

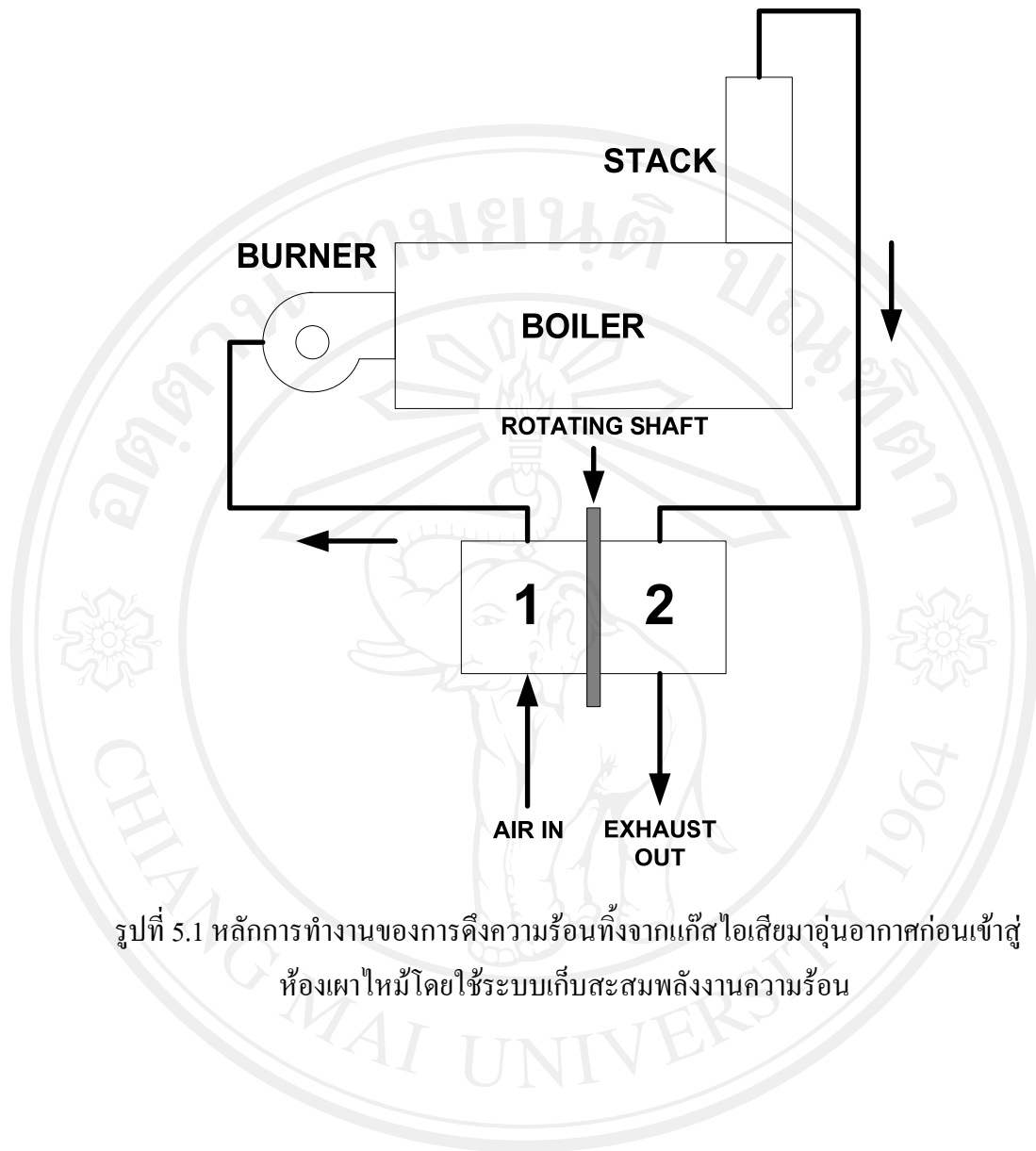
บทที่ 5

กรณีศึกษา

ในบทนี้ จะเป็นการนำระบบเก็บสะสมความร้อน มาทำหน้าที่เป็นชุดสะสมความร้อนทิ้งของหัวเผาของหม้อไอน้ำ เพื่อนำมาใช้ในการอุ่นอากาศก่อนเข้าหัวเผา การศึกษาจะนำโมเดลการจำลองการทำงานที่ได้ดำเนินการในบทที่แล้ว มาใช้ในการคำนวณศักยภาพในการลดการใช้เชื้อเพลิง และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

5.1 ระบบอุ่นอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ

ระบบอุ่นอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำเป็นระบบที่มีการออกแบบมาเพื่อให้มีการนำความร้อนทิ้งจากก๊าซไอเสียกลับมาใช้ โดยความร้อนทิ้งบางส่วนจะถูกเก็บสะสมความร้อนในตัวเก็บสะสมความร้อน และให้อากาศเย็นที่จะใช้ในการเผาไหม้มาแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้อากาศที่เข้าห้องเผาไหม้มีอุณหภูมิสูงใกล้เคียงกับอุณหภูมิใช้งาน ช่วยสามารถประหยัดเชื้อเพลิงและประสิทธิภาพโดยรวมของอุปกรณ์ดีขึ้น ซึ่งประสิทธิภาพโดยรวมของหม้อไอน้ำจะเพิ่มขึ้น 1% ทุก ๆ อุณหภูมิอากาศเข้าเผาไหม้ที่เพิ่มขึ้น 20°C (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2552) หลักการของระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในการอุ่นอากาศแสดงดังรูปที่ 5.1 ระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนจะประกอบด้วย ชุดวัสดุเก็บสะสมความร้อนจำนวน 2 ชุด โดยเริ่มต้นอากาศที่อุณหภูมิห้องจะไหลผ่านชั้นสะสมความร้อนชุด 1 เข้าสู่ห้องเผาไหม้ ในขณะเดียวกันแก๊สไอเสียร้อนจากหม้อไอน้ำ จะไหลผ่านชั้นสะสมความร้อน 2 ส่งผลให้อุณหภูมิของชั้นสะสมความร้อน 2 เพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงช่วงอุณหภูมิที่กำหนดไว้ จากนั้นจะมีการหมุนสลับเปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศที่เข้าสู่ชั้นสะสมความร้อน ทำให้อากาศที่จะเข้าสู่ห้องเผาไหม้นั้นไหลผ่านชั้นสะสมความร้อน 2 ซึ่งถือเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ในขณะเดียวกันก็มีการเปลี่ยนทิศการไหลของแก๊สไอเสียด้วย โดยชั้นสะสมความร้อน 1 จะรับความร้อนจากแก๊สไอเสียแทน ซึ่งการทำงานของระบบจะสลับกันไปเรื่อยๆ ตามช่วงเวลาที่กำหนด ทั้งนี้เงื่อนไขของหม้อไอน้ำ และชนิดของระบบเก็บสะสมพลังงาน ที่ใช้ในการศึกษา แสดงในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.1 หลักการทำงานของเครื่องทำความร้อนที่ดึงความร้อนทิ้งจากแก๊สไอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยใช้ระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อน

5.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงที่สามารถประหยัดได้ เมื่อใช้ระบบเก็บสะสมความร้อน

การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงที่สามารถประหยัดได้ เมื่อใช้ระบบเก็บสะสมความร้อน เพื่อนำมาอุ่นอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ จะส่งผลให้การใช้ปริมาณเชื้อเพลิงของการเผาไหม้ลดลง และค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดต่อหนึ่งรอบการทำงานของชั้นสะสมความร้อนคำนวณได้จาก สมการที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

$$Q_{\text{saving}} = \dot{m}_a c_{p,a} \Delta T \times \text{Time}_{\text{Operate}} \quad (5.1)$$

ค่าพลังงานที่สามารถประหยัดได้ ตามสมการข้างต้น จะพิจารณาในช่วงที่มีการรับพลังงานจากการคายความร้อนของชั้นสะสมความร้อนมาใช้ในการอุ่นอากาศก่อนเข้าหัวเผา

$$\text{Cost}_{\text{saving}} = \frac{Q_{\text{saving}}}{\text{Eff}_{\text{fuel}} \times \text{LHV}} \times \text{Cost}_{\text{fuel}} \quad (5.2)$$

5.3 การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

5.3.1 วิธีประเมินโดยคิดระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period)

วิธีการคำนวณเพื่อหาจำนวนปีที่คุ้มทุนของโครงการที่พิจารณา ซึ่งจะมีการนำดอกเบี้ยมาร่วมวิเคราะห์ สามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) จะได้จากสมการ

$$P = A(P / A, \%, n)$$

$$P / A = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (5.3)$$

5.3.2 วิธีประเมินโดยคิดอัตราผลตอบแทนการคืนทุน (Internal Rate of Return)

อัตราผลตอบแทนการลงทุนหมายถึงอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนการลงทุนมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายการลงทุน หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราผลตอบแทนการลงทุนคืออัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (Net Present Value, NPV) เท่ากับศูนย์ ค่าอัตราส่วนลดที่หาได้คือค่า IRR ซึ่งสามารถคำนวณจาก

$$\text{NPV} = \sum_{n=1}^n \left(\frac{\text{NCF}_n}{(1+i)^n} \right) - \text{TIC} = 0 \quad (5.4)$$

ตารางที่ 5.1 เงื่อนไขการทำงานของหม้อไอน้ำและวัสดุเก็บสะสมความร้อน

ตัวแปร	ปริมาณ
1. ขนาดของหม้อไอน้ำ	0.5-1.5 ตันต่อชั่วโมง
2. A/F ratio	12
3. เชื้อเพลิง	LPG
4. อุณหภูมิน้ำป้อน	60 °C
5. ความดัน	10 Bar
6. อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม	30 °C
7. อุณหภูมิแก๊สไอเสีย	150-250 °C
8. ประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ	75%
9. อัตราการไหลของแก๊สไอเสีย	0.15-0.30 kg/s
10. วัสดุที่ใช้ทดสอบ	หินภูเขาไฟ และลูกบดเซรามิก
11. ขนาดของวัสดุที่ทดสอบ	- หินภูเขาไฟขนาดเฉลี่ยเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ประมาณ 0.0075 m, 0.02m และ 0.04 m - ลูกบดเซรามิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย ประมาณ 0.01 5m, 0.02 m, 0.03m และ0.04m
12. ความหนาชั้นสะสมความร้อน	0.06-0.15 m
13. พื้นที่หน้าตัดของชั้นสะสมความร้อน	0.16 m ²
14. ปริมาณหินภูเขาไฟ / ลูกบดเซรามิก	8.65 kg / 26.4 kg
15. ราคาหินภูเขาไฟ / ราคาลูกบดเซรามิก	16 บาท/กิโลกรัม / 90 บาท/กิโลกรัม
16. ค่าวัสดุอื่นๆ ในการก่อสร้างและติดตั้ง	100,000 บาท
17. อายุการใช้งาน	10 ปี
18. ชั่วโมงการทำงานภายใน 1 วัน	10 ชั่วโมง
19. จำนวนวันทำงานภายใน 1 ปี	300 วัน
20. มูลค่าซาก	5,000 บาท
21. อัตราดอกเบี้ย*	6%
22. ราคาของแก๊สหุงต้ม**	18.46 บาท/กิโลกรัม

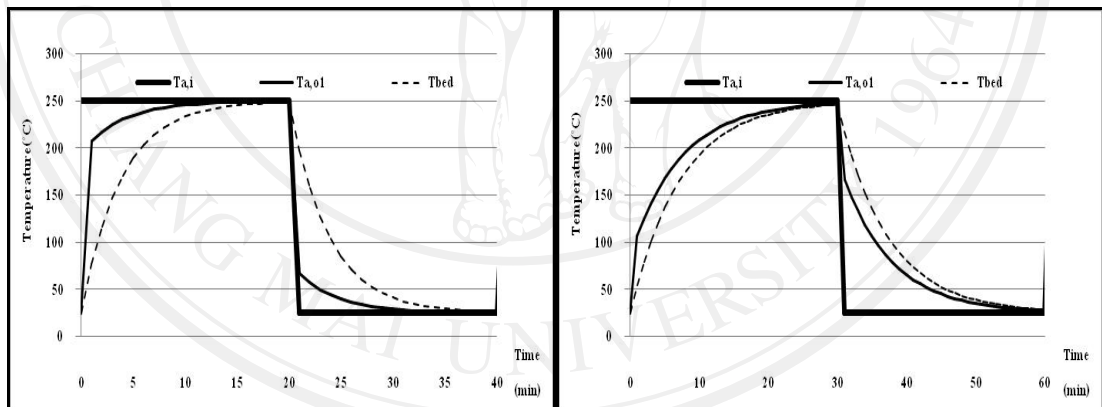
หมายเหตุ *ดอกเบี้ยเงินกู้ขั้นต่ำประเภทเงินกู้ที่มีระยะเวลาของ ธ.ออมสิน 13 ม.ค. 2554

**ราคาแก๊สหุงต้ม ณ วันที่ 22 ม.ค. 2554

5.4 สมรรถนะการทำงานของระบบเก็บสะสมความร้อน

ระบบเก็บสะสมพลังงานตามตารางที่ 5.1 เมื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณสมรรถนะตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้แสดงในบทที่ 4 จะได้ผลการคำนวณ กรณีใช้หินภูเขาไฟและลูกบดเซรามิกเป็นวัสดุสะสมความร้อนดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5.2(a) และ 5.2(b) ตามลำดับ

ในกรณีหินภูเขาไฟ ตามรูปที่ 5.2(a) มีการแสดงระดับอุณหภูมิวัสดุสะสมความร้อนภายในชั้นสะสมความร้อน อุณหภูมิอากาศเข้าและออกจากชั้นสะสมความร้อน พบว่า ระบบจะใช้เวลาในการประจุความร้อนจากแก๊สร้อน ที่อุณหภูมิประมาณ 250°C ประมาณ 20 นาที อุณหภูมิชั้นสะสมความร้อนจะได้ตามต้องการ โดยลูกบดเซรามิกจะใช้ระยะเวลาที่นานกว่าหินภูเขาไฟ คือประมาณ 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 5.2(b) จากนั้นจะมีการสลับทิศทางการไหลของแก๊สร้อนและอากาศที่เข้าสู่ชั้นสะสมความร้อนแต่ละชุดเพื่อให้กระบวนการประจุความร้อนเข้าสู่ชั้นสะสมความร้อน และการคายความร้อนให้อากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยมีการแสดงตัวอย่างการอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ของหินภูเขาไฟและลูกบดเซรามิกไว้ในรูปที่ 5.3(a) และ 5.3(b) ตามลำดับ

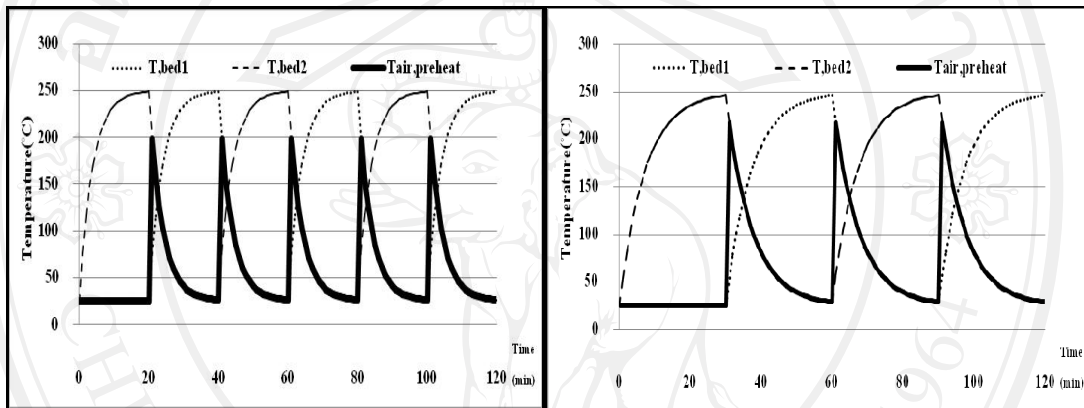


เงื่อนไข : (a) หินภูเขาไฟ, $\phi = 0.04\text{m}$, $\dot{m} = 0.2\text{ kg/s}$, $T_{ai} = 250^{\circ}\text{C}$, $\Delta x = 0.10\text{ m}$

: (b) หินภูเขาไฟ, $\phi = 0.04\text{m}$, $\dot{m} = 0.2\text{ kg/s}$, $T_{ai} = 250^{\circ}\text{C}$, $\Delta x = 0.10\text{ m}$

รูปที่ 5.2 อุณหภูมิภายในชั้นสะสมความร้อนที่ใช้ลูกบดเซรามิกเป็นวัสดุสะสมความร้อน

จากรูปที่ 5.3 อุณหภูมิของอากาศที่ได้รับการอุ่นก่อนเข้าสู่หัวเผา เมื่อมีการนำความร้อนทิ้งจากอากาศกลับมาใช้ใหม่ร่วมกับระบบสะสมความร้อน จากนั้นเมื่อมีการสลับทิศทางการไหลของอากาศร้อนที่เข้าสู่ชั้นสะสมความร้อนและอากาศที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมก่อนเข้าหัวเผา จะทำให้อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าสู่หัวเผาสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จากนั้นจะลดลงช้า ๆ ทั้งนี้เนื่องจาก อุณหภูมิของชั้นสะสมความร้อนค่อย ๆ ลดลง ทำให้ความร้อนที่จะถ่ายเทให้แก่ภาคน้อยลงตามไปด้วย เมื่อมีการสลับทิศทางการไหลของอากาศอีก อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าห้องก็จะได้รับการเพิ่มอุณหภูมิเช่นกัน ซึ่งจะช่วยให้ประหยัดเชื้อเพลิงในการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่อากาศ



เงื่อนไข : (a) หินภูเขาไฟ, $\phi = 0.04\text{m}$, $\dot{m}_a = 0.2\text{ kg/s}$, $T_{ai} = 250^\circ\text{C}$, $\Delta x = 0.10\text{ m}$

: (b) หินภูเขาไฟ, $\phi = 0.04\text{m}$, $\dot{m}_a = 0.2\text{ kg/s}$, $T_{ai} = 250^\circ\text{C}$, $\Delta x = 0.10\text{ m}$

รูปที่ 5.3 อุณหภูมิของระบบสะสมความร้อนที่มีการติดตั้งชั้นสะสมความร้อน 2 ชุดทำงานร่วมกัน

5.5 การวิเคราะห์หาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์หาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนแบบก้อนกรวดที่มีการไหลบายนวนโดยพิจารณาศักยภาพอัตราการประหยัดพลังงานเมื่อมีการนำความร้อนกลับคืนมาใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าระบบหัวเผาภายในห้องเผาไหม้โดยพิจารณาเกี่ยวกับเงินลงทุนในอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนเทียบกับค่าเชื้อเพลิงที่ประหยัดได้

อนึ่งในการวิเคราะห์หาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ได้กำหนดค่าเริ่มต้นของการวิเคราะห์ดังตารางที่ 5.1 ดังต่อไปนี้

ในกรณีของความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์เมื่อเทียบกับเชิงความร้อนที่สามารถประหยัดได้ เทียบความหนาของชั้นสะสมความร้อน ชนิดและขนาดของวัสดุเก็บสะสมความร้อนอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน อัตราการไหลของแหล่งจ่ายความร้อนแสดงได้ดังแสดงในตารางที่ 5.2-5.5

จากตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบชั้นสะสมความร้อนที่ความหนาต่าง ๆ ในเชิงของค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการซื้อเชื้อเพลิงที่สามารถประหยัดได้และเชิงเศรษฐศาสตร์พบว่า ความหนาของชั้นสะสมความร้อนที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ปริมาณความร้อนที่สะสมได้และระยะเวลาที่ใช้ในการประจุความร้อนต่อหนึ่งรอบการทำงานเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ใช้เวลาสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการซื้อเชื้อเพลิงได้มากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับระยะเวลาคืนทุนที่สั้นลงและค่าอัตราผลตอบแทนของโครงการลงทุนที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นด้วย โดยลูกบดเซรามิกเหมาะกับการใช้เป็นวัสดุสะสมความร้อนกว่าหินภูเขาไฟ

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในเชิงความหนาของชั้นสะสมความร้อน

Material	Δx (m)	Diameter (m)	Temperature (°C)	Air Flowrate (kg/s)	$Q_{\text{save}}/\text{year}$ (kJ/year)	Cost saving (Baht/year)	Investment Cost (Baht)	SPP (year)	IRR (%)
Stone	0.06	0.02	200	0.25	2.31E+07	9,162.34	100,081	*	**
	0.10				3.68E+07	14,567.45	100,138	9.1	7.98
	0.15				4.74E+07	18,769.58	100,196	6.63	13.76
Ceramics	0.06	0.02	200	0.25	4.47E+07	17,714.46	101,330	7.22	12.09
	0.10				5.73E+07	22,713.00	102,376	5.42	18.18
	0.15				5.84E+07	23,116.40	103,348	5.37	18.0

หมายเหตุ * ระยะเวลาคืนทุนมากกว่าระยะโครงการ ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการลงทุน

** เป็นโครงการที่ขาดทุน

จากตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบชนิดและขนาดของวัสดุสะสมความร้อน พบว่า หินภูเขาไฟมีความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานได้ต่ำกว่าลูกบดเซรามิกทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการซื้อเชื้อเพลิงได้น้อยกว่าโดยที่ขนาดของวัสดุสะสมความร้อนที่มีขนาดเล็กจะสามารถเก็บสะสมความร้อนได้ดีกว่า ทั้งนี้อาจมีสาเหตุเนื่องมาจาก ตัวสะสมความร้อนที่มีขนาดเล็กสามารถบรรจุภายในชั้นสะสมความร้อนได้ในปริมาณที่มากกว่า มีช่องว่างของอากาศภายในชั้นสะสมความร้อนน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบในเชิงระยะเวลาคืนทุนและค่าอัตราผลตอบแทนภายในของการลงทุน พบว่า หินภูเขาไฟยังไม่คุ้มค่าในการใช้เป็นตัวเก็บสะสมพลังงานความร้อนภายในชั้นสะสมความร้อน

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในเชิงชนิดและขนาดของวัสดุสะสมความร้อน

Material	Δx (m)	Diameter(m)	Temperature (°C)	Air Flow rate (kg/s)	Q_{save} (kJ/year)	Cost saving (Baht/year)	Investment Cost (Baht)	SPP (year)	IRR (%)
Stone		0.0075	200	0.15	4.44E+07	17,604.05	100,150.6	7.17	12.22
		0.02			2.16E+07	8,564.20	100,138.4	*	**
		0.04			1.05E+07	4,169.45	100,118.9	*	**
Ceramics	0.15	0.015	200	0.15	5.09E+07	20,175.70	103,366	6.31	14.78
		0.02			4.58E+07	18,127.00	103,168	7.17	12.2
		0.03			3.83E+07	15,168.65	102,772	8.96	8.28
		0.04			3.02E+07	11,959.42	102,376	*	3.63

หมายเหตุ * ระยะเวลาคืนทุนมากกว่าระยะโครงการ ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการลงทุน

** เป็นโครงการที่ขาดทุน

จากตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบการสะสมความร้อนที่อุณหภูมิระดับต่าง ๆ พบว่าใน 1 รอบการทำงานของระบบเก็บสะสมความร้อน การประจุและคายความร้อนหินภูเขาไฟสามารถได้ไวกว่าลูกบดเซรามิกจึงอาจกล่าวได้ว่ามีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าลูกบดเซรามิก แต่เมื่อพิจารณาในเชิงความร้อนที่สามารถประจุเก็บในระบบสะสมพลังงานได้นั้นปรากฏว่า หินภูเขาไฟทำได้ต่ำกว่าลูกบดเซรามิก โดยที่ระดับอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่สูงวัสดุเก็บสะสมความร้อนทั้งสองชนิดจะสามารถเก็บสะสมความร้อนได้มากขึ้นเช่นเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบในเชิงความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า หินภูเขาไฟยังไม่คุ้มค่าในการใช้เป็นวัสดุเก็บสะสมพลังงานความร้อนเมื่อเทียบกับลูกบดเซรามิก ทั้งในเชิงระยะเวลาคืนทุน (SPP) และอัตราผลตอบแทนการคืนทุน (IRR)

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในเชิงอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน

Material	Δx (m)	Diameter(m)	Temp(°C)	Air Flow rate (kg/s)	$Q_{save}/year$ (kJ/year)	Cost saving (Baht/year)	Investment Cost (Baht)	SPP (year)	IRR (%)
Stone	0.15	0.0075	150	0.15	2.66E+07	10532.02	100196.2	*	1.72
			200		3.72E+07	14744.99		8.99	8.23
			250		4.79E+07	18958.10		6.55	14.01
Ceramics	0.015	0.015	150	0.15	4.35E+07	17217.55	104402.8	7.77	10.72
			200		6.09E+07	24106.51		5.17	19.29
			250		7.94E+07	31459.62		3.82	27.62

หมายเหตุ * ระยะเวลาคืนทุนมากกว่าระยะโครงการ ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการลงทุน

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบในอัตราการไหลเชิงมวลของไอเสียที่ส่งผลต่อชั้นสะสมความร้อนพบว่า เมื่ออัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สไอเสียผ่านชั้นสะสมความร้อนเพิ่มขึ้นจะใช้เวลาในการประจุและคายความร้อนไว้นั้นทำให้ต้องมีการสลับทิศทางการประจุและคายความร้อนของชั้นสะสมความร้อนที่บ่อยขึ้น โดยที่ใน 1 รอบการทำงานของระบบสะสมความร้อนเดียวกัน ลูกบดเซรามิกสามารถสะสมความร้อนได้มากกว่าและใช้เวลาในการประจุและคายความร้อนน้อยกว่าหินภูเขาไฟ แต่เมื่อคิดในระยะยาวตลอดระยะเวลา 1 ปี พบว่า อัตราการเชิงมวลของอากาศที่สูง (0.3kg/s) หินภูเขาไฟสามารถเก็บสะสมความร้อนได้มากกว่าเซรามิกที่อัตราการเชิงมวลของอากาศที่ต่ำ (0.15kg/s) จึงอาจกล่าวได้ว่า ระยะเวลาที่ใช้ในการสลับทิศทางการไหลของแก๊สไอเสียและอากาศเย็นเข้ามีความสำคัญต่อระบบเก็บสะสมพลังงานเป็นอย่างยิ่ง อีกทั้งอัตราการไหลเชิงมวลของแก๊สไอเสียที่สูงขึ้นก็ยังส่งผลทำให้มีระยะเวลาคืนทุน(SPP)ที่สั้นลงและอัตราผลตอบแทนการคืนทุน(IRR)สูงที่สุดด้วย แต่กระนั้นต้องคำนึงถึงระยะเวลาคืนทุน (SPP)ด้วย เนื่องจากบางกรณีนั้นระยะเวลาในการคืนทุนมากกว่าระยะเวลาโครงการ

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในเชิงอัตราไหลเชิงมวลของแก๊สไอเสีย

Material	Δx (m)	Diameter(m)	Temp(°C)	Air Flow rate (kg/s)	$Q_{save}/year$ (kJ/year)	Cost saving (Baht/year)	Investment Cost (Baht)	SPP (year)	IRR (%)
Stone	0.15	0.0075	250	0.15	3.03E+07	12,011	100,168	*	4.12
				0.20	4.12E+07	16,302	100,168	7.9	10.44
				0.25	5.24E+07	20,749	100,168	5.87	16.33
				0.30	6.40E+07	25,361	100,168	4.65	22.00
Ceramic	0.15	0.15	250	0.15	4.26E+07	16,874	103,168	7.85	10.54
				0.20	5.72E+07	22,667	103,168	5.48	17.91
				0.25	7.10E+07	28,125	103,168	4.27	24.30
				0.30	8.52E+07	33,750	103,168	3.48	30.54

หมายเหตุ * ระยะเวลาคืนทุนมากกว่าระยะโครงการ ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการลงทุน