

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	๗
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฉ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	๗
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 สาระสำคัญของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	5
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย	7
2.1 ระบบสะสมพลังงานความร้อน	7
2.2 ระบบสะสมพลังงานความร้อนแบบสัมผัส	9
2.3 การเลือกสารตัวกลาง	9
2.4 สมบัติของวัสดุตัวกลางที่นำมาทดสอบ	11
2.5 ระบบสะสมพลังงานความร้อนแบบถังกรวด	13
2.6 แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของชั้นสะสมความร้อน	15
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการวิจัย	17
3.1 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	17

3.2 การทดสอบระบบเก็บสะสมความร้อนแบบก้อนกรวดที่มีการไหลบายพาส	24
3.3 การตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบเก็บสะสมความร้อนแบบก้อนกรวดที่มีการไหลบายพาสเทียบกับค่าที่ได้จากการทดสอบ	25
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดสอบ	26
4.1 สมรรถนะของระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อน	26
4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและความดันอากาศตกคร่อมชั้นสะสมความร้อน	32
4.3 การเปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองเทียบกับผลการทดลอง	33
บทที่ 5 กรณีศึกษา	35
5.1 ระบบอุ่นอากาศก่อนเข้าห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ	35
5.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงที่สามารถประหยัดได้ เมื่อใช้ระบบเก็บสะสมความร้อน	37
5.3 การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	37
5.4 สมรรถนะการทำงานของระบบเก็บสะสมความร้อน	39
5.5 การวิเคราะห์หาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์	40
บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ	45
6.1 การสร้างแบบจำลองของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตรและค่าความดันอากาศตกคร่อม	45
6.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อนและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์	46
6.3 ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ	51
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดสอบ	60



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Copyright© by Chiang Mai University

All rights reserved

สารบัญภาพ

รูป	หน้า	
2.1	ไดอะแกรมแสดงระบบสะสมพลังงานทางความร้อน	7
2.2	ไดอะแกรมแสดงการสะสมความร้อนสัมผัส	8
2.3	ลูกบดเซรามิกที่ใช้ในการทดสอบ	11
2.4	หินภูเขาไฟที่ใช้ในการทดสอบ	12
2.5	ระบบการสะสมพลังงานแบบถั่งกรวด (Pebble bed)	13
2.6	สมดุลพลังงานในระบบการสะสมพลังงานแบบถั่งกรวดที่มีการไหลแบบบายพาส	14
2.7	แผนผังการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	16
3.1	ไดอะแกรมของชุดทดสอบการจำลองระบบเก็บสะสมความร้อนแบบถั่งกรวดที่มีการไหลบายพาส	17
3.2	ภาพถ่ายของชั้นสะสมความร้อนในรูปแบบ 3 มิติ	18
3.3	จุดที่มีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลในการวัดอุณหภูมิภายในอุโมงค์ลม	19
3.4	อุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดสอบ	20
3.5	พัดลมส่งอากาศที่ใช้ในการทดสอบ	20
3.6	ชุดหัวเผาแก๊สที่ใช้ในการทดสอบ	21
3.7	เครื่องเก็บข้อมูลทดสอบ	21
3.8	สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K	22
3.9	อุปกรณ์วัดความดันอากาศตกคร่อมหม้อน้ำรถยนต์	22
3.10	อุปกรณ์วัดความเร็วของอากาศ	23
3.11	ลักษณะการปิดช่องลมทางเข้าของพัดลมส่งอากาศ	23
4.1	ตัวอย่างกราฟแสดงอุณหภูมิของอากาศและชั้นสะสมความร้อน	26
4.2	การเปรียบเทียบในเชิงอิทธิพลของความหนาของชั้นสะสมความร้อน	27
4.3	การเปรียบเทียบในเชิงอิทธิพลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุสะสมความร้อน	29
4.4	การเปรียบเทียบในเชิงอิทธิพลของอัตราการไหลเชิงมวลของแหล่งจ่ายความร้อน	30
4.5	การเปรียบเทียบในเชิงอิทธิพลของอุณหภูมิของแหล่งจ่ายความร้อน	31

4.6	การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของค่าความดันตกคร่อมชั้นสะสมความร้อน	32
4.7	ตัวอย่างการเปรียบเทียบอุณหภูมิของหินภูเขาไฟที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง	33
4.8	ตัวอย่างการเปรียบเทียบอุณหภูมิของลูกบดเซรามิกที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง	34
5.1	หลักการทำงานของการดึงความร้อนทิ้งจากแก๊สไอเสียมาอุ่นอากาศก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้โดยใช้ระบบเก็บสะสมพลังงานความร้อน	36
5.2	อุณหภูมิภายในชั้นสะสมความร้อนที่ใช้ลูกบดเซรามิกเป็นวัสดุสะสมความร้อน	39
5.3	อุณหภูมิของระบบสะสมความร้อนที่มีการติดตั้งชั้นสะสมความร้อน 2 ชุดทำงานร่วมกัน	40

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
a	ค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร	-
A_{bed}	พื้นที่หน้าตัดของชั้นสะสมความร้อน	m^2
A	ผลต่างของกำไรสุทธิต่อปีที่ได้จาก การประหยัดค่าไฟฟ้า หลังจากติดตั้งระบบสะสมความร้อนแบบก้อนกรวดที่มีการ ไหลแบบบายพาส	Baht/year
b	ค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลองการถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร	-
C_1	ค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลองความดันตกคร่อม	-
C_2	ค่าคงที่ที่ได้จากแบบจำลองความดันตกคร่อม	-
$Cost_{saving}$	ราคาพลังงานที่สามารถประหยัดได้	บาท
$Cost_{fuel}$	ราคาเชื้อเพลิง	บาท/หน่วย
$C_{p,a}$	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ	$J/kg.^{\circ}C$
$C_{p,b}$	ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุสะสมความร้อน	$J/kg.^{\circ}C$
D_b	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของหินภูเขาไฟ, ลูกบดเซรามิก	m
Eff_{fuel}	ประสิทธิภาพของแหล่งจ่ายความร้อน	-
G	อัตราการไหลเชิงมวลต่อพื้นที่หน้าตัด	$kg/s.m^2$
h_v	สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อนเชิงปริมาตร	$W/m^3.K$
h_v'	สัมประสิทธิ์การแลกเปลี่ยนความร้อนเชิงปริมาตรสมมติ	$W/m^3.K$
i	อัตราผลตอบแทนในการลงทุนของการใช้ระบบสะสมความ ร้อนแบบก้อนกรวดที่มีการไหลแบบบายพาส	-
LHV	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง	J/kg
$\dot{m}_a$	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ	kg/s
N	ระยะเวลากินทุน	year
n	อายุการใช้งานของระบบสะสมความร้อนแบบก้อนกรวดที่มี การไหลแบบบายพาส	year

NCF_n	ผลกำไรสุทธิในปีที่ n	Baht
NPV	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ	Baht
P	มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนในการซื้อและติดตั้งระบบสะสมความร้อนแบบกอนกรวดที่มีการไหลแบบบายพาส	Baht
$\dot{Q}$	อัตราการความร้อนจากการพา	W
$\dot{Q}_{in}$	อัตราการความร้อนที่เข้าสู่ระบบ	W
$\dot{Q}_{accumulated}$	อัตราการความร้อนที่สะสมภายในระบบ	W
$\dot{Q}_{out}$	อัตราการความร้อนที่ออกจากระบบ	W
$\dot{Q}_{loss}$	อัตราการความร้อนที่สูญเสียจากระบบ	W
$\dot{Q}_d$	อัตราการความร้อนที่ดึงมาใช้งาน	W
Q_{saving}	พลังงานที่สามารถประหยัดได้	W
Re	ค่าเรย์โนลด์ส้นัมเบอร์	-
$T_{a,i}$	อุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าสู่ชั้นสะสมความร้อน	°C
$T_{a,o}$	อุณหภูมิอากาศที่ไหลออกจากชั้นสะสมความร้อน	°C
$T_{b,t}$	อุณหภูมิภายในชั้นสะสมความร้อนที่เวลา t	°C
$T_{b,t+\Delta t(exp)}$	อุณหภูมิภายในชั้นสะสมความร้อนที่เวลา t+Δt จากการทดลอง	°C
$T_{b,t+\Delta t(model)}$	อุณหภูมิภายในชั้นสะสมความร้อนที่เวลา t+Δt จากแบบจำลอง	°C
T_{amb}	อุณหภูมิอากาศโดยรอบชุดทดสอบ	°C
TIC	มูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนทั้งหมด	Baht
$Time_{operate}$	ระยะเวลาในการเดินเครื่อง	s
V	ปริมาตร	m ³
Δx	ความหนาของชั้นสะสมความร้อนที่ใช้ในการวิเคราะห์	m
ΔT	ผลต่างของระดับอุณหภูมิ ณ เวลาใดๆ	K
Δp	ค่าความดันตกคร่อม	Pa
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m ³
ρ_b	ความหนาแน่นของวัสดุภายในชั้นสะสมความร้อน	kg/m ³
μ	ความหนืดของอากาศ	kg/m.s

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 ลักษณะการบรรจุวัสดุภายในชั้นสะสมความร้อน	6
2.1 ข้อดี ข้อด้อยของการสะสมพลังงานแบบต่าง ๆ	8
2.2 ค่าความจุความร้อนจำเพาะของตัวกลางที่เก็บสะสมพลังงาน	9
2.3 สมบัติที่ใช้ในการพิจารณาเลือกสารตัวกลาง	10
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของหินภูเขาไฟ	12
2.5 สมบัติเฉพาะของวัสดุที่ใส่ในชั้นสะสมความร้อน (ผลจากการทดลอง)	13
3.1 ลักษณะการบรรจุวัสดุภายในชั้นสะสมความร้อน	24
4.1 ค่าคงที่ a และ b สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเชิงปริมาตร $h_v = a \left(\frac{G}{D_b} \right)^b$	32
4.2 ตัวอย่างเงื่อนไขในการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองและแบบจำลอง	34
5.1 เงื่อนไขการทำงานของหม้อไอน้ำและวัสดุเก็บสะสมความร้อน	38
5.2 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในเชิงความหนาของชั้นสะสมความร้อน	41
5.3 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในเชิงชนิดและขนาดของวัสดุสะสมความร้อน	42
5.4 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในเชิงอุณหภูมิแหล่งจ่ายความร้อน	43
5.5 การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในเชิงอัตราไหลเชิงมวลของแก๊สไอเสีย	44