

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ท
อักษรย่อและสัญลักษณ์	ณ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	4
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	10
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับการศึกษาเชิงทฤษฎี	10
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	10
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 หลักการและทฤษฎีของท้อความร้อนแบบธรรมดา	12
2.2 หลักการและทฤษฎีของท้อความร้อนแบบสั้น	18
2.3 ตัวแปรไร้มิติ	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดสอบ	
3.1 วัตถุประสงค์ในการทดสอบ	27
3.2 ชุดทดสอบ	28
3.3 ขั้นตอนในการทดสอบ	32
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิจารณ์ผลการทดสอบ	
4.1 ผลของมุมเอียง ชนิดสารทำงานและอุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน	37

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2 ผลของตัวแปรไรมิตีที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน	39
4.3 ผลของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านในท่อ	53
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	59
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลของอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการทดลอง	65
ตารางแสดงผล ตัวแปรไรมิตี จากการทดลอง	
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณ	98
ภาคผนวก ง ตารางแสดงคุณสมบัติของสารทำงานน้ำและอะซิโตน	105
ประวัติผู้เขียน	111

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 ค่า B_o ซึ่งทดสอบที่สภาวะต่าง ๆ โดยใช้อะซิโตนเป็นสารทำงาน	40
4.2 ค่า B_o ในสภาวะการทดสอบต่าง ๆ โดยใช้น้ำเป็นสารทำงาน	40
ข-1 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 0.8 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	66
ข-2 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 1.0 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	67
ข-3 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 1.4 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	68
ข-4 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 1.7 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	69
ข-5 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 0.8 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	70
ข-6 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 1.0 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	71
ข-7 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 1.4 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	72
ข-8 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 1.7 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	73
ข-9 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 0.8 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	74
ข-10 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 1.0 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	75
ข-11 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 1.4 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	76

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข-12 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 1.7 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	77
ข-13 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 0.8 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	78
ข-14 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 1.0 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	79
ข-15 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 1.4 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	80
ข-16 ผลการทดลองอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 1.7 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	81
ข-17 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 0.8 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	82
ข-18 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 1.0 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	83
ข-19 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 1.4 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	84
ข-20 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 1.7 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	85
ข-21 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 0.8 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	86
ข-22 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 1.0 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	87

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
ข-23 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 1.4 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	88
ข-24 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นน้ำ มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 1.7 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	89
ข-25 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 0.8 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	90
ข-26 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 1.0 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	91
ข-27 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 1.4 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	92
ข-28 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน 90 องศา ความเร็วลม 1.7 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	93
ข-29 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 0.8 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	94
ข-30 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 1.0 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	95
ข-31 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 1.4 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	96
ข-32 ผลการทดลองค่าตัวแปรไร้มิติ สารทำงานเป็นอะซิโตน มุมทำงาน -90 องศา ความเร็วลม 1.7 m/s จำนวน 16 โค้งเลี้ยว	97
ง-1 คุณสมบัติสารทำงาน Acetone	106
ง-2 คุณสมบัติสารทำงาน Water	107

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตาราง	หน้า
ง-3 ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมกับสารทำงานต่างๆ	108
ง-4 คุณสมบัติของโลหะต่างๆ	109
ง-5 คุณสมบัติต่างๆ ของอากาศที่ค่าความดันบรรยากาศ	110

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 ส่วนประกอบของท่อความร้อน	2
1.2 ลักษณะการทำงานของท่อความร้อนแบบสัน	3
1.3 แผงคอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์	3
1.4 การไหลแบบฟองไอ	6
1.5 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่อัตราส่วนการเดินสารทำงานของท่อความร้อนแบบสันปลายปิด	7
1.6 ประเภทรีบระบายความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	8
1.7 ลักษณะโครงสร้างคอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์	11
2.1 ลักษณะส่วนประกอบของเทอร์โมไซฟอน	13
2.2 ความต้านทานในส่วนต่างๆที่เกิดขึ้นในท่อความร้อน	14
2.3 รูปแบบของท่อความร้อนแบบสัน	19
2.4 การกระจายอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลสวนทาง	20
3.1 คอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์ก่อนดัดแปลงเพื่อใช้ในการทดสอบ	28
3.2 ชุดทดสอบอุโมงค์ลม	28
3.3 ชุดทดสอบอุโมงค์ลม	29
3.4 ส่วนทดสอบ	30
3.5 ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิ	30
3.6 รูปร่างลักษณะภายในท่อแผงคอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์	31
3.7 รีบระบายความร้อนของแผงคอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์	31
3.8 แผงคอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์หลังดัดแปลงเป็นท่อความร้อนแบบสัน	32
3.9 แผนผังการติดตั้งและการทำงานของชุดทดสอบ	33
3.10 ขั้นตอนการทดลอง	35

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูป	หน้า
4.1 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันที่ดัดแปลงมาจากแผงคอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์กรณีใช้น้ำเป็นสารทำงาน	38
4.2 อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันที่ดัดแปลงมาจากคอนเดนเซอร์ระบบปรับอากาศรถยนต์กรณีใช้เอซีโตนเป็นสารทำงาน	39
4.3 ค่า Bo_{90} ที่อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนต่างๆกรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง	41
4.4 แสดงค่า Bo_{90} ที่อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนต่างๆกรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านบน	41
4.5 ค่า Bo_{90} ที่ความเร็วอากาศต่างๆกรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง	42
4.6 ค่า Bo_{90} ที่ความเร็วอากาศต่างๆกรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านบน	42
4.7 ผลของ Bo_{90} ที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนกรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง	43
4.8 ผลของ Bo_{90} ที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนกรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านบน	44
4.9 ค่า Fr_{90} ที่อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนต่างๆ กรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง	45
4.10 ค่า Fr_{90} ที่ความเร็วอากาศต่างๆ กรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง	46
4.11 ผลของ Fr ที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนกรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง	46
4.12 ค่า Fr_{90} ที่อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนต่างๆ กรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านบน	47
4.13 ค่า Fr_{90} ที่ความเร็วอากาศต่างๆ กรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านบน	48
4.14 ผลของ Fr_{90} ที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนกรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านบน	48
4.15 ค่า We_{90} ที่อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนต่างๆ กรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง	49
4.16 ค่า We_{90} ที่ความเร็วอากาศต่างๆ กรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง	50
4.17 ผลของ We_{90} ที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนกรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง	50
4.18 ค่า We_{90} ที่อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนต่างๆ กรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านบน	51
4.19 แสดงค่า We ที่ความเร็วอากาศต่างๆ กรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านบน	52
4.20 ผลของ We_{90} ที่มีต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนกรณีส่วนทำระเหยอยู่ด้านบน	52
4.21 ผลของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง	53
4.22 ผลของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านในท่อความร้อน ส่วนทำระเหยอยู่ด้านบน	54

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่	m^2
Bo	ตัวเลขของบอนด์	-
c_p	ค่าความร้อนจำเพาะของสาร	$J/kg \cdot ^\circ C$
D	เส้นผ่านศูนย์กลาง	m
d	เส้นผ่านศูนย์กลาง	m
F	อัตราการเติมสารทำงาน	%
Fr	ตัวเลขของฟรูด	-
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
h	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
h_{fg}	เอนทัลปีของการกลายเป็นไอ	kJ/kg
Ja	ตัวเลขของจาคอป	-
k	ค่าสภาพการนำความร้อน	$W/m \cdot ^\circ C$
L	ความยาว	m
$\dot{m}$	อัตราการไหลของมวลสาร	kg/s
Pr	ตัวเลขของแพรทเติล	-
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
r	รัศมี	m
T	อุณหภูมิ	$^\circ C$
U	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
v	ความเร็ว	m/s
We	ตัวเลขของเวเบอร์	-

อักษรย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
Z	ค่าความต้านทานความร้อน	$^{\circ}\text{C/W}$
ρ	ความหนาแน่นของสาร	kg/m^3
σ	แรงตึงผิว	N/m
μ	ความหนืดของสาร	Pas
ตัวกำกับล่าง	ความหมาย	
a	ส่วนเกินความร้อน	
c	ส่วนควบแน่น	
e	ส่วนทำระเหย	
o	ภายนอก	
i	ภายใน	
l	ของเหลว	
v	ไอ	