

สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ



นาย ณะสิทธิ์ องค์กรณะสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-5138-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

121937953

THE PERFORMANCE OF AN EVAPORATIVE CONDENSER AIR CONDITIONER

Mr. Thanasit Ongthanasuk

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-5138-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ

โดย

นายธนະสิทธิ์ องค์กรนะสุข

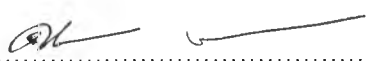
สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

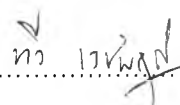
อาจารย์ที่ปรึกษา

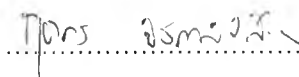
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน

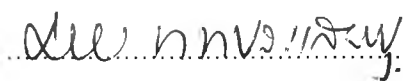
คณะกรรมการ คณาจารย์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

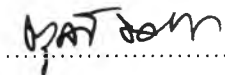

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัญย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ตุลย์ มณีวัฒนา)

นายธนสิทธิ์ องค์กรณะสุข : สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (THE PERFORMANCE OF AN EVAPORATIVE CONDENSER AIR CONDITIONER), อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ฤชากร จิรกาลวสาน, 143 หน้า. ISBN 974-17-5138-9

ในปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีมากขึ้น โดยจากการสำรวจพบว่าการใช้ไฟฟ้าทางด้านระบบปรับอากาศมีปริมาณการใช้มากที่สุดประมาณ 60 % ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดภายในอาคาร โดยเฉพาะเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ และประหยัดพลังงานไฟฟ้า เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำจึงน่าสนใจที่จะนำมาแทน

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทั้งสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำซึ่งปรับปรุงมาจากเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่สภาวะอากาศภายนอกต่าง ๆ และได้ศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

จากผลการวิจัยพบว่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศภายนอก ซึ่งดีกว่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอก เพราะในสภาวะอากาศทั่วไปอุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งเสมอ ดังนั้นคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำจึงสามารถถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้น อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศจึงต่ำลง ส่งผลให้ความดันทางด้านส่งของคอมเพรสเซอร์ลดลงซึ่งจะช่วยยืดอายุการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้นานขึ้น และพลังงานที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์ก็น้อยลง โดยผลการวิจัยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวม(COP_o) หรืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน(EER) เพิ่มขึ้น 19.63 % ในขณะที่ค่าการลงทุนที่เพิ่มขึ้นสามารถคืนทุนได้ภายใน 4 ปี 4 เดือน

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อผู้ผลิต.....ธนสิทธิ์ องค์กรณะสุข.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ฤชากร จิรกาลวสาน.....

4370326521 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEYWORD : EVAPORATIVE CONDENSER / AIR CONDITIONER

THANASIT ONGTHANASUK : THE PERFORMANCE OF AN EVAPORATIVE CONDENSER AIR CONDITIONER, THESIS ADVISOR : ASST.PROF.RICHAKORN CHIRAKALWASAN , 143 pp. ISBN 974-17-5138-9

At present, the demand for the electricity consumption has increased. A survey showed that majority of electricity was used in the air conditioning system, at approximately 60 percent of total electricity used in buildings, especially those using the air cooled split type room air conditioners. In order to increase the efficiency of the air conditioning system and save electricity, one should consider using the evaporative condenser air conditioners.

This research studied the performance of an evaporative condenser air conditioner, which was improved heat rejected from air cooled condenser system, in different environment and compare the differences between performance of evaporative condenser system and air cooled condenser system.

The results showed that performance of an evaporative condenser air conditioner depend on the wet bulb temperature of the outside room, which is better than the performance of air cooled air conditioner that depend on the dry bulb temperature of the outside room. The wet bulb temperature is always lower than the dry bulb temperature. Therefore, the evaporative condenser system can transfer heat rejected much better than air cooled condenser system. In addition to condensing temperature, compressor head pressure and consumption of electricity in compressor were reduced. The compressor life will be increased, the over all coefficient of performance (COP_o) or the energy efficiency ratio (EER) increased by 19.63%. As a result, the cost of investment can be payback within 4 years 4 months.

Department Mechanical Engineering Student's Signature.....*Th. Ongthanasuk*.....

Field of study Mechanical Engineering Advisor's Signature.....*R. Chirakalwasan*.....

Academic year 2003

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากหลายฝ่ายด้วยกัน ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าคอยช่วยเหลือให้คำแนะนำปรึกษา และแนะนำแนวทางในการวิจัย แนวทางแก้ปัญหา และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์นำมาซึ่งความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึง รองศาสตราจารย์ ทวี เวชพฤติ ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.มานิจ ทองประเสริฐ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ตุลย์ มณีวัฒนา ซึ่งได้ให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้ห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ และครุปฏิบัติงานทุกท่าน และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ที่ให้การสนับสนุนเรื่องทุนวิจัย

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณคุณคุณ นิสิต ไสยลักษณ์ และคุณ ชูศักดิ์ แสงไช้ ที่ช่วยในการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณเพื่อน ๆ และน้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอาคารที่ช่วยเหลือในยามที่ต้องการเป็นอย่างดี

และในท้ายที่สุด ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา ซึ่งอบรมสั่งสอน และครอบครัวซึ่งคอยเป็นกำลังใจ ให้ความสนับสนุนในด้านต่าง ๆ เป็นอย่างดีถึงจนกระทั่งข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์	ง
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์อังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	5
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	5
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..	10
3.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ	10
3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ.....	12
3.3 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน.....	12
3.4 ผลจากการลดอุณหภูมิควบแน่นต่อประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ	13
3.5 การออกแบบคอนเดนเซอร์.....	15
3.6 หลักการทำงานของคอนเดนเซอร์แบบระเหยน้ำ.....	23
3.7 วิธีวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน.....	27
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	30
4.1 ลักษณะของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในงานวิจัย.....	30
4.2 การออกแบบชุดคอนเดนเซอร์ในงานวิจัย.....	32
4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	33
4.4 การดำเนินการทดสอบ.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	45
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	77
6.1 สรุปผลการวิจัย	77
6.2 ข้อเสนอแนะ	78
รายการอ้างอิง.....	79
ภาคผนวก.....	82
ภาคผนวก ก มาตรฐานการทดสอบเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบแยกส่วน...	83
ภาคผนวก ข การคำนวณ.....	87
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศในห้อง Calorimeter.....	97
ภาคผนวก ง ข้อมูลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติสารทำความเย็น R-22 และ กราฟแสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์.....	111
ภาคผนวก จ สมบัติสารทำความเย็น R-22 และแผนภูมิอากาศ.....	135
ภาคผนวก ฉ แบบคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ.....	138
ภาคผนวก ช การพิจารณาความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐกิจ.....	139
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	143

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 4.1	แสดงสภาวะต่าง ๆ ในการทดสอบ.....	38
ตารางที่ 5.1	แสดงการเติมน้ำยาสารทำความเย็น R-22 แบบซูเปอร์ฮีต.....	46
ตารางที่ 5.2	แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T , W_T , EER ของการระบายความร้อนด้วยอากาศ(กรณีที่ 1 ถึง 5).....	49
ตารางที่ 5.3	แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_E , W_C , Q_C , COP ของการระบายความร้อนด้วยอากาศ(กรณีที่ 1 ถึง 5).....	50
ตารางที่ 5.4	แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T , W_T , EER ระหว่างการระบายความร้อนทั้ง 2 แบบ(กรณีที่ 3 กับ 6).....	53
ตารางที่ 5.5	แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_E , W_C , Q_C , COP , \dot{m}_r , P_{dis} , T_C ระหว่างการระบายความร้อนทั้ง 2 แบบ(กรณีที่ 3 กับ 6).....	54
ตารางที่ 5.6	แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T , W_T , EER ในกรณีที่ 6 , 7 , 8 เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยา R-22.....	57
ตารางที่ 5.7	แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_E , W_C , Q_C , COP , \dot{m}_r , \dot{m}_e , ϵ , T_C ในกรณีที่ 6 , 7 , 8 เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยา R-22.....	59
ตารางที่ 5.8	แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T , W_T , EER ในกรณีที่ 8 , 9 , 10 เมื่อปรับอัตราการไหลของน้ำลดลง.....	62
ตารางที่ 5.9	แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_E , W_C , Q_C , COP , \dot{m}_r , \dot{m}_a , \dot{m}_e , ϵ ในกรณีที่ 8 , 9 , 10 เมื่อปรับอัตราการไหลของน้ำลดลง.....	64
ตารางที่ 5.10	แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T , W_T , EER ระหว่างการระบายความร้อนทั้ง 2 แบบ(กรณีที่ 3 กับ 10).....	67
ตารางที่ 5.11	แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_E , W_C , Q_C , COP , \dot{m}_r , P_{dis} , T_C ระหว่างการระบายความร้อนทั้ง 2 แบบ(กรณีที่ 3 กับ 10).....	68
ตารางที่ 5.12	แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T , W_T , EER ในกรณีที่ 8 กับ 11 , 10 กับ 12 , 14 กับ 13 เมื่ออากาศภายนอกมีความชื้นลดลง.....	72
ตารางที่ 5.13	แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_E , W_C , Q_C , COP , \dot{m}_e , ϵ , T_C ในกรณีที่ 8 กับ 11 , 10 กับ 12 , 14 กับ 13 เมื่ออากาศภายนอกมีความชื้นลดลง.....	73
ตารางที่ ก-1	แสดงขนาดของห้องวัดความร้อน.....	83

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ ก-2	แสดงภาวะที่ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าขีดความสามารถทำความเย็น.....	85
ตารางที่ ค-1	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 1).....	97
ตารางที่ ค-2	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 2).....	98
ตารางที่ ค-3	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 3).....	99
ตารางที่ ค-4	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 4).....	100
ตารางที่ ค-5	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 5).....	101
ตารางที่ ค-6	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 6).....	102
ตารางที่ ค-7	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 7).....	103
ตารางที่ ค-8	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 8).....	104
ตารางที่ ค-9	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 9).....	105
ตารางที่ ค-10	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 10).....	106
ตารางที่ ค-11	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 11).....	107
ตารางที่ ค-12	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 12).....	108
ตารางที่ ค-13	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 13).....	109

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ ง-13	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหย น้ำจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณีที่ 13).....	124
ตารางที่ ง-14	ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหย น้ำจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณีที่ 14).....	125
ตารางที่ จ-1	แสดงสมบัติของเหลวและไออิ่มตัวของสารทำความเย็น R-22.....	135
ตารางที่ ช-1	แสดงค่าเฉลี่ยของขีดความสามารถทำความเย็น(Q_T) กับ พลังงานไฟฟ้า รวม(W_T) ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ.....	139
ตารางที่ ช-2	แสดงค่าเฉลี่ยของขีดความสามารถทำความเย็น(Q_T) ,พลังงานไฟฟ้ารวม (W_T) และปริมาณน้ำที่ใช้ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วย การระเหยน้ำ.....	139

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
รูปที่ 3.1	วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอเบื้องต้น.....	10
รูปที่ 3.2	แผนภาพ P-h ของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ.....	11
รูปที่ 3.3	ผลของการลดอุณหภูมิสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์บนแผนภาพ P-h.....	14
รูปที่ 3.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการระบายความร้อนกับอุณหภูมิ ควบแน่นสำหรับสารทำความเย็น R-22.....	15
รูปที่ 3.5	แสดงลักษณะรูปร่างชุดแลกเปลี่ยนความร้อน.....	17
รูปที่ 3.6	แสดงรัศมีเทียบเท่าของแผ่นครีบริบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า.....	17
รูปที่ 3.7	กราฟแสดงประสิทธิภาพของแผ่นครีบริบกลมของ Karl A. Gardner.....	18
รูปที่ 3.8	แสดงลักษณะการถ่ายเทความร้อนของแผ่นครีบริบในคอนเดนเซอร์.....	19
รูปที่ 3.9	แสดงการทำงานของคอนเดนเซอร์แบบระเหยน้ำ.....	23
รูปที่ 3.10	แสดงลักษณะอุณหภูมิของคอนเดนเซอร์แบบระเหยน้ำ.....	24
รูปที่ 3.11	แสดงการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระเหยน้ำ.....	25
รูปที่ 3.12	แสดงสภาวะอากาศบน Psychrometric chart.....	26
รูปที่ 3.13	แสดงการหาประสิทธิภาพของคอนเดนเซอร์แบบระเหยน้ำ.....	27
รูปที่ 4.1	แสดงส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศที่ปรับปรุงให้คอนเดนเซอร์สามารถ เลือกระบายความร้อนด้วยอากาศหรือระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ.....	30
รูปที่ 4.2	แสดงวงจรการทำงานของระบบปรับอากาศที่ใช้คอนเดนเซอร์แบบระบาย ความร้อนด้วยอากาศ.....	31
รูปที่ 4.3	แสดงวงจรการทำงานของระบบปรับอากาศที่ใช้คอนเดนเซอร์แบบระเหยน้ำ..	31
รูปที่ 4.4	ปั้มน้ำ.....	33
รูปที่ 4.5	ลักษณะของท่อคอยล์ร้อน.....	33
รูปที่ 4.6	ถังน้ำ.....	34
รูปที่ 4.7	ปีกเกอร์.....	34
รูปที่ 4.8	มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า.....	34
รูปที่ 4.9	มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า.....	35
รูปที่ 4.10	อุปกรณ์วัดความดันสารทำความเย็น.....	35
รูปที่ 4.11	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิสารทำความเย็น.....	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ 4.12	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิน้ำ.....	36
รูปที่ 4.13	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ.....	36
รูปที่ 4.14	อุปกรณ์วัดความเร็วลม.....	37
รูปที่ 4.15	อุปกรณ์วัดอัตราการไหลสารทำความเย็น.....	37
รูปที่ 4.16	ห้องควบคุมอากาศเย็น.....	39
รูปที่ 4.17	ห้องควบคุมอากาศร้อน.....	39
รูปที่ 4.18	การเดินพอน้ำยาสารทำความเย็น R-22.....	39
รูปที่ 4.19	แสดงผังวงจรไฟฟ้า.....	40
รูปที่ 4.20	แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์การวัดต่าง ๆ.....	41
รูปที่ 4.21	เครื่องทำสุญญากาศ.....	41
รูปที่ 4.22	การเติมน้ำยาสารทำความเย็น R-22.....	42
รูปที่ 5.1	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Q_E , W_C , Q_C ของการระบายความร้อนด้วยอากาศ(กรณีที่ 1 ถึง 5).....	51
รูปที่ 5.2	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า COP , EER ของการระบายความร้อนด้วยอากาศ (กรณีที่ 1 ถึง 5).....	51
รูปที่ 5.3	แสดงแผนภาพ P – h ของการระบายความร้อนด้วยอากาศระหว่าง $T_{DB} = 35$ °C (กรณีที่ 1) กับ $T_{DB} = 30$ °C (กรณีที่ 4).....	52
รูปที่ 5.4	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Q_E , W_C , Q_C ระหว่างการระบายความร้อนทั้ง 2 แบบ(กรณีที่ 3 กับ 6).....	55
รูปที่ 5.5	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า COP , EER ระหว่างการระบายความร้อนทั้ง 2 แบบ(กรณีที่ 3 กับ 6).....	55
รูปที่ 5.6	แสดงแผนภาพ P – h ระหว่างการระบายความร้อนทั้ง 2 แบบ(กรณีที่ 3 กับ 6).....	56
รูปที่ 5.7	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Q_E , W_C , Q_C ในกรณีที่ 6 , 7 , 8 เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยา R-22.....	60
รูปที่ 5.8	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า COP , EER ในกรณีที่ 6 , 7 , 8 เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยา R-22.....	60

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ 5.9	แสดงแผนภาพ P – h ของการทดสอบกรณีที่ 6 , 7 , 8 เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยา R-22.....	61
รูปที่ 5.10	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Q_E , W_C , Q_C ในกรณีที่ 8 , 9 , 10 เมื่อปรับอัตราการไหลของน้ำาลดลง.....	65
รูปที่ 5.11	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า COP , EER ในกรณีที่ 8 , 9 , 10 เมื่อปรับอัตราการไหลของน้ำาลดลง.....	65
รูปที่ 5.12	แสดงแผนภาพ P – h ของการทดสอบกรณีที่ 8 , 9 , 10 เมื่อปรับอัตราการไหลของน้ำาลดลง.....	66
รูปที่ 5.13	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Q_E , W_C , Q_C ระหว่างการระบายความร้อนทั้ง 2 แบบ(กรณีที่ 3 กับ 10).....	69
รูปที่ 5.14	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า COP , EER ระหว่างการระบายความร้อนทั้ง 2 แบบ(กรณีที่ 3 กับ 10).....	69
รูปที่ 5.15	แสดงแผนภาพ P – h ระหว่างการระบายความร้อนทั้ง 2 แบบ(กรณีที่ 3 กับ 10).....	70
รูปที่ 5.16	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า Q_E , W_C , Q_C ในกรณีที่ 8 กับ 11 , 10 กับ 12 , 14 กับ 13 เมื่ออากาศภายนอกมีความชื้นลดลง.....	74
รูปที่ 5.17	แสดงกราฟเปรียบเทียบค่า COP , EER ในกรณีที่ 8 กับ 11 , 10 กับ 12 , 14 กับ 13 เมื่ออากาศภายนอกมีความชื้นลดลง.....	74
รูปที่ 5.18	แสดงแผนภาพ P – h ของการระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำระหว่างอากาศภายนอกที่ $T_{wb}=28.2$ °C, 60 %RH (กรณีที่ 10) กับที่ $T_{wb}=26.1$ °C, 50 %RH (กรณีที่ 12).....	75
รูปที่ ก-1	แสดงห้องวัดความร้อนแบบสอบเทียบ.....	84
รูปที่ ข-1	แสดงแผนภาพ P-h ของวัฏจักรการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ.....	91
รูปที่ ง-1	แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (กรณีที่ 6).....	126
รูปที่ ง-2	แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (กรณีที่ 7).....	127

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
รูปที่ ง-3	แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (กรณีที่ 8).....	128
รูปที่ ง-4	แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (กรณีที่ 9).....	129
รูปที่ ง-5	แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (กรณีที่ 10).....	130
รูปที่ ง-6	แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (กรณีที่ 11).....	131
รูปที่ ง-7	แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (กรณีที่ 12).....	132
รูปที่ ง-8	แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (กรณีที่ 13).....	133
รูปที่ ง-9	แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (กรณีที่ 14).....	134

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์		หน่วย
A_f	พื้นที่ผิวของแผ่นครีปต่อหน่วยความยาว	m^2
A_o	พื้นที่ผิวรวมด้านนอกต่อหน่วยความยาว	m^2
$A_{p,i}$	พื้นที่ผิวด้านในต่อหน่วยความยาว	m^2
$A_{p,m}$	พื้นที่ผิวเฉลี่ยของท่อต่อหน่วยความยาว	m^2
$A_{p,o}$	พื้นที่ผิวด้านนอกของท่อระหว่างแผ่นครีปต่อหน่วยความยาว	m^2
A_v	อัตราการไหลของอากาศ	m^3/s
a	ระยะห่างระหว่างท่อในแนวนอน	m
COP	สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ(Coefficient of Performance)	
c	ระยะห่างระหว่างท่อในแนวตั้ง	m
D_H	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไฮดรอลิกที่ความเร็วอากาศเฉลี่ย	m
D_o	เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกท่อ	m
EER	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio)	
F_1	จำนวนแผ่นครีปต่อหนึ่งหน่วยความยาว	
Gz	ค่าตัวเลขเกรทซ์	
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
h_1	เอนทาลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์	kJ/kg
h_2	เอนทาลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์	kJ/kg
h_3	เอนทาลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่เข้าและออกจากคอนเดนเซอร์	kJ/kg
h_4	เอนทาลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่ออกจากท่อลดความดัน	kJ/kg
$h_{a,1}$	เอนทาลปีของอากาศที่เข้าสู่คอนเดนเซอร์	J/kg
$h_{a,2}$	เอนทาลปีของอากาศที่ออกจากคอนเดนเซอร์	J/kg
$h_{air,in}$	เอนทาลปีของอากาศที่เข้าคอนเดนเซอร์	J/kg
$h_{air,out}$	เอนทาลปีของอากาศที่ออกจากคอนเดนเซอร์	J/kg
$h_{air,out} _{T_{c,Sat}}$	เอนทาลปีของอากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิสารทำความเย็น	J/kg
$h_{c,o}$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศกับท่อด้านนอก	$W/m^2-^{\circ}C$
h_{fg}	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ	J/kg

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์		หน่วย
h_i	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลในท่อ	$W/m^2 \cdot ^\circ C$
h_w	เอนทาลปีของน้ำบนพื้นผิวท่อคอนเดนเซอร์	J/kg
h_{w1}	เอนทาลปีของไอน้ำขาเข้าห้อง	J/kg
h_{w2}	เอนทาลปีของน้ำควบแน่นขาออกจากห้อง	J/kg
k_a	ค่าการนำความร้อนของอากาศ	$W/m \cdot ^\circ C$
k_{ai}	ค่าการนำความร้อนของแผ่นครีบอลูมิเนียม	$W/m \cdot ^\circ C$
k_p	ค่าการนำความร้อนของท่อทองแดง	$W/m \cdot ^\circ C$
L	ความยาวของช่องลมคอนเดนเซอร์	m
\dot{m}_a	อัตราการไหลของมวลอากาศ	kg/s
\dot{m}_e	อัตราการระเหยของมวลน้ำ	kg/s
\dot{m}_r	อัตราการไหลของสารทำความเย็น	kg/s
N	จำนวนท่อในแนวตั้ง	
N_R	จำนวนแถวของคอยล์ในแนวตั้ง	
P_1	ความดันสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์	kPa
P_2	ความดันสารทำความเย็นออกจากคอมเพรสเซอร์	kPa
P_3	ความดันสารทำความเย็นออกจากคอนเดนเซอร์	kPa
P_4	ความดันสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องทำระเหย	kPa
Pr	ค่าตัวเลขพรนด์เติลของอากาศ	
Q_C	ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์	kW
Q_E	ความร้อนที่รับเข้ามาในเครื่องทำระเหย	kW
Q_p	ความร้อนที่รั่วไหลเข้าสู่ห้องโดยผ่านผนังกันห้องภายนอกกับภายใน	W
Q_r	ความร้อนที่รั่วไหลเข้าสู่ห้องโดยผ่านพื้นและเพดาน	W
Q_i	ความสามารถในการทำความเย็น	W
Re	ค่าตัวเลขเรโนลด์	
s	ระยะห่างระหว่างแผ่นครีบอลูมิเนียม	m
s_d	ระยะความสูงจากฐานถึงยอดของแผ่นครีบอลูมิเนียมแบบคลื่น	m
s_p	ระยะครึ่งความยาวของแผ่นครีบอลูมิเนียมแบบคลื่น	

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

สัญลักษณ์		หน่วย
T_1	อุณหภูมิสารทำความเย็นขาเข้าคอมเพรสเซอร์	$^{\circ}\text{C}$
T_2	อุณหภูมิสารทำความเย็นออกจากคอมเพรสเซอร์	$^{\circ}\text{C}$
T_3	อุณหภูมิสารทำความเย็นออกจากคอนเดนเซอร์	$^{\circ}\text{C}$
T_4	อุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องทำระเหย	$^{\circ}\text{C}$
$t_{a,i}$	อุณหภูมิอากาศขาเข้าคอนเดนเซอร์	$^{\circ}\text{C}$
$t_{a,o}$	อุณหภูมิอากาศขาออกคอนเดนเซอร์	$^{\circ}\text{C}$
t_c	อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น	$^{\circ}\text{C}$
U_o	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม	$\text{W/m}^2\text{-}^{\circ}\text{C}$
U_m	ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ	m/s
V_d	ค่าปริมาตรจำเพาะของอากาศ	m^3/kg
W	ความกว้างของช่องลมคอนเดนเซอร์	m
W_c	งานของคอมเพรสเซอร์	kW
W_T	งานทั้งหมดที่ป้อนให้ระบบ	W
y	ระยะครึ่งความหนาของแผ่นครีป	m
ϕ	ประสิทธิภาพของแผ่นครีป	
ρ	ความหนาแน่นของของเหลวที่ควบแน่น	kg/m^3
ρ_a	ค่าความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3
Δt	ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างไอกับพื้นผิวท่อ	$^{\circ}\text{C}$
ΔT_m	ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิทึม	$^{\circ}\text{C}$
μ	ความหนืดของของเหลวที่ควบแน่น	N.s/m^2
μ_a	ค่าความหนืดของอากาศ	N.s/m^2
ω_1	อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ทางเข้าคอนเดนเซอร์	(kg/kg)
ω_2	อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ทางออกจากคอนเดนเซอร์	(kg/kg)