้เปลวสัมผัสได้เลยซึ่งการออกแบบเตาเผาต้องมีลักษณะแตกต่างกันคือ

1) เตาเผาชนิดเปลวไฟสัมผัส (direct firing kiln) เป็นเตาขนาดใหญ่ใช้ผลิตภัณฑ์ประเภทสิ่งก่อสร้าง (Terra-cotta) อิฐกระเบื้อง ท่ออิฐทนไฟเป็นเตาเผาที่ให้อุณหภูมิสูงส่วนมากใช้เผาผลิตภัณฑ์ที่ไม่เคลือบ

2) เตาเผาชนิดกึ่งป้องกันเปลวไฟ (semi muffle kiln) เป็นเตาชนิดที่ออกแบบให้มีกำแพงไฟ (Buffle wall) ให้เปลวไฟสัมผัสกำแพงได้โดยตรงโดยสร้างกำแพงไฟอยู่เหนือช่องเผา (Firing Chamber) เตาชนิดนี้ใช้เผาเคลือบได้ดี

3) เตาเผาชนิดเตาปิด (Muffle kiln) เป็นเตาที่ออกแบบให้มีระบบป้องกันเปลวไฟสัมผัสโดยใช้วัสดุทนไฟสร้างเป็นเหตุป้องกันไฟโดยตรงใช้เผาเคลือบได้ดีหรือจะใช้ผลิตภัณฑ์ชนิดบนเคลือบก็ได้หีบทนไฟ (Sagger) ขนาดเล็กที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผา

2.4.4 แบ่งตามลักษณะเชื้อเพลิง

เตาที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์จะต้องออกแบบให้เหมาะสมกับเชื้อเพลิงตลอดจนรูปร่างและขนาดของเตาจะต้องดัดแปลงแก้ไขให้เหมาะสมกับงานรวมทั้งการประหยัดและให้ผลคุ้มค่ากล่าวคือ

1) เตาชนิดที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง (Wood Firing kiln) ผู้สร้างจะต้องออกแบบให้การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงได้ดีสามารถเผาได้อุณหภูมิสูงโดยเฉพาะถ้าจะต้องถ่ายเทได้สะดวกเตาที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงสร้างเป็นเตาชนิดต่าง ๆ ได้ตามต้องการ

2) เตาที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Coal Firing kiln) เป็นเตาที่เผาได้อุณหภูมิสูงแต่การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงจะต้องออกแบบให้เหมาะสมช่องที่จะใส่เชื้อเพลิงและการระบายชี้ถ่านในเตาต้องให้สมดุลกัน

3) เตาชนิดใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง (Gass Firing kiln) เป็นเตาเผาที่ให้อุณหภูมิสูงสามารถเผาแบบOxidizing หรือ Reduction

4) เตาเผาชนิดใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง (Oil Firing kiln) ออกแบบให้ใช้น้ำมันประเภทโซล่า (Light Oil) หรือน้ำมันเตา (Heavy Oil)

5) เตาเผาชนิดไฟฟ้า (Electric Firing kiln) เป็นเตาเผาที่สามารถให้อุณหภูมิสูงและสามารถเร่งความเร็วได้ตามต้องการเป็นเตาที่เผาแบบOxidizingเท่านั้น

2.5 ส่วนประกอบของเตาเผา

เตาเผามีส่วนประกอบที่สำคัญหลายประการทำให้เตามีประสิทธิภาพในการทำงานโดยหลักการทั่ว ๆ ไป

1) ห้องเผา (Firing Chamber) โดยปกติแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

ก) ส่วนบน (Top Parts)

ข) ส่วนกลาง (Middle Part)

ค) ส่วนล่าง (Bottom Part)

เตาที่มีประสิทธิภาพในการทำงานดีจะต้องให้ความร้อนทุกส่วนมีความร้อนสม่ำเสมอทุก ๆ ครั้งที่ปฏิบัติการเผา

2) ผนังเตาไฟ (Fire Wall)

โดยปกติผนังเตาก่อด้วยอิฐ 2 ชั้นทำหน้าที่ควบคุมความร้อนอิฐผนังภายในเตา (Lining) จะใช้อิฐทนไฟที่มีคุณภาพดีถ้าเป็นเตาไฟฟ้าหรือเตาแก๊สจะใช้อิฐทนไฟชนิดเบา (insulating brick) ส่วนภายนอกจะหุ้มด้วยอิฐทนไฟธรรมดาหรืออิฐก่อสร้างก็ได้ถ้าเป็นเตาชนิดที่ต้องเผาในอุณหภูมิสูงอาจจะหุ้มด้วยฉนวนทนความร้อนอีกชั้นหนึ่ง

3) พื้นเตา (Floor)

ทำหน้าที่รับน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่เข้าเตาเผาในสมัยโบราณเตาที่สร้างบนพื้นดินเช่นเตาสมัยสุโขทัยเตาจีนนิยมใช้ทราย (Silica) รองพื้นเตาใช้ป้องกันน้ำเคลือบเสียดพื้นเตาปัจจุบันเตาเปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะเตาทางลมร้อนลง (Downdraft kiln) ต้องออกแบบพื้นเตาให้มีช่องระบายลมร้อนลงเป็นแบบเตาหมากรุกทั่ว ๆ ไปบนพื้นเตาส่วนเตาชนิดทางลมร้อนขึ้น (Updraft kiln) จะต้องเจาะพื้นเตาให้ความร้อนขึ้นได้สะดวก (Checker wark) เตาชนิดทางลมร้อนขึ้นควรสร้าง (Checker wark) หลายชั้นเพราะช่วยให้ความร้อนสม่ำเสมอดีทั่วทั้งเตา

4) ปล่องไฟ (Chemy)

เตาที่ใช้ฟืนแก๊สน้ำมันถ่านต้องออกแบบเตาให้ปล่องไฟเพื่อช่วยให้การลุกไหม้ของเชื้อเพลิงได้ดีโดยเฉพาะเตาฟืนปล่องต้องมีขนาดโตส่วนเตาแก๊สน้ำมันมีขนาดเล็กกว่าส่วนเตาไฟฟ้าจะไม่มีปล่องเตาเหมือนเตาชนิดอื่น

5) กำแพงไฟ (Buffle wall)

อยู่ภายในเตาโดยเฉพาะเตาน้ำมันเตาแก๊สเป็นตัวการป้องกันไม่ให้เปลวไฟที่ออกจากหัวพ่นจะสัมผัสกำแพงไฟ (Buffle) อิฐทนไฟที่ใช้ก่อกำแพงไฟต้องเป็นอิฐทนไฟที่มีคุณภาพดี

6) หัวพ่น (Burnner)

ปัจจุบันหัวพ่น (Burnner) มีทั้งชนิดที่ใช้น้ำมันและแก๊สหัวพ่นที่ใช้กับน้ำมันชนิดที่ใช้พัดลม(Blower) ในตัวก็มีชนิดที่แยกต่างหากก็มี แต่ที่นิยมในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถใช้งานเผาได้ติดต่อกันตลอดเวลาส่วนหัวพ่นแก๊สนิยมใช้หัวพ่นแบบเวนจูรี (Venturi) ใช้อากาศปรับได้ในตัว

7) หลังคาเตา (Crown)

เตาที่ใช้เผาขนาดใหญ่หลังคาเตาต้องออกแบบให้โค้งเพราะทรงตัวได้ดีเนื่องจากการเผาที่มีความร้อนสูงและเป็นจุดอ่อนโอกาสที่พังทลายมีอยู่มากจึงนิยมออกแบบในเตาขนาดใหญ่มีหลังคาโค้งทุกเตาการเรียงอิฐหลังคาเตาก็ต้องมีเทคนิคสูงเกี่ยวกับการหดตัวและขยายตัวของอิฐซึ่งสำคัญมากและอาจทำให้หลังคาเตายุบพังได้ง่าย

8) ประตูเตา (Door)

ใช้ทำหน้าที่ปิดเปิดในการบรรจุของเข้าเตา การเอาของออกจากเตาเตาชนิดที่ใช้บรรจุของเข้าเตามักจะออกแบบประตูติดกับตัวรถบางแบบออกแบบติดกับเตาประตูเตามักจะเจาะช่องไว้ 2 ระดับไว้สังเกตสีของไฟส่วนเตาไฟฟ้าประตูเตานั้นก็คือฝาด้านบนเองโดยเฉพาะฝาดูที่ติดต้องป้องกันความร้อนไม่ให้รั่วได้ต้องปิดเป็นลิ้นให้เข้ากันได้สนิทสำหรับเตาฟืนเตาจีนประตูเตาจะใช้อิฐเรียงบังไม่ให้ความร้อนออกในการเผาผลิตภัณฑ์ทุกครั้ง

9) รถบรรทุกผลิตภัณฑ์ (Kiln car)

เตาเผาชนิดที่ใช้รถส่วนมากเป็นเตาที่ใช้เชื้อเพลิงน้ำมันแก๊สไฟฟ้าโดยการออกแบบชนิดที่ใช้รถบรรทุกผลิตภัณฑ์เข้าเตาส่วนมากได้แก่เตาชนิด Shuttle Kiln โดยเฉพาะรถ (Kiln car) มีส่วนประกอบที่สำคัญคือส่วนบน (Car Top) ล้อและที่ป้องกันความร้อน (Stand seal) การบรรจุของในรถก็เช่นเดียวกับการบรรจุของเข้าเตาแบบที่ไม่มีรถต้องมีขารองและชั้นรองเช่นเดียวกันแต่ว่าคล่องตัวกว่าและกำลังเป็นที่นิยมในโรงงานอุตสาหกรรม

10) แผ่นบังคับความร้อน (Damper)

ส่วนมากเป็นเตาแก๊สเตาน้ำมันจะมีแผ่นDamper ซึ่งมักจะอยู่ในช่องที่ความร้อนจะไหลขึ้นสู่ปล่องทำหน้าที่คอยบังคับไม่ให้ความร้อนไหลเร็วจนเกินไป

11) เครื่องมือวัดอุณหภูมิ (Pyrometer)

เป็นเครื่องมือบอกความร้อนภายในเตาซึ่งสามารถบอกเป็นองศาเซนติเกรดหรือองศาฟาเรนไฮต์ได้ เครื่องวัดอุณหภูมิสามารถบอกเป็นตัวเลขหรือตารางกราฟก็ได้หรือจะใช้ตั้งแบบอัตโนมัติก็มี เครื่องวัดอุณหภูมิชนิดที่เทียบสีเรียกว่า Optical Pyrometer cone ชนิดที่ใช้วัตถุเข้าเผาในเตาเรียกว่า Pyrometric cone ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่ดีชนิดหนึ่ง

12) ช่องดูไฟ (Fire Hole)

เตาที่ใช้เผาผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผาผู้ที่ออกแบบสร้างเตาทุกชนิดทุกแบบจะต้องมีช่องดูไฟซึ่งมักจะเจาะไว้ 3 ระดับ เพื่อเปรียบเทียบสีของไฟใช้ดู cone ในการเผาในเตาไฟฟ้าใช้ทำหน้าที่ระบายแก๊สไปในตัวด้วย

13) อุปกรณ์เตา (Kiln Furniture)

เตาทุกชนิดต้องมีอุปกรณ์โดยเฉพาะชั้นรองไว้สำหรับวางผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาเคลื่อนที่นิยมใช้มี 2 ชนิดคือ Silicon carbide และ Cordierite เตาบางชนิดใช้หินไฟ Sagger ก็ได้ส่วนมากนิยมในเตาพื้น

2.6 การแบ่งประเภทของเตา

นอกจากวิธีการแบ่งประเภทของเตาตามหนังสือ “เตาและการเผา (Kiln & Firing)” ของ (ทวี พรหมพฤกษ์, 2525) แล้ว หนังสือเรื่อง “เครื่องปั้นดินเผา พื้นฐานการออกแบบและปฏิบัติงาน” ของ (สุขุมาล เล็กสวัสดิ์, 2548) ได้แบ่งประเภทของเตาเป็นดังนี้

- 1) แบ่งตามลักษณะของเตา
- 2) แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิง
- 3) แบ่งตามระบบทางเดินลมร้อน

2.6.1 แบ่งตามลักษณะของเตา (Kiln Type)

1) เตาเผาแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent Kiln หรือ Periodic Kiln)

เป็นเตาแบบเดียวซึ่งนิยมใช้ในระบบอุตสาหกรรมขนาดเล็กและขนาดกลางเพราะให้ผลผลิตไม่มากนัก มีวงจรการทำงานคือนำผลิตภัณฑ์เข้าเตาเผาให้เต็มเตาแล้วเริ่มเผาไปจนถึงสุกตัวจึงดับไฟจากนั้นปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวแล้วนำออกจากเตา เตาเผาแบบไม่ต่อเนื่องมีหลายแบบดังนี้

เตายืดตัวอยู่กับที่ (Stationary Periodic Kiln) เตาชนิดนี้มีหลายรูปทรงเช่นกลม เหลี่ยม รีหรือทรงแมงป่องแบบเตาจีน เป็นต้น เตาพวกนี้ใช้เผา ภาชนะที่มีคุณภาพปานกลาง เช่น กระจก หม้อ ไห เป็นต้น

ก) ตัวเตาเคลื่อนย้ายได้ (Portable Kiln) หมายถึง เตาเผาที่ผลิตตามสั่งหรือเตาสำเร็จรูปที่มีเอกสารคู่มือการใช้งานใช้ระบุนรายละเอียดต่าง ๆ อย่างชัดเจนและสามารถขนส่ง ไปยังจุดที่ต้องการใช้ได้สะดวกตามสถานศึกษาหรือสตูดิโอเซรามิก มักเลือกใช้เตาชนิดนี้

ข) เตายกหรือเตาครอบ (Elevator Kiln หรือ Top Hat Kiln) นิยมใช้ในโรงงานขนาดเล็กโดยเรียงผลิตภัณฑ์บนรถในที่โล่งเข็นรถไปได้เตาแล้วจึงลดเตาลงมาครอบผลิตภัณฑ์หรือทำอีกวิธีหนึ่งคือเรียงผลงานไว้กับที่แล้วเคลื่อนตัวเตาลงมาครอบ วิธีนี้เหมาะกับผลงานที่ละเอียดประณีต ราคาแพงหรือลืมนำเตาแบบนี้จะแพงกว่าเตาแบบที่ใช้รถเข็น

ค) เตารถเข็นหรือเตาชัตเติล (Shuttle Kiln) เป็นเตาที่นิยมใช้กันทั่วไปมากกว่าเตาชนิดอื่นโดยเฉพาะในโรงงานขนาดเล็กและขนาดกลาง สร้างบนพื้นฐานที่แข็งแรงมีประตูเตา ผลงานเรียงอยู่บนรถเข็นที่สามารถเคลื่อนที่เข้าเตาได้ การควบคุมอุณหภูมิการเผาทำได้ง่ายไม่ซับซ้อน มีตั้งแต่ขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่มากประมาณ 0.5-50 ลูกบาศก์เมตร

2) เตาชนิดหมุน (Rotary Kiln)

เป็นเตาที่ใช้เผาวัสดุให้เป็นเม็ด เช่นการเผาดินขาว เตาเผาซีเมนต์

ก) เตาเผาแบบต่อเนื่อง (Continuous Kiln)

เป็นเตาที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเป็นจำนวนมากในระบบอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ได้รับการพัฒนาในด้านการประหยัดพลังงานและความสะดวกในการทำงาน สามารถเผาผลิตภัณฑ์ได้ในที่อุณหภูมิต่าง ๆ ทุกชนิดทั้ง เผาดิบ เผาเคลือบ และเผาตกแต่ง โดยผลิตภัณฑ์มีคุณภาพสม่ำเสมอและได้ผลแน่นอนยังประหยัดค่าแรง และยังประหยัดค่าแรงและค่าซ่อมบำรุงอีกด้วย เตาเผาแบบต่อเนื่องแบ่งได้ดังนี้

ข) เตาอุโมงค์ (Tunnel Kiln) เป็นเตาที่มีกำลังผลิตสูงใช้ในระบบอุตสาหกรรม มีหลักในการเผาคือ วางผลงานบนรถเตาเมื่อรถเตาเคลื่อนเข้าผ่านอุโมงค์ เตาจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนไปถึงจุดสุกตัว จากนั้นอุณหภูมิจะลดต่ำลงและนำผลงานออกมาได้ทางอีกด้านหนึ่งของเตา ช่วงในการเผาแบ่งออกเป็นสามส่วนคือ ช่วงอุ่นเตา (Preheating Zone) เป็นช่วงที่อุ่นเตา เผาไอน้ำ และสารที่ไม่ต้องการต่าง ๆ ครวมถึงแก๊ส ช่วงที่สองคือ ช่วงการเผา (Firing Zone) และช่วงสุดท้ายคือ ช่วงเย็นตัว (Cooling Zone) เตาอุโมงค์มีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการเผาค่อนข้างนานและมีการสูญเสียจากการเก็บความร้อนจากรถเตา ชั้นเตาและเสาเตา นอกจากนั้นระยะเวลาที่ภาชนะเย็นตัวมีก็น้อยเกินไป

ค) เตาโรลเลอร์ฮาร์ท (Roller Harth Kiln) เตาชนิดนี้พัฒนาจากเตาอุโมงค์ให้มีความทันสมัยและประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น มีระบบการทำงานคือ เรียงผลงานบนลูกกลิ้งเพียงอย่าง

เดียวผลงานจะผ่านเข้าออกจากเตาโดยตรง ไม่ต้องมีรถและอุปกรณ์บรรทุกต่าง ๆ ผลงานจะเคลื่อนเป็นแนวระนาบเดียวกันและผ่านสภาพอุณหภูมิและบรรยากาศที่เหมือนกันในระยะเวลาสั้น ทำให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพใกล้เคียงกัน และประหยัดพลังงานได้ดีกว่าเตาอุโมงค์

ง) เตาแชมเบอร์และแอนนูลา (Chamber Kiln, 21nnull Kiln) เป็นเตาเผาแบบต่อเนื่องที่พัฒนามาจาก Hoffmann Kiln เป็นเตาเผาที่ควบคุมการให้ความร้อนเคลื่อนที่ผ่านผลิตภัณฑ์ ซึ่งตรงข้ามกับเตาอุโมงค์ที่ออกแบบให้รถเตาขึ้นผ่านความร้อนในอุณหภูมิต่าง ๆ กัน เตาแบบนี้เป็นการนำเอาเตาเดี่ยวหลายลูกมาเชื่อมเข้าด้วยกันเพื่อเป็นการประหยัดเชื้อเพลิง

2.6.2 แบ่งตามชนิดของเชื้อเพลิง (Fuel Type)

เชื้อเพลิงและพลังงานที่ใช้ในการเผาภาชนะมีหลายชนิด ควรเลือกใช้ตามความถนัดและความเหมาะสมกับวิธีการเผา รวมถึงงบประมาณด้วย

1) เตาฟืน

ไม่เป็นเชื้อเพลิงที่ใช้กันมานานตั้งแต่มนุษย์ยุคก่อนประวัติศาสตร์ในการเผาถลุงแร่ได้ง่ายๆ และได้มีการพัฒนาต่อมาเรื่อย ๆ เตาเผาที่ใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงมักเป็นเตาประเภทตัวเตายัดอยู่กับที่ นิยมทำกันทั่วโลกโดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่น และเกาหลี ซึ่งเป็นเตาบนเนินเขาหรือแบบขั้นบันไดที่มีตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่หลายห้องเผา การใช้ฟืนในการเผาทำให้ได้สีที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัวเนื่องจากเมื่อทำการเผาไประยะหนึ่งซึ่งถ้าจะก่อตัวขึ้นมาทำให้เกิดสีอย่างหลากหลายขึ้น การเผาเตาฟืนอย่างประสบความสำเร็จเตาเผาควรมีช่องใส่ฟืนที่กว้าง มีตะแกรงเตาที่ใหญ่สำหรับใส่เชื้อเพลิงและควรมีช่องว่างใต้ตะแกรงไว้เก็บขี้เถ้าจะได้ไม่ปิดบังการไหลเวียนของอากาศไปสู่เปลวไฟและลดกำลังความร้อน ปลอดภัยที่ใหญ่มากจะช่วยเปลวไฟและความร้อนลอยผ่านตลอดเวลา การเผาฟืนนี้อาจเผาานหลายวันขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะของเตา ตลอดจนผลงานที่อยู่ภายในด้วย เตาฟืนบางชนิดต้องใช้เวลาอุ่นก่อนการเผาถึง 2 วันจากนั้นเผาอีก 3-4 วัน อุณหภูมิจะสูงขึ้นพอดีและสามารถนำชิ้นงานตัวอย่างออกมาดูได้ในการเผาวันที่ 6 หลังจากการเผาเสร็จเตาจะถูกปิดอย่างแน่นหนาและปล่อยให้เย็นตัว 5-6 วันในกรณีที่ภาชนะขนาดใหญ่มาก แล้วจึงเปิดเตานำภาชนะออกมาได้ ปัจจุบันนี้ไม่เป็นเชื้อเพลิงที่ค่อนข้างหายากแต่ในพื้นที่บางแห่งยังพอลูกอยู่และยังทำการเผากันอย่างต่อเนื่องแต่การใช้เตาฟืนควรคำนึงถึงพื้นที่และการระบายอากาศเนื่องจากการเผาไม้จำนวนมากจึงควรใช้พื้นที่โล่งกว้างและอากาศถ่ายเทได้ดี

2) เตาถ่านหิน

การใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาเผาอันนี้ได้ทำกันเป็นเวลานานแล้ว ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงที่ราคาถูกและให้ค่าความร้อนต่อหน่วยสูง แต่มีปัญหาเรื่องการควบคุมคุณภาพของเชื้อเพลิงและเขม่าเมื่อเผาไม่จะมีแก๊สจากกำมะถันออกมาทำให้เกิดผลเสียต่อเนื้อดินปั้นและเคลือบ เตาโบราณทรงขวดและเตาอิฐที่ก่อขึ้นเพื่อใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจะต้องสร้างห้องไฟ (Fire box) หลายห้องรอบ

ๆ ห้องเตาเพื่อให้ความร้อนที่สูงเพียงพอ ขนาดของเตามีความสัมพันธ์กับการสูญเสียความร้อนดังนั้น จึงมักใช้กับเตาขนาดเล็กที่อุณหภูมิค่อนข้างสม่ำเสมอมากกว่า เช่น การเผาธาตุ

3) เตาน้ำมัน

น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงชนิดหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในการเผาเตาขนาดต่าง ๆ กัน และเป็นเชื้อเพลิงที่หาได้ง่ายในทุกที่ การใช้หัวพ่นไฟที่เหมาะสมทำให้สามารถเผาเตาขนาดใหญ่ได้ทั้งในบรรยากาศแบบออกซิเดชันและรีดักชัน ห้องไฟสำหรับเตาน้ำมันจะต้องสร้างจากอิฐคุณภาพดีและมีขนาดที่เหมาะสมต่อการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ การจุดเตาจะทำค่อนข้างลำบากเพราะต้องพ่นน้ำมันให้เป็นฝอยเล็กละเอียดมากที่สุดโดยต้องทำเตาให้ร้อนก่อนแล้วใช้พัดลมหอยโข่งช่วยเป่าลมให้น้ำมันติดไฟได้ดี

4) เตาแก๊ส

เตาแก๊สเป็นเตาที่นิยมใช้กันมากในหมู่ช่างปั้นที่มีสตูดิโอส่วนตัวและในระบบโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากแก๊สเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ได้สะดวกควบคุมง่ายมีราคาไม่แพงค่าใช้จ่ายในการเผาไม่สูงมากสามารถผลิตขนาดต่าง ๆ ได้ตามต้องการและเผาในบรรยากาศแบบรีดักชันได้ผลงานจากการเผาเตาแก๊สจะมีสีสันที่อ่อนนุ่มพื้นผิวแปลกตาการควบคุมการเผาสามารถทำได้ละเอียดมากขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความชำนาญในการเผาเตาแก๊สมีหลายขนาดขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการใช้งานเตาแก๊สขนาดใหญ่ควรมีหัวพ่นไฟหลายอันเพื่อกระจายความร้อนไปยังจุดต่าง ๆ ยังมีหัวพ่นไฟจำนวนมากก็ยิ่งเผาได้เร็วและควบคุมได้ดีขึ้นข้อเสียของเตาแก๊สคือต้องมีพื้นที่ระบายอากาศได้ดีเนื่องจากมีกลิ่นรบกวนและต้องต่อบกล่องไฟรอบรอบเตาแก๊สควรเว้นพื้นที่ไว้เพื่อเป็นการถ่ายเทอากาศในกรณีที่แก๊สรั่วออกมาจะได้กระจายออกไปคุ้มครองแล้วเบาปิดแก๊สควรอยู่ในที่ที่สามารถปิดได้โดยสะดวกเพื่อที่จะ ปิดได้อย่างรวดเร็วหากต้องการหยุดการเผากะทันหัน

5) เตาไฟฟ้า

เตาไฟฟ้าเป็นเตาที่ควบคุมง่ายมากและสะดวกต่อการใช้ ได้ผลมาค่อนข้างแน่นอนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นและการเผาในลักษณะสตูดิโอหรือโรงเรียน มีราคาไม่แพงมากและไม่จำเป็นต้องมีปลั๊กไฟทำให้ประหยัดพื้นที่ในการติดตั้ง เตาไฟฟ้ามีหลายลักษณะให้เลือกใช้และรูปร่างแตกต่างกัน เช่น เตากลม เตาสี่เหลี่ยม เตาที่ปิดด้านบน (Top Loading) เตาที่เปิดด้านหน้า (Front Loading) เป็นต้น ปกติผนังเตาทำจากอิฐทนไฟหรือไฟเบอร์ เตาบางชนิดก็แบ่งเป็นส่วน ๆ ซึ่งสามารถเพิ่มหรือลดความสูงของเตาได้โดยต่อวงแหวนขดลวดขึ้นไปเป็นชั้น ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับปริมาณภาชนะที่ต้องการเผา เตาไฟฟ้าเป็นเตาที่มีความปลอดภัยในการใช้ เผาแล้วเตาสะอาดแต่มีข้อจำกัดคือ ไม่เหมาะสมที่จะเผารีดักชันแบบเตาแก๊ส เพราะบรรยากาศแบบรีดักชันทำให้ขดลวดในเตาเสื่อมสภาพ ก่อนติดตั้งเตาไฟฟ้าควรตรวจสอบกระแสไฟว่าเพียงพอหรือไม่ เตาธรรมดาทั่วไปต้องใช้ไฟสามเฟสซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในการติดตั้ง แต่เตาเผาบางเตาที่กรูด้วยไฟเบอร์สมัยใหม่ใช้ไฟแค่เฟสเดียว เมื่อติดตั้ง

เตาเผาแล้วไม่ควรเคลื่อนย้ายไปไหนแต่หากจำเป็นหรือทราบล่วงหน้าควรประกอบเตาในลักษณะที่เคลื่อนย้ายได้สะดวก เตาไฟฟ้าใช้พลังงานจากไฟฟ้าไม่ต้องการพื้นที่สำหรับใส่เชื้อเพลิงเพื่อเผา สีเคลือบที่ได้จากการเผาไฟฟ้าจะออกมาไม่เหมือนกันในการเผาอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ ส่วนที่ให้ความร้อน ในเตาเผา มักใช้ขดลวดปลายตรงต่อกับวงจรไฟฟ้า ซึ่งขดลวดนี้จะฝังพอดอยู่กับผนังเตาโดยเกิดความร้อนและแดงขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ในช่วงแรกนั้นเตาไฟฟ้าใช้ขดลวดที่ทำจากนิโครม (Nichrome) แต่ไม่สามารถทนไฟสูงมากได้ เเผาได้เพียง 1093 องศาเซลเซียส จึงเปลี่ยนเป็นขดลวดแคนทอล (Kanthal) ซึ่งเป็นโลหะผสมทำในประเทศสวีเดนทนต่อการเผาไฟสูง สำหรับดินสโตนแวร์ และพอร์ซเลนด ลวดแคนทอลมีสองเกรดคือ Kanthal A และ Kanthal A1 Kanthal A ทนการเผาไฟได้สูงถึง 1200 องศาเซลเซียส และลวด Kanthal A1 ทนไฟสูงถึง 1300 องศาเซลเซียสหากใช้อย่างระมัดระวังขดลวดจะทนทานได้หลายปีแม้ว่าจะเผาบ่อยเตาไฟฟ้าต้องมีการตรวจตราขดลวดอย่างสม่ำเสมอหากมีการชำรุดควรเปลี่ยนใหม่ทั้งชุด การที่จะใช้ขดลวดให้ทนทานนั้นให้เผาเตาเปล่าในครั้งแรกก่อนใช้เตาเพื่อให้ขดลวดเกิดความแข็งแรงทนทานเนื่องจากเกิดขึ้นของการเผาไม่หุ้มอยู่และขดลวดจะทนมากหากเผาไม่เกินอุณหภูมิสูงสุดที่กำหนดเช่นอุณหภูมิสูงสุดที่เตาสามารถเผาได้คือ 1300 องศาเซลเซียส ควรเผาไม่เกิน 1280 องศาเซลเซียสนอกจากถลวดแล้วยังใช้วัสดุที่เรียกว่า Global ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งของเซรามิก (Silicon Carbide) ไม่ผสมโลหะและทนไฟได้สูงมาก เตาไฟฟ้าสามารถใช้ไพโรมิเตอร์ (Pyrometer) วัดอุณหภูมิได้และติดตั้งเครื่องตั้งเวลา(Timer) เพื่อตัดไฟได้นอกจากการใช้คอนเพื่อวัดอุณหภูมิอย่างไรก็ตาม ในการใช้เตาเผาสำหรับสตูดิโอขนาดเล็กควรเรียนรู้ที่จะปรับปรุงอุณหภูมิเตาด้วยตนเองเพื่อความสม่ำเสมอในการเผา ไม่ควรใช้อุปกรณ์ตั้งเวลาที่มากับเตาเตาไฟฟ้าในปัจจุบันมีระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมและสามารถตั้งวิธีการทำงานได้อย่างละเอียดทุกขั้นตอน แม้ว่าจะเป็นผลดีต่อภาชนะที่ต้องการคุณภาพที่ใกล้เคียงกันทุกใบ แต่ก็ขาดความตื่นตัวในการคาดหวังผลที่แปลกตาออกไปและผู้ควบคุมเตามีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงในการควบคุมทิศทางและปริมาณของเชื้อเพลิงระหว่างการเผาทำให้ภาชนะที่ออกมาบางครั้งแปลกตาเหนือความคาดหมายและมีความตื่นตัวในการคาดหวังมากกว่าอย่างไรก็ตาม การเลือกใช้เตาขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของการทำงานเป็นหลัก ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ผู้คุมเตาจะต้องเข้าใจถึงผลของความร้อนที่มีต่อดิน เคลือบและวัตถุดิบต่าง ๆ ในอุณหภูมิที่ต่างกัน การเผาควรมีการจดบันทึกทุกครั้งโดยเฉพาะเมื่อเริ่มฝึกหัดใหม่ ๆ เพื่อปรับปรุงและพัฒนาการเผาให้ดีขึ้นและเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท การเผาที่ได้ผลไม่ควรเข้าไปหรือเร็วไป การเผาเข้าไปทำให้สิ้นเปลืองพลังงานโดยใช่เหตุ โดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีราคาแพง การเผาเร็วไปทำให้ภาชนะระเบิดแตกได้ดังนั้นจึงต้องมีการบันทึกเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดก่อนการปรับอุณหภูมิแต่ละครั้ง และผลจากการเผาเคลือบที่มีความสวยงามและแปลกตาหากไม่มีการจดบันทึกระหว่างการเผาก็ไม่สามารถทำซ้ำได้อีกโดยเฉพาะการใช้เคลือบผลึกซึ่งต้องมีการใช้อุณหภูมิในช่วงที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ขนาดดอกผลึกที่สวยงาม

ข้อเสียของเตาไฟฟ้าก็คือการที่ขดลวดไหม้ดังนั้นจึงต้องระมัดระวังในการใช้เตาไม่ปล่อยให้ อุณหภูมิสูงเกินกว่าจุดสูงสุดที่เตาเผาได้ และควรทำความสะอาดเตาเป็นอย่างดี โดยเฉพาะเศษ ภาชนะที่ระเบิดแตกและติดค้างอยู่ในขดลวด เตาเตาเผาที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นพลังงานแต่ละชนิดมี เอกลักษณะเฉพาะตัว มีข้อดีและข้อด้อยที่ไม่สามารถ ทดแทนกันได้ ช่างแต่ละคนมีความถนัดและ ความชอบที่แตกต่างกัน การเลือกใช้เชื้อเพลิงควรขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสถานที่ที่ทำการเผา ด้วยนอกจากงบประมาณแล้ว การใช้แก๊สหรือน้ำมันขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแก๊สธรรมชาติที่มีอยู่ ปกติแก๊สที่ผลิตเองจะให้ความร้อนได้ไม่เท่ากับแก๊สธรรมชาติ ในกรณีนี้อาจใช้น้ำมันซึ่งมีราคาสูงกว่า แต่ก็มีปัญหามากกว่าในการจุดเตา ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว หากเปรียบเทียบเตาแก๊สกับเตาไฟฟ้าจะพบว่า เตาไฟฟ้าควบคุมง่ายสะดวกและปลอดภัยกว่าแต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้ผลในการเผาที่แตกต่างกันไป จากเตาแก๊ส โดยเฉพาะในการเผาเคลือบด้านบางครั้งอาจมีผิวที่มันขึ้นและเคลือบที่บวมจะมีความใสขึ้น ในการเผาด้วยไฟฟ้า

2.6.3 แบ่งตามระบบทางเดินลมร้อน

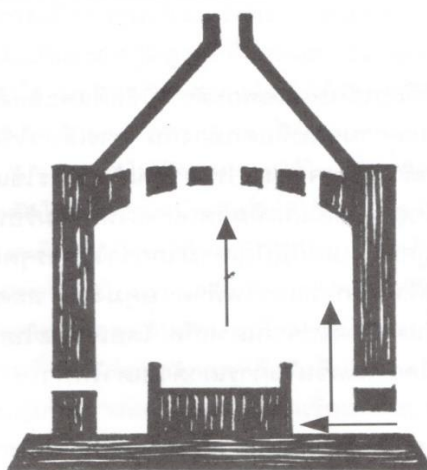
ระบบทางเดินลมร้อนเป็นการออกแบบจัดทิศทางการไหลของความร้อนเข้าสู่พื้นที่ ในเตาเพื่อให้การเผาเปลี่ยนไปด้วยอุณหภูมิที่สม่ำเสมอและทั่วถึงตลอดระยะเวลาการเผา ระบบ ทางเดินลมร้อนของเตาที่ใช้อยู่ในปัจจุบันแบ่งได้ดังนี้

1) เตาแบบทางเดินลมร้อนขึ้น (Up Draft Kiln)

เตาแบบทางเดินลมร้อนขึ้นเป็นเตาที่สร้างอย่างง่าย ๆ โดยพัฒนามาจากการเผา กลางแจ้งและการก่อเตาแบบมีปล่องซึ่งทำกันทั่วโลกเป็นเวลาหลายพันปีแล้ว ความร้อนจะเกิดขึ้นจาก พื้นล่างของเตาจากนั้นจะลอยขึ้นไปผ่านภาชนะแล้วพุ่งสู่ด้านบนตรงช่องหลังคาเตา เตาประเภทนี้จะ สามารถไล่ความชื้นในช่วงแรกของการเผาได้ดี แต่อุณหภูมิในเตามักไม่เท่ากันโดยอุณหภูมิช่วงล่างมาก สูงกว่าบริเวณส่วนบนสุด การบรรจุภาชนะและขนาดของเตามีผลต่อความสม่ำเสมอของอุณหภูมิใน การเผาด้วย ความร้อนจะไหลผ่านบริเวณที่เคลื่อนตัวได้สะดวกทำให้เกิดจุดที่ร้อนจัดเป็นบางแห่ง อุณหภูมิส่วนล่างมักจะสูงผิดปกติ หากต้องการเผาช่วงบนให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ ควรจัดชั้นเตา และขนาดภาชนะที่เรียงอยู่ให้สลับความสูงในแต่ละชั้น เช่น จัดชั้นเตาที่มีภาชนะสูงสลับชั้นเตาที่มี ภาชนะเตี้ย เพื่อให้ความร้อนไหลขึ้นได้สะดวกยิ่งขึ้น เตาขนาดใหญ่จะเผาได้อุณหภูมิที่สม่ำเสมอว่า เตาขนาดเล็กเพราะมีเนื้อที่ให้ความร้อนก่อตัวผ่านได้อย่างทั่วถึง

เตาแบบทางเดินลมร้อนขึ้นนี้สามารถก่อได้ง่าย ๆ โดยก่อผนังเตาล้อม 4 ด้านแล้วคลุม ด้านบนด้วยภาชนะแตกและดินเหนียว มีช่องสำหรับปล่อยให้อากาศถ่ายเท ชาวโรมันโบราณใช้เตาชนิดนี้ ซึ่งยังคงมีหลงเหลืออยู่ที่ประเทศอังกฤษ ส่วนชาวกรีกสร้างเตาที่ค่อนข้างถาวรด้วยหลังคาโค้งและมี ปล่องไฟซึ่งทำให้สามารถควบคุมความร้อนและบรรยากาศในเตาได้ เตาแบบทางเดินลมร้อนนี้ใช้ใน แถบตะวันออกกลางและยุโรปด้วยสามารถเผาได้อุณหภูมิสูง 900 ถึง 1050 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงพอ

สำหรับภาชนะเอิร์ธเทนแวร์และเคลือบไฟต่ำเตาที่ขุดริมฝั่งแม่น้ำ (Bank Kiln) และเต่าถ้ำ (Cave Kiln) ซึ่งชาวจีน เกาหลี และญี่ปุ่นได้ทำขึ้นตั้งแต่ 1000 ปีก่อนพุทธศักราช มีบางเตาที่ใช้ระบบทางเดินลมร้อนขึ้นใช้วิธีเจาะถ้ำเข้าไปในเนินเขาที่เป็นดินผสมทรายส่วนปล่องนั้นขุดเข้าไปในถ้ำจากส่วนบนของตลิ่ง โดยพานำภาชนะวางซ้อน ๆ กันบนกองดินเพื่อให้ตั้งได้ตรง เมื่อทำการเผาผนังถ้ำจะถูกเผาไปด้วยทำให้สะท้อนความร้อนออกมาแล้วเตาจะทนถาวรขึ้น สามารถเผาได้อุณหภูมิสูงถึง 1100 องศาเซลเซียสซึ่งนับว่าเป็นอุณหภูมิที่สูงมากในเวลานั้น เตาความร้อนขึ้นแสดงในภาพที่ 9 ดังนี้

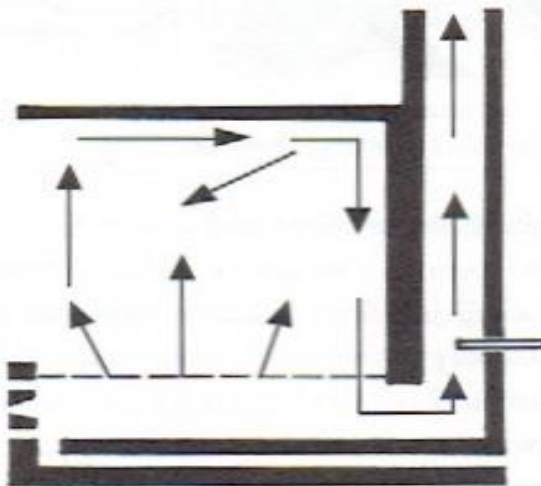


ภาพที่ 9 ลักษณะทางเดินลมร้อนของเตาทางเดินลมร้อนขึ้น
(สุขุมล เล็กสวัสดิ์, 2548)

2) เตาแบบทางเดินลมร้อนลง (Down Draft Kiln)

เตาแบบทางเดินลมร้อนลงออกแบบเพื่อให้ความร้อนถูกเก็บอยู่ในเตานานขึ้น สามารถเผาได้อย่างทั่วถึงในอุณหภูมิที่สูงขึ้นและช่วยประหยัดเชื้อเพลิงได้ดีกว่าเตาแบบทางเดินลมร้อนขึ้น เตาแบบนี้ชาวจีนพัฒนาจากเตาถ้ำโดยการแก้ไขปล่องไฟ ตัวเตาทำจากดินทนไฟซึ่งสามารถทนความร้อนได้สูงถึง 1300 องศาเซลเซียส สามารถเผางานพอร์ซเลนและสโตนแวร์ได้ ลักษณะเตาก่อขึ้นนี้ยังใช้กันอยู่ในประเทศจีนและประเทศอื่น ๆ เตาแบบทางเดินลมร้อนลงนี้ส่วนใหญ่เป็นเตาที่เคลื่อนย้ายไม่ได้โดยสร้างขึ้นอย่างถาวรมักทำจากอิฐหนักทนไฟซึ่งใช้เวลานานในการเผาแต่ก็สามารถใช้อิฐเบาและฉนวนทนไฟได้เช่นกัน จะทำให้เผาได้เร็วขึ้นแต่เก็บความร้อนได้น้อยลง หลักในการเผาเตาระบบนี้คือความร้อนจากเปลวไฟเข้ามาจากด้านหน้าหรือด้านข้างส่วนล่างของเตาก่อนมาทางกำแพงไฟ (Bag Wall) แล้วลอยขึ้นกระทบภาชนะส่วนบน จากนั้นวนกลับลงมาสู่เบื้องล่างของเตา โดยผ่านภาชนะลงสู่พื้นเตา ผ่านท่อความร้อนออกทางปล่องไฟในที่สุด ด้วยวิธีนี้ความร้อนความร้อนจึงไหลเวียนรอบภาชนะทุกใบอย่างทั่วถึง และทำให้ประหยัดเชื้อเพลิง เพราะความร้อนสามารถอยู่ภายในเตาได้นาน ข้อเสีย คือ อุณหภูมิในเตาช่วงบนสุดจะสูงกว่าช่วงล่างใกล้พื้นเตา และมีความชื้นที่

คายออกจากภาชนะสะสมอยู่ บริเวณส่วนล่างของเตาใกล้ทางออกสู่ปล่องไฟซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาในการเผา เตาความร้อนลงแสดงในภาพที่ 10 ดังนี้.



ภาพที่ 10 ลักษณะทางเดินลมร้อนของเตาทางเดินลมร้อนลง
(สุขุมาล เล็กสวัสดิ์,2548)

3) เตาแบบทางเดินลมร้อนขนาน (Horizontal Draft Kiln)

เตาแบบทางเดินลมร้อนขนานหรือที่นักโบราณคดีนิยมเรียกว่าเตาแบบทางเดินลมร้อนในแนวนอน (Cross Draft Kiln) เป็นเตาที่พัฒนามาจากเตาชุดริมฝั่งแม่น้ำ (Bank Kiln) ซึ่งพบมากบริเวณอำเภอศรีสัชนาลัย จังหวัดสุโขทัยหรือที่เรียกว่า “เตาทุเรียง” เตาแบบนี้สามารถเผาได้ อุณหภูมิสูงและสร้างได้ขนาดใหญ่มีความยาวมากได้ เช่น เตาเผาโอ่ง ที่จังหวัดราชบุรี ซึ่งบางเตามีความยาวเกือบ 100 เมตร เตาเผากระถางที่เกาะเกร็ด จังหวัดนนทบุรีก็ใช้ระบบนี้ การสร้างเตานิยมชุดหรือก่อในที่ลาดบนพื้นดินเพื่อช่วยให้เกิดการไหลวนของความร้อนจากปากเตา ความร้อนจะผ่านในแนวนอนกับพื้นเตาและผ่านภาชนะที่วางเรียงอยู่จากนั้นความร้อนจะออกสู่ปล่องไฟในที่สุด เตาประเภทนี้มีการพัฒนาขึ้นโดยแยกพื้นที่ภายในเตาเป็นส่วน ๆ ตามชั้นของความลาดเพื่อทำให้เป็นห้องเผาลักษณะขั้นบันได ซึ่งได้รับความร้อนจากชั้นล่างสุดขึ้นไปเป็นทอดๆเตาแบบขั้นบันได (Climbing Chamber Kiln) นี้ สามารถสร้างให้ขนาดใหญ่มากมีหลายห้องเผาห้องเตาได้ ยังมีใช้อยู่มากที่ประเทศญี่ปุ่นการเผาระบบทางเดินลมร้อนขนานนี้ ยิ่งเตายาวมากก็ยิ่งประหยัดเชื้อเพลิงมากเนื่องจากความร้อนจากส่วนหน้าของเตาจะเดินทางไปอุ่นภาชนะในส่วนอื่น ๆ ตลอดความยาวของเตาจะมีช่องใส่ฟืนซึ่งมักใส่สลับช่องเว้นช่องไปจนภาชนะสุกตัวจริงหยุด ค่าก่อสร้างในการทำเตาก็ถูกกว่าเตาแบบทางเดินลมร้อนลง ในแถบยุโรปเช่น ประเทศอังกฤษ ฝรั่งเศส ก็มีการใช้เตาระบบทางเดินลมร้อนขนานอยู่ ข้อเสียของเตาชนิดนี้คือมักมีซีเมนต์ หรือเขม่าเกาะที่ผิวภาชนะและต้องมีความชำนาญในการเผาจึงจะรักษาอุณหภูมิให้สม่ำเสมอได้

4) เตาแบบทางเดินลมร้อน 2 ระบบ (Double Draft Kiln)

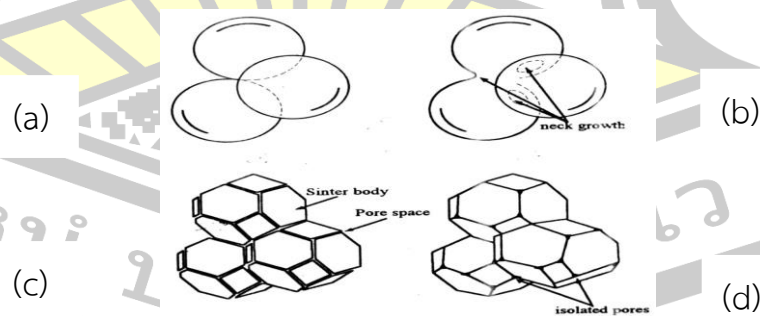
เราแบบทางเดินลมร้อน 2 ระบบนี้พัฒนาขึ้นเพื่อให้การเผาเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยนำข้อดีจากเตาระบบทางเดินลมร้อนขึ้นและทางเดินลมร้อนลงมาผนวกเข้ากันโดยช่วงแรกเผาแบบทางเดินลมร้อนขึ้นและช่วงหลังเผาแบบทางเดินลมร้อนลง

2.7 กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการเผาอิฐ

2.7.1 กระบวนการเผาผนึก (Sintering)

เป็นกระบวนการที่ทำให้อนุภาคของวัสดุดิบหลอมเป็นเนื้อเดียวกันทำให้เกิดพันธะยึดเหนี่ยวต่อกันซึ่งการซินเทอสนั้นเป็นกระบวนการที่สำคัญที่จะช่วยกำหนดคุณสมบัติของชิ้นงานสำหรับกลไกที่เกิดขึ้นในขณะเผาแบ่งได้เป็นสามขั้นตอน คือ

- 1) ขั้นตอนเริ่มต้น (Initial stage) ในขั้นตอนนี้อนุภาคจะเริ่มขยับตัวเพื่อให้มีจุดสัมผัสกับอนุภาคที่อยู่รอบ ๆ ข้างให้มากที่สุด หลังจากนั้นก็จะเริ่มเกิดรอยต่อระหว่างอนุภาค (neck)
- 2) ขั้นตอนกลาง (Intermediate stage) ในขั้นตอนนี้จะมีการโตขึ้นของรอยต่อระหว่างอนุภาค ทำให้รูพรุนที่อยู่ระหว่างอนุภาคลดลงชิ้นงานเริ่มหดตัว ในขณะเดียวกันจุดศูนย์กลางของอนุภาคก็จะเริ่มเคลื่อนเข้าหากัน
- 3) ขั้นตอนสุดท้าย (Final stage) ขั้นตอนนี้จะเริ่มตนจากการที่รูพรุนเริ่มเคลื่อนที่ออกไปจากชิ้นงาน และระบบของชิ้นงานก็จะมีผลลดพลังงานพื้นผิว (Surface energy) ลง โดยลักษณะของเกรนที่มีขนาดเล็กจะโดนเกรนที่มีขนาดใหญ่กลืนเพื่อเป็นการลดพลังงานพื้นผิวดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ชิ้นงานมีขนาดเกรนที่ใหญ่ขึ้น โดยขั้นตอนในการเกิดกระบวนการซินเทอแสดงดังภาพที่ 11 ดังนี้



ภาพที่ 11 แสดงขั้นตอนในการเกิดกระบวนการเผา

(a) ขั้นตอนเริ่มต้น (b) และ (c) ขั้นตอนกลาง (d) ขั้นตอนสุดท้าย (Kingery, A. J., Bowen, H. K. and Uhlmann, 1991)

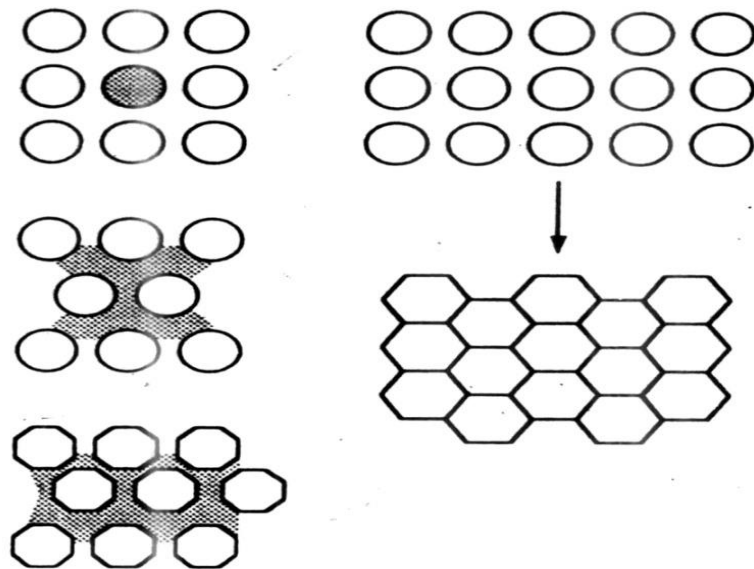
2.7.2 กระบวนการที่เกิดในการเผาแบ่งได้ดังนี้

1) การเกิดเฟสของของเหลวขณะเผา (Liquid phase sintering) การเกิดเฟสของของเหลวขณะเผา (Liquid phase sintering) คือ ลักษณะของการเผาที่มีเนื้อสารบางส่วนหรือทั้งหมดอยู่ในสภาพของเหลวซึ่งลักษณะการเกิดเฟสของของเหลวจะเป็นกลไกที่สำคัญในการเผาสารเนื่องจากจะทำให้ลักษณะการเรียงตัวของอนุภาคเกิดได้ง่ายขึ้น และนอกจากนั้นยังทำให้กลไกในการเคลื่อนที่เขากัน (Diffusion) เกิดได้เร็วยิ่งขึ้น ดังนั้นแล้วข้อดีของการเกิดเฟสของของเหลวในขณะเผา ก็คือสามารถที่จะช่วยกระบวนการเผาขึ้นงานให้เกิดได้เร็วขึ้นและใช้อุณหภูมิในการเผาที่ต่ำลง ในกระบวนการเกิดเฟสของของเหลวขณะเผานั้นมี 3 กระบวนการได้แก่

ก) การฟอร์มตัวของของเหลว (Liquid formation) คือ การเกิดเฟสของของเหลวในระหว่างกระบวนการเผาอบพูน

ข) การเรียงตัวกันของอนุภาค (Particle rearrangement) เฟสของของเหลวที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่หนึ่งจะช่วยทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นทำให้อนุภาคสามารถที่จะจัดเรียงตัวใหม่ได้อย่างรวดเร็วขึ้น

ค) การตกผลึกของสารละลาย (Solution reprecipitation) เป็นขั้นตอนสุดท้ายเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะการเกิดเฟสของของเหลวขณะเผากับการเกิดเฟสของของแข็ง แสดงดังภาพที่ 12

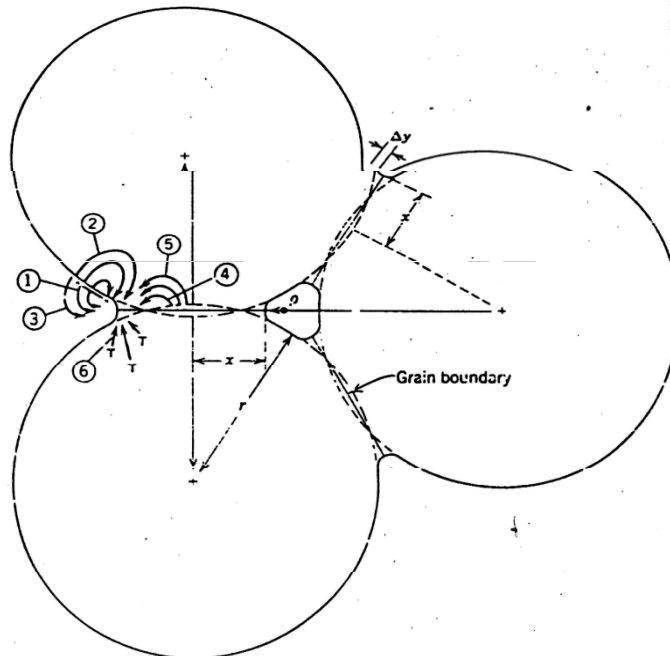


ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบลักษณะการซินเทอร์

แบบ Liquid phase sintering (a) กับ Solid state sintering (b) (Kingery, A. J., Bowen, H. K. and Uhlmann, 1991)

2) การเกิดเฟสของของแข็งขณะเผา (solid state sintering) คือ กระบวนการในการเผาสารที่มีลักษณะการเกิดเป็นเฟสของของแข็งอย่างเดียวโดยจะเกิดจากการที่อนุภาคเกิดการแพร่ (diffusion) ในบริเวณพื้นผิวของมันเองซึ่งจะเกิดจากความแตกต่างของพลังงานที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาค การเกิดเฟสของของแข็งมีขั้นตอนดังนี้

- ก) การแพร่ที่บริเวณพื้นผิว (Surface diffusion) โดยอะตอมจะแพร่จากบริเวณพื้นผิวไปยังรอยต่อ (neck) ของอนุภาค
- ข) การแพร่ของแลตทิซ (Lattice diffusion) อะตอมจะแพร่จากแลตทิซไปยังรอยต่อ ของอนุภาค
- ค) การระเหย (Vapor transportation) อะตอมจะเกิดการระเหยจากพื้นผิวไปยังรอยต่อของอนุภาค
- ง) การแพร่บริเวณขอบเกรน (Boundary diffusion) อะตอมจะแพร่จากบริเวณขอบเกรนไปยังรอยต่อของอนุภาค
- จ) การแพร่ของแลตทิซเหมือนกรณีข้อสองโดยขั้นตอนที่เกิดขึ้นแสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แสดงขั้นตอนการเกิด Solid state sintering(Michel, 1997)

2.8 ทฤษฎีเกี่ยวกับความร้อนและกฎของเทอร์โมไดนามิก (ปริดา วิบูลย์สวัสดิ์, 2529)(ชัยศักดิ์ ชราตรีจันทร์สกุล, 2545)

2.8.1 กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์เป็นทฤษฎีสมดุลพลังงาน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า กฎการอนุรักษ์พลังงาน เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับกระบวนการที่เกิดขึ้นสามารถเขียนในรูปสมการได้ เป็น

1) สมดุลพลังงานสำหรับระบบมวลควบคุมหรือระบบเปิด การเปลี่ยนแปลงจาก สภาวะเริ่มต้นไปสู่สภาวะสุดท้ายจะสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการสมดุลพลังงานได้เป็น

$$Q - w_{sh} = m(\Delta u) + m\left(\frac{\Delta v^2}{2}\right) + mg(\Delta z) \quad (2.1)$$

- เมื่อ Q คือ ความร้อนที่ถ่ายโอนข้ามขอบเขตของระบบ (กิโลจูล)
 w_{sh} คือ งานที่ถ่ายเทข้ามขอบเขตของระบบ (กิโลจูล)
 m คือ มวลเข้าระบบ (กิโลกรัม)
 g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
 Δu คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานภายในในระบบ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
 $\frac{\Delta v^2}{2}$ คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของระบบ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
 Δz คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ของระบบ (เมตร)

2) สมดุลพลังงานสำหรับระบบปริมาตรควบคุมหรือระบบเปิด นั่นคือ เมื่อมีการไหล เข้าและออกจากระบบ หากการไหลเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตามกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ เรียกสมการในกรณีนี้ว่า สมการพลังงานไหลที่ภาวะคงตัว (Steady Flow Energy Equation: SFEE) เขียนได้เป็น

$$\sum Q - \sum w_{pv,system} = \sum m(\Delta h) + \sum m\left(\frac{\Delta v^2}{2}\right) + \sum mg(\Delta z) \quad (2.2)$$

- เมื่อ Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนข้ามขอบเขตของระบบ (กิโลจูล)
 $\sum w_{pv,system}$ คือ อัตราการถ่ายเทงานจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของระบบที่ ถ่ายเทข้ามขอบเขตของระบบ (กิโลจูล)
 m คือ อัตราการไหลของมวล (กิโลกรัม)

g	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)
Δh	คือ การเปลี่ยนแปลงเอนทาลปีของของไหล (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
$\frac{\Delta v^2}{2}$	คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์ของของไหล (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)
Δz	คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์ของของไหล (เมตร)

2) สมดุลพลังงานสำหรับระบบที่มีการไหลที่ไม่คงตัว (Non – Steady flow systems)

สมดุลพลังงานนี้สำหรับกรณีที่ระบบมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา สามารถเขียนสมการการเปลี่ยนแปลงพลังงานในช่วงเวลา t_1 และ t_2 ได้เป็น

3)

$$\begin{aligned}\Sigma E_{\text{system}} &= \text{พลังงานที่เข้าทั้งหมด} - \text{พลังงานที่ออกทั้งหมด} \quad (2.3) \\ &= -\Delta E_{\text{system}} + Q - W' \\ \Delta E_{\text{system}} + \Delta E_{\text{stream}} &= Q - W' \\ m_2(U + e_p + e_k)_2 - m_1(U + e_p + e_k)_1 + m_{\text{out}}(h + e_p + e_k)_{\text{out}} - m_{\text{in}}(h + e_p + e_k)_{\text{in}} \\ &= Q - W'\end{aligned}$$

เมื่อ m_1 คือ มวลของระบบที่ภาวะที่ 1
 m_2 คือ มวลของระบบที่ภาวะที่ 2
 m_{in} คือ มวลที่ไหลเข้าระบบ
 m_{out} คือ มวลที่ไหลออกจากระบบ
 W' คือ $w_{sh} - w_{pv,\text{system}}$

2.9 การหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Yoshihiko Takamura, 2543)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง คือ ปริมาณความร้อนที่ระบบจะได้รับจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในกรณีของ ของแข็งหรือของเหลวจะพิจารณาที่ 1 กิโลกรัม แต่หากเป็นเชื้อเพลิงแก๊สจะพิจารณาที่ 1 ลูกบาศก์เมตร ในกรณีที่เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาไหม้มีส่วนประกอบของไฮโดรเจน ค่าความร้อนจะมี 2 ค่าขึ้นอยู่กับว่าผลผลิตที่ได้จากการเผาไหม้ถูกลดอุณหภูมิลงให้เท่ากับอุณหภูมิเดิมก่อนการเผาไหม้หรือไม่ ถ้าไอน้ำที่เกิดจากการเผาไหม้ถูกควบแน่นให้กลายเป็นน้ำ และคายความร้อนแฝงออกมา ทำให้ได้ปริมาณความร้อนมากขึ้น จะได้ค่าความร้อนสูงของเชื้อเพลิง (High heating value) ในทางตรงกันข้ามหากไม่มีการลดอุณหภูมิลง ปริมาณความร้อนที่ได้ก็จะน้อยลง เนื่องจากไอน้ำยังคงสภาพอยู่ในสถานะไอ เรียกว่า ค่าความร้อนต่ำของเชื้อเพลิง (Lower, Low หรือ Net heating

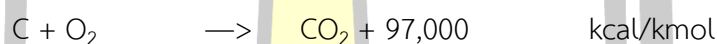
value) ค่าความร้อนนี้สามารถคำนวณได้จากการคำนวณที่อาศัยส่วนประกอบของเชื้อเพลิงในการเผาไหม้นั้น ๆ

2.10 การเผาไหม้เชื้อเพลิง (Yoshihiko Takamura, 2543)

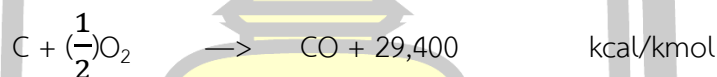
ปฏิกิริยาการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นเป็นปฏิกิริยาการรวมกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว พร้อมกับการลุกไหม้ และการคายความร้อนออกมา การเผาไหม้เชื้อเพลิงประกอบไปด้วยการออกซิเดชันของสารสันดาปชนิดต่าง ๆ ในการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนล้วน ๆ แต่ใช้อากาศแทน โดยอากาศจะประกอบไปด้วยออกซิเจน และแก๊สไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก

ซึ่งหากพิจารณาเชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วย คาร์บอน © ออกซิเจน (O) และธาตุอื่น ๆ ปะปนอยู่บ้าง เช่น ไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) ดังนั้น เมื่อนำเชื้อเพลิงชีวมวลไปเผาไหม้ก็จะเกิดปฏิกิริยาเคมีพื้นฐานดังแสดงต่อไปนี้

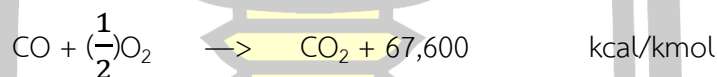
การเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของคาร์บอน



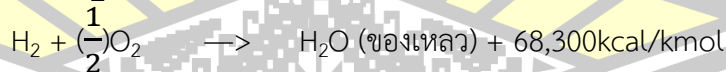
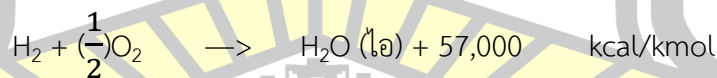
การเกิดแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์จากการเผาไหม้อย่างไม่สมบูรณ์ของคาร์บอน



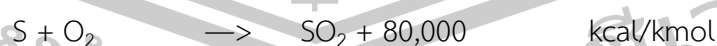
การเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์



การเกิดไอน้ำหรือน้ำจากการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ของแก๊สไฮโดรเจน



การเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการเกิดออกซิเดชันของซัลเฟอร์



พหุ ประสิทธิภาพ

2.11 กลไกการถ่ายโอนความร้อน (มะลิ หุ่นสม, 2551)(Brid, R.B., Stewart, W. E., 2001) (ประกิต ชูหว่าง, 2551)

การถ่ายโอนความร้อนจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อ ระบบที่มีความแตกต่างกันของอุณหภูมิ โดยจะเกิดการแลกเปลี่ยนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จึงอาจนิยามการถ่ายโอนความร้อนได้ว่า เป็นการไหลของพลังงานในรูปแบบของความร้อน เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแหล่งให้กับแหล่งรับความร้อน

กลไกการถ่ายโอนความร้อนสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือ การนำความร้อน (Heat conduction) การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน การถ่ายโอนความร้อนด้วยกลไกต่าง ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น วัสดุของสาร ตัวกลางการถ่ายโอน หรือลักษณะของไหลของสาร เป็นต้น ในแต่ละกระบวนการถ่ายโอนความร้อนอาจเกิดการถ่ายโอนความร้อนลักษณะใดลักษณะหนึ่ง หรือเกิดมากกว่า 1 ลักษณะก็ได้

2.11.1 การถ่ายโอนความร้อนและกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์

การถ่ายโอนความร้อน คือการถ่ายโอนพลังงานที่เกิดขึ้นในระบบเมื่อมีความแตกต่างกันของอุณหภูมิ จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ที่ระบุว่า “พลังงานสามารถเปลี่ยนรูปหรือถูกถ่ายโอนจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง แต่ไม่สามารถสร้างขึ้นใหม่หรือทำลายให้สูญสลายไปได้” ดังนั้น ระหว่างการทำงานของระบบหรือกระบวนการหนึ่ง ๆ จะสามารถเขียนได้ว่า “อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานรวมในระบบไม่ว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่างพลังงานรวมที่เข้าสู่ระบบและพลังงานที่ออกจากระบบ”

2.11.2 กลไกการถ่ายโอนความร้อน

1) การถ่ายโอนความร้อนโดยการนำความร้อน (Conduction heat transfer)

ดังที่กล่าวไปแล้วการถ่ายโอนความร้อน คือ การถ่ายโอนพลังงานที่เกิดขึ้นได้เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิ การเกิดการนำความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิภายในวัตถุชิ้นหนึ่ง ๆ มีค่าไม่เท่ากันทุกจุด หรือเมื่อนำวัตถุชิ้นที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิมาสัมผัสกัน โดยตัวแปรที่มีผลต่อการเกิดการนำความร้อนคือ ผลต่างของอุณหภูมิ มิติหรือรูปร่างของวัตถุ รวมไปถึงคุณสมบัติของวัตถุ ส่งผลต่างเหล่านี้มากเท่าไร อัตราการนำความร้อนก็จะเปลี่ยนไปมากเท่านั้น

หากในกรณีที่อุณหภูมิทุก ๆ จุดของวัตถุที่นำความร้อนมีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จะเรียกรณื่อดังกล่าวว่าการนำความร้อนในภาวะคงตัว (Steady state Heat conduction) ในทางตรงกันข้าม หากอุณหภูมิของวัตถุมีส่วนใดส่วนหนึ่ง หรือทั้งวัตถุเปลี่ยนแปลงตามเวลา ส่งผลให้อัตราการนำความร้อน เปลี่ยนตามเวลา จะเรียก กรณีนี้ว่า การนำความร้อนในภาวะไม่คงตัว

(Unsteady state Heat conduction) โดยทั่วไปการนำความร้อนที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์แลกเปลี่ยน ความร้อน สามารถถือว่าการนำความร้อนในภาวะคงตัว

ก) การนำความร้อนของผนังแผ่นเดียว

ข) การนำความร้อนในแผ่นเรียบบาง (Plane wall)

การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำในแผ่นเรียบบาง จะพิจารณาได้จากค่า อุณหภูมิที่ถ่ายเทจากด้านในของวัตถุหนึ่งสู่ด้านนอก นั่นคือมีการถ่ายเทพลังงานจากขอบเขตที่มี อุณหภูมิต่ำ นั้นแสดงว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่า อุณหภูมิ แสดงดังสมการที่ 2.4

$$\frac{q}{A} = \alpha \frac{\partial \gamma}{\partial x} \quad (2.4)$$

เมื่อแทนด้วยสัดส่วนค่าคงที่ จะได้ว่า

$$q = -kA \frac{\partial \gamma}{\partial x} \quad (2.5)$$

เมื่อ

- q คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อน (วัตต์ต่อตารางเมตร)
- k คือ สภาพการนำความร้อนของวัตถุ (วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน)
- A คือ พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายเท (เมตรกำลังสอง)
- $\frac{\partial \gamma}{\partial x}$ คือ ค่าอุณหภูมิในทิศทางที่ความร้อนไหล

ค) การนำความร้อนในทรงกระบอก(Cylinder heat conduction)

ในกรณีของทรงกระบอก การถ่ายโอนความร้อนจะเกิดขึ้นในแนวตามรัศมี เท่านั้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้น ดังนั้น จึงคิดได้ว่าเป็นการนำความร้อนในมิติเดียว นอกจากนั้นการนำความร้อนยังอยู่ภายใต้ภาวะคงตัวและไม่มีการกำเนิดความร้อนภายในตัวกลาง โดยอุณหภูมิที่รัศมีภายนอกและภายในมีเท่ากับ T_1 และ T_0 ตามลำดับ จากการดุลพลังงานของ ทรงกระบอก แสดงได้ดังสมการที่ (2.6)

$$\frac{d}{dr} Q_r = 0 \quad (2.6)$$

ทำการอินทิเกรตสมการที่ (2.6) จะได้

$$Q_r = C_1 \quad (2.7)$$

หากพิจารณากฎของฟูเรียร์สำหรับพิกัดทรงกระบอกจะได้อัตราการนำความร้อนผ่านผิวทรงกระบอก เขียนได้เป็นดังสมการที่ (2.8)

$$q_r = -kA \left(\frac{dT}{dx} \right) = -k(2\pi rL) \frac{dT}{dr} \quad (2.8)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ใด ๆ ในผิวทรงกระบอกที่ตั้งฉากกับทิศทางการถ่ายเทความร้อน แทนสมการที่ (2.7) ในสมการที่ (2.8) จะได้

$$-k(2\pi rL) \frac{dT}{dr} = C_1 \quad (2.9)$$

จัดรูปสมการที่ (2.9) และทำการอินทิเกรตอีกครั้งจะได้สมการที่ (2.10)

$$T = -\frac{C_1}{2\pi kL} \ln r + C_2 \quad (2.10)$$

แทนเงื่อนไขขอบเขตสำหรับหา C_1 และ C_2 โดยแทนเงื่อนไขขอบเขตที่ 1 ที่ $r = r_0, T = T_0$ ลงในสมการที่ (2.10) จะได้

$$C_1 = (T_1 - T_0) \frac{2\pi kL}{\ln r_0 - \ln r_1} = (T_0 - T_1) \frac{2\pi kL}{\ln r_1 - \ln r_0} \quad (2.11)$$

เมื่อแทนค่า C_1 ลงในสมการที่ (2.11) จะได้รูปแบบการไหลของอุณหภูมิ คือ

$$\frac{T - T_0}{T_1 - T_0} = \frac{\ln r - \ln r_0}{\ln r_1 - \ln r_0} \quad (2.12)$$

และหากแทนค่า C_1 ลงในสมการที่ (2.12) จะได้อัตราการถ่ายโอนความร้อนในทรงกระบอกเป็น

$$Q = 2\pi kL \frac{T_0 - T_1}{\ln \frac{r_1}{r_0}} = \frac{T_0 - T_1}{\frac{\ln r_1}{2\pi kL} - \frac{\ln r_0}{2\pi kL}} \quad (2.13)$$

เรียกเทอมของ $\frac{\ln r_1/r_0}{2\pi kL}$ ในสมการที่ (2.13) ว่าความต้านทานทางความร้อนของทรงกระบอก

2) การถ่ายเทความร้อนด้วยการพา (Convection heat transfer)

การพาความร้อน คือการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของของไหลผ่านพื้นผิวของวัตถุต่าง ๆ โดยการเคลื่อนที่นั้นอาจเกิดขึ้นเนื่องจากผลของแรงกระทำภายนอก ซึ่งการเคลื่อนที่แบบนี้จะถูกเรียกว่า การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection) และถ้าหากการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดขึ้นเนื่องจากผลของแรงลอยตัวหรือแรงพยุง (Buoyancy effect) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่น และส่งผลให้มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของของไหล การถ่ายโอนแบบดังกล่าว จะเรียกว่า การพาความร้อนแบบอิสระหรือแบบธรรมชาติ (Free or natural convection)

เมื่อพิจารณาระบบที่ประกอบไปด้วยแผ่นร้อนที่วางในแนวราบในอากาศเย็น พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิของแผ่นร้อนและอุณหภูมิของอากาศที่บริเวณผิวหน้าสัมผัสทำให้

เกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอากาศบริเวณที่ติดกับแผ่นร้อน ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ ดังนั้นจะได้การถ่ายโอนความร้อนระหว่างอุณหภูมิของผนังร้อน T_s และอุณหภูมิของอากาศเย็น T_∞ จากสมการของนิวตัน (Newton's law of cooling) ดังสมการที่ (2.14)

$$q = \frac{Q}{A} = h(T_s - T_\infty) \quad (2.14)$$

เมื่อ q คือ ฟลักซ์ของการถ่ายโอนความร้อน (วัตต์ต่อตารางเมตร)
 Q คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อน (วัตต์)
 h คือ สัมประสิทธิ์การโอนความร้อนหรือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน
 (Convection heat transfer coefficient)

หากทำการแยกชนิดของการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อนเป็น 2 ประเภท

ก) การพาความร้อนแบบบังคับที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงภายนอกมากระทำ จนส่งผลให้รูปแบบของของไหลถูกกำหนดโดยแรงกระทำภายนอก นอกจากนี้ ยังพบว่า การแก้ปัญหาการพาความร้อนแบบบังคับนี้ต้องอาศัยรูปแบบของความเร็วของไหลก่อน แล้วจึงจะสามารถหารูปแบบของอุณหภูมิได้ กลุ่มตัวแปรไร้มิติที่เกี่ยวข้องกับการพาความร้อนแบบบังคับ คือ ค่าตัวเลขนัมเบอร์ (Nusselt number, Nu) ที่ขึ้นอยู่กับค่าเรย์โนลด์สจำนวนเบอร์ (Reynolds number, Re) และค่าพริ้นด์เทิลนัมเบอร์ (Plandtl number, Pr)

ข) การพาความร้อนแบบอิสระหรือแบบธรรมชาติ เกิดขึ้นจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล ซึ่งส่งผลให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิรูปแบบของของไหลกำหนดโดยแรงพยุ่ง การแก้ปัญหาการพาความร้อนแบบนี้ต้องอาศัยการหารูปแบบของความเร็วควบคู่กันไปกับรูปแบบของอุณหภูมิกลุ่มตัวแปรไร้มิติที่เกี่ยวข้องกับการพาความร้อนแบบอิสระหรือแบบธรรมชาติ คือ ค่าตัวเลขนัมเบอร์ (Nusselt number, Nu) ที่ขึ้นอยู่กับค่ากราสโฮฟนัมเบอร์ (Grashof number, Gr) และค่าพริ้นด์เทิลนัมเบอร์ (Plandtl number, Pr)

จากการศึกษาการพาความร้อนทั้ง 2 แบบ จะสามารถสรุปเป็นความสัมพันธ์ได้กับลักษณะการพาความร้อนได้ดังนี้

การพาความร้อนแบบบังคับ $Nu = CRe^a Pr^b$ (2.15)

และ การพาความร้อนแบบอิสระ $Nu = CPr^d Gr^e$ (2.16)

พูน ปรณ ทิโต ชิว

โดยที่ค่า C, a, b, d, e เป็นค่าคงที่สามารถหาได้จากการทดลอง และค่าตัวแปรไร้หน่วยต่าง ๆ สามารถคำนวณได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรไร้หน่วย

ชื่อเรียก	สูตรคำนวณ	สัญลักษณ์
นัสเซิลต์นัมเบอร์	$\frac{hD}{k}$	Nu
เรย์โนลด์ส นัมเบอร์	$\frac{pDv}{\mu}$	Re
พรันด์เทิล นัมเบอร์	$\frac{C_p D \mu}{k}$	Pr
กราฟโฮฟ นัมเบอร์	$\frac{gD^3 p^2 \beta \Delta T}{\mu^2}$	Gr

3) การแผ่รังสีความร้อน (Radiation heat transfer)

การแผ่รังสีความร้อน คือการปลดปล่อยพลังงานในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนของอะตอม หรือโมเลกุล การถ่ายโอนในลักษณะการแผ่รังสีมีความแตกต่างกับการถ่ายโอนความร้อนแบบอื่น ๆ เนื่องจากการถ่ายโอนความร้อนไม่จำเป็นต้องมีตัวกลาง นอกจากนี้ การถ่ายโอนด้วยการแผ่รังสีความร้อนจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วที่ความเร็วเท่ากับความเร็วแสง และจะไม่มี การลดลงในภาวะสุญญากาศ วัตถุทุกชนิดสามารถปลดปล่อยความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิของตัววัตถุเอง และเรียกพลังงานที่ปลดปล่อยออกมาว่า ความร้อนของการแผ่รังสี (Thermal radiation) การถ่ายโอนด้วยการแผ่รังสีสามารถอธิบายได้จากทฤษฎีของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's classic electromagnetic wave theory) หรือสมมติฐานของพลังค์ (Planck's hypothesis)

ฟลักซ์สูงสุดของการแผ่รังสีจากวัตถุที่อุณหภูมิ T สามารถอธิบายได้ด้วยกฎของสเตฟาน-โบลต์สมานน์ (Stefan-Boltzmann law)

$$E_b = \sigma T^4 \quad (2.17)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์

σ คือ ค่าคงที่ของสเตฟาน-โบลต์สมานน์

(5.6697×10^{-8} วัตต์ต่อตารางเมตร-เคลวิน⁴)

E_b คือ กำลังการเปล่ง (Emissive power)

แต่หากพิจารณาในกรณีของการแผ่รังสีของวัตถุเทา (Gray Body) ที่ปล่อยอุณหภูมิต่ำเพียงเล็กน้อยกับการแผ่รังสีของวัตถุดำที่เป็นแบบอุดมคติ (Ideal radiation) แล้ว จะพบว่าค่าฟลักซ์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาของวัตถุเทาจะมีค่าต่ำกว่า เป็นไปตามสมการที่ (2.4)

$$q = \epsilon E_b = \epsilon \sigma T^4 \quad (2.18)$$

เมื่อ q คือ ค่าฟลักซ์ของการแผ่รังสีของวัตถุ (วัตต์ต่อตารางเมตร)

ϵ คือ สภาพเปล่งรังสี (Emissivity) เป็นตัวบอกประสิทธิภาพในการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิว โดยเปรียบเทียบกับวัตถุดำ (-)

2.12 การวิเคราะห์ผลการทดสอบเตาเผาอิฐ

ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบเตาเผาอิฐ มีวิธีการคำนวณหาค่า ดังนี้ (กำพล ประทีปชัยกุล และคณะ, 2542)

2.12.1 การคำนวณหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการเผาอิฐ

พลังงานจำเพาะคือ ความร้อนที่ใช้เผาอิฐต่อหน่วยน้ำหนักอิฐสุก พลังงานจำเพาะที่ใช้ในการเผาอิฐเป็นข้อมูลสำคัญที่จะบ่งชี้ว่า เตาเผาอิฐที่ใช้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานมากน้อยเพียงใดสามารถนำไปเปรียบเทียบกับเตาเผาอิฐแบบต่าง ๆ ได้ การคำนวณค่าพลังงานจำเพาะจะคำนวณจากพลังงานของไม้ฟืนที่ป้อนเข้าเตาทั้งหมดตลอดระยะเวลาที่ใช้ในการเผาในเตาเผาหนึ่ง ต่อ น้ำหนักอิฐสุกที่ได้จากการเผา

$$Q_t = m_f \times HV \quad (2.19)$$

$$E_s = \frac{Q_t}{m_b} \quad (2.20)$$

เมื่อ Q_t คือ พลังงานจากไม้ฟืนทั้งหมด (กิโลจูล)

E_s คือ พลังงานจำเพาะ (กิโลจูล/กิโลกรัม)

m_f คือ น้ำหนักไม้ฟืนที่ใช้ทั้งหมด (กิโลกรัม)

HV คือ ค่าความร้อนของไม้ฟืนที่สัดส่วนความชื้นไม้ที่ใช้เผา (กิโลจูล/กิโลกรัม)

m_b คือ น้ำหนักอิฐสุก (กิโลกรัม)

2.12.2 การคำนวณหาพลังงานที่สูญเสียของเตาระหว่างกระบวนการเผา

1) พลังงานที่สูญเสียผ่านผนัง ใช้สมการ การนำความร้อนระหว่างผนังด้านในและด้านนอก มีสมการเป็น

$$Q_{wall} = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{t=1}^j \left(Ak \frac{\Delta T}{\Delta x} dt \right) \right]_i \quad (2.21)$$

เมื่อ Q_{wall}	คือ ปริมาณความร้อนที่สูญเสีย (KJ)
A	คือ พื้นที่ความสูญเสียความร้อน (m^2)
k	คือ ค่าการนำความร้อนของผนังสองชั้น (W/mK)
ΔT	คือ ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของผนังในช่วงเวลา ($^{\circ}C$)
Δx	คือ ความหนาของผนัง (m)
i	คือ ผนังที่มีการสูญเสียความร้อน
j	คือ เวลาที่สูญเสียความร้อน
dt	คือ ช่วงเวลาที่มีการสูญเสียความร้อน (s)

การหาพลังงานสูญเสียผ่านผนังทั้งหมดใช้วิธีการหาผลรวมจากเวลาเริ่มเผาจนถึงเวลาสิ้นสุด การเผาของผนังทุกเตาที่มีการรับความร้อน ผนังที่มีการรับความร้อนและสูญเสียความร้อนผ่านได้แก่ ผนังเตา, หลังคาเตา, พื้นเตา, ประตูเตาและท่อทางเดินอากาศร้อน ค่าอุณหภูมิแต่ละค่าที่ใช้ ในการคำนวณได้จากการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาที่ติดกัน คือ $\left[\frac{T_j + T_{j+1}}{2} \right]$

2) พลังงานที่สะสมในเตา คือ ความร้อนที่ทำให้โครงสร้างของเตามีอุณหภูมิสูงขึ้น จากอุณหภูมิเริ่มต้นในแต่ละครั้งที่เผาคำนวณโดย ใช้สมการ

$$Q_{kiln} = \sum_{i=1}^n (mc_p \Delta T)_i \quad (2.22)$$

เมื่อ Q_{kiln}	คือ ปริมาณความร้อนที่สะสมในเตาในกระบวนการเผา (KJ)
m	คือ มวลของวัสดุที่ใช้ทำเตา (kg)
c_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ ($KJ/kg \cdot ^{\circ}C$)
ΔT	คือ ค่าผลต่างของอุณหภูมิวัสดุที่เวลาเริ่มต้นการเผา กับที่อุณหภูมิสูงสุดของกระบวนการเผา ($^{\circ}C$)

ส่วนประกอบของเตาที่มีการรับความร้อนและสะสมความร้อนได้แก่ผนังเตา, หลังคาเตา, พื้นเตา, ประตูเตาและท่อทางเดินก๊าซร้อน (ท่อผนังก่ออิฐและท่อซิเมนต์ทนไฟ) การคำนวณจะหาผลรวมของปริมาณความร้อนที่สะสมในส่วนประกอบต่าง ๆ ของเตาดังกล่าวข้างต้น โดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิจากอุณหภูมิเริ่มต้นของกระบวนการเผาจนถึงอุณหภูมิสูงสุดของกระบวนการเผาซึ่งอุณหภูมิเหล่านี้ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโครงสร้างเตาที่รับความร้อน

3) พลังงานที่สูญเสียออกจากปล่องคำนวณได้จากอุณหภูมิจึงและอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากปล่องตั้งแต่เริ่มกระบวนการเผาจนสิ้นสุดกระบวนการเผาของแต่ละเตาโดยค่าอุณหภูมิต่างค่าที่ใช้ในการคำนวณจะได้จากการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาที่เกี่ยวข้อง ใช้สมการ

$$Q_{stack} = \sum_{t=1}^i \dot{m} c_p \Delta T dt \quad (2.23)$$

หรือใช้สมการ

$$Q_{stack} = \sum_{t=1}^i \dot{m} (h_e - h_i) dt \quad (2.24)$$

เมื่อ

Q_{stack}	คือ ปริมาณความร้อนสูญเสียที่ปล่อง (KJ)
\dot{m}	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (Kg/s)
ΔT	คือ ผลต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิก๊าซที่เข้าเตาและออกสู่ปล่อง (°C)
c_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศที่ออกสู่ปล่อง (KJ/Kg°C)
h_e	คือ ค่าเอนทาลปีของอากาศที่ออกสู่ปล่อง (KJ/Kg)
h_i	คือ ค่าเอนทาลปีของอากาศที่เข้าเตา (KJ/Kg)

4) พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐ

พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐคำนวณจากผลต่างของพลังงานความร้อนจากไม้ฟืนที่ใช้ทั้งหมดระหว่างกระบวนการเผากับพลังงานความร้อนที่สูญเสียทั้งหมดระหว่างกระบวนการเผา

$$Q_{brick} = Q_t - (Q_{wall} + Q_{kiln} + Q_{stack}) \quad (2.25)$$

Q_{brick} พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐ (KJ)

5) ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผา

ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผา (η_{th}) คือค่าความร้อนที่ระบบต้องการ(ทำให้อิฐสุก) ส่วนด้วยความร้อนที่เข้าระบบทั้งหมด

ดังนั้นประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\eta_{th} = \frac{Q_{brick}}{Q_t} \quad (2.26)$$

2.13 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเผาอิฐและเตาเผา รวมถึงงานพัฒนาผลิตภัณฑ์อิฐดินเผา มีดังนี้ Prasertsan และคณะ (S. Prasertsan, T.T., 1997) ได้ศึกษาการพัฒนาเตาเผาอิฐประสิทธิภาพสูง ด้วยการสร้างแบบจำลองเตาเผาชนิดระบายความร้อนลงผ่านคอมพิวเตอร์โดยเตาเผาใหม่ชนิดนี้มีลักษณะประกอบไปด้วย สีห้องสำหรับรองรับชั้นตอนกระบวนการต่าง ๆ นั่นคือกระบวนการไล่ความชื้น การอุ่นเตา การเผาและห้องสุดท้าย สำหรับกระบวนการปล่อยให้ผลิตภัณฑ์เย็นตัวลง ทั้งสีห้องถูกออกแบบให้แยกออกจากกันและมีการทำงานที่ต่อเนื่องตลอดเวลา โดยใช้หลักการหมุนเวียนความร้อน ผลจากการทดลองพบว่าค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในกระบวนการต่ำกว่า 2300 กิโลจูลต่อกิโลกรัม อิฐและตัวเตาเผามีประสิทธิภาพในการทำงานสูงถึงร้อยละ 62.6 แต่ยังคงต้องมีการพัฒนาปรับปรุงในส่วนอื่นๆต่อไปอีก

Prasertsan และคณะ (S.Prasertsan, 1995) ได้ศึกษาสภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิฐดินเผาในประเทศไทยพบว่าปัญหาสำคัญที่ทำให้อุตสาหกรรมอิฐดินเผาในประเทศไทยต้องปิดตัวลงเกิดจากต้นทุนการผลิตในด้านพลังงานมีค่าสูงและเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการหายากขึ้น หากจำแนกออกเป็นต้นทุนด้านพลังงานที่เกิดจากการใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิงนั้นจะมีค่าสูงถึงร้อยละ 30 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด ในขณะที่ต้นทุนด้านพลังงานของเตาเผาที่ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิง อยู่ที่ร้อยละ 6-7 ซึ่งหมายถึงว่ามีค่าการใช้พลังงานจำเพาะสำหรับเชื้อเพลิงไม้เป็น 1580 – 3790 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ และมีค่าการใช้พลังงานจำเพาะ 670-5420 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ จากการทดลองพบว่า หากทำการเปลี่ยนแปลงเตาเผาแบบเดิมมาเป็น เตาเผาแบบต่อเนื่องจะให้ผลของการลดปริมาณการใช้พลังงานได้ถึงร้อยละ 60 นอกจากนี้ ยังต้องพัฒนาวัสดุก่อสร้างน้ำหนักเบาและเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงที่เข้ามาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลชนิดอื่นควบคู่ไปด้วย

ศิริพรรณและคณะ (ศิริพรรณและคณะ, 2562) ได้ศึกษาสภาพภาพของโรงงานผลิตอิฐก่อสร้างดินเผาในประเทศไทย รวมถึง กระบวนการผลิตและเทคโนโลยีที่ใช้ แหล่งการผลิตและการกระจายตัวของโรงงานผลิตอิฐ ทำการประเมินและจำแนกศักยภาพของโรงงานผลิตอิฐก่อสร้างดินเผา เพื่อเป็นแนวทางในการส่งเสริมและพัฒนา โดยมีขอบเขตและขั้นตอนในดำเนินงาน เริ่มจากการรวบรวมความรู้และเทคโนโลยีการผลิตอิฐก่อสร้างดินเผาทั้งในและต่างประเทศ ดำเนินการสำรวจโรงงานอิฐดินเผาทั่วประเทศจำนวน 197 โรงงาน ในการสำรวจได้ใช้แบบสอบถาม การสัมภาษณ์ ทางโทรศัพท์ และการลงพื้นที่สำรวจ นอกจากนี้ยังได้สัมภาษณ์ความเห็นของผู้ที่เกี่ยวข้องกับวงการก่อสร้างเพื่อใช้ ประกอบการวิเคราะห์แนวโน้มการตลาดของโรงงานผลิตอิฐก่อสร้างดินเผา มาข้อมูลมาวิเคราะห์โดยใช้ตัวเลขทาง สถิติ เพื่อประมวลผลสรุปผลการศึกษา การผลิตอิฐในทวีปต่าง ๆ และประเทศไทยมีกระบวนการผลิตและเทคโนโลยีกระบวนการผลิตที่ไม่แตกต่างกัน ประกอบด้วยการ

เตรียมเนื้อดินโดยหมักหรือผสมน้ำ ขึ้นรูป ตากแห้ง และเผา สำหรับแนวโน้มของการพัฒนาเทคโนโลยีที่สำคัญพบว่าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพื่อลดต้นทุนและลดประเด็นปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อม ผลจากการสำรวจโดยการสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถาม มีผู้ตอบแบบสอบถามเป็นตัวแทนผู้ประกอบการ โรงงานผลิตอิฐก่อสร้างดินเผาตอบแบบสอบถามรวม 197 ราย ที่มีที่ตั้งกระจายอยู่ทั่วประเทศ แยกเป็นในเขต จังหวัดภาคเหนือ 37 โรงงาน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 62 โรงงาน ภาคกลาง 44 โรงงาน ภาคตะวันออก 4 โรงงาน ภาคตะวันตก 6 โรงงาน และภาคใต้ 44 โรงงาน โดย โรงงานที่ตอบแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดเล็กที่มีผู้ประกอบการเพียงคนเดียว 93% และที่เหลือเป็นโรงงานที่จดทะเบียนเป็นบริษัท 5% และห้างหุ้นส่วนจำกัด 2% ตามลำดับ ผู้ผลิตโดยส่วนใหญ่ยังคงทำการผลิตอิฐก่อสร้างดินเผาในรูปแบบดั้งเดิม กระบวนการขึ้นส่วนรูปใหญ่รีดด้วยเครื่องรีด ซึ่งคิดเป็น 90 % และ 7 % ขึ้นรูปด้วยมือซึ่งมักใช้ผลิตอิฐต้น ส่วนชนิดของการเผาพบว่าภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นการเผาแบบสุ่มแกลบภาคเหนือและ ภาคใต้เผาโดยใช้เตาสีเหลี่ยม ภาคกลางบางส่วนและภาคตะวันออกเฉียงเหนือเผาโดยใช้เตาโดม และมีการใช้เตาเผาอื่น ๆ บ้าง อาทิ เตาก๊าซ เตาไฟฟ้า เตามังกร การผลิตอิฐโดยใช้เตาเผาแบบสุ่มแกลบมีปริมาณมากที่สุด 35% รองลงมา คือ เตาโดม 30% และเตาสีเหลี่ยม 27% ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่า การเผาด้วยวิธีการสุ่มแกลบ มีการเสียหายของ ผลิตภัณฑ์ที่เผามากกว่าการเผาด้วยเตาสีเหลี่ยมขนาดของผู้ประกอบการที่ได้จากการสำรวจนี้แบ่งได้เป็น 2 ขนาด คือ โรงงานขนาดย่อม มีคนงานไม่เกิน 50 คน ซึ่งพบเป็นส่วนมากและกระจายอยู่ทั่วประเทศ และพบเพียง 3 โรงงานเท่านั้น ที่เป็นโรงงานขนาดกลาง มีคนงานมากกว่า 50 คน

วิทวัส และคณะ (วิทวัสและคณะ,2557) ได้วิจัยที่จะออกแบบแบบจำลองเตาเผาอิฐอย่างง่ายและการออกแบบกระบวนการเผาอิฐดินเผาโดยใช้หลักพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแบบสามมิติ (CFD) โดยศึกษาตัวแปรต้นสำหรับการออกแบบ $2^{k=3}$ แฟคตอเรียล ได้แก่ ความสูงของเตาเผาอิฐที่ 200 และ 225 เซนติเมตร ความกว้างของขนาดช่องเปิดในแนวราบที่ 7.5 และ 15 เซนติเมตร ความสูงของช่องเปิดที่ 45 และ 60 เซนติเมตร ในส่วนของตัวแปรตามที่ถูกเลือก ได้แก่ ปริมาตรรวม ของอิฐดินเผา การกระจายตัวของอุณหภูมิและเวลาที่เข้าสู่สภาวะอุณหภูมิคงที่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการออกแบบ 2^3 แฟคตอเรียล แสดงผลของความกว้างและความสูง ของช่องเปิดที่ส่งผลต่อเวลาที่เข้าสู่สภาวะอุณหภูมิคงที่ ขณะที่การกระจายตัวของอุณหภูมิและ ปริมาตรรวมของอิฐดินเผาจะขึ้นกับตัวแปรต้นทั้งสาม จากการออกแบบแบบจำลองเตาเผาพบว่า แบบจำลองที่มีการเพิ่มความสูงของเตาจาก 200 เซนติเมตรเป็น 225 เซนติเมตรและมีความกว้าง ของช่องเปิดที่ 7.5 เซนติเมตร นั้นให้ปริมาตรรวมของอิฐมากที่สุดโดยที่ยังมีการกระจายตัวของ อุณหภูมิและเวลาในการเข้าสู่สภาวะอุณหภูมิคงที่ได้ดี จากการที่นำแบบจำลองที่ออกแบบไปใช้สำหรับ กระบวนการเผาอิฐ

จริงพบว่าสามารถช่วยลดปริมาณอิฐที่เสียจากกระบวนการเผาองได้เหลือเพียง 4% จากเดิมที่มีอิฐเสียถึง 10%

อนุสรณ์และคณะ (อนุสรณ์ รัตนธรรณโสภาส, จิระพันธ์ เนื่องจากนิล, วิทยา ภูมิสามพราน, และศันสนีย์ แสนศรีพันธ์, 2556) ได้ทำวิจัย เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานความร้อนของเตาเผาอิฐขนาดความจุ 200,000 – 300,000 ก้อน โดยลดการสูญเสียความร้อนผ่านผนังเตา และวิเคราะห์ เปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาเผาอิฐทั้ง 2 แบบ คือ เตาเผาอิฐแบบเดิมที่ใช้ผนังสังกะสีล้อมกรอบ เปรียบเทียบกับเตาเผาอิฐ ที่ปรับปรุง ผนังเตาอิฐที่ปรับปรุงทำจากเหล็กแผ่นหนา 1.2 มม. ติดตั้ง ฉนวนใยแก้วทนไฟหนา 5 ซม. ไว้ภายในผนังเตา และออกแบบให้มีบัง ใวด้านข้างขนาด 10 ซม. เพื่อป้องกันอันตรายเปลวไฟและลดการ สูญเสียความร้อนผ่านช่องว่างระหว่างผนังเตา ผลการทดสอบพบว่า เตาเผาอิฐที่ปรับปรุงมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนมากกว่าเตาเผาอิฐแบบดั้งเดิม โดยเตาที่ปรับปรุงมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นจาก 45.9% เป็น 53.3% สามารถลดปริมาณการใช้แกลบเมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาแบบเดิมลงได้ 31.7 ต้นต่อปีใช้เงินลงทุนในการปรับปรุงเตา 72,000 บาท สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 11 เดือน และมีอายุการใช้งานมากกว่า 3 ปี

อุกฤตและคณะ (อุกฤต สมัครสมาน และคณะ, 2564) ได้ทำการศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลแบบใหม่เปรียบเทียบกับแบบ ดั้งเดิมด้วยการตรวจวัดอุณหภูมิและวิเคราะห์แก๊สเสีย รวมทั้งประเมินเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นโดยใช้รูปแบบการเก็บข้อมูล ปฐมภูมิและข้อมูลด้านเทคนิค พบว่า เตาเผาอิฐมอญที่ได้รับการพัฒนามีโปรไฟล์อุณหภูมิเหมาะสมกับรูปแบบการผลิตอิฐ มอญของผู้ประกอบการในเขตพื้นที่อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลาปาง ซึ่งไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก โดยมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วง การอุ่นอิฐอยู่ในช่วง 500-600 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิสูงสุดในช่วงการเผาอิฐอยู่ในช่วง 1,000-1,100 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับเตาเผาอิฐมอญแบบดั้งเดิมประสิทธิภาพการเผาไหม้ที่คำนวณจากสัดส่วนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อผลรวมของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และคาร์บอนมอนอกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น 3-4% อีกทั้งเตาเผาอิฐมอญแบบใหม่ยังสามารถ เพิ่มปริมาณก้อนอิฐต่อครั้งของการเผาเพิ่มความจุเพิ่มขึ้น 42.85% และปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลลดลงประมาณ 4 ต้น/ ครั้ง โดยอิฐมอญที่เผาในเตาเผาอิฐมอญแบบใหม่มีดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ เท่ากับ 2.26 เมกะจูล/กิโลกรัม และ ส่งผลต่อต้นทุนการเผาอิฐแต่ละก้อนมีต้นทุนลดลง ประมาณ 44.25% โดยมีระยะเวลาคืนทุนที่ 1.14 ปี อย่างไรก็ตามการ เผาแต่ละครั้งจะต้องใช้ระยะเวลาในการเผาอิฐและปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งข้อมูลนี้สามารถสร้างความมั่นใจให้ ผู้ประกอบการในการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีในอนาคต

สมพล และทนงเกียรติ (สมพล และทนงเกียรติ, 2547) ได้วิจัยและศึกษาสภาพการใช้พลังงานในกระบวนการเผาอิฐแบบโดมขนาด 100 ลูกบาศก์เมตร โดยใช้พลังงานก๊าซ LPG และไม้ฟืน

ซึ่งการทำงานของเตามี 3 กระบวนการ เริ่มต้นจากการไล่ความชื้น, การเผา, การระบายความร้อน, ซึ่งการทดลองมีสองกรณี คือ กรณีใช้พลังงานฟืนร่วมกับก๊าซLPG และกรณีใช้พลังงานฟืน โดยในการศึกษาจะพิจารณาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อกระบวนการเผาอิฐรูปตัวไอ ที่มีน้ำหนักเปียก 2.1 กิโลกรัมต่อก่อน, น้ำหนักก่อนเข้าเตาเผา 1.4 กิโลกรัมต่อก่อน, น้ำหนักอิฐสุก 1.2 กิโลกรัมต่อก่อน, และมีการนำความร้อนที่กลับมาอบวัตถุดิบโดยเครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอน ผลการศึกษาพบว่ากรณีปรับปรุง เตาเผาโดยใช้พลังงานก๊าซLPGและฟืนที่มีความเร็วพัดลมดูดอากาศที่ 4- 5 เมตรต่อวินาที พบว่ากระบวนการไล่ความชื้นโดยใช้ก๊าซLPG และฟืนมีอุณหภูมิในเตาเฉลี่ยเท่ากับ 342 องศาเซลเซียส, ใช้เวลา 64 ชั่วโมง, เป็นผลทำให้กำลังการผลิตเพิ่มขึ้นจากเดิม 12.50%, ระยะเวลาคืนทุน 4.3 ปี, IRR เท่ากับ 6.69%, กรณีปรับปรุงเตาเผาใช้พลังงานฟืนอย่างเดียวที่ความเร็วพัดลมดูดอากาศที่ 6-7 เมตรต่อวินาที พบว่า เมื่อกระบวนการไล่ความชื้นโดยใช้พลังงานจากไม้ฟืน มีอุณหภูมิที่เหมาะสมในการไล่ความชื้นในวัตถุดิบให้หมดได้มีอุณหภูมิในเตาเฉลี่ยเท่ากับ 323 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 50 ชั่วโมง, กระบวนการเผาโดยใช้พลังงานไม้ฟืนมีอุณหภูมิในเตาเฉลี่ยเท่ากับ 684 องศาเซลเซียส, ใช้เวลาเจ็ด 10 ชั่วโมง, กระบวนการระบายความร้อนใช้เวลา 70 ชั่วโมง, กระบวนการระบายความร้อนใช้เวลา 136 ชั่วโมง, กำลังการผลิตเพิ่มขึ้น 28.48%, ระยะเวลาคืนทุน 1.77 ปี, IRR เท่ากับ 48.41% การนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่โดยเครื่องอุ่นอากาศแบบเทอร์โมไซฟอน เพื่อที่มากอบวัตถุดิบก่อนนำไปเผา สามารถทำให้อุณหภูมิเข้าห้องอบได้ 40 ถึง 60 องศาเซลเซียสในขั้นตอนกระบวนการเผาและระบายความร้อน อย่างไรก็ตามเตานี้ยังต้องมีการจัดวางวัตถุดิบเพื่อให้การถ่ายเทความร้อนได้อย่างทั่วถึง



บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาคุณสมบัติของอิฐ การใช้เตาเผาอิฐ พลังงานที่ใช้ในการเผาและความร้อนสูญเสียใช้กับเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง และพลังงานความร้อนที่สูญเสียออกจากเตาพร้อมกับหาแนวทางในการ ปรับปรุงเตาเผาอิฐให้มีความร้อนสูญเสียลดลง พร้อมทดสอบและประเมินสมรรถนะทางความร้อนของเตาเผา ก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งมีวิธีการดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์จึงมีวิธีการทดสอบหลักดังต่อไปนี้

- 1) ศึกษาคุณสมบัติของอิฐ การใช้เตาเผาอิฐ พลังงานที่ใช้ในการเผาและความร้อนสูญเสียของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง
- 2) พัฒนาและปรับปรุงเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง
- 3) ทดสอบและประเมินสมรรถนะของเตาเผา ก่อนและหลังการปรับปรุง

3.1 การศึกษาคุณสมบัติของอิฐ การใช้เตาเผาอิฐ พลังงานที่ใช้ในการเผาและความร้อนสูญเสียของเตาเผาอิฐแบบเดิม

เริ่มต้นจากการศึกษาคุณสมบัติของอิฐ การใช้เตาเผาอิฐ พลังงานที่ใช้ในการเผาและความร้อนสูญเสียรวมถึงลักษณะและโครงสร้าง กลไกการทำงานของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง ซึ่งพบว่าเตาเผาอิฐเป็นรูปทรงกระบอกสี่เหลี่ยมมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 3 ส่วนคือ 1) ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงรูปครึ่งทรงกระบอกกลมอยู่บริเวณด้านหน้าเตา 2) ห้องบรรจุอิฐเป็นที่ห้องสี่เหลี่ยมไว้สำหรับบรรจุอิฐและชิ้นงานต้องการเผาอยู่ตรงกลางระหว่างห้องเผาไหม้และท่อลมร้อนออกด้านหลัง 3) ท่อลมร้อนออกด้านหลังเตาฝังตรงข้ามกับห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง ดังภาพประกอบที่ 14 ซึ่งแต่ละส่วนมีหน้าที่และหลักการทำงานดังนี้

- 1) ห้องเผาไหม้เชื้อเพลิงด้านหน้าของเตาก่อด้วยอิฐและดินเหนียวเป็นรูปครึ่งทรงกระบอกกลม มีขนาดภายนอก $2 \times 2 \times 1.5$ เมตร จำนวน 2 ห้องเผาไหม้ มีฝาปิดเหล็กอยู่บริเวณด้านหน้าเตาและช่องใส่พืนวงกลมทำมาจากกระทะรถ 10 ล้อ โดยตัดส่วนที่เป็นฝากระทะออกให้เหลือแต่วงล้อเหล็กแล้วนำมาเชื่อมต่อกันเพื่อสร้าง ให้เป็นรูปวงกลมกลวงสามารถโยนไม้พืนผ่านได้โดยที่ไม่เกิดความเสียหายกับตัวผนังห้องเผาไหม้ และเพื่อทำหน้าที่เป็นวงกบสำหรับฝาเหล็กที่มาปิดเตาเวลาเติมเชื้อเพลิงเสร็จ โดยห้องเผาไหม้นี้เป็นส่วนที่เผาไหม้ไม้พืนให้เกิดความร้อนและความร้อนจะลอยผ่านอิฐที่เรียงอยู่กลางเตาแล้วออกทางด้านปล่องความร้อนหลังเตา ใต้ห้องเผาไหม้จะมีท่อลมที่รับลมมา

จากพัดลมอัดอากาศ(Blower) เพื่อเติมอากาศให้กับห้องเผาไหม้ทำให้ไม้พินเผาไหม้ได้สมบูรณ์มากขึ้น ทุกรอบการเติมเชื้อเพลิงหรือไม้พินจะมีการปิดพัดลมอัดอากาศก่อนแล้วเปิดฝาเหล็กเติมไม้พิน ด้านหน้าห้องเผาไหม้ หลังจากเติมไม้พินได้พอประมาณในห้องเผาไหม้ โดยเฉลี่ยการเติมไม้พิน ประมาณ 400 – 500 กิโลกรัมต่อครั้ง แล้วทำการปิดฝาเหล็กจากนั้นเปิดพัดลมอัดอากาศเพื่อเติมอากาศเข้าไปในห้องเผาไหม้ เพื่อให้ภายในห้องเผาไหม้มีอากาศเพียงพอที่จะทำการเผาไหม้ไม้พินและเผาไหม้ได้ดีขึ้นจากนั้นทิ้งไว้ ประมาณ 1-1.5 ชั่วโมง จนไม้พินไหม้จนเหลือแต่ถ่าน จากนั้นทำการปิดพัดลมอัดอากาศเปิดฝาเหล็กเพื่อที่จะเติมเชื้อเพลิงอีกครั้งทำซ้ำ ๆ จนครบ 30-36 ชั่วโมงหรือจนอิฐสุก

2) ห้องบรรจุอิฐเป็นห้องรูปทรงสี่เหลี่ยมไว้สำหรับบรรจุอิฐและชิ้นงานที่ต้องการเผา มีขนาด กว้างxยาวxสูง ภายนอก 5x9x2.5 เมตร ภายใน 4x8x2.5 เมตร ผนังทั้ง 4 ด้านก่อด้วยอิฐและดินเหนียวโดยมีผนังหนึ่งด้านที่ทำเป็นทางเอาอิฐเข้าและออกจากเตา โดยเว้นช่องประมาณ 2 เมตร ภายในสามารถบรรจุอิฐสี่รู ขนาด 6.5x6.5x15 เซนติเมตร ได้ 47,045 และอิฐดิบแบบแปดรู ขนาด 12x6.5x20 เซนติเมตรได้ 3,932 ก้อน อิฐจะถูกนำเข้ามาเรียงในเตาเป็นแถว ๆ ความกว้างของแถว ประมาณ 48 เซนติเมตร (อิฐ 3 ก้อน) โดยระยะห่างของแถวอิฐกับผนัง และแถวอิฐกับแถวอิฐจะห่างกันประมาณ 15 เซนติเมตร หัวและท้ายของแถวอิฐก็จะห่างจากผนัง 15 เซนติเมตรเช่นกัน อิฐจะถูกเรียงให้เป็นช่องว่างจากฐานเตาขึ้นมาประมาณเจ็ดชั้นหลังจากนั้นจะเรียงอิฐทีบขึ้นไปจนถึงด้านบนสุดของเตาประมาณ 3-4 ชั้นแล้วค่อยย่นอิฐแต่ละชั้นออกมาเพื่อที่จะค้ำยันกันระหว่างแถว และเพื่อปิดช่องว่างระหว่างแถวเมื่อเรียงอิฐเสร็จ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 5 เมื่อเรียงอิฐเสร็จจะปิดทับด้วยอิฐอีกชั้นหนึ่งและอิฐก้อนใหญ่ทับอีกชั้นหนึ่งสุดท้ายกลบอิฐที่เรียงทั้งหมดด้วยทรายให้เต็มด้านบนของเตาก่อนที่จะทำการเผาอิฐดังภาพประกอบที่ 14 เพื่อกันไม่ให้ความร้อนจากการเผาไหลออกทางด้านบนของเตา และเป็นการบังคับความร้อนให้ไหลออกไปยังท่อความร้อนด้านล่างและไหลออกทางด้านหลังของเตา

3) ท่อลมร้อนออกด้านหลังเตา เป็นส่วนที่อยู่ท้ายสุดของเตามีลักษณะเป็นท่อคอนกรีต ขนาด 40 เซนติเมตรยาวประมาณ 2 เมตร ด้านปลายท่อก่อทับด้วยอิฐและปูน ไว้สำหรับเป็นฐานวางท่อไยหินขนาด 8 นิ้วยาว 4 เมตร เพื่อเป็นปล่องระบายความร้อนออกจากเตาซึ่งท่อความร้อนไหลออกนี้มีอยู่ทั้งหมด 6 ท่อ ด้วยกันและทั้ง 6 ท่อจะ ทำหน้าที่เป็นช่องทางให้ความร้อนที่มาจากห้องเผา และผ่านอิฐที่เรียงอยู่ในเตาออกโดยเฉลี่ยความร้อนให้กระจายออกจากเตาเท่า ๆ กันทั่วทั้งเตา เพื่อให้อิฐที่ถูกเผาสุกได้สม่ำเสมอ



ภาพที่ 14 ภาพของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดความร้อนลง

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบ

- 1) เตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดความร้อนลงของโรงงานอิฐมอญเมืองยศ ขนาด กว้างxยาวxสูง ภายนอก 5x9x2.5 เมตร ภายใน 4x8x2.5 เมตร แสดงดังภาพประกอบที่ 14 อิฐดิบแบบสี่รู ขนาด 6.5x6.5x15 เซนติเมตร จำนวน 47,045 ก้อน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 15 และอิฐดิบแบบแปดรู ขนาด 12x6.5x20 เซนติเมตร จำนวน 3,932 ก้อนดังแสดงในภาพประกอบที่ 16
- 2) ไม้ฝืนรวมสำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการเผาอิฐ โดยซั้งเป็นน้ำหนัก(กิโลกรัม) ในการเติมเชื้อเพลิงแต่ละครั้ง
- 3) อิฐสุกแปดรูก้อนใหญ่สำหรับปิดทางเข้าของเตาเผา และด้านบนของเตา ดังแสดงในภาพที่ 16 ดังนี้

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ



ภาพที่ 15 อิฐสีรุ้ง ขนาด 6.5x6.5x15 เซนติเมตร



ภาพที่ 16 อิฐแปดรู ขนาด 12x6.5x20 เซนติเมตร

4) ดินเหนียวผสมน้ำให้มีความเหนียวพอประมาณสำหรับฉาบปิดอิฐทางเข้าของ
เตา

5) ทรายละเอียดสำหรับปิดตามบนของเตาเพื่อกันไม่ให้ความร้อนไหลออกจากเตา

6) เทอโมคัปเปิล Type K ยี่ห้อ Interheat และสายสัญญาณ แสดงดัง
ภาพประกอบที่ 17 ดังนี้



ภาพที่ 17 เทอโมคัปเปิล Type K ยี่ห้อ Interheat และสายสัญญาณ

7) Data locker สำหรับเก็บรวบรวมค่าอุณหภูมิที่ได้จากตัวเทอร์โมคัปเปิล ณ จุดต่าง ๆ
ของเตา ยี่ห้อ Lutron รุ่น BMT-4208SD แบบ 12 channels แสดงดังภาพประกอบที่ 18



ภาพที่ 18 Data locker ยี่ห้อ Lutron รุ่น BMT-4208SD แบบ 12 channel

8) เครื่องวัดอุณหภูมิแบบยิงรังสีอินฟราเรด 1350C ยี่ห้อ BENETECH สำหรับวัด
อุณหภูมิภายนอกเตา แสดงดังภาพประกอบที่ 19 ดังนี้

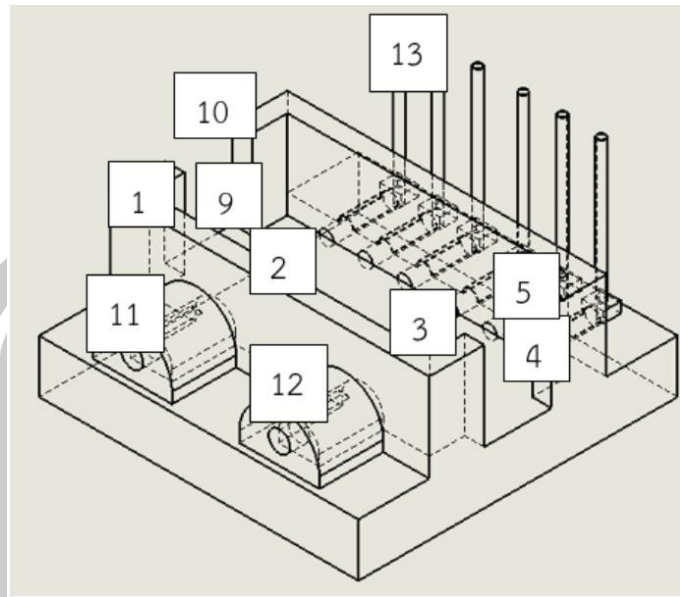


ภาพที่ 19 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบยิงรังสีอินฟราเรด 1350 °C ยี่ห้อ BENETECH

- 9) คอมพิวเตอร์สำหรับเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล
- 10) ส่วนหัวกระแทกสำหรับเจาะรูผนังเตาเพื่อจะสอด เทอโมคัปเปิลเข้าไปวัดอุณหภูมิภายในเตาได้
- 11) พัดลมอัดอากาศ ที่ใช้เติมอากาศเข้าห้องเผาเป็นพัดลมแรงดันขนาด 5 แรงม้า 2,800 rpm air flow 2664-5268 CMH, pressure 1578-1989 Pa

3.1.2 วิธีการทดสอบ

- 1) กำหนดจุดที่จะทำการเจาะผนังเตาเพื่อจะฝังเทอโมคัปเปิลแล้วนำส่วนหัวกระแทกเจาะผนังเตาตามตำแหน่งดังแสดงในภาพประกอบที่ 20 โดยจุดที่จะทำการวัดอุณหภูมินั้นกำหนดจากข้อมูลของทางผู้ประกอบการ ที่ได้ให้ข้อมูลว่า เตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลงนี้อิฐที่เรียงอยู่ในเตาจะเริ่มสุกจากข้างบนเตาลงสู่ด้านล่างของพื้นเตา ดังนั้นเพื่อที่จะหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ผนังได้อย่างถูกต้อง จุดที่เหมาะสมจะทำการวัดอุณหภูมิผนังแต่ละด้านคือ บริเวณด้านบนของผนัง ประมาณ 30 cm จากด้านบน (ตำแหน่งก่อนเรียงอิฐปิดหลังเตา) ตรงกลางผนัง และด้านล่างของผนังเตา โดยสูงจากพื้นเตาประมาณ 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นแนวระดับเดียวกับกับอิฐชั้นแรกที่เรียงแบบทึบ หลังจากเรียงโปรงขึ้นมาเป็นฐานแล้วจำนวน 7 ชั้น อิฐที่เรียงในชั้นนี้จะเป็นตัวชี้วัดความสุกของอิฐทั้งเตา ตามปกติแล้วทางโรงงานจะมีวิธีการสังเกตดูว่าอิฐที่เผาจะสุกทั้งเตาเมื่ออิฐที่อยู่ในเตามีสีแดงสว่างจ้าเหมือนเหล็กที่ถูกความร้อนหลอมจนละลาย เมื่ออิฐที่ชั้นนี้มีลักษณะดังที่ได้กล่าวไป นั่นคืออิฐทั้งเตาสุก จึงจะทำการปิดเตาแล้วหยุดการเผา ดังแสดงในภาพประกอบที่ 21 ส่วนด้านบนเตาและด้านล่างเตาตรงท่อความร้อนออกได้ทำการกำหนดจุดที่จะทำการวัดอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพประกอบที่



ภาพที่ 20 ภาพแสดงจุดที่จะทำการวัดอุณหภูมิเตาเผาอิฐ



ภาพที่ 21 แสดงภาพอิฐที่เผาสุกแล้วภายในเตา

2) เรียงอิฐสี่รูขนาด 6.5x6.5x15 เซนติเมตร จำนวน 47,000 ก้อนและอิฐดิบแบบแปดรูขนาด 12x6.5x20 เซนติเมตร จำนวน 3,932 ก้อน ที่ จะทำการเผาทดสอบเข้าไปในเตาจนเต็มตามรูปแบบการเรียงแบบเดิมของโรงงาน ดังแสดงในภาพประกอบที่ 5

3) ปิดเตาด้วยที่อิฐสุกแล้วที่ด้านหน้าปากทางเข้าเตาฉาบทาด้วยดินเหนียวที่ผสมน้ำไว้แล้วมีความเหนียวพอประมาณกลบด้านบนของเตาด้วยทราย

4) เตรียมไม้ฝืนรวมสำหรับเป็นเชื้อเพลิงในการทดสอบเผาอิฐ โดยชั่งเป็นน้ำหนัก (กิโลกรัม) ในการเติมเชื้อเพลิงแต่ละครั้ง

5) ติดตั้งพัดลมอัดอากาศเข้าตรงที่ท่ออัดลมเข้าในเตา เพื่อที่จะใช้เติมอากาศเข้าห้องเผา

6) ติดตั้งเทอมอคัปเปิล Type K เข้ากับจุดที่เจาะผนังไว้แล้ว เพื่อทำการวัดอุณหภูมิภายในเตา

7) เตรียมเครื่องวัดอุณหภูมิแบบยิงรังสีอินฟราเรด เพื่อที่จะวัดอุณหภูมิภายนอกของเตา

8) เติมไม้ฝืนเข้าบริเวณห้องเผาใหม่ จุดไฟอุ่นเตา (ยังไม่เปิดพัดลมอัดอากาศ) เพื่อไล่ไอน้ำออกจากอิฐ ประมาณ 24 ชั่วโมง เติมไม้ฝืนทุก 4 ชั่วโมง ทำการวัดอุณหภูมิภายในและภายนอกเตา ทุก ๆ 2 ชั่วโมงพร้อมบันทึกข้อมูล

9) เมื่อเตาอุ่นได้ที่และไล่ไอน้ำออกจากอิฐหมดแล้ว (สังเกตจากปล่องควันไอน้ำจะหมดไป) ทำการเติมไม้ฝืนแล้วปิดฝาเตาและเปิดพัดลมอัดอากาศ เติมไม้ฝืนที่ชั่งแล้วทุก 1-1.5 ชั่วโมง ทำการวัดอุณหภูมิภายในและภายนอกเตา ทุก ๆ 2 ชั่วโมงพร้อมบันทึกข้อมูล จนครบ 36 ชั่วโมงหรือจนอิฐสุก

10) ทำการวัดอุณหภูมิภายในและภายนอกเตา ทุก ๆ 2 ชั่วโมงพร้อมบันทึกข้อมูลต่ออีก 24 ชั่วโมง จนเปิดเตา

11) ชั่งน้ำหนักไม้ฝืนที่เหลือ

12) คำนวณหาค่าความร้อนที่ใช้ในการเผาอิฐจากจำนวนไม้ฝืนที่ใช้ไปทั้งหมด และคำนวณค่าความร้อนสูญเสียจากผนังเตา ตามสมการในหัวข้อที่ 2.13 เรื่องสมดุลความร้อนของเตาและการถ่ายเทความร้อน และประเมินสมรรถนะของเตาโดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิภายในเตาและที่ผนังเตา มาคำนวณตามสมการดังนี้

ก) การคำนวณหาค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการเผาอิฐ จากสมการ

$$Q_t = m_f \times HV \quad (2.19)$$

$$E_s = \frac{Q_t}{m_b} \quad (2.20)$$

เมื่อ Q_t คือ พลังงานจากไม้ฝืนทั้งหมด (กิโลจูล)

E_s คือ พลังงานจำเพาะ (กิโลจูล/กิโลกรัม)

m_f คือ น้ำหนักไม้ฝืนที่ใช้ทั้งหมด (กิโลกรัม)

HV คือ ค่าความร้อนของไม้ฝืนที่สัดส่วนความชื้นไม้ที่ใช้เผา (กิโลจูล/กิโลกรัม)

m_b คือ น้ำหนักอิฐสุก (กิโลกรัม)

ข) พลังงานที่สูญเสียผ่านผนัง ใช้สมการ การนำความร้อนระหว่างผนังด้านในและด้านนอก มีสมการเป็น

$$Q_{wall} = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{t=1}^j \left(Ak \frac{\Delta T}{\Delta x} dt \right)_{t,i} \right] \quad (2.21)$$

- เมื่อ Q_{wall} คือ ปริมาณความร้อนที่สูญเสีย (KJ)
 A คือ พื้นที่ความสูญเสียความร้อน (m^2)
 k คือ ค่าการนำความร้อนของผนังสองชั้น (W/mK)
 ΔT คือ ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของผนังในช่วงเวลา ($^{\circ}C$)
 Δx คือ ความหนาของผนัง (m)
 i คือ ผนังที่มีการสูญเสียความร้อน
 j คือ เวลาที่สูญเสียความร้อน
 dt คือ ช่วงเวลาที่มีการสูญเสียความร้อน (s)

การหาพลังงานสูญเสียผ่านผนังทั้งหมดใช้วิธีการหาผลรวมจากเวลาเริ่มเผาจนถึงเวลาสิ้นสุดการเผาของผนังทุกเตาที่มีการรับความร้อน ผนังที่มีการรับความร้อนและสูญเสียความร้อนผ่านได้แก่ ผนังเตา, หลังคาเตา, พื้นเตา, ประตูเตาและท่อทางเดินอากาศร้อน ค่าอุณหภูมิแต่ละค่าที่ใช้ ในการ

คำนวณได้จากการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาที่ถัดกัน คือ $\left[\frac{T_j + T_{j+1}}{2} \right]$

ค) พลังงานที่สะสมในเตา คือ ความร้อนที่ทำให้โครงสร้างของเตามีอุณหภูมิสูงขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้นในแต่ละครั้งที่เผาคำนวณโดย ใช้สมการ

$$Q_{kiln} = \sum_{i=1}^n (mc_p \Delta T)_i \quad (2.22)$$

- เมื่อ Q_{kiln} คือ ปริมาณความร้อนที่สะสมในเตาในกระบวนการเผา (KJ)
 m คือ มวลของวัสดุที่ใช้ทำเตา (kg)
 c_p คือ ค่าความร้อนจำเพาะของวัสดุ (KJ/kg $^{\circ}C$)
 ΔT คือ ค่าผลต่างของอุณหภูมิวัสดุที่เวลาเริ่มต้นการเผา กับที่อุณหภูมิสูงสุดของกระบวนการเผา ($^{\circ}C$)

ส่วนประกอบของเตาที่มีการรับความร้อนและสะสมความร้อนได้แก่ผนังเตา, หลังคาเตา, พื้นเตา, ประตูเตาและท่อทางเดินก๊าซร้อน (ท่อผนังก่ออิฐและท่อซิเมนต์ทนไฟ) การคำนวณจะหาผลรวมของปริมาณความร้อนที่สะสมในส่วนประกอบต่าง ๆ ของเตาดังกล่าวข้างต้น โดยใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิจากอุณหภูมิเริ่มต้นของกระบวนการเผาจนถึงอุณหภูมิสูงสุดของกระบวนการเผาซึ่งอุณหภูมิเหล่านี้ได้มาจากการหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโครงสร้างเตาที่รับความร้อน

ง) พลังงานที่สูญเสียออกจากปล่องคำนวณได้จากอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศที่ออกจากปล่องตั้งแต่เริ่มกระบวนการเผาจนสิ้นสุดกระบวนการเผาของแต่ละเตาโดยค่าอุณหภูมิแต่ละค่าที่ใช้ในการคำนวณจะได้รับการหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงเวลาที่เกิดขึ้น ใช้สมการ

$$Q_{stack} = \sum_{t=1}^i \dot{m} c_p \Delta T dt \quad (2.23)$$

หรือใช้สมการ

$$Q_{stack} = \sum_{t=1}^i \dot{m} (h_e - h_i) dt \quad (2.24)$$

เมื่อ

Q_{stack}	คือ ปริมาณความร้อนสูญเสียที่ปล่อง (KJ)
\dot{m}	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (Kg/s)
ΔT	คือ ผลต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศที่เข้าเตาและออกสู่ปล่อง (°C)
c_p	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศที่ออกสู่ปล่อง (KJ/Kg°C)
h_e	คือ ค่าเอนทาลปีของอากาศที่ออกสู่ปล่อง (KJ/Kg)
h_i	คือ ค่าเอนทาลปีของอากาศที่เข้าเตา (KJ/Kg)

จ) พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐ

พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐคำนวณจากผลต่างของพลังงานความร้อนจากไม้ฟืนที่ใช้ทั้งหมดระหว่างกระบวนการเผากับพลังงานความร้อนที่สูญเสียทั้งหมดระหว่างกระบวนการเผา

$$Q_{brick} = Q_t - (Q_{wall} + Q_{kiln} + Q_{stack}) \quad (2.25)$$

Q_{brick} พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐ (KJ)

ฉ) ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผา

ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผา (η_{th}) คือค่าความร้อนที่ระบบต้องการ(ทำให้อิฐสุก) ส่วนด้วยความร้อนที่เข้าระบบทั้งหมด

ดังนั้นประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\eta_{th} = \frac{Q_{brick}}{Q_t} \quad (2.26)$$

3.2 การพัฒนาและปรับปรุงเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง

จากกล่าวมาแล้วในบทนำว่าต้นทุนหลักของการผลิตอิฐดินเผาคือต้นทุนค่าพลังงานในการเผาคิดเป็นต้นทุนค่าพลังงานสูงถึง 30% ของต้นทุนทั้งหมด (S. Prasertsan, 1995) เตาเผาอิฐของประเทศไทยในปัจจุบันกว่า 87.5% เป็นเตาเผาแบบสุ่มแกลบและเตาเผาอิฐแบบใช้ไม้ฟืนชนิดความร้อนไหลขึ้น (ศิริพรรณ นิลไพรัชและคณะ, 2563) ซึ่งเป็นรูปแบบและวิธีการการเผาแบบดั้งเดิม ทำให้ต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผามาก สิ้นเปลืองพลังงาน และสร้างมลพิษ โรงงานอิฐบ้านชุมเงินได้เคยใช้การเผาทั้งสองวิธีมาแล้วจึงเห็นถึงปัญหาที่จะตามมาไม่ว่าจะเป็นเรื่องแนวโน้มของต้นทุนที่จะสูงขึ้น รวมถึงปัญหาด้านมลพิษจากการเผาที่จะส่งผลกระทบต่อชุมชนรอบโรงงาน จึงได้มีการพัฒนาเตาเผาอิฐชนิดใหม่คือเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลงที่ประหยัดเชื้อเพลิงมากกว่าเตาแบบสุ่มแกลบและเตาแบบความร้อนขึ้นเพราะความร้อนจะวนอยู่ในเตาผ่านชิ้นงานก่อนออกนอกเตาไป (สุขุมล, 2548) โดยมีห้องเผาเชื้อเพลิงอยู่ด้านหน้าเตา ปิดเตาโดยการ กลบทรายที่ด้านหลังเตา โดยเตาลักษณะนี้ได้พัฒนาและดัดแปลงมาจากเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาจำพวกกระถาง รังผึ้งเตาถ่าน และเตาอังโล่ที่ใช้ในครัวเรือนดังแสดงในภาพที่ 22 โดยการตัดส่วนโค้งหลังคาของเตาเดิมออก กลายเป็นเตาสี่เหลี่ยมแบบหลังคาเปิดดังแสดงในภาพที่ 14 เพื่อความสะดวกในการนำอิฐเข้าไปเรียงในเตา และการนำอิฐออกจากเตาเพื่อสามารถผลิตได้เร็วขึ้นและเย็นเร็วขึ้นเมื่อเปิดเตา เตาชนิดนี้ใช้ไม้ฟืนเป็นเชื้อเพลิง ในส่วนของห้องเผาใหม่ทำเป็นระบบปิด สามารถเปิด-ปิดช่องเดิมเชื้อเพลิงได้มีการเติมอากาศด้วยพัดลมอัดอากาศเข้าไปในห้องเผาใหม่ช่วยให้การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงทำได้ดีขึ้นทำให้ได้อุณหภูมิในห้องเผาและเตามากขึ้นกว่าเตาเดิมส่งผลให้อิฐหรือชิ้นงานที่เผาสุกเร็วขึ้น ฝุ่นและควันจากการเผาน้อยลง ใช้เชื้อเพลิงน้อยลง ลดเวลาการเผาลงเมื่อเทียบกับเตาสี่เหลี่ยมแบบความร้อนขึ้น และเตาชนิดนี้ยังสามารถทำเป็นเตาแบบทางเดินลมร้อน 2 ระบบ (Double Draft Kiln) ได้อีกด้วย ในกรณีในช่วงหน้าฝน อิฐหรือชิ้นงานมีความชื้นสูง จะทำการเผาโดยเปิดหลังเตาในช่วงแรก เพื่อไล่ไอน้ำออกจากชิ้นงาน (เป็นระบบทางเดินลมร้อนขึ้น) เมื่ออุณหภูมิได้ที่ประมาณ 100-150 องศาเซลเซียสก็จะทำการปิดหลังเตาโดยใช้ทรายกลบ แล้วเผาชิ้นงานไปจนสุก (เป็นระบบทางเดินลมร้อนลง) ถึงแม้ว่าเตาเผาอิฐชนิดนี้จะประหยัดเชื้อเพลิงกว่าการเผาอิฐแบบใช้แกลบและใช้ไม้ฟืนชนิดความร้อนขึ้นอย่างที่กล่าวมาแล้วในตอนต้นนั้น แต่ด้วยปัญหาด้านเชื้อเพลิงที่ลดน้อยลง มีความต้องการสูงขึ้นส่งผลให้ราคาเชื้อเพลิงสูงขึ้นนั้น ทำให้ต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงเตาเผาอิฐชนิดนี้ให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น ใช้เชื้อเพลิงในการเผาให้น้อยลง ใช้เวลาในการเผาผลลง



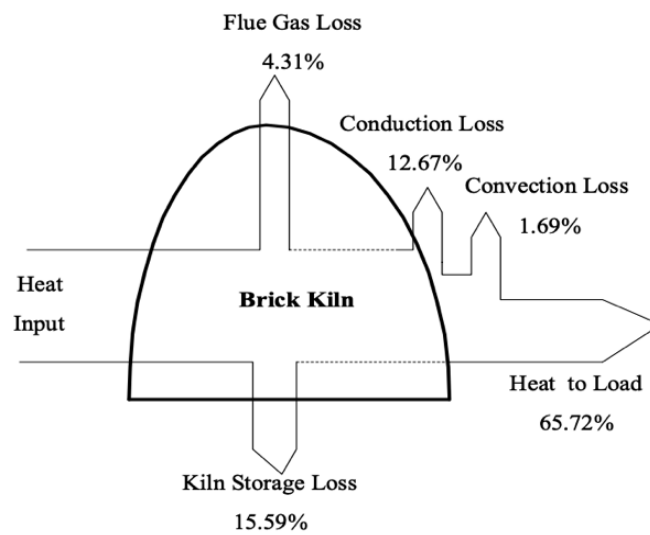
ภาพที่ 22 ภาพเตาเผาแบบความไหลร้อนลงสำหรับเผาเตาอังโล่

จากการศึกษางานวิจัยที่ ศึกษาการใช้พลังงานของเตาเผาอิฐ ที่เป็นลักษณะความร้อนไหลลงมีการก่อกองด้วยอิฐและดินเหนียวในลักษณะที่คล้ายกันกับเตาเผาอิฐที่ผู้วิจัยกำลังศึกษา แต่รูปทรงเตาเป็นเตาที่มีรูปทรงคล้ายเจดีย์หรือที่เรียกว่าเตาเจดีย์หรือเตาโดมดังรูปที่ 23 พบว่ามีค่าความร้อนที่อิฐได้รับ ค่าความร้อนที่สะสมในผนังเตา ค่าความร้อนสูญเสียที่ผนังจากการนำความร้อน ค่าความร้อนสูญเสียที่ท่อความร้อนไหลออก ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการพาความร้อนเนื่องจากการเปิดห้องเผาไหม้ คือ 65.72%, 15.59%, 12.67%, 4.31% และ 1.69% ตามลำดับ (สมพล และทะนงเกียรติ, 2547) ซึ่งความร้อนที่สูญเสียจากระบบมากที่สุดคือ ค่าความร้อนที่สะสมในผนังเตา และค่าความร้อนสูญเสียที่ผนังจากการนำความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 24 ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผา การที่จะปรับปรุงเรื่องความร้อนที่สะสมในผนังเตาอาจจะต้องเปลี่ยนวัสดุทำเตาใหม่อย่างเช่น อิฐทนไฟหรือฉนวนใยแก้ว ซึ่งเป็นการลงทุนสูง จะไม่คุ้มค่าหรือไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมทำอิฐในครัวเรือนและดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าเตาแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลงเป็นเตาเผาที่ก่อกองด้วยอิฐและดินเหนียวซึ่งเทคนิคและวิธีการก่อเป็นรูปแบบดั้งเดิมที่เคยทำกันมาและด้วยอายุของเตาที่ใช้งานมาหลายปีทำให้มีรอยร้าวรอยร้าวตามผนัง และตัวผนังเองมีการนำความร้อนค่อนข้างสูง ซึ่งทั้งหมดคือความร้อนที่สูญเสียจากระบบ ดังนั้นเพื่อลดการใช้พลังงานในการเผาอิฐคือการต้องให้ความร้อนสูญเสียจากระบบน้อยที่สุด เมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างของเตาแล้วพบว่าส่วนที่สัมผัสและท่อหุ้มอิฐที่ต้องการเผาอยู่ และมีพื้นที่สัมผัสความร้อนจากเตามากที่สุดคือ ผนังเตา ในส่วนผนังเตานี้จึงมีโอกาสที่จะเกิดการร้าวหรือการถ่ายเทความร้อนออกจากเตามากที่สุด เพราะฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาและทำการปรับปรุงผนังเตาเผาอิฐให้สามารถเก็บกักความร้อนจากการเผา และให้ความร้อน

จากเตาออกนอกเตาผ่านการนำความร้อนของผนังน้อยลง เพื่อให้เกิดการใช้ความร้อนให้คุ้มค่า ลดเวลาและค่าใช้จ่าย



ภาพที่ 23 เตาโดมหรือเตาเจดีย์



ภาพที่ 24 สมดุลความร้อนของเตาเผาอิฐแบบโดม (สมพล และทะนงเกียรติ, 2547)

3.2.1 ลักษณะของการปรับปรุงและพัฒนา

ก่อนที่จะทำการปรับปรุงเตาเผาจริง และเพื่อให้สามารถเลือกฉนวนที่เหมาะสมมาใช้กับเตาเผาจริงได้ จึงได้กำหนดให้ทำการปรับปรุงและพัฒนา มีสามขั้นตอนหลักคือ 1) ทำการศึกษาหาวัสดุฉนวนที่หาง่ายในท้องถิ่นและราคาถูกเหมาะกับการเผาอิฐระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือนและคำนวณหาค่าการนำความร้อน (K) ของวัสดุแต่ละตัวแล้วเปรียบเทียบเพื่อหาวัสดุฉนวนที่ดีที่สุดและเหมาะสมที่สุด แล้วออกแบบผนังที่จะใส่ฉนวนพร้อมคำนวณค่าการนำความร้อนของผนังเตาใหม่ จากข้อมูลค่าอุณหภูมิที่ได้จากหัวข้อ 3.1 2) สร้างเตาเผาอิฐจำลองขนาดเล็กดังรูปที่ 25 เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของฉนวน ที่ได้จากการคำนวณ แล้วศึกษาเปรียบเทียบความสูญเสียที่ผนัง 3) เมื่อได้ฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมจากการทดสอบในเตาเผาอิฐแบบจำลองขนาดเล็กลแล้ว ทำการคำนวณค่าพลังงานความร้อนของเตาเปรียบเทียบกันระหว่างเตาที่ใส่ฉนวนกับเตาที่ไม่ใส่ฉนวน ซึ่งมีรายละเอียดของทั้งสามขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 25 ภาพแสดงเตาเผาอิฐจำลองที่ใส่ฉนวนกันความร้อน

1) ศึกษาหาวัสดุฉนวนที่หาง่ายในท้องถิ่นและคำนวณหาค่าการนำความร้อน (K) เพื่อที่จะสามารถเลือกวัสดุฉนวนมาใช้กับผนังเตาเผาอิฐที่จะปรับปรุงได้เหมาะสมและดีที่สุด จำเป็นต้องศึกษาหาค่าการนำความร้อน (K) ของฉนวนแต่ละตัวที่เลือกมาก่อนโดยศึกษาจากและเอกสารหรืองานวิจัยที่ได้ทำการทดสอบหาไว้แล้ว ซึ่งฉนวนดังกล่าวต้องเป็นวัสดุหาง่ายในท้องถิ่นเหมาะสมกับการเผาอิฐระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือนและเป็นวัสดุที่โรงงานอิฐส่วนใหญ่มีอยู่แล้วนั้น

คือ อากาศ ซึ่เข้าจากจากกลบ และซึ่เข้าจากไม้ฝืน เมื่อได้ค่าการนำความร้อน (K) ของฉนวนแต่ละตัวแล้ว ทำการออกแบบผนังเตาเผาอิฐใหม่ตามอิฐก่อผนังเตาที่โรงงานมีดังรูปที่ 25 เพื่อรองรับฉนวนที่จะเติมเข้าไป และคำนวณค่าการนำความร้อนของผนังเตารูปแบบใหม่หลังจากใส่ฉนวนแล้ว (ตามทฤษฎี) โดยสมการ ดังต่อไปนี้

$$Q_{wall} = \sum_{i=1}^n \left[\sum_{t=1}^j \left(Ak \frac{\Delta T}{\Delta x} dt \right) \right]_i \quad (2.21)$$

เมื่อ Q_{wall}	คือ ปริมาณความร้อนที่สูญเสีย (KJ)
A	คือ พื้นที่ความสูญเสียความร้อน (m^2)
k	คือ ค่าการนำความร้อนของผนังสองชั้น (W/mK)
ΔT	คือ ความแตกต่างเฉลี่ยของอุณหภูมิของผนังในช่วงเวลา ($^{\circ}C$)
Δx	คือ ความหนาของผนัง (m)
i	คือ ผนังที่มีการสูญเสียความร้อน
j	คือ เวลาที่สูญเสียความร้อน
dt	คือ ช่วงเวลาที่มีการสูญเสียความร้อน (s)

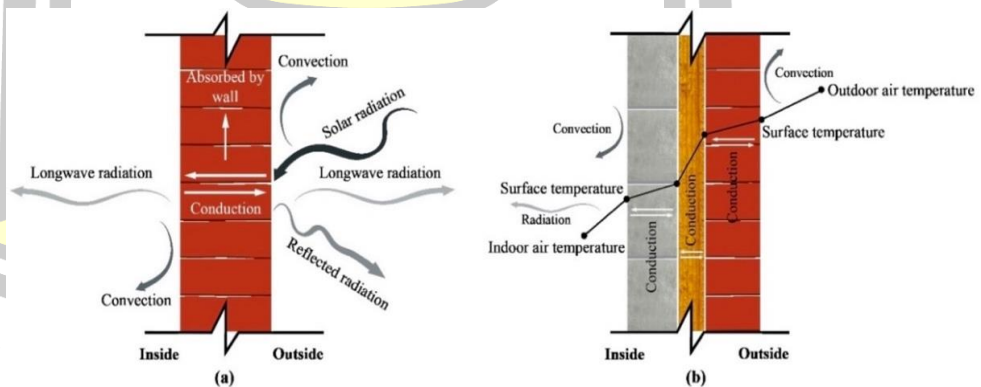
2) ศึกษาเปรียบเทียบความร้อนสูญเสียที่ผนังเตาเผาอิฐเตาเผาจำลองขนาดเล็ก เพื่อให้ทราบถึงค่าความร้อนที่สูญเสียจากผนังและความเป็นฉนวนของวัสดุหลังจากใส่ฉนวนเข้าไปในผนังรูปแบบใหม่แล้ว (เป็นการทดสอบจริงกับเตาทดสอบ) เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีในข้างต้นที่กล่าวไปแล้ว ซึ่งฉนวนดังกล่าวต้องเป็นวัสดุหาง่ายในท้องถิ่นเหมาะสมกับการเผาอิฐระดับอุตสาหกรรมในครัวเรือนนั่นคือ อากาศ ซึ่เข้าจากจากกลบ และซึ่เข้าจากไม้ฝืน และเพื่อให้ทราบถึงค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมในการในการเติมซึ่เข้าจากจากกลบ และซึ่เข้าจากไม้ฝืน เข้าไปในช่องว่างระหว่างผนังภายนอกและภายในของเตาเทียบกับฉนวนตัวกลางที่เป็นอากาศ ก่อนที่จะทำการปรับปรุงกับเตาเผาจริงและเพื่อที่จะสามารถเลือกวัสดุฉนวนตัวกลางให้เหมาะสมกับการปรับปรุงเตาเผาจริงมากที่สุด ผู้วิจัยจึงได้จำลองเตาเผาอิฐขนาดเล็กขึ้นมาโดยมีขนาดเตาเล็กลงเป็น 20% ของเตาจริง (อัตราส่วนเตาเผาอิฐเดิมและเตาเผาอิฐทดสอบ คือ 5:1) โดยมีรูปแบบและวัสดุการก่อผนังเตา รูปทรงของเตาเหมือนเตาเดิมทุกประการ

ก) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบในหัวข้อนี้จะเหมือนหัวข้อที่ 3.1.1 แต่จะแตกต่างกันที่เตาเผาในหัวข้อนี้เป็นเตาจาลองโดยจะมีขนาดตาม อัตราส่วนของเตาเดิมเป็น 5:1 ดังนี้ ขนาด กว้างxยาวxสูง ภายใน 40x40x50 เซนติเมตร ส่วนผนังภายนอกจะกว้างกว่าผนังเตาแบบเดิมแต่ความสูงเท่าเดิม เพราะมีการก่อผนังด้านนอกแล้วเว้นช่องว่างสำหรับใส่ฉนวนดังแสดงในภาพที่ 25 ดังนั้นความ กว้าง x ยาว ของเตาจาลอง คือ 160 x 160 เซนติเมตร

ข) ลักษณะของการสร้างเตาเผาอิฐจาลองและทดสอบ

ลักษณะของการสร้างเตาเผาอิฐจาลองและให้ผนังเตามีความร้อนสูญเสียลดลงคือการเพิ่มผนังอีกชั้นจากรูปแบบของผนังเตาแบบเดิม โดยผนังที่สร้างขึ้นใหม่และผนังเดิมจะมีช่องว่างอยู่ระหว่างผนัง ระยะห่างคือ 10 และ 15 เซนติเมตร เพื่อเอาไว้สำหรับใส่ฉนวนกันความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 25 และภาพที่ 26 ซึ่งฉนวนที่นำมาเป็นตัวเลือกในงานวิจัยนี้มีอยู่ 3 ชนิดดังที่กล่าวข้างต้น โดยฉนวนทั้งสามชนิดจะถูกพิจารณาทั้งเรื่องของประสิทธิภาพการต้านทานความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน(ค่า K) ราคา และความยากง่ายในการติดตั้ง ซึ่งก่อนทำการปรับปรุงผนังเตาแบบใหม่นั้นจะทำการทดสอบเพื่อหาค่าความหนาแน่นที่เหมาะสมในการทำเป็นฉนวนของซีเมนต์แก้วและซีเมนต์จากไม้ฝืน โดยเปรียบเทียบความเป็นฉนวนจากความหนาแน่นของซีเมนต์ทั้งสองเป็น 3 ระดับคือ 1) การเติมซีเมนต์ระหว่างผนังภายนอกและภายในโดยไม่อัดแรง (ความหนาแน่นน้อย) 2) การเติมซีเมนต์ระหว่างผนังโดยการอัดแรงปานกลาง(ความหนาแน่นปานกลาง) 3) การเติมซีเมนต์ระหว่างผนังโดยการอัดแรงให้แน่นมาก (ความหนาแน่นมาก)



ภาพที่ 26 Heat transfer process

Heat transfer process across the (a) solid wall (Nayak, J.K.; Prajapati, 2006) ; (b) composite wall.

การทดสอบเตาจาลองเริ่มต้นด้วยการเรียงอิฐดิบแบบสี่รู ขนาด 5x6x14 เซนติเมตรให้เต็มเตาจาลองตามรูปแบบที่โรงงานเรียงเพื่อเผาสำหรับเตาปกติ ปิดเตาและทำการเผาอิฐด้วยแก๊ส

LPG ซึ่งการเผาไหม้ในเตาทดลองจะมีทั้งหมด 14 เงื่อนไข แต่ละเงื่อนไขจะมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การออกแบบการทดลอง

การทดลองครั้งที่	ชนิดของฉนวน	ความหนาของฉนวน (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น
1	อากาศ	10	-
2	ซีเมนต์	10	น้อย
3	ซีเมนต์	10	น้อย
4	ซีเมนต์	10	มาก
5	ซีเมนต์	10	มาก
6	ซีเมนต์	10	ปานกลาง
7	ซีเมนต์	10	ปานกลาง
8	อากาศ	15	-
9	ซีเมนต์	15	น้อย
10	ซีเมนต์	15	น้อย
11	ซีเมนต์	15	มาก
12	ซีเมนต์	15	มาก
13	ซีเมนต์	15	ปานกลาง
14	ซีเมนต์	15	ปานกลาง

โดยแต่ละการทดลองมีการดำเนินการต่อเนื่องกันดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1) เป็นการเผาไหม้ ด้วยเตาจำลองโดยที่ช่องว่างระหว่างผนังภายนอกและภายในคืออากาศ มีระยะห่างระหว่างผนังคือ 10 เซนติเมตร พร้อมทำการวัดอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ของเตา ตามหัวข้อที่ 3.1.2 และบันทึกข้อมูล

การทดลองที่ 2) เป็นการเผาไหม้ ด้วยเตาทดสอบโดยที่ช่องว่างระหว่างผนังภายนอกและภายในคือ ซีเมนต์ฉนวน มีระยะห่างระหว่างผนังคือ 10 เซนติเมตร เติมซีเมนต์ด้วยการเติมแบบไม่อัดแรง (ความหนาแน่นซีเมนต์น้อย) พร้อมทำการวัดอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ของเตา ตามหัวข้อที่ 3.1.2 และบันทึกข้อมูล

การทดลองที่ 11) เป็นการเผาอิฐ ด้วยเตาจำลองโดยที่ช่องว่างระหว่างผนังภายนอกและภายในคือ ซีเมนต์กลบขาว มีระยะห่างระหว่างผนังคือ 15 เซนติเมตร เติมด้วยการเติมแบบอัดแรงมาก (ความหนาแน่นซีเมนต์มาก) พร้อมทำการวัดอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ของเตา ตามหัวข้อที่ 3.1.2 และบันทึกข้อมูล

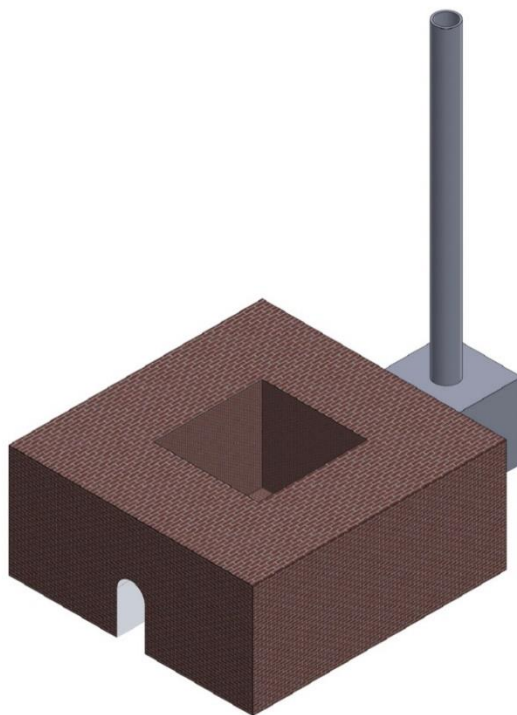
การทดลองที่ 12) เป็นการเผาอิฐ ด้วยเตาจำลองโดยที่ช่องว่างระหว่างผนังภายนอกและภายในคือ ซีเมนต์ไม้ มีระยะห่างระหว่างผนังคือ 15 เซนติเมตร เติมด้วยการเติมแบบอัดแรง (ความหนาแน่นซีเมนต์มาก) พร้อมทำการวัดอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ของเตา ตามหัวข้อที่ 3.1.2 และบันทึกข้อมูล

การทดลองที่ 13) เป็นการเผาอิฐ ด้วยเตาจำลองโดยที่ช่องว่างระหว่างผนังภายนอกและภายในคือ ซีเมนต์กลบ ระยะห่างระหว่างผนังคือ 15 เซนติเมตร เติมด้วยการเติมแบบอัดแรงปานกลาง (ความหนาแน่นซีเมนต์ปานกลาง) พร้อมทำการวัดอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ของเตา ตามหัวข้อที่ 3.1.2 และบันทึกข้อมูล

การทดลองที่ 14) เป็นการเผาอิฐ ด้วยเตาจำลองโดยที่ช่องว่างระหว่างผนังภายนอกและภายในคือ ซีเมนต์ไม้ ระยะห่างระหว่างผนังคือ 15 เซนติเมตร เติมด้วยการเติมแบบอัดแรงปานกลาง (ความหนาแน่นซีเมนต์ปานกลาง) พร้อมทำการวัดอุณหภูมิตามจุดต่าง ๆ ของเตา ตามหัวข้อที่ 3.1.2 และบันทึกข้อมูล

ค) ทำการคำนวณค่าความร้อนสูญเสียที่ผนังของแต่ละการทดลองนำไปเปรียบเทียบกันแล้วเลือกเงื่อนไขการทดลองที่มีการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด แล้วนำไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนกับเตาทดลองก่อนที่จะใส่ฉนวนดังแสดงในภาพที่ 27





ภาพที่ 27 เตาทดลองก่อนที่จะใส่นวนก้นความร้อน

3.2.2 แนวคิดในการปรับปรุงและพัฒนา

เพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานและการพัฒนาเตาเผาอิฐของผู้ประกอบการ เตาเผาอิฐที่ปรับปรุงใหม่ต้องมีความสอดคล้องกับการใช้งานในปัจจุบันและสภาพความเป็นจริงดังนี้

- 1) ลดเวลาในการเผาอิฐลง
- 2) ลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการเผาอิฐลง
- 3) การใช้งานเตาต้องมีความสะดวกสามารถนำอิฐเข้า-ออกเตาได้ง่าย
- 4) วัสดุที่ใช้ทำเตาต้องมีความทนทานและใช้งานได้นาน
- 5) ประหยัดต้นทุนการเผาอิฐลง
- 6) ราคาค่าการปรับปรุงต้องไม่สูงมาก สามารถใช้วัสดุในโรงงานในการปรับปรุงได้ มีความประหยัด
- 7) บำรุงรักษาง่าย สามารถซ่อมแซมเองได้โดยช่างที่ไม่ต้องใช้ทักษะในการแก้ไขมาก

3.2.3 ลักษณะการทำงานและการใช้งานของเตา

เนื่องด้วยการปรับปรุงและพัฒนาเตาเผาในส่วนของผนังเตาเป็นส่วนหนึ่งของผนังด้านนอกจึงไม่กระทบกับตัวโครงสร้างภายในของเตาและขนาดภายในของเตา ดังนั้นวิธีการเอาอิฐเข้าไปเรียงในเตาและเอาอิฐสุกออกจากเตาจึงไม่ต่างจากเดิม จะแตกต่างและมีข้อดีขึ้นกว่าเตาแบบเดิมคือ

บริเวณสันของผนังด้านบนเตามีขนาดกว้างขึ้นทำให้คนงานสามารถเดินรอบเตาได้สะดวกมากขึ้นมีพื้นที่ในการวางอิฐที่จะใช้ปิดหลังเตาได้เพียงพอ

3.3 ทดสอบและประเมินสมรรถนะของเตาหลังการปรับปรุง เปรียบเทียบค่าความร้อนสูญเสียและประสิทธิภาพทางความร้อนเทียบกับเตาเดิม

เมื่อได้เงื่อนไขการทดลองที่เหมาะสมแล้ว จึงได้ทำการทดสอบและประเมินสมรรถนะของเตาหลังการปรับปรุง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) วัสดุและอุปกรณ์ (ทำตามหัวข้อ3.1.1) ในข้อนี้จะต่างกันคือความหนาของผนังเตาที่เพิ่มขึ้น แต่ตำแหน่งของช่องเสียบเทอร์โมคัปเปิลยังคงเป็นตำแหน่งเดิม
- 2) วิธีการทดสอบ (ทำตามหัวข้อ3.1.2) ในข้อนี้จะต่างกันคือตำแหน่งที่เจาะรูช่องเสียบเทอร์โมคัปเปิลไม่ต้องใช้สว่านมาเจาะเพราะในตอนแรกที่ผนังด้านนอกได้ทำรูโดยนำเหล็กกลวงมาวางไว้ตรงตำแหน่งเดิมให้เกิดรูแล้ว
- 3) เปรียบเทียบสมรรถนะของเตาเดิมและเตาที่ปรับปรุงแล้ว
- 4) เปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาก่อนและหลังการปรับปรุง



บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

รายงานผลการศึกษาและอภิปรายผลในบทนี้แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1) ผลการศึกษาคุณสมบัติของอิฐ การใช้เตาเผาอิฐ พลังงานที่ใช้ในการเผาและความร้อนสูญเสียของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง 2) ผลการทดสอบความเป็นฉนวนของวัสดุที่ทาง่ายในท้องถิ่นคือ ชี้เถ้าแกลบ และชี้เถ้าไม้ ที่ระดับความหนาแน่นสามระดับ 3) ผลการประเมินสมรรถนะของเตาเผาอิฐ ก่อนและหลังการปรับปรุงโดยใส่ฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสม และผลการคำนวณเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาก่อนและหลังการปรับปรุง

4.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติของอิฐ การใช้เตาเผาอิฐ พลังงานที่ใช้ในการเผาและความร้อนสูญเสียของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง

4.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นของเตาเผาอิฐมอญแบบเตาสี่เหลี่ยมสองห้องเผาไหม้แบบความร้อนไหลลง

ผลการศึกษาข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาทดสอบและบันทึก เช่น ชนิดและขนาดของเตาเผา ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ เวลาที่ใช้ในกระบวนการ ขนาดของเตาเผา จำนวนอิฐที่ใช้ในการเผา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ข้อมูลเบื้องต้นของเตาเผา

รายการ	ข้อมูลเบื้องต้น
ชนิดของเตาเผา	เตาเผาอิฐมอญแบบเตาสี่เหลี่ยมสองห้องเผาไหม้แบบความร้อนไหลลง
ขนาดของเตาเผา (วัดด้านนอก)	กว้าง 5 เมตร ยาว 9 เมตร สูง 2.5 เมตร
ความหนาของผนังเตา	0.53 เมตร
ชนิดของอิฐ	อิฐมอญชนิด 4 รู กว้าง (6.33 ยาว 15.13 สูง 6.23 เซนติเมตร) อิฐมอญชนิด 8 รู กว้าง (12.04 ยาว 20.46 สูง 6.55 เซนติเมตร)
จำนวนอิฐที่ใช้	อิฐมอญชนิด 4 รู 47,045 ก้อน อิฐมอญชนิด 8 รู 3,932 ก้อน

ตารางที่ 4 ข้อมูลเบื้องต้นของเตาเผา (ต่อ)

รายการ	ข้อมูลเบื้องต้น
น้ำหนักอิฐก่อนเผา	อิฐมอญชนิด 4 รู 1 กิโลกรัม/ก้อน อิฐมอญชนิด 8 รู 2.45 กิโลกรัม/ก้อน
เชื้อเพลิงที่ใช้	ไม้เบญจพรรณ (ไม้ยาง ไม้สแบง ไม้พะยอม ไม้ประดู่ ไม้มะม่วง)
น้ำหนักเชื้อเพลิงที่ใช้	17,480 กิโลกรัม แบ่งเป็น สองช่วงในการเติมเชื้อเพลิง(ช่วงที่ 1 ช่วง กระบวนการไล่ความชื้นใช้เชื้อเพลิง 660 กิโลกรัม ช่วงที่ 2 ช่วง กระบวนการเผาใช้เชื้อเพลิง 16,820 กิโลกรัม)
เวลาที่ใช้ในกระบวนการ เผาอิฐ	74 ชั่วโมง โดยแบ่งออก เป็นทั้งหมด 3 กระบวนการ (กระบวนการที่ 1 กระบวนการไล่ความชื้น ใช้เวลาทั้งหมด 18 ชั่วโมง กระบวนการที่ 2 กระบวนการเผา ใช้เวลา 30 ชั่วโมง กระบวนการอบใช้เวลา 26 ชั่วโมง)

4.1.2 การจัดเรียงอิฐในเตาเผา

การเรียงอิฐเพื่อใช้ในการเผาคือจะเรียงอิฐให้สูงจากพื้นห้องเผาประมาณ 0.40 – 0.50 เมตร เพื่อเป็นการระบายความชื้นของอิฐดิบเนื่องจากการเผา โดยการเรียงอิฐจะสลับ ท่างและทาบ โดยในระยะ 1 เมตรจะใช้ความห่างของแต่ละก้อนประมาณ 0.10 เมตร จะมีอิฐ 7-8 ก้อน และเมื่อวางฐานอิฐเสร็จจะทำการเรียงอิฐเป็นแบบทาบ (วางชิดกัน) ทั้งหมด และวางอิฐแต่ละแถวมีความกว้างประมาณ 0.75 เมตร สูงประมาณ 2.20-2.30 เมตร ยาวประมาณ 3.80-3.90 เมตร และความห่างของแต่ละแถวจะห่างประมาณ 0.20 เมตร ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 การจัดเรียงอิฐภายในเตาเผา

4.1.3 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของอิฐ

การศึกษามูอิฐมอญชนิดสี่รูจำนวน 10 ก้อน ชนิดแปดรูจำนวน 10 ก้อน มาทำการวัด ความกว้าง ความยาว ความสูง และได้ทำการชั่งน้ำหนักของอิฐแต่ละก้อน บันทึกข้อมูล ก่อน กระบวนการเผา หลังกระบวนการเผาเสร็จสิ้น ได้นำอิฐก้อนที่บันทึกข้อมูลไว้ทั้งหมดมาบันทึกค่า ข้อมูลอีกครั้ง เพื่อเปรียบเทียบถึง ค่าความหดตัวหลังการเผา ค่าความชื้นที่หายไปหลังการเผา การวัด ขนาด และน้ำหนักแสดงในภาพที่ 29 ผลของข้อมูล ดังตารางที่ 5 และ ตารางที่ 6



ภาพที่ 29 การวัดขนาดและชั่งน้ำหนักของอิฐมอญ

ตารางที่ 5 ขนาดอิฐมอญ 4 รู ก่อนเผา-หลังเผา

ค่าชี้วัด	ความกว้าง(ซม.)		ความยาว(ซม.)		ความสูง(ซม.)		น้ำหนัก(กิโลกรัม)	
	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา
ค่าเฉลี่ย	6.422	6.33	15.13	14.88	6.37	6.23	1	0.97
ค่าสูงสุด	6.7	6.5	15.5	15.6	6.6	6.4	1	0.95
ค่าต่ำสุด	6.2	6.1	14.7	14.9	6.2	6.1	1	0.9
จำนวนตัวอย่าง	9	9	9	9	9	9	9	9

ตารางที่ 6 ขนาดอิฐมอญ 8 รู ก่อนเผา-หลังเผา

ค่าชี้วัด	ความกว้าง(ซม.)		ความยาว(ซม.)		ความสูง(ซม.)		น้ำหนัก(กิโลกรัม)	
	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา	ก่อนเผา	หลังเผา
ค่าเฉลี่ย	12.26	12.04	20.47	20.6	6.56	6.7	2.45	2.4
ค่าสูงสุด	12.5	12.2	20.7	21	6.8	6.7	2.6	2.4
ค่าต่ำสุด	11.95	11.9	20	19.7	6.4	6.6	2.3	2.1
จำนวนตัวอย่าง	9	4	9	4	9	4	9	4

4.1.4 ผลการศึกษาด้านปริมาณและคุณภาพอิฐหลังกระบวนการเผาอิฐ

จากการทดลองเผาอิฐมอญชนิด 4 รู ขนาด 6.422x15.13x6.37 เซนติเมตร จำนวน 47,045 ก้อน และเผาอิฐมอญชนิด 8 รู ขนาด 12.26x20.47x6.56 เซนติเมตร หลังการเผาอิฐผ่านไป 74 ชั่วโมง

ตารางที่ 7 ผลการศึกษาด้านปริมาณและคุณภาพของอิฐหลังการเผา

ชนิดอิฐ	จำนวนอิฐ				รวมทั้งหมด
	อิฐดี(ก้อน)	อิฐเสีย(ก้อน)			
		ไม่สุก	ใหม่/ดำ	แตกหัก	
อิฐมอญ 8 รู	3,618	174		140	3,932
อิฐมอญ 4 รู	44,604	1489	65	887	47,045
	จำนวนอิฐทั้งหมด				50,997
อิฐมอญ 8 รู	เปอร์เซ็นต์อิฐดี				92.01%
อิฐมอญ 8 รู	เปอร์เซ็นต์อิฐเสีย				7.99 % (แตกหัก 4.43 % ไม่สุก 3.56 %)
อิฐมอญ 4 รู	เปอร์เซ็นต์อิฐดี				94.81%
อิฐมอญ 4 รู	เปอร์เซ็นต์อิฐเสีย				5.19% (แตกหัก 1.89% ไม่สุก 3.16% ใหม่ดำ 0.14%)
อิฐมอญ 8 รู	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ				12.37 %
อิฐมอญ 4 รู	เปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำ				13.68 %
อิฐมอญ 8 รู	ค่าการหดตัว				1.06 %
อิฐมอญ 4 รู	ค่าการหดตัว				1.65 %

ทำการเก็บอิฐและคัดแยกอิฐดี-อิฐเสีย ทำให้ได้ปริมาณอิฐแสดงในตารางที่ 6 โดยคิดเป็นความเสียหายเป็นอิฐแตก 4 รูจำนวน 887 ก้อน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอิฐ 4 รูทั้งหมด 1.89% อิฐใหม่หรือดำ 4 รูจำนวน 65 ก้อน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอิฐ 4 รูทั้งหมด 0.14% อิฐไม่สุก 4 รูจำนวน 1489 ก้อน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอิฐ 4 รูทั้งหมด 3.16 % และความเสียหายเป็นอิฐแตก 8 รูจำนวน 140 ก้อน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอิฐ 8 รูทั้งหมด 3.56% จำนวน 65 ก้อน อิฐไม่สุก 8 รูจำนวน 174 ก้อน คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอิฐ 8 รูทั้งหมด 4.43 % ดังตารางที่ 7

4.1.5 ผลการศึกษาสมรรถนะด้านอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการเผาที่เกิดขึ้นทั้ง 3

กระบวนการ คือ กระบวนการไล่ความชื้นอิฐ กระบวนการเผาอิฐ และกระบวนการอบอิฐ

การทดสอบโดยการวัดค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผาโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ เทอร์โมคัปเปิล วัดค่าข้อมูลที่ผนังเตาเผาด้านในและด้านนอกเตาเผา โดยแบ่งออกเป็นการบันทึกค่าที่ 15 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 20 ตำแหน่งที่ 1 บันทึกที่ผนังเตาเผาด้านหน้าฝั่งขวาของเตา ตำแหน่งที่ 2 บันทึกที่ผนังด้านหน้าตรงกลางของผนัง ตำแหน่งที่ 3 บันทึกที่ผนังเตาเผาด้านหน้าฝั่งซ้ายของเตา ตำแหน่งที่ 4 บันทึกที่ผนังทางด้านซ้ายของเตาเผาในตำแหน่งด้านล่างของผนัง ตำแหน่งที่ 5 บันทึกที่ผนังด้านซ้ายของเตาเผาตำแหน่งด้านบน ตำแหน่งที่ 6 บันทึกที่ตำแหน่ง ผนังด้านหลังของเตาเผาทางด้านซ้ายของผนัง ตำแหน่งที่ 7 บันทึกที่ตำแหน่งตรงกลางของผนังเตาเผาด้านหลัง ตำแหน่งที่ 8 บันทึกที่ตำแหน่งด้านขวาของผนังด้านหลัง ตำแหน่งที่ 9 บันทึกที่ตำแหน่งด้านล่างของผนังด้านขวา ตำแหน่งที่ 10 บันทึกที่ตำแหน่งผนังด้านบนของผนังด้านขวา ตำแหน่งที่ 11 บันทึกที่ห้องเผาด้านขวาของเตาเผา ตำแหน่งที่ 12 บันทึกที่ห้องเผาด้านซ้ายของเตาเผา ตำแหน่งที่ 13 บันทึกบริเวณปล่องไอเสีย ตำแหน่งที่ 14 บันทึกบริเวณผนังเตาด้านบนทางด้านขวา ตำแหน่งที่ 15 บันทึกที่ผนังเตาด้านบนทางด้านซ้าย กระบวนการเผาแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการคือ กระบวนการไล่ความชื้น กระบวนการเผา กระบวนการอบ

1) กระบวนการไล่ความชื้นในอิฐดิบ ดังภาพที่ 30 ดำเนินการโดยการจุดไฟที่ห้องเผาไหม้ เปิดปากห้องเผาไหม้ตลอดเวลาและเติมเชื้อเพลิงทุกๆหกชั่วโมงสังเกตสีของควันที่บริเวณผนังเตาด้านบนจากควันสีขาวจนถึงขั้นไม่มีสีแสดงว่าความชื้นนั้นหมดแล้ว จากการสังเกตพบว่ากระบวนการไล่ความชื้นใช้เวลา 18 ชั่วโมง ใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด 660 กิโลกรัม



ภาพที่ 30 การทำงานในกระบวนการอุ่นอิฐ

2) กระบวนการเผา ดำเนินการโดยปิดห้องเผาหลังกระบวนการไล่ความชื้นเปิดพัดลมแรงดันสูงเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เติมเชื้อเพลิงทุกๆ 1.5 ชั่วโมง สังเกตสีของอิฐจากสีดำหม่นจนกลายเป็นสี

สีมแดงเปล่งประกายภายในเตาจนสามารถมองเห็นผนังด้านหลังของเตาเผาด้วยสายตา ดังภาพที่ 31 พบว่ากระบวนการเผาใช้เวลา 30 ชั่วโมง ใช้เชื้อเพลิง 16,820 กิโลกรัม จึงสามารถเผาอิฐให้สุกได้



ภาพที่ 31 ลักษณะของอิฐสุก

3) กระบวนการอบ เริ่มโดยการปิดพัดลมแรงดันสูงหลังกระบวนการเผา หยุดการเติมเชื้อเพลิงปล่อยให้อุณหภูมิเตาเผาตกลงตามธรรมชาติ เมื่ออุณหภูมิเตาเผาตกลงจนสามารถสัมผัสผนังภายนอกของห้องเผาด้วยมือเปล่าได้ พบว่าใช้เวลา 26 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงเปิดปากห้องเผา ผนังห้องเผาทางด้านบน ด้านซ้าย และด้านขวา ปล่อยให้ไอฐในเตาเผาเย็นตัวจนสามารถนำอิฐออกจากห้องเผาได้ พบว่า ใช้เวลา 26 ชั่วโมง ดังภาพที่ 32

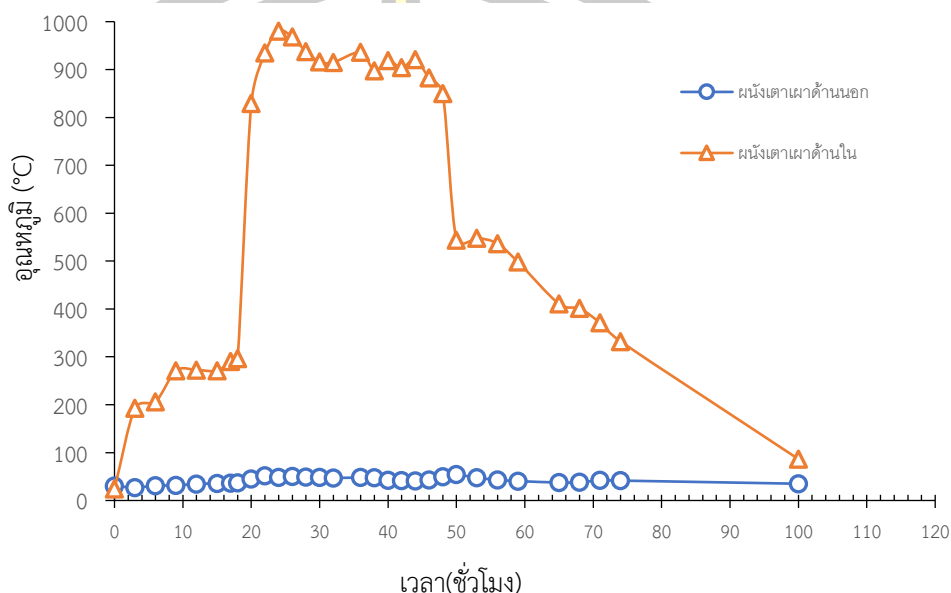


ภาพที่ 32 ลักษณะการสิ้นสุดกระบวนการเผาและเปิดเตา

4.1.6 การบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ

การบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ บันทึกข้อมูลบริเวณห้องเผาใหม่ทั้งสองห้องเผา ผนังเตาเผาทั้งหมด 5 ด้าน และปล่องไอเสีย บันทึกทั้งหมด 15 ตำแหน่ง ดังภาพที่ 20 บันทึกโดยใช้ดาต้าล็อกเกอร์เป็นตัวบันทึกอุณหภูมิและใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลในการวัดอุณหภูมิ โดยเริ่มบันทึกจากกระบวนการไล่ความชื้นทุกๆ 3 ชั่วโมง บันทึกกระบวนการเผา ทุกๆ 2 ชั่วโมง บันทึกกระบวนการอบทุกๆ 3 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวตามธรรมชาติ พบว่า กระบวนการไล่ความชื้นใช้เวลา 18 ชั่วโมง ใช้เชื้อเพลิง 660 กิโลกรัม กระบวนการเผาใช้เวลา 30 ชั่วโมง ใช้เชื้อเพลิง 16,820 กิโลกรัม กระบวนการอบใช้เวลา 26

ชั่วโมง และเ็นตัวตามธรรมชาติใช้เวลา 24 ชั่วโมง ผลการบันทึกข้อมูลแสดงให้เห็นพฤติกรรมความร้อนที่บริเวณห้องเผาไหม้เชื้อเพลิง ห้องเตาบรรจุอิฐ และปล่องไอเสีย ผลการบันทึกค่าข้อมูลอุณหภูมิ แสดงรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องเผาไหม้โดยเฉลี่ย

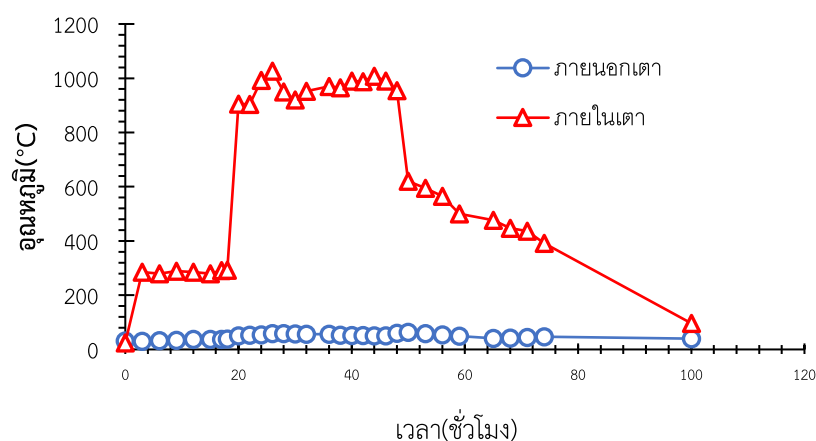
ตำแหน่งห้องเผาไหม้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เมตร ทั้งสองห้องเผา ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงบันทึกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงกระบวนการไล่ความชื้น ช่วงกระบวนการเผา ช่วงกระบวนการอบ

ช่วงที่ 1 กระบวนการไล่ความชื้น ใช้เวลา 18 ชั่วโมง เติมเชื้อเพลิงทุกๆ 6 ชั่วโมง เติมเชื้อเพลิงทั้งหมด 660 kg พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องเผาไหม้เท่ากับ 228 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 300 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 24 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกห้องเผาไหม้เท่ากับ 32.87 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 39 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 24 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 2 กระบวนการเผาไหม้ ใช้เวลา 30 ชั่วโมง เติมเชื้อเพลิงทุกๆ 1.5 ชั่วโมง เติมเชื้อเพลิงทั้งหมด 16,820 kg พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องเผาไหม้เท่ากับ 913.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 1,026 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 775 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกห้องเผาไหม้เท่ากับ 46.6 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 60 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 31 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 3 กระบวนการอบใช้เวลา 26 ชั่วโมง งดการเติมเชื้อเพลิงพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องเผาไหม้เท่ากับ 455.12 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 272 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 620 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกห้องเผาไหม้เท่ากับ 43 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 63 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 32 องศาเซลเซียส

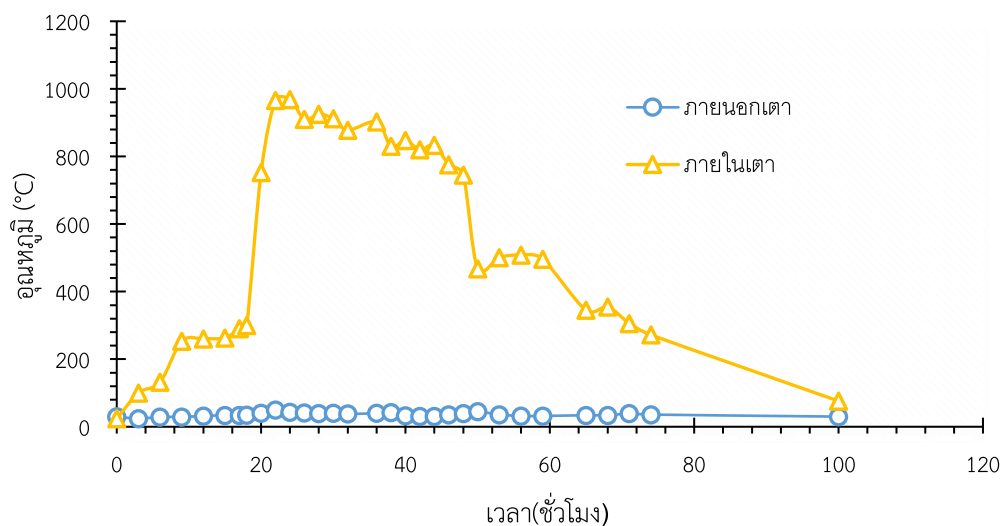
อุณหภูมิที่สามารถทำงานได้หลังจากกระบวนการอบผ่านไป 26 ชั่วโมง ปิดปากบริเวณปากห้องเผาตลอดเวลา เปิดบริเวณผนังเตาเผา ด้านขวา ด้านซ้าย และด้านบน อุณหภูมิผนังห้องเผาไหม้ภายนอกเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส ผนังห้องเผาไหม้ภายในเท่ากับ 86.5 องศาเซลเซียส ข้อมูลแสดงอุณหภูมิภายนอกและภายในห้องเผาไหม้แสดงในตารางที่ 15



ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องเผาไหม้ทางด้านขวา

ห้องเผาด้านขวาอยู่บริเวณด้านหน้าของเตาเผาทางด้านขวา เป็นห้องสำหรับไว้เผาไหม้เชื้อเพลิงให้พลังงานความร้อนแก่อิฐที่อยู่ในห้องเผาขณะการเผา การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นดังแสดงในตารางที่ 8 ข้อมูลแสดงอุณหภูมิภายนอกและภายในห้องเผาไหม้ ดังตารางที่ 16 ตารางที่ 8 อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุดในห้องเผาไหม้ทางด้านขวาของเตาเผา

อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ทางด้านขวา (°C)				
ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด
ห้องเผาไหม้ ทางด้านขวา	กระบวนการไล่	253.25	292	25
	กระบวนการเผา	965.25	1026	904
	กระบวนการอบ	503.87	620	392

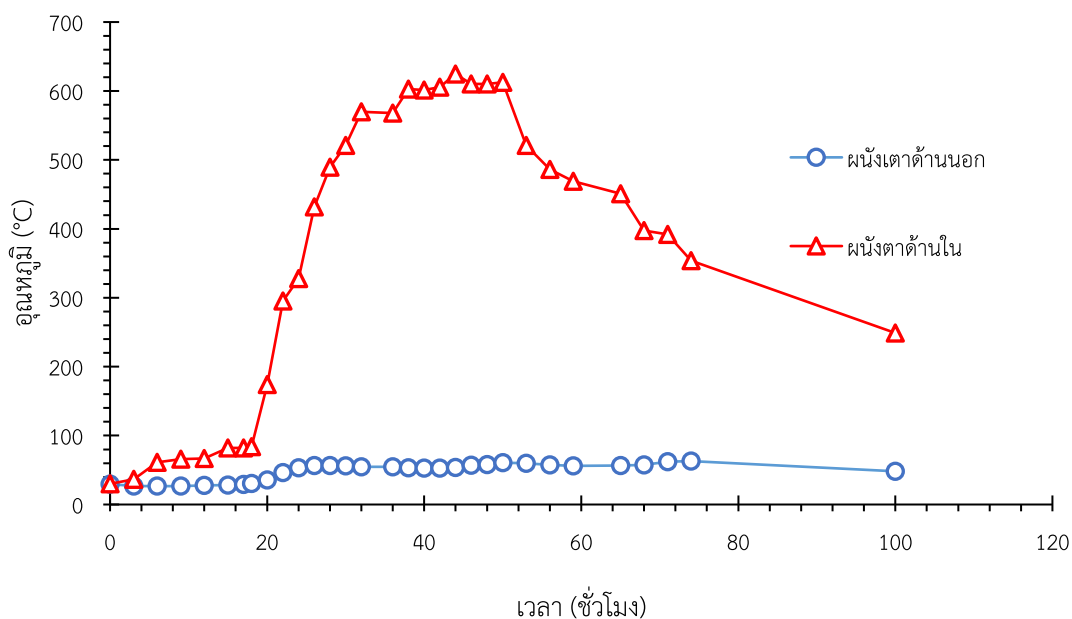


ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิห้องเผาไหม้ทางด้านซ้าย

ห้องเผาด้านซ้ายอยู่บริเวณด้านหน้าของเตาเผาทางด้านซ้าย เป็นห้องสำหรับไว้เผาไหม้เชื้อเพลิงให้พลังงานความร้อนแก่อิฐที่อยู่ในห้องเผาขณะการเผา การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นดังภาพที่ 35 และ ตารางที่ 9 ข้อมูลอุณหภูมิภายนอกและภายในห้องเผาไหม้ ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 9 อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณห้องเผาไหม้ทางด้านซ้ายของเตาเผา

อุณหภูมิภายในห้องเผาไหม้ทางด้านซ้าย (°C)				
ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด
ห้องเผาไหม้ ด้านซ้าย	กระบวนการไล่ ความชื้น	202.75	300	24
	กระบวนการเผา	861.78	969	745
	กระบวนการอบ	406.37	508	272

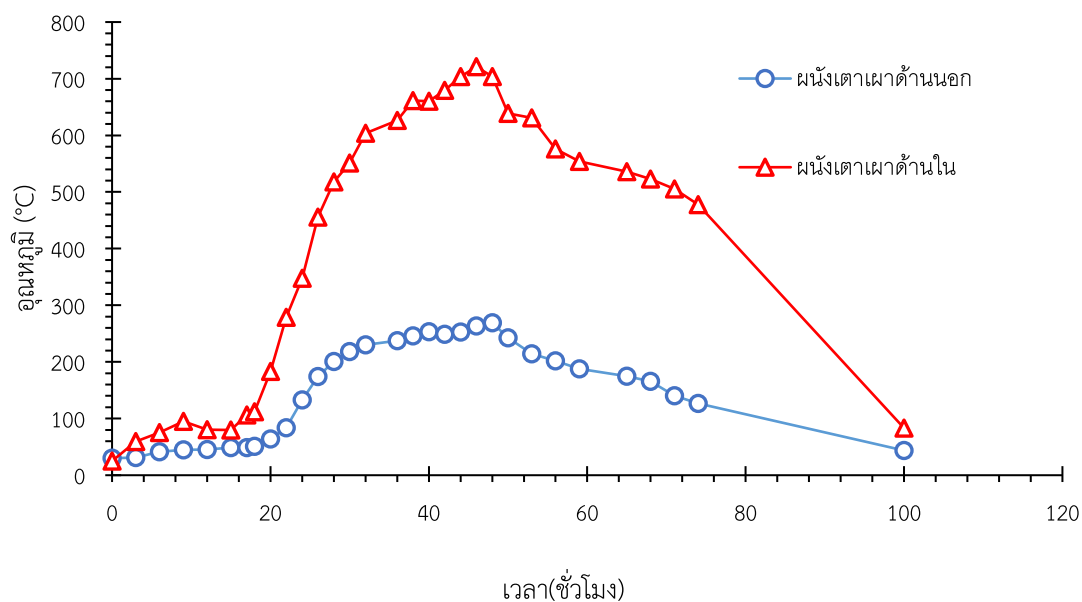


ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผนังเตาด้านหน้า

ผนังด้านหน้าเป็นจุดรับอุณหภูมิจากเตาเผาเป็นจุดแรก อุณหภูมิผนังด้านนี้เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งหมด 3 ตำแหน่ง ณ บริเวณด้านซ้าย ตรงกลาง และด้านขวาของผนังเตา การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพที่ 36 และตารางที่ 10 ข้อมูลแสดงอุณหภูมิกายนอกและภายในผนังเตาเผา ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 10 ข้อมูล อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณผนังด้านหน้าของเตาเผา

อุณหภูมิบริเวณผนังด้านหน้าของเตาเผา (°C)				
ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด
ผนังด้านหน้าของเตาเผา	กระบวนการไล่	63.625	102	25
	ความชื้น			
ของเตาเผา	กระบวนการเผา	502.23	805	101
	กระบวนการอบ	406.29	760	289

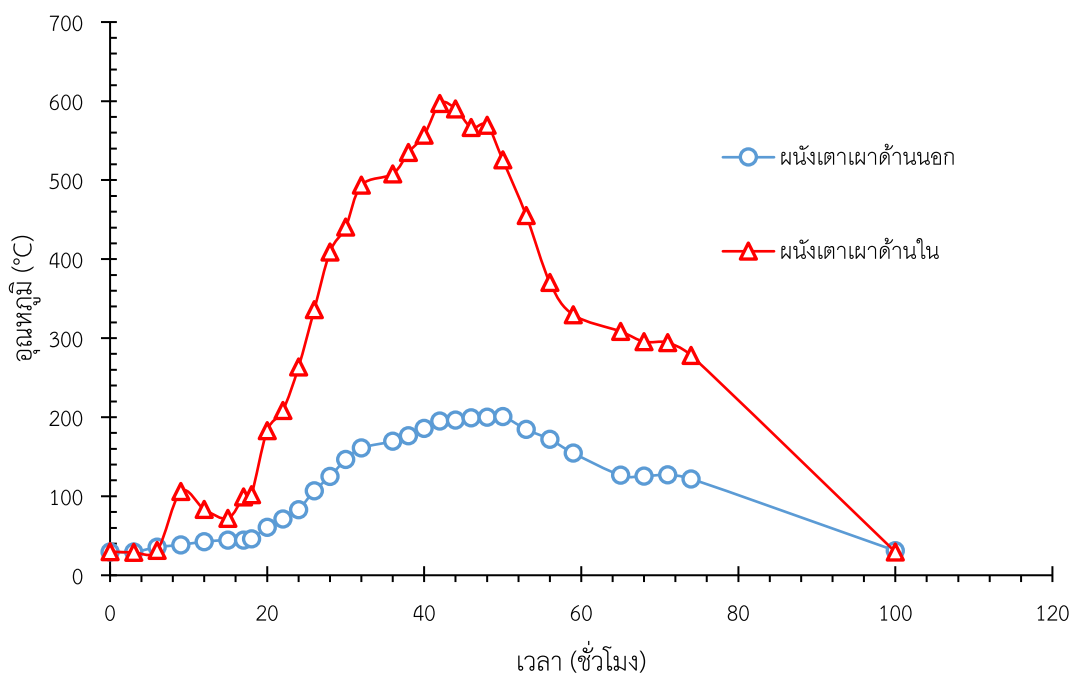


ภาพที่ 37 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผืนเงาเตาเผาด้านซ้าย

ผืนด้านซ้ายอยู่ตำแหน่งด้านซ้ายของเตาเผาจากอุณหภูมิที่วัดค่าได้พลังงานความร้อนจะถ่ายเทมายังผืนด้านซ้ายมากกว่าด้านขวา ในกระบวนการเผา อุณหภูมิผืนด้านนี้เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งหมด ตำแหน่ง ณ บริเวณด้านล่างและด้านบนของผืนเงาเตา การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 37 และตารางที่ 11 ข้อมูลแสดงอุณหภูมิภายนอกและภายในผืนเงาเตาเผา ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 11 ข้อมูล อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณผืนด้านซ้ายของเตาเผา

อุณหภูมิผืนด้านซ้ายของเตาเผา (°C)				
ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด
ผืน	กระบวนการไล่ความชื้น	79.25	120	25
ด้านซ้ายของ	กระบวนการเผา	549.57	745	156
เตาเผา	กระบวนการอบ	555.18	650	477

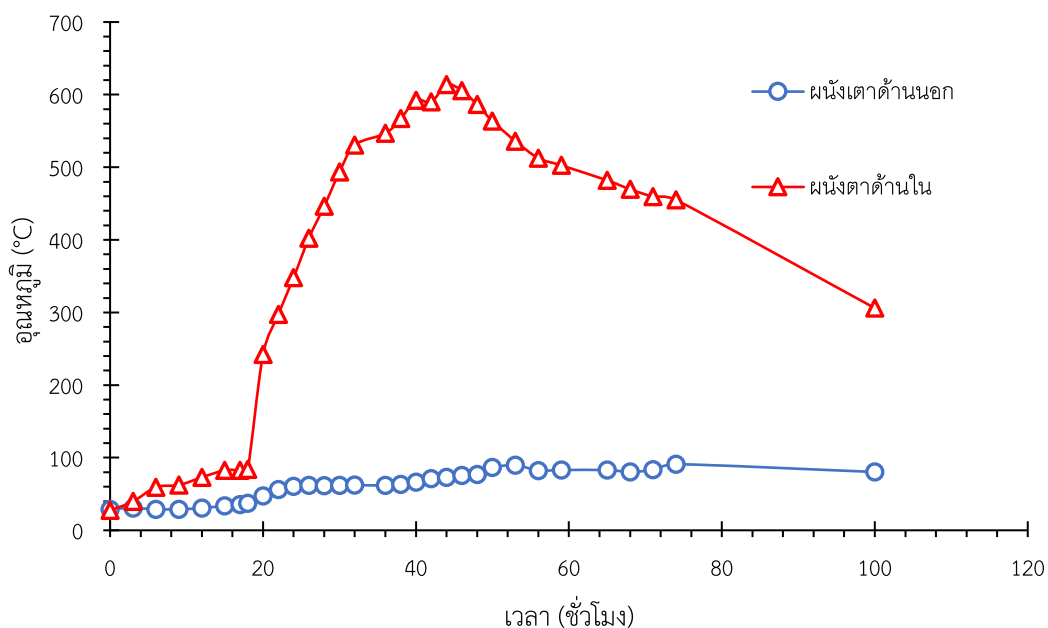


ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผั้้งเตาด้้านขวา

ผั้้งด้้านขวาอยู่ตำแหน่งด้้านขวาของเตาเผาจากอุณหภูมิที่วัดค่าได้พลังงานความร้อนจะถ่านเทมายังผั้้งด้้านขวาน้อยกว่าด้้านซ้าย ในกระบวนการเผา อุณหภูมิผั้้งด้้านนี้เป็้นอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งหมด ตำแหน่ง ณ บริเวณด้้านล่างและด้้านบนของผั้้งเตา การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 38 และตาราง 12 ข้อมูลแสดงอุณหภูมิภายนอกและภายในผั้้งนเตาเผา ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 12 ข้อมูล อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณผั้้งด้้านขวาของเตาเผา

อุณหภูมิผั้้งด้้านขวาของเตาเผา (°C)				
ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด
ผั้้งด้้านขวา ของเตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	69.12	111	29
	กระบวนการเผา	446.92	659	114
	กระบวนการอบ	357.12	624	170

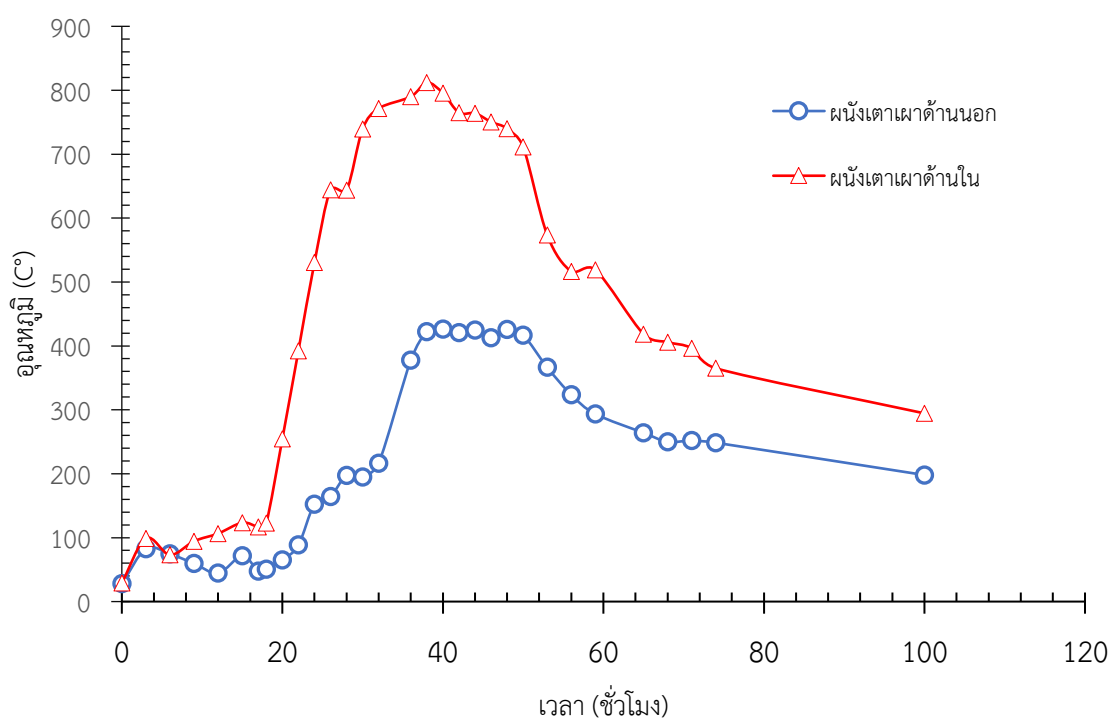


ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผั้งเตาด้านหลัง

ผั้งเตาเผาด้านหลังจะมีอุณหภูมิสูงในช่วงการเผาไหม้เนื่องจากกระบวนการอันยังไม่มีการเปิดพัดลมแรงดันสูงผั้งเตาด้านหลังจึงอุณหภูมิต่ำเนื่องจากอยู่ไกลจากห้องเผาไหม้ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังภาพที่ 39 และตารางที่ 13 ข้อมูลแสดงอุณหภูมิภายนอกและภายในผั้งเตาเผา ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 13 ข้อมูล อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณผั้งด้านหลังของเตาเผา

อุณหภูมิผั้งด้านหลังของเตาเผา (°C)				
ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด
ผั้ง	กระบวนการไล่ความชื้น	191.62	104	27
ด้านหลังของ	กระบวนการเผา	490.119	639	188
เตาเผา	กระบวนการอบ	497.66	589	415

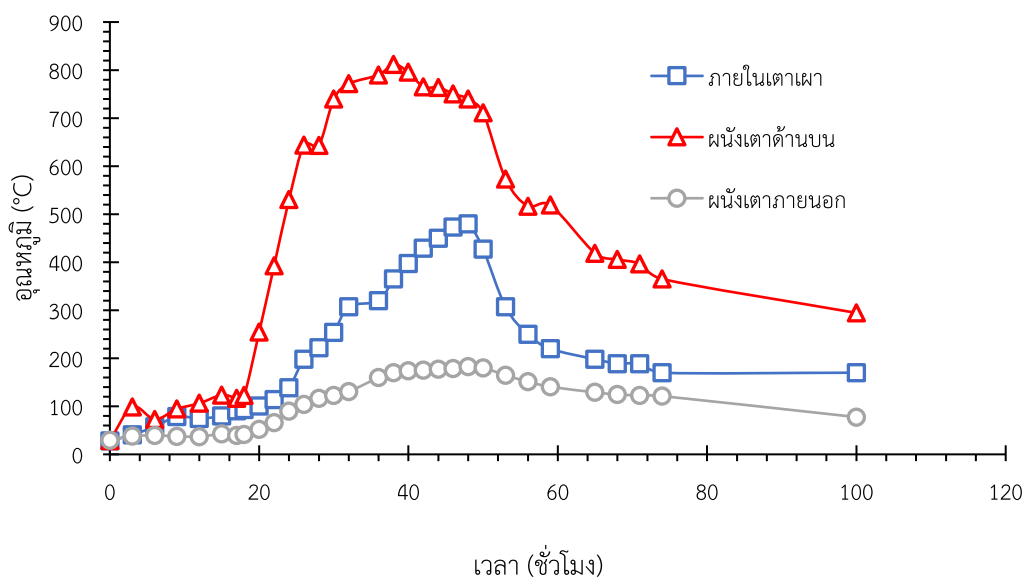


ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผนังเตาด้านบน

ผนังด้านบนอุณหภูมิจะสูงกว่าผนังด้านอื่นๆ เนื่องจากเตาเผาอิฐมอญแบบเตาสี่เหลี่ยมนี้เป็นเตาเผาชนิด ทางลมร้อนลง (Downdraft kiln) โดยธรรมชาติความร้อนจะไหลขึ้นไปยังผนังด้านบนก่อนจึงจะกระจายไปทั่วทั้งเตาและลงต่ำออกทางปล่องไอเสียด้านล่าง สิ่งเกิดความแตกต่างคือ ผนังด้านบนของเตาเผาอุณหภูมิจะสูงกว่าผนังเตาเผาด้านหน้า ด้านหลัง และด้านข้าง ทั้งสี่ด้าน ดังภาพที่ 40 และตารางที่ 14 ข้อมูลแสดงอุณหภูมิภายนอกและภายในผนังเตาเผา ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 14 อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณผนังด้านบนของเตาเผา

อุณหภูมิเฉลี่ยผนังเตาด้านบน (°C)				
ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด
ผนังเตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	95.68	130	29
	กระบวนการเผา	670.92	859	244
ด้านบน	กระบวนการอบ	488.31	766	300

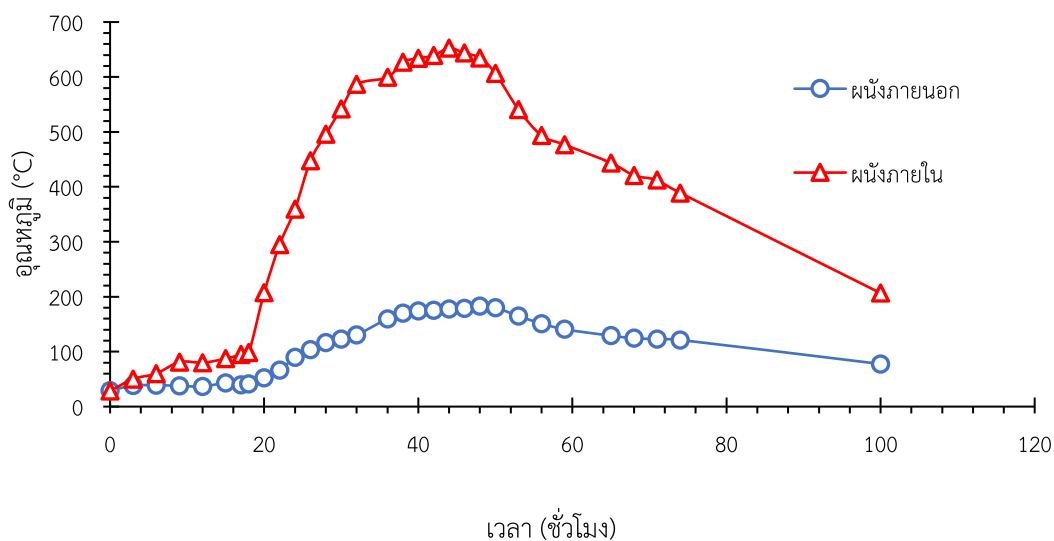


ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในผนังเตาเผา ด้านหน้า ด้านข้าง ทางซ้าย ด้านข้างทางขวา ด้านหลัง โดยเฉลี่ย เปรียบเทียบกับผนังด้านบน

เตาเผาอิฐมอญแบบเตาสี่เหลี่ยมนี้เป็นเตาเผาชนิด ทางลมร้อนลง (Downdraft kiln) ความร้อนจะไหลขึ้นไปยังผนังด้านบนจึงกระจายไปทั่วทั้งเตาและออกทางปล่องไอเสียด้านล่างสังเกตดูความแตกต่างคือผนังด้านบนของเตาเผาอุณหภูมิจะสูงกว่าผนังเตาเผา ด้านหน้า ด้านหลัง และด้านข้าง ทั้งสี่ด้าน ดังภาพที่ 41 และตารางที่ 15 ข้อมูลแสดงอุณหภูมิภายนอกและภายในเตาเผา แสดง ณ ตารางที่ 16

ตารางที่ 15 อุณหภูมิเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิต่ำสุด บริเวณผนังเตาทั้งสี่ด้านและผนังด้านบน

อุณหภูมิภายในเตาเผา (°C)				
ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด
ผนังเตาเผา ทั้งสี่ด้าน	กระบวนการไล่ความชื้น	67.92	120	38
	กระบวนการเผา	497	805	101
	กระบวนการอบ	469.85	760	170
ผนังเตาเผา ด้านบน	กระบวนการไล่ความชื้น	95.68	130	29
	กระบวนการเผา	670.92	859	244
	กระบวนการอบ	488.31	766	300



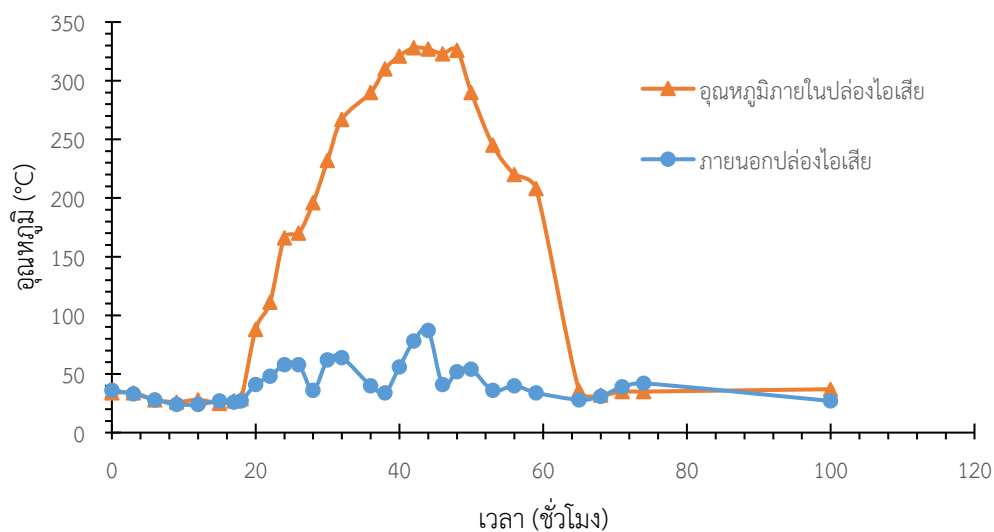
ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาเผาเฉลี่ย 5 ด้าน

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเตาเผาเฉลี่ยผนังทั้ง 5 ด้าน แสดงให้เห็นอุณหภูมิเฉลี่ยที่เกินขึ้น ณ ห้องเผา ดังภาพที่ 42 โดยรวม โดยแบ่งเป็น 3 ช่วง ดังนี้

ช่วงที่ 1 กระบวนการไล่ความชื้น ใช้เวลา 18 ชั่วโมง เต็มเชื้อเพลิงทุกๆ 6 ชั่วโมง เต็มเชื้อเพลิงทั้งหมด 660 kg พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาเท่ากับ 72.55 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 130 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกเตาเผาเท่ากับ 38.12 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 86 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 25 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 2 กระบวนการเผาไหม้ ใช้เวลา 30 ชั่วโมง เต็มเชื้อเพลิงทุกๆ 1.5 ชั่วโมง เต็มเชื้อเพลิงทั้งหมด 16,820 kg พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาเท่ากับ 525.99 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 859 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 101 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกเตาเผาเท่ากับ 135.73 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 466 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 29 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 3 กระบวนการอบ ใช้เวลา 26 ชั่วโมง งดการเติมเชื้อเพลิง พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในเตาเผาเท่ากับ 472.9 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 170 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 766 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกเตาเผาเท่ากับ 141.85 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 449 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 49 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่สามารถทำงานได้หลังจากกระบวนการอบผ่านไป 26 ชั่วโมง ปิดบริเวณปากห้องเผาไหม้ เปิดบริเวณผนังเตาเผาด้านขวา ด้านซ้าย และด้านบน อุณหภูมิผนังห้องเผาภายนอกเฉลี่ยเท่ากับ 77.5 องศาเซลเซียส ผนังห้องเผาภายในเฉลี่ยเท่ากับ 206 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิปล่องไอเสีย

อุณหภูมิบริเวณปล่องไอเสีย ดังภาพที่ 43 จะเพิ่มขึ้นสูงในช่วงกระบวนการเผาไหม้ เนื่องจากการเปิดพัดลมแรงดันสูงสู่ห้องเผาไหม้ลมร้อนในกระบวนการจะกระจายไปทั่วทั้งเตาและออกบริเวณปล่องไอเสีย บริเวณปล่องไอเสียจึงมีความร้อนสูงในกระบวนการเผาแต่ลมร้อนที่สูญเสียทางปล่องไอเสียไม่ได้นำกลับมาใช้ใหม่ มีการทดสอบ 3 ช่วงดังนี้

ช่วงที่ 1 กระบวนการไล่ความชื้น ใช้เวลา 18 ชั่วโมง เติมเชื้อเพลิงทุกๆ 6 ชั่วโมง เติมเชื้อเพลิงทั้งหมด 660 kg พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในปล่องไอเสียเท่ากับ 28.8 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 34 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกปล่องไอเสียเท่ากับ 28.12 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 36 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 24 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 2 กระบวนการเผาไหม้ ใช้เวลา 30 ชั่วโมง เติมเชื้อเพลิงทุกๆ 1.5 ชั่วโมง เติมเชื้อเพลิงทั้งหมด 16,820 kg พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยภายในปล่องไอเสียเท่ากับ 246.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 328 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 88 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกปล่องไอเสียเท่ากับ 53.92 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 87 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 34 องศาเซลเซียส

ช่วงที่ 3 กระบวนการอบ ใช้เวลา 26 ชั่วโมง งดการเติมเชื้อเพลิง พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในปล่องไอเสียเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 37 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 3 องศาเซลเซียส

เซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกปล่องไอเสียเท่ากับ 38 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่ 54 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำสุดที่ 28 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิที่สามารถทำงานได้หลังจากกระบวนการอบผ่านไป 26 ชั่วโมง ปิดบริเวณปากห้องเผาไหม้ เปิดบริเวณผนังเตาเผาด้านขวา ด้านซ้าย และด้านบน อุณหภูมิภายนอกปล่องไอเสียเท่ากับ 27 องศาเซลเซียสภายในปล่องไอเสียเท่ากับ 37 องศาเซลเซียส ตารางที่ 16 อุณหภูมิเฉลี่ยภายใน และภายนอกเตาเผา

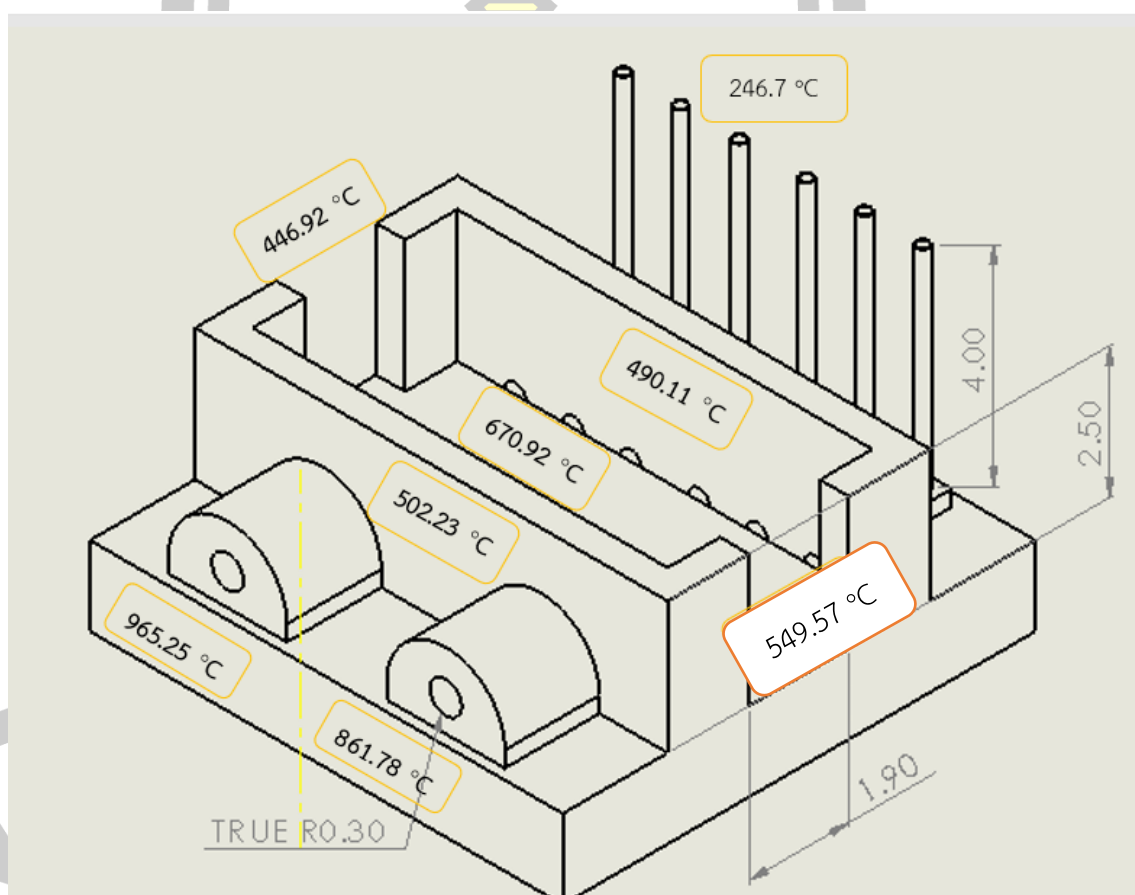
ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิภายในเตาเผา (°C)		
		อุณหภูมิเฉลี่ย	อุณหภูมิสูงสุด	อุณหภูมิต่ำสุด
ห้องเผาไหม้	กระบวนการไล่ความชื้น	228	300	24
	การบวนการเผา	913.5	1026	777
ด้านซ้าย และด้านขวา	กระบวนการอบ	455.12	272	620
	กระบวนการไล่ความชื้น	63.625	102	25
ผนัง ด้านหน้า	การบวนการเผา	502.23	805	101
	กระบวนการอบ	406.29	760	289
ผนัง ด้านซ้าย	กระบวนการไล่ความชื้น	79.25	120	25
	การบวนการเผา	549.57	745	156
เตาเผา	กระบวนการอบ	555.18	650	477
	กระบวนการไล่ความชื้น	69.12	111	29
ผนังด้านขวา	การบวนการเผา	446.92	659	114
	กระบวนการอบ	357.12	624	170
ผนัง ด้านหลัง	กระบวนการไล่ความชื้น	191.62	104	27
	การบวนการเผา	490.119	639	188
เตาเผา	กระบวนการอบ	497.66	598	415
	กระบวนการไล่ความชื้น	95.68	130	29
ผนังด้านบน	การบวนการเผา	670.92	859	244
	กระบวนการอบ	488.31	766	300
ปล่องไอเสีย	กระบวนการไล่ความชื้น	28.8	34	25
	การบวนการเผา	246.7	328	88

ตารางที่ 16 อุณหภูมิเฉลี่ยภายใน และภายนอกเตาเผา (ต่อ)

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิภายนอกเตาเผา (°C)		
		อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	อุณหภูมิสูงสุด(°C)	อุณหภูมิต่ำสุด (°C)
	กระบวนการอบ	37	37	37
ห้องเผาไหม้ ด้านซ้าย และด้านขวา	กระบวนการไล่ความชื้น	32.87	39	24
	การบวนการเผา	46.6	60	31
	กระบวนการอบ	43	63	32
ผนัง ด้านหน้า เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	28.17	35	25
	การบวนการเผา	52.90	65	29
	กระบวนการอบ	59.08	78	49
ผนัง ด้านซ้าย เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	42.68	55	29
	การบวนการเผา	205.39	293	60
	กระบวนการอบ	181.88	269	84
ผนังด้านขวา เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	38.81	53	29
	การบวนการเผา	144.34	215	57
	กระบวนการอบ	151.62	219	114
ผนัง ด้านหลัง เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	84.87	106	79
	การบวนการเผา	64.19	94	37
	กระบวนการอบ	31.79	40	26
ผนังด้านบน เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	57.31	86	27
	การบวนการเผา	285.07	466	64
	กระบวนการอบ	301.87	449	230
ปล่องไอเสีย	กระบวนการไล่ความชื้น	28.12	36	24
	การบวนการเผา	53.92	87	34
	กระบวนการอบ	38	54	28

4.1.7 ผลการศึกษาปริมาณความร้อนในเตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางลมร้อนลง

พฤติกรรมความร้อนในกระบวนการเผาแบ่งออกเป็น 2 ห้องเผาใหม่ 5 ผนังของเตาเผา และอุณหภูมิปล่องไอเสีย จากพฤติกรรมทางความร้อนที่เกิดขึ้นความร้อนจะถ่ายเทไปทางผนังด้านขวามากกว่าด้านซ้ายและความร้อนจะไหลไปทางผนังด้านบนจึงกระจายลงมาด้านล่างทั่วเตา แล้วออกทางปล่องไอเสีย ผนังด้านบนอุณหภูมิจะสูงกว่าผนังด้านอื่นๆ เนื่องจากเตาเผาอิฐมอญแบบเตาสี่เหลี่ยมนี้เป็นเตาเผาชนิด ทางลมร้อนลง (Downdraft kiln) ความร้อนจะไหลขึ้นไปยังผนังด้านบนตามธรรมชาติของความร้อน จึงกระจายไปทั่วทั้งเตาแล้วไหลลงด้านล่างของเตาและออกทางปล่องไอเสีย สังเกตความแตกต่างคือผนังด้านบนของเตาเผาอุณหภูมิจะสูงกว่าผนังเตาเผาด้านหน้า ด้านหลัง และด้านข้าง ทั้งสี่ด้าน แสดงดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 แสดงอุณหภูมิในกระบวนการเผา

4.1.8 การหาปริมาณความร้อนจากเตาแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง

1) ปริมาณความร้อนสูญเสียจากการนำความร้อนที่ผนังเตา (Conduction loss)

การถ่ายเทความร้อนจากการนำเป็นการถ่ายเทที่อาศัยของแข็งเป็นตัวกลางในกาถ่ายเทความร้อน เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวทั้งสองด้านของของแข็งการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ความหนาและ ชนิดของวัสดุและผลต่างของอุณหภูมิตามกฎการนำความร้อน โดยทำการคำนวณหาปริมาณความร้อนสูญเสียจากการนำของผนังเตาเผาในแต่ละด้าน รวมทั้งหมด 5 ด้าน คือ ผนังด้านหน้า ผนังด้านซ้าย ผนังด้านขวา ผนังด้านหลัง ผนังด้านบน โดยแสดงรายละเอียด ดังตาราง 17

ตารางที่ 17 ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนที่ผนังเตา

กระบวนการ	ค่าความร้อนสูญเสียจากการนำที่ผนังเตา (MJ)				
	ผนังด้านหน้า	ผนังด้านซ้าย	ผนังด้านขวา	ผนังด้านหลัง	ผนังด้านบน
ไล่ความชื้น (Preheat process)	41	21.2	17.5	37.1	71
เผา (Firing process)	870	331.74	296.23	821.05	11,900
อบ (Tempering)	618.73	287.99	139.09	318.29	143.91

2) ปริมาณความร้อนสูญเสียสะสมที่ผนังเตา (Kiln storage loss)

การเผาไหม้ในเตาความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกสะสมไว้ในผนังเตา หลังคาและพื้นเตา และผนังด้านต่างๆ เนื่องจากว่าก่อนการเผาเตาจะมีอุณหภูมิต่ำทำให้ดูดซับความร้อนไว้ส่วนหนึ่งทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าความร้อนที่สะสมในผนังเตาเผา

กระบวนการ	ค่าความร้อนสูญเสียจากการนำที่ผนังเตา (MJ)				
	ผนังด้านหน้า	ผนังด้านซ้าย	ผนังด้านขวา	ผนังด้านหลัง	ผนังด้านบน
ไล่ความชื้น (Preheat process)	2563.2024	597.4375	523.375	821.6	379.2
เผา (Firing process)	7638.0992	4058.625	3471.0625	4013.2	2410.29
อบ (Tempering)	1906.4912	1767.625	2760.0625	1556.3	1623.45

4.1.9 พลังงานที่ใช้ในการเผาอิฐ

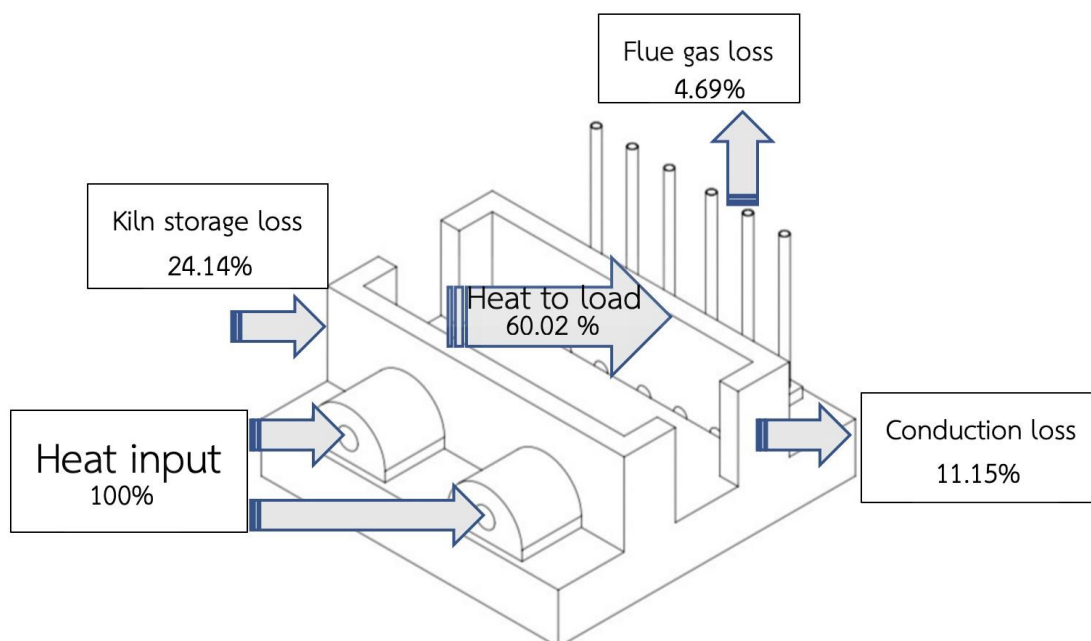
เชื้อเพลิงส่วนใหญ่ที่ใช้การเผาอิฐ คือ ไม้ผืนซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่นิยมใช้กันเนื่องจากหาได้ง่าย ราคาถูกและยังมีอยู่มากตามชนบท จากการศึกษาการเผาอิฐด้วยเตาเผาแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง ใช้ไม้ผืนในกระบวนการทั้งหมด 17,480 กิโลกรัม ค่าพลังงานความร้อนของไม้ผืนคือ 8.18 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ดังนั้นพลังงานที่ได้จากไม้ผืนทั้งหมดเท่ากับ 142,777 เมกกะจูล จำนวนอิฐที่ใช้ในการเผาทั้งหมด 50,997 ก้อน น้ำหนักเฉลี่ยอิฐ 4 รูต่อก้อน 1 กิโลกรัม น้ำหนักเฉลี่ยอิฐ 8 รูต่อก้อน 2.45 กิโลกรัม น้ำหนักอิฐทั้งหมด 56,678 กิโลกรัม จากข้อมูลข้างต้นคำนวณค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการเผาอิฐโดยใช้สมการที่ 2.20 ได้เท่ากับ 2.22 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ

4.1.10 สมดุลความร้อนของเตาเผาอิฐ

จากข้อมูลข้างต้นเมื่อทราบค่าความร้อนทั้งหมดที่ใช้สำหรับเผาอิฐ ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนของผนังเตา ค่าความร้อนสะสมที่ผนังเตา ค่าความร้อนที่สูญเสียออกจากปล่อง สามารถหาสมดุลความร้อนของเตาเผาได้โดยใช้สมการที่ 2.25 โดยจะได้ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนที่อิฐได้รับดังแสดงในตารางที่ 19 และสมดุลความร้อนของเตาแสดงในภาพที่ 45

ตารางที่ 19 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนที่อิฐได้รับ

พลังงานความร้อน	ค่าพลังงานความร้อน MJ	คิดเป็น%
เชื้อเพลิง(ไม้ผืน)ทั้งหมดที่ใช้เผาอิฐ	142,777	100 %
การสะสมที่ผนังเตา	34466.57	24.14 %
การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน	15914.83	11.15 %
ไอเสียที่ออกจากปล่อง	6695.38	4.69 %
พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐ	85,700.22	60.02 %



ภาพที่ 45 แสดงสมดุลความร้อนของเตาเผาอิฐ

4.1.11 ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐ

จากข้อมูลข้างต้นเมื่อทราบค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐเท่ากับ 85,700.22 เมกะจูลและทราบพลังงานที่ใช้ในการเผาอิฐทั้งหมดเท่ากับ 142,777 เมกะจูล สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐโดยใช้สมการที่ 2.26 ได้เท่ากับ 0.60

4.2 ผลการหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง โดยเลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมและหาง่ายในท้องถิ่น

การหาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง โดยพิจารณาข้อมูลที่ได้จากหัวข้อ 4.1.7 ถึง 4.1.11 พบว่าค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปสำหรับการเผาอิฐเรียงจากมากไปหาน้อยคือ ค่าพลังงานความร้อนที่สะสมในเตา ค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อน และค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียออกจากปล่อง หนึ่งในวิธีการที่ประหยัดและง่ายต่อการปรับปรุงเตาและสามารถลดการสูญเสียพลังงานในการเผาอิฐได้ คือการเพิ่มฉนวนกันความร้อนที่ผนังเตาเพื่อลดการสูญเสียพลังงานความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อน โดยเลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมและหาง่ายในท้องถิ่น วัสดุเป็นฉนวนที่หาง่ายในท้องถิ่นคือ ซีเมนต์กลบ และซีเมนต์ไม้ โดยทำการทดสอบที่ระดับความหนาแน่นสามระดับ ที่ขนาดความหนาของฉนวนสองขนาด

เพื่อหาว่าฉนวนชนิดใด ความหนาแน่นเท่าไร และความหนาเท่าใด จึงจะเหมาะสมที่จะนำมาเป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพของเตาเผาอิฐ โดยมีผลจากการศึกษาดังต่อไปนี้

4.2.1 วิธีการทดลองและข้อมูลการทดลองเบื้องต้น

วิธีการศึกษาหาข้อมูลความเป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น คือ ไม้ กล้วย กล้วยไม้ ที่ระดับความหนาแน่นสามระดับ เปรียบเทียบกับฉนวนระหว่างผนังที่เป็นอากาศ ที่ความหนา 10 เซนติเมตร และ 15 เซนติเมตร ได้การทดลองทั้งหมด 14 ครั้งดังแสดงในตารางที่ 20 และข้อมูลของอิฐที่ใช้เผาแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 20 วิธีการทดลองและข้อมูลการทดลองเบื้องต้น

การทดลองครั้งที่	ชนิดของฉนวน	ความหนาของฉนวน (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ (กิโลกรัม)	ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ (เมกกะจูล)	ค่าความร้อนจำเพาะที่ใช้เผาอิฐ (เมกกะจูลต่อกิโลกรัมอิฐ)
1	อากาศ	10	1.23	9.10	457	6.92
2	กล้วย	10	194.89	11.1	557.44	8.44
3	กล้วยไม้	10	670.10	9.5	477.09	7.22
4	กล้วย	10	520.41	13.5	677.97	10.27
5	กล้วยไม้	10	864.59	11.1	557.44	8.44
6	กล้วย	10	358.16	10.1	507.22	7.68
7	กล้วยไม้	10	767.25	9	451.98	6.84
8	อากาศ	15	1.23	9.7	487.13	7.38
9	กล้วย	15	289.32	11.2	562.46	8.52
10	กล้วยไม้	15	460.13	10.8	542.37	8.21
11	กล้วย	15	369.05	10.6	532.33	8.06
12	กล้วยไม้	15	588.92	10.5	527.31	7.98
13	กล้วย	15	329.12	10.3	517.26	7.83
14	กล้วยไม้	15	524.53	10.3	517.66	7.83

ตารางที่ 21 ข้อมูลของอิฐที่ใช้ในการเผา

รายการ	จำนวน	หน่วย
จำนวนอิฐที่ทำการทดลอง	100	ก้อน
น้ำหนักอิฐต่อก้อน	0.66	กิโลกรัม
น้ำหนักอิฐรวมทั้งเตา(kg)	66	กิโลกรัม

4.2.2 ผลการทดลองครั้งที่ 1 การทดสอบความเป็นฉนวนของอากาศที่ความหนาของฉนวน 10 เซนติเมตร

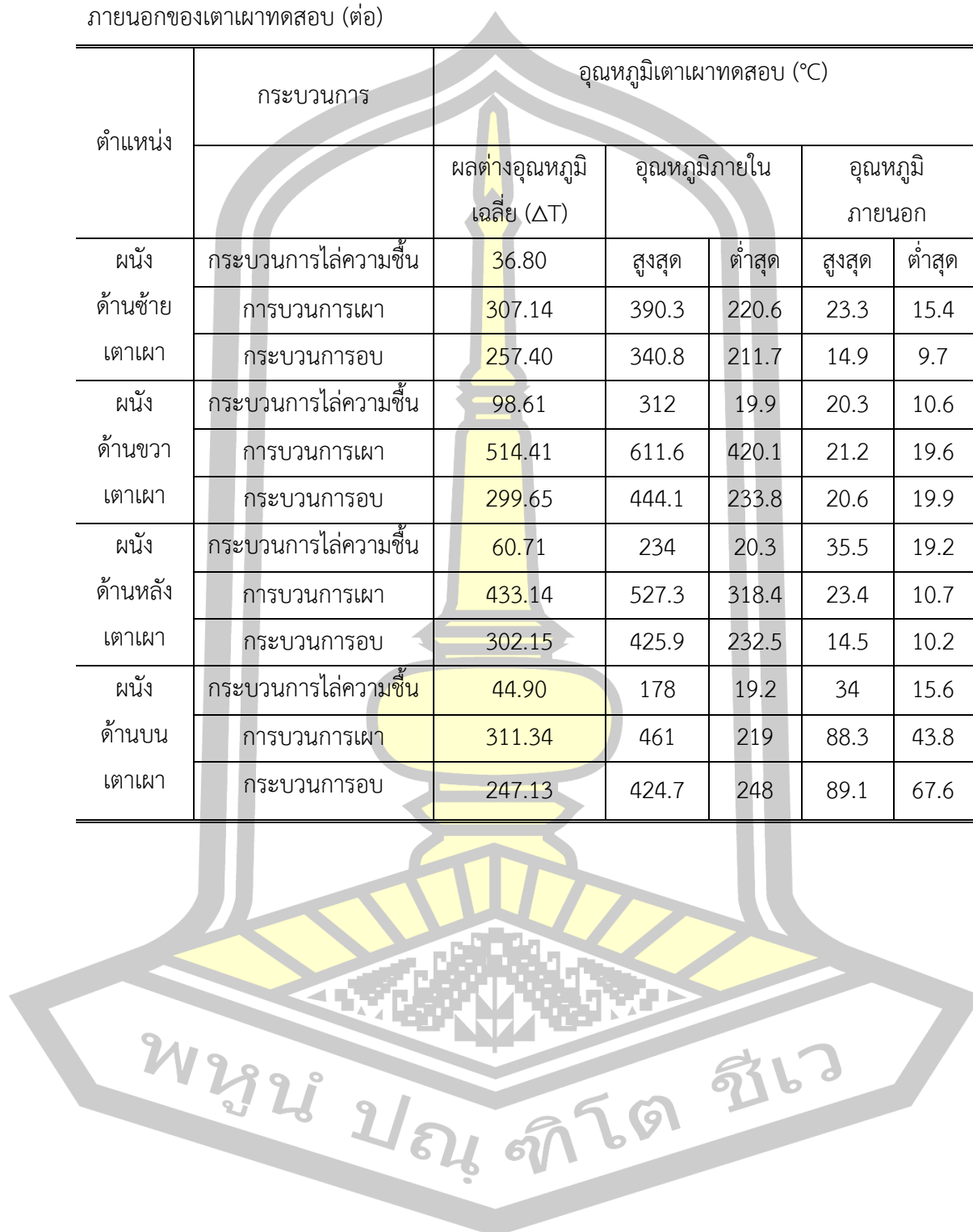
การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 22 ตารางที่ 23 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และกราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอกภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านบนดังแสดงในภาพที่ 46

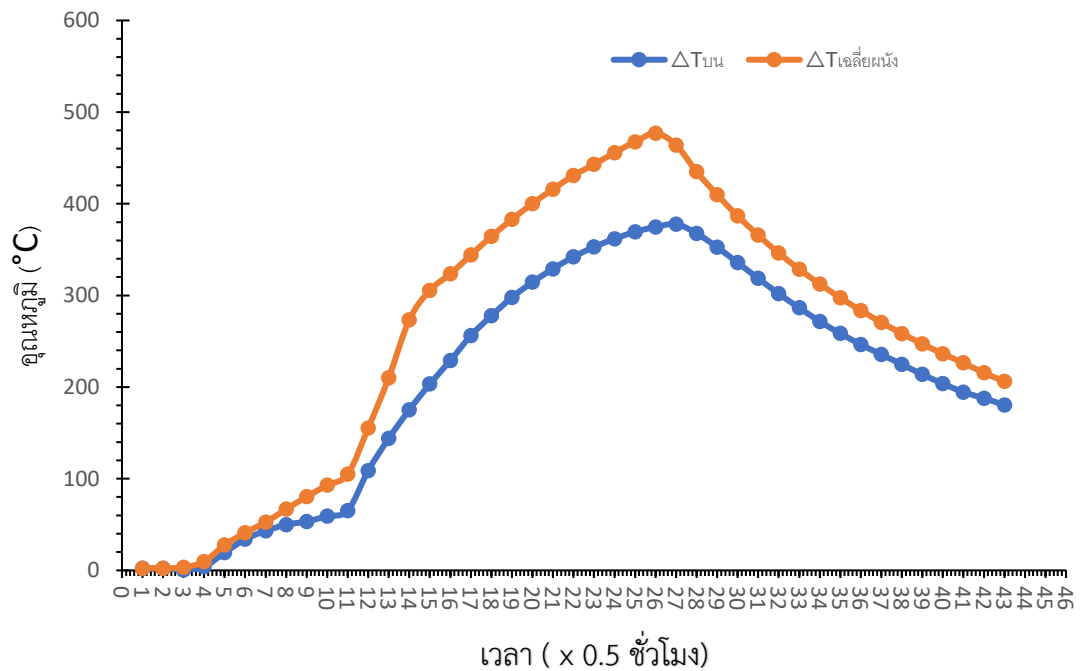
ตารางที่ 22 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบ

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ ($^{\circ}\text{C}$)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนังด้านหน้าเตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	64.54	203	20.2	20.3	9.4
	การบวนการเผา	343.48	454.1	230.2	28	24.1
	กระบวนการอบ	278.33	404.7	216.8	23.4	19.8

ตารางที่ 23 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบ (ต่อ)

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
ผนัง ด้านซ้าย เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	36.80	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
	การบวนการเผา	307.14	390.3	220.6	23.3	15.4
	กระบวนการอบ	257.40	340.8	211.7	14.9	9.7
ผนัง ด้านขวา เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	98.61	312	19.9	20.3	10.6
	การบวนการเผา	514.41	611.6	420.1	21.2	19.6
	กระบวนการอบ	299.65	444.1	233.8	20.6	19.9
ผนัง ด้านหลัง เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	60.71	234	20.3	35.5	19.2
	การบวนการเผา	433.14	527.3	318.4	23.4	10.7
	กระบวนการอบ	302.15	425.9	232.5	14.5	10.2
ผนัง ด้านบน เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	44.90	178	19.2	34	15.6
	การบวนการเผา	311.34	461	219	88.3	43.8
	กระบวนการอบ	247.13	424.7	248	89.1	67.6





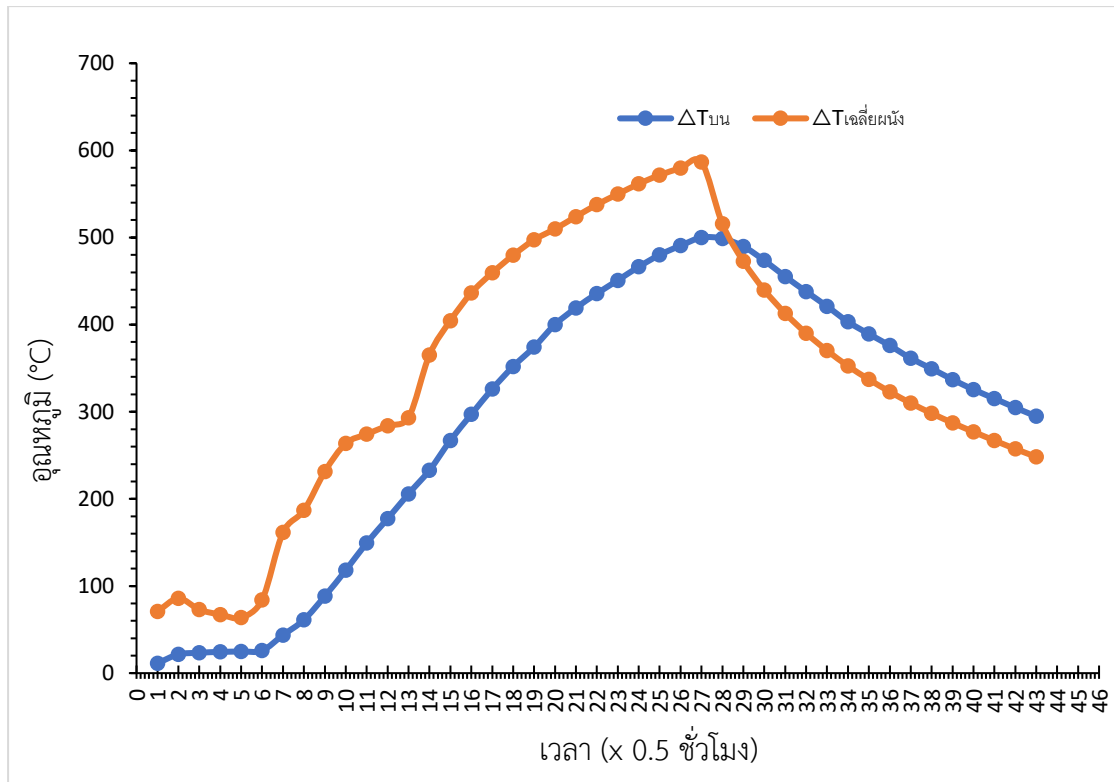
ภาพที่ 46 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวน อากาศความหนา 10 เซนติเมตร

4.2.3 ผลการทดลองครั้งที่ 2 การทดสอบความเป็นฉนวนของซีเมนต์ที่ความหนาแน่น ของฉนวนน้อย ความหนาของฉนวน 10 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอก เฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 24 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และกราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของ ผนังเตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 47

ตารางที่ 24 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์กลบ 10 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนังด้านหน้าเตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	166.91	384	75.3	62.3	50
	การบวนการเผา	598.83	756.6	503.3	81	61.2
	กระบวนการอบ	217.05	449.9	232.5	105.6	82.9
ผนังด้านซ้ายเตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	158.81	306.5	103.5	36.9	16.5
	การบวนการเผา	498.3	598.4	340	11.7	-1.8
	กระบวนการอบ	368.82	476.4	287.7	-2.6	-7.6
ผนังด้านขวาเตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	182.39	327.7	108	27.5	23
	การบวนการเผา	479.80	579.9	375.6	25.6	24
	กระบวนการอบ	359.20	484.6	311.1	25.8	23.8
ผนังด้านหลังเตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	150.13	298.3	97.2	35.9	21.3
	การบวนการเผา	436.18	520.8	332.4	18.7	6.5
	กระบวนการอบ	360.93	457.8	294.9	5.5	1.7
ผนังด้านบนเตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	75.04	251.6	36.9	45.8	25.5
	การบวนการเผา	405.06	540.6	278.8	46.6	35.5
	กระบวนการอบ	374.63	513.1	339.9	45.8	39.4



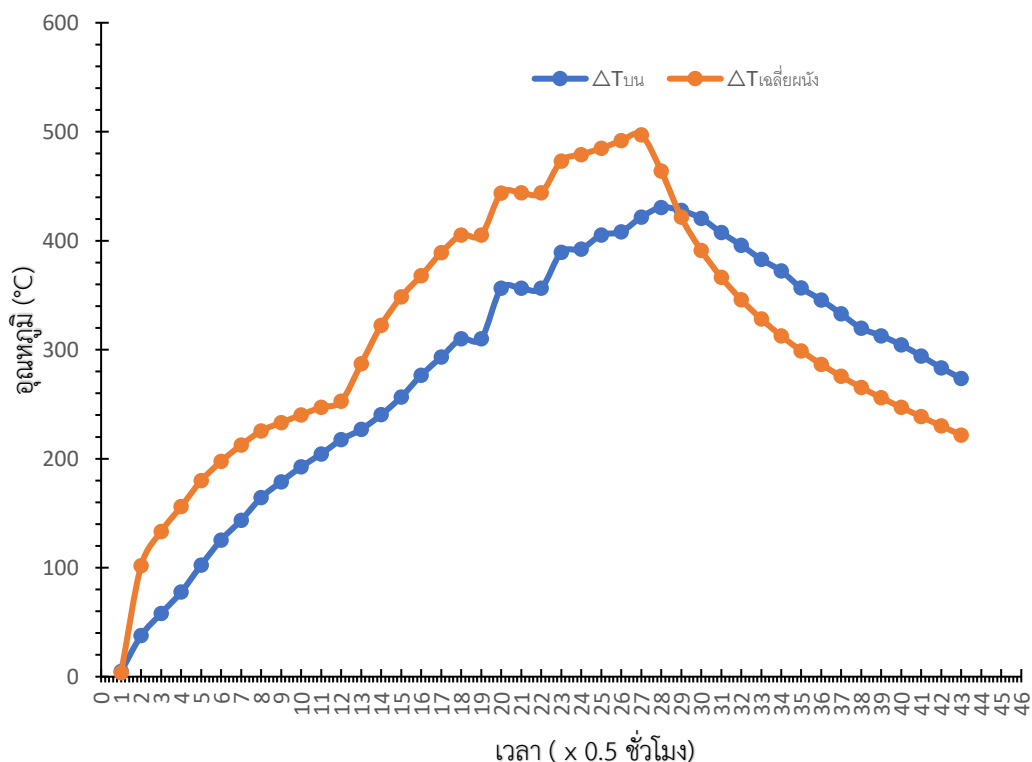
ภาพที่ 47 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์แบบไม่อัดแน่นความหนา 10 เซนติเมตร

4.2.4 ผลการทดลองครั้งที่ 3 การทดสอบความเป็นฉนวนของซีเมนต์ ที่ความหนาแน่นน้อย ความหนาของฉนวน 10 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 25 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของผนังเตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 48

ตารางที่ 25 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์แบบไม่อัดแน่นความหนา 10 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนังด้านหน้า เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	231.40	394.8	28.7	38.2	34.4
	การบวนการเผา	506.21	630.1	447	59	36.8
	กระบวนการอบ	207.55	399.8	206.3	73.7	60.6
ผนังด้านซ้าย เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	161.31	285.7	34.4	45.8	26.4
	การบวนการเผา	440.06	525.6	324.2	30.5	0
	กระบวนการอบ	331.05	432.7	254.8	-0.3	-9.6
ผนังด้านขวา เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	208.70	322.5	32.5	28.3	22
	การบวนการเผา	400.17	479.6	342.5	28.5	25.7
	กระบวนการอบ	306.57	423.1	270.5	30.9	28.8
ผนังด้านหลัง เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	158.74	280.1	33.4	43.7	29.7
	การบวนการเผา	373.79	445.7	300	30.4	7.7
	กระบวนการอบ	316.02	405.5	257.8	7.5	1.7
ผนังด้านบน เตาเผา	กระบวนการไล่ความชื้น	133.36	271.5	26.7	44.6	21.9
	การบวนการเผา	351.90	474.6	286.8	52.9	44.1
	กระบวนการอบ	343.01	464	317.9	48.5	42.8



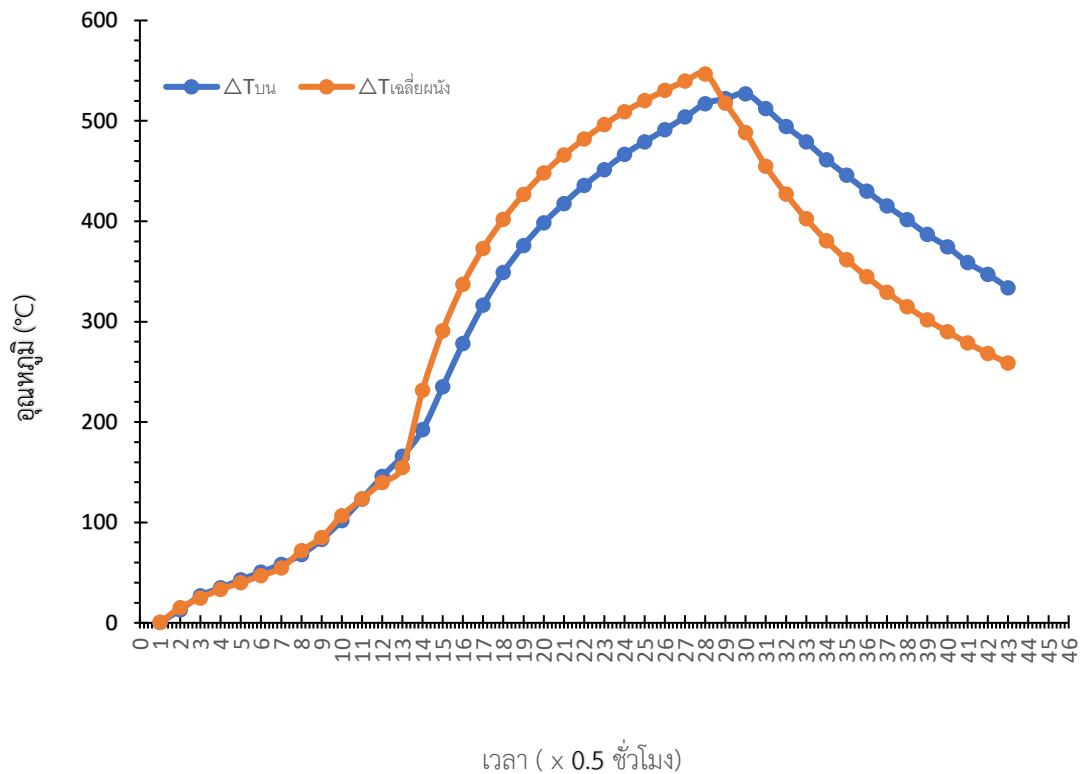
ภาพที่ 48 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์แบบไม่อัดแน่นความหนา 10 เซนติเมตร

4.2.5 ผลการทดลองครั้งที่ 4 การทดสอบความเป็นฉนวนของซีเมนต์แบบที่ความหนาแน่นมาก ความหนาของฉนวน 10 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 26 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของผนังเตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 49

ตารางที่ 26 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์แบบอัดแน่นความหนา 10 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนัง ด้านหน้า	กระบวนการไล่ ความชื้น	41.13	131.4	25.7	30.1	27.5
	การบวนการเผา	457.93	630.5	230.6	70.2	30.8
	กระบวนการอบ	310.65	562.5	307.6	115.4	74.1
ผนัง ด้านซ้าย	กระบวนการไล่ ความชื้น	65.52	180.4	27.7	29.3	26
	การบวนการเผา	442.93	585.1	254.2	31.6	29.4
	กระบวนการอบ	350.97	523	300.4	38	32.1
ผนัง ด้านขวา	กระบวนการไล่ ความชื้น	101.88	243.1	28	32.3	26.4
	การบวนการเผา	447.61	561.2	302.8	29.95	28.6
	กระบวนการอบ	369.16	521.6	320.3	34.6	30.3
ผนัง ด้านหลัง	กระบวนการไล่ ความชื้น	67.36	184.9	27.8	38.5	27.1
	การบวนการเผา	430.78	555.6	259	29.9	17.35
	กระบวนการอบ	369.44	499.6	304.2	16.5	10.2
ผนัง ด้านบน	กระบวนการไล่ ความชื้น	70.35	200.3	26.9	34.4	26.4
	การบวนการเผา	401.86	575.6	227.9	54.1	35.6
	กระบวนการอบ	426.22	580	382.8	53.4	48



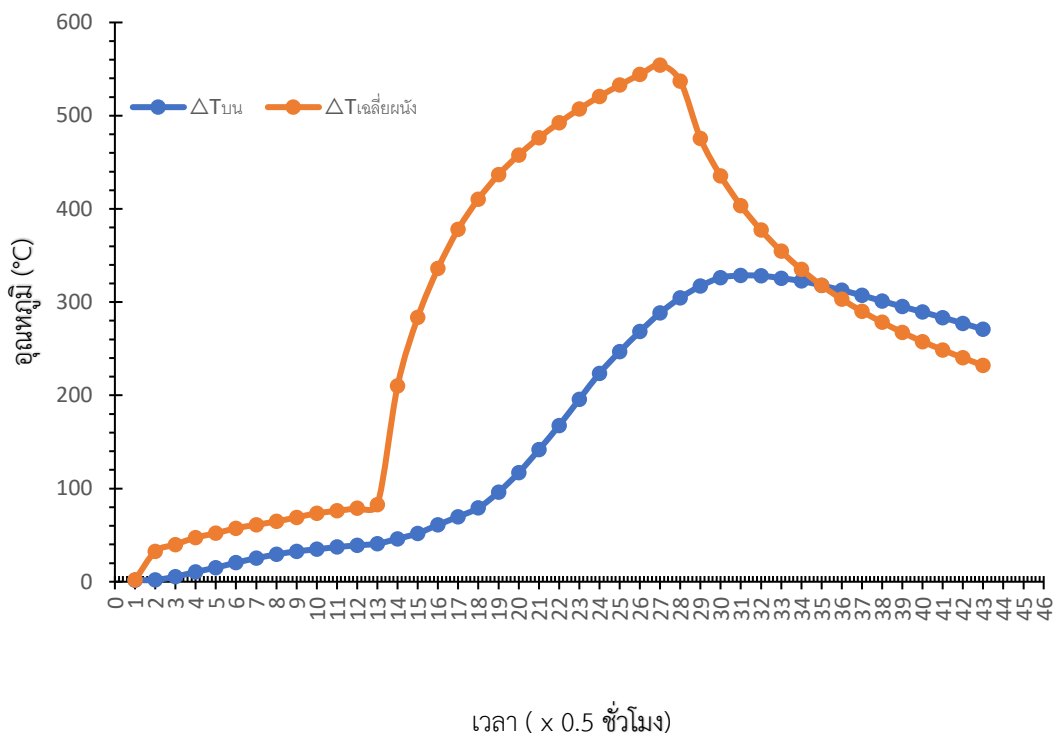
ภาพที่ 49 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวาและผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์แบบอัดแน่นความหนา 10 เซนติเมตร

4.2.6 ผลการทดลองครั้งที่ 5 การทดสอบความเป็นฉนวนของซีเมนต์ที่ความหนาแน่นมาก ความหนาของฉนวน 10 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 27 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และกราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของผนังเตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 50

ตารางที่ 27 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์แบบอัดแน่นความหนา 10 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนัง ด้านหน้า	กระบวนการไล่ ความชื้น	75.11	133.1	23.8	26.7	25.3
	การบวนการเผา	626.78	758.3	431.7	45.9	26.7
	กระบวนการอบ	235.45	478.5	204.1	70.3	48.1
ผนัง ด้านซ้าย	กระบวนการไล่ ความชื้น	30.03	86.3	26.9	37.7	24.6
	การบวนการเผา	418.73	570.4	151.6	38.5	10.9
	กระบวนการอบ	343.57	469.9	268.5	9.9	-1.4
ผนัง ด้านขวา	กระบวนการไล่ ความชื้น	75.99	129	26.4	25.7	20.1
	การบวนการเผา	393.80	507.6	213.6	25.9	20.6
	กระบวนการอบ	331.80	450.6	284.8	24.2	20.8
ผนัง ด้านหลัง	กระบวนการไล่ ความชื้น	45.60	103.2	27	34.7	25.9
	การบวนการเผา	348.86	474.3	166.7	32.1	10.7
	กระบวนการอบ	329.52	431.5	267.6	9.6	3.3
ผนัง ด้านบน	กระบวนการไล่ ความชื้น	70.35	200.3	26.9	34.4	26.4
	การบวนการเผา	401.86	575.6	227.9	54.1	35.6
	กระบวนการอบ	426.22	580	382.8	53.4	48



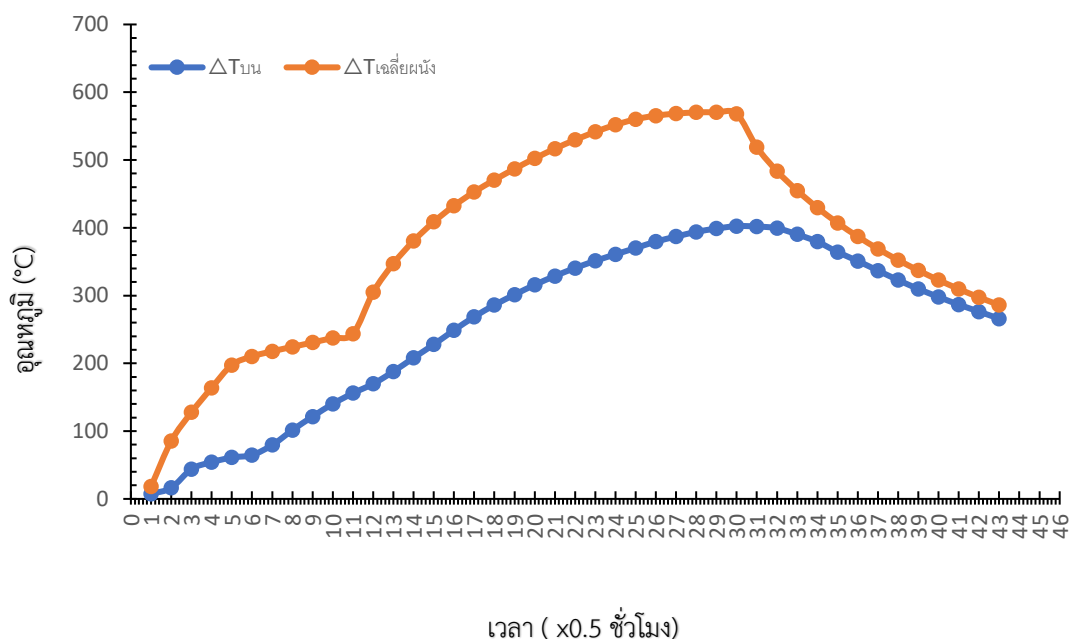
ภาพที่ 50 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์แบบอัดแน่นความหนา 10 เซนติเมตร

4.2.7 ผลการทดลองครั้งที่ 6 การทดสอบความเป็นฉนวนของซีเมนต์กลบ ที่ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 10 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 28 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และกราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของผนังเตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 51

ตารางที่ 28 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์เคลือบ ที่ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 10 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนัง ด้านหน้า	กระบวนการไล่ ความชื้น	174.58	426.7	37.1	44.5	37.6
	การบวนการเผา	571.43	711	475.5	86.5	46.2
	กระบวนการอบ	360.95	706.6	338.3	123.7	89.5
ผนัง ด้านซ้าย	กระบวนการไล่ ความชื้น	193.06	357.2	47.4	29	25.9
	การบวนการเผา	490.26	583.3	391.2	38.6	29.5
	กระบวนการอบ	379.31	565.8	327.9	47.1	39.5
ผนัง ด้านขวา	กระบวนการไล่ ความชื้น	249.97	418.8	52.1	29.7	25
	การบวนการเผา	523.54	632.8	445.6	33.8	30.3
	กระบวนการอบ	417.64	634	352.8	37	34.1
ผนัง ด้านหลัง	กระบวนการไล่ ความชื้น	185.25	323.7	50.1	35.4	23.1
	การบวนการเผา	441.96	543.2	349.8	33.4	17.2
	กระบวนการอบ	420.46	545.4	343.4	16.2	10.1
ผนัง ด้านบน	กระบวนการไล่ ความชื้น	92.64	226.7	30.4	38.8	23.1
	การบวนการเผา	322.96	449.2	247.3	50.4	39.1
	กระบวนการอบ	341.82	453.7	315.4	52.7	49.4



ภาพที่ 51 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์กลบ ที่ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 10 เซนติเมตร

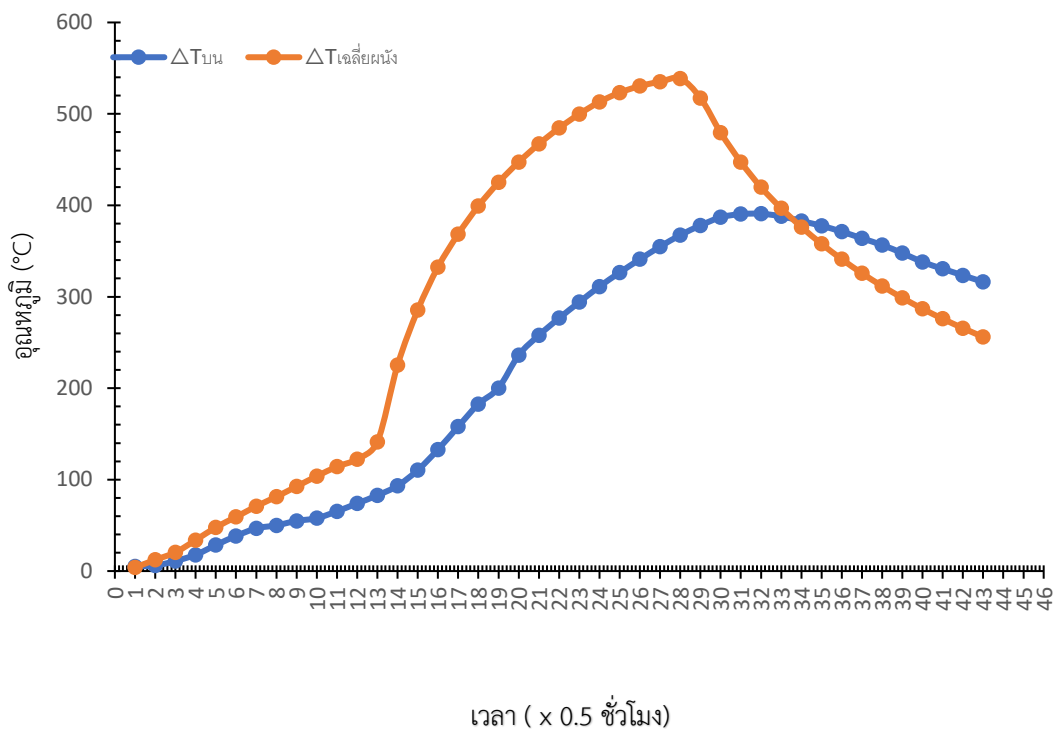
4.2.8 ผลการทดลองครั้งที่ 7 การทดสอบความเป็นฉนวนของซีเมนต์ ที่ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 10 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 29 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของผนังเตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 52

พูน ปณ ทิโต ชเว

ตารางที่ 29 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์ใยแก้ว ที่ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 10 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนัง ด้านหน้า	กระบวนการไล่ ความชื้น	51.53	147.9	25.5	28.7	26.4
	การบวนการเผา	511.63	660	270.7	55.5	28.7
	กระบวนการอบ	331.47	571.9	296.3	83.5	58
ผนัง ด้านซ้าย	กระบวนการไล่ ความชื้น	68.23	166.1	27.3	28.2	24
	การบวนการเผา	450.30	579.8	240.4	31	28.2
	กระบวนการอบ	343.10	513.4	291.6	39.5	31.5
ผนัง ด้านขวา	กระบวนการไล่ ความชื้น	80.21	186.5	27.3	29.9	21.9
	การบวนการเผา	419.26	536.1	268.2	30.7	26.2
	กระบวนการอบ	352.54	485.4	304.8	28.9	26.5
ผนัง ด้านหลัง	กระบวนการไล่ ความชื้น	78.22	188.8	27.6	39	19.4
	การบวนการเผา	391.95	505.3	241.2	32.7	15.7
	กระบวนการอบ	355.54	478.7	291	15.2	7.5
ผนัง ด้านบน	กระบวนการไล่ ความชื้น	41.40	115.7	26.4	33.3	21.3
	การบวนการเผา	251.31	406.6	126.4	33.1	28.6
	กระบวนการอบ	361.73	421	347.3	32.4	29



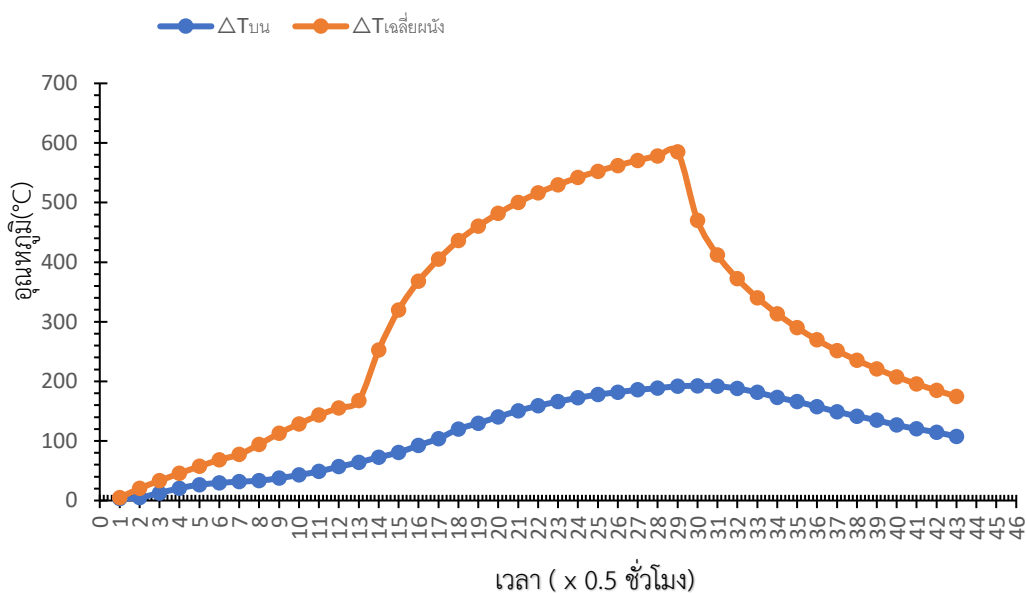
ภาพที่ 52 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์ ที่ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 10 เซนติเมตร

4.2.9 ผลการทดลองครั้งที่ 8 การทดสอบความเป็นฉนวนของอากาศ ความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 30 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และกราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของผนังเตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 53

ตารางที่ 30 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนอากาศความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนัง ด้านหน้า	กระบวนการไล่ ความชื้น	59.51	162.8	29.3	32.8	27.8
	การบวนการเผา	533.96	705.9	316.3	67.4	34.3
	กระบวนการอบ	233.17	518.9	192.1	67.9	65.6
ผนัง ด้านซ้าย	กระบวนการไล่ ความชื้น	100.64	225.1	30.5	31.2	25.8
	การบวนการเผา	543.24	695.8	302.5	45.3	32.3
	กระบวนการอบ	264.04	536.3	193.1	44.9	44.1
ผนัง ด้านขวา	กระบวนการไล่ ความชื้น	97.43	220.9	30.1	35.9	23.9
	การบวนการเผา	456.14	596.6	285	36	33.8
	กระบวนการอบ	316.52	519	244.8	36.2	32.3
ผนัง ด้านหลัง	กระบวนการไล่ ความชื้น	83.72	199.7	31.2	37	24.5
	การบวนการเผา	381.81	532	251.2	47.1	38.6
	กระบวนการอบ	311.47	497.7	252.4	44.3	41.4
ผนัง ด้านบน	กระบวนการไล่ ความชื้น	31.72	110.6	24.2	46.6	21.1
	การบวนการเผา	144.58	272.3	119.5	80.6	46.8
	กระบวนการอบ	153.15	276.7	176.3	85.3	68.7



ภาพที่ 53 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวน อากาศความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

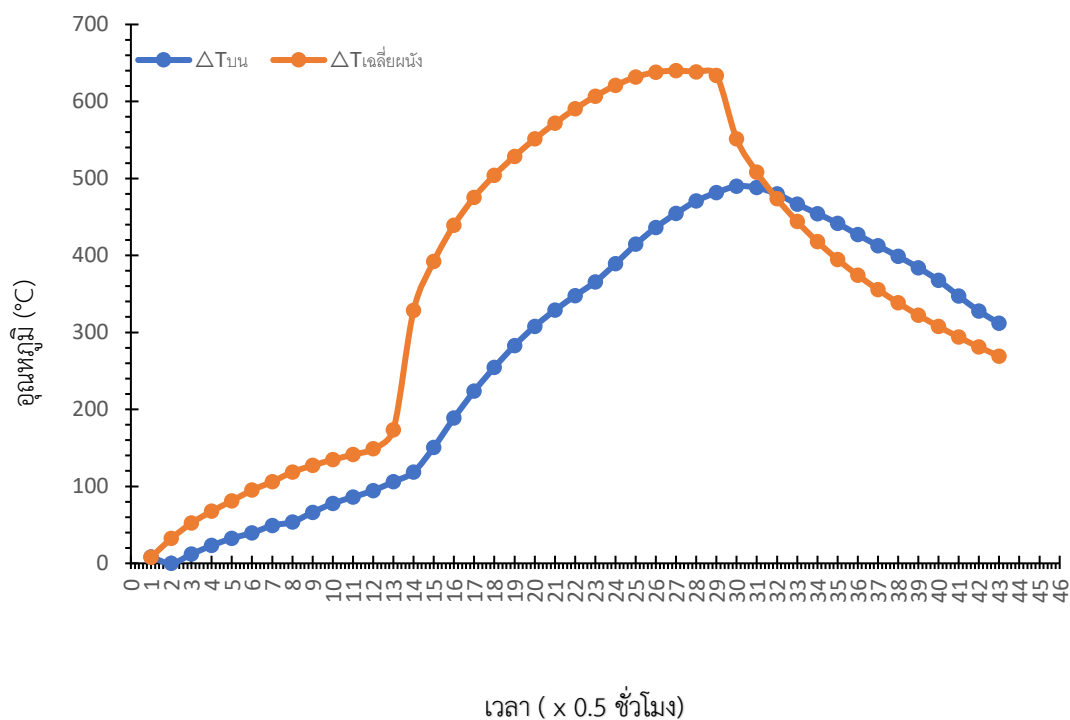
4.2.10 ผลการทดลองครั้งที่ 9 การทดสอบความเป็นฉนวนของซีเมนต์เคลือบ ความหนาแน่น น้อยความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 31 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายใน เฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของผนัง เตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 54

พูน ปณ ทิโต ชเว

ตารางที่ 31 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์แก้ว ความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนัง ด้านหน้า	กระบวนการไล่ ความชื้น	78.29	198.5	33.8	28.7	24.1
	การบวนการเผา	688.90	813	486.1	49.2	28.9
	กระบวนการอบ	371.05	635.8	312.6	71	51.6
ผนัง ด้านซ้าย	กระบวนการไล่ ความชื้น	101.82	195.4	36.9	27.6	24.4
	การบวนการเผา	480.05	607.3	290.7	28.9	28
	กระบวนการอบ	384.71	565.2	311.2	30.4	28.8
ผนัง ด้านขวา	กระบวนการไล่ ความชื้น	100.60	194.4	36.3	28.8	23.2
	การบวนการเผา	496.02	626.1	308.3	28.7	27.7
	กระบวนการอบ	381.10	566.5	302.7	28.3	27.7
ผนัง ด้านหลัง	กระบวนการไล่ ความชื้น	114.16	228.9	17.7	39.2	26.8
	การบวนการเผา	532.68	659.8	351.1	40.2	33.4
	กระบวนการอบ	386.44	586.7	324.4	44.9	41
ผนัง ด้านบน	กระบวนการไล่ ความชื้น	48.63	144.4	30.1	42.8	35.3
	การบวนการเผา	325.98	525.7	155.5	45	33.2
	กระบวนการอบ	414.03	533	347.1	43.2	35.2



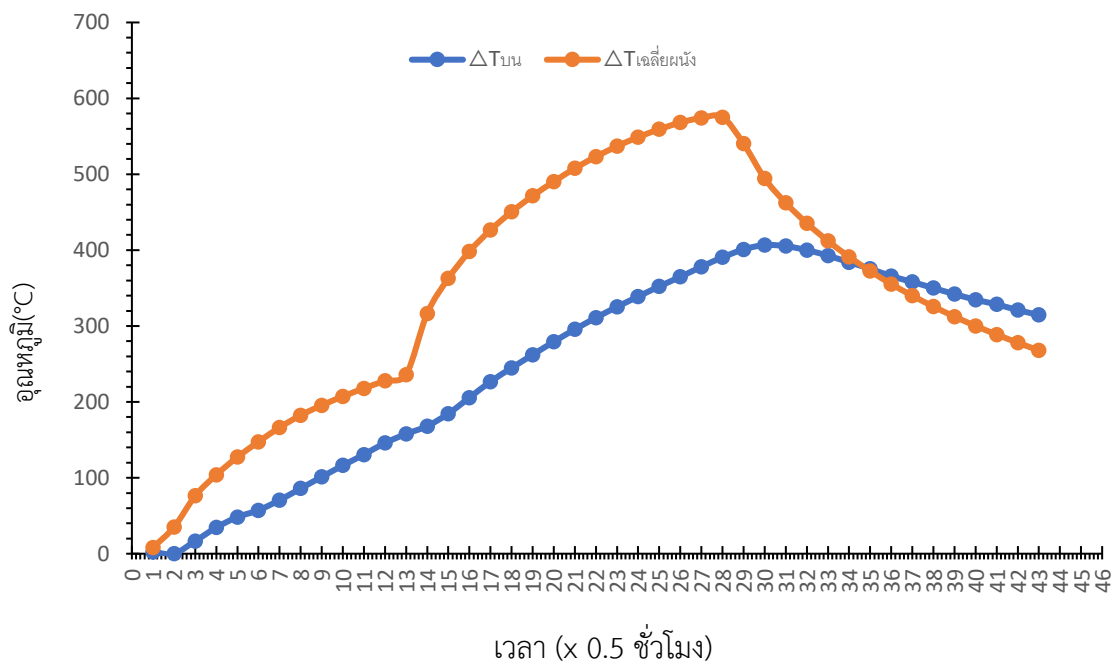
ภาพที่ 54 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวาและผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

4.2.11 ผลการทดลองครั้งที่ 10 การทดสอบความเป็นฉนวนของซีเมนต์ ความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 32 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และกราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของผนังเตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 55

ตารางที่ 32 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นน้อยความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนัง ด้านหน้า	กระบวนการไล่ ความชื้น	91.08	225.6	46.3	48.2	46.8
	การบวนการเผา	547.64	714.3	373.2	73.6	48.9
	กระบวนการอบ	326.14	561.2	318.3	95.6	75.3
ผนัง ด้านซ้าย	กระบวนการไล่ ความชื้น	163.36	289.4	43	35.4	32.6
	การบวนการเผา	489.86	606.6	366.2	36.4	35.6
	กระบวนการอบ	374.37	544.4	319.2	37.5	36.4
ผนัง ด้านขวา	กระบวนการไล่ ความชื้น	151.15	274.4	41.1	37	28.8
	การบวนการเผา	443.93	562.3	325.8	36.3	30.4
	กระบวนการอบ	373.47	518.5	318	30	27.9
ผนัง ด้านหลัง	กระบวนการไล่ ความชื้น	188.60	314.6	42.4	40.4	30.2
	การบวนการเผา	480.96	601.2	363	44.5	39.7
	กระบวนการอบ	364.91	540.4	321.2	46	44.2
ผนัง ด้านบน	กระบวนการไล่ ความชื้น	74.40	192.5	27.3	34.7	25.3
	การบวนการเผา	295.51	445.9	204.9	45	36.8
	กระบวนการอบ	362.77	451.3	355.8	44.6	40.9



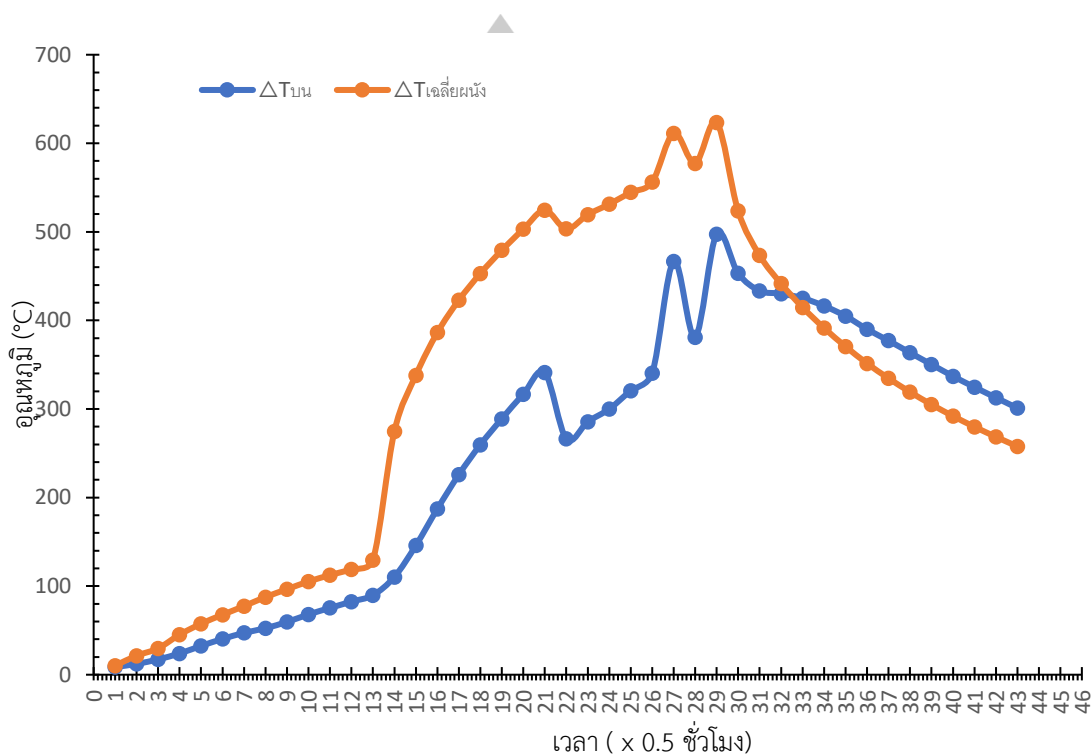
ภาพที่ 55 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวาและผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นน้อยความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

4.2.12 ผลการทดลองครั้งที่ 11 การทดสอบความเป็นฉนวนของซีเมนต์กลบ ความหนาแน่นมากความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 33 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของผนังเตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 56

ตารางที่ 33 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์เคลือบ ความหนาแน่นมากความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนัง ด้านหน้า เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	44.20	145.8	44.1	46.6	45.2
	การบวนการเผา	505.24	744.9	378.5	72.7	46.3
	กระบวนการอบ	239.49	502.7	248.4	103.6	75.4
ผนัง ด้านซ้าย เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	90.04	184.3	46.3	35.4	32.3
	การบวนการเผา	525.11	685.4	328.8	37.6	35.8
	กระบวนการอบ	405.42	621.6	330.7	38.6	37.1
ผนัง ด้านขวา เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	76.71	172.3	46.5	40.5	31.8
	การบวนการเผา	461.31	612.7	279.1	40.7	33.8
	กระบวนการอบ	398.32	569.7	335.9	33.6	33
ผนัง ด้านหลัง เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	84.30	181.8	47.7	45.3	32.9
	การบวนการเผา	470.58	641.7	284.2	50.6	43.2
	กระบวนการอบ	392.19	594.1	340	50	47.5
ผนัง ด้านบน เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	46.92	126.5	37.2	36.7	27.3
	การบวนการเผา	295.91	536.1	145.1	145.6	34.7
	กระบวนการอบ	380	547.9	376.9	113.9	75.9



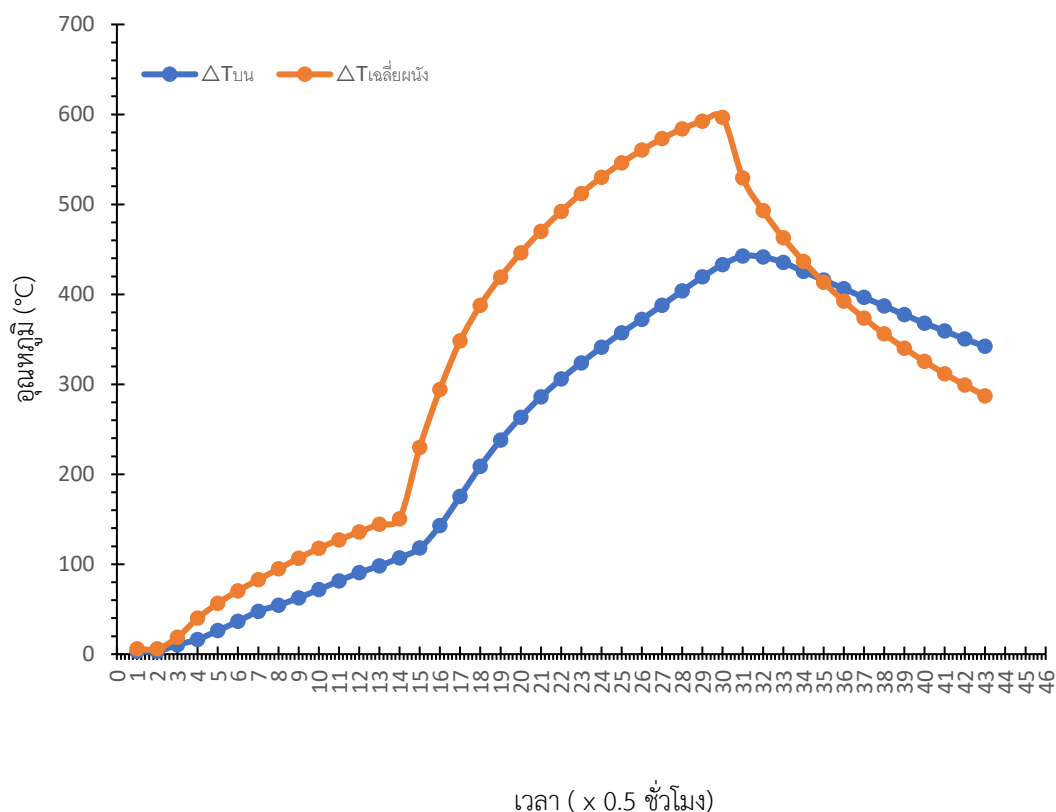
ภาพที่ 56 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นมาก ความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

4.2.13 ผลการทดลองครั้งที่ 12 การทดสอบความเป็นฉนวนของซีเมนต์ ความหนาแน่นมาก ความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 34 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และกราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของผนังเตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 57

ตารางที่ 34 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นมากความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนัง ด้านหน้า	กระบวนการไล่ ความชื้น	43.23	143.6	37.4	39.6	36.3
	การบวนการเผา	502.02	728.5	152.3	64.8	40.2
	กระบวนการอบ	382.90	730.7	339	92.9	67.4
ผนัง ด้านซ้าย	กระบวนการไล่ ความชื้น	74.86	177.9	39.2	36	31.9
	การบวนการเผา	489.86	596.5	185.2	37.3	36
	กระบวนการอบ	374.37	600.9	335	37.7	36.5
ผนัง ด้านขวา	กระบวนการไล่ ความชื้น	91.57	209.2	39.2	42.7	31.3
	การบวนการเผา	443.93	623.5	216.9	42.4	33.3
	กระบวนการอบ	373.47	630.2	346.4	33	31.8
ผนัง ด้านหลัง	กระบวนการไล่ ความชื้น	100.06	208.8	39.8	44	31.9
	การบวนการเผา	480.96	602.2	215.3	55.9	43.1
	กระบวนการอบ	364.90	609.3	339.5	50	46.9
ผนัง ด้านบน	กระบวนการไล่ ความชื้น	46.34	139.4	34.9	41.2	26.8
	การบวนการเผา	295.51	463.3	149.9	45.3	41.3
	กระบวนการอบ	362.77	485.4	384.2	43.7	40.1



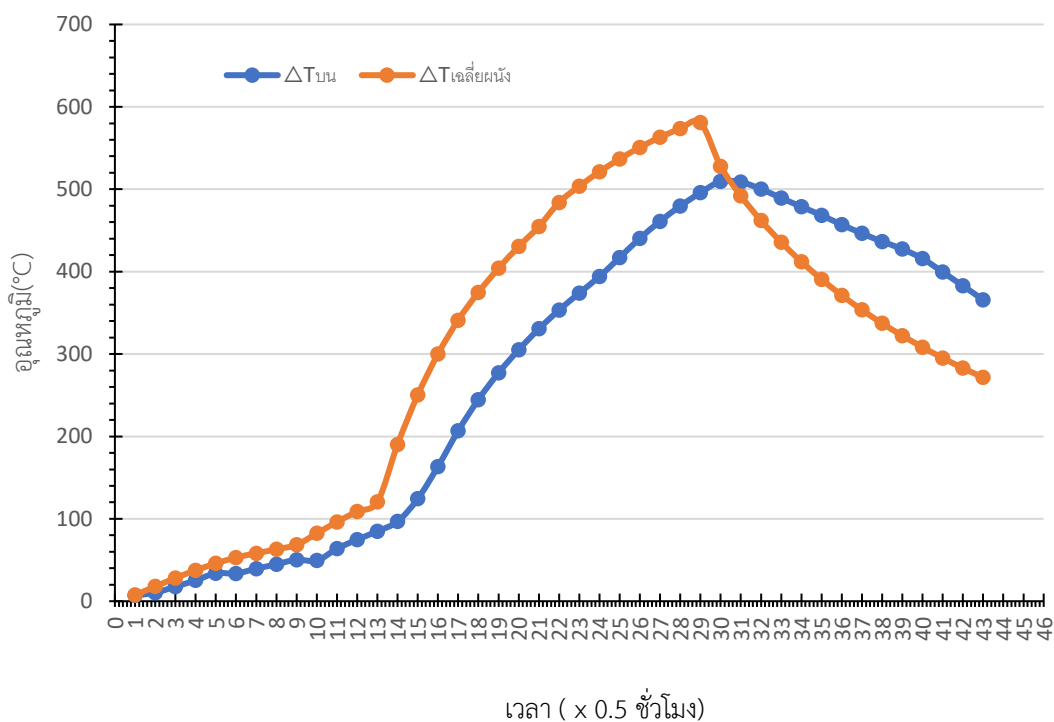
ภาพที่ 57 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวาและผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นมากความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

4.2.14 ผลการทดลองครั้งที่ 13 การทดสอบความเป็นฉนวนของซีเมนต์กลบ ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 35 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และกราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของผนังเตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 58

ตารางที่ 35 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์เคลือบ ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนัง ด้านหน้า เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	30.85	114.7	39.8	39.4	37.2
	การบวนการเผา	364.44	607.2	136.1	64.7	39.8
	กระบวนการอบ	340.47	550.9	328.1	99.3	67.4
ผนัง ด้านซ้าย เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	59.50	155.5	41	36.2	34.7
	การบวนการเผา	468.14	640.5	260.7	41.4	36.6
	กระบวนการอบ	379.35	587.7	321.3	50	42
ผนัง ด้านขวา เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	70.27	176.7	40	42.3	29
	การบวนการเผา	460.07	619.9	253.6	41.6	33
	กระบวนการอบ	402.03	578.9	334.7	32.8	30.8
ผนัง ด้านหลัง เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	81.68	199.7	41	47.4	30.2
	การบวนการเผา	472.26	641.1	276.8	51.4	43.5
	กระบวนการอบ	381.82	583.6	330.4	49.4	47.2
ผนัง ด้านบน เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	41.18	126.4	33	43.8	25.9
	การบวนการเผา	322.77	530	139.4	42.6	34.2
	กระบวนการอบ	448.98	542.4	399.8	34.1	32.8



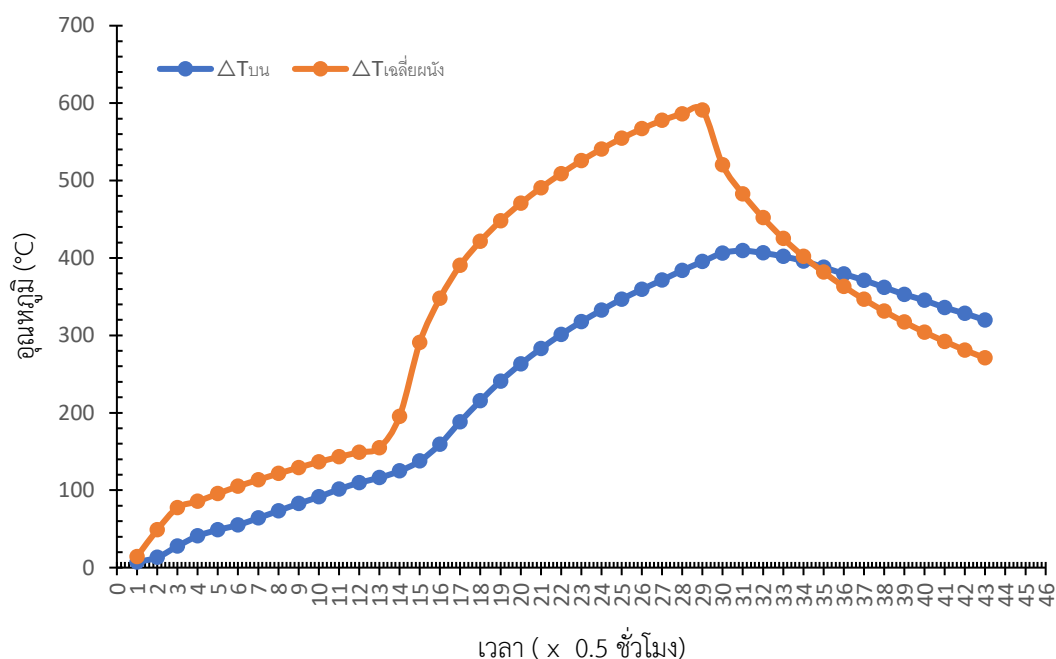
ภาพที่ 58 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

4.2.15 ผลการทดลองครั้งที่ 14 การทดสอบความเป็นฉนวนของซีเมนต์ ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบ โดยมีข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ข้อมูลอุณหภูมิต่ำสุด สูงสุดของผนังเตาทดสอบ ทั้ง 5 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และด้านบน ดังแสดงในตารางที่ 36 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และกราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาและของผนังเตาด้านบน ดังแสดงในภาพที่ 59

ตารางที่ 36 ข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายใน-ภายนอกเฉลี่ย อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดภายใน-ภายนอกของเตาเผาทดสอบของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

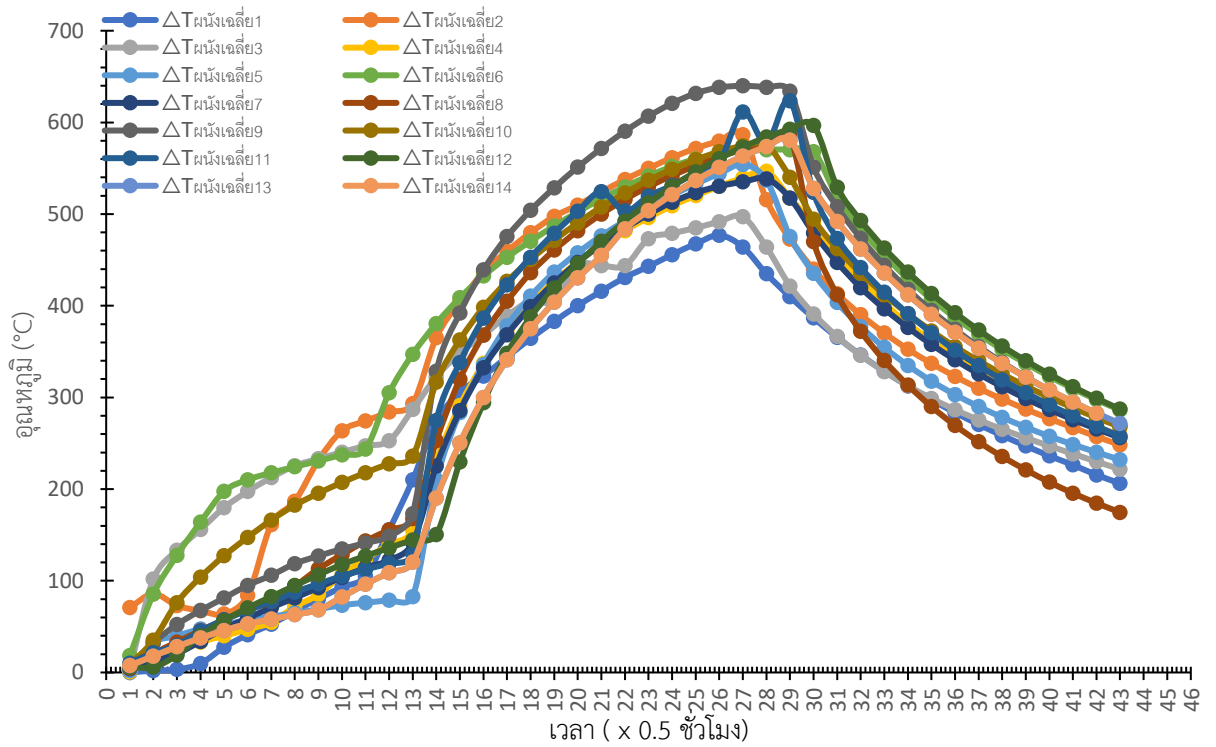
ตำแหน่ง	กระบวนการ	อุณหภูมิเตาเผาทดสอบ (°C)				
		ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (ΔT)	อุณหภูมิภายใน		อุณหภูมิภายนอก	
			สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด
ผนัง ด้านหน้า เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	55.96	151	46.9	43.4	41.8
	การบวนการเผา	512.98	712.9	208.7	62.1	43.8
	กระบวนการอบ	344.97	579.1	314.4	79.5	63.1
ผนัง ด้านซ้าย เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	108.06	187.1	47.8	29.1	25.5
	การบวนการเผา	455.19	607	227.6	31.6	27.5
	กระบวนการอบ	383.40	562.2	317.4	34.7	26.9
ผนัง ด้านขวา เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	109.69	199.7	45.6	40.4	29.9
	การบวนการเผา	424.71	576.8	235.4	39.5	32.7
	กระบวนการอบ	377.40	538.6	320.7	32.5	31.9
ผนัง ด้านหลัง เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	149.13	236.8	46.3	42.6	31
	การบวนการเผา	483.60	635.8	265.4	46.1	41.2
	กระบวนการอบ	371.26	570.1	324	49.5	46.9
ผนัง ด้านบน เตาเผา	กระบวนการไล่ ความชื้น	63.93	160	37.4	43.9	30.2
	การบวนการเผา	276.28	449	168.2	53.8	42.8
	กระบวนการอบ	371.62	463.5	367.4	54.3	47.2



ภาพที่ 59 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา และผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ของผนังเตาด้านบนของฉนวนซีเมนต์ ความหนาแน่นปานกลางความหนาของฉนวน 15 เซนติเมตร

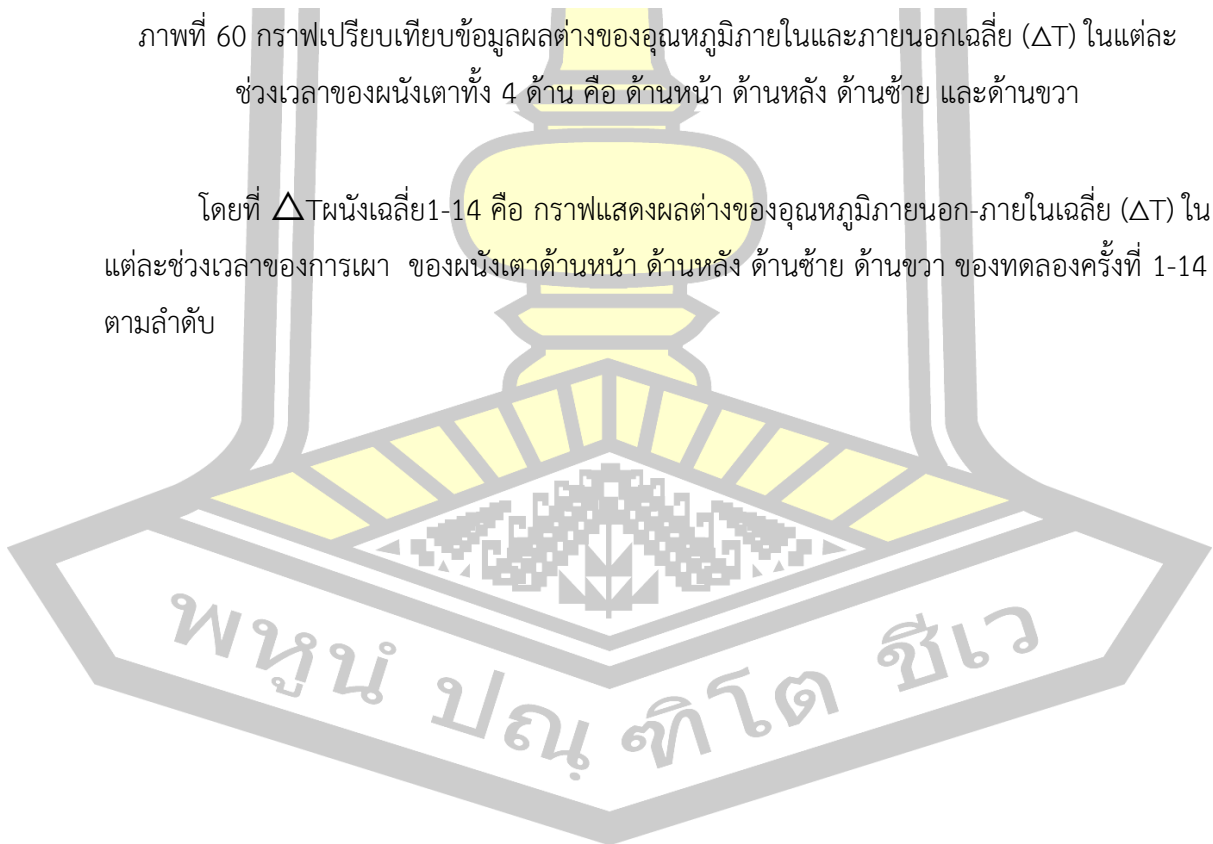
4.2.16 การเปรียบเทียบความเป็นฉนวนของ อากาศ ซีเมนต์และซีเมนต์กลบ ที่ความหนาแน่นสามารถความหนาของฉนวน 10 และ 15 เซนติเมตร

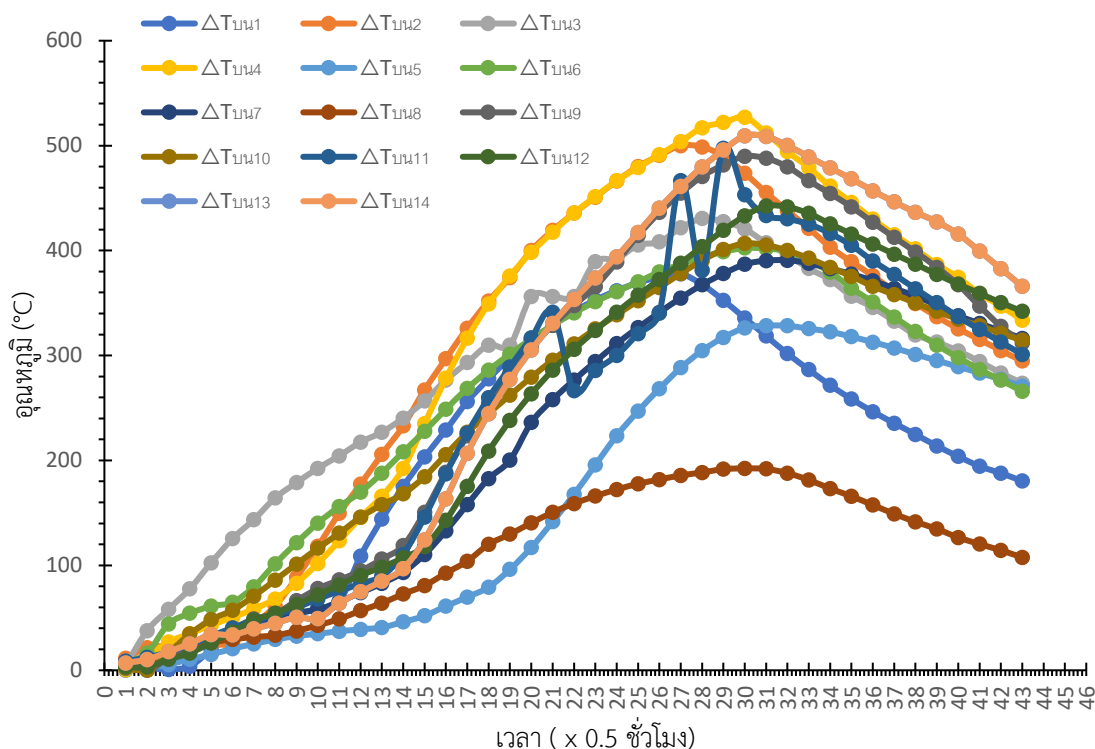
การทดลองเผาอิฐด้วยเตาทดสอบทั้งหมด 14 การทดลองเพื่อหาวัสดุฉนวนที่เหมาะสมมาเป็นฉนวนกันความร้อนให้เตาเผาอิฐ จากข้อมูลข้างต้นของการเผาทดสอบ สามารถทำเป็นกราฟเปรียบเทียบข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของผนังเตาทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวา ดังแสดงในภาพที่ 60 และ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของด้านบนเตาดังแสดงในภาพที่ 61



ภาพที่ 60 กราฟเปรียบเทียบข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของผนังเตาทั้ง 4 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวา

โดยที่ ΔT ผนังเฉลี่ย1-14 คือ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิกายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา ของทดลองครั้งที่ 1-14 ตามลำดับ





ภาพที่ 61 กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอก-ภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผาของด้านบนเตา

โดยที่ ΔT_{bn1-14} คือ กราฟแสดงผลต่างของอุณหภูมิภายนอกภายในเฉลี่ย (ΔT) ในแต่ละช่วงเวลาของการเผา ของผนังเตาด้านบนของการทดลองครั้งที่ 1-14 ตามลำดับ

4.2.17 ผลการคำนวณความร้อนสูญเสียด้วยการนำความร้อนที่ผนังเตาทดลอง

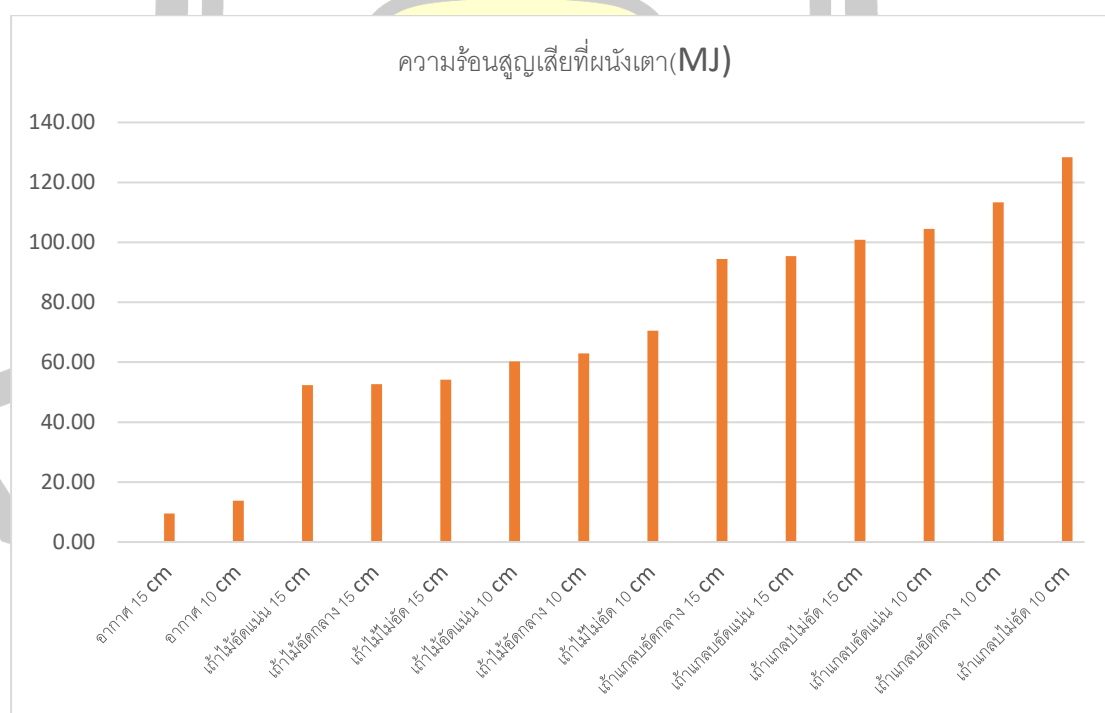
จากข้อมูลผลต่างของอุณหภูมิของผนังเตาทดลองแต่ละเตาที่แสดงข้างต้น สามารถนำมาคำนวณหาค่าความร้อนสูญเสียด้วยการนำความร้อนที่ผนังแต่ละด้านโดยใช้ สมการที่ 2.21 และได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 37 และสามารถเปรียบเทียบการสูญเสียความร้อนที่ผนังของแต่ละการทดลองได้ดังแสดงในภาพที่ 62

ตารางที่ 37 ค่าความร้อนสูญเสียด้วยการนำความร้อนที่ผนังของแต่ละการทดลอง

การทดลองที่	ฉนวน	ความหนา (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น	ค่าความร้อนที่สูญเสีย (เมกะจูล)
1	อากาศ	10	-	13.83
2	ซีเมนต์กลบ	10	น้อย	128.35
3	ซีเมนต์ไม้	10	น้อย	70.46
4	ซีเมนต์กลบ	10	มาก	104.42

ตารางที่ 37 ค่าความร้อนสูญเสียด้วยการนำความร้อนที่ผนังของแต่ละการทดลอง (ต่อ)

การทดลองที่	ฉนวน	ความหนา (เซนติเมตร)	ความหนาแน่น	ค่าความร้อนที่สูญเสีย (เมกะจูล)
5	ซีเมนต์ไม้	10	มาก	60.29
6	ซีเมนต์แกลบ	10	ปานกลาง	113.30
7	ซีเมนต์ไม้	10	ปานกลาง	62.93
8	อากาศ	15	-	9.56
9	ซีเมนต์แกลบ	15	น้อย	100.89
10	ซีเมนต์ไม้	15	น้อย	54.13
11	ซีเมนต์แกลบ	15	มาก	95.42
12	ซีเมนต์ไม้	15	มาก	52.34
13	ซีเมนต์แกลบ	15	ปานกลาง	94.39
14	ซีเมนต์ไม้	15	ปานกลาง	52.71



ภาพที่ 62 กราฟเปรียบเทียบการสูญเสียความร้อนที่ผนังของแต่ละการทดลอง

จากภาพที่ 62 พบว่าการเผาเตาทดลองที่ 8 มีอากาศหนา 15 เซนติเมตรเป็นฉนวนมีค่าการสูญเสียความร้อนน้อยที่สุด คือ 9.56 เมกกะจูล รองลงมาคือการทดลองที่ 1 มีอากาศหนา 10 เซนติเมตรเป็นฉนวนมีค่าการสูญเสียความร้อน คือ 13.83 เมกกะจูล และการทดลองที่มีค่าการสูญเสียความร้อนน้อยเป็นลำดับที่ 3 4 และ 5 คือการทดลองที่ 12 14 และ 10 มีซี่เก้าไม้หนา 15 เซนติเมตร ความหนาแน่นเรียงจากมากไปน้อยตามลำดับเป็นฉนวน มีค่าการสูญเสียความร้อน คือ 52.34 52.71 และ 54.13 เมกกะจูลตามลำดับ ส่วนการทดลองที่มีค่าการสูญเสียความร้อนมากที่สุดเรียงตามลำดับ 3 อันดับคือ การทดลองที่ 2 6 และ 4 มีซี่เก้าไม้หนา 10 เซนติเมตรมีความหนาแน่นน้อย ปานกลาง และมาก ตามลำดับ เป็นฉนวน โดยมีค่าการสูญเสียความร้อน คือ 128.35 113.30 และ 104.42 เมกกะจูล ตามลำดับ

4.3 ผลการทดสอบและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาทดสอบก่อนและหลังการปรับปรุง

4.3.1 การหาปริมาณความร้อนจากเตาทดสอบก่อนปรับปรุง

1) ปริมาณความร้อนสูญเสียจากการนำความร้อนที่ผนังเตา (Conduction loss) การถ่ายเทความร้อนจากการนำเป็นการถ่ายเทที่อาศัยของแข็งเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวทั้งสองด้านของของแข็งการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ ความหนาและ ชนิดของวัสดุและผลต่างของอุณหภูมิตามกฎการนำความร้อน โดยทำการคำนวณหาปริมาณความร้อนสูญเสียจากการนำของผนังเตาเผาในแต่ละด้าน รวมทั้งหมด 5 ด้าน คือ ผนังด้านหน้า ผนังด้านซ้าย ผนังด้านขวา ผนังด้านหลัง ผนังด้านบน โดยแสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 38

ตารางที่ 38 ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนที่ผนังเตา

กระบวนการ	ค่าความร้อนสูญเสียจากการนำที่ผนังเตา (เมกกะจูล)				
	ผนังด้านหน้า	ผนังด้านซ้าย	ผนังด้านขวา	ผนังด้านหลัง	ผนังด้านบน
ไล่ความชื้น (Preheat process)	10.16	6.06	5.59	5.85	18.91
เผา (Firing process)	24.38	19.89	8.35	19.21	45.02
อบ (Tempering)	15.60	14.51	9.88	14.01	44.13

2) ปริมาณความร้อนสูญเสียสะสมที่ผนังเตา (Kiln storage loss)

การเผาไหม้ในเตาความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกสะสมไว้ในผนังเตา หลังคาและพื้นเตา และผนังด้านต่างๆ เนื่องจากว่าก่อนการเผาเตาจะมีอุณหภูมิต่ำทำให้ดูดซับความร้อนไว้ส่วนหนึ่งทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน ดังตารางที่ 39

ตารางที่ 39 ค่าความร้อนที่สะสมในผนังเตาเผา

กระบวนการ	ค่าความร้อนสูญเสียจากการสะสมที่ผนังเตา (เมกกะจูล)				
	ผนังด้านหน้า	ผนังด้านซ้าย	ผนังด้านขวา	ผนังด้านหลัง	ผนังด้านบน
เผาอิฐทั้งกระบวนการ	64.22	49.34	7.86	49.34	38.93

3) ปริมาณความร้อนที่สูญเสียที่ปล่องความร้อน

การเผาไหม้ในเตาความร้อนส่วนหนึ่งจะไหลผ่านอิฐแล้วไหลออกทางปล่องความร้อนทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน การคำนวณพลังงานที่ไหลออกจากปล่องสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.23 ซึ่งค่าพลังงานที่ไหลออกจากปล่องของเตาทดสอบคือ 109.28 เมกกะจูล

4.3.2 พลังงานที่ใช้ในการเผาอิฐเตาทดสอบก่อนปรับปรุง

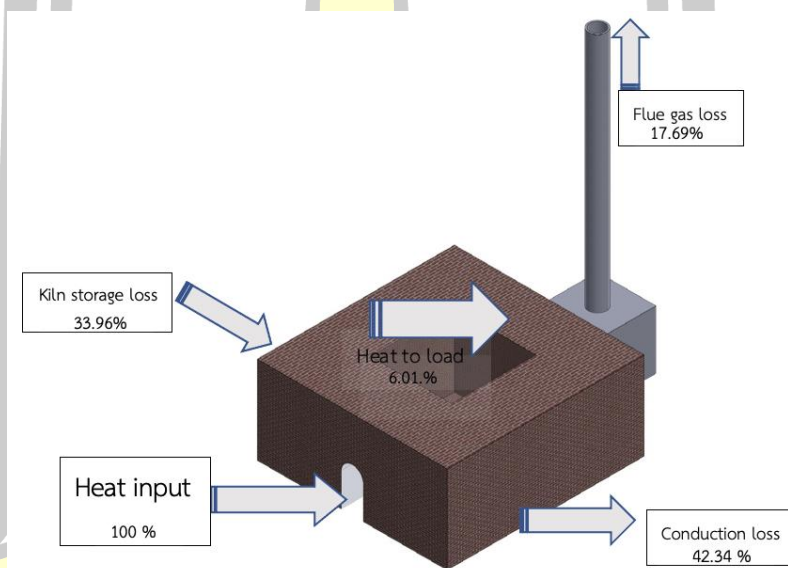
เชื้อเพลิงที่ใช้การเผาอิฐเตาทดสอบ คือ ก๊าซ LPG เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่หาง่าย สามารถควบคุมปริมาณความร้อนได้ง่าย ใช้ก๊าซ LPG ในกระบวนการทั้งหมด 12.3 กิโลกรัม ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซ LPG คือ 50.22 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม ดังนั้นพลังงานที่ใช้สำหรับเผาอิฐเตาทดสอบทั้งหมดเท่ากับ 617 เมกกะจูล จำนวนอิฐที่ใช้ในการเผาทั้งหมด 100 ก้อน น้ำหนักเฉลี่ยอิฐ 4 รูต่อก้อน 0.66 กิโลกรัม น้ำหนักอิฐทั้งหมด 66 กิโลกรัม จากข้อมูลข้างต้นคำนวณค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการเผาอิฐโดยใช้สมการที่ 2.20 ได้เท่ากับ 9.36 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ

4.3.3 สมดุลความร้อนของเตาเผาอิฐเตาทดสอบก่อนปรับปรุง

จากข้อมูลข้างต้นเมื่อทราบค่าความร้อนทั้งหมดที่ใช้สำหรับเผาอิฐ ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนของผนังเตา ค่าความร้อนสะสมที่ผนังเตา ค่าความร้อนที่สูญเสียออกจากปล่อง สามารถหาสมดุลความร้อนของเตาเผาได้โดยใช้สมการที่ 2.25 โดยจะได้ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนที่อิฐได้รับดังแสดงในตารางที่ 40 และสมดุลความร้อนของเตาดังแสดงในภาพที่

ตารางที่ 40 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนที่อิฐได้รับ

พลังงานความร้อน	ค่าพลังงานความร้อน MJ	คิดเป็น%
เชื้อเพลิงทั้งหมดที่ใช้เผาอิฐ	617.70	100 %
การสะสมที่ผนังเตา	209.69	33.96 %
การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน	261.56	42.34 %
ไอเสียที่ออกจากปล่อง	109.28	17.69 %
พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐ	37.17	6.01 %



ภาพที่ 63 สมดุลความร้อนของเตาเผาอิฐทดสอบก่อนปรับปรุง

4.3.4 ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐเตาทดสอบก่อนปรับปรุง

จากข้อมูลข้างต้นเมื่อทราบค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐเท่ากับ 37.17 เมกะจูล และทราบพลังงานที่ใช้ในการเผาอิฐทั้งหมดเท่ากับ 617.70 เมกะจูล สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐโดยใช้สมการที่ 2.26 จะได้ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐทดสอบก่อนทำการปรับปรุงเท่ากับ 0.06

จากข้อมูลผลการทดสอบที่ได้จากหัวข้อที่ 4.2 พบว่าฉนวนที่มีการสูญเสียความร้อนจากการนำความร้อนน้อยที่สุดคือ อากาศ ที่ความหนา 15 เซนติเมตร และจากข้อมูลผลที่ได้ในหัวข้อ

4.2.9 นำมาหาค่าพลังงานความร้อนที่ใช้เผาอิฐ ความร้อนสูญเสียที่จุดต่างๆ รวมถึงประสิทธิภาพของเตาได้ดังนี้

4.3.5 การหาปริมาณความร้อนจากเตาทดสอบหลังปรับปรุง (ฉนวนอากาศ 15 cm)

1) ปริมาณความร้อนสูญเสียจากการนำความร้อนที่ผนังเตา (Conduction loss)

การถ่ายเทความร้อนจากการนำเป็นการถ่ายเทที่อาศัยของแข็งเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวทั้งสองด้านของของแข็งการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ความหนาและ ชนิดของวัสดุและผลต่างของอุณหภูมิตามกฎการนำความร้อน โดยทำการคำนวณหาปริมาณความร้อนสูญเสียจากการนำของผนังเตาเผาในแต่ละด้าน รวมทั้งหมด 5 ด้าน คือ ผนังด้านหน้า ผนังด้านซ้าย ผนังด้านขวา ผนังด้านหลัง ผนังด้านบน โดยแสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 41

ตารางที่ 41 ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนที่ผนังเตา

กระบวนการ	ค่าความร้อนสูญเสียจากการนำที่ผนังเตา (เมกกะจูล)				
	ผนังด้านหน้า	ผนังด้านซ้าย	ผนังด้านขวา	ผนังด้านหลัง	ผนังด้านบน
ไล่ความชื้น (Preheat process)	0.36	0.42	0.41	0.38	0.37
เผา (Firing process)	1.04	1.10	0.98	0.85	0.63
อบ (Tempering)	0.55	0.61	0.67	0.64	0.55

2) ปริมาณความร้อนสูญเสียสะสมที่ผนังเตา (Kiln storage loss)

การเผาไหม้ในเตาความร้อนส่วนหนึ่งจะถูกสะสมไว้ในผนังเตา หลังคาและพื้นเตา และผนังด้านต่างๆ เนื่องจากว่าก่อนการเผาเตาจะมีอุณหภูมิต่ำทำให้ดูดซับความร้อนไว้ส่วนหนึ่งทำให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงาน ดังตารางที่ 42

ตารางที่ 42 ค่าความร้อนที่สะสมในผนังเตาเผา

กระบวนการ	ค่าความร้อนสูญเสียจากการสะสมที่ผนังเตา (MJ)				
	ผนัง ด้านหน้า	ผนัง ด้านซ้าย	ผนัง ด้านขวา	ผนัง ด้านหลัง	ผนัง ด้านบน
เผาอิฐทั้งกระบวนการ	49.10	48.51	41.47	36.75	8.08

3) ปริมาณความร้อนที่สูญเสียที่ปล่องความร้อน

การเผาไหม้ในเตาความร้อนส่วนหนึ่งจะไหลผ่านอิฐแล้วไหลออกทางปล่องความร้อน ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงาน การคำนวณพลังงานที่ไหลออกจากปล่องสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.23 ซึ่งค่าพลังงานที่ไหลออกจากปล่องของเตาทดสอบคือ 135.49 เมกะจูล

4.3.6 พลังงานที่ใช้ในการเผาอิฐเตาทดสอบหลังปรับปรุง

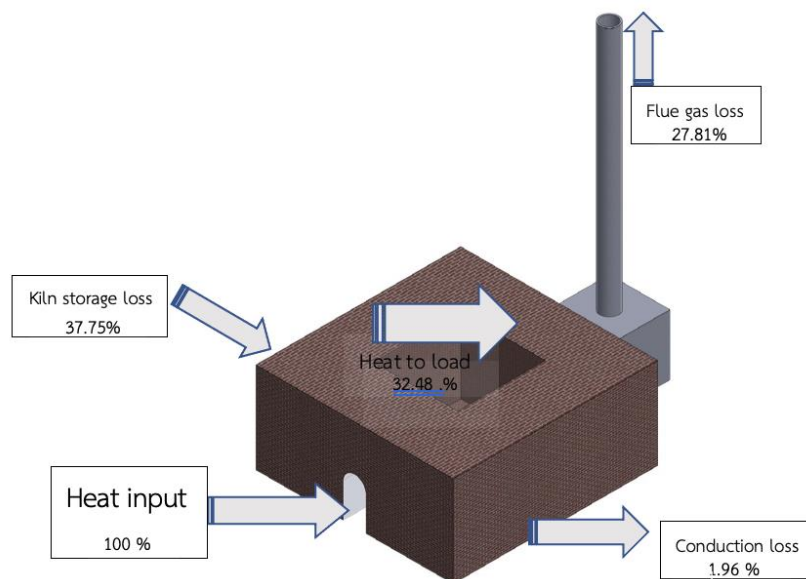
เชื้อเพลิงที่ใช้การเผาอิฐเตาทดสอบ คือ ก๊าซ LPG เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงที่หาง่าย สามารถควบคุมปริมาณความร้อนได้ง่าย ใช้ก๊าซ LPG ในกระบวนการทั้งหมด 9.7 กิโลกรัม ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซ LPG คือ 50.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ดังนั้นพลังงานที่ใช้สำหรับเผาอิฐเตาทดสอบทั้งหมดเท่ากับ 487.13 เมกะจูล จำนวนอิฐที่ใช้ในการเผาทั้งหมด 100 ก้อน น้ำหนักเฉลี่ยอิฐ 4 รูต่อก้อน 0.66 กิโลกรัม น้ำหนักอิฐทั้งหมด 66 กิโลกรัม จากข้อมูลข้างต้นคำนวณค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการเผาอิฐโดยใช้สมการที่ 2.20 ได้เท่ากับ 7.38 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ

4.3.7 สมดุลความร้อนของเตาเผาอิฐเตาทดสอบหลังปรับปรุง

จากข้อมูลข้างต้นเมื่อทราบค่าความร้อนทั้งหมดที่ใช้สำหรับเผาอิฐ ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนของผนังเตา ค่าความร้อนสะสมที่ผนังเตา ค่าความร้อนที่สูญเสียออกจากปล่อง สามารถหาสมดุลความร้อนของเตาเผาได้โดยใช้สมการที่ 2.25 โดยจะได้ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนที่อิฐได้รับดังแสดงในตารางที่ 43 และสมดุลความร้อนของเตาดังแสดงในภาพที่ 64

ตารางที่ 43 ข้อมูลและผลการคำนวณค่าความร้อนที่อิฐได้รับ

พลังงานความร้อน	ค่าพลังงานความร้อน MJ	คิดเป็น%
เชื้อเพลิงทั้งหมดที่ใช้เผาอิฐ	487.17	100 %
การสะสมที่ผนังเตา	183.91	37.75 %
การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำความร้อน	9.56	1.96 %
ไอเสียที่ออกจากปล่อง	135.49	27.81 %
พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐ	158.21	32.48 %



ภาพที่ 64 สมดุลความร้อนของเตาเผาอิฐทดสอบหลังปรับปรุง

4.3.8 ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐเตาทดสอบหลังการปรับปรุง

จากข้อมูลข้างต้นเมื่อทราบค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐเท่ากับ 158.21 เมกะจูล และทราบพลังงานที่ใช้ในการเผาอิฐทั้งหมดเท่ากับ 487.17 เมกะจูล สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐโดยใช้สมการที่ 2.26 จะได้ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐทดสอบก่อนทำการปรับปรุงเท่ากับ 0.32

4.4 อภิปรายผล

จากผลการทดลองในหัวข้อ 4.2 พบว่าฉนวนกันความร้อนที่ทำการทดสอบกับเตาเผาอิฐที่มีค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียโดยการนำความร้อนน้อยที่สุดคือ ฉนวนกันความร้อนที่เป็นอากาศความหนา 15 เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจาก อากาศเป็นวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนน้อยกว่า ซีเมนต์กลบและซีเมนต์ไม้ และ ความหนาของฉนวนขนาด 15 เซนติเมตรสามารถกันความร้อนได้มากกว่า ความหนาของฉนวนขนาด 10 เซนติเมตร สอดคล้องกับทฤษฎีการนำความร้อนในบทที่ 2 ที่ค่าการนำความร้อน (K) มีค่าน้อย และความหนาของวัสดุมีค่ามากขึ้น พลังงานความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนของวัสดุจะน้อยลง และเมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานและพลังงานสูญเสียของเตาทดสอบก่อนใส่ฉนวนและหลังใส่ฉนวนแล้ว พบว่ามีการใช้พลังงานในการเผาผลาญ พลังงานสูญเสียด้วยการนำความร้อนที่ผนังเตาน้อยลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตามีค่าสูงขึ้นถึง 26.47%

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการพัฒนาเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมทางเดินลมร้อนลงด้วยการเพิ่มฉนวนกันความร้อน มีขั้นตอนวิธีการดำเนินการศึกษาในบทที่ 3 และรายงานผลการศึกษาในบทที่ 4 สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สมรรถนะเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมทางเดินลมร้อนลง

จากการศึกษาสมรรถนะเตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยมสองห้องเผา ขนาด 80 m^3 มีการใช้พลังงานจากไม้เบญจพรรณเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการเผาทั้งหมด 17,480 กิโลกรัม แบ่งเป็นกระบวนการไล่ความชื้น 18 ชั่วโมง ใช้เชื้อเพลิง 660 กิโลกรัม กระบวนการเผาอิฐ 30 ชั่วโมง และในกระบวนการอบอิฐ 26 ชั่วโมง ระยะเวลารวมในกระบวนการเผาอิฐรวมทั้งสิ้น 72 ชั่วโมง อิฐที่ใช้ในการเผาเป็นอิฐ 2 ชนิด ได้แก่ อิฐขนาดแปดรู อิฐขนาดสี่รู โดยอิฐขนาดแปดรูมีความเสียหายจากการเผา 4.43 เปอร์เซ็นต์ของอิฐทั้งหมด 3,932 ก้อน และอิฐขนาดสี่รูมีความเสียหายจากการเผา 1.89 เปอร์เซ็นต์ของอิฐทั้งหมด 47,045 ก้อน ความสามารถในการดูดซับน้ำอิฐขนาด 4 รูเท่ากับ 13.68 เปอร์เซ็นต์ อิฐขนาด 8 รูเท่ากับ 12.37 เปอร์เซ็นต์ ค่าการหดตัวอิฐขนาด แปดรูเท่ากับ 1.06 เปอร์เซ็นต์ อิฐขนาดสี่รูเท่ากับ 1.65 เปอร์เซ็นต์ ค่าพลังงานความร้อนที่ได้จากไม้ฟืนทั้งหมดเท่ากับ 142,777 เมกกะจูล จำนวนอิฐที่ใช้ในการเผาทั้งหมด 50,997 ก้อน น้ำหนักอิฐที่เผาทั้งหมด 56,678 กิโลกรัม ค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการเผาอิฐได้เท่ากับ 2.52 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ คำนวณค่าพลังงานสูญเสียสะสมที่ผนังเตา 34466.57 เมกกะจูล คิดเป็น 25.14 % ของพลังงานทั้งหมด พลังงานความร้อนสูญเสียด้วยการนำความร้อน 15914.83 เมกกะจูล คิดเป็น 11.15 % ของพลังงานทั้งหมด พลังงานความร้อนสูญเสียออกจากปล่อง 6695.38 เมกกะจูล คิดเป็น 4.69 % ของพลังงานทั้งหมด พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐ 85,700.22 เมกกะจูล คิดเป็น 60.02 % ของพลังงานทั้งหมด คำนวณค่าประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาได้เท่ากับ 0.60

5.1.2 วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางเดินลมร้อนลง โดยเลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมและหาง่ายในท้องถิ่น

จากการศึกษาพบว่าวิธีการที่เหมาะสมในการลดการสูญเสียพลังงานในการเผาอิฐได้ คือการเพิ่มฉนวนกันความร้อนที่ผนังเตา โดยเลือกใช้วัสดุฉนวนกันความร้อนที่เหมาะสมและหาง่ายในท้องถิ่น คืออากาศ ขี้เถ้าแกลบ และขี้เถ้าไม้ โดยทำการทดสอบที่ระดับความหนาแน่นสามระดับ ที่ขนาดความหนาของฉนวน 10 และ 15 เซนติเมตรตามลำดับ โดยทำการทดสอบเผาอิฐกับเตาทดสอบทั้งหมด 14 ครั้งพบว่า เตาทดสอบความเป็นฉนวนที่มีค่าการสูญเสียความร้อนเรียงจากน้อยที่สุดไปมากที่สุดคือ ฉนวนอากาศ ความหนา 15 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 9.56 เมกกะจูล, ฉนวนอากาศ ความหนา 10 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 13.83 เมกกะจูล, ฉนวนขี้เถ้าไม้ ความหนาแน่นมาก ความหนา 15 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 52.34 เมกกะจูล, ฉนวนขี้เถ้าไม้ ความหนาแน่นปานกลาง ความหนา 15 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 52.71 เมกกะจูล, ฉนวนขี้เถ้าไม้ ความหนาแน่นน้อย ความหนา 15 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 54.13 เมกกะจูล, ฉนวนขี้เถ้าไม้ ความหนาแน่นมาก ความหนา 10 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 60.29 เมกกะจูล, ฉนวนขี้เถ้าไม้ ความหนาแน่นปานกลาง ความหนา 10 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 62.93 เมกกะจูล, ฉนวนขี้เถ้าไม้ ความหนาแน่นน้อย ความหนา 10 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 70.46 เมกกะจูล, ฉนวนขี้เถ้าแกลบ ความหนาแน่นปานกลาง ความหนา 15 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 94.39 เมกกะจูล, ฉนวนขี้เถ้าแกลบ ความหนาแน่นมาก ความหนา 15 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 95.42 เมกกะจูล, ฉนวนขี้เถ้าแกลบ ความหนาแน่นน้อย ความหนา 15 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 100.89 เมกกะจูล, ฉนวนขี้เถ้าแกลบ ความหนาแน่นมาก ความหนา 10 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 104.42 เมกกะจูล, ฉนวนขี้เถ้าแกลบ ความหนาแน่นปานกลาง ความหนา 10 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 113.30 เมกกะจูล, ฉนวนขี้เถ้าแกลบ ความหนาแน่นน้อย ความหนา 10 เซนติเมตร มีค่าความร้อนสูญเสีย 128.35 เมกกะจูล

5.1.3 การทดสอบและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเตาทดสอบก่อนและหลังการปรับปรุง

การเผาอิฐเตาทดสอบก่อนใส่ฉนวนกันความร้อน พบว่าใช้ก๊าซ LPG ในกระบวนการเผาทั้งหมด 12.3 กิโลกรัม พลังงานที่ใช้สำหรับเผาอิฐเตาทดสอบทั้งหมดเท่ากับ 617.70 เมกกะจูล จำนวนอิฐที่ใช้ในการเผาทั้งหมด 100 ก้อน น้ำหนักอิฐทั้งหมด 66 กิโลกรัม ค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการเผาอิฐเท่ากับ 9.36 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนของผนังเตา

261.56 เมกกะจูล คิดเป็น 42.34 % ของพลังงานทั้งหมด ค่าความร้อนสะสมที่ผนังเตา 209.69 เมกกะจูล คิดเป็น 33.96 % ของพลังงานทั้งหมด ค่าพลังงานความร้อนที่สูญเสียออกจากปล่อง 109.28 เมกกะจูล คิดเป็น 17.69 % ของพลังงานทั้งหมด พลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐ 37.17 เมกกะจูล คิดเป็น 6.01 % ของพลังงานทั้งหมด ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐทดสอบก่อนทำการปรับปรุงเท่ากับ 0.06 ทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานความร้อนโดยเลือกใช้ข้อมูลของฉนวนอากาศความหนา 15 เซนติเมตรเป็นฉนวนกันความร้อนของเตา ได้ผลดังนี้ เชื้อเพลิงที่ใช้การเผาอิฐเตาทดสอบ คือ ก๊าซ LPG ใช้ในระบบการทั้งหมด 9.7 กิโลกรัม พลังงานที่ใช้สำหรับเผาอิฐเตาทดสอบทั้งหมดเท่ากับ 487.13 เมกกะจูล จำนวนอิฐที่ใช้ในการเผาทั้งหมด 100 ก้อน น้ำหนักอิฐทั้งหมด 66 กิโลกรัม ค่าพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการเผาอิฐ ได้เท่ากับ 7.38 กิโลจูลต่อกิโลกรัมอิฐ ค่าความร้อนที่สูญเสียจากการนำความร้อนของผนังเตาเท่ากับ 9.56 เมกกะจูล คิดเป็น 1.96 % ของค่าพลังงานทั้งหมด ค่าความร้อนสะสมที่ผนังเตา 183.91 เมกกะจูล คิดเป็น 37.75 % ของค่าพลังงานทั้งหมด ค่าความร้อนที่สูญเสียออกจากปล่องเท่ากับ 135.49 เมกกะจูล คิดเป็น 27.81 % ของค่าพลังงานทั้งหมด ค่าพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทสู่อิฐเท่ากับ 158.21 เมกกะจูล คิดเป็น 32.48 % ของค่าพลังงานทั้งหมด ประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐทดสอบหลังทำการปรับปรุงเท่ากับ 0.32 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาทดสอบก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงมีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น 26.47 %

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมชนิดผนังดินลมนร้อนลงเพียงชนิดเดียว ไม่ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของเตาเทียบกับเตาชนิดอื่น ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรทำการศึกษาสมรรถนะของเตาชนิดอื่นที่รวมด้วย
2. ฉนวนกันความร้อนที่นำมาทดสอบในงานวิจัยนี้มีเพียง 3 ชนิด ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรทำการศึกษาฉนวนชนิดอื่นเพิ่มเติมด้วยทั้งในแง่ของการนำความร้อนและแง่ของทางเศรษฐศาสตร์ควบคู่กัน
3. ประสิทธิภาพทางความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากการเปรียบเทียบเตาทดสอบเป็นค่าที่ได้จากเตาขนาดเล็ก ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรทำการศึกษาเกี่ยวกับเตาขนาดใหญ่หรือเตาที่ใช้งานจริงร่วมด้วย พร้อมทั้งศึกษาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ระยะเวลาคืนทุนและผลตอบแทนการลงทุนร่วมด้วย

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2547). *การปรับปรุงประสิทธิภาพเตาเผาเซรามิกโดยการใช้ฉนวนกันความร้อน* (1st ed.). กรุงเทพฯ: บ.อีอีซี-อีเนอร์จีดีคส์ จก.
- ชัยศักดิ์ ชราตรีจันทร์สกุล. (2545). *การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมของเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาในจังหวัดราชบุรี* (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี., Ed.). สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและคณะพลังงานและวัสดุ.
- ณัฐวริน ไตรภพสกุล, และชวิต หวังมุกิตากุลม. (2557). รายงานบท วิเคราะห์แนะนำการลงทุนหลักทรัพย์ SMART ส่วนแบ่งตลาดวัสดุก่อสร้างสำหรับผนัง 2557. Retrieved December 25, 2023, from บริษัท หลักทรัพย์ เออีซี จำกัด website: www.aecs.com/download.php?lang=th&id=2903
- ทวี พรหมพฤกษ์. (2525). *เตาและการเผา (Kiln & Firing)*. กรุงเทพฯ: ภาคพัฒนาตำราและเอกสารวิชาการ หน่วยงานนิเทศก์ กรมฝึกหัดครู.
- ประกิต ชูหว่าง. (2551). *การเพิ่มการถ่ายโอนความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสองชั้นโดยผลกระทบร่วมของการเคลื่อนที่แบบสลับและการกระตุ้นให้เกิดการปั่นป่วน*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปรีดา วิบูลย์สวัสดิ์. (2529). *การวิเคราะห์พลังงาน* (1st ed.). สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พงษ์พันธ์ วรสุนทรโรสล และวรพงศ์ วรสุนทรโรสล. (2546). *วัสดุก่อสร้าง*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น.
- ไพลิน สายยศ. (2559). *แผนการตลาดสำหรับธุรกิจค้าส่งอิฐแดง กรณีศึกษา บริษัท อิฐแดง 2009 จำกัด*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี.
- มะลิ หุ่นสม. (2551). *ปรากฏการณ์ถ่ายโอนโมเมนตัม ความร้อน และมวลขั้นพื้นฐาน*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์.
- ศิริพรรณ นิลไพรัชและคณะ. (2563). *การศึกษาสถานภาพอุตสาหกรรมอิฐก่อสร้างในประเทศไทย*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สยาม ณรงค์ฤทธิ์. (2533). *คนเผาอิฐ*. กรุงเทพฯ: แสงศิลป์การพิมพ์.

สุขุมาล เล็กสวัสดิ์. (2548). *เครื่องปั้นดินเผา พื้นฐานการออกแบบและปฏิบัติงาน*. กรุงเทพฯ:

สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อนุสรณ์ รัตนชนโอภาส, จิระพันธุ์ เนื่องจากนิล, วิทยา ภูมิสามพราน, และคັນสนีย์ แสนศรีพันธ์.

(2556). การปรับปรุงประสิทธิภาพทางความร้อนของเตาเผาอิฐมอญ. *การประชุมวิชาการการพัฒนาระบบที่ยั่งยืน 2556 ครั้งที่ 3*, 97-101.

อุกฤต สมัครสมาน และคณะ. (2564). *การประเมินประสิทธิภาพเตาเผาอิฐมอญเชื้อเพลิงชีวมวลที่ออกแบบสำหรับผู้ประกอบการในพื้นที่ อำเภอห้วยฉัตร จังหวัดลำปาง*.

Brid, R.B., Stewart, W. E., L. E. N. (2001). *Transport Phenomena. 2nd Edition editle* (2nd ed.). ed. J.W. Sons.

Kingery, A. J., Bowen, H. K. and Uhlmann, D. R. (1991). *Introduction to Ceramic*.

Singapore: John Wiley of Sons (SEA) Pte.

Michel, W. B. (1997). *Fundamentals of Ceramics*. The Mcgraw – Hill.

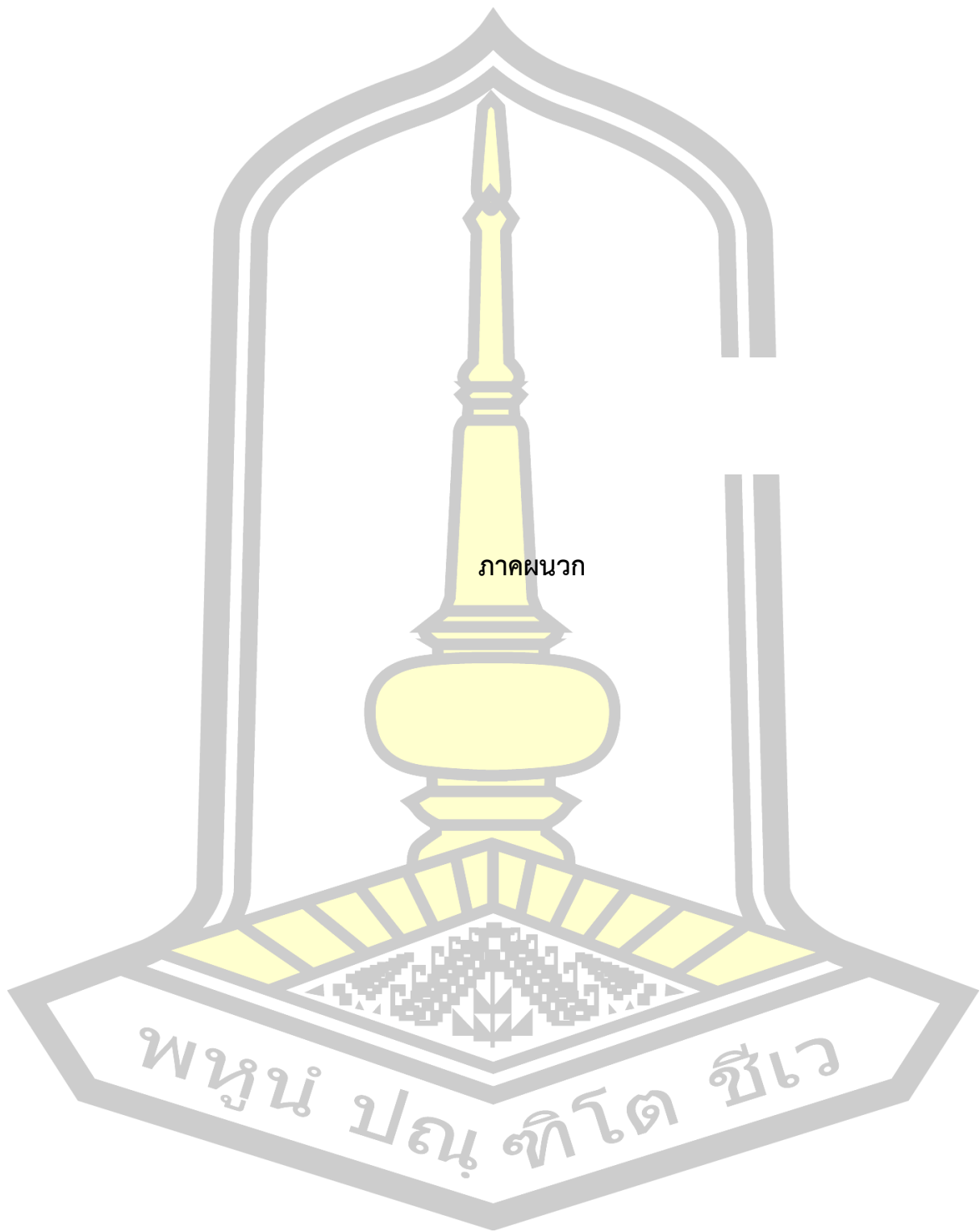
Nayak, J.K.; Prajapati, J. . (2006). *Handbook on Energy Conscious. Buildings; Indian institute of technology, Bombay and Solar energy Center and Ministry of Non-Conventional Energy Sources*. India.

S. Prasertsan, T.T., G. P. and P. K. (1997). Development of Energy-Efficient Brick Kiln. *Internationnal Journal of Energy Research*, 21, 1363-1383.

S. Prasertsan, G. P. a. N. C. (1995). Energy Crisis in Brick Making Industry in Thailand. *R&D Journal of the Engineering Institute of Thailand*, 6(1), p56-66.

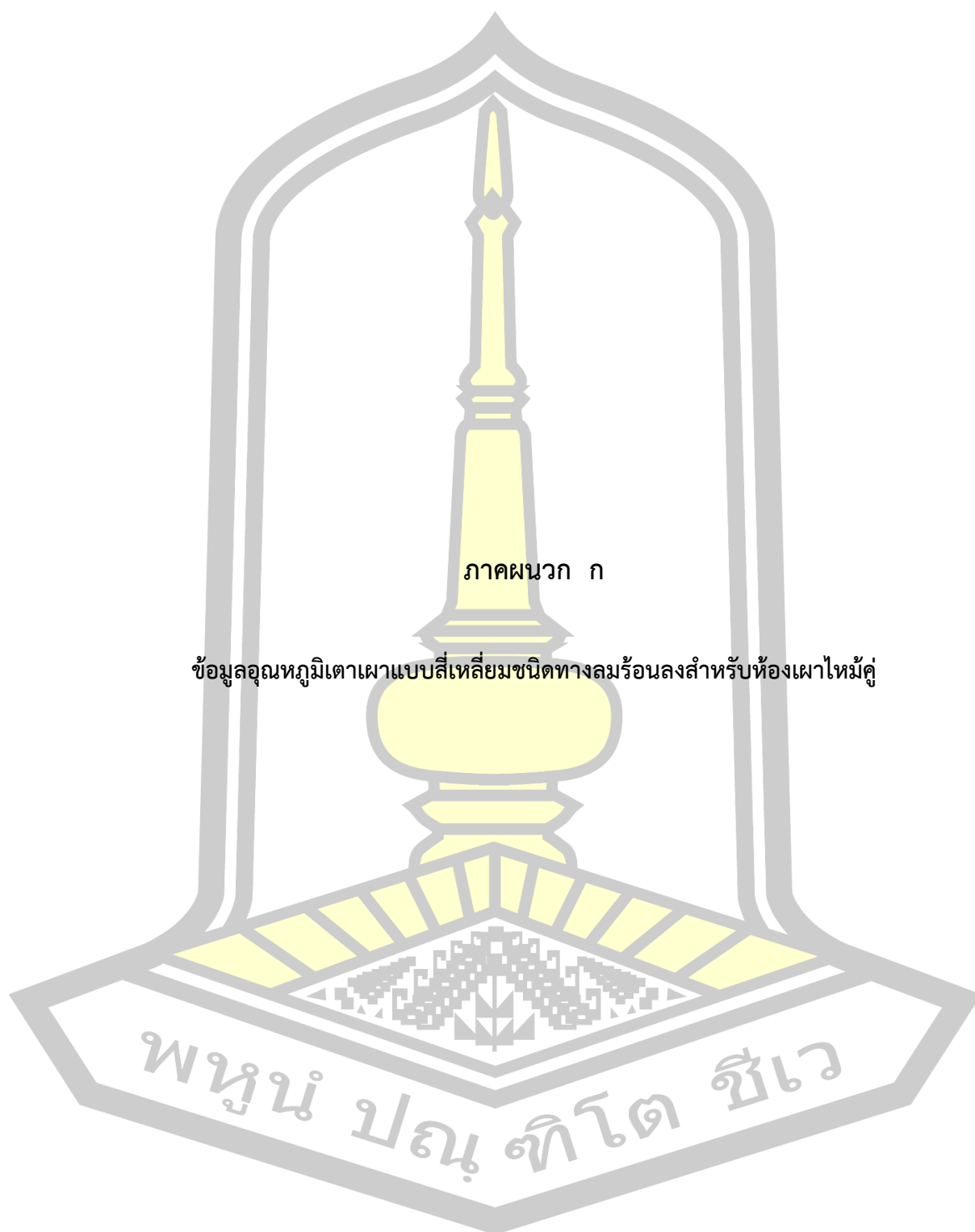
YoshihikoTakamura. (2543). *เทคนิคการประหยัดความร้อนในอุตสาหกรรม*. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น).

พณภูมิ ปณภูมิ โท ชิว



ภาคผนวก

พหุ ประจักษ์ ชัยเว



ภาคผนวก ก

ข้อมูลอุณหภูมิตาเผาแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางลมร้อนลงสำหรับห้องเผาไหม้คู่

พหุบัณฑิตวิทยาลัย

ตาราง ก.1 อุณหภูมิของเตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางลมร้อนลง

เวลา (hr.)	T1(°C)		T2(°C)		T3(°C)		T4(°C)		T5(°C)	
	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา
0	30.1	25	29	27	30	38	30	25	30	25
3	27	28	27	44	27	38	29	59	33	60
6	26	46	28	79	26	59	36	71	47	80
9	25	54	29	82	26	61	41	94	48	96
12	25	43	32	92	26	65	42	78	49	83
15	25	67	33	99	27	81	46	79	52	81
17	26	64	33	100	28	83	46	103	52	110
18	27	66	35	102	29	84	47	104	55	120
20	29	101	45	223	33	198	60	156	68	210
22	40	149	54	375	45	362	75	233	93	324
24	48	178	58	422	54	384	85	278	181	417
26	51	198	62	532	56	565	135	405	213	506
28	50	222	63	566	56	680	171	478	230	558
30	51	254	62	621	55	688	195	514	242	588
32	51	307	59	641	54	761	213	565	247	642
36	51	320	59	620	54	764	220	604	255	645
38	50	365	57	639	53	805	232	638	260	685
40	49	397	56	642	53	765	240	647	267	674
42	50	429	56	608	52	779	233	659	265	700
44	52	450	58	622	51	802	239	679	267	729
46	53	473	62	606	56	751	245	697	282	745
48	55	495	65	579	54	756	245	683	293	725
50	58	510	67	568	57	760	216	627	269	650
53	57	506	63	492	59	565	195	616	234	646

ตาราง ก.1 อุณหภูมิของเตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางลมร้อนลง (ต่อ)

เวลา (hr.)	T1(°C)		T2(°C)		T3(°C)		T4(°C)		T5(°C)	
	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา
56	51	487	69	478	52	493	188	570	216	582
59	50	467	67	470	51	470	175	536	201	572
65	49	432	69	470	52	450	161	523	188	549
68	51	362	70	430	51	400	153	520	178	526
74	56	289	78	410	55	362	84	478	169	477
100	56	236	32	281	57	230	42	28	45	138



ตาราง ก.1 อุณหภูมิของเตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางลมร้อนลง

เวลา (hr.)	T6(°C)		T7(°C)		T8(°C)		T9(°C)		T10(°C)	
	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา
0	30	28	28	27	29	27	30	30	29	30
3	32	41	30	37	30	41	29	29	30	29
6	30	58	28	57	29	63	30	31	41	32
9	31	56	26	62	30	69	32	101	45	111
12	33	61	27	72	32	86	35	62	50	105
15	36	70	29	78	36	100	37	69	52	75
17	38	70	30	74	38	104	37	97	52	101
18	40	72	31	75	40	105	39	101	53	103
20	52	288	37	188	53	250	57	132	64	234
22	59	300	47	251	62	341	65	114	77	303
24	64	349	55	306	62	389	68	139	98	388
26	66	389	57	357	63	461	78	233	136	439
28	66	408	56	412	62	519	94	330	156	488
30	67	431	58	476	61	573	123	360	170	521
32	67	478	60	503	60	611	144	430	178	557
36	68	502	62	531	55	607	156	455	183	561
38	72	519	62	555	55	627	168	489	185	581
40	74	562	64	599	61	616	176	520	196	594
42	77	556	70	591	66	623	187	579	203	615
44	84	589	69	613	66	639	188	549	205	631
46	89	595	70	601	67	621	188	484	210	649
48	94	573	72	604	65	582	185	480	215	659
50	101	598	79	551	79	542	183	427	219	624
53	106	596	82	504	81	508	174	307	195	603
56	97	570	76	483	74	485	170	250	174	491

ตาราง ก.1 อุณหภูมิของเตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางลมร้อนลง (ต่อ)

เวลา (hr.)	T6(°C)		T7(°C)		T8(°C)		T9(°C)		T10(°C)	
	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา
59	93	553	79	481	77	474	155	220	154	439
65	93	528	80	467	76	451	126	198	127	419
68	92	514	75	464	74	431	124	189	127	402
74	93	503	78	456	79	420	124	189	130	400
100	102	500	89	450	82	415	114	170	130	386



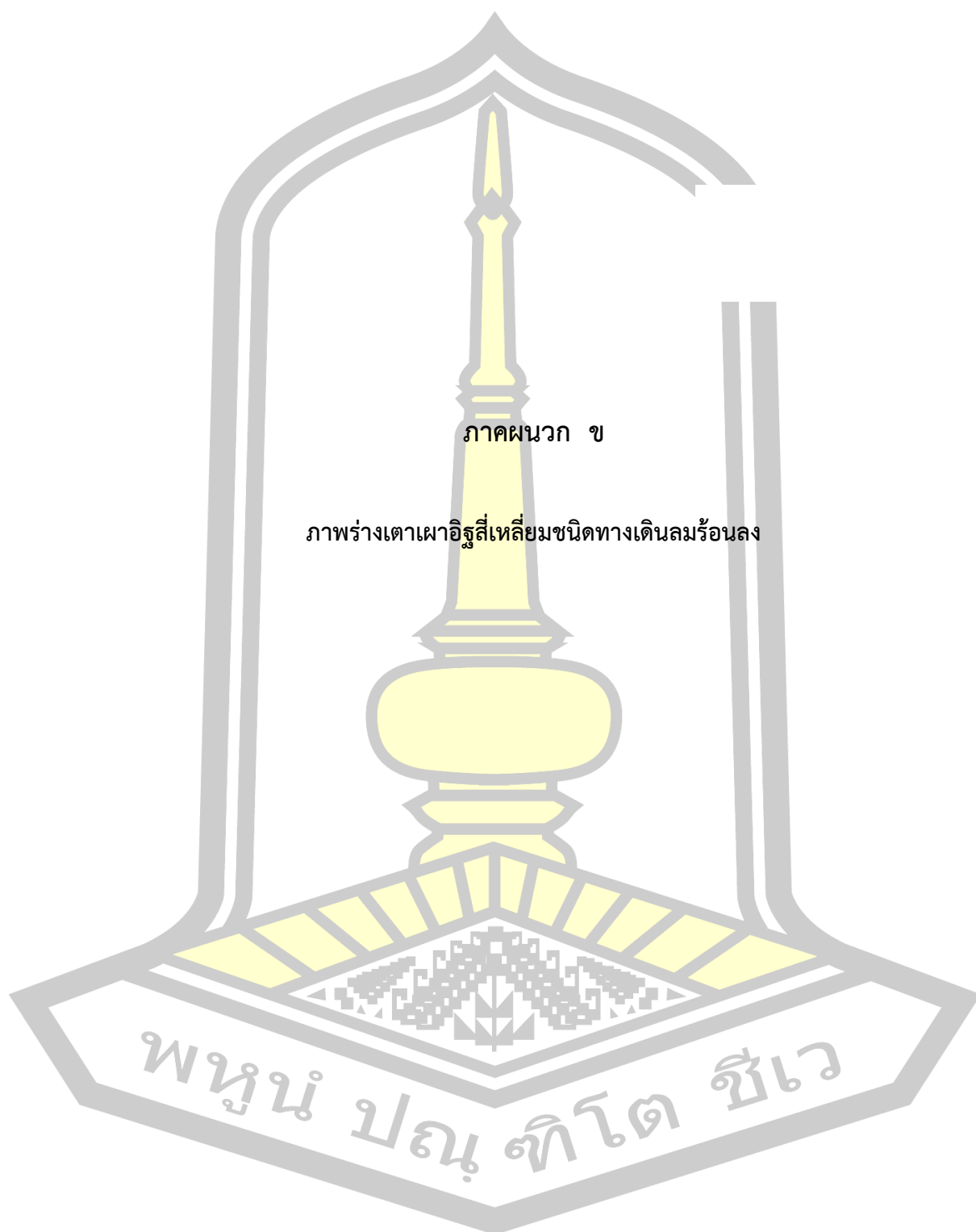
ตาราง ก.1 อุณหภูมิของเตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางลมร้อนลง

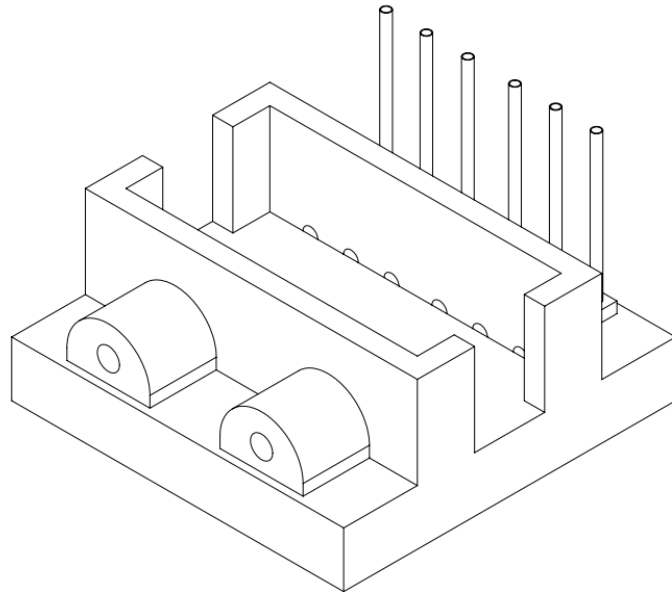
เวลา (hr.)	T11(°C)		T12(°C)		T13(°C)		T14(°C)		T15(°C)	
	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา
0	30	24	31	25	36	34	27	29	29	29
3	24	100	30	285	33	34	79	105	86	93
6	29	132	33	280	28	28	71	66	78	80
9	29	253	34	289	24	26	63	94	56	95
12	32	260	37	285	24	28	44	105	45	108
15	34	263	37	279	27	25	79	122	64	125
17	34	290	38	291	26	27	46	114	49	120
18	35	300	39	292	27	29	48	116	53	130
20	40	753	50	905	41	88	66	244	64	265
22	50	966	53	904	48	111	89	370	88	415
24	43	969	54	992	58	166	156	504	149	557
26	41	910	59	1026	58	170	173	520	156	768
28	39	925	59	950	36	196	185	555	210	732
30	40	912	57	920	62	232	190	678	200	801
32	38	878	56	952	64	267	228	733	205	810
36	40	902	56	970	40	290	415	740	340	840
38	42	830	53	965	34	310	459	765	386	859
40	33	847	52	990	56	321	466	739	387	852
42	31	820	52	988	78	328	453	700	389	830
44	31	833	51	1008	87	327	458	685	392	843
46	36	775	50	990	41	323	451	682	375	819
48	39	745	60	955	52	326	462	662	390	818
50	45	468	63	620	54	290	449	657	385	766
53	36	501	59	595	36	245	409	518	324	629

ตาราง ก.1 อุณหภูมิของเตาเผาอิฐมอญแบบสี่เหลี่ยมชนิดทางลมร้อนลง (ต่อ)

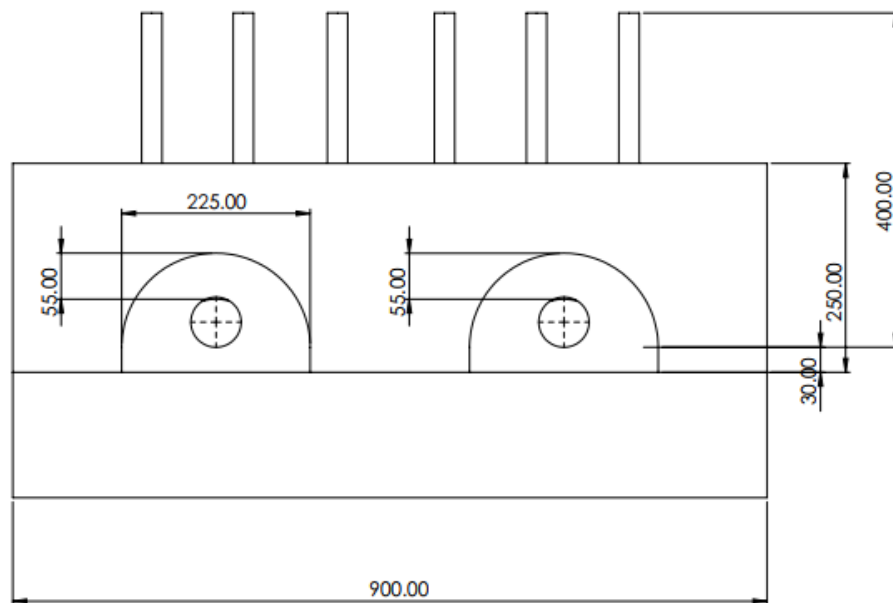
เวลา (hr.)	T11(°C)		T12(°C)		T13(°C)		T14(°C)		T15(°C)	
	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา	ภายนอก เตา	ภายใน เตา
56	32	508	54	565	40	220	367	470	280	563
59	32	496	49	500	34	208	342	487	245	551
65	34	345	41	476	28	36	293	347	235	490
68	34	355	42	447	31	32	270	328	230	484
74	39	306	45	436	39	35	269	321	235	472
100	36	272	47	392	42	35	265	300	232	430



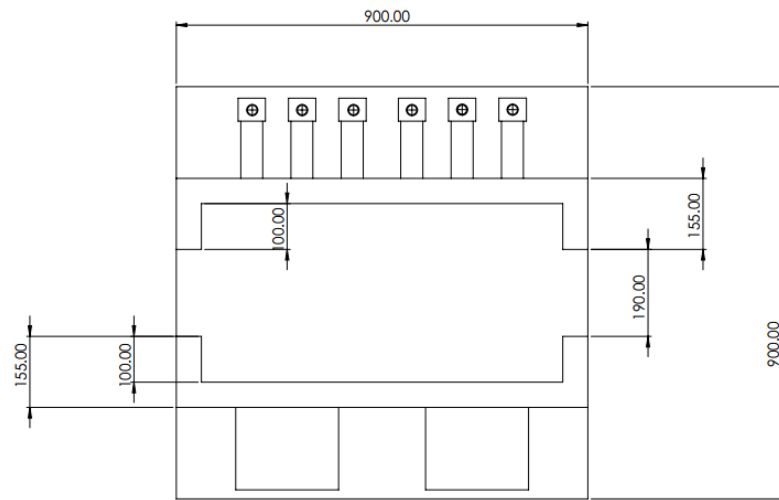




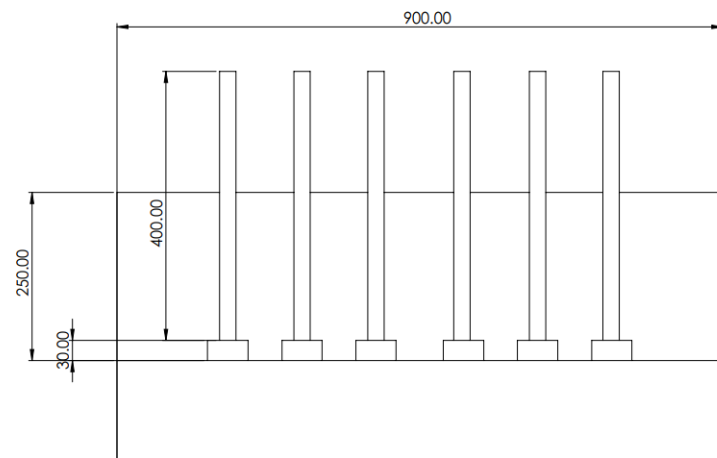
ภาพประกอบ ข.1 เตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมทางลงร้อนลง



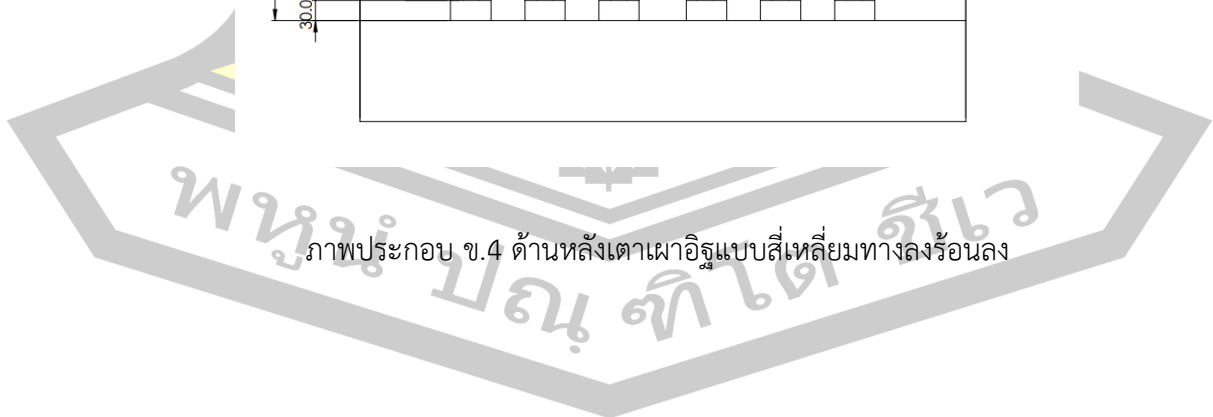
ภาพประกอบ ข.2 ด้านหน้าเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมทางลงร้อนลง

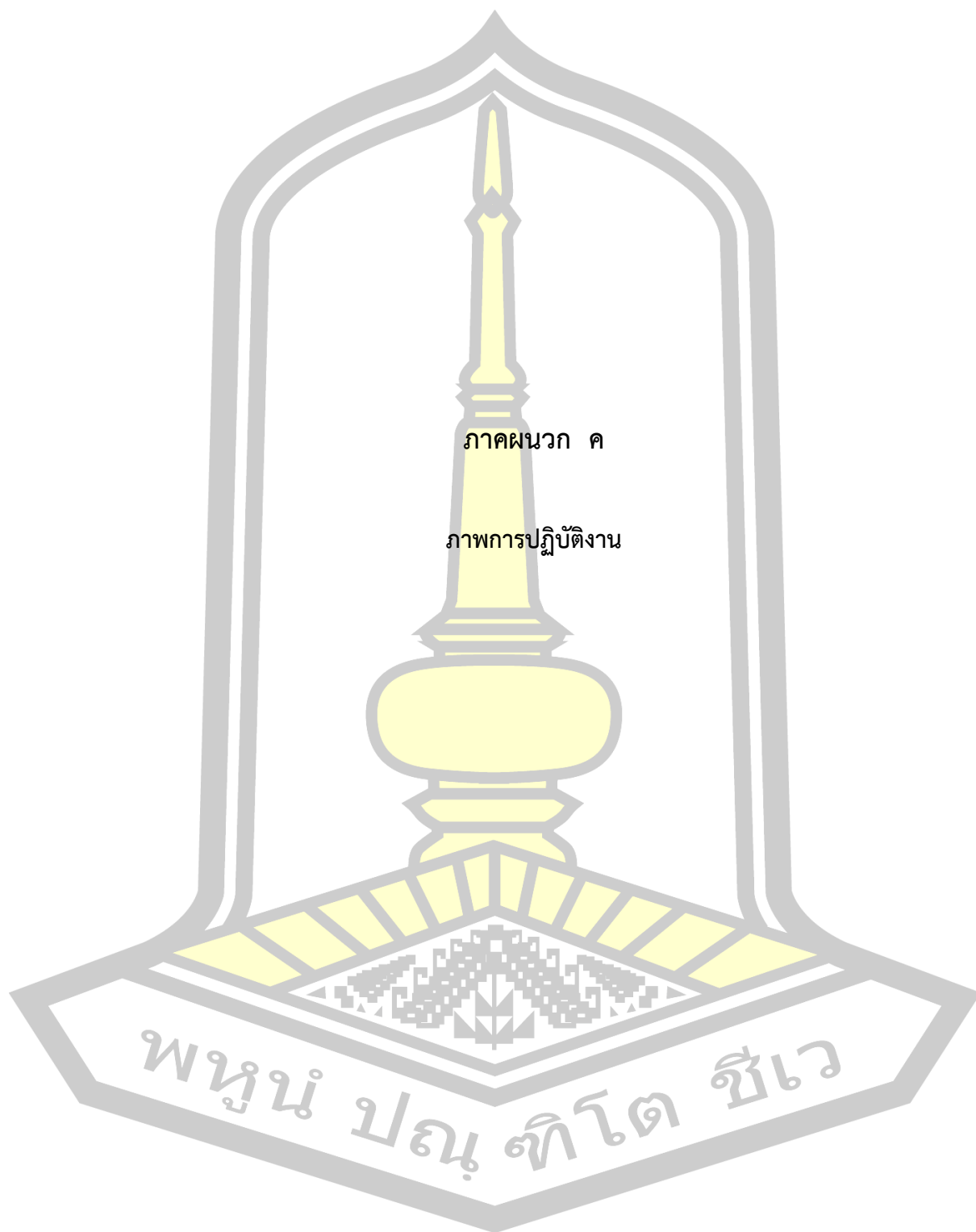


ภาพประกอบ ข.3 ด้านบนเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมทางลงร้อนลง



ภาพประกอบ ข.4 ด้านหลังเตาเผาอิฐแบบสี่เหลี่ยมทางลงร้อนลง





ภาคผนวก ค

ภาพการปฏิบัติงาน

พหุณฺ์ ปณฺุ ทิโต ชีเว

ภาพประกอบ ค 1 การวัดอุณหภูมิและบันทึกข้อมูล



ภาพประกอบ ค 1.1 การวัดอุณหภูมิด้านข้าง



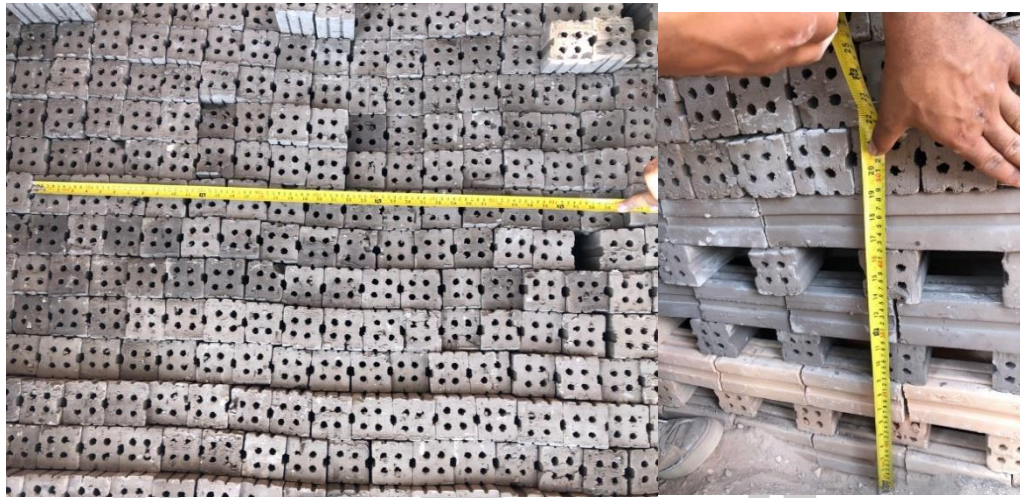
ภาพประกอบ ค.1.2 การวัดอุณหภูมิด้านหลัง



ภาพประกอบ ค.1.3 การวัดอุณหภูมิด้านหน้า



ภาพประกอบ ค.1.4 การจดบันทึกข้อมูล



ภาพประกอบ ค 2.1 การเรียงอิฐดิบ



ภาพประกอบ ค 2.2 การเตรียมไม้ฟืนเพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการเผา



ภาพประกอบ ค 2.3 กระบวนการอบเพื่อไล่ความชื้นอิฐ



ภาพประกอบ ค 2.4 กระบวนการเผาไหม้อิฐ



ภาพประกอบ ค 2.5 กระบวนการอบอิฐ



ภาพประกอบ ค 2.6 การเปิดเตาระบายความร้อนเพื่อเก็บอิฐจำหน่าย

ภาพประกอบ ค.3 การวัดขนาดและชั่งน้ำหนักอิฐ



ภาพประกอบ ค 3.1 การวัดขนาดอิฐก่อนเผาและอิฐหลังเผา



ภาพประกอบ ค 3.2 การชั่งน้ำหนักอิฐก่อนเผาและหลังเผา

ภาพประกอบ ค 4 การชั่งน้ำหนักเพื่อหาค่าการดูดซับน้ำ



ภาพประกอบ ค 4.1 การชั่งน้ำหนักอิฐก่อนแช่น้ำ



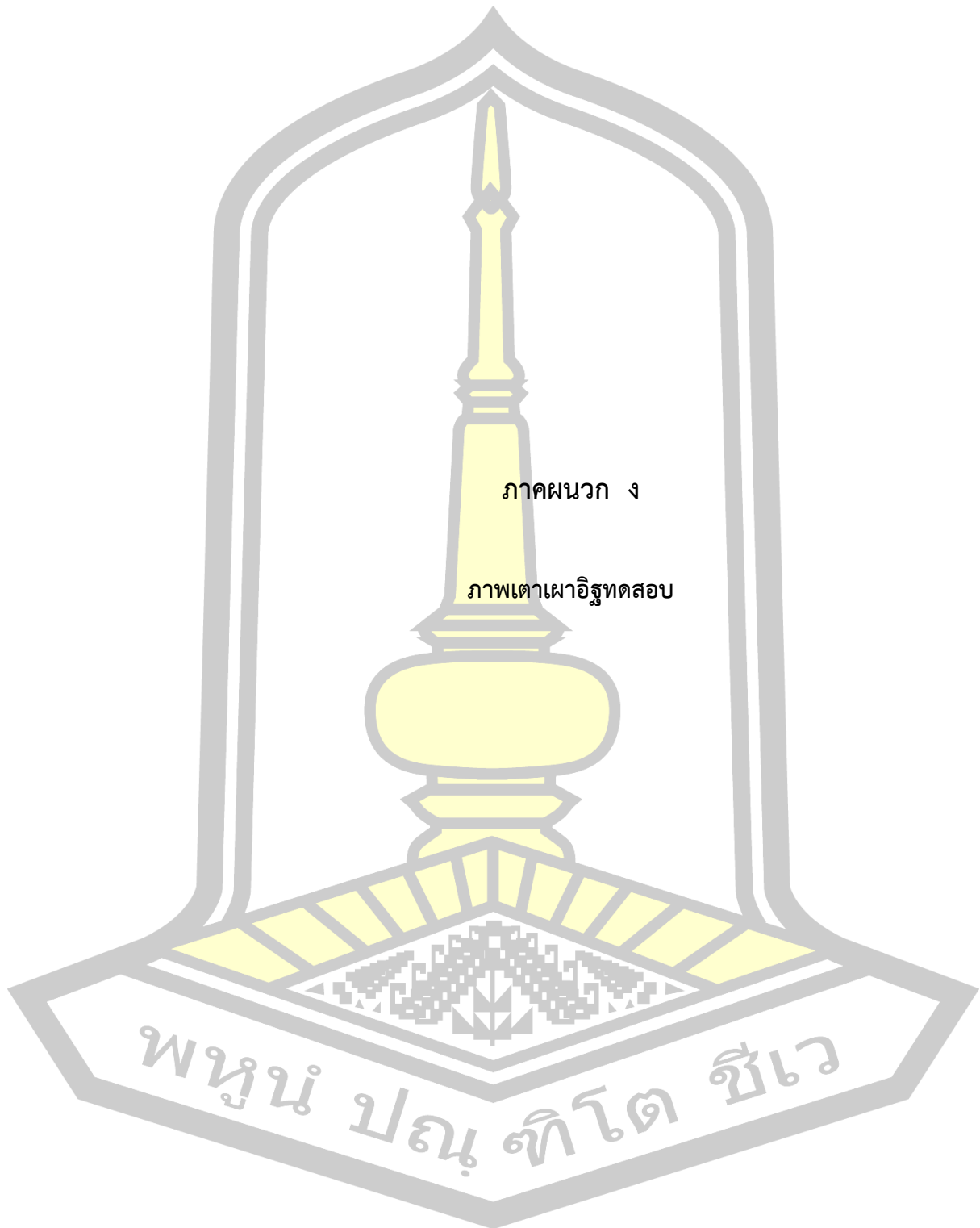
ภาพประกอบ ค 4.2 การนำอิฐแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

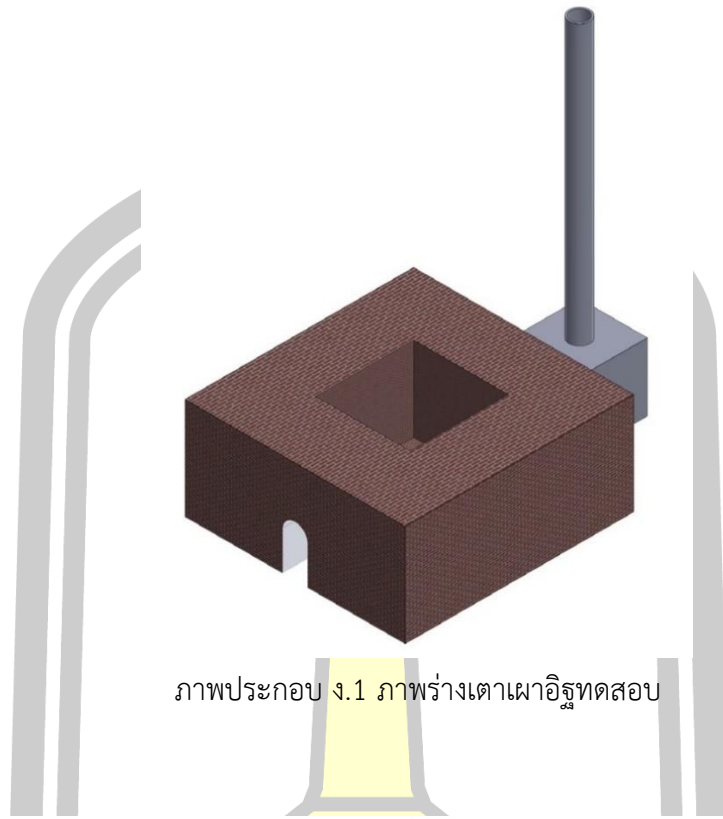


ภาพประกอบ ค 4.3 การแช่ฮีสู

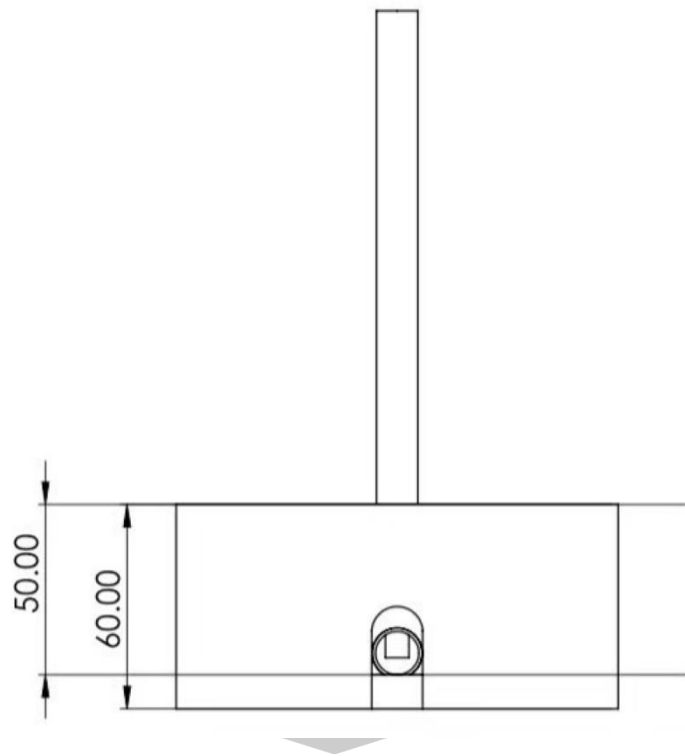


ภาพประกอบ ค 4.4 การชั่งน้ำหนักฮีสูหลังแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงและทำการบันทึกข้อมูล

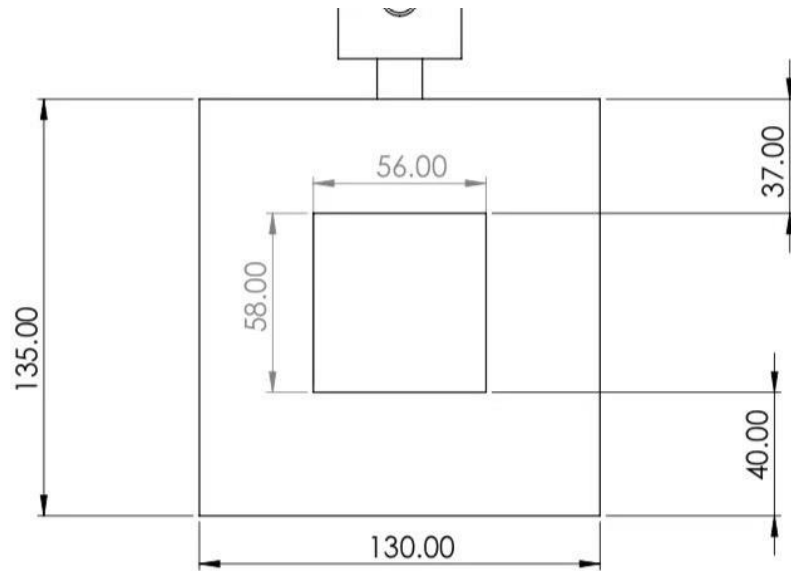




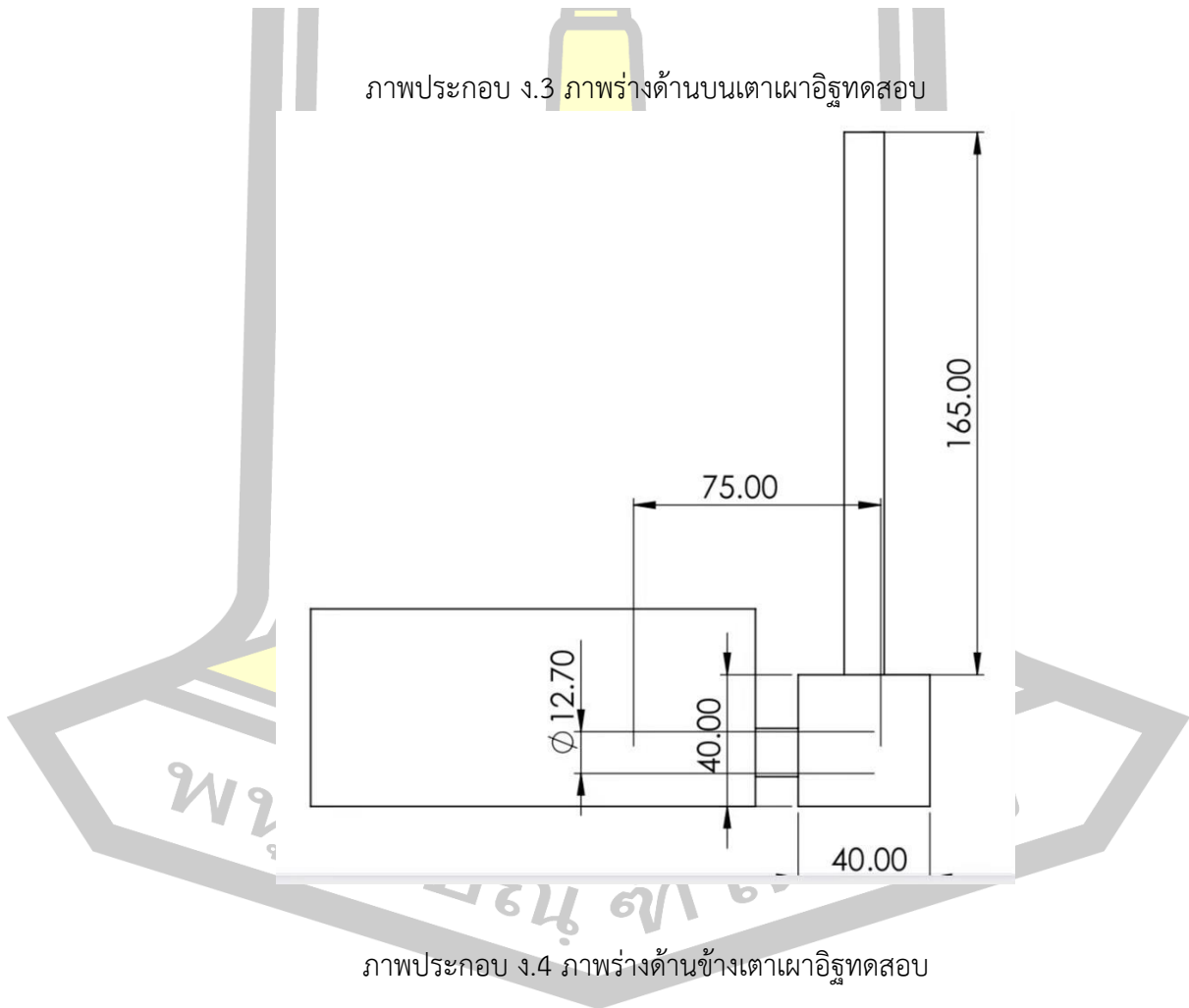
ภาพประกอบ ง.1 ภาพร่างเตาเผาอิฐทดสอบ



ภาพประกอบ ง.2 ภาพร่างด้านหน้าเตาเผาอิฐทดสอบ



ภาพประกอบ ง.3 ภาพร่างด้านบนเตาเผาอิฐทดสอบ



ภาพประกอบ ง.4 ภาพร่างด้านข้างเตาเผาอิฐทดสอบ



ภาพประกอบ ง.5 เตาเผาอิฐทอดลงและผนังเสริมด้านข้างเพื่อใส่ฉนวน



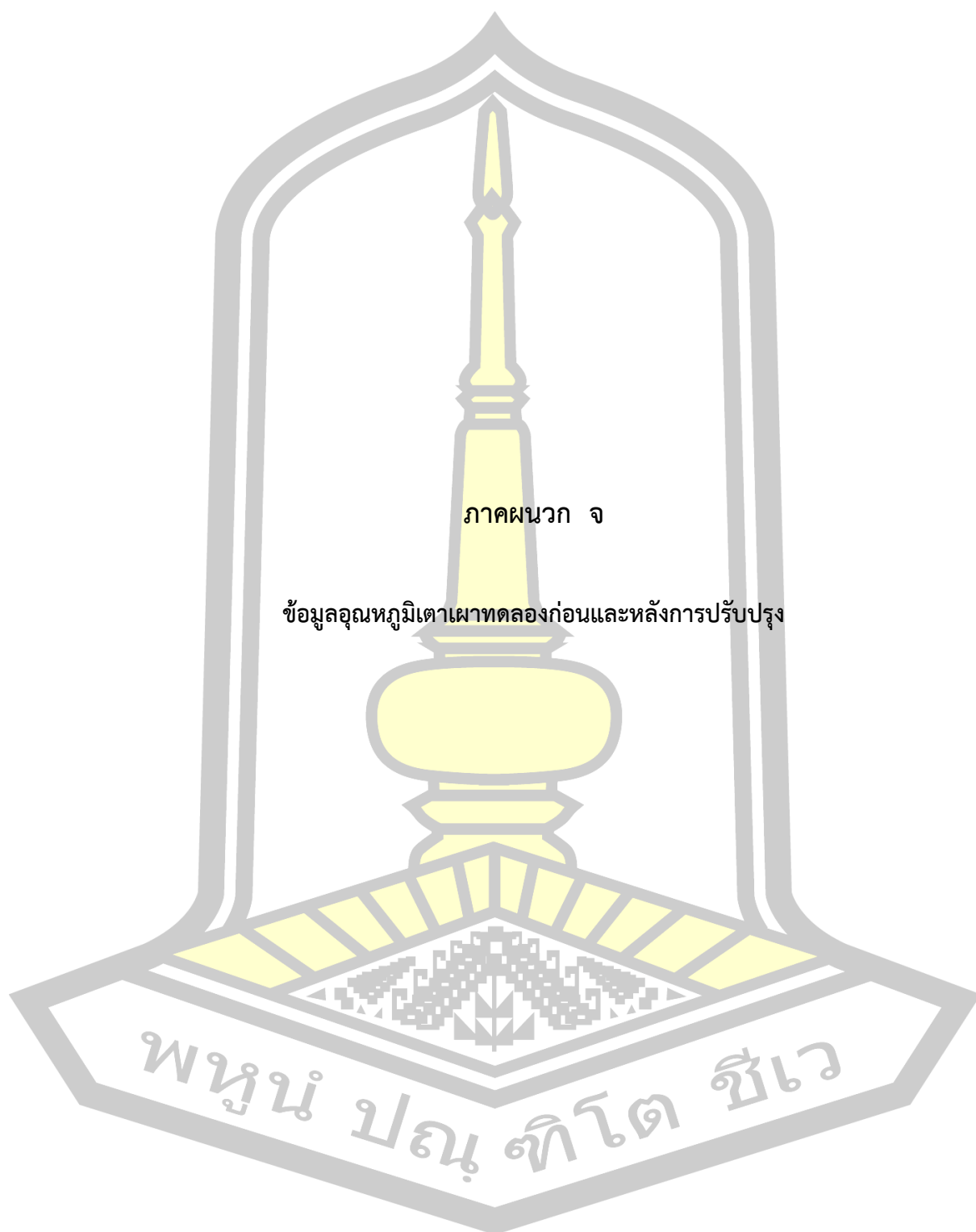
ภาพประกอบ ง.6 ด้านข้างเตาเผาอิฐทอดลง



ภาพประกอบ ง.7 ด้านหลังเตาเผาอิฐทดลอง



ภาพประกอบ ง.8 ด้านบนเตาเผาอิฐทดลอง

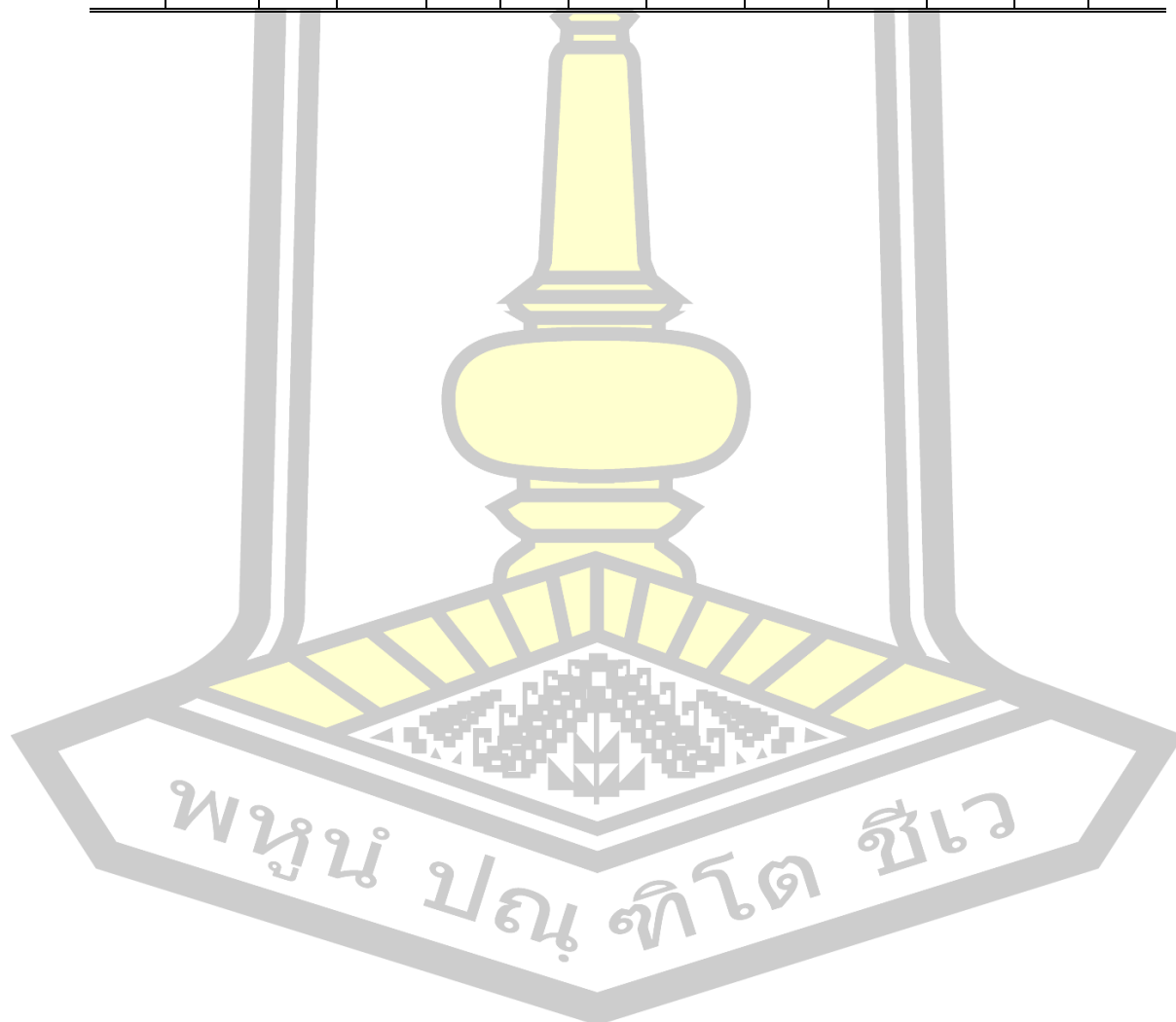


ตาราง จ.1 อุณหภูมิของเตาเผาอิฐที่ลดลงก่อนใส่ฉนวน (°C)

Hr.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
0	47.1	32.3	24.4	22.7	24.8	24	24.4	22.7	24.5	23.2	22	17
0.5	99.7	28.2	29.1	23.4	24.9	24.2	29.1	23.4	32.6	25.9	22	17
1	65.1	27	29.4	23.7	24.9	24.4	29.4	23.7	34.7	26.5	26.5	19.9
1.5	110.8	31.7	32.8	24.5	25	25.1	32.8	24.5	37	27.8	25.8	20
2	70.1	28.8	32.8	25	25.3	25.1	32.8	25	38.3	29	28.4	21.7
2.5	57.1	27.5	32.4	25.3	25.5	25.1	32.4	25.3	37.9	29.8	38.5	27.9
3	51.1	27	32	25.6	25.6	25	32	25.6	37.3	30.3	44.4	32.1
3.5	341.9	72.9	37.6	25.9	25.7	25.2	37.6	25.9	46.2	30.3	49.8	35.2
4	454.7	80.8	49.4	26.4	26	25.4	49.4	26.4	66.2	30.3	53.4	36.6
4.5	516.1	71.3	60.8	26.8	26.8	25.5	60.8	26.8	76.9	31.5	55.5	37.4
5	558.6	71.5	68.5	26.9	28.1	25.6	68.5	26.9	95.3	31.5	59.7	37.7
5.5	588.6	98.1	73.4	27	29.4	25.7	73.4	27	123.2	33.1	80.8	45.9
6	610.2	74.2	78.9	27.2	31.4	25.8	78.9	27.2	153.8	34.8	134	89
6.5	648.9	92.2	160.4	27.4	34.5	26	160.4	27.4	182	35.9	227.3	115.8
7	680.6	93.3	223	27	38.2	26.6	223	27	208.4	38.1	236.4	126.3
7.5	723.7	97	295.6	26.8	42.4	27.5	295.6	26.8	233.2	40.7	253.6	127.7
8	755.4	91.3	381.5	26.7	46.8	28.7	381.5	26.7	256.2	41.7	259.4	126.8
8.5	784.3	93.2	459.5	26.8	51.6	30.4	459.5	26.8	278.3	48.2	267.1	135.6
9	785.1	77.9	498	26.8	56.2	32.3	498	26.8	302.5	41.5	275.3	138.6
9.5	799.1	75.5	537.6	26.8	62	33.9	537.6	26.8	326	40.5	282.6	144.2
10	798.6	112.2	569.9	26.8	71	35.7	569.9	26.8	346.7	41.2	287.8	152.2
10.5	840.8	79.8	624.3	26.9	81.2	37.5	624.3	26.9	367.8	43	289.9	151.2
11	857.3	74.4	651.5	27	92.6	39.7	651.5	27	390.7	42.7	296.7	156.9
11.5	911.7	80.4	677.5	27	105	42	677.5	27	414.7	44.3	303.5	156.9
12	911.9	74	687.5	27.2	119	44.6	687.5	27.2	441.1	43.5	305.5	159.4
12.5	913.9	71.5	697.6	27.3	133	47	697.6	27.3	468.6	45.5	311.1	169.6
13	911	71.1	704.1	27.6	147	49.6	704.1	27.6	495.7	45.4	210.9	131.3
13.5	859.1	67	702.8	27.8	195	52.4	702.8	27.8	520.1	46.8	158.1	87.7
14	819.9	56.8	667.9	28.1	214	55.4	667.9	28.1	540.7	51.9	134.9	74.3
14.5	735.4	53.8	618.8	28.4	230	59.1	618.8	28.4	553.9	63.1	121	67.7
15	680.6	55.2	580.6	28.8	244	62.5	580.6	28.8	560.3	85.5	112.6	61.4
15.5	639.1	54.1	547.3	29	255	65.6	547.3	29	560.8	96.6	104.4	61.3
16	604.6	46.6	517.2	29.3	263	68.7	517.2	29.3	556.7	101.5	96	54.1
16.5	574.8	45.8	489.1	29.6	269	71.6	489.1	29.6	549.2	101.8	88.8	52.6

ตาราง จ.1 อุณหภูมิของเตาเผาอิฐที่ลดลงก่อนใส่ฉนวน (°C) (ต่อ)

Hr.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
17	548.9	46.5	462.6	29.8	272	74.3	462.6	29.8	539.4	101.5	83.6	50.4
17.5	525.5	43.4	438.1	30.2	273	77	438.1	30.2	528.3	102.2	77.8	47.1
18	504.8	45.2	415.3	30.4	273	79.7	415.3	30.4	516.5	102.6	72.1	44.7
18.5	486.3	42.3	394.3	30.8	271	82.3	394.3	30.8	504.2	100.8	69	42.9
19	468.3	42	374.4	31.2	269	84.7	374.4	31.2	491.2	98.6	65.2	42.6
19.5	450.9	42	355.9	31.4	266	87.1	355.9	31.4	477.7	97.9	62.9	40.5
20	434.6	41.5	338.7	31.7	263	89.5	338.7	31.7	464.1	96.3	59.2	37
20.5	418.9	41.3	322.9	32	259	91.9	322.9	32	450.6	93.6	55.3	32.6
21	404.1	40.9	308.5	32.5	255	94.3	308.5	32.5	437.2	91.9	54.5	31.9

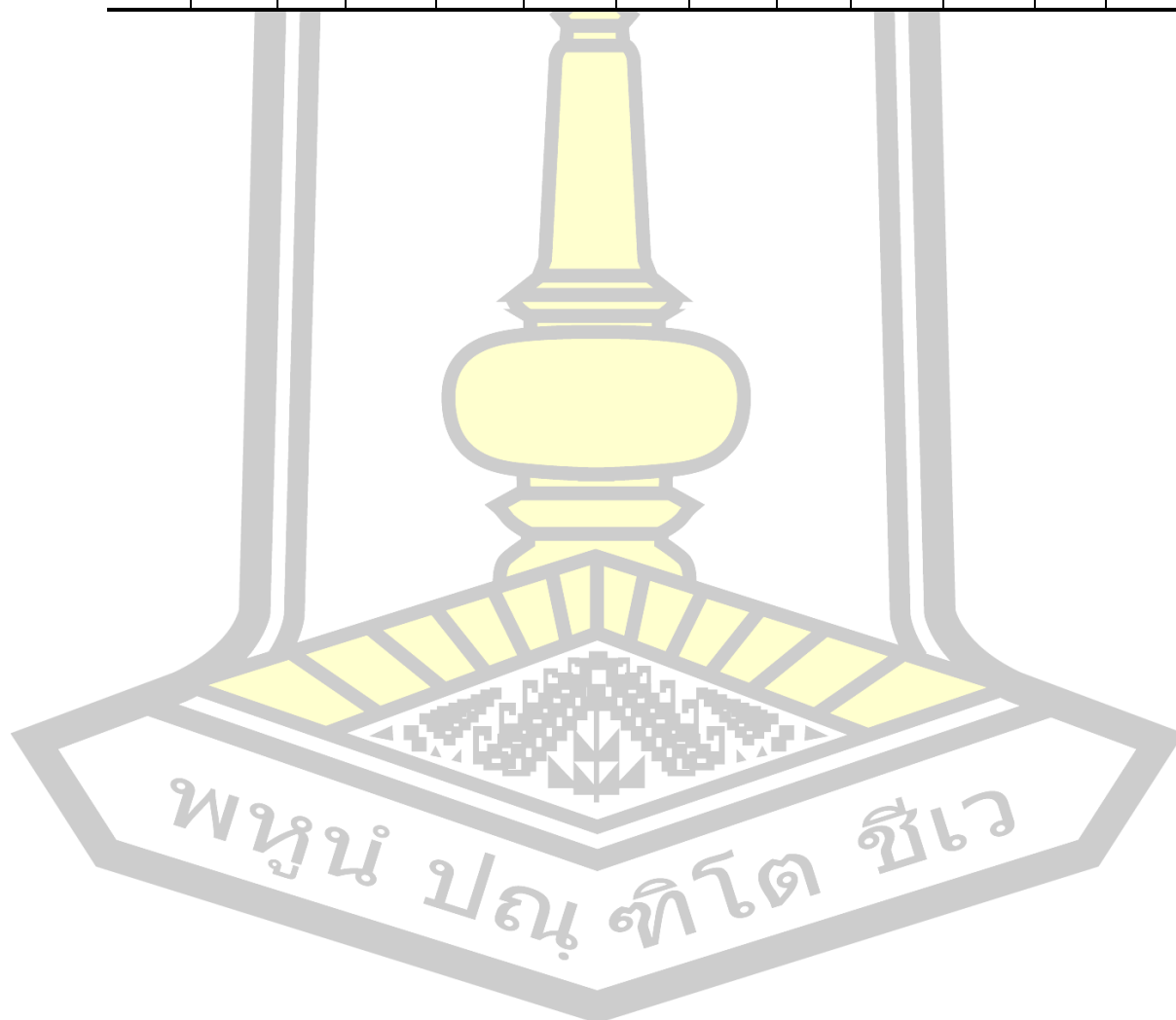


ตาราง จ.2 อุณหภูมิของเตาเผาอิฐที่ลดลงหลังใส่ฉนวนอากาศความหนา 15 cm (°C)

Hr.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
0	29.3	28	30.5	25.8	30.1	24	31.2	25	24.2	21.1	24.1	23.7
0.5	34.6	28	55.3	25.8	49.3	25	46	25	26.8	21.9	29.2	26.7
1	39.7	28	70.1	25.9	67.5	26	61	26	35.6	22.9	37.4	33.2
1.5	50	28	84.1	26.1	82.6	27	73.5	27	45.1	24.5	41.6	36.3
2	61.1	28	97	26.5	96.1	27	85.3	28	52.5	26	45.8	38.5
2.5	72.7	28	108.8	26.9	108.9	29	96.7	29	58.2	28.7	46.8	39.1
3	84.1	29	117.7	27.5	118.8	31	106.3	31	63.1	31.4	47.8	39.4
3.5	96.6	29	137.6	28.2	139.9	32	122.9	32	67.9	34.6	53	42
4	110.8	30	160.6	28.8	161.3	33	142.8	32	74.1	36.6	57.4	45.2
4.5	124.8	31	178.5	29.3	178.7	33	159	34	81.9	39	61.6	48.8
5	139.2	31	195.7	30	194.6	34	174.4	35	90.6	41.7	66.6	51.9
5.5	151.1	32	209.9	30.5	208.3	35	187.4	37	101	43.9	71.1	55.3
6	162.8	33	225.1	31.2	220.9	36	199.7	37	111	46.6	75.3	58.5
6.5	316.3	34	302.5	32.3	285	36	251.2	42	120	46.8	126	80.6
7	393.5	36	405.4	33.5	344	36	287.1	45	129	48.4	167	108
7.5	450.5	38	469.3	34.7	387	36	321	47	142	49.3	196	128
8	494.1	39	509.1	35.7	421.3	36	349	43	157	53.4	220	142
8.5	532.2	41	542	36.8	449	35	374.2	40	173	52.7	231	151
9	562	43	568.4	37.4	470.9	35	396.1	40	187	57.2	246	164
9.5	587.7	45	590.9	38.3	490	35	415.4	39	200	59.8	256	174
10	610.8	47	609.5	39.2	506.9	34	432.4	39	212	61.2	266	183
10.5	629.9	49	626.2	39.7	521.9	34	447.7	39	222	62.6	273	190
11	645.7	52	640.5	40.4	535.8	34	461.8	39	231	64.6	282	193
11.5	659.8	54	652.7	41.2	548.8	34	475.2	39	239	66.9	290	200
12	671	57	663.3	41.9	560	34	487.9	40	247	69.2	295	203
12.5	681.4	59	673	42.6	570.5	34	500.2	40	254	71.9	301	208
13	690.9	62	681.3	43.5	580.1	35	511.6	41	260	74.2	308	213
13.5	698.7	65	689	44.5	588.8	35	522.1	42	267	78.2	307	219
14	705.9	67	695.8	45.3	596.6	35	532	42	272	80.6	310	218
14.5	518.9	68	536.3	44.9	519	36	497.7	43	276	83.2	231	187
15	439	68	459.6	44.4	474.3	36	467.3	44	277	84.8	205	166
15.5	392.2	68	409.1	44.1	439.6	36	439.9	44	273	85.3	191	153
16	357.3	68	370.2	44.1	411.1	36	414.7	44	267	85.3	181	140
16.5	329	68	338.9	44.1	385.8	36	391.4	44	258	84.6	174	131

ตาราง จ.2 อุณหภูมิของเตาเผาอิฐทดลองหลังใส่ฉนวนอากาศความหนา 15 cm (°C) (ต่อ)

Hr.	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
17	304.6	68	312.7	44.2	363.4	35	370.3	44	249	82.9	160	125
17.5	283.8	67	290.4	44.3	343.5	35	350.9	44	238	80.9	150	117
18	265.7	67	271	44.4	325.8	35	333.3	43	229	79.9	141	112
18.5	250	67	254.3	44.4	309.5	34	317.1	43	219	77.4	134	104
19	235.6	67	239.6	44.4	294.4	34	302.1	43	210	74.8	130	101
19.5	222.9	67	225.8	44.5	280.6	33	288.3	42	201	74	123	96.9
20	211.5	66	213.5	44.4	267.8	33	275.5	42	192	71.7	118	92.8
20.5	201.3	66	203	44.4	255.9	33	263.5	42	184	69.7	111	88.5
21	192.1	66	193.1	44.3	244.8	32	252.4	41	176	68.7	106	84.4



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายวรวุฒิ พรหมท้าว
วันเกิด	วันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2526
สถานที่เกิด	อำเภอพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	เลขที่ 74 หมู่ที่ 8 ตำบลโคกสว่าง อำเภอพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45140
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	ผู้จัดการ โรงงานบ้านขุมเงินเครื่องจักรกล
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	เลขที่ 74 หมู่ที่ 8 ตำบลโคกสว่าง อำเภอพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45140
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2539 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนพนมไพรวิทยาคาร อำเภอพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด พ.ศ. 2542 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพนมไพรวิทยาคาร อำเภอพนมไพร จังหวัดร้อยเอ็ด พ.ศ. 2549 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2566 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูน ปรุ ทิโต ชีเว