

บทที่ 5

ผลการทดสอบระบบจริงและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การทดสอบระบบเตาเผาอิฐโดยการเก็บข้อมูลการเผาจริงได้ทำการทดสอบเผา 8 ครั้ง ติดต่อกัน เนื่องจากว่าระบบเตาเผาอิฐนี้เป็นกระบวนการเผาต่อเนื่อง (Continuous Process) เพื่อให้ได้ผลที่ถูกต้องควรทำการเผาทดสอบติดต่อกัน 2 รอบเป็นอย่างน้อย ในการวิเคราะห์ระบบได้แบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่คือ ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์ทางด้านความร้อนเพื่อประเมินการทำงานของระบบพิจารณาประสิทธิภาพที่ได้ ส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์โดยมีรายละเอียดดังนี้

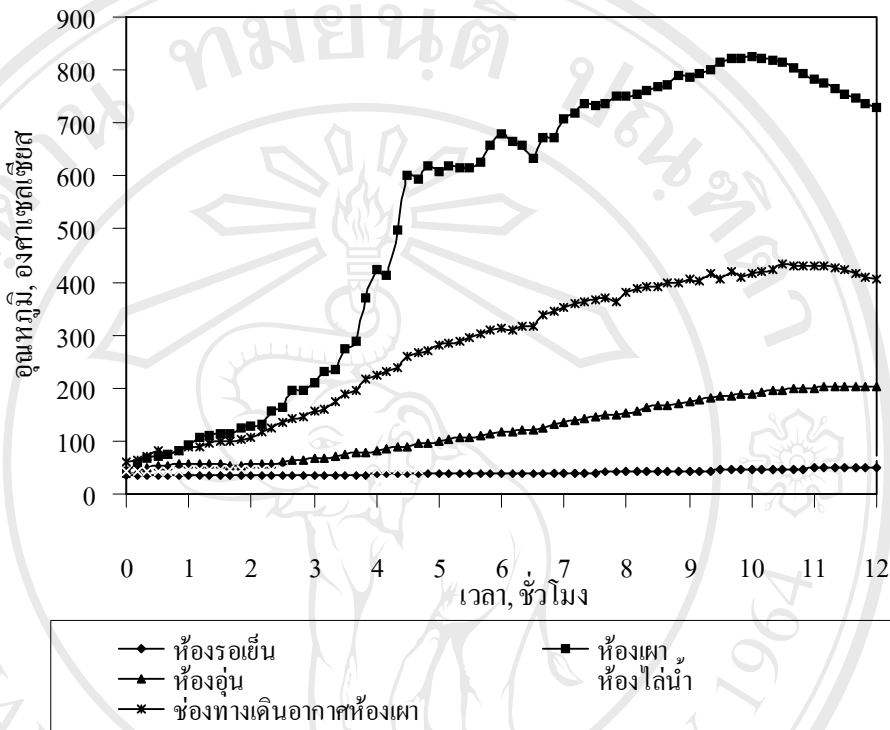
5.1 การทดสอบลักษณะการทำงานของเตาเผาอิฐประหยัดพลังงาน

เตาเผาอิฐประหยัดพลังงานใช้หลักการการนำความร้อนทิ้งกลับไปใช้ใหม่ (Heat Recovery) เพื่อวิเคราะห์การทำงานของระบบจึงศึกษาถึงกระบวนการไหลของอากาศร้อนที่บริเวณต่างๆ ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิได้ใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data Logger) ในกระบวนการเผาต่อเนื่องกันจำนวน 8 ครั้ง ใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 3-4 วัน ซึ่งส่วนใหญ่จะเสียเวลาในกระบวนการรอเย็น (Cooling) และการเปลี่ยนอิฐที่สุกออกแล้วนำอิฐใหม่เข้าเพื่อทำการไล่น้ำในกระบวนการเผาต่อไป

การทดสอบในส่วนนี้อิฐที่ใช้เป็นอิฐก้อนใหญ่จำนวน 540 ก้อนต่อห้องเผา น้ำหนักเปียก 3.77 กิโลกรัม น้ำหนักแห้งหลังจากเผาเสร็จ 3.16 กิโลกรัม วิธีในการเริ่มกระบวนการเผาเริ่มจากในช่วงแรกเตาเย็นจะต้องทำการเผาห้องแรกค่อยๆ ไล่อุณหภูมิขึ้นไปโดยวิธีการใส่ฟืนจะใส่ในปริมาณน้อยเพื่อไม่ให้อุณหภูมิสูงในช่วงแรกและเพิ่มปริมาณการใส่เพื่อเร่งอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการตลอดกระบวนการ ส่วนห้องถัดไปจะเป็นห้องอุ่นอิฐซึ่งจะได้อุณหภูมิจากอากาศร้อนที่ไหลมาจากห้องเผา และอากาศส่วนนี้ไหลต่อไปยังห้องอบอิฐเพื่อไล่น้ำ เพราะฉะนั้นเมื่อเริ่มเผาห้องที่สองสามารถเริ่มเผาได้ที่อุณหภูมิประมาณ 220 องศาเซลเซียส ได้เลยโดยไม่ต้องเสียเวลาในการไล่อุณหภูมิเหมือนในช่วงเริ่มกระบวนการแรก

พิจารณาอุณหภูมิการไหลของอากาศร้อนที่เคลื่อนที่ผ่านช่องทางออกก๊าซร้อน จากกราฟรูปที่ 5.1 จะเห็นว่าอุณหภูมิอากาศร้อนที่ไหลออกบริเวณทางด้านท่ออากาศที่เชื่อมแต่ละห้อง มีอุณหภูมิตกลงประมาณครึ่งหนึ่งตลอดกระบวนการเผา โดยมีอุณหภูมิสูงสุด 400 องศาเซลเซียส

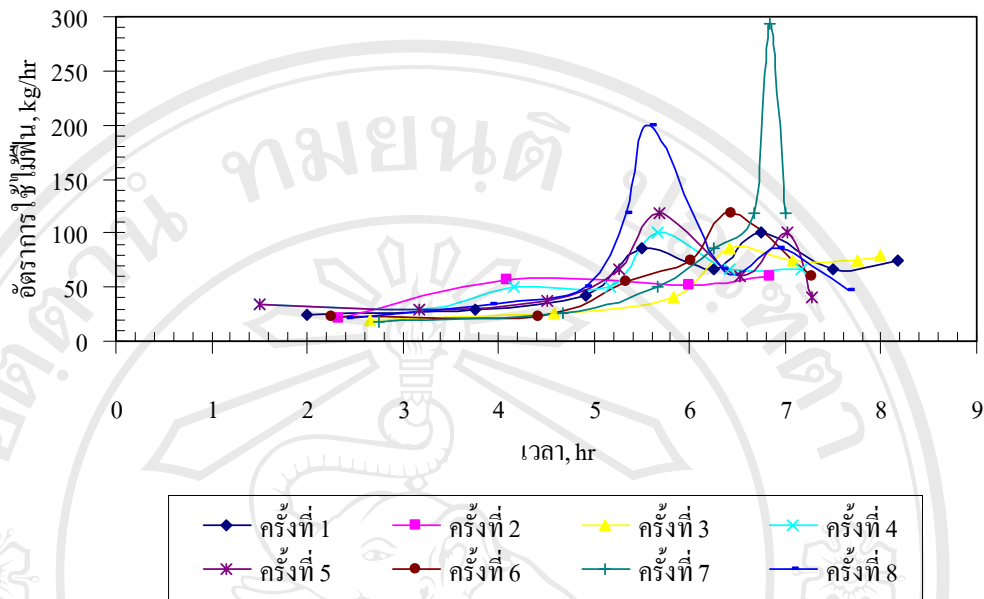
อากาศร้อนที่สามารถนำไปใช้ได้ในห้องอุ่นอิฐจะมีอุณหภูมิตกลงอีกครั้งหนึ่งของอุณหภูมิทางออกช่องก๊าซร้อน



รูปที่ 5.1 แสดงอุณหภูมิอากาศร้อนที่ไหลจากห้องเผาผ่านช่องก๊าซร้อนไปห้องถัดไป

เหลือประมาณ 200 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าความร้อนส่วนนี้ได้สูญเสียไปมากในการไหลตลอดกระบวนการ

เมื่อพิจารณาอัตราการใช้เชื้อเพลิงจากกราฟรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าใน 4 ชั่วโมงแรกของการเผาจะมีอัตราการใช้เชื้อเพลิงน้อยและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วง 4 ชั่วโมงหลัง เนื่องจากในช่วงแรกเป็นการเผาที่อุณหภูมิต่ำจึงใช้ไม้ฟืนน้อยและในช่วงหลังเป็นการเผาที่อุณหภูมิสูงจึงต้องใช้เชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นในการเร่งอุณหภูมิเผา

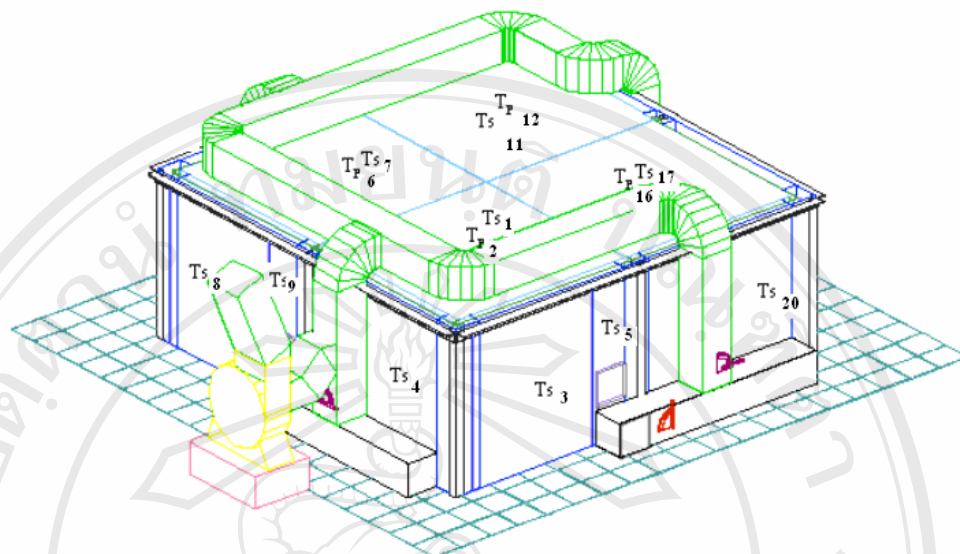


รูปที่ 5.2 แสดงอัตราการใช้เชื้อเพลิง

5.2 การวิเคราะห์การใช้พลังงานของเตาเผาอิฐประหยัดพลังงาน

การวิเคราะห์ระบบเตาเพื่อต้องการหาประสิทธิภาพเตาโดยคำนวณความร้อนที่ผ่านเข้าออกระบบโดยความร้อนที่เข้าระบบ (Heat Input) คือ ความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงและความร้อนที่ออกจากระบบประกอบไปด้วยความร้อนจากการสูญเสียที่บริเวณต่างๆ รวมกับความร้อนที่ปล่อยทิ้งออกสู่บรรยากาศและความร้อนใช้งาน ทฤษฎีการคำนวณได้กล่าวไปโดยละเอียดแล้วในบทที่ 2 การเก็บข้อมูลอุณหภูมิได้กำหนดจุดที่ต้องเก็บอุณหภูมิไว้ทั้งหมด 20 จุด โดยแต่ละห้องจะมีอยู่ 5 จุดวัดเป็นอุณหภูมิภายในเตา 1 จุด อุณหภูมิผิว 4 จุด ประกอบด้วยอุณหภูมิผิวที่ประตู เพลานผนังอิฐและผนังพื้น

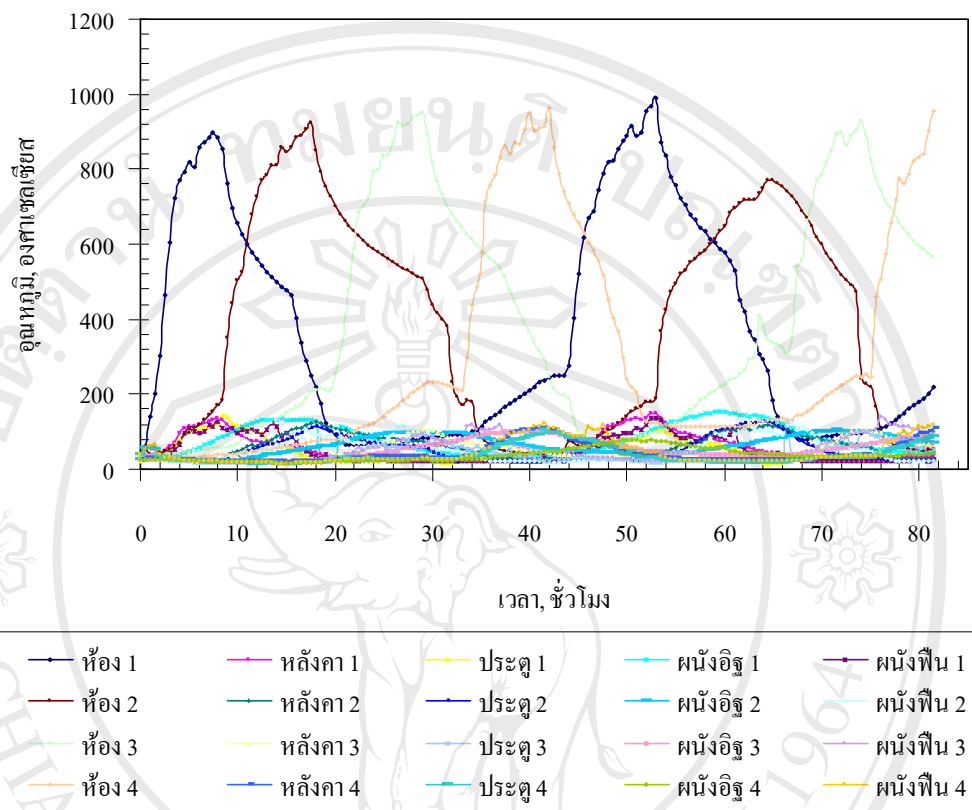
หลังคาและประตูของเตาเผาอิฐประหยัดพลังงานทำด้วยเซรามิกไฟเบอร์ยึดกับแผ่นเหล็กบางทางด้านนอก เพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียและเนื่องจากประตูเป็นส่วนที่เคลื่อนที่เปิดปิดเวลาใช้งานจึงทำด้วยวัสดุที่มีน้ำหนักเบา ทำการเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องบันทึกอุณหภูมิ 20 ช่องสัญญาณบันทึกข้อมูลได้ในครั้งเดียวกัน ทำการเผาจนเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) โดยทำการเผาติดต่อกัน 8 ครั้ง แสดงจุดวัดได้ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงการเก็บอุณหภูมิตามจุดต่างๆ ของเตาเผาอิฐ [ที่มา: จากรายงานเตาเผาอิฐประหยัดพลังงาน]

5.2.1 ก่อนปรับปรุงเตาเผาอิฐ

การทดสอบการเผาแบบที่ใช้ยูเรเนียมโดยมีอัตราการไหลของอากาศเข้าเตา 191 กิโลกรัมต่อชั่วโมง วิธีการเผาทำโดยค่อยๆ เพิ่มอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมงและเผาจนถึงอุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส รออุณหภูมิด้านล่างได้ 700 องศาเซลเซียส แล้วหยุดการเผาจะใช้เวลาโดยเฉลี่ยประมาณ 9.75 ชั่วโมง แสดงอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ได้ดังกราฟรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แสดงอุณหภูมิที่ตำแหน่งวัดต่างๆ ของเตาเผาอิฐ

จากรูปเส้นที่เป็นโดมสูง (กลางห้อง) 8 เส้น เป็นอุณหภูมิเผาบริเวณกลางห้องเผาอิฐทางด้านบนทั้ง 4 ห้อง ซึ่งเป็นจุดที่ใช้ควบคุมอุณหภูมิเผาโดยอุณหภูมิในการเผาเฉลี่ยประมาณ 900 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าเมื่อทำการเผาติดต่อกันไปจะได้อุณหภูมิในห้องถัดไปคือ ห้องอุ่นอิฐโดยเฉลี่ยประมาณ 220 องศาเซลเซียส และห้องอบอิฐเฉลี่ยประมาณ 90 องศาเซลเซียส

ประสิทธิภาพเตาเกิดจากผลรวมของพลังงานในการระเหยน้ำกับพลังงานที่ทำให้อิฐจากอุณหภูมิปรกติถึงอุณหภูมิที่ต้องการการหาคด้วยพลังงานที่ใช้ทั้งหมด พบว่าประสิทธิภาพเตาจะอยู่ในช่วง 25 ถึง 31% ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงประสิทธิภาพและการใช้พลังงานของเตาโดยเผา 8 ครั้งติดต่อกัน

เผา ครั้งที่ (No.)	จำนวน ไม้ฟืน (kg)	จำนวน อิฐ (ก้อน)	พลังงาน ระเหยน้ำ (MJ)	พลังงาน ถ่ายเทสู่อิฐ (MJ)	พลังงาน ที่ใช้ (MJ)	ประสิทธิภาพ ภาพเตา (%)	พลังงาน จำเพาะ (MJ/kg)
1	500	520	715.92	928.37	6,000	27.40	3.65
2	400	525	722.80	937.29	4,800	34.59	2.89
3	450	487	670.49	869.45	5,400	28.52	3.51
4	450	531	731.06	948.01	5,400	31.09	3.22
5	500	550	757.22	981.93	6,000	28.99	3.45
6	550	584	804.03	1,042.63	6,600	27.98	3.58
7	400	520	715.92	928.37	4,800	34.26	2.92
8	465	520	715.92	928.37	5,580	29.47	3.40

ประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งระบบ (Efficiency) 30.05% ใช้พลังงานจำเพาะเฉลี่ย (Specific energy) $3.33 \text{ MJ/kg}_{\text{brick}}$ ใช้ไม้ฟืนโดยเฉลี่ย 464 kg อัตราการใช้ไม้ฟืนโดยเฉลี่ย 51 kg/hr สรุปการใช้พลังงานและประสิทธิภาพได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงการใช้พลังงานและประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งระบบ

พลังงานจำเพาะ	$3.33 \text{ MJ/kg}_{\text{brick}}$
ประสิทธิภาพ	30.05%

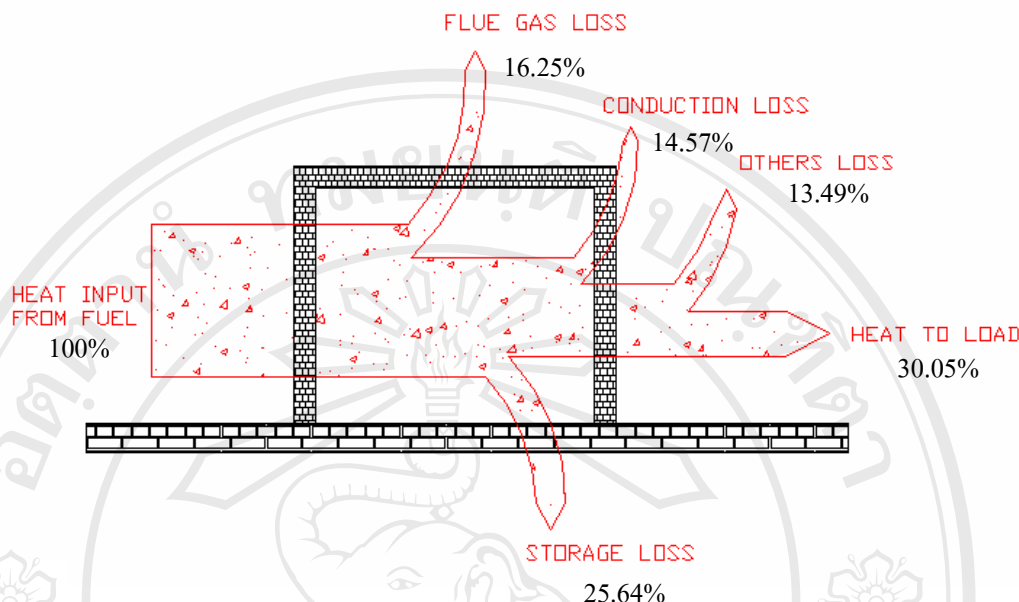
การคำนวณความร้อนสูญเสียที่บริเวณต่างๆ คำนวณจากสมการถ่ายเทความร้อนจากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิภายในและอุณหภูมิภายนอก โดยการคำนวณใช้สมการที่สภาวะคงที่แต่แบ่งเวลาเป็นเวลาย่อยๆ ทุก 30 นาที แล้วนำมารวมกันในแต่ละส่วน ในการคำนวณได้คิดรวมทั้งระบบ 8 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลมากเพียงพอในการวิเคราะห์การใช้พลังงาน

ตารางที่ 5.3 แสดงความร้อนสูญเสียทั้งระบบ

ความร้อนในระบบ	MJ	%
ความร้อนทั้งหมด	44,580.00	100
ความร้อนสูญเสีย		
- ความร้อนผ่านผนัง	6,496.49	14.57
- ความร้อนสูญเสียในโครงสร้าง	11,428.66	25.64
- ความร้อนสูญเสียก๊าซร้อน	7,245.00	16.25
- ความร้อนสูญเสียอื่นๆ	6,012.07	13.49
รวมความร้อนสูญเสีย	31,182.22	69.95
ความร้อนใช้งาน		
- ความร้อนถ่ายเทสู่อิฐ	7,564.41	16.97
- ความร้อนที่ใช้ระเหยน้ำ	5,833.37	13.09
รวมความร้อนใช้งาน	13,397.78	30.05

จากการวิเคราะห์หาปริมาณความร้อนตารางที่ 5.3 ในการคำนวณใช้ค่าความร้อนไม้ลำไย 12 MJ/kg พลังงานรวมทั้งหมดคิดต่อน้ำหนักอิฐที่เผาได้จริงเมื่อคิดรวม 8 ครั้ง พบว่าพลังงานที่ใช้ในระบบทั้งหมด (Total Energy) 44,580 MJ มีความร้อนสูญเสียผ่านผนัง (Conduction Loss) 6,496.49 MJ ความร้อนสะสมในโครงสร้าง (Storage in Structure) 11,428.66 MJ ความร้อนสูญเสียจากก๊าซร้อน (Flue Gas Loss) 7,245.00 MJ ความร้อนถ่ายเทสู่อิฐ (Transfer to Brick) 7,564.41 MJ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (Q_{use}) 5,833.37 MJ ความร้อนสูญเสียอื่นๆ (Other Loss) 6,012.07 MJ แสดงเป็นแผนภาพการไหลได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

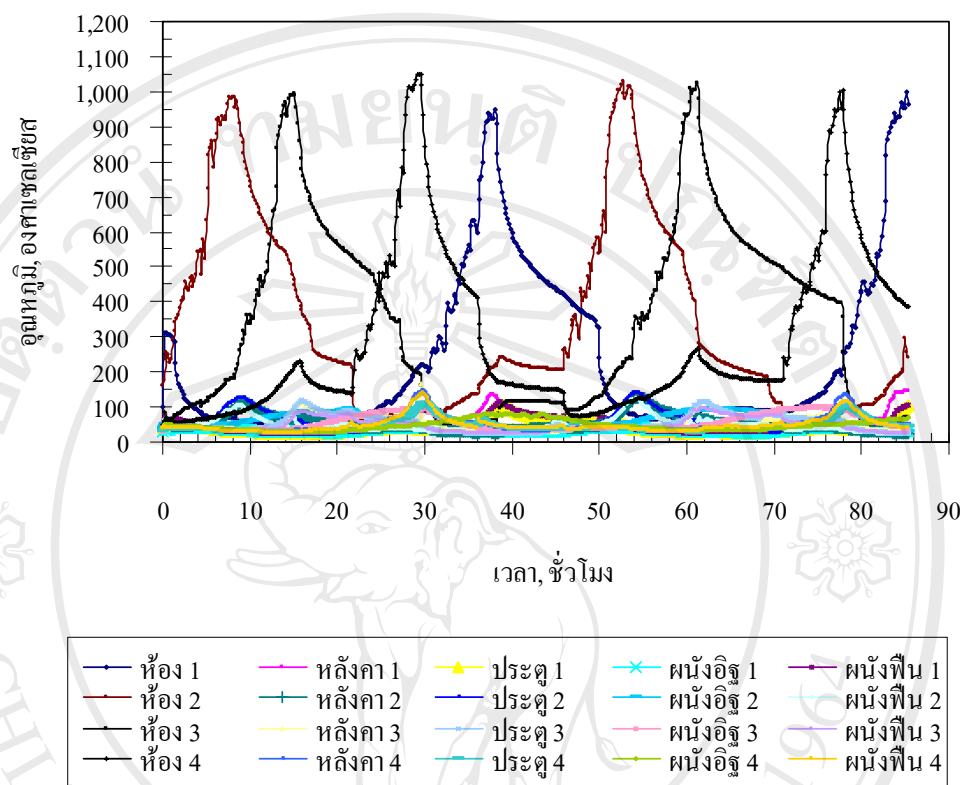


รูปที่ 5.5 แผนภาพแสดงสมดุลพลังงานของเตาเผาอิฐประหยัดพลังงาน

จากแผนภูมิการไหลรูปที่ 5.5 พบว่าความร้อนที่สะสมในโครงสร้างมีปริมาณมากที่สุด เนื่องจากโครงสร้างของเตาส่วนใหญ่ทำด้วยอิฐซึ่งสะสมความร้อนได้ดีและระบบมีการนำความร้อนไปใช้ในอีกหลายห้องทำให้ความร้อนถูกสะสมอยู่ในระบบมาก ส่วนความร้อนสูญเสียจากก๊าซร้อนมีค่ารองลงมาเพราะว่าระบบใช้พัดลมดึงอากาศร้อนออกในปริมาณที่สูงกว่าการระบายความร้อนตามธรรมชาติของเตาเผาอิฐแบบอื่นๆ ส่วนประกอบที่สำคัญส่วนใหญ่ใช้เซรามิกไฟเบอร์ซึ่งป้องกันความร้อนผ่านได้ดีทำให้ความร้อนสูญเสียผ่านผนังมีค่าน้อย การที่ความร้อนถูกสะสมภายในระบบมากจะทำให้เตาใช้พลังงานน้อยลงในรอบเผาต่อไป

5.2.2 หลังปรับปรุงเตาเผาอิฐ

การทดสอบหลังปรับปรุงระบบดูดอากาศโดยเพิ่มความเร็วยรอบพัดลมได้อัตราการไหลของอากาศเข้าเตาเพิ่มขึ้นเป็น 529 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และเปลี่ยนวิธีการเพิ่มอุณหภูมิตามที่ได้จากแบบจำลอง โดยวิธีการเผาจะเพิ่มอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง จนถึงอุณหภูมิประมาณ 550-600 องศาเซลเซียส แล้วเร่งอุณหภูมิเผาจนถึงประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส แล้วร่อนอุณหภูมิด้านล่างได้ประมาณ 700 องศาเซลเซียส แล้วทำการหยุดเผา สามารถแสดงอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ได้ดังกราฟรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 แสดงอณูกรัมที่ตำแหน่งวัดต่างๆ ของเตาเผาอิฐ

จากรูปเส้นที่เป็นโดมสูง (กลางห้อง) 8 เส้น เป็นอณูกรัมเผาบริเวณกลางห้องเผาอิฐทางด้านบนทั้ง 4 ห้อง ซึ่งเป็นจุดที่ใช้ควบคุมอณูกรัมเผาโดยอณูกรัมในการเผาเฉลี่ยอยู่ประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบลักษณะกราฟกับวิธีการเผาแบบเดิมการเพิ่มอณูกรัมจะมีความชันมากกว่าเมื่ออณูกรัมเลย 550-600 องศาเซลเซียส ไปแล้วระยะเวลาในการเผาจะสั้นลง อณูกรัมในห้องอุณหภูมิจะมากกว่าเดิมโดยมีอณูกรัมเป็น 250 องศาเซลเซียส และห้องอบอิฐเป็น 110-150 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพเตาอยู่ในช่วง 30% ถึง 43% ดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงประสิทธิภาพและการใช้พลังงานของเตาโดยเผา 8 ครั้งติดต่อกัน

เผา ครั้งที่ (No.)	จำนวน ไม้ฟืน (kg)	จำนวน อิฐ (ก้อน)	พลังงาน ระเหยน้ำ (MJ)	พลังงาน ถ่ายเทสู่อิฐ (MJ)	พลังงาน ที่ใช้ (MJ)	ประสิทธิภาพ ภาพเตา (%)	พลังงาน จำเพาะ (MJ/kg)
1	385	480	645.71	837.32	4800	30.90	3.05
2	400	469	678.75	880.16	3600	43.30	3.24
3	300	493	652.59	846.24	3840	39.03	2.31
4	320	474	681.50	883.73	4200	37.27	2.56
5	350	495	660.85	856.95	4320	35.13	2.69
6	360	480	660.85	856.95	3600	42.16	2.85
7	300	480	660.85	856.95	3840	39.53	2.37
8	320	480	660.85	856.95	4620	32.85	2.53

ประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งระบบ (Efficiency) 37.24% ใช้ไม้ฟืนโดยเฉลี่ย 342 kg อัตราการใช้
ไม้ฟืนโดยเฉลี่ย 45 kg/hr ใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy) 2.70 MJ/kg_{brick} สรุปการใช้พลังงาน
และประสิทธิภาพได้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงการใช้พลังงานและประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งระบบ

พลังงานจำเพาะ	2.70 MJ/kg _{brick}
ประสิทธิภาพ	37.24%

เมื่อเปรียบเทียบกับเตาอิฐก่อนปรับปรุงระบบพบว่าประสิทธิภาพมีค่ามากขึ้นจาก
30.05% เป็น 37.24% การใช้พลังงานจำเพาะลดลงจาก 3.33 MJ/kg_{brick} เหลือ 2.70 MJ/kg_{brick}
เนื่องจากปัญหาของพัดลมที่ทำลมได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของระบบ (ก่อนปรับปรุงเตา) ทำ
ให้อากาศในการสันดาปไม่เพียงพอการดึงความร้อนจากห้องลดอุณหภูมิมาใช้ใหม่ได้น้อย ซึ่งเมื่อ
ปรับปรุงอัตราการไหลเพิ่มขึ้นพบว่ากระจายอุณหภูมิภายในห้องเผาดีขึ้นการเพิ่มอุณหภูมิ
ในช่วงต่างๆ ของกระบวนการทำได้ง่ายและประหยัดเชื้อเพลิงได้มากกว่า รวมทั้งการนำความร้อน
จากห้องลดอุณหภูมิและการนำความร้อนจากห้องเผาไปใช้ในห้องอบอิฐห้องอุ่นอิฐได้มากขึ้นเป็น
ผลให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

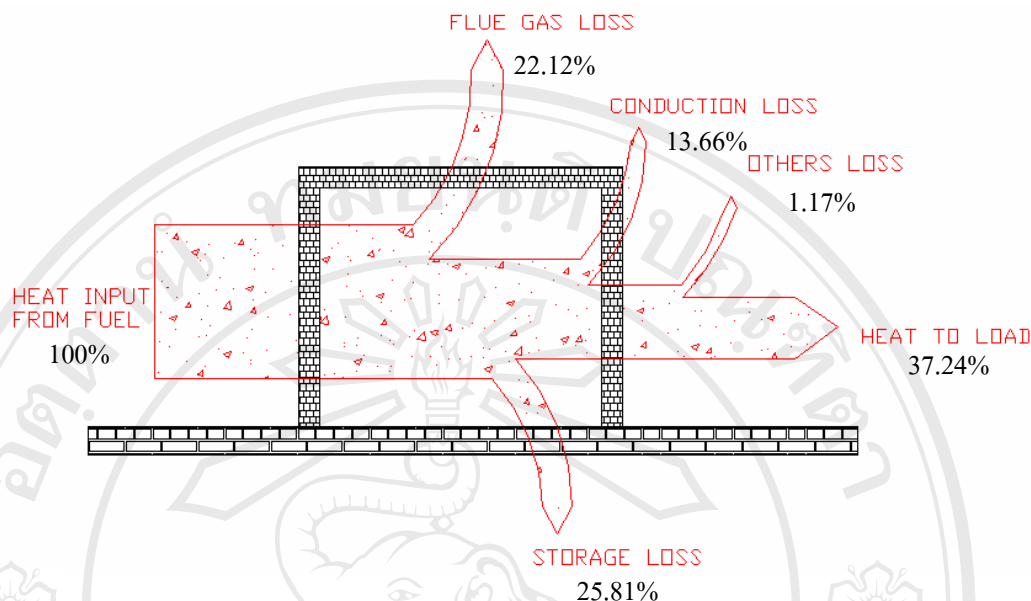
การคำนวณความร้อนสูญเสียที่บริเวณต่างๆ สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 5.6 แสดงความร้อนสูญเสียทั้งระบบ

ความร้อนในระบบ	MJ	%
ความร้อนทั้งหมด	32,700	100
ความร้อนสูญเสีย		
- ความร้อนผ่านผนัง	4,467.28	13.66
- ความร้อนสูญเสียในโครงสร้าง	8,440.44	25.81
- ความร้อนสูญเสียจากก๊าซร้อน	7,233.41	22.12
- ความร้อนสูญเสียอื่นๆ	381.66	1.17
รวมความร้อนสูญเสีย	20,522.79	62.76
ความร้อนใช้งาน		
- ความร้อนถ่ายเทสู่อิฐ	6,875.27	21.03
- ความร้อนที่ใช้ระเหยน้ำ	5,301.94	16.21
รวมความร้อนใช้งาน	12,177.21	37.24

จากการวิเคราะห์หาปริมาณความร้อน พบว่าพลังงานที่ใช้ในระบบทั้งหมด (Total Energy) 32,700 MJ มีความร้อนสูญเสียผ่านผนัง (Conduction Loss) 4,467.28 MJ ความร้อนสะสมในโครงสร้าง (Storage in Structure) 8,440.44 MJ ความร้อนสูญเสียจากก๊าซร้อน (Flue Gas Loss) 7,233.41 MJ ความร้อนถ่ายเทสู่อิฐในอิฐ (Transfer to Brick) 6,875.27 MJ ความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (Q_{use}) 5,301.94 MJ ความร้อนสูญเสียอื่นๆ (Other Loss) 381.66 MJ จากตัวเลขในการคำนวณจะเห็นว่าค่าพลังงานในส่วนต่างๆ น้อยลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนปรับปรุงเนื่องจากมีความร้อนเข้าในระบบน้อยลงจากการใช้พลังงานน้อยลง แสดงเป็นแผนภาพการไหลได้ดังนี้

จากแผนภูมิการไหลรูปที่ 5.7 พบว่าความร้อนในส่วนต่างๆ เมื่อเทียบกับการทดสอบก่อนปรับปรุงเตาในส่วนของก๊าซร้อนมีปริมาณมากขึ้นเนื่องจากได้ปรับปรุงอัตราการไหลของอากาศให้มากขึ้นโดยการเพิ่มรอบของพัดลมทำให้พัดลมสามารถดึงอากาศออกจากเตาได้มากขึ้น ความร้อนสูญเสียในส่วนอื่นๆ ยังมีค่าใกล้เคียงกับแบบเดิม ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากวิธีการเผาแบบใหม่สามารถลดการใช้เชื้อเพลิงลงได้



รูปที่ 5.7 แผนภาพแสดงสมดุลพลังงานของเตาเผาอิฐประหยัดพลังงาน

5.3 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เป็นการเปรียบเทียบความคุ้มค่าของเงินลงทุนในโครงการที่ได้จัดดำเนินการไปเพื่อเป็นเครื่องมือในการตัดสินใจ ในงานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบการลงทุนไว้สองแบบคือ แบบแรกเป็นการวิเคราะห์ก่อนการปรับปรุงและแบบที่สองเป็นการวิเคราะห์หลังการปรับปรุงหาผลตอบแทนการลงทุน โดยวัดเป็นจุดคุ้มทุน (Break Event Point) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR, Internal Rate of Return)

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในปีแรก

$$TC = C_1 + C_{O\&M} + C_E$$

5.3.1 รายละเอียดที่ใช้ในการวิเคราะห์

1. เงินลงทุนเบื้องต้น คือ เงินค่าวัสดุ อุปกรณ์ ค่าแรงงานในการก่อสร้าง และพื้นปูน (Capital Cost)
2. กำหนดอายุการใช้งานเท่ากับ 10 ปี
3. ค่าดำเนินการและบำรุงรักษาต่อปี (Operating and Maintenance Cost) กำหนดให้เป็น 5% ของเงินลงทุนเบื้องต้น
4. ค่าพลังงานไฟฟ้าคิดจากอัตราค่าไฟฟ้าประเภท 2.25 กิจการขนาดกลาง
5. สมมติให้ในแต่ละปีทำงาน 300 วัน

6. มูลค่าซาก (Savage Value) กำหนด 10% ของเงินลงทุนเบื้องต้น

5.3.2 เงินลงทุนเบื้องต้น (Investment Cost, C_I)

1. ตัวเตาขนาด $4 \times 4 \times 2 \text{ m}^3$	= 290,000	บาท
2. ระบบลำเลียงรถและราง	= 170,000	บาท
3. ระบบพัดลมดูดอากาศ	= 40,000	บาท
4. ค่าแรง	= <u>100,000</u>	บาท
รวม	= 600,000	บาท

5.3.3 ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (Operating and Maintenance Cost, $C_{O\&M}$)

ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา คือ ค่าซ่อมแซมและบำรุงตัวเตา อุปกรณ์ที่ชำรุดเกิดจากการทำงาน สำหรับเตาเผาอิฐประหยัดพลังงานได้กำหนดคิดเป็น 5% ของเงินลงทุนเบื้องต้น (หัวข้อ

5.3.2 Investment cost, C_I) จำนวนได้ดังนี้

ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา	= $0.05 \times 600,000$
	= 30,000 บาท

ก่อนปรับปรุงเตาเผาอิฐประหยัดพลังงาน

5.3.4 ค่าพลังงานไฟฟ้า (Electric Energy Cost, C_E)

กระบวนการเผาอิฐมีการใช้ไฟฟ้าจากพัดลมดูดอากาศให้สามารถไหลเวียนในระบบเตาเผาอิฐทั้ง 4 ห้องเผา โดยมีพัดลมดูด 1 ตัว ขนาด 5 แรงม้า 380 โวลต์ 3.7 กิโลวัตต์ ต่อไฟ 3 เฟส ในการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าคิดจากอัตราค่าไฟฟ้าประเภท 2.25 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

จากการวัดกำลังไฟฟ้า	= 1,676 Watt
1 KW/hr	= 1 Unit
1 ชั่วโมงใช้กำลังไฟฟ้า	= 1.676 Unit/hr
พัดลมทำงาน	= 25 (วัน/เดือน) x 24 (ชั่วโมง/วัน)
	= 600 ชั่วโมง/เดือน
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	= 600 (ชั่วโมง/เดือน) x 1.676 (Unit/hr)

$$\begin{aligned}
 &= 1,005.6 \text{ Unit/เดือน} \\
 \text{-ค่าไฟฟ้าพื้นฐานหน่วยละ 3.37 บาท} &= 3.37 (\text{บาท/Unit}) \times 1,005.6 (\text{Unit/เดือน}) \\
 &= 3,388.87 \text{ บาท/เดือน} \\
 \text{-ค่าไฟฟ้าผันแปรหน่วยละ 0.3828 บาท} &= 0.3828 (\text{บาท/Unit}) \times 1,005.6 (\text{Unit/เดือน}) \\
 &= 384.94 \text{ บาท/เดือน} \\
 \text{-อัตราภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% (ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน+ค่าไฟฟ้าผันแปร)} &= (3,388.87 + 384.94) \times 0.07 \\
 &= 264.17 \text{ บาท} \\
 \text{รวมค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายจริงต่อเดือน} &= 3,388.87 + 384.94 + 264.17 \\
 &= 4,037.98 \text{ บาท/เดือน} \\
 \text{รวมค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายจริงต่อปี} &= 4,037.98 (\text{บาท/เดือน}) \times 12 (\text{เดือน/ปี}) \\
 &= 48,455.76 \text{ บาท/เดือน}
 \end{aligned}$$

5.3.5 ต้นทุนรวมทั้งหมด (Total Cost, TC)

$$\begin{aligned}
 \text{รวมต้นทุนทั้งหมด} &= \text{เงินลงทุนเบื้องต้น (Investment Cost, } C_I) \\
 &+ \text{ค่าพลังงานไฟฟ้า (Electric Energy Cost, } C_E) + \text{ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา} \\
 &(\text{Operating and Maintenance Cost, } C_{O\&M}) \\
 &= 600,000 + 48,455.76 + 30,000 \\
 &= 678,455.76 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

5.3.6 มูลค่าซาก (Savage Value)

$$\begin{aligned}
 \text{กำหนด 10% ของเงินลงทุนเบื้องต้น} &= 10\% \times \text{เงินลงทุนเบื้องต้น (Investment Cost, } C_I) \\
 &= 600,000 \times 0.10 \\
 &= 60,000 \text{ บาท}
 \end{aligned}$$

5.3.7 อัตราการผลิตของเตาเผาอิฐประหยัดพลังงาน

$$\begin{aligned}
 \text{จากการทดสอบเผาอิฐ 8 ครั้ง ติดต่อกัน} \\
 \text{เฉลี่ยอิฐที่สุกได้คุณภาพ} &= 540 \text{ ก้อนต่อBatch}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{เฉลี่ยเวลาในการเผาอิฐ} &= 9.75 \text{ hr/batch} \\
 \text{ชั่วโมงการทำงาน} &= 24 \text{ (hr/day)} \times 25 \text{ (day/month)} \\
 &= 600 \text{ hr/month} \\
 \text{จำนวนอิฐที่ได้} &= 600 \text{ (hr/month)} / 9.75 \text{ (hr/batch)} \times 540 \text{ (ก้อนต่อBatch)} \\
 &= 33,230 \text{ ก้อน/เดือน} \\
 &= 33,230 \text{ (ก้อน/เดือน)} \times 12 \text{ (เดือน/ปี)} \\
 &= 398,769 \text{ ก้อน/ปี}
 \end{aligned}$$

5.3.8 กำไรจากการผลิตอิฐ

$$\begin{aligned}
 \text{ต้นทุนอิฐ} &= 3.66 \text{ บาท/ก้อน} \\
 \text{ราคาขาย} &= 3.90 \text{ บาท/ก้อน} \\
 \text{กำไร} &= 3.66 \text{ (บาท/ก้อน)} - 3.90 \text{ (บาท/ก้อน)} \\
 &= 0.24 \text{ บาท/ก้อน} \\
 \text{กำไรจากการผลิต} &= 398,769 \text{ ก้อน/ปี} \\
 \text{กำไรทั้งหมด} &= 0.24 \text{ (บาท/ก้อน)} \times 398,769 \text{ (ก้อน/ปี)} \\
 &= 95,704.62 \text{ บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

5.3.9 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

$$\begin{aligned}
 \text{ระยะเวลาคืนทุนสามารถหาได้จาก เงินลงทุนทั้งหมดหารด้วยกระแสเงินสดต่อปี} \\
 &= 678,455.76 \text{ (บาท)} / 95,704.62 \text{ (บาท/ปี)} \\
 &= 7.09 \text{ ปี}
 \end{aligned}$$

5.3.10 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR)

$$\begin{aligned}
 TIC &= \sum_{n=1}^5 \frac{NCF_n}{(1+i^*)^n} \\
 678,445.76 &= \sum_{n=1}^4 \frac{95,704.62}{(1+i^*)^n} + \frac{155,704.62}{(1+i^*)^5} \\
 i^* &= 8\%
 \end{aligned}$$

หลังปรับปรุงเตาเผาอิฐประหยัดพลังงาน

5.3.11 ค่าพลังงานไฟฟ้า (Electric Energy Cost, C_E)

กระบวนการเผาอิฐมีการใช้ไฟฟ้าจากพัดลมดูดอากาศให้สามารถไหลเวียนในระบบเตาเผาอิฐทั้ง 4 ห้องเผา โดยมีพัดลมดูด 1 ตัว ขนาด 7 แรงม้า 380 โวลต์ 10 แอมป์ ต่อไฟ 3 เฟส ในการคิดค่าพลังงานไฟฟ้าคิดจากอัตราค่าไฟฟ้าประเภท 2.25 กิจการขนาดกลาง

จากการวัดกำลังไฟฟ้า	= 4,400 Watt
1 KW/hr	= 1 Unit
1 ชั่วโมงใช้กำลังไฟฟ้า	= 4.4 Unit/hr
พัดลมทำงาน	= 25 (วัน/เดือน) x 24 (ชั่วโมง/วัน)
	= 600 ชั่วโมง/เดือน
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	= 600 (ชั่วโมง/เดือน) x 4.4 (Unit/hr)
	= 2,640 Unit/เดือน
-ค่าไฟฟ้าพื้นฐานหน่วยละ 3.37 บาท	= 3.37 (บาท/Unit) x 2,640 (Unit/เดือน)
	= 8,896.8 บาท/เดือน
-ค่าไฟฟ้าผันแปรหน่วยละ 0.3828 บาท	= 0.3828 (บาท/Unit) x 2,640 (Unit/เดือน)
	= 1,010.6 บาท/เดือน
-อัตรากำหนดค่าเพิ่ม 7% (ค่าไฟฟ้าพื้นฐาน+ค่าไฟฟ้าผันแปร)	= (8,896.8 + 1,010.6) x 0.07
	= 693.52 บาท
รวมค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายจริงต่อเดือน	= 8,896.8 + 1,010.6 + 693.52
	= 10,600.92 บาท/เดือน
รวมค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายจริงต่อปี	= 10,600.92 (บาท/เดือน) x 12 (เดือน/ปี)
	= 127,211.04 บาท/เดือน

5.3.12 ต้นทุนรวมทั้งหมด (Total Cost, TC)

รวมต้นทุนทั้งหมด	= เงินลงทุนเบื้องต้น (Investment Cost, C_I)
	+ ค่าพลังงานไฟฟ้า (Electric energy cost, C_E)
	+ ค่าดำเนินการและบำรุงรักษา (Operating and Maintenance Cost, $C_{O\&M}$)

$$= 600,000 + 127,211.04 + 30,000$$

$$= 757,211.04 \text{ บาท}$$

5.3.13 มูลค่าซาก (Savage Value)

$$\begin{aligned} \text{กำหนด } 10\% \text{ ของเงินลงทุนเบื้องต้น} &= 10\% \times \text{เงินลงทุนเบื้องต้น (Investment Cost, } C_i) \\ &= 600,000 \times 0.10 \\ &= 60,000 \text{ บาท} \end{aligned}$$

5.3.14 อัตราการผลิตของเตาเผาอิฐประหยัดพลังงาน

$$\begin{aligned} \text{จากการทดสอบเผาอิฐ 8 ครั้ง ติดต่อกัน} & \\ \text{เฉลี่ยอิฐที่สุกได้คุณภาพ} &= 540 \text{ ก้อนต่อBatch} \\ \text{เฉลี่ยเวลาในการเผาอิฐแบบใหม่} &= 6.8 \text{ hr/batch} \\ \text{ชั่วโมงการทำงาน} &= 24 \text{ (hr/day)} \times 25 \text{ (day/month)} \\ &= 600 \text{ (hr/month)} \\ \text{จำนวนอิฐที่ได้} &= 600 \text{ (hr/month)} / 6.8 \text{ (hr/batch)} \times 540 \text{ (ก้อนต่อBatch)} \\ &= 47,647 \text{ ก้อน/เดือน} \\ &= 47,647 \text{ (ก้อน/เดือน)} \times 12 \text{ (เดือน/ปี)} \\ &= 571,765 \text{ ก้อน/ปี} \end{aligned}$$

5.3.15 กำไรจากการผลิตอิฐ

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนอิฐ} &= 3.39 \text{ บาท/ก้อน} \\ \text{ราคาขาย} &= 3.90 \text{ บาท/ก้อน} \\ \text{กำไร} &= 3.90 \text{ (บาท/ก้อน)} - 3.39 \text{ (บาท/ก้อน)} \\ &= 0.51 \text{ บาท/ก้อน} \\ \text{กำลัการผลิต} &= 571,765 \text{ ก้อน/ปี} \\ \text{กำไรทั้งหมด} &= 0.51 \text{ (บาท/ก้อน)} \times 571,765 \text{ (ก้อน/ปี)} \\ &= 291,600 \text{ บาท/ปี} \end{aligned}$$

5.3.16 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนสามารถหาได้จาก เงินลงทุนทั้งหมดหารด้วยกระแสเงินสดสุทธิต่อปี

$$= 757,211.04 \text{ (บาท)} / 291,600 \text{ (บาท/ปี)}$$

$$= 2.6 \text{ ปี}$$

5.3.17 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR)

$$TIC = \sum_{n=1}^5 \frac{NCF_n}{(1+i^*)^n}$$

$$757,211.04 = \sum_{n=1}^4 \frac{291,600}{(1+i^*)^n} + \frac{351,600}{(1+i^*)^5}$$

$$i^* = 37\%$$

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยคิดถึงระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนการลงทุน เมื่อเปรียบเทียบ 2 วิธี คือ การเผาก่อนปรับปรุงเตาเผาอิฐและการเผาหลังปรับปรุงเตาเผาอิฐพบว่า

1. การเผาก่อนปรับปรุงเตาเผาอิฐใช้เวลาในการเผาอิฐ 9.75 ชั่วโมงต่อ 1 ห้องเผา ที่อัตราการไหลของอากาศ 191 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีอัตราการผลิต 398,769 ก้อน/ปี ระยะเวลาคืนทุน 6.62 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุน 8%
2. การเผาหลังปรับปรุงเตาเผาอิฐใช้เวลาในการเผาอิฐ 6.8 ชั่วโมงต่อ 1 ห้องเผา ที่อัตราการไหลของอากาศ 529 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มีอัตราการผลิต 571,765 ก้อนต่อปี เพิ่มขึ้นจากเดิม 43.38% ระยะเวลาคืนทุน 2.60 ปี อัตราผลตอบแทนการลงทุน 37%

สรุปการวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

ลงทุนเบื้องต้นก่อนปรับปรุง 678,445.76 บาท ลงทุนเบื้องต้นหลังปรับปรุง 757,211.04 บาท

ตารางที่ 5.7 วิเคราะห์ผลกำไรและระยะเวลากืนทุน (BP, break event point)

	ราคาขาย บาท/ก้อน (1)	ต้นทุน บาท/ก้อน (2)	กำไร บาท/ก้อน (3)=(1)-(2)	อัตราการผลิต ก้อน/เดือน (4)	กำไรรวม บาท/ปี (5)=(3)*(4)*12	ระยะเวลา กืนทุน ,ปี (6)=ต้นทุน/(5)
ก่อนปรับปรุงเตาเผาอิฐ (9.75 hr/batch)	3.90	3.66	0.24	33,230.77	95,704.62	7.09
หลังปรับปรุงเตาเผาอิฐ (6.8 hr/batch)	3.90	3.39	0.51	47,647.06	291,600.00	2.60

¹กระบวนการเผาต่อเนื่อง ตลอด 24 ชั่วโมง

²ราคาขายและต้นทุนคงที่ในช่วงเวลาที่พิจารณา

³ปริมาณเผาห้องละ 540 ก้อน (540 brick/bath)

ตารางที่ 5.8 วิเคราะห์อัตราผลตอบแทนลงทุน (IRR, internal rate of return)

ปีที่	ก่อนปรับปรุงเตาเผาอิฐ (9.75 hr/batch)		หลังปรับปรุงเตาเผาอิฐ (6.8 hr/batch)	
	เงินสุทธิ	IRR(%)	เงินสุทธิ	IRR(%)
0	(678,445.76)		(757,211.04)	
1	95,704.62		291,600.00	
2	95,704.62		291,600.00	-16%
3	95,704.62	-33%	291,600.00	8%
4	95,704.62	-20%	291,600.00	20%
5	95,704.62	-11%	291,600.00	27%
6	95,704.62	-5%	291,600.00	31%
7	95,704.62	0%	291,600.00	33%
8	95,704.62	3%	291,600.00	35%
9	95,704.62	5%	291,600.00	36%
10	155,704.62	8%	351,600.00	37%