การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศโดยการพ่นน้ำ

นาย ธนวรา ทองล้วน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547
ISBN 974-17-6986-5
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY TO IMPROVE EFFICIENCY OF AN AIR-COOLED AIR CONDITIONING UNIT WITH WATER SPRAY

Mr. Thanawara Tongloun

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2004

ISBN 974-17-6986-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศโดยการพ่นน้ำ
โดย	นาย ธนวรา ทองล้วน
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. จิตติน แตงเที่ยง)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายธนวรา ทองล้วน : การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศโดยการพ่นน้ำ (A STUDY TO IMPROVE EFFICIENCY OF AN AIR-COOLED AIR CONDITIONING UNIT WITH WATER SPRAY), อ.ที่ปรึกษา: ผศ. ฤชากร จิรกาลวสาน, 211 หน้า, ISBN 974-17-6986-5

อาคารที่พักอาศัย อาคารพาณิชย์ต่างๆตลอดจนอาคารอีกหลายเภท มักนิยมใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งสามารถทำการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการพ่นน้ำ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบทั้งสมรรถนะ และประสิทธิภาพของเครื่องปรับ อากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ การทดสอบกระทำที่สภาวะอากาศเดียวกัน และยังศึกษาความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 และ 48,000 Btu/hr.

จากการวิจัยนี้พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำดีกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ เครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr สามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบกว่า 15% และค่า COP เพิ่มขึ้น 18% ส่วนเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr สามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบกว่า 16% และค่า COP เพิ่มขึ้น 20% ส่วนผลทดสอบจากห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศมาตรฐาน ได้ทำการทดสอบกับเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 Btu/hr ซึ่งสามารถลดพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบกว่า 9 %, ขีดความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 6 % และค่า COP เพิ่มขึ้น 16 %

ระบบพ่นน้ำนี้สามารถติดตั้งได้กับเครื่องปรับอากาศเพียงเครื่องเดียว หากเครื่องปรับอากาศมีขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr หรือมากกว่านี้ขึ้นไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา....วิศวกรรมเครื่องกล..... ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา..วิศวกรรมเครื่องกล..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2547.....

#4570341021: MAJOR MECHANICAL ENGINEERING
KEYWORD: WATER SPRAY / AIR CONDITIONING

THANAWARA TONGLOUN: A STUDY TO IMPROVE EFFICIENCY OF AN AIR-COOLED AIR CONDITIONING UNIT WITH WATER SPRAY, THESIS ADVISOR: ASST. PROF. RICHAKORN CHIRAKALWASAN, 211 pp. ISBN 974-17-6986-5

In Thailand, the most popular type of an air conditioner is an air-cooled split system. The easy and common way to improve the efficiency is to spray atomized water through the condenser.

In research, comparisons of both performance and efficiency between the water-spray-cooled and air-cooled air conditioner at the same external conditions have been performed. In addition, the economical study of payback period of installing the water spray system with 15,000 and 48,000 Btu/hr air-cooled air conditioners has been examined.

From this research, we find that the performance of the water-spray-cooled air conditioner is better than the air-cooled air conditioner. The 15,000 Btu/hr air conditioner could reduce electrical power consumption of the system by 15 % and increase COP by 18%. On the other hand, the 48,000 Btu/hr air conditioner could reduce electrical power consumption of the system by 16% and increase COP by 20%. From the Calorimeter room, the 12,000 Btu/hr air conditioner could reduce electrical power consumption of the system by 9%, increase the refrigerating ability by 6%, and increase COP by 16%.

In case of a 48,000 Btu/hr air conditioner or more, the system can be applied for a single air conditioning unit.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Mechanical.Engineering.... Student's Signature……..……

Field of study..Mechanical Engineering.... Advisor's Signature…….....

Academic year....2004.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จากหลายฝ่ายด้วยกัน ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาสละเวลาอันมีค่าคอยช่วยเหลือให้คำแนะนำปรึกษา แนะแนวทางในการวิจัย แนวทางการแก้ปัญหา และข้อคิดต่างๆที่เป็นประโยชน์ยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์นำมาซึ่งความสมบูรณ์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึง รองศาตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จรัญญากรณ์ ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล และท่านอาจารย์ ดร.จิตติน แตงเที่ยง ซึ่งให้ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้ห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ ขอขอบพระคุณพี่ๆห้องส่วนบริการการศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ทดสอบกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนที่อยู่ในส่วนความดูแลรับผิดชอบ และขอขอบคุณสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ที่ให้การสนับสนุนเรื่องทุนวิจัย

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณคุณ นิสิต ไสยลักษณ์ คุณชูศักดิ์ แสงไข่ ที่ช่วยในการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ คุณ ดำรงวิทย์ ทองดีนอกและ คุณภคินี วัฒนาธิษฐาน ที่ช่วยในการทำวิจัย เก็บข้อมูลต่างๆ และขอขอบคุณ คุณ ประพันธ์ พิกุลทอง ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา ตลอดจนพี่อำภา เพื่อนๆและน้องๆในห้องวิจัยพลังงาน และน้องๆนิสิตปริญญาโทที่ช่วยเหลือเป็นอย่างดี

และในท้ายที่สุด ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา และมารดา ซึ่งอบรมสั่งสอนและครอบครัวซึ่งคอยเป็นกำลังใจ และให้ความสนับสนุนในด้านต่างๆเป็นอย่างดีจนกระทั่งข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์อังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญภาพ..... ฒ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....5
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....6
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....7
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....8
บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....11
3.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ.....11
3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ.....15
3.3 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน.....16
3.4 การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ.....16
3.5 ผลจากการลดอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นต่อประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ.....16
3.6 การออกแบบคอนเดนเซอร์.....20
3.7 หลักการทำงานของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ.....30
3.8 วิธีวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน.....36
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย.....39
4.1 ลักษณะของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในงานวิจัย.....39
4.2 การออกแบบชุดคอนเดนเซอร์ในงานวิจัย.....42
4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย.....42

4.4 การดำเนินการทดสอบ....49
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดสอบ....69
5.1 การทดสอบเบื้องต้น....69
5.2 การทดสอบกับเครื่องปรับอากาศในการใช้งานจริง....72
5.3 การทดสอบที่ห้องทดสอบมาตรฐาน (Calorimeter Room)....80
5.4การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ....97
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ....104
6.1 สรุปผลการวิจัย....104
6.2 ปัญหาอุปสรรคและข้อเสนอแนะ....107
รายการอ้างอิง....109
ภาคผนวก....112
ภาคผนวก ก มาตรฐานการทดสอบเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบแยกส่วน....113
ภาคผนวก ข การคำนวณ....117
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดสอบเบื้องต้น....128
ภาคผนวก ง ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศในการใช้งานจริง....130
ภาคผนวก จ ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศในห้องทดสอบมาตรฐานและข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติสารทำความเย็น....157
ภาคผนวก ฉ การพิจารณาความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์....180
ภาคผนวก ช กราฟแสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบพ่นน้ำของเครื่องปรับอากาศที่ทดสอบในห้อง Calorimeter....191
ภาคผนวก ซ สมบัติสารทำความเย็น R-22 และแผนภูมิอากาศ....197
ภาคผนวก ฌ ข้อมูลสภาวะอากาศกรุงเทพฯระหว่างเดือนมีนาคม ถึง มิถุนายน ในปี พ.ศ.2545....200
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....211

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 4.1.แสดงสภาวะต่างๆในการทดสอบ.....52

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบค่า I, V, Pและ p.f. ระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนกับแบบที่ใช้สเปรย์พ่นละอองน้ำที่คอนเดนเซอร์.....71

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าคุณสมบัติต่างของหัวฉีดแบบ PJ12 และแบบ PJ20.....74

ตารางที่ 5.3 แสดงข้อมูลและค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบพ่นน้ำที่แรงดันน้ำต่างๆกัน ทดสอบด้วยหัวฉีดแบบPJ12.....75

ตารางที่ 5.4 แสดงการเปรียบข้อมูลและค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบพ่นน้ำที่แรงดันน้ำต่างๆกันทดสอบด้วยหัวฉีดแบบ PJ12.....75

ตารางที่ 5.5 แสดงข้อมูลและค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบพ่นน้ำที่แรงดันน้ำต่างๆกัน ทดสอบด้วยหัวฉีดแบบ PJ20.....76

ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบข้อมูลและค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบพ่นน้ำที่แรงดันน้ำต่างๆกัน ทดสอบด้วยหัวฉีดแบบPJ20.....76

ตารางที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆระหว่างหัวฉีดแบบ PJ12 กับแบบ PJ20 ที่แรงดันน้ำ 5 bar.....78

ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆระหว่างหัวฉีดแบบ PJ12 กับแบบ PJ20 ที่แรงดันน้ำ 10 bar.....78

ตารางที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆระหว่างหัวฉีดแบบ PJ12 กับแบบ PJ20 ที่แรงดันน้ำ 15 bar.....79

ตารางที่ 5.10 แสดงกรณี (สภาวะอากาศ) ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องปรับอากาศ.....80

ตารางที่ 5.11 แสดงค่า Q_T, W_T , COP ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่สภาวะอากาศภายนอกที่ต่างๆกัน.....82

ตารางที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T, W_T , COP ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ที่สภาวะอากาศภายนอกต่างๆกัน....83
ตารางที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T, W_T และค่า COP ในกรณีที่ 6 และ 7....87
ตารางที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T, W_T และค่า COP ในกรณีที่ 9 และ 10....87
ตารางที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T, W_T, P_C,T_C และ COP ระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ(กรณีที่ 1) กับแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ (กรณีที่ 6)....92
ตารางที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T, W_T, P_C, T_C และ COP ระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ(กรณีที่ 3) กับแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ(กรณีที่ 8)....93
ตารางที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T, W_T, P_C, T_C และ COP ระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ(กรณีที่ 4) กับแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ(กรณีที่ 9)....93
ตารางที่ 5.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำในเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr....99
ตารางที่ 5.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำในเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr....99
ตารางที่ 5.20 แสดงการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาด 15,000 Btu/hr....100
ตารางที่ 5.21 แสดงการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาด 48,000 Btu/hr....101
ตารางที่ ก-1 แสดงขนาดของห้องวัดความร้อน....113
ตารางที่ ก-2 แสดงภาวะที่ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าขีดความสามารถการทำความเย็น....115
ตารางที่ ค-1 ข้อมูลผลการทดสอบเบื้องต้น....128
ตารางที่ ง-1 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr....131
ตารางที่ ง-2 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr....132

ตารางที่ ง-3 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....133
ตารางที่ ง-4 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....134
ตารางที่ ง-5 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....135
ตารางที่ ง-6 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....136
ตารางที่ ง-7 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....137
ตารางที่ ง-8 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....138
ตารางที่ ง-9 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....139
ตารางที่ ง-10 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....140
ตารางที่ ง-11 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....141
ตารางที่ ง-12 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....142
ตารางที่ ง-13 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....143
ตารางที่ ง-14 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....144
ตารางที่ ง-15 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....145
ตารางที่ ง-16 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....146
ตารางที่ ง-17 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....147

ตารางที่ ง-18 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....148
ตารางที่ ง-19 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....149
ตารางที่ ง-20 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....150
ตารางที่ ง-21 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....151
ตารางที่ ง-22 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....152
ตารางที่ ง-23 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....153
ตารางที่ ง-24 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr.....154
ตารางที่ ง-25 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr.....155
ตารางที่ ง-26 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr.....156
ตารางที่ จ-1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ Standard).....158
ตารางที่ จ-2 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 1).....159
ตารางที่ จ-3 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 2).....160
ตารางที่ ค-4 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 3).....161
ตารางที่ จ-5 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 4).....162
ตารางที่ จ-6 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 5).....163

ตารางที่ จ-7 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำใน ห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 6).....164
ตารางที่ จ-8 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำใน ห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 7).....165
ตารางที่ จ-9 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำใน ห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 8).....166
ตารางที่ จ-10 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำใน ห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 9).....167
ตารางที่ จ-11 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำใน ห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 10).....168
ตารางที่ จ-12 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจากการ วิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี Standard).....169
ตารางที่ จ-13 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจากการ วิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 1).....170
ตารางที่ จ-14 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจากการ วิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 2).....171
ตารางที่ จ-15 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจากการ วิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 3).....172
ตารางที่ จ-16 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจากการ วิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 4).....173
ตารางที่ จ-17 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจากการ วิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 5).....174
ตารางที่ จ-18 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำจาก การวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 6)..... 175
ตารางที่ จ-19 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำจาก การวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 7).....176
ตารางที่ จ-20 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำจาก การวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 8).....177
ตารางที่ จ-21 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำจาก การวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 9).....178

ตารางที่ จ-22 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำจาก
การวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 10).....179
ตารางที่ ฉ-1 ข้อมูลและเปรียบเทียบค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ
แบบระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบพ่นน้ำของเครื่องปรับอากาศขนาด
15,000 Btu/hr.....176
ตารางที่ ฉ-2 แสดงการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศ
ขนาด 15,000 Btu/hr.....184
ตารางที่ ฉ-3 แสดงการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศ
ขนาด 48,000 Btu/hr.....189
ตารางที่ ซ-1 แสดงสมบัติของเหลวและไออิ่มตัวของสารทำความเย็น R-22.....198
ตารางที่ ฌ 1 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยเดือน มีนาคม ของกรุงเทพฯในปี พ.ศ. 2545.....202
ตารางที่ ฌ 2 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยเดือน เมษายน ของกรุงเทพฯในปี พ.ศ. 2545.....203
ตารางที่ ฌ 3 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยเดือน พฤษภาคม ของกรุงเทพฯในปี พ.ศ. 2545.....204
ตารางที่ ฌ 4 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยเดือน มิถุนายน ของกรุงเทพฯในปี พ.ศ. 2545.....205
ตารางที่ ฌ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยเดือน มีนาคม ของกรุงเทพฯในปี พ.ศ. 2545.....206
ตารางที่ ฌ 6 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยเดือน เมษายน ของกรุงเทพฯในปี พ.ศ. 2545.....207
ตารางที่ ฌ 7 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยเดือน พฤษภาคม ของกรุงเทพฯในปี พ.ศ. 2545....208
ตารางที่ ฌ 8 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยเดือน มิถุนายน ของกรุงเทพฯในปี พ.ศ. 2545.....209

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของระบบทำความเย็น....12
รูปที่ 3-2 แผนภาพ P-h ของวัฏจักรเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ....13
รูปที่ 3.3 P-h diagram ของระบบปรับอากาศ ก่อนและหลังการปรับปรุง....18
รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการระบายความร้อนกับอุณหภูมิควบแน่นสารทำความเย็น R-22 21
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะรูปร่างของชุดแลกเปลี่ยนความร้อน....23
รูปที่ 3.6 แสดงรัศมีเทียบเท่าของแผ่นครีบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า....23
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพแผ่นครีบกลมของ Karl A. Gardner....24
รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของแผ่นครีบในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องควบแน่น (Condenser)...25
รูปที่ 3.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเครื่องควบแน่น....29
รูปที่ 3.10 แสดงการทำงานของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ....31
รูปที่ 3.12 แสดงการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ....32
รูปที่ 4.1 แสดงส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งระบบพ่นน้ำให้สามารถใช้ทั้งแบบระบายความร้อนด้วยอากาศหรือแบบพ่นน้ำ....39
รูปที่ 4.2 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ....40
รูปที่ 4.3 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ..41
รูปที่ 4.4 ปั๊มแรงดันสูง....43
รูปที่ 4.5 ถังน้ำป้อนขนาดความจุ 60 และ 40 ลิตร....43
รูปที่ 4.6 มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า....44
รูปที่ 4.7 มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าแบบเคลื่อนที่วัด....44
รูปที่ 4.8 อุปกรณ์วัดความดันสารทำความเย็น....45
รูปที่ 4.9 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิสารทำความเย็น....45
รูปที่ 4.10 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ....46
รูปที่ 4.11 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของสารทำความเย็น....47
รูปที่ 4.12 อุปกรณ์วัดความเร็วลม....47
รูปที่ 4.13 แสดงหัวฉีดแบบ PJ12 ยี่ห้อ BETE....48
รูปที่ 4.14 รูปกระบอกฉีดน้ำแรงดัน สำหรับการทดสอบเบื้องต้น....48

รูปที่ 4.15 แผงคอยเย็น (Evaporator) ที่ใช้ในการทดสอบ.....50
รูปที่ 4.16 แผงคอยร้อน (Condenser) ที่ใช้ในการทดสอบ.....51
รูปที่ 4.17 แสดงการพ่นละอองน้ำไปผสมกับอากาศก่อนเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับแผงคอยร้อน (Condenser) ที่ใช้ในการทดสอบ.....51
รูปที่ 4.18 การวัดกระแสและกำลังไฟฟ้าโดยรวมของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดสอบ.....52
รูปที่ 4.19 แสดงการติดตั้งหัวฉีดแบบ PJ12 บริเวณหลังชุดคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ..54
รูปที่ 4.20 แสดงการวัดค่ากระแสไฟฟ้า, แรงดัน, เพาเวอร์แฟคเตอร์ และกำลังไฟฟ้า.....54
รูปที่ 4.21 แสดงการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเครื่องปรับอากาศ.....55
รูปที่ 4.22 แสดงการตรวจวัดความเร็วลมที่ช่องจ่ายลมเย็นของเครื่องปรับอากาศ.....55
รูปที่ 4.23 แสดงการปรับวาล์วเพื่อปรับระดับแรงดันของน้ำที่ 5 Bar.....56
รูปที่ 4.24 แสดงการทำงานของหัวฉีดที่ฉีดพ่นหมอกไอน้ำ ซึ่งจะเข้าไปช่วยในการระบายความร้อนในเครื่องปรับอากาศ.....56
รูปที่ 4.25 ห้องควบคุมอากาศร้อน.....58
รูปที่ 4.26 ห้องควบคุมอากาศเย็น.....58
รูปที่ 4.27 การเดินท่อน้ำยาสารทำความเย็น R-22.....59
รูปที่ 4.28 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดต่างๆ.....60
รูปที่ 4.29 เครื่องทำสุญญากาศ.....61
รูปที่ 4.30 คอมพิวเตอร์ของระบบควบคุมที่ห้องควบคุมอากาศ.....62
รูปที่ 4.31 แสดงการติดตั้งหัวฉีดที่ด้านหลังชุดคอนเดนเซอร์.....62
รูปที่ 4.32 แสดงระบบพ่นน้ำและถังน้ำ.....63
รูปที่ 4.33 หัวฉีดแบบ PJ12 สำหรับติดตั้งด้านหลังชุดคอนเดนเซอร์.....63
รูปที่ 4.34 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนหลังติดตั้งหัวฉีดและเครื่องพ่นน้ำแรงดันสูง.....63
รูปที่ 4.35 แสดงเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 48,000 Btu/hr.....67
รูปที่ 4.36 แสดงเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ.....67
รูปที่ 4.37 แสดงการทำงานของหัวฉีดพ่นน้ำ.....68
รูปที่5.1 แสดงกระแสไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและช่วงที่สเปรย์น้ำที่คอนเดนเซอร์เพื่อช่วยในการระบายความร้อน.....70

รูปที่ 5.2 แสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและช่วงที่สเปรย์น้ำที่คอนเดนเซอร์เพื่อช่วยในการระบายความร้อน.....71
รูปที่ 5.3 แสดงรายละเอียดและลักษณะของหัวฉีดแบบ PJ12 และแบบ PJ20.....74
รูปที่ 5.4 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า Q_T และ W_T ของการระบายความร้อนด้วยอากาศ.....83
รูปที่ 5.5 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า COP ของการระบายความร้อนด้วยอากาศ.....84
รูปที่ 5.6 แสดงแผนภาพ P-h ของการระบายความร้อนด้วยอากาศ ระหว่าง $T_{db} = 35\ ^{\circ}C$ (กรณีที่ 1) ,$T_{db} = 32.5^{\circ}$ (กรณีที่ 3) และ $T_{db} = 30\ ^{\circ}C$ (กรณีที่ 5).....85
รูปที่ 5.7 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า Q_T และ W_T ของการระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ....88
รูปที่ 5.8 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า COP ของการระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ.....88
รูปที่ 5.9 แสดงแผนภาพ P-h ของการระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำระหว่างอากาศภายนอกกรณีที่ 6 กับกรณีที่ 7.....90
รูปที่ 5.10 แสดงแผนภาพ P-h ของการระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำระหว่างอากาศภายนอกกรณีที่ 9 กับกรณีที่ 10.....90
รูปที่ 5.11 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า Q_T และ W_T ของการระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบการพ่นน้ำที่สภาวะอากาศภายนอกเดียวกัน.....94
รูปที่ 5.12 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า COP ของการระบายความร้อนด้วยอากาศและการพ่นน้ำ 94
รูปที่ 5.13 แสดงแผนภาพ P-h ระหว่างการระบายความร้อนด้วยอากาศและการพ่นน้ำ (กรณีที่ 1 กับกรณีที่ 6).....96
รูปที่ 5.14 แสดงแผนภาพ P-h ระหว่างการระบายความร้อนด้วยอากาศและการพ่นน้ำ (กรณีที่ 3 กับกรณีที่ 8).....96
รูปที่ 5.15 แสดงแผนภาพ P-h ระหว่างการระบายความร้อนด้วยอากาศและการพ่นน้ำ (กรณีที่ 4 กับกรณีที่ 9).....97
รูปที่ ก-1 แสดงห้องวัดความร้อนแบบสอบเทียบ.....114
รูปที่ ช-1 แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำและเปรียบเทียบอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น กรณีที่ 6 เทียบกับกรณีที่ 1.....192
รูปที่ ช-2 แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำและเปรียบเทียบอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น กรณีที่ 7 เทียบกับกรณีที่ 2.....193

รูปที่ ช-3 แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำและเปรียบเทียบอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น กรณีที่ 8 เทียบกับกรณีที่ 3.....194
รูปที่ ช-4 แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำและเปรียบเทียบอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น กรณีที่ 9 เทียบกับกรณีที่ 4.....195
รูปที่ ช-5 แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำและเปรียบเทียบอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น กรณีที่ 10 เทียบกับกรณีที่ 5.....196
รูปที่ ซ-1 แสดงแผนภาพ Psychrometric chart.....200

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์		หน่วย
A_f	พื้นที่ผิวของแผ่นครีบต่อหน่วยความยาว	m^2
A_o	พื้นที่ผิวรวมด้านนอกท่อต่อหน่วยความยาว	m^2
$A_{p,i}$	พื้นที่ผิวด้านในท่อต่อหน่วยความยาว	m^2
$A_{p,m}$	พื้นที่ผิวเฉลี่ยของท่อต่อหน่วยความยาว	m^2
$A_{p,o}$	พื้นที่ผิวด้านนอกของท่อระหว่างแผ่นครีบต่อหน่วยความยาว	m^2
A_v	อัตราการไหลของอากาศ	m^3/s
a	ระยะห่างระหว่างท่อในแนวนอน	m
COP	สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (Coefficient of Performance)	
c	ระยะห่างระหว่างท่อในแนวตั้ง	m
D_H	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์ที่ความเร็วอากาศเฉลี่ย	m
D_o	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ	m
EER	อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio)	
F_l	จำนวนแผ่นครีบต่อหนึ่งหน่วยความยาว	
Gz	ค่าตัวเลขเกรทซ์	
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s^2
h_1	เอนทาลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์	kJ/kg
h_2	เอนทาลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่ออกคอมเพรสเซอร์	kJ/kg
h_3	เอนทาลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่เข้าและออกคอนเดนเซอร์	kJ/kg
h_4	เอนทาลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่ออกจากท่อลดความดัน	kJ/kg
$h_{a,1}$	เอนทาลปีของอากาศที่เข้าคอมเพรสเซอร์	J/kg
$h_{a,2}$	เอนทาลปีของอากาศที่ออกคอมเพรสเซอร์	J/kg
$h_{air,in}$	เอนทาลปีของอากาศที่เข้าคอนเดนเซอร์	J/kg
$h_{air,out}$	เอนทาลปีของอากาศที่ออกจากคอนเดนเซอร์	J/kg
$h_{air,out} \mid T_{c,Sat}$	เอนทาลปีของอากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิสารทำความเย็น	J/kg
$h_{c,o}$	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศกับท่อด้านนอก	$W/m^{2\circ}C$

h_{fg}	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ	J/kg
h_i	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลในท่อ	$W/m^{2\circ}C$
$h_{w,1}$	เอนทาลปีของไอน้ำขาเข้าห้อง	J/kg
$h_{w,2}$	เอนทาลปีของน้ำควบแน่นขาออกจากห้อง	J/kg
k_a	ค่าการนำความร้อนของอากาศ	$W/m^{\circ}C$
$k_{a,l}$	ค่าการนำความร้อนของแผ่นครีบอลูมิเนียม	$W/m^{\circ}C$
k_p	ค่าการนำความร้อนของท่อทองแดง	$W/m^{\circ}C$
L	ความยาวของช่องลมคอนเดนเซอร์	m
$\dot{m}_a$	อัตราการไหลของมวลอากาศ	kg/s
$\dot{m}_e$	อัตราการไหลของมวลน้ำ	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
P_C	ความดันสารทำความเย็นด้านไฮด์ไซด์	kPa
Pr	ค่าตัวเลขแพรนด์เติลของอากาศ	
Q_C	ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์	kW
Q_E	ความร้อนที่รับเข้ามาในเครื่องทำระเหย	kW
Q_P	ความร้อนที่รั่วไหลผ่านผนังกั้นห้องภายนอกกับภายในเข้าสู่ห้องปรับอากาศ	kW
Q_r	ความร้อนที่รั่วไหลผ่านพื้นและเพดานเข้าสู่ห้อง	kW
Q_t	ความสามารถในการทำความเย็น	kW
Re	ค่าตัวเลขเรโนลย์	
s	ระยะห่างระหว่างแผ่นครีบ	m
s_d	ระยะความสูงจากฐานถึงยอดของแผ่นครีบแบบคลื่น	m
s_p	ระยะครึ่งความยาวของแผ่นครีบแบบคลื่น	m
T_1	อุณหภูมิของสารทำความเย็นขาเข้าคอมเพรสเซอร์	$^{\circ}C$
T_2	อุณหภูมิของสารทำความเย็นขาออกจากคอมเพรสเซอร์	$^{\circ}C$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T_3	อุณหภูมิของสารทำความเย็นขาออกจากคอนเดนเซอร์	$^{\circ}C$
T_4	อุณหภูมิของสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องทำระเหย	$^{\circ}C$
$t_{a,i}$	อุณหภูมิของอากาศขาเข้าคอนเดนเซอร์	$^{\circ}C$
$t_{a,o}$	อุณหภูมิของอากาศขาออกคอนเดนเซอร์	$^{\circ}C$
t_c	อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น	$^{\circ}C$
U_O	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม	$W/m^2{}^{\circ}C$
U_m	ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ	m/s
V_d	ค่าปริมาตรจำเพาะของอากาศ	m^3/kg
W	ความกว้างของช่องลมคอนเดนเซอร์	m
W_C	งานของคอมเพรสเซอร์	kW
W_T	งานที่ป้อนให้กับระบบทั้งหมด	kW
y	ระยะครึ่งความหนาของแผ่นครีบ	m
ϕ	ประสิทธิภาพของแผ่นครีบ	
ρ	ความหนาแน่นของของเหลวที่ควบแน่น	kg/m^3
ρ_a	ความหนาแน่นของอากาศ	kg/m^3
Δt	ผลต่างอุณหภูมิระหว่างไอกับพื้นผิวท่อ	$^{\circ}C$
ΔT_m	ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิธมิค	$^{\circ}C$
μ	ความหนืดของของเหลวที่ควบแน่น	$N.s/m^2$
μ_a	ความหนืดของของเหลวที่ควบแน่น	$N.s/m^2$
ω_1	อัตราส่วนความชื้นของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์	(kg/kg)
ω_2	อัตราส่วนความชื้นของอากาศหลังออกจากคอนเดนเซอร์	(kg/kg)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันมาตรการการอนุรักษ์พลังงานถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในการดำรงชีวิตประจำวันและในวงการอุตสาหกรรม เนื่องจากพลังงานที่ถูกนำมาใช้กันอย่างมากมาย จนบางครั้งเกิดวิกฤติการณ์ด้านพลังงาน จึงทำให้ผู้คนเริ่มสนใจในการหาพลังงานทดแทนและประหยัดพลังงาน

ประเทศไทยอยู่ในเขตแถบศูนย์สูตร จึงมีสภาวะอากาศที่ร้อนชื้น อุณหภูมิของอากาศโดยทั่วไปมีค่าสูงทำให้มีการนำระบบปรับอากาศเข้ามาช่วยให้การดำเนินชีวิตมีความสบายยิ่งขึ้น ระบบปรับอากาศที่นำมาใช้มีหลายประเภท ซึ่งแบ่งได้หลายแบบ ขึ้นอยู่เกณฑ์การแบ่ง เช่น แบ่งตามวิธีการระบายความร้อน ซึ่งแบ่งออกเป็น ระบายความร้อนด้วยอากาศ และระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ หรือแบ่งประเภทแบบ อัดไอและดูดซึม ซึ่งระบบอัดไอนั้นเป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยระบบปรับอากาศที่พบเห็นทั่วไปหลักๆมีดังต่อไปนี้

1. ระบบปรับอากาศแบบน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Chiller System)
2. ระบบปรับอากาศแบบน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ(Water Cooled Chiller System)
3. ระบบปรับอากาศแยกส่วน (Split Type System) ที่พบกันตามบ้านหรือสำนักงานทั่วไป

คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

โดยทั่วไปคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ประกอบไปด้วยขดท่อระบายความร้อนที่มีครีบระบายความร้อนติดอยู่ด้วยกัน ซึ่งส่วนใหญ่ทำมาจากอะลูมิเนียมหรือทองแดง และชุดระบายความร้อนนี้ ประกอบไปด้วย พัดลมดูดอากาศที่ทำหน้าที่ดูดอากาศมาเป็นสารหล่อเย็นไหลผ่านขดท่อในแนวตั้งฉากกับผิวของขดท่อ ซึ่งสารทำความเย็นที่อยู่ในขอท่อ ที่มีลักษณะเป็นไอและมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศ จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็น สู่อากาศที่ไหลผ่าน ทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลงและเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นของเหลวอิ่มตัว

สำหรับคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศมีข้อดีและข้อเสียดังต่อไปนี้

ข้อดี

1. ไม่ต้องมีน้ำหล่อเย็น ซึ่งเหมาะกับการใช้งานที่มีบริเวณพื้นที่จำกัด
2. การติดตั้งและการบำรุงรักษาง่าย และชุดคอนเดนเซอร์อยู่นอกตัวอาคาร
3. มีสนิมน้อยกว่า

ข้อเสีย

1. ต้องทำงานที่อุณหภูมิควบแน่นสูง โดยมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิบรรยากาศประมาณ 15-20 $^{\circ}$C โดยเฉพาะในฤดูร้อนอุณหภูมิควบแน่นจะสูงถึง 50-55 $^{\circ}$C
2. เมื่ออากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้น คอมเพรสเซอร์ ต้องทำงานหนักขึ้น ใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นตาม เนื่องจากประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง
3. อากาศมีค่าความจุความร้อน(Cp) ต่ำกว่าน้ำ

คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

สำหรับคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทด้วยกัน คือ 1. แบบท่อสองชั้น (Double tube) 2. แบบขดท่อในถัง (Shell and coil) 3. แบบท่อและถัง (Shell and tube) โดยหลักการทำงานทั้ง 3 ประเภทคือ ใช้หลักการระบายความร้อนโดยอาศัยน้ำเป็นสารหล่อเย็นแทนอากาศ แต่การออกแบบจะยุ่งยากขึ้น รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการสร้างและดำเนินการมีค่าสูง สำหรับน้ำที่หล่อเย็นอาจใช้น้ำทั่วไป แต่ถ้าเป็นน้ำที่สะอาดและคุณภาพดีช่วยให้ประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

สำหรับคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศมีข้อดีและข้อเสียดังต่อไปนี้

ข้อดี :

1. มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าอากาศ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้ำมากกว่าอากาศประมาณ 30-40 เท่า
2. น้ำเป็นสารหล่อเย็นที่มีค่าความจุความร้อน (Cp) สูงกว่าอากาศ
3. ติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร
4. อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นต่ำเมื่อใช้น้ำหล่อเย็น

ข้อเสีย :

1. การติดตั้งและบำรุงรักษามีความยุ่งยากกว่า
2. การตรวจดูสนิมและการสึกกร่อนของท่อทำได้ยาก
3. การออกแบบยุ่งยากเพราะต้องมีการระบายความร้อนของน้ำที่ได้รับมาจากคอนเดนเซอร์ให้อากาศอีกครั้งหนึ่ง ทำให้ต้องมีขนาดพื้นที่ในการติดตั้งมากกว่าแบบอื่น

คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ

สำหรับคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำนี้ ได้รวมหลักการระบายความร้อนของหอการทำความเย็น(Cooling tower) และการระบายความร้อนแบบอากาศเข้าด้วยกัน โดยไอของสารทำความเย็นไหลอยู่ในท่อทองแดงหรืออลูมิเนียมหรือท่อโลหะ เช่นเหล็ก(ส่วนใหญ่ใช้เมื่อสารทำความเย็นเป็นแอมโมเนีย เนื่องจากลดการทำปฏิกิริยาระหว่างสารทำความเย็นกับผนังท่อ) หลักการทำงานคือ น้ำหล่อเย็นถูกสูบจากถังพักน้ำของคอนเดนเซอร์ไปตามท่อแล้วพ่นเป็นฝอยหรือเป็นหยดลงเพื่อหล่อเย็นท่อทองแดง ส่วนอากาศถูกเป่าด้วยพัดลมสวนทางกับน้ำที่พ่นหรือหยดลงมา น้ำหล่อเย็นเมื่อผ่านท่อทองแดงซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า ทำให้เกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำหล่อเย็นกับสารทำความเย็นที่อยู่ในท่อทองแดง เมื่อหยดน้ำหล่อเย็นได้รับความร้อนแล้ว ก็เปลี่ยนสถานะระเหยกลายเป็นไอด้วยความร้อนแฝงและถูกอากาศพาติดไปด้วย ซึ่งน้ำที่ถูกพาออกไปทำให้ระดับน้ำในถังหรือในระบบลดลง จึงต้องมีการเติมน้ำ(Makeup Water) บางส่วนเข้าไปในถัง ส่วนใหญ่จะอยู่ที่ประมาณ 1.5-3 % ของปริมาณน้ำที่ใช้ โดยการเติมน้ำควบคุมด้วยระบบลูกลอย เพื่อให้ระดับน้ำมีปริมาณคงเดิมตลอดการทำงาน

คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำมีการใช้ทั้งอากาศและน้ำเป็นสารหล่อเย็นสารทำความเย็นในขดท่อทองแดง ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนของระบบนี้มีประสิทธิภาพดีกว่าคอนเดนเซอร์ชนิดอื่นที่ผ่านมา และช่วยลดการอุดตันในท่อเนื่องจากน้ำหล่อเย็นไม่สะอาดพอและลดปัญหาฝุ่นละอองไปเกาะบริเวณครีบรอบผิวท่อเนื่องจากอากาศเย็นที่ใช้มีฝุ่นละอองติดมาด้วย

สำหรับคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศมีข้อดีและข้อเสียดังต่อไปนี้

ข้อดี :

1. ใช้น้ำหล่อเย็นซึ่งไหลเวียนในระบบน้อยกว่าคอนเดนเซอร์แบบใช้น้ำหล่อเย็นอย่างเดียว คือใช้น้ำประมาณ 5-10 % ของคอนเดนเซอร์แบบใช้น้ำหล่อเย็นอย่างเดียวเมื่อมีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเท่ากัน
2. ใช้เครื่องสูบน้ำขนาดเล็กในการเดินเครื่อง
3. มีน้ำระเหยไปจำนวนน้อย
4. สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนดีกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ แต่จะน้อยกว่าแบบระบายด้วยน้ำ
5. อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำหล่อเย็น
6. ระบบทางเดินท่อน้ำหล่อเย็นมีขนาดเล็กกว่าและสั้นกว่าระบบคอนเดนเซอร์แบบใช้น้ำหล่อเย็นเพียงอย่างเดียว

ข้อเสีย :

1. การติดตั้งและบำรุงรักษามีความยุ่งยากกว่า
2. การสึกกร่อนมีมากกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศแต่น้อยกว่าการระบายความร้อนด้วยน้ำ
3. น้ำที่ใช้ต้องสะอาดพอ
4. มีขนาดใหญ่คือตั้งแต่ 2 tonR ขึ้นไป ไม่เหมาะกับห้องหรือสำนักงานที่มีขนาดเล็ก

จากคอนเดนเซอร์ทั้ง 3 แบบที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่าแต่ละแบบมีทั้งข้อดีและข้อเสียต่างกัน ซึ่งสามารถนำข้อดีทั้ง 3 แบบมารวมกัน ก็จะได้คอนเดนเซอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง และประหยัดพลังงาน

ในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน(Split type) โดยทั่วไปมีข้อดีคือ มีขนาดเล็ก ติดตั้งและบำรุงรักษาง่าย แต่ข้อเสียก็คือใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าแบบอื่น

ซึ่งในแต่ละปีมีการสูญเสียพลังงานจากการใช้ระบบปรับอากาศค่อนข้างมาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทำงานที่ไม่มีประสิทธิภาพของตัวเครื่องปรับอากาศ หากมีการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ และสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบปรับอากาศ

เนื่องจากสภาพอากาศภายนอกที่สูงเกินไป อาจทำให้คอนเดนเซอร์ซึ่งเป็นส่วนในการระบายความร้อนจากน้ำยาทำความเย็น ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เครื่องอัดไอ (Compressor) ต้องทำงานหนัก ซึ่งนั่นก็หมายความว่าต้องมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้มากขึ้น

ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดที่จะลดอุณหภูมิที่ผิวของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนในคอนเดนเซอร์ ให้ลดลง ความสามารถในการระบายความร้อนในคอนเดนเซอร์คอนเดนเซอร์ ก็จะดีขึ้น ทำให้สามารถลดค่าไฟฟ้าจากพัดลมระบายอากาศ และจากคอนเดนเซอร์ที่ต้องทำงานตลอดเวลา

ในการลดอุณหภูมิที่ผิวของตัวแลกเปลี่ยนความร้อนที่คอนเดนเซอร์นี้ ได้ใช้น้ำฉีดเป็นละอองฝอยขนาดเล็กผสมกับอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ อากาศที่ผสมกับละอองน้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศภายนอกทั่วไป 3-5 องศา เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนจากอากาศที่มีอุณหภูมิสูงให้กับน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จากนั้นอากาศที่ผสมกับละอองน้ำก็จะถูกพัดลมดูดให้อากาศไปสัมผัสกับผิวของครีบระบายความร้อน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบพาความร้อน (Convection Heat Transfer) และแบบการแลกเปลี่ยนแบบนำความร้อน (Conduction Heat Transfer) โดยเรียกหลักการนี้ว่า Evaporative Cooling ซึ่งวิธีการนี้จะไปช่วยดึงเอาความร้อนจากน้ำยาทำความเย็นได้ดียิ่งขึ้น เพราะเมื่ออากาศที่ไหลผ่านคอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิที่ต่ำ ยิ่งทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดียิ่ง ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นมีอุณหภูมิที่ต่ำ และทำให้แรงดันที่ตกคร่อมลดลงตาม จึงทำให้คอมเพรสเซอร์ทำงานน้อยลงเนื่องจากงานที่ต้องทำความเย็นลดลง สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศและลดการใช้ค่ากระแสไฟฟ้าในการขับคอมเพรสเซอร์ คอมเพรสเซอร์ก็จะมีอายุการใช้งานยาวนานยิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยใช้หลักการของ Evaporative Cooling โดยการพ่นละอองน้ำไปผสมกับอากาศ เพื่อลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ ทำให้พลังงานที่ใช้ในเครื่องอัดไอลดลง

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. เพื่อศึกษาและออกแบบชุดเพิ่มประสิทธิภาพของคอนเดนเซอร์
2. ศึกษาการทำงานของระบบปรับอากาศ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศ
3. ศึกษาตัวแปรเช่น อุณหภูมิของอากาศสิ่งแวดล้อม ที่อาจมีผลต่อการทำงานและประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ
4. ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อใช้ในการออกแบบระบบพ่นน้ำ (Water Spray)
5. ทำการทดลองและทดสอบหาประสิทธิภาพและเปรียบเทียบค่าการประหยัดพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ
6. เพื่อช่วยในการศึกษาและพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับระบบปรับอากาศเพื่อใช้ประยุกต์ใช้งานจริงในงานต่างๆ

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินการ

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลของประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศ
2. คำนวณและออกแบบส่วนประกอบต่างๆของอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งาน
3. ทำการสร้างอุปกรณ์เพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศและติดตั้งอุปกรณ์การวัดเพื่อทำการทดสอบและเก็บข้อมูล
4. ทำการทดลองและเก็บข้อมูลโดยการเปลี่ยนตามสภาวะอากาศแบบต่างๆกัน
5. นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผล
6. สรุปผลการทดลองและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ข้อมูลสำหรับใช้ในการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ
2. สร้างต้นแบบของอุปกรณ์ที่สามารถอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศแบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ
3. ยืดอายุการใช้งานของเครื่องอัดไอ(Compressor) และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ญาณวุฒิ สุพิชญางกูร [1] ได้ศึกษาการปรับปรุงการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 1 tonR (12,000 BTU) โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (COP) และกำลังไฟฟ้าที่ใช้เครื่องปรับอากาศที่ไม่มีการปรับปรุงมาเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศที่มีการปรับปรุง โดยการแบ่งลักษณะการปรับปรุงเป็น 3 แนวทางด้วยกันคือ แนวทางที่ (1) การเพิ่มพื้นที่หน้าตัดของคอนเดนเซอร์ที่ไม่มีการปรับปรุงเป็น 2.12 และ 1.25 เท่า พบว่าค่า COP สูงขึ้นกว่าเครื่องปรับอากาศที่ไม่มีการปรับปรุง 7.81 % และ 6.59 % ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้จะต่ำกว่าเครื่องปรับอากาศที่ไม่มีการปรับปรุง 2.46 % และ 2.85 % แนงทางที่ (2) การปรับปรุงโดยใช้วัสดุพิเศษ (CELdek7060) ซึ่งมีการฉีดน้ำไหลผ่านนำไปติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งทางเข้าของอากาศก่อนผ่านคอนเดนเซอร์ เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์พบว่ามีค่า COP สูงกว่าเครื่องปรับอากาศที่ไม่มีการปรับปรุง 10.18 % ส่วนกำลังไฟฟ้าที่ใช้ต่ำกว่าเครื่องปรับอากาศที่ไม่มีการปรับปรุง 2.32 % แนวทางที่ (3) การปรับปรุงโดยใช้พัดลมตีน้ำและให้อากาศไหลกลับทางโดยเป่าอากาศเข้าคอนเดนเซอร์แทนเครื่องปรับอากาศ แบบธรรมดาที่เป็นการดูดอากาศผ่านคอนเดนเซอร์ พบว่าจะมีค่า COP ต่ำกว่าเครื่องปรับอากาศที่ไม่มีการปรับปรุง 14.82 % และกำลังไฟฟ้าที่ใช้สูงกว่าเครื่องปรับอากาศที่ไม่มีการปรับปรุง 0.29 % เนื่องจากการเป่าอากาศเข้าจะเกิดการปั่นป่วน (turbulent) ทำให้เกิดแรงเสียดทานต่ออากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์

สมคิด ไชยรัตน์ [2] ได้ทำการศึกษาการนำพลังงานความร้อนจากคอนเดนเซอร์ (Reheat Coil) มาลดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศที่ต้องการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อย่างแม่นยำเพื่อการประหยัดพลังงาน โดยทำการทดลองกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 30,000 Btu/hr และเพิ่มท่อคอนเดนเซอร์เพื่อนำมาทำเป็น Reheat Coil ขนาดประมาณ 30 % ของคอนเดนเซอร์เดิมที่ติดตั้งอยู่ที่ Condenser Unit โดยนำไปติดตั้งที่ Fan Coil Unit เพื่อทำหน้าที่ลดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศ และจะทำการทดลองที่ Room Sensible Heat Ratio (RHSR) ต่ำสุดเท่ากับ 0.50 พบว่า Reheat Coil สามารถลดความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องปรับอากาศได้ประมาณ 10-15 %RH โดยมีค่า COP ขณะทำการ Reheat เพิ่มขึ้นมากกว่าระบบเดิมประมาณ 5 % และค่าการลงทุนที่เพิ่มขึ้นสามารถคุ้มทุนจากการชดเชยค่าพลังงานความร้อนของระบบเดิมซึ่งใช้ความร้อนในการ Reheat จากฮีตเตอร์ไฟฟ้าได้ประมาณ 2 ปี

ธนะสิทธิ์ องค์ธนะสุข [3] ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (COP) และกำลังไฟฟ้าที่ใช้เครื่องปรับอากาศระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนแบบด้วยอากาศทั่วไปกับแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (Evaporative Condenser) ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่า สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศภายนอก ซึ่งดีกว่าสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่ขึ้นกับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอก เพราะในสภาวะอากาศทั่วไป อุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งเสมอ ดังนั้นคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำจึงสามารถถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้น อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นในระบบปรับอากาศจึงต่ำลง ส่งผลให้ความดันด้านส่งของคอมเพรสเซอร์ลดลง ซึ่งก็จะช่วยยืดอายุการใช้งานทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้นานขึ้นและพลังงานที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์ก็น้อยลง โดยจากผลการวิจัยพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวม (COP_o) หรืออัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) เพิ่มขึ้น 19.63 % ในขณะที่ค่าการลงทุนเพิ่มขึ้นและสามารถคืนทุนได้ภายใน 4 ปี 4 เดือน

Davis Energy Group [9] ได้ออกแบบ AC2 Evaporative Condenser เพื่อนำเสนอต่อบริษัท Pacific Gas and Electric Company โดยรายงานนำเสนอการติดตามผลการทดสอบ AC2 Evaporative Condenser ซึ่งเป็น Evaporative condenser ที่ใช้หลัก Evaporative cooling มาช่วยประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ ซึ่ง AC2 Evaporative Condenser จะมี Evaporative Media ที่คอยทำหน้าที่ ลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้า Condenser ซึ่งช่วยการถ่ายเทความร้อนใน Condenser มีประสิทธิภาพดีขึ้น ลดการทำงานของ Compressor จากการทดสอบ ซึ่งพบว่า

- ถ้าอุณหภูมิภายนอกที่ 110 °F และที่ 2.5 tonR จะมีความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น 1/4 tonR และ EER มีค่าเพิ่มขึ้นอีก 1 เท่าตัว
- และจากการติดตามผลการทำงานในสภาวะทุกฤดู พบว่า ค่า EER อยู่ที่ 12.8 และในสภาวะคงที่ ค่า EER จะมีค่า 14.1 มากกว่าในช่วงที่ AC2 ไม่ทำงานถึง 21.5 % (11.6) ในช่วงหน้าร้อนเมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงสุดที่ 112 °F จะลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้า condenser เหลือเพียง 82.3 °F

EPS (Environmental Process Systems Limited)[10] ได้คิดค้นระบบ EcoMESH โดยมีหลักการ Evaporative Cooling ซึ่งจะลดอุณหภูมิอากาศขาเข้าระบบปรับอากาศ โดยให้น้ำเย็นไหลผ่าน Mesh ที่เป็นลักษณะโครงตาข่าย แล้วนำไปติดตั้งทางเข้าของอากาศของCondenser ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับระบบคอนเดนเซอร์ ซึ่งสามารถลดพลังงานที่ใช้ในช่วงการใช้พลังงานสูงสุดได้ถึง 17 %

Goswami, mathur และ Kulkami [14] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการนำระบบการระเหยของน้ำ (Evaporative Cooling system) มาใช้กับเครื่องปรับอากาศแบบความร้อนด้วยอากาศขนาด 2.5 tonR (8.8 kW) เพื่อลดอุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ โดยการใช้วัสดุตัวกลางที่มีน้ำไหลผ่านติดตั้งไว้ในด้านที่อากาศเข้าคอนเดนเซอร์ ณ เมือง Gainesville ในรัฐ Florida พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาที่ไม่มีระบบการระเหยของน้ำโดยเฉลี่ยลดลงจาก 3.0 kW เป็น 2.4 kW หรือคิดเป็น 20 % และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 9 เป็น 11 หรือคิดเป็น 22 % เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบที่มีระบบการระเหยของน้ำ และพลังงานที่ประหยัดได้สามารถชดเชยค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปได้ภายในระยะเวลาน้อยกว่า 2 ปี

Manohar Prasad [19] ได้ทำการศึกษาการใช้ Evaporative Condenser สำหรับการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศแบบ Split type โดยเรียกว่าระบบ Hybrid split air-condition โดยจากการทดลองพบว่า สามารถลด Head pressure จาก 21 bar ลงเหลือ 15 bar ดังนั้นจะช่วยยืดอายุการใช้งานของ Compressor และจากการเปรียบเทียบระบบปรับอากาศแบบ Split type โดยทั่วไปกับระบบ Hybrid split air-condition พบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 15 %

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันความเครื่องปรับอากาศกลายเป็นอุปกรณ์อำนวยความสะดวกสบาย ที่สำคัญที่มักจะพบได้ตามบ้านพักอาศัยหรืออาคารร้านค้าต่างๆเพิ่มมากขึ้นทุกวัน โดยเครื่องปรับอากาศส่วนใหญ่ที่นิยมใช้จะเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน(Split type) ระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งมีขนาดเล็กติดตั้งและบำรุงรักษาง่ายเมื่อเทียบกับกับระบบปรับอากาศแบบอื่น ซึ่งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนนี้มีข้อเสียที่ประสิทธิภาพต่ำกว่าและใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าเมื่อเทียบกับขนาดการทำความเย็นที่ได้ แต่เนื่องราคาที่ถูกกว่าและไม่ต้องการพื้นที่ในการติดตั้ง ตลอดจนง่ายต่อกาบำรุงรักษา จึงเป็นที่นิยมกันแพร่หลาย

เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ 1.ส่วนของชุดเป่าลมเย็น (Fan coil unit) และ 2. ส่วนชุดควบแน่น (Condensing unit) โดยส่วนของชุดเป่าลมเย็น (Fan coil unit) เป็นส่วนการทำความเย็นที่ติดตั้งภายในห้องปรับอากาศ ประกอบด้วย ขดการทำความเย็น อุปกรณ์ลดความดัน (Expansion valve) และมอเตอร์หมุนพัดลมซึ่งทำหน้าที่ ทำให้อากาศผ่านขดทำความเย็น

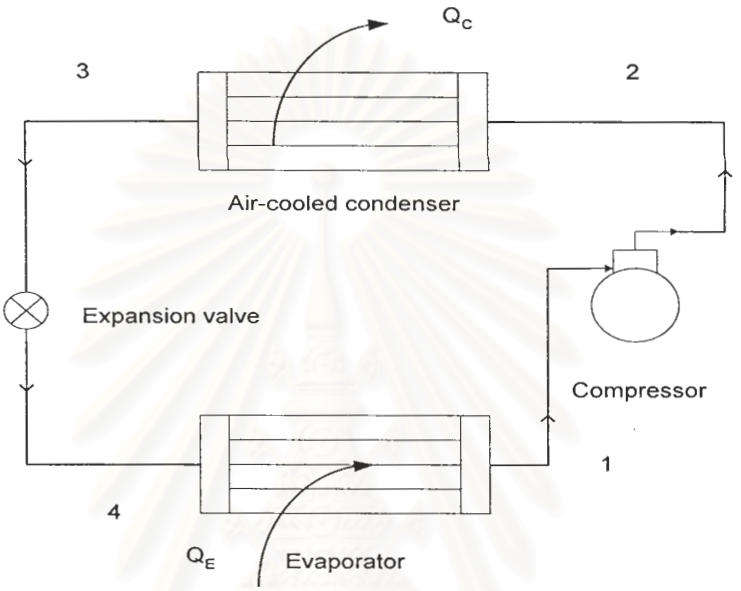
ส่วนชุดควบแน่น (Condensing unit) เป็นส่วนที่ใช้ในการระบายความร้อนทิ้ง ประกอบด้วย อุปกรณ์ควบแน่น (Condenser coil), เครื่องอัดไอ(Compressor) ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 75-85 % ของไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน และสุดท้ายพัดลมระบายความร้อนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 10-15 % ของไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ดังนั้นการที่จะทำการศึกษาเพื่อประหยัดพลังงานในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จึงต้องศึกษาและเข้าใจการทำงานของวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

จากรูปที่ 3.1 การทำงานของส่วนต่างๆในระบบทำความเย็น จะเริ่มขึ้นเมื่อสารทำความเย็นเหลวไหลผ่านภายในคอยล์เย็น จะรับเอาความร้อนจากอากาศผ่านบนผิวนอกของคอยล์เย็น เมื่อสารทำความเย็นเหลวรับเอาความร้อนอย่างเพียงพอ สารทำความเย็นจะกลายเป็นไอ (สภาวะที่ 1) จากนั้นสารทำความเย็นจะทำถูกทำให้ร้อนขึ้น โดยใช้คอมเพรสเซอร์ดูดแล้วอัด

ออกไปที่ความดันสูงกว่า และขณะที่กำลังอัดด้วยความดันนั้น อุณหภูมิของไอจะเพิ่มขึ้น ทำให้ได้ไอสารทำความเย็นที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูง (สภาวะที่ 2)



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของระบบทำความเย็น

ในสภาวะนี้ไอสารทำความเย็นจะไหลผ่านเข้าสู่คอนเดนเซอร์ ซึ่งจะถูกดึงเอาความร้อนจากสารทำความเย็น แล้วเปลี่ยนกลับมาเป็นของเหลว (สภาวะที่ 3) ภายใต้สภาวะดังกล่าว ของเหลวเมื่อผ่านลิ้นลดความดัน ค่าความดันจะถูกทำให้ลดลงทันที เมื่อความดันลดลง จะส่งผลให้อุณหภูมิของของเหลวที่เป็นสารทำความเย็นลดต่ำลง จึงสามารถไปรับความร้อนในพื้นที่ที่ต้องการการทำความเย็นได้มากขึ้น (สภาวะที่ 4)

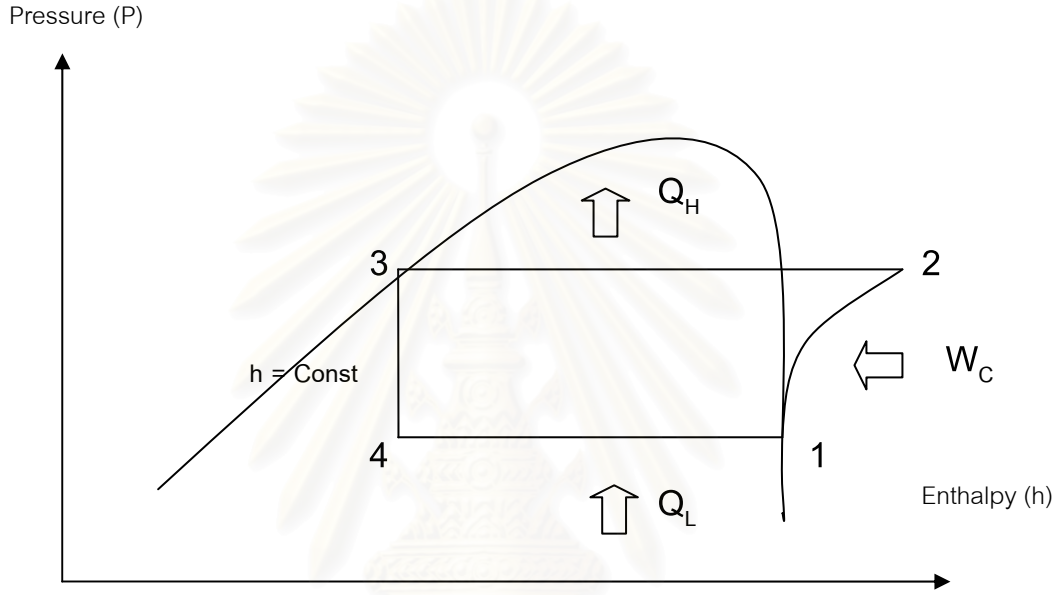
สารทำความเย็นที่ความดันต่ำและมีอุณหภูมิเย็น จะไหลต่อไปเข้าสู่คอยล์เย็น ซึ่งค่าความดันในคอยล์เย็นนั้นต่ำพอที่จะทำให้สารทำความเย็นเดือดแล้วระเหยเป็นไอ ขณะที่ผ่านภายในคอยล์จะเกิดการดูดกลืนความร้อนจากอากาศที่ไหลผ่านบนผิวคอยล์ภายนอกอีกครั้งหนึ่ง ส่งผลทำให้พื้นที่ดังกล่าวมีความเย็นตามที่ต้องการ ทำให้สารได้รับความร้อนจนกลายเป็นไอแล้วถูกดึงเข้าคอมเพรสเซอร์ ซึ่งจะเป็นการเริ่มวัฏจักรใหม่อีกครั้ง

สำหรับสมมุติฐานที่ใช้ในระบบปรับอากาศนี้มีดังต่อไปนี้

1. ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานจลน์และพลังงานศักย์
2. ไม่คิดความดันตกคร่อมผ่านอุปกรณ์ทดสอบ

3. สภาวะของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์เป็นไออิ่มตัวหรือไอร้อนยิ่งยวดและออกจากคอมเพรสเซอร์เป็นไอร้อนยิ่งยวด
4. สภาวะของเหลวที่ออกจากคอนเดนเซอร์มีสภาวะเป็นของเหลวอิ่มตัว

ดังนั้นเมื่อเขียนอยู่ในรูปของแผนภาพความดัน(P) กับเอนทัลปี(h) หรือ Mollier diagram ได้ดังนี้



รูปที่ 3-2 แผนภาพ P-h ของวัฏจักรเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ

จากแผนภาพเป็นวัฏจักรเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอในทางจินตนาการ ซึ่งในแต่ละกระบวนการจะมีการทำงานดังนี้

<u>ขบวนการที่ 1-2</u> สารตัวกลางที่มีสภาวะเป็นไออิ่มตัวที่ความดันต่ำผ่านเข้าสู่เครื่องอัดไอ (Compressor) และจะถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นด้วยกระบวนการแบบไม่ส่งถ่ายความร้อนคืนสภาพ (Isentropic Process (S = Constant))

$$W_C = \dot{m}_r(h_2-h_1) \quad [3.1]$$

โดย W_C = งานของคอมเพรสเซอร์ (kW)

h_2,h_1 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่เข้าและออกคอมเพรสเซอร์ (kJ/kg)

$\dot{m}_r$ = อัตราการไหลของสารทำความเย็น (kg/s)

<u>ขบวนการที่ 2-3</u> ไอความดันสูงที่มาจากเครื่องอัดไอ (Compressor) จะคายความร้อนโดยขบวนการความดันคงที่ (Isotropic Process)ในเครื่องควบแน่น (Condenser) ออกมาเป็นของเหลวอิ่มตัว

$$Q_C = \dot{m}_r(h_2-h_3) \quad [3.2]$$

โดย Q_C = อัตราความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอมเพรสเซอร์ (kW)

h_2,h_3 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่เข้าและออกคอนเดนเซอร์ (kJ/kg)

<u>ขบวนการที่ 3-4</u> สารตัวกลางไหลผ่านลิ้นลดความดัน (Throttling Valve) และไม่มีการถ่ายเทความร้อน (h = Constant) จะมีเพียงความดันที่ถูกทำให้มีค่าลดลง

$$h_3 = h_4 \quad [3.3]$$

โดย h_4 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่ออกจากอุปกรณ์ลดความดัน (kJ/kg)

<u>ขบวนการที่ 4-1</u> สารตัวกลางที่ออกจากขบวนการทรอทลิ่ง ไหลผ่านคอยล์เย็น (Evaporator) โดยสารตัวกลางจะรับความร้อนจากภายในห้องปรับอากาศ โดยที่ความดันคงที่ (Isobaric Process) และออกมามีสภาวะเป็นไออิ่มตัวและกลับเข้าสู่เครื่องอัดไอ (Compressor) อีกครั้งหนึ่ง

$$Q_E = \dot{m}_r(h_1-h_4) \quad [3.4]$$

โดย Q_E = อัตราความร้อนที่รับเข้ามาในเครื่องทำระเหย (kW)

h_1,h_4 = เอนทัลปีจำเพาะของสารทำความเย็นที่เข้าและออกเครื่องทำระเหย (kJ/kg)

3.2 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (Coefficient of Performance, COP)

3.2.1 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ(Coefficient of Performance, COP)

ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ คือ อัตราส่วนของขนาดทำความเย็นที่เครื่องสามารถทำได้ต่อพลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอ(ได้จากการวิเคราะห์สารทำความเย็น)

$$COP = \frac{Q_T}{W_C} = \frac{\dot{m}_r^o (h_1 - h_4)}{\dot{m}_r^o (h_2 - h_1)} = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \qquad [3.5]$$

เมื่อ Q_T = ขนาดการทำความเย็น (kW)

W_C = กำลังที่ใช้เครื่องอัดไอ (kW)

$\dot{m}_r$ = อัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็น (kg/s)

h_1 = เอลทัลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องอัดไอ (kJ/kg)

h_2 = เอลทัลปีของสารทำความเย็นหลังจากผ่านเครื่องอัดไอ (kJ/kg)

h_4 = เอลทัลปีของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอยล์เย็น (kJ/kg)

3.2.2 สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (Coefficient of Performance, $COP_{Overall}$)

ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ คือ อัตราส่วนของขีดความสามารถในการทำความเย็นที่ระบบปรับอากาศสามารถทำได้ต่อพลังงานโดยรวมที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอ(ได้จากห้องทดสอบโดยตรง)

$$COP_{Overall} = \frac{Q_t}{W_T} \qquad [3.6]$$

เมื่อ Q_t = ขีดความสามารถในการทำความเย็น (kW)

W_{Total} = พลังงานโดยรวมที่ป้อนให้กับระบบ (kW)

3.3 อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio, EER)

อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน คือ อัตราส่วนขีดความสามารถในการทำความเย็นต่อพลังงานโดยรวมของเครื่องปรับอากาศ โดยที่มีหน่วยเป็น Btu/hr.Watt เนื่องจาก ขีดความสามารถในการทำความเย็นมีหน่วยเป็น Btu/hr ส่วนพลังงานที่ป้อนให้กับระบบมีหน่วยเป็น Watt

$$EER = \frac{Q_E}{W_{input}} x\ 3412 \qquad [3.7]$$

โดย Q_E = ขีดความสามารถในการทำความเย็น (Btu/hr)

W_{input} = งานทั้งหมดที่ป้อนให้กับระบบ (Watt)

3.4 การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ

การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ เราสามารถดำเนินการได้หลายประการดังนี้ คือ

1. การควบคุมความดันด้านคอนเดนเซอร์ให้ต่ำที่สุด
2. การควบคุมความดันด้านเครื่องระเหยให้สูงที่สุด
3. การควบคุมการเริ่มเดินเครื่องและหยุดเดินเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสม
4. การให้เครื่องทำงานแล้วหยุดเป็นช่วงๆ
5. การค่อยๆเพิ่มภาระการปรับอากาศ และอื่นๆ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ามีหลายวิธีการที่จะอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศให้ประหยัดพลังงานและให้ระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงสุด

3.5 ผลจากการลดอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นต่อประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

ในการที่จะประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ วิธีการหนึ่งคือ การควบคุมความดันด้านคอนเดนเซอร์ให้ต่ำที่สุด หรือลดความดันควบแน่นของสารทำความเย็น ซึ่งสามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์ให้มากที่สุด ซึ่งส่งผลให้ต่างของความดันของความดันที่ตกคร่อมเครื่องอัดไอ(Compressor) ลดลง (ความดันด้านสูง (Condenser) ลบความดันด้านต่ำ(Evaporator)ลดลง) ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเครื่องอัดไอลดลง รวมทั้งยังสามารถเพิ่มอัตราการทำความเย็นได้มากขึ้นด้วย

จากสมการพื้นฐานการส่งผ่านความร้อนในเครื่องควบแน่น (Condenser)

$$Q_C = U_o A \Delta T_m \qquad [3.8]$$

เมื่อ Q_C = ความร้อนในการควบแน่นต่อหนึ่งหน่วยสารทำความเย็น (kW)

U_o = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องควบแน่น ($W/m^2.^\circ C$)

A = พื้นที่ผิวภายนอกทั้งหมด (m^2)

ΔT_m = ผลต่างอุณหภูมิแบบลอการิธึ่ม ($^\circ C$)

$$= \frac{(t_{a,i} - t_{a,o})}{\ln[(t_c - t_{a,i})/(t_c - t_{a,o})]}$$

$t_{a,i}$ = อุณหภูมิอากาศขาเข้าคอนเดนเซอร์ ($^\circ C$)

$t_{a,o}$ = อุณหภูมิอากาศขาออกคอนเดนเซอร์ ($^\circ C$)

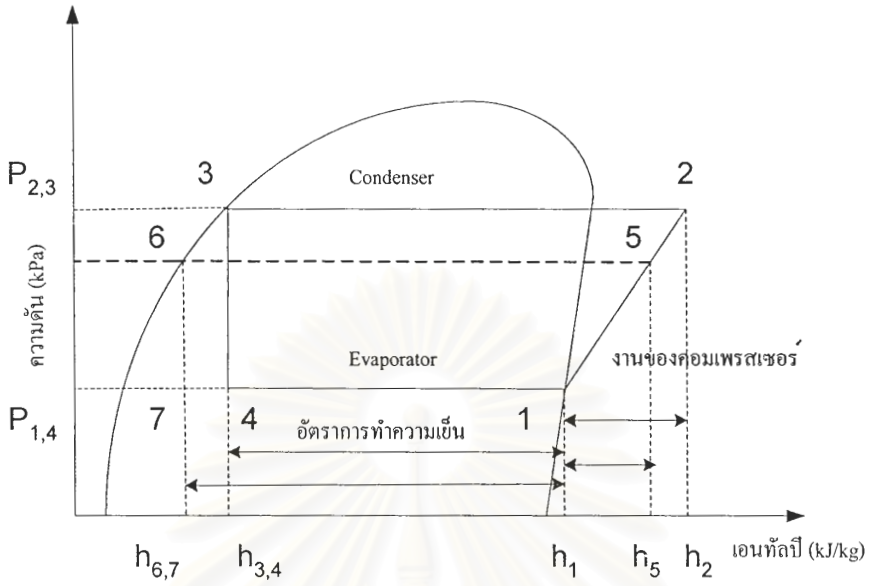
t_o = อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น ($^\circ C$)

จากสมการในด้านบนจะเห็นว่า พื้นที่ผิว (A) มีค่าที่คงที่ และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องควบแน่น (U_o) มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงหรือมีค่าคงที่ ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิธึ่ม (ΔT_m) จะมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก เมื่ออุณหภูมิอากาศที่ระบายความร้อน หรืออุณหภูมิสารทำความเย็นมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยนั่นคือ

$$Q_C \ \alpha \ \Delta T_m \qquad [3.9]$$

ดังนั้นหากอุณหภูมิของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ (t_C) ลดลง ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิธึ่ม (ΔT_m) จะเพิ่มขึ้น ทำให้อัตราการระบายความร้อน(Q_C) เพิ่มขึ้นเนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องควบแน่น (Condenser) ที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง โดยสามารถเขียนบนแผนภูมิ P-h ได้ดังรูปที่ 3.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.3 P-h diagram ของระบบปรับอากาศ ก่อนและหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 3.3 แผนภาพ P-h ของวัฏจักรการทำความเย็นพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรการทำความเย็นจากวัฏจักร 1-2-3-4 ไปเป็นวัฏจักร $1'$-$5'$-$6'$-$7'$ เนื่องมาจากการระบายอัตราการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ที่เพิ่มขึ้นหากเปลี่ยนจากการระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นแบบการระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ

เราจะเห็นว่า เดิมความดันด้านสูง(คอนเดนเซอร์) อยู่ที่ $P_{2,3}$ ส่วนความดันด้านต่ำ (ที่เครื่องทำระเหย) อยู่ที่ $P_{1,4}$ โดยที่

- อัตราการทำความเย็นเดิม (ที่เครื่องทำระเหย) $= h_1 - h_4$
- อัตราการระบายความร้อน (ที่เครื่องควบแน่น) $= h_2 - h_3$
- งานของคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในการอัดน้ำยา $= h_2 - h_1$

เมื่อดำเนินการในวิธีต่างๆแล้วทำให้ความดันด้านสูง(คอนเดนเซอร์) ลดลงเป็น P_6 ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในทุกส่วนของวงจร ดังนี้

อัตราการทำความเย็น(ที่เครื่องทำระเหย) เพิ่มขึ้น จาก $(h_1 - h_4)$ เป็น $(h_1 - h_7)$ ซึ่งคิดเป็นอัตราการทำความเย็นเพิ่มขึ้น เท่ากับ $(h_1 - h_7) - (h_1 - h_4)$ จะเห็นว่าการลดความดันด้านสูงให้ต่ำลงทำให้อัตราการทำความเย็นเพิ่มขึ้น

อัตราการระบายความร้อน (ที่คอนเดนเซอร์) เพิ่มขึ้นจาก $(h_2 - h_3)$ เป็น $(h_5 - h_6)$ ซึ่งคิดเป็นอัตราการทำความเย็นเพิ่มขึ้น เท่ากับ $(h_5 - h_6) - (h_2 - h_3)$ ซึ่งการระบายความร้อนมากๆ สามารถทำได้ แต่ข้อจำกัดที่ต้องเพิ่มขึ้นรวมทั้งข้อจำกัดของสภาวะอากาศที่นำมาระบายความร้อน ซึ่งเราสามารถลดอุณหภูมิอากาศ ได้โดยการฉีดละอองน้ำมาลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ได้

นั่นคือเมื่อเปลี่ยนเป็นการระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำจะเป็นการให้ละอองน้ำดึงเอาความร้อนออกจากอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ ทำให้อากาศภายนอกมีอุณหภูมิที่ลดลงและละอองน้ำบางส่วนยังแลกเปลี่ยนความร้อนโดยตรงกับคอนเดนเซอร์ โดยมีอากาศเข้ามาช่วยในการพัดพาละอองให้ระเหยออกไป ซึ่งการถ่ายเทนี้จะอยู่ในรูปของความร้อนและมวลเกิดขึ้นพร้อมๆกัน และจะสามารถทำให้อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ (Condensing temperature) มีค่าต่ำกว่าคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ เนื่องมาจากอุณหภูมิควบแน่นแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในอุดมคติจะมีค่าเข้าใกล้อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้ามาในคอนเดนเซอร์ ในขณะที่คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศนั้น อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์จะใกล้อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้ามาในคอนเดนเซอร์ เนื่องจากอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ

ดังนั้นอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำจึงมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ เมื่อพิจารณาจากแผนภาพ P-h ในรูปที่ 3.3 พบว่า เมื่ออุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ลดลง จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ต่อกิโลกรัมของสารทำความเย็น (h_5-h_6) เพิ่มขึ้น

ในขณะที่ความดันทางด้านส่งของคอมเพรสเซอร์ (จากจุดที่ 2 เป็นจุดที่ 5) ลดลง นั่นคืองานของคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ในการอัดน้ำยา ลดลงจาก จาก $(h_2 - h_1)$ เป็น $(h_5 - h_1)$ ซึ่งคิดเป็นงานที่ลดลงเท่ากับ $(h_2 - h_1) - (h_5 - h_1)$ เนื่องจากผลต่างความดันด้านดูดและด้านส่งของคอมเพรสเซอร์ต่ำลง

เมื่อดูที่ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของการทำความเย็น (COP) ซึ่งเปลี่ยนจาก $COP = (h_1 - h_4)/(h_2 - h_1)$ เป็น $COP' = (h_1 - h_7)/(h_5 - h_1)$ ดังนั้นจะส่งผลค่าสัมประสิทธิสมรรถนะของการทำความเย็น(COP) เพิ่มมากขึ้น ดังต่อไปนี้

$$COP' = \frac{h_1 - h_7}{h_5 - h_1} \qquad [3.10]$$

โดยที่ $COP' > COP$

นอกจากนี้ในการลดความดันด้านสูง(ด้านคอนเดนเซอร์) ให้ต่ำลงสามารถทำได้อีกหลายวิธีการดังต่อไปนี้

1. เพิ่มพื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนของขดท่อทำความร้อน (คอนเดนเซอร์) ให้มากขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้อากาศที่สัมผัสกับพื้นผิวขดท่อความร้อนได้มากขึ้น (ระบายความร้อนได้มากขึ้น) ซึ่งโดยทั่วไปมีการออกแบบพื้นผิวการถ่ายเทความร้อนประมาณ 12-15 m^2/Ton กรณีเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) อาจจะเลือกขดท่อความร้อน (คอนเดนเซอร์) ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น 1-2 ขนาด
2. เพิ่มปริมาณอากาศระบายความร้อน ที่สัมผัสกับพื้นผิวขดท่อความร้อนให้มากขึ้น โดยทั่วไปอากาศที่ระบายความร้อนจะมีความเร็วประมาณ 2.5 – 3.0 m/sec
3. ลดอุณหภูมิอากาศที่เข้าคอนเดนเซอร์ ซึ่งจะช่วยให้สามารถดึงความร้อนจากสารทำความเย็นได้มากขึ้น เนื่องจากมีผลต่างอุณหภูมิสูง การถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็นจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น สารทำความเย็นหลังจากผ่านคอนเดนเซอร์ก็จะมีอุณหภูมิต่ำลงและคอมเพรสเซอร์ก็จะทำงานน้อยลง เนื่องจาก ไม่ต้องดึงความร้อนจากระบบบ่อยๆ

3.6 การออกแบบคอนเดนเซอร์

ในการออกแบบคอนเดนเซอร์ ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็นที่ไหลผ่านคอยล์ร้อน แล้วแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่ไหลผ่านคอนเดนเซอร์ จากการพาความร้อนโดยอาศัยการบังคับ (Force Convection) ของมอเตอร์พัดลมในชุดคอนเดนเซอร์ อัตราการระบายความร้อนที่สูงจึงเป็นสิ่งที่สำคัญในการออกแบบคอนเดนเซอร์

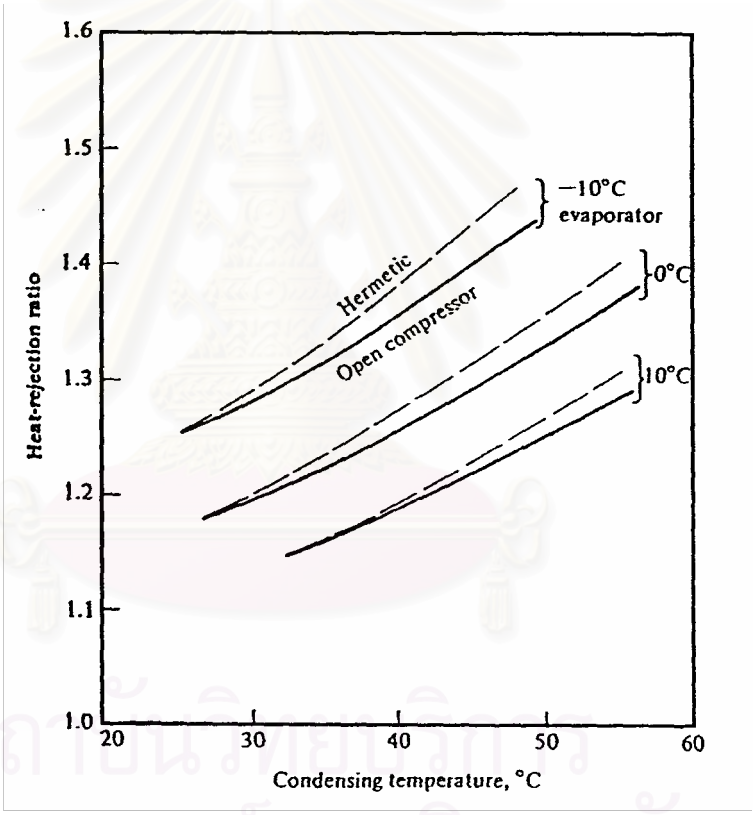
จากความร้อนที่ระบายออกจากคอนเดนเซอร์จะเท่ากับผลบวกของความร้อนที่เครื่องทำระเหยดูดเข้ามาจากห้องปรับอากาศและงานที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$Q_C = Q_E + W_C \qquad [3.11]$$

โดยสมการที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์กับอัตราการดูดความร้อนของเครื่องทำระเหยคือ

$$\text{อัตราส่วนการระบายความร้อน} = \frac{\text{อัตราการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์, kW}}{\text{อัตราการดูดความร้อนของเครื่องทำระเหย,kW}} \qquad [3.12]$$

โดยจะต้องกำหนดข้อมูลการใช้งานของระบบทำความเย็นแล้วนำไปหาความสัมพันธ์จากกราฟดังรูปที่ 3.4 ดังนี้



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการระบายความร้อนกับอุณหภูมิควบแน่นสารทำความเย็น R-22

ในการออกแบบคอนเดนเซอร์จะใช้หลักการอัตราการถ่ายเทความร้อนจากอากาศภายนอกไหลผ่านท่อทองแดงหรือท่ออลูมิเนียมและแผ่นครีบ ไปยังสารทำความเย็นซึ่งไหลผ่านในท่อทองแดงหรือท่ออลูมิเนียมดังกล่าว ที่ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนจะถูกต้านทานด้วยความต้านทานความร้อนเชิงอุณหภูมิ(Thermal resistance) 3 ค่าหลักๆด้วยกันคือ

1.ความต้านทานจากอากาศภายนอกไปยังพื้นที่ผิวภายนอกของท่อทองแดงหรือท่ออลูมิเนียมเรียกว่า External Surface หรือ Air-film thermal resistance

2.ความต้านทานจากการนำความร้อนผ่านแผ่นครีบและเนื้อโลหะของท่อ

3.ความต้านทานความร้อนภายในท่อทองแดงซึ่งเป็นความต้านทานความร้อนระหว่างผิวภายในท่อกับสารทำความเย็นที่ไหลผ่าน

จากสมการพื้นฐานการส่งผ่านความร้อนในคอนเดนเซอร์ตามสมการที่ [3.7]

$$Q_C = U_o A \Delta T_m$$

จะได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่คอนเดนเซอร์ ตามสมการดังกล่าวจะสัมพันธ์กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U_o) พื้นที่ผิวรวมของการถ่ายเทความร้อน (A_O) และผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิธึ่ม (ΔT_m) ดังนั้นในการคำนวณการออกแบบคอนเดนเซอร์จึงต้องพิจารณาค่าต่างๆเหล่านี้ประกอบด้วยดังนี้

3.6.1 พื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อน (A)

จากสมการที่ผ่านมา พื้นที่ผิวรวมในการถ่ายเทความร้อนมีความสำคัญที่สามารถช่วยเพิ่มหรือลดภาระการทำความเย็นนั้นให้เพิ่มหรือลดลงได้ จึงมีการพยายามที่จะเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อนให้มากขึ้นไปกว่าพื้นที่ของท่อที่มีอยู่โดยการติดครีบระบายความร้อน พื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดนั้นประกอบด้วยพื้นที่ใหญ่ๆ 3 ส่วน คือ 1.พื้นที่ผิวด้านในท่อ ที่สัมผัสกับน้ำยาต่อหน่วยความยาว (A_i) 2.พื้นที่ผิวเฉลี่ยของท่อต่อหน่วยความยาว ($A_{p,m}$) และ 3.พื้นที่ผิวรวมด้านนอกที่สัมผัสกับอากาศต่อความยาว (A_o) โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$A_{p,i} = \pi . D_i$$

$$A_{p,m} = \pi . D_i$$

$$A_o = A_{p,o} + A_F$$

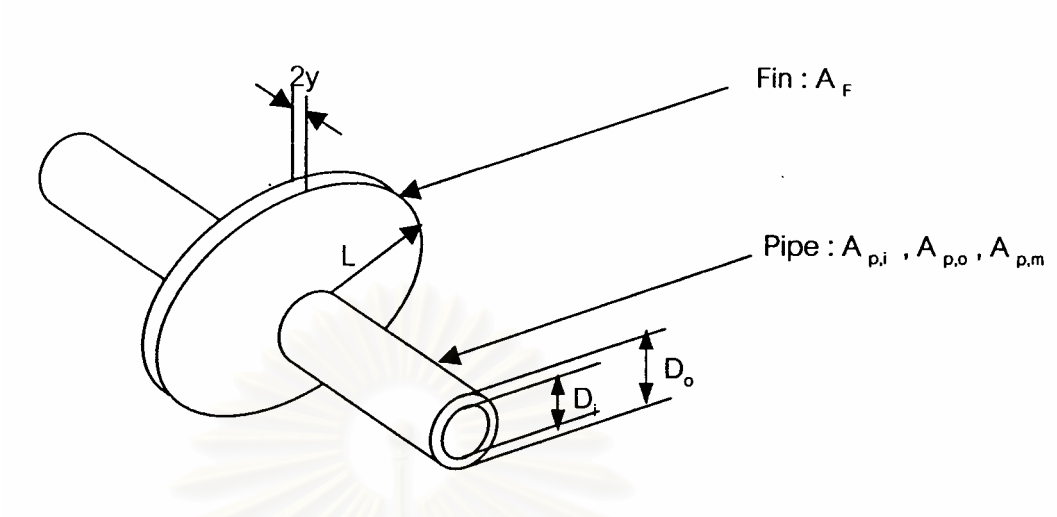
โดยที่ $A_{p,o} = \pi . D_o (1-(2y).F_l)$

$A_F = 2.F_l(a.c - (\pi . D^2_o/4))$

และ F_l = จำนวนแผ่นครีบต่อหนึ่งหน่วยความยาว

a = ระยะทางระหว่างท่อในแนวนอนของ Coil

c = ระยะทางระหว่างท่อในแนวตั้งของ Coil



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะรูปร่างของชุดแลกเปลี่ยนความร้อน

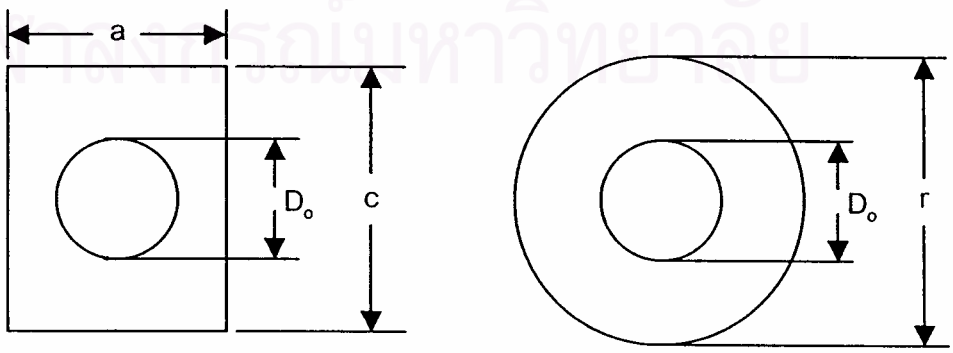
การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศที่ไหลผ่านท่อซึ่งภายในมีสารทำความเย็นไหลผ่านจะมีประสิทธิภาพได้นั้นต้องเพิ่มพื้นที่ระบายความร้อนหรือแผ่นครีบให้กับท่อ และแผ่นครีบที่มักนิยมใช้กันในเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก จะเป็นครีบแท่ง(Bar fin) ดังแสดงในรูป 3.6

สำหรับครีบรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสและครีบสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งมักนิยมใช้กันนั้น สามารถหาประสิทธิภาพโดยการแปลงครีบเหล่านั้นให้เป็นครีบกลมที่มีพื้นที่เท่ากัน ตามความสัมพันธ์

$$\text{Area} = a.c = \pi.r^2$$

ดังนั้น

$$r = \sqrt{\frac{a.c}{\pi}}$$

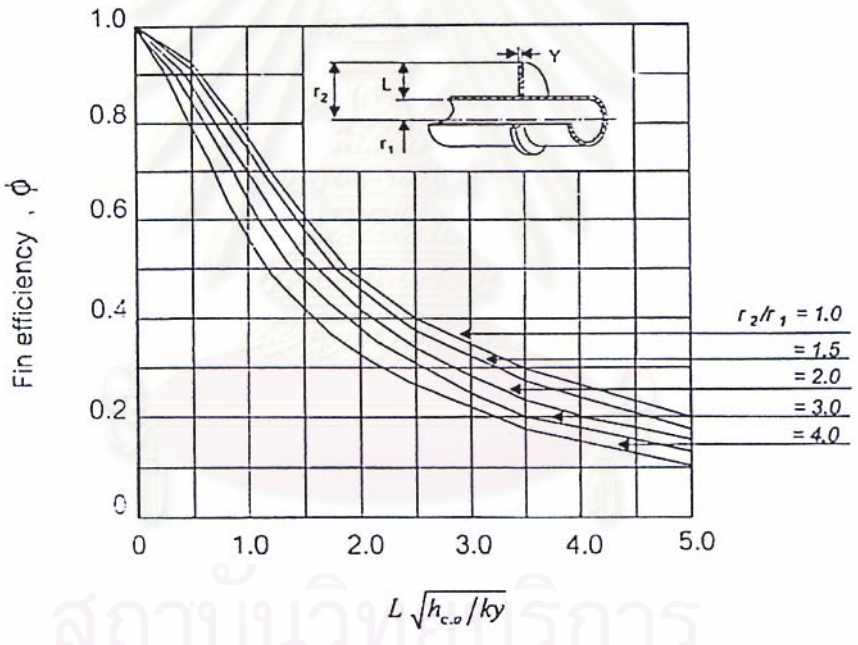


รูปที่ 3.6 แสดงรัศมีเทียบเท่าของแผ่นครีบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

ประสิทธิภาพของแผ่นครีบ (Fin efficiency, ϕ) คือ อัตราส่วนของความร้อนที่แผ่นครีบสามารถถ่ายเทได้จริง ต่อความร้อนที่แผ่นครีบถ่ายเท ถ้าหากแผ่นครีบนั้นอุณหภูมิเท่ากันหมด และเท่ากับอุณหภูมิที่ฐานของครีบ ดังนั้นจะได้ว่า

$$\text{Fin Efficiency}(\phi) = = \frac{\textit{อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เป็นจริง}}{\textit{อัตราการถ่ายเทความร้อนของแผ่นครีบที่อุณหภูมิฐานครีบ}}$$

โดย Karl A. Gardner [16]. ได้ทำการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของครีบแบบวงกลม แล้วเสนอผลการวิเคราะห์ในรูปของกราฟเพื่อความสะดวกในการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงประสิทธิภาพแผ่นครีบกลมของ Karl A. Gardner

โดยที่ L = ความยาวของแผ่นครีบ (m)

$H_{c,o}$ = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านอากาศ ($W/m^2.^oC$)

k_{al} = ค่าการนำความร้อนของครีบแผ่นอลูมิเนียม ~ 201 ($W/m^2.^oC$)

y = ครึ่งของความหนาของแผ่นครีบ (m)

3.6.2 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U_o) ของเครื่องควบแน่น (Overall Heat Transfer Coefficient for a dry Finned – Tube Heat Exchanger)

จากสมการพื้นฐานการส่งผ่านความร้อนในเครื่องควบแน่น

$$q = U_o A \Delta T_m$$

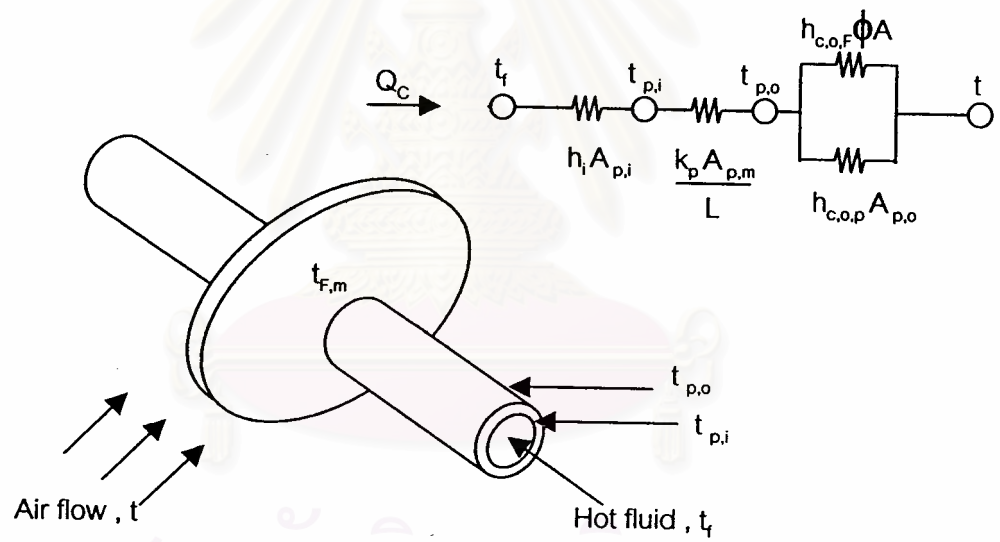
จากสมมุติฐาน

(1). พื้นที่ผิวของท่อทองแดงและแผ่นครีบมีสภาพแห้ง

(2). มีการถ่ายเทความร้อนคงที่สม่ำเสมอ

(3). อุณหภูมิของท่อทองแดงเท่ากับอุณหภูมิของฐานแผ่นครีบ

(4). $h_{c,o,p} = h_{c,o,F} = h_{c,o}$



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะของแผ่นครีบในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องควบแน่น (Condenser)

จากพิจาราณาในรูปที่ 3.8 เราจะได้ว่า

(1). อัตราการถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็นสู่ทองแดงด้านใน

$$q = h_i A_{p,i} (t_f - t_{p,i}) \qquad [3.13]$$

(2). อัตราการถ่ายเทความร้อนจากท่อทองแดงด้านในสู่ท่อทองแดงด้านนอก

$$q = \frac{k_p A_{p,m} (t_{p,i} - t_{p,o})}{X_p} \qquad [3.14]$$

(3). อัตราการถ่ายเทความร้อนจากท่อสู่ทองแดงด้านนอกและแผ่นครีบสู่อากาศ

$$q = h_{c,o,p} A_{p,o}(t_{p,o} - t) + h_{c,o,F} A_F(t_{F,m} - t_i)$$

$$= h_{c,o} (A_{p,o} + \phi A_F)(t_{p,o} - t) \qquad [3.15]$$

(4). อัตราการถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็นสู่อากาศ

$$q = U_o A_o (t_f - t) \qquad [3.16]$$

จากความสัมพันธ์ของสมการ จะได้ว่า

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_{p,i} h_i} + \frac{A_o x_p}{A_{p,m} k_p} + \frac{1 - \phi}{h_{c,o} (A_{p,o} / A_F + \phi)} + \frac{1}{h_{c,o}}} \qquad [3.17]$$

โดยที่ U_o = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2.^\circ C$)

A_o = พื้นที่ผิวรวมด้านนอกที่สัมผัสอากาศต่อหน่วยความยาว (m^2)

$A_{p,i}$ = พื้นที่ผิวรวมด้านในท่อต่อหน่วยความยาว (m^2)

$A_{p,m}$ = พื้นที่ผิวเฉลี่ยของท่อต่อหน่วยความยาว (m^2)

$A_{p,o}$ = พื้นที่ผิวรวมด้านนอกของท่อระหว่างแผ่นครีบต่อหน่วยความยาว (m^2)

A_f = พื้นที่ผิวของแผ่นครีบต่อหน่วยความยาว (m^2)

h_i = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านสารทำความเย็น ($W/m^2.^\circ C$)

$h_{c,o}$ = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนระหว่างอากาศกับท่อด้านนอก ($W/m^2.^\circ C$)

k_p = ค่าการนำความร้อนของท่อทองแดง ($W/m^2.^\circ C$)

ϕ = ประสิทธิภาพของครีบ

L = ความหนาของท่อทองแดง (m)

เนื่องจากเทอม ($A_o L$ / $A_{p,m} k_p$) มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเทอมอื่นๆ (~ 0.5 %) สามารถตัดทิ้งได้ ดังนั้นจะได้ว่า

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_{p,i} h_i} + \frac{1 - \phi}{h_{c,o} (A_{p,o} / A_F + \phi)} + \frac{1}{h_{c,o}}} \qquad [3.18]$$

3.6.3 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของสารทำความเย็นที่ไหลในท่อ (h_i)

สำหรับการถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ไหลในท่อกลมในแนวราบนั้น E.N. Sieder และ C.E. Tate [11] ได้ให้สมการสำหรับคำนวณสัมประสิทธิ์ของการพาความร้อนของของไหลในท่อเมื่อของไหลควบแน่นบนผิวท่อได้พัฒนาขึ้นโดย Nusselt ไว้ดังนี้

$$h_i = 0.725\left[\frac{g\rho_f^2 h_{fg} k^3}{\mu \Delta t N D_o}\right]^{\frac{1}{4}} \qquad [3.19]$$

โดยที่ hi = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลในท่อ ($W/m^2{}^\circ C$)

g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก = 9.81 (m/s^2)

ρ = ค่าความหนาแน่นของของเหลวที่ควบแน่น (kg/m^3)

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (kJ/kg)

μ = ค่าความหนืดของของเหลวที่ควบแน่น [$N\text{-}s/m^2$]

Δt = ความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างไอกับพื้นผิวท่อ ($^\circ C$)

N = จำนวนท่อในแนวตั้ง

D_o = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (m)

3.6.4 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนด้านอากาศไหลผ่านแผ่นครีบ

ในการคำนวณสัมประสิทธิ์การพาความร้อนด้านนอกท่อที่มีแผ่นครีบนี้ R.L. Webb ได้ทดลองหาสมการสำหรับคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบบังคับด้านอากาศบนหมู่ท่อติดแผ่นครีบแบบคลื่น (Wavy plate fin) วางตัวในแนวนอนและเรียงตัวกันแบบสลับแถวดังนี้

(1) กรณีที่ $Gz \leq 25$

$$Nu_a = 0.50.Gz^{0.86}\left(\frac{c}{D_o}\right)^{0.11}\left(\frac{s}{D_o}\right)^{-0.09}\left(\frac{s_d}{a}\right)^{0.12}\left(\frac{2.s_p}{a}\right)^{-0.34}$$

หรือ

$$h_{c,o} = 0.50\left(\frac{k_a}{D_H}\right).Gz^{0.86}\left(\frac{c}{D_o}\right)^{0.11}\left(\frac{s}{D_o}\right)^{-0.09}\left(\frac{s_d}{a}\right)^{0.12}\left(\frac{2.s_p}{a}\right)^{-0.34} \qquad [3.20]$$

(2) กรณีที่ Gz $\leq$ 25

$$Nu_a = 0.83.Gz^{0.78}\left(\frac{c}{D_o}\right)^{0.13}\left(\frac{s}{D_o}\right)^{-0.16}\left(\frac{s_d}{a}\right)^{0.25}\left(\frac{2.s_p}{a}\right)^{-0.43}$$

หรือ

$$h_{c,o} = 0.83\left(\frac{k_a}{D_H}\right).Gz^{0.76}\left(\frac{c}{D_o}\right)^{0.13}\left(\frac{s}{D_o}\right)^{-0.16}\left(\frac{s_d}{a}\right)^{0.25}\left(\frac{2.s_p}{a}\right)^{-0.43} \quad [3.21]$$

เมื่อ $Gz = \mathrm{Re}.\mathrm{Pr}.\frac{D_H}{W}$

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho_o.U_m.D_H}{\mu_a}$$

$$D_H = \frac{2.s.(1-\beta)}{\left[(1-\beta)\sec\theta + 2.s.\frac{\beta}{D_o}\right]}$$

$$s = \frac{1}{F_l} - 2y$$

$$\beta = \frac{\pi.D_o^2}{4.a.c}$$

$$\sec\theta = \frac{\sqrt{(s_d^2 + s_p^2)}}{s_p}$$

$$U_m = \frac{U_{fr}}{\sigma.(1-\beta)}$$

$$\sigma = \frac{t}{(s+t)} \quad ; \quad t = 2y$$

$$W = N_R.a$$

โดยที่ Gz = ค่าตัวเลขเกรทซ์

Pr = ค่าตัวเลขแพรนด์เติลของอากาศ

Re = ค่าตัวเลขเรโนลย์

D_H = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิกส์ที่ความเร็วอากาศเฉลี่ย (m)

U_m = ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ [m/s]

μ_a = ค่าความหนืดของอากาศ [N-s/m^2]

ρ_a = ค่าความหนาแน่นของอากาศ [kg/m^3]

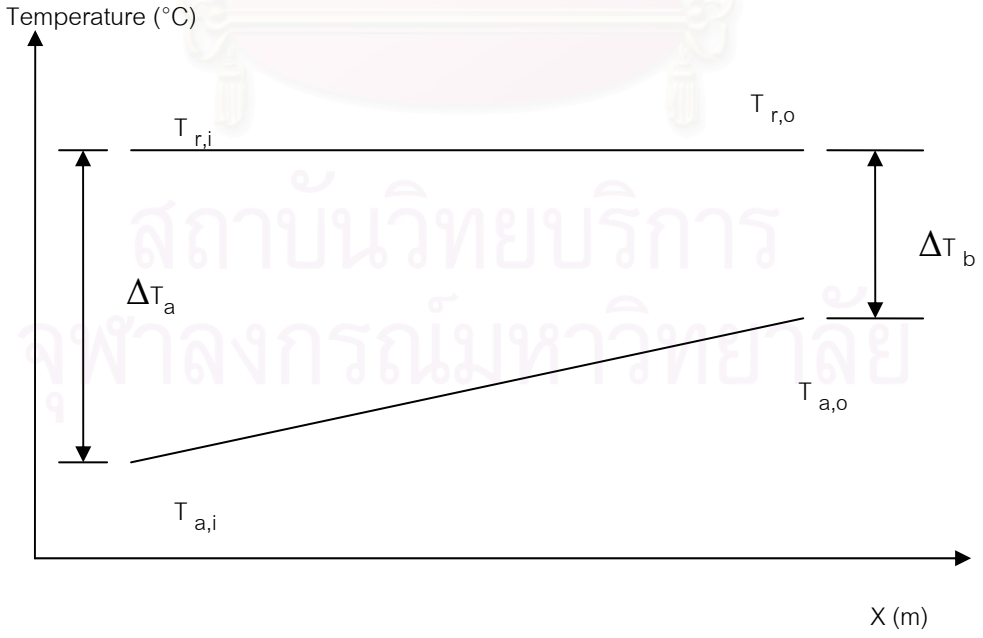
k_a = ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอากาศ [W/m.°C]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

s	=	ระยะห่างระหว่างแผ่นครีบ	(m)
N_R	=	จำนวนแถวของคอยล์ในแนวตั้ง	
t	=	ความหนาแน่นของแผ่นครีบ (2y)	(m)
s_d	=	ระยะความสูงจากฐานถึงแผ่นยอดของแผ่นครีบแบบคลื่น	(m)
s_p	=	ระยะครึ่งความยาวของแผ่นครีบแบบคลื่น	(m)
a	=	ระยะห่างระหว่างท่อในแนวนอน	(m)
c	=	ระยะห่างของท่อในแนวตั้ง	(m)
U_{fr}	=	ความเร็วอากาศหน้าคอยล์	[m/s]
σ	=	Contraction Ratio	

3.6.5 ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิธึ่ม (Logarithm Mean Temperature Different (ΔT_m))

สำหรับในการออกแบบเครื่องระบายความร้อนด้วยอากาศนั้น ปริมาณความชื้นในอากาศค่อนข้างจะมีผลกระทบต่อภาระในการระบายความร้อนไม่มากนัก ดังนั้นจึงสามารถกำหนดความสัมพันธ์ดังกล่าวในรูปของผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยลอการิธึ่มได้ดังนี้



รูปที่ 3.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเครื่องควบแน่น

โดยที่ $$\Delta T_m = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln(\frac{\Delta T_a}{\Delta T_b})}$$ [3.22]

เมื่อ $T_{r,i}$ = อุณหภูมิทางเข้าของสารทำความเย็น ($^{\circ}$C)

$T_{r,o}$ = อุณหภูมิทางออกของสารทำความเย็น ($^{\circ}$C)

$T_{a,i}$ = อุณหภูมิทางเข้าของอากาศ ($^{\circ}$C)

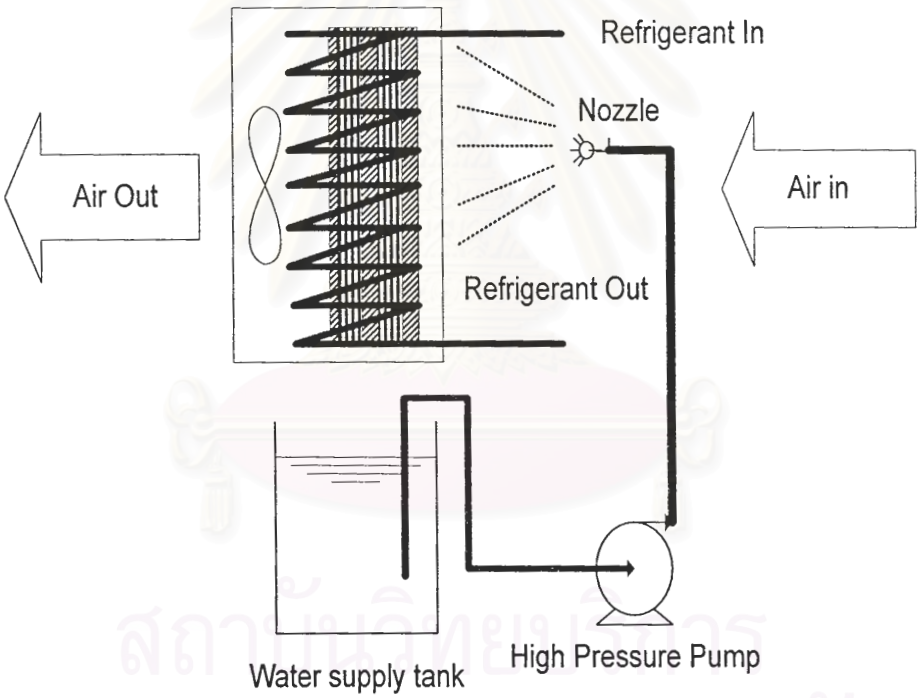
$T_{a,o}$ = อุณหภูมิทางออกของอากาศ ($^{\circ}$C)

3.7 หลักการทำงานของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ

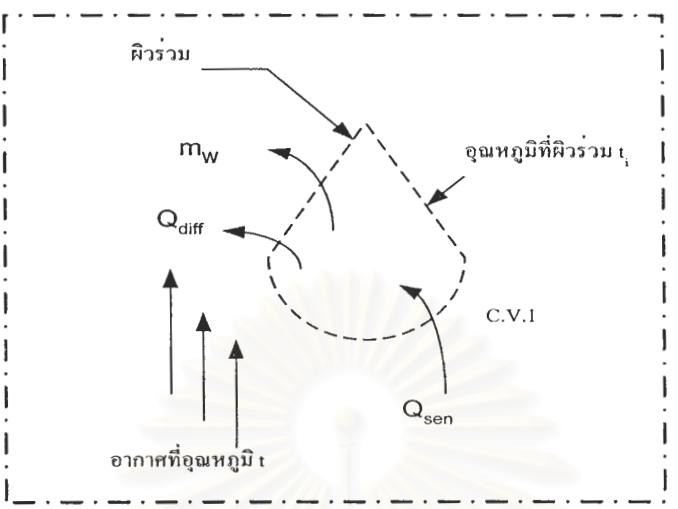
สำหรับคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำเป็นคอนเดนเซอร์ที่อาศัยทั้งน้ำและอากาศในการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะก๊าซ เพื่อให้สารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะก๊าซเกิดการควบแน่นเปลี่ยนแปลงจากสถานะก๊าซเป็นของเหลว ดังนั้นหลักการของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำคือการนำเอาข้อดีของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำกับการระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (Evaporative Cooling) เข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.10 โดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศมากนัก เพียงแต่ติดตั้งหัวฉีดพ่นหมอกไอน้ำด้านหลังคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ทำให้ง่ายต่อการติดตั้งและบำรุงรักษา โดยไม่ต้องทำการดัดแปลง และสามารถสลับการทำงานของเครื่องปรับอากาศเป็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศหรือเป็นแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำได้ ทั้งนี้เนื่องจากหากอุณหภูมิของสภาวะอากาศภายนอกมีอุณหภูมิไม่สูง เช่นในหน้าหนาว หรือหน้าฝน ก็จะเป็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ในมอเตอร์ปั๊มน้ำแรงดันสูง เพราะประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจะมีค่าสูง เมื่ออุณหภูมิกระเปาะแห้งของสภาวะอากาศภายนอกมีค่าต่ำ จึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้การพ่นน้ำมาช่วยในการระบายความร้อนจากคอนเดนเซอร์

จากรูปที่ 3.10 สารทำความเย็นอุณหภูมิสูงและความดันสูงในสถานะก๊าซจะไหลเข้าสู่ทางท่อด้านบน แล้วน้ำจากก้นถังจะถูกปั๊มส่งไปยังหัวฉีดเพื่อฉีดให้เป็นละอองน้ำขนาดเล็กคล้ายหมอก ฉีดพ่นไปผสมกับอากาศที่ถูกดูดจากพัดลมที่ขับด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าด้านหน้าคอนเดนเซอร์ ทำให้อากาศแลกเปลี่ยนความร้อนกับหมอกไอน้ำ และหมอกไอน้ำบางส่วนยังผสมกับอากาศเข้าสัมผัสกับขดท่อสารทำความเย็นเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นที่ไหลผ่านขดท่อสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์ ทำให้สารทำความเย็นควบแน่นเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลว

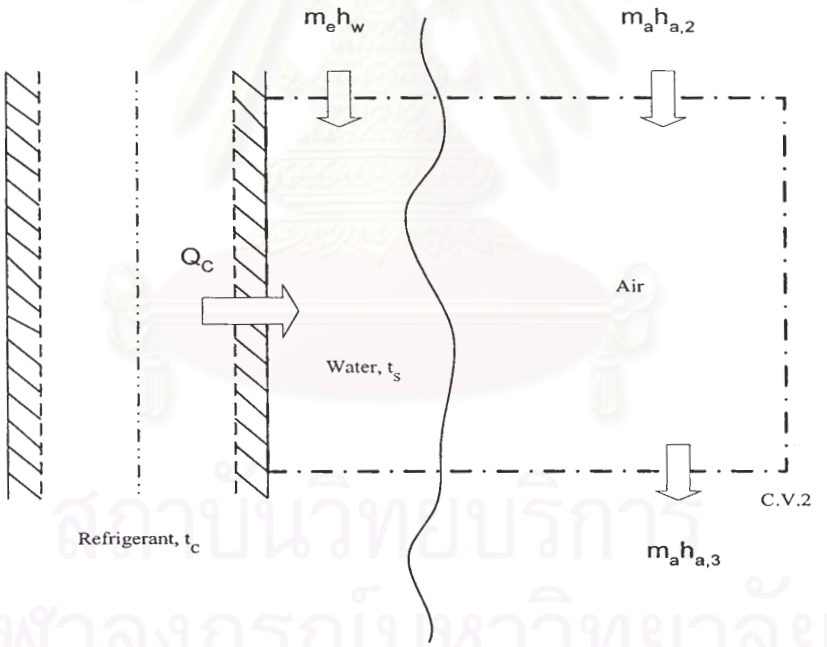
ขณะที่น้ำจะระเหยตัวขณะรับความร้อนจากคอนเดนเซอร์และออกจากคอนเดนเซอร์ เนื่องจากพลังงานที่ถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์ส่วนใหญ่จะเอาไปใช้ในการระเหยน้ำ ซึ่งน้ำส่วนหนึ่งก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ก็ระเหยไปส่วนหนึ่งเมื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิของอากาศลดต่ำลง เพราะฉะนั้นประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็นจึงเพิ่มขึ้น เนื่องมาจากน้ำมีค่าความจุความร้อนที่มากกว่าอากาศ จึงสามารถดึงความร้อนจากสารทำความเย็นได้มากกว่าใช้อากาศในการระบายความร้อนเพียงอย่างเดียว



รูปที่ 3.10 แสดงการทำงานของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ



รูปที่ 3.11 แสดงการถ่ายความร้อนระหว่างหยดน้ำกับอากาศ



รูปที่ 3.12 แสดงการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ

จากรูปที่ 3.11ขณะที่น้ำถูกฉีดออกจากหัวฉีดเป็นละอองน้ำขนาดเล็ก ละอองน้ำจะไหลผ่านสัมผัสกับอากาศ จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ เมื่อพิจารณาสมการสมดุลพลังงานของการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวน้ำกับอากาศ

จากสมดุลความร้อนของการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับละอองน้ำ จะได้สมการดังนี้

$$Q_{diff} = Q_{sen} + Q_{rad} \quad [3.23]$$

แต่ในเทอมของ Q_{rad} ถือได้ว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเทอมอื่นดังนั้นจึงไม่ต้องนำมาพิจารณา

จากรูปที่ 3.11 เนื่องจากอุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศ(อุณหภูมิกระเปาะแห้ง) ดังนั้นอุณหภูมิผิวร่วม (t_i) จึงต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศ (t) จึงทำให้ความร้อนถ่ายเทจากอากาศสู่หยดน้ำโดยการพาความร้อน ซึ่งคำนวณได้จาก

$$Q_{sen} = \dot{m}_w(h_{a,2} - h_{a,1}) \quad [3.24]$$

หรือ

$$Q_{sen} = \alpha A(t - t_i) \quad [3.25]$$

นอกจากนี้เมื่อพิจารณารูปที่ 3.11 ความร้อนที่สูญเสียจากละอองน้ำ จะอยู่ในรูปของความร้อนที่แพร่กระจายติดไปกับไอน้ำที่ระเหยออกจากหยดน้ำ คำนวณได้จาก

$$Q_{diff} = \dot{m}_w\lambda_w \quad [3.26]$$

เมื่อ Q_{sen} = อัตราการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับหยดน้ำ, kW

Q_{diff} = อัตราความร้อนแพร่กระจายไปกับไอน้ำที่ระเหยออกไป, kW

$\dot{m}_w$ = อัตราการแพร่มวลไอน้ำผ่านผิวร่วม, kg/s

$h_{a.1}$ = เอนทัลปีของอากาศก่อนเข้าไปผสมกับหยดน้ำ, (kJ/kg)

$h_{a.2}$ = เอนทัลปีของอากาศหลังไปผสมกับหยดน้ำแล้ว, (kJ/kg)

t = อุณหภูมิของอากาศที่ไหลผ่านหยดน้ำ ($^{\circ}C$)

t_i = อุณหภูมิของผิวร่วมของหยดน้ำ ($^{\circ}C$)

λ_w = ความร้อนแฝงจำเพาะของไอน้ำที่แพร่กระจายออก, (kJ/kg)

สำหรับอัตราการแพร่มวลไอน้ำผ่านผิวร่วมสามารถหาในพจน์ของความดันย่อย หรือความชื้นสมบูรณ์ (Absolute humilities) ดังนี้

$$\dot{m}_W = K_g A(P_i - P_g) \quad [3.27]$$

หรือ

$$\dot{m}_W = K'_g A(w_i - w_g) \quad [3.28]$$

เมื่อ K_g = สัมประสิทธิ์ฟิล์มของการแพร่, (s/m)

P_i = ความดันย่อยของไอน้ำที่ผิวร่วม, (kPa)

P_g = ความดันย่อยของไอน้ำที่ในอากาศ, (kPa)

K'_g = สัมประสิทธิ์การแพร่, ($kg/m^2.s$)

w_i = อัตราส่วนความชื้นที่ผิวร่วม, (kg/kg)

w_g = อัตราส่วนความชื้นที่ผิวร่วม, (kg/kg)

จากที่กล่าวมาเบื้องต้นว่า ละอองน้ำที่เข้าไปช่วยในการระบายความร้อนในเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ส่วนหนึ่งจะแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศและอีกส่วนหนึ่งจะเข้าไปเกาะตัวกับขดท่อสารทำความเย็น ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.12 สมการสมดุลพลังงานของการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวน้ำที่เข้ามาเกาะตัวบนท่อไปยังอากาศที่ผ่านเข้ามาจะได้ดังนี้

$$Q_C = \dot{m}_a(h_{a,3} - h_{a,2}) + \dot{m}_e h_W \quad [3.29]$$

โดยที่ Q_C = อัตราความร้อนที่ถ่ายเทออกจากคอนเดนเซอร์, (kW)

$\dot{m}_e$ = อัตราการระเหยมวลของน้ำ, (kg/s)

h_W = เอลทัลปีของน้ำที่เกาะบนพื้นผิวท่อคอนเดนเซอร์, (kg/s)

แต่ในเทอมของ $\dot{m}_e h_W$ ถือได้ว่ามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเทอมอื่นดังนั้นจึงไม่ต้องนำมาพิจารณา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.7.1 ขั้นตอนในการออกแบบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ

ในการออกแบบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำนั้น ประกอบด้วยการพิจารณาเลือกหัวฉีดและปั๊มแรงดันสูง เนื่องจากทั้งสองส่วนเป็นส่วนสำคัญของระบบ สำหรับเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกหัวฉีดและปั๊มแรงดันสูง มีดังนี้

3.7.2 การเลือกหัวฉีด

จากหน้าที่ของหัวฉีดที่จะใช้ในระบบพ่นน้ำนี้ จะทำหน้าที่ฉีดละอองน้ำเป็นละอองเล็กๆ คล้ายหมอกไปผสมกับอากาศ ดังนั้นต้องทำการเลือกหัวฉีดที่มีคุณสมบัติในการฉีดพ่นน้ำให้ออกมาอยู่ในรูปของหมอกที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Fog) นอกจากนี้จะต้องมีปริมาณน้ำที่ฉีดพ่นออกมามีค่าต่ำ เนื่องจากต้องพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ และที่สำคัญจะต้องเหมาะสมกับขนาดของความดันของปั๊มที่เลือก ซึ่งจะเลือกปั๊มแบบความดันสูง ดังนั้นต้องทำงานที่ภายใต้แรงดันสูง สามารถทนกับแรงดันน้ำที่มีค่าสูงได้ หัวฉีดจะต้องมีมุมที่เหมาะสม ขนาดของรูและจำนวนรูที่เหมาะสมกับการใช้งาน โดยเราจะเลือกหัวฉีดที่ทำจากวัสดุที่ทำจากทองเหลืองหรืออลูมิเนียม เนื่องจากสามารถทนแรงบีบอัดได้ดี และไม่เป็นสนิม

ในการทดสอบนี้เราจะเลือกหัวฉีดแบบ Atomize ยี่ห้อ BETE รุ่น PJ12 และ PJ20 ซึ่งคุณสมบัติของหัวฉีดทั้งสองแบบจะแสดงในรูปที่ 5.3

3.7.3 การเลือกปั๊มความดันสูง

สำหรับการเลือกขนาดของปั๊มที่ใช้ในการขับน้ำให้ไปผสมกับอากาศนั้น จะต้องใช้ปั๊มที่มีความดันสูงเพื่อทำการฉีดให้น้ำแตกตัวเป็นละอองน้ำเม็ดเล็กๆลักษณะคล้ายหมอก เพื่อเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศ โดยเราจะเลือกปั๊มที่มีความต้องการขนาดแรงม้าต่ำแต่ให้ความดันที่ออกมาสูงเหมาะสมกับการใช้งาน

ในการทดสอบนี้จะใช้เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง ยี่ห้อ TAKUSHI ที่มีขนาดกำลังขับมอเตอร์ 250 Watt แต่ให้แรงดันสูงสุด 35 Bar และอัตราการไหลสูงสุด 3.5 L/min ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.4

3.8 วิธีวิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

สำหรับผลจากการปรับปรุงระบบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ จะใช้วิธีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์จุดประสงค์เพื่อประเมินศักยภาพของระบบว่ามีความเป็นไปได้และเหมาะสมเพียงใด โดยจะพิจารณาจากผลตอบแทนการลงทุนและผลการดำเนินโครงการนี้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเท่าไร โดยทั่วไปเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ ระเวลาคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ และอัตราผลตอบแทนการลงทุน

3.8.1 ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนคือ ระยะเวลาผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับเงินลงทุน ผลที่ได้จากการประเมินการลงทุนวิธีนี้ก็คือ จะทำให้ทราบว่าได้รับเงินทุนคืนช้าหรือเร็วเท่าใด ถ้าคืนทุนได้เร็วเท่าใดก็จะดีมากขึ้นเท่านั้น เนื่องจากโอกาสเสี่ยงต่อการขาดทุนในอนาคตก็จะมีน้อยลง และสามารถนำเงินที่คืนทุนนั้นไปลงทุนในกิจการอื่นๆได้

วิธีหาระยะเวลาคืนเบื้องต้นเป็นวิธีแบบง่ายๆและเป็นที่นิยมใช้แต่มีข้อเสียคือ ไม่ได้พิจารณาถึงผลตอบแทนที่ได้รับหลังระยะเวลาการคืนทุนแล้ว และไม่ได้พิจารณาการปรับมูลค่าเงินตามเวลา

สำหรับในกรณีที่ผลตอบแทน และค่าใช้จ่ายในแต่ละปีมีค่าเท่ากันทุกปี ระยะเวลาคืนทุนหาได้ดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน/ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี [3.30]

โดยที่ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน = ค่าลงทุนเริ่มแรก + ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน(ค่าแรง)

ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี = ผลตอบแทนที่ได้เฉลี่ยต่อปี – ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่อปี

กรณีที่ผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับต่อปีไม่เท่ากัน การคำนวณจะรวมผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับแต่ละปีจนกระทั่งถึงปีที่ผลสะสมของผลตอบแทนสุทธิเท่ากับจำนวนเงินที่ลงทุน โดยจำนวนปีนี้คือระยะเวลาคืนทุน

3.8.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของรายรับ กับค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการ ซึ่งหาได้จากการนำเอากระแสเงินสดสุทธิของแต่ละปีตลอดอายุโครงการมาปรับให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน โดยใช้ค่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ยอมรับได้เป็นอัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ยในการปรับมูลค่าเงิน เพื่อวัดว่าโครงการที่กำลังพิจารณาจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่ โดยเกณฑ์ในการตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่คือ ถ้าค่า NPV มีค่าเป็นบวกแสดงว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า แต่ถ้าค่า NPV มีค่าเป็นลบก็ไม่ควรที่จะลงทุน วิธีคำนวณหาได้ง่าย ดังสมการ

$$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} = \sum_{n=0}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n} \qquad [3.31]$$

หรือ

$$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC$$

เมื่อ

TIC	=	ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก (บาท)
NCF_n	=	ผลตอบแทนสุทธิในปีที่ n (บาท/ปี)
I	=	อัตราส่วนลด
R_n	=	ผลตอบแทนที่ได้รับในปีที่ n
C_n	=	ค่าใช้จ่ายในปีที่ n
N	=	อายุของโครงการ (ปี)

3.8.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return : IRR)

อัตราผลตอบแทนการลงทุน คือ อัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนจากการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันขอค่าใช้จ่ายในการลงทุน อัตราที่กล่าวถึงจึงเป็นอัตราความสามารถของเงินลงทุนที่จะก่อให้เกิดรายได้คุ้มกับเงินลงทุนพอดี

ซึ่งวิธีการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนนี้จะพิจารณาได้ 2 แบบคือ แบบเดาสุ่ม (Trial and Error) และแบบหาค่ากลาง (Interpolation) โดยหาอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับทุกปีรวมกันเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรกที่จ่าย

กล่าวคือ การหาอัตราส่วนลดที่ทำให้มูลค่าเงินปัจจุบันสุทธิในการลงทุน (Net Present Value) เท่ากับศูนย์ หรือเข้าใกล้ศูนย์ ดังนั้นค่าอัตราส่วนลดที่หาได้คือค่า IRR

เกณฑ์ในการตัดสินใจคือ ถ้าค่า IRR มีค่ามากกว่าอัตราขั้นต่ำของผลตอบแทนที่ยอมรับได้ ก็ถือว่าคุ้มค่าที่จะลงทุน อย่างไรก็ดีถึงแม้ว่าค่า IRR จะเป็นเกณฑ์การตัดสินใจที่ดี และเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป แต่ก็มีข้อเสียคือ อาจมีค่าของอัตราส่วนลดมากกว่าหนึ่งค่า ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นศูนย์ ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้กับโครงการที่ผลตอบแทนสุทธิในแต่ละปีเปลี่ยนจากบวกเป็นลบ

สมการที่ใช้คำนวณแบบสุ่มค่า (Trial and Error) มีดังนี้

$$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC = 0 \qquad [3.32]$$

เมื่อ i = IRR หรือ ค่าอัตราส่วนลดที่จะทำให้ NPV = 0

สมการคำนวณค่า IRR แบบหาค่ากลาง (Interpolation) มีดังนี้

IRR = อัตราส่วนลดค่าสุด + ผลต่างระหว่างอัตราส่วนลดทั้งสอง x [NPV ที่ใช้อัตราส่วนลดค่าต่ำสุด/ผลต่างของ NPV ที่ใช้อัตราส่วนลดทั้งสอง] [3.33]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

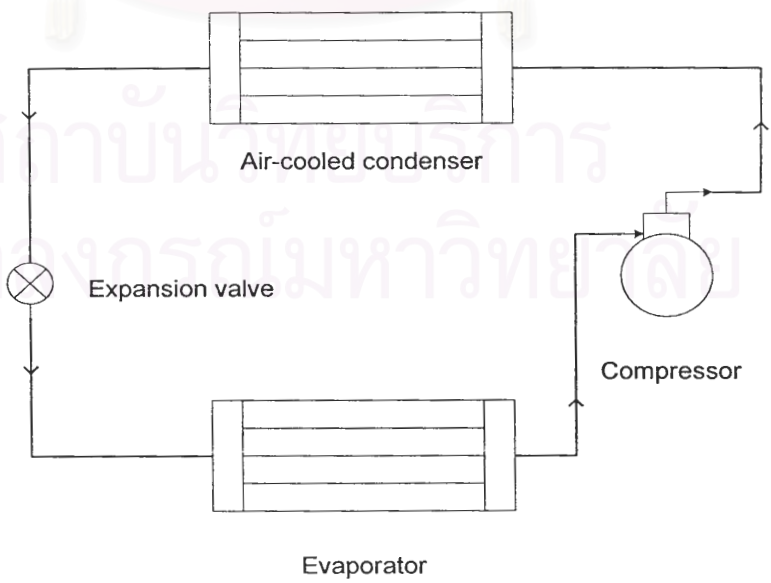
บทที่ 4

วิธีการดำเนินการวิจัย

4.1 ลักษณะของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในงานวิจัย

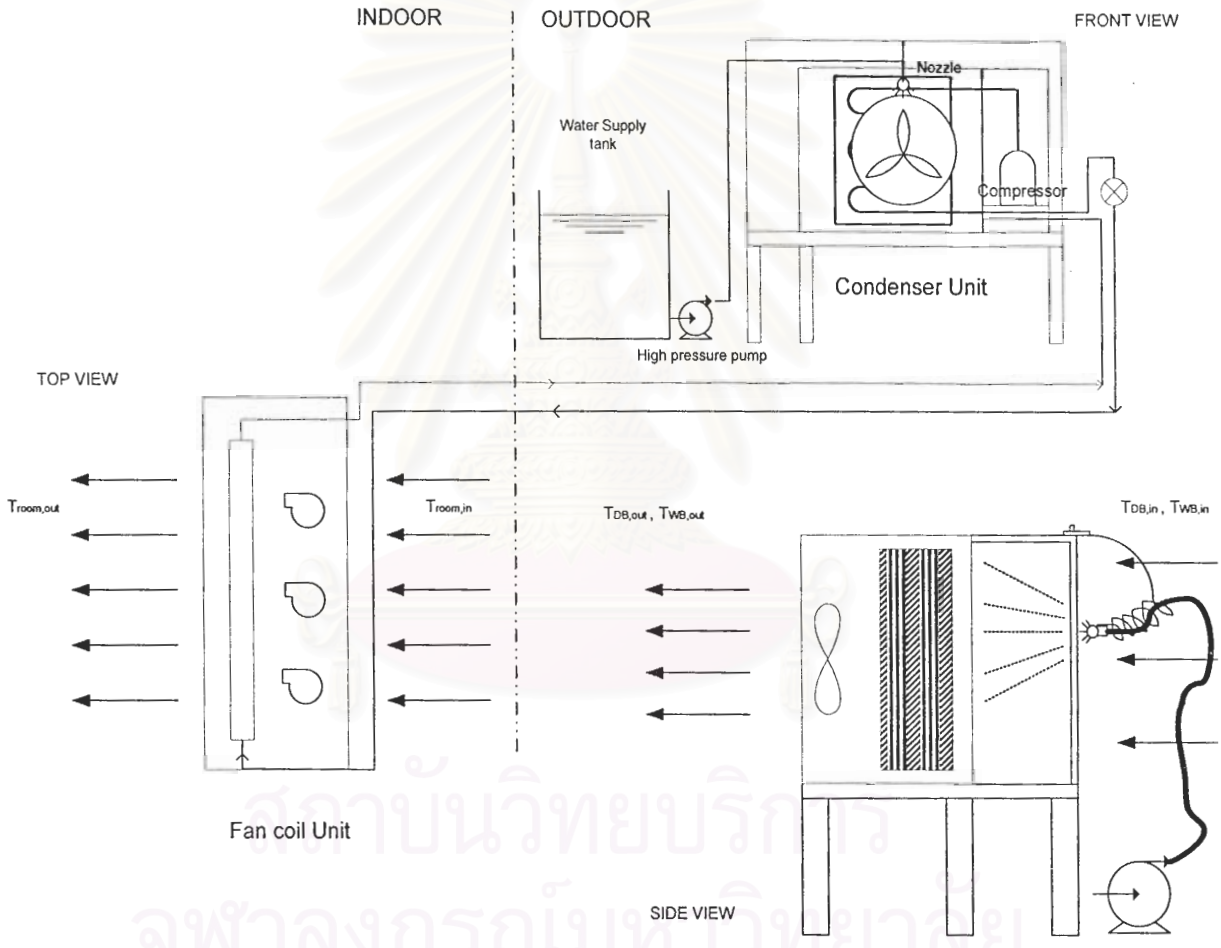
ในการศึกษาวิทยานิพนธ์นี้จะทำการศึกษาและทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอชนิดแยกส่วน(Split type) ซึ่งได้ทำการปรับปรุงในส่วนของชุดคอนเดนเซอร์ (Condensing Unit) โดยอาศัยหลักการทำงานของการระบายความร้อนในคอนเดนเซอร์แบบระเหยน้ำ(Evaporative Condenser) และหลักการการระบายความร้อนโดยการระเหยน้ำ (Evaporative Cooling) ซึ่งนำมาใช้ร่วมกับการระบายความร้อนแบบใช้อากาศ (Air-Cooled Condenser) การวิจัยนี้ เป็นการวิจัยเพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานและการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศทั้ง 2 แบบ ซึ่งการวิจัยนี้ ได้ออกแบบเครื่องปรับอากาศให้ใช้กับการทำความเย็นขนาด 12,000, 15,000 และ 48,000 Btu/hr โดยไม่มีการดัดแปลงจากสภาพเดิมของตัวเครื่องคอนเดนเซอร์ และสามารถเลือกระบบระบายความร้อนทั้ง 2 แบบ คือ

1. คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-Cooled)
2. คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนทั้งน้ำและอากาศ(Double-Cooled)

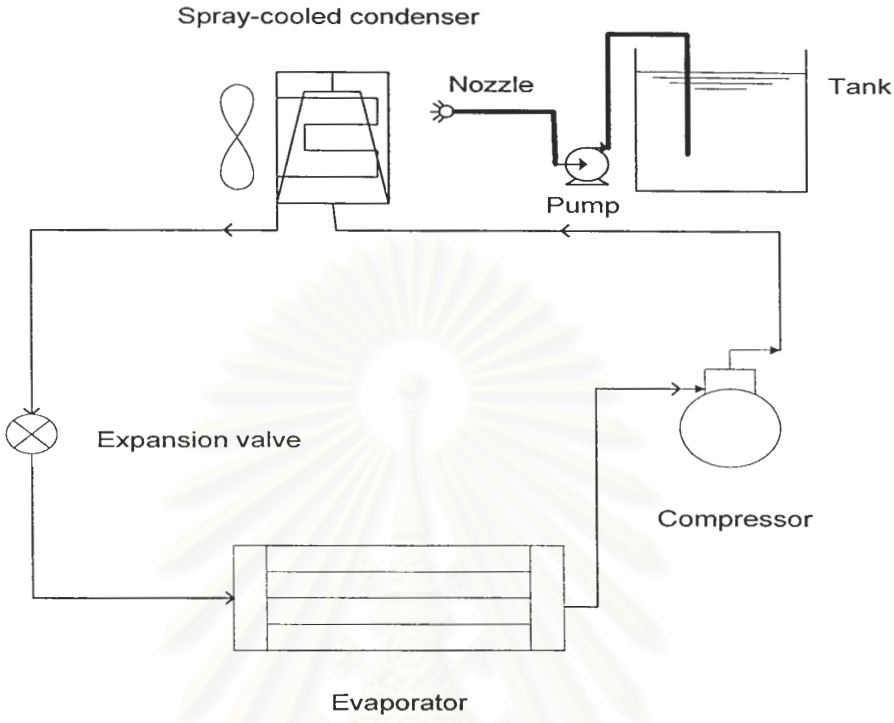


รูปที่ 4.1 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

ซึ่งระบบปรับอากาศสามารถเลือกใช้ระบบคอนเดนเซอร์ให้ทำงานแบบระบายความร้อนด้วยอากาศหรือทำงานด้วยการพ่นน้ำ(เสริมการพ่นน้ำโดยที่ยังคงใช้อากาศเข้ามาระบายความร้อนเหมือนเดิม) โดยที่เครื่องปรับอากาศทั้งสองระบบมีการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 แสดงส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งระบบพ่นน้ำให้สามารถใช้ทั้งแบบระบายความร้อนด้วยอากาศหรือแบบพ่นน้ำ



รูปที่ 4.3 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะอาศัยเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน TRANE Model TTK 512 HBOOBA ที่มีอยู่แล้วนำมาปรับปรุงในส่วนของคอนเดนเซอร์ดังมีรายละเอียดดังนี้

Fan Coil Unit

รุ่น SMEN 526 2427 2E

ระบบไฟฟ้า 220 Volts 1 Phase 50 Hz

กระแสไฟฟ้าเข้าสูงสุด 1.5 A

(กระแส, แรงดัน, กำลัง)	จำนวน	RLA	LRA	Volts	PH	Hz
มอเตอร์พัดลม	1	0.4	0.6	220	1	50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Condensing Unit

รุ่น TTK 512 HB

ระบบไฟฟ้า	220	Volts	1 Phase 50 Hz			
กระแสไฟฟ้าเข้าสูงสุด	8.0 A					
(กระแส, แรงดัน, กำลัง)	จำนวน	RLA	LRA	Volts	PH	Hz
มอเตอร์พัดลม	1	0.4	0.6	220	1	50
คอมเพรสเซอร์	1	6.0	33.0	220	1	50
ความสามารถทำความเย็น			12,000 Btu/hr (3.4 kW)			

4.2 การออกแบบชุดคอนเดนเซอร์ในการวิจัย

สำหรับในการวิจัยนี้ ได้เลือกใช้เครื่องปรับอากาศที่ใช้งานมาแล้วและมีความสามารถในการทำความเย็นขนาด 12,000 BTU/hr หรือประมาณ 3.4 kW และในส่วนของเครื่องเป่าลมเย็นไม่มีการปรับปรุง โดยได้ทำการปรับปรุงเฉพาะในส่วนของคอนเดนเซอร์ เพื่อสำหรับการวัดค่า อุณหภูมิ ,ความดันที่จุดต่างๆ วัดค่าอัตราการไหลของสารทำความเย็น R-22 และปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้ทำงานแบบ Full Load ตลอดเวลา ดังนั้นโครงสร้างและส่วนประกอบเกือบทั้งหมดใกล้เคียงกับชุดคอนเดนเซอร์เครื่องปรับอากาศที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดทั่วๆไป

4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่องฉีดน้ำแรงดันสูง
   - ยี่ห้อ TAKUSHI (High Pressure Clean Pump)
   - แรงดันไฟฟ้า 220 volt 1 phase 50 Hz กำลังไฟฟ้า 250 W กระแสไฟฟ้า 5 Amp
   - ท่อด้านส่งและด้านจ่ายขนาด ½ นิ้ว ความเร็วรอบ 1600 rpm.
   - อัตรากรไหลสูงสุด 3.5 l/min
   - แรงดัน 35 bar

รูปที่ 4.4 ปั๊มแรงดันสูง.

2. ถังเก็บน้ำ ใช้สำหรับเป็นถังน้ำป้อน(Supply water) ให้กับเครื่องฉีดไอน้ำ
   - ความจุน้ำ 60 ลิตร
   - ความจุน้ำ 40 ลิตร

รูปที่ 4.5 ถังน้ำป้อนขนาดความจุ 60 และ 40 ลิตร

3. มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า (Watt-hr meter) ใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้ารวม
   - ยี่ห้อ PEN
   - แรงดันไฟฟ้า 220 volt 1 phase 50 Hz
   - กระแสไฟฟ้า 5/15 A

รูปที่ 4.6 มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า

4. มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า (Digital power meter) ใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้าของพัดลมและเครื่องคอมเพรสเซอร์

- ยี่ห้อ CHAUVIN ARONUX รุ่น CA 8210
- Meas. Range 0 – 2000 W, 200-750 VAC, 0-10 A
- Resolution 1 W, 1 V, 0.01 A
-

รูปที่ 4.7 มิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าแบบเคลื่อนที่วัด

5. เกจวัดความดัน(Pressure Gauge) ใช้วัดความดันของสารทำความเย็นด้านสูงและด้านต่ำ
   - ยี่ห้อ IMPERIAL รุ่น 432 – CM
   - Meas. Range $P_{suc.}$ = 0-8.5 kg/cm^2
   - P_{dis} = 0-50 kg/cm^2

รูปที่ 4.8 อุปกรณ์วัดความดันสารทำความเย็น

6. เทอร์โมมิเตอร์ใช้ร่วมกับเทอร์โมคัพเปิ้ล พร้อมกับตัวเลือกช่องสัญญาณ สำหรับวัดอุณหภูมิพื้นผิวท่อสารทำความเย็น
   - ยี่ห้อ UNICOM รุ่น DR-99TEMP ,Thermocouple Type K
   - Meas. Range -50.0 – 199.9 °C
   - Resolution 0.1 °C

รูปที่ 4.9 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิสารทำความเย็น

7. เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท ใช้วัดอุณหภูมิของน้ำ
   - ยี่ห้อ ASTM รุ่น 34 C ANILINE
   - Meas. Range 26 – 104 °C
   - Resolution 0.2 °C

8. เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Thermo hygrometer with probe) บริเวณทางออกจากชุดคอนเดนเซอร์
   - ยี่ห้อ Testo รุ่น 635
   - Meas. Range 0-100 %RH, -20 – 70 °C
   - Resolution 1 %RH , 0.1 °C

รูปที่ 4.10 อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ

9. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลสำหรับสารทำความเย็น R-22
   - ยี่ห้อ ABB: Amored Purgmeter รุ่น 10A3225
   - Meas. Range 0.2 – 1.6 l/min
   - Resolution 0.05 l/min

รูปที่ 4.11 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของสารทำความเย็น

10. อุปกรณ์วัดความเร็วลม (Hot Wire Anemometer) บริเวณทางออกของชุดคอนเดนเซอร์

- ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-44
- Meas. Range 0-100 %RH, -20 – 70 °C
- Resolution 1 %RH , 0.1 °C

รูปที่ 4.12 อุปกรณ์วัดความเร็วลม

11. หัวฉีด (Nozzle) พ่นหมอกไอน้ำในระบบพ่นน้ำ

- ยี่ห้อ BETE แบบ PJ12 และแบบ PJ20
- High energy efficiency 1/8 male connection
- High percentage of droplets under 50 microns
- Spray pattern : Cone-Shaped Fog
- Flow rate : 0.0580 to 5.34 l/min

รูปที่ 4.13 แสดงหัวฉีดแบบ PJ12 ยี่ห้อ BETE

12. กระบอกฉีดน้ำแรงดัน สำหรับการทดสอบเบื้องต้น

- ยี่ห้อ SOLO (Pressure Sprayer)
- ขนาดความจุ 1.1 ลิตร
- ขนาดรูหัวฉีด 1 mm.

รูปที่ 4.14 รูปกระบอกฉีดน้ำแรงดัน สำหรับการทดสอบเบื้องต้น

13. วาล์วสำหรับเปิดปิดน้ำ ข้อต่อสามทางและสายท่อน้ำกลับและท่อน้ำส่ง
    - ในการทดสอบจะใช้วาล์วในการปรับแรงดันตามที่ต้องการ
    - ข้อต่อและสามทางที่ใช้จะเป็นทองเหลืองซึ่งสามารถทนแรงสูง
    - ท่อสายยางเป็นแบบ PVC และสาย PVC แบบที่ทนแรงดันสูง

14. นาฬิกาจับเวลา เพื่อใช้ในการจับเวลาในการบันทึกผลการทดลอง

4.4 การดำเนินการทดสอบ

ในการดำเนินการวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ 1. การทดสอบเบื้องต้น(Pre-Test) 2. การทดสอบกับเครื่องปรับอากาศทั่วไป 3. การทดสอบในห้องทดสอบ (Calorimeter Room) 4.การทดสอบในเชิงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นการทดลองเพื่อเป็นสนับสนุนผลการอนุรักษ์พลังงาน

สำหรับการทดลองเบื้องต้น(Pre-Test)นั้น เป็นการทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐานที่ว่าเมื่อใช้น้ำพ่นเป็นละอองน้ำผสมกับอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ทำให้สามารถประหยัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์ ส่วนการทดลองกับเครื่องปรับอากาศทั่วไปเป็นการทดลองเพื่อทดสอบเครื่องพ่นน้ำที่สร้างขึ้น ว่ามีประสิทธิภาพในการทำงานหรือไม่ ทดสอบหัวฉีดที่เหมาะสมในการใช้งาน และทดสอบแรงดันที่เหมาะสมในการใช้งาน ส่วนในในห้องทดสอบ (Calorimeter Room) เป็นการทดสอบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นคือ เครื่องพ่นน้ำและชุดทดสอบคอนเดนเซอร์ เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะและประสิทธิภาพก่อนและหลังติดตั้งเครื่องพ่นน้ำ และการทดลองสุดท้ายเป็นการทดลองกับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดการทำความเย็นมากกว่าเครื่องที่ใช้ทดสอบ เนื่องจากเครื่องที่ใช้ทดสอบมีขนาดการทำความเย็นเพียง 1 ตันความเย็น ซึ่งอาจให้ผลที่ไม่ชัดเจนนักในเรื่องของความสามารถในการอนุรักษ์พลังงาน โดยในการทดลองนี้จะทดลองกับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดการทำความเย็น 15,000 และ 48,000 Btu

4.4.1. การทดสอบเบื้องต้น(Pre-Test)

จากสมมุติฐานที่ว่าหากเราทำการลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นที่ส่งผ่านความร้อนที่ผิวของคอยล์เย็น ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและลดการใช้กำลังไฟฟ้าในตัวคอมเพรสเซอร์ ดังนั้นจึงทำการทดลองนี้ โดยการพ่นน้ำเป็นละอองหมอก เพื่อไปผสมและแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศทั่วไปแล้วจึงไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับแผงคอยล์ร้อน

ขั้นตอนการทดสอบ (Pre-Test)

ในการทดสอบเบื้องต้น ได้ทำการเดินเครื่องปรับอากาศที่ใช้ทดสอบเป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง จนอุณหภูมิห้องคงที่ที่ประมาณ 24 °C เพื่อให้ระบบอยู่ในสภาวะที่สมดุลที่สุด จากนั้นจึงเริ่มทำการทดสอบเก็บข้อมูลและบันทึกผลการทดลอง

1. เก็บข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้า แรงดัน และกำลังไฟฟ้า ที่ใช้ไปในแต่ล่ะช่วง ทุกๆ 5 นาที ของระบบปรับอากาศ ก่อนที่จะทำการฉีดพ่นหมอกไอน้ำ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

รูปที่ 4.15 แผงคอยล์เย็น (Evaporator) ที่ใช้ในการทดสอบ

รูปที่ 4.16 แผงคอยล์ร้อน (Condenser) ที่ใช้ในการทดสอบ

2. ทำการฉีดพ่นน้ำจากกระบอกฉีดน้ำแรงดัน ที่บริเวณหลังคอนเดนเซอร์ในระยะห่างที่เหมาะสมเพื่อให้ละอองน้ำผสมกับอากาศ

รูปที่ 4.17 แสดงการพ่นละอองน้ำไปผสมกับอากาศก่อนเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับแผงคอยล์ร้อน (Condenser) ที่ใช้ในการทดสอบ

3. ทำการฉีดพ่นละอองให้กับแผงคอนเดนเซอร์ ทุกๆ 15 นาที โดยพ่นต่อเนื่องนาน 5 ที หลังจากฉีดพ่นแล้วครบ 15 นาทีทำการฉีดพ่นอีกครั้ง โดยที่วัดและบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันและกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงทุก 5 นาที โดยจะทำการทดลองต่อเนื่องจากขั้นต้นที่กล่าวมา เพื่อให้สภาวะในการทดสอบใกล้เคียงกัน เก็บข้อมูล 1-2 ชม. จากนั้นทำการบันทึกผลการทดลองทำตามขั้นตอนเดิมซ้ำ

รูปที่ 4.18 การวัดกระแสและกำลังไฟฟ้าโดยรวมของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดสอบ

4.4.2. การทดสอบกับเครื่องปรับอากาศในการใช้งานจริง

ในการวิจัยนี้เป็นการทดสอบเครื่องพ่นน้ำที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนในคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยได้ทำการติดตั้งระบบพ่นน้ำเข้ากับคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศทั่วไป โดยที่ทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างหัวฉีด 2 แบบที่เลือกมาทำการทดสอบ คือแบบ PJ12 และแบบ PJ20 ซึ่งเป็นหัวฉีดแบบ Atomize ทนแรงดันสูงตั้งแต่ 2 – 70 Bar จะให้น้ำที่ผ่านออกมาจากหัวฉีดอยู่ในรูปของหมอกหรือไอน้ำหรือละอองน้ำที่มีขนาดเล็กมากเป็นลักษณะเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Fog) โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นของเครื่องปรับอากาศและปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ นอกจากนี้ยังเปรียบแรงดันที่ใช้ระบบเพื่อทำหมอกไอน้ำที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบกันระหว่างแรงดันที่ 5 ,10 และ 15Bar ตามลำดับ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนี้ไปใช้ในการเลือกใช้หัวฉีดและขนาดแรงดันที่เหมาะสมกับเครื่องปรับอากาศที่ต้องการจะติดตั้งระบบพ่นน้ำเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงและคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดสอบ

สำหรับเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดสอบนี้ ใช้เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr ซึ่งติดตั้งตามบ้านพักหรือที่อยู่อาศัยทั่วไป โดยแบบที่นิยมติดตั้งกันเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type)

ขนาดห้องที่ติดเครื่องปรับอากาศนี้ มีขนาดพื้นที่ทำความเย็น 20 ตรม. ใช้เครื่องปรับอากาศยี่ห้อ Mitsubishi ขนาด 15,000 Btu/hr ซึ่งมีอายุการใช้งานประมาณ 8 ปี ซึ่งใช้กำลังไฟฟ้าค่อนข้างสิ้นเปลืองเนื่องจากมีอายุการใช้งานมานานและแผงคอยล์ร้อนยังมีคราบสกปรกเกาะติดอยู่ ซึ่งเนื่องจากขาดการบำรุงรักษาที่ดี เครื่องปรับอากาศที่ใช้ทดสอบจะไม่มีการดัดแปลงหรือเพิ่มเติมในส่วนอื่นๆ นอกจากการติดตั้งหัวฉีดสำหรับพ่นน้ำที่หลังแผงคอยล์ร้อน

ในการทดสอบได้ทำการทดสอบตามแบบของหัวฉีด โดยแต่ล่ะแบบจะทำการทดสอบ 3 ครั้ง แต่ล่ะครั้งเริ่มแรกได้ทำการทดสอบเก็บค่าที่วัดได้จากเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ 1 ชั่วโมง โดยทำการวัดและบันทึกข้อมูลทุกๆ 5 นาที จากนั้นทำการติดตั้งเครื่องพ่นน้ำที่ชุดคอนเดนเซอร์แล้วทำการพ่นน้ำที่แรงดันน้ำ 5 Bar ทำการวัดค่าและเก็บข้อมูลทุกๆ 5 นาที จนครบ 1 ชั่วโมง จากนั้นเพิ่มแรงดันเป็น 10 และ 15 Bar ตามลำดับ ทำการทดลองและบันทึกข้อมูลเช่นเดียวกับที่ทำการทดลองที่แรงดันน้ำ 5 Bar ทำการทดลองซ้ำจนครบ 3 ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งในการทดลองจะใช้ระยะเวลาการทดลองประมาณ 1 วัน

เมื่อทำการทดลองครบ 3 ครั้งเปลี่ยนแบบของหัวฉีดเป็นแบบอื่น ทำการทดลองเหมือนแบบแรก โดยทำการทดลอง 3 ครั้งเช่นเดียวกัน ซึ่งวิธีการทดลองโดยละเอียดดังต่อไปนี้

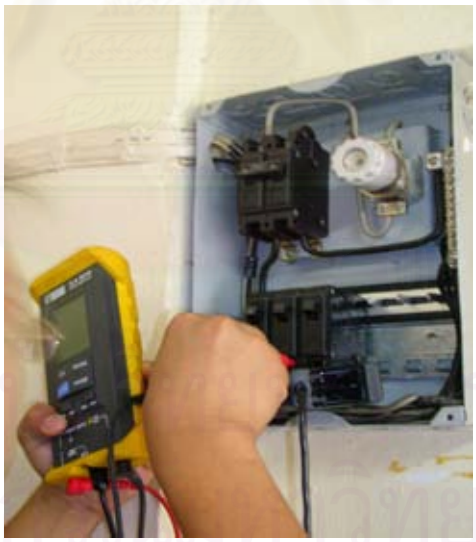
การติดตั้งเครื่องพ่นน้ำ,อุปกรณ์การวัดและการทำการทดสอบ

ในการติดตั้งเครื่องพ่นน้ำให้กับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนทั่วไปสามารถดำเนินการได้ดังนี้

1. ทำการติดตั้งระบบพ่นน้ำ โดยทำการติดตั้งหัวฉีดหลังคอนเดนเซอร์ ติดตั้งระบบพ่นน้ำให้สามารถทำงานทันทีเมื่อทำการเปิดเครื่อง เติมน้ำและชั่งน้ำหนักของถังน้ำแล้วทำการบันทึกค่า หัวฉีดที่ใช้จะใช้แบบ PJ12
2. ทำการเดินเครื่องปรับอากาศเป็นระยะเวลา 30-1 ชั่วโมงเพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องคงที่อยู่ในช่วง 24 $\pm$0.5 $^{\circ}$C โดยที่ไม่มีการเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือเปลี่ยนแปลงแหล่งปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาภายในห้อง เพื่อให้ภาระการทำความเย็นคงที่

รูปที่ 4.19 แสดงการติดตั้งหัวฉีดแบบ PJ12 บริเวณหลังชุดคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ

3. เมื่ออุณหภูมิภายในห้องคงที่แล้วทำการวัดค่า อุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านจ่ายและด้านกลับ นอกจากนี้ทำการวัดความเร็วลมที่ช่องจ่ายลมเย็น วัดกระแส แรงดัน ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (p.f) และกำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องปรับอากาศ ทุกๆ 5 นาที บันทึกค่า จนครบ 1 ชั่วโมง



รูปที่ 4.20 แสดงการวัดค่ากระแสไฟฟ้า, แรงดัน, เพาเวอร์แฟคเตอร์ และกำลังไฟฟ้า

4. จากนั้นทำการเปิดเครื่องพ่นน้ำ ปรับวาล์วปรับแรงดันของน้ำไปที่ 5 Bar เมื่อได้แรงดันตามที่กำหนดแล้ว รอประมาณ 15 นาทีให้ระบบคงที่

รูปที่ 4.21 แสดงการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเครื่องปรับอากาศ

5. จากนั้นทำการวัดค่า อุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความชื้นด้านจ่ายและด้านกลับ นอกจากนี้ทำการวัดความเร็วลมที่ช่องจ่ายลมเย็น วัดกระแส แรงดัน เพาเวอร์แฟคเตอร์ (p.f) และกำลังไฟฟ้ารวมของเครื่องปรับอากาศ ตลอดจนอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของอากาศภายนอก ทุกๆ 5 นาที บันทึกค่า จนครบ 1 ชั่วโมง จากนั้นวัดปริมาณน้ำที่ใช้ไปและบันทึกค่า

รูปที่ 4.22 แสดงการตรวจวัดความเร็วลมที่ช่องจ่ายลมเย็นของเครื่องปรับอากาศ

6. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 4 โดยทำการปรับแรงดันเป็น 10 และ 15 Bar ตามลำดับ เมื่อทำครบเสร็จแล้ว ทำการทดลองแบบเดิมซ้ำอีก 2 ครั้งเพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องมากที่สุด

รูปที่ 4.23 แสดงการปรับวาล์วเพื่อปรับระดับแรงดันของน้ำที่ 5 Bar

7. เมื่อทำการทดลองครบ 3 ครั้ง ทำการเปลี่ยนหัวฉีดเป็นแบบ PJ20 ทำการทดลองซ้ำเหมือนเดิม โดยทำการทดลอง 3 ครั้งเช่นเดียวกับที่ทดลองโดยหัวฉีดแบบ PJ12

รูปที่ 4.24 แสดงการทำงานของหัวฉีดที่ฉีดพ่นหมอกไอน้ำ ซึ่งจะเข้าไปช่วยในการระบายความร้อนในเครื่องปรับอากาศ

8. นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณและวิเคราะห์ผลเพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

4.4.3. การทดลองในห้องทดสอบ (Calorimeter Room)

สำหรับในการดำเนินวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ที่สภาวะอากาศภายในและภายนอกเครื่องปรับอากาศที่กำหนด เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยใช้ห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน มาตรฐานที่ มอก. 1155 – 2536 ตามภาคผนวก ก ซึ่งได้ทำการ

ทดสอบ ณ ห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ (Calorimeter room) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และทำการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์

ห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ (Calorimeter room)

สำหรับห้องทดสอบที่คณะวิศวกรรมศาสตร์นี้ เป็นห้องวัดความร้อนแบบสอบเทียบ (Calibrated room type calorimeter) ซึ่งประกอบด้วยห้อง 2 ห้อง โดยห้องแรกเป็นห้องควบคุมอากาศเย็นที่ใช้จำลองสภาวะอากาศภายในห้องปรับอากาศ (Indoor room) ซึ่งจะติดตั้งเครื่องเป่าลมเย็น โดยทำการควบคุมอากาศภายในห้องให้มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งเท่ากับ 27 $^{\circ}$C และอุณหภูมิกระเปาะเปียกเท่ากับ 19 $^{\circ}$C ทุกๆการทดสอบ ส่วนห้องที่สองเป็นห้องควบคุมอากาศร้อนที่ใช้จำลองสภาวะอากาศภายนอกห้องปรับอากาศ (Outdoor room) ซึ่งจะติดตั้งชุดคอนเดนเซอร์ โดยจะควบคุมอากาศภายในห้องให้มีสภาวะอากาศตามที่กำหนดดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงสภาวะต่างๆในการทดสอบเครื่องปรับอากาศที่ห้อง Calorimeter

สภาวะอากาศที่ทดสอบ	อุณหภูมิห้องควบคุมอากาศร้อน		ปริมาณน้ำยา R-22	แรงดันน้ำ	อัตราการไหลของน้ำ	ชนิดของ Condenser
	T_{DB} (°C)	T_{WB} (°C) ,%RH	(kg)	(bar)	(L/min)	
Standard	35	24 , 40 %	1.35	-	-	Air-Cooled Condenser
1	35	26.1 , 50 %	1.35	-	-	
2	35	28.2 , 60 %	1.35	-	-	
3	32.5	26.4 , 65 %	1.35	-	-	
4	30	25.5 , 70 %	1.35	-	-	
5	30	27.1 , 80 %	1.35	-	-	
6	35	26.1 , 50 %	1.35	5	0.130-0.140	Water Spray-Cooled Condenser
7	35	28.2 , 60 %	1.35	5	0.130-0.136	
8	32.5	26.4 , 65 %	1.35	5	0.130-0.137	
9	30	25.5 , 70 %	1.35	5	0.130-0.138	
10	30	27.1 , 80 %	1.35	5	0.130-0.139	

การติดตั้งเครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์การวัด

ในการติดตั้งเครื่องปรับอากาศในห้องทดสอบสามารถดำเนินการได้ดังต่อไปนี้ โดย

1. ทำการติดตั้งชุดคอนเดนเซอร์ภายในห้องควบคุมอากาศร้อน (Outdoor room) โดยจะทำการติดตั้งระบบไฟฟ้าและเครื่องมือวัดตามที่ได้กล่าวมาในเบื้องต้น

รูปที่ 4.25 ห้องควบคุมอากาศร้อน

2. ทำการติดตั้งเครื่องเป่าลมเย็นภายในห้องควบคุมอากาศเย็น (Indoor room) และตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์วัดที่อยู่ในห้องทดสอบ อยู่ในสภาพที่พร้อมสำหรับการทดสอบ

รูปที่ 4.26 ห้องควบคุมอากาศเย็น

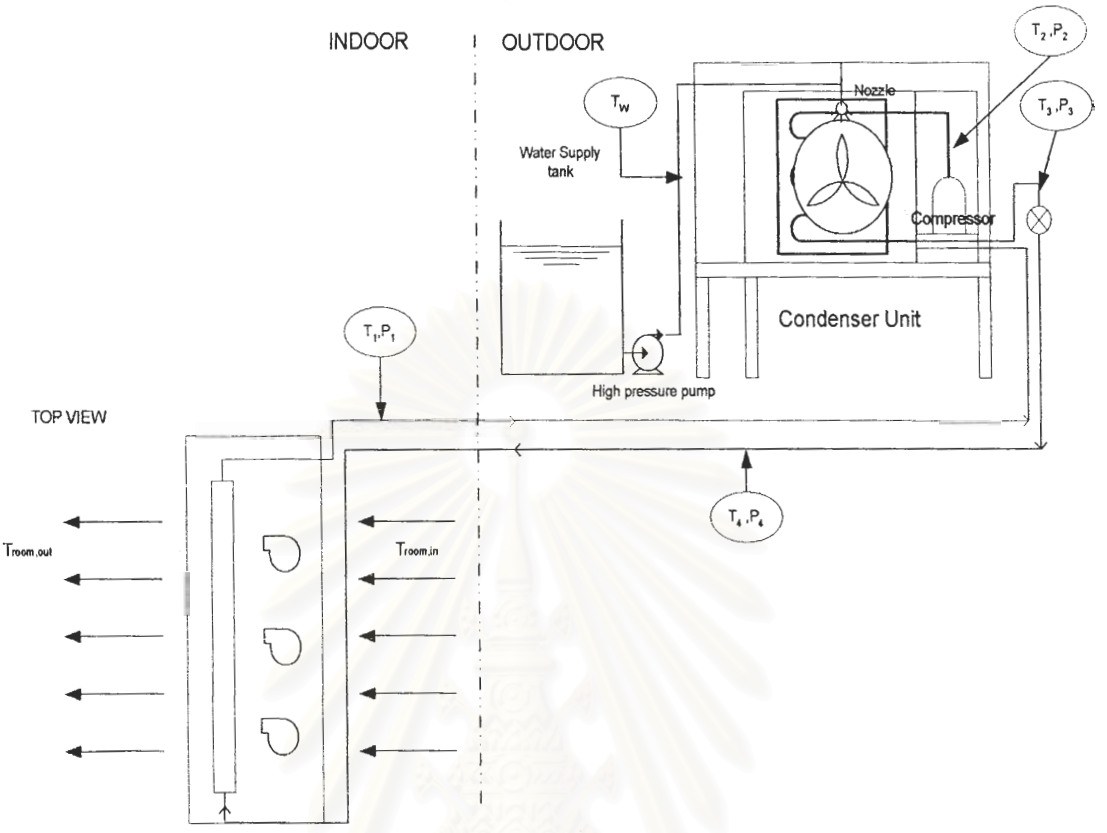
3. ทำการเดินท่อน้ำยาสารทำความเย็นขนาด ½ นิ้ว และ ¼ นิ้วระหว่างเครื่องเป่าลมเย็นและชุดคอนเดนเซอร์ยาวอย่างน้อย 7.5 เมตร และความยาวอย่างน้อย 3 เมตร อยู่ภายในห้องควบคุมอากาศร้อน และหุ้มฉนวนท่อน้ำยาสารทำความเย็นทั้งสองเส้น

รูปที่ 4.27 การเดินท่อน้ำยาสารทำความเย็น R-22

4. ติดตั้งระบบไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ ทำการปรับตำแหน่งพัดลมความเร็วสูงสุด แยกสายไฟต่อเข้าระบบไฟฟ้าของชุดคอนเดนเซอร์โดยติดตั้งเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Watt-hr meter) เพื่อเป็นเครื่องมือในการวัดกำลังไฟฟ้าอีกตัวหนึ่ง นอกจาก Digital Power meter. นอกจากนี้ยังต่อระบบไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

5. ติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ความดัน และอัตราการไหลน้ำยาสารทำความเย็นตามจุดที่กำหนด ดังรูป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.28 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดต่างๆ

โดยที่ T คือ ตำแหน่งที่วัดอุณหภูมิ

P คือ ตำแหน่งที่วัดความดัน

M คือ ตำแหน่งวัดอัตราการไหลของสารทำความเย็น

6. ทำการต่อเครื่องทำสุญญากาศเข้าระบบเครื่องปรับอากาศ โดยจะทำการเดินเครื่องอย่างน้อย 1 ชั่วโมง เพื่อไล่อากาศออกจากระบบ จากนั้นทำการเติมน้ำยาสารทำความเย็น R-22 เข้าระบบ ก่อนเติมสารทำความเย็นจะทำการชั่งถังน้ำยาสารทำความเย็น แล้วบันทึกน้ำหนักก่อนและหลังการเติมเสร็จ

รูปที่ 4.29 เครื่องทำสุญญากาศ

7. ทำการเดินเครื่องจนกระทั่งระบบเข้าสู่สมดุลประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วทำการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เดินเครื่องปรับอากาศที่ทดสอบให้อยู่ในลักษณะที่คอมเพรสเซอร์ทำงานตลอดเวลา (Full Load) โดยที่ชุดคอนเดนเซอร์จะติดตั้งในห้องที่จำลองสภาวะอากาศภายนอกห้องปรับอากาศหรือห้องควบคุมอากาศร้อน และเครื่องเป่าลมเย็นจะติดตั้งในห้องที่จำลองสภาวะอากาศภายในห้องปรับอากาศหรือห้องควบคุมอากาศเย็น
2. ทำการเดินเครื่องทดสอบต่างๆ โดยแยกออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ
   2.1 ระบบควบคุมสภาวะอากาศร้อน
      2.1.1 เดินเครื่องทำน้ำเย็นทิ้งไว้ก่อนการทดสอบ 1 ชั่วโมง
      2.1.2 เดินเครื่องปั๊มน้ำเย็นและปิด Solenoid valve ทั้งสองตัวเข้าเครื่องทำความเย็นให้อากาศ พร้อมทั้งเดินเครื่องลดความชื้น และพัดลม โดยควบคุมให้ได้อุณหภูมิอากาศภายในห้องตามที่กำหนด
      2.1.3 เดินปั๊มน้ำในวงจรหมุนเวียนน้ำสำหรับการทดสอบคอนเดนเซอร์ระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำและปรับอัตราการไหลตามที่กำหนด
   2.2 ระบบควบคุมสภาวะอากาศเย็น
      2.2.1 เดินเครื่องทำอากาศร้อนโดยเปิดฮีตเตอร์อากาศ และพัดลม

2.2.2 เดินเครื่องทำความชื้นโดยเปิดฮีตเตอร์น้ำ และควบคุมสภาวะอากาศภายในห้องให้ได้ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง 27 °C และอุณหภูมิกระเปาะเปียก 19 °C ตลอดการทดสอบ

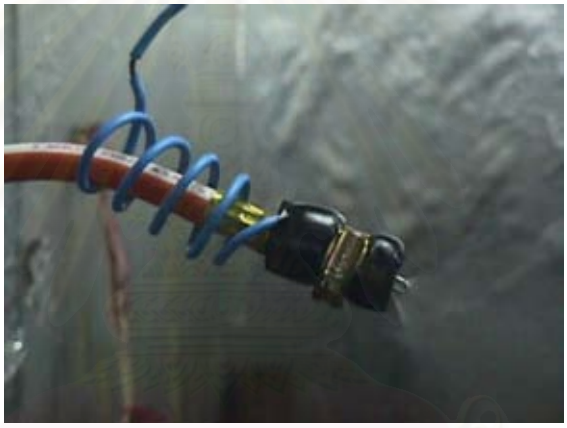
3. เมื่ออุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกภายในห้องทดสอบทั้งสองเข้าสู่สภาวะสมดุลประมาณ 1 ชั่วโมง ทำการบันทึกข้อมูลในตารางข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศทุก 5 นาที
4. ทำการทดสอบซ้ำตามข้อ 1–3 ที่สภาวะต่างๆตามขอบเขตการทดสอบที่กำหนดและบันทึกผลการทดลอง

รูปที่ 4.30 คอมพิวเตอร์ของระบบควบคุมที่ห้องควบคุมอากาศ

5. เมื่อทดลองทุกสภาวะและบันทึกผลการทดลองแล้ว จากนั้นทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1-3 อีกครั้ง โดยทำการติดตั้งระบบพ่นน้ำและทำการเปิดเครื่องพ่นน้ำเมื่อได้สภาวะอากาศตามที่กำหนดไว้

รูปที่ 4.31 แสดงการติดตั้งหัวฉีดที่ด้านหลังชุดคอนเดนเซอร์

รูปที่ 4.32 แสดงระบบพ่นน้ำและถังน้ำ



รูปที่ 4.33 หัวฉีดแบบ PJ12 สำหรับติดตั้งด้านหลังชุดคอนเดนเซอร์

6. บันทึกค่าต่างๆและทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 1-3 ที่สภาวะต่างๆตามขอบเขตการศึกษาและบันทึกผลการทดลอง

รูปที่ 4.34 แสดงการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนหลังติดตั้งหัวฉีดและเครื่องพ่นน้ำแรงดันสูง

วิธีการบันทึกข้อมูลที่ต้องทำการวัด

ในการบันทึกข้อมูลการทดสอบจะแบ่งการบันทึกข้อมูลออกเป็นสองส่วนคือ

1 ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบในห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ (Calorimeter room) เพื่อหาขีดความสามารถการทำความเย็น, พลังงานไฟฟ้ารวม, อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน โดยการวัดค่าต่างๆดังนี้

1.1. ห้องควบคุมอากาศเย็น

- กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำและอากาศ
- อุณหภูมิลมส่ง
- ปริมาณน้ำกลั่นตัว

1.2. ห้องควบคุมอากาศร้อน

- ค่ากำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบปรับอากาศ
- ความดันด้านสูง (P_3), ความดันด้านต่ำ(P_1)
- อุณหภูมิด้านสูง (T_3), อุณหภูมิด้านต่ำ (T_1)

ดังนั้นข้อมูลที่ได้ทำการวัดและเก็บข้อมูลมีดังนี้

1. กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ
2. กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ
3. อุณหภูมิลมส่ง
4. ปริมาณน้ำกลั่นตัว
5. ค่ากำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้ระบบปรับอากาศ
6. ค่าความดันด้านสูง (P_3), ความดันด้านต่ำ (P_1)
7. อุณหภูมิด้านสูง (T_3), อุณหภูมิด้านต่ำ (T_1)
8. อัตราการไหลของน้ำพ่น
9. แรงดันน้ำที่ใช้พ่นน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 ตามวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความสามารถทำความเย็น, พลังงานที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์, สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (COP), ความร้อนที่ระบายโดยคอนเดนเซอร์, อัตราการระเหยน้ำ (อัตราการใช้น้ำ)

ดังนั้นข้อมูลที่ได้ทำการวัดและเก็บข้อมูลมีดังนี้

1. อุณหภูมิและความดัน ณ จุดก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (T_1,P_1)
2. อุณหภูมิและความดัน ณ จุดออกจากคอมเพรสเซอร์ (T_2,P_2)
3. อุณหภูมิและความดัน ณ จุดออกจากคอนเดนเซอร์ (T_3,P_3)
4. อุณหภูมิและความดัน ณ จุดก่อนเข้าเครื่องทำระเหย (T_4,P_4)
5. อัตราการไหลของสารทำความเย็น R-22 (m_R)
6. อุณหภูมิในห้องควบคุมอากาศเย็น (T_{room}, T_{DB},T_{WB})
7. อุณหภูมิในห้องควบคุมอากาศร้อน ($T_{in,cond}$, T_{DB},T_{WB}) และ ($T_{out,cond}$,T_{DB},T_{WB})
8. ความเร็วลมที่ออกจากคอนเดนเซอร์ ($V_{air,cond}$)
9. อุณหภูมิของน้ำที่ใช้พ่น (T_W)

การคำนวณผลการทดสอบ

จากข้อมูลต่างๆที่ได้นำมาคำนวณหาค่าต่างๆที่ต้องการได้ดังนี้

1. ความสามารถในการทำความเย็น
2. สัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP)
3. ความสามารถในการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์
4. อัตราการระเหยน้ำในคอนเดนเซอร์เพื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลจากหัวฉีด
5. ค่าความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.4. การทดสอบเชิงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากการทดลองในห้องทดสอบพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ลดลงมีค่าน้อย ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องปรับอากาศที่นำมาทดสอบมีขนาดการทำความเย็นเพียง 12,000 และ 15,000 Btu/hr ซึ่งใช้กำลังไฟฟ้าจากที่วัดก่อนการติดตั้งเครื่องพ่นน้ำ ประมาณ 1.10 -1.30 kW ซึ่งเมื่อติดตั้งเครื่องพ่นน้ำสามารถลดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ได้ 10-15 %

หากทำการทดสอบกับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดการทำความเย็นมากกว่าที่ทดสอบ ความเป็นไปได้ที่จะสามารถลดกำลังไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบติดตั้งระบบพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดการทำความเย็นที่มีขนาด 48,000 BTU/hr โดยทดสอบที่ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องพ่นน้ำ ซึ่งจะทำการทดสอบที่สภาวะอากาศที่ใช้งานใกล้เคียงกัน เพื่อค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

ขั้นตอนในการทดสอบ

ก่อนทำการทดสอบ ทำการติดตั้งหัวฉีดและระบบพ่นน้ำที่ชุดคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดสอบ โดยชุดพ่นน้ำจะทำงานเมื่อเปิดเครื่อง เพราะฉะนั้นเครื่องปรับอากาศนั้นยังคงสามารถทำงานได้ทั้งระบบระบายความร้อนด้วยอากาศแบบธรรมดาและเปลี่ยนเป็นระบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำได้ทันที

1. เดินเครื่องปรับอากาศที่ทดสอบให้ทำงานตามปกติ โดยเดินเครื่องทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงจนเครื่องทำงานตามปกติ จากนั้นทำการวัดค่าต่างๆที่ต้องการ โดยจะวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิด้านลมส่ง และด้านลมกลับ, ความชื้นสัมพัทธ์, ความเร็วลมและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ ทุกๆ 5 นาที จากครบ 1 ชั่วโมง

รูปที่ 4.35 แสดงเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 48,000 Btu/hr

2. จากที่ทำการติดตั้งเครื่องพ่นน้ำที่ในส่วนของชุดคอนเดนเซอร์แล้ว เมื่อต้องการเปลี่ยนจากระบบระบายความร้อนด้วยอากาศมาเป็นแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำเพื่อทำการทดสอบ จึงทำการเดินเครื่องพ่นน้ำ พร้อมทั้งจดบันทึกค่าต่างๆ ที่ได้จากการวัด โดยทำการวัดและบันทึกข้อมูลที่ได้ทุกๆ 5 นาทีจนครบ 1 ชั่วโมง

รูปที่ 4.36 แสดงเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ

3. จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการคำนวณเพื่อหาค่า ขีดความสามารถการทำความเย็นก่อนและหลังพ่นน้ำ, ค่า COP รวมทั้งกำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องพ่นน้ำแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน

รูปที่ 4.37 แสดงการทำงานของหัวฉีดพ่นน้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในการดำเนินการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบถึงสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ(Air-cooled) และแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ (Water Spray-Cooled) นอกจากนี้ยังศึกษาถึงอิทธิพลของสภาวะอากาศภายนอกว่ามีผลต่อสมรรถนะการทำงานของทั้งสองแบบ, อัตราการไหลและแรงดันของน้ำที่พ่นไปผสมกับอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ ประสิทธิภาพและการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการทำความเย็น, การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความดันที่จุดต่างๆของระบบ และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนและการอนุรักษ์พลังงาน

การวิจัยนี้จะแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ส่วนด้วยกันคือ 1.เป็นการทดสอบเบื้องต้น (Pre-test), 2.ทดสอบกับเครื่องปรับอากาศในการใช้งานจริง, 3.การทดสอบที่ห้องทดสอบมาตรฐานและ 4.การทดสอบเชิงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

5.1 การทดสอบเบื้องต้น (Pre-Test)

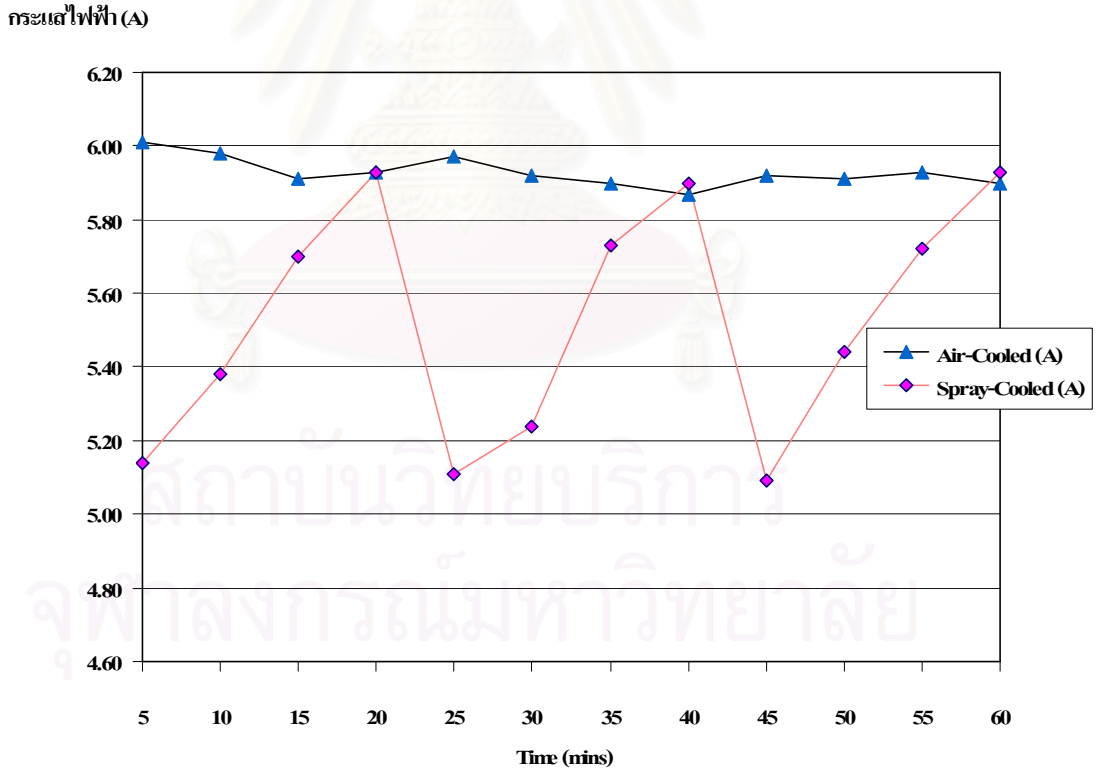
ในการวิจัยนี้ได้ตั้งสมมุติฐานที่ว่า เมื่อทำการลดอุณหภูมิอากาศภายนอกที่เข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับคอยล์ร้อนที่คอนเดนเซอร์โดยใช้น้ำหรือละอองน้ำฉีดไปที่แผงครีบระบายความร้อนโดยตรงหรือฉีดผสมกับอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ จะทำให้อุณหภูมิของอากาศที่ก่อนเข้าคอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิลดลง และส่งผลให้การแลกเปลี่ยนความร้อนที่คอยล์ร้อนจะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์ลดลงเนื่องจากงานในการอัดไอลดลง

การทดลองเพื่อทดสอบสมมุติฐานของการวิจัยนี้ ได้ทำการใช้กระบอกฉีดน้ำแรงดัน ทำการฉีดที่ด้านหลังคอนเดนเซอร์ โดยจะให้ละอองน้ำที่ออกจากหัวฉีดผสมกับอากาศที่จะเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับแผงคอยล์ร้อน โดยทำการฉีดต่อเนื่องเป็นเวลา 5 นาที โดยจะวัดค่ากระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ และจะทำการวัดทุกๆ 5นาที หลังจากการฉีด 15 นาที จะทำการฉีดอีกครั้ง ทำการวัดค่าเช่นเดิม ซึ่งผลการทดลองดังตารางภาคผนวก ค

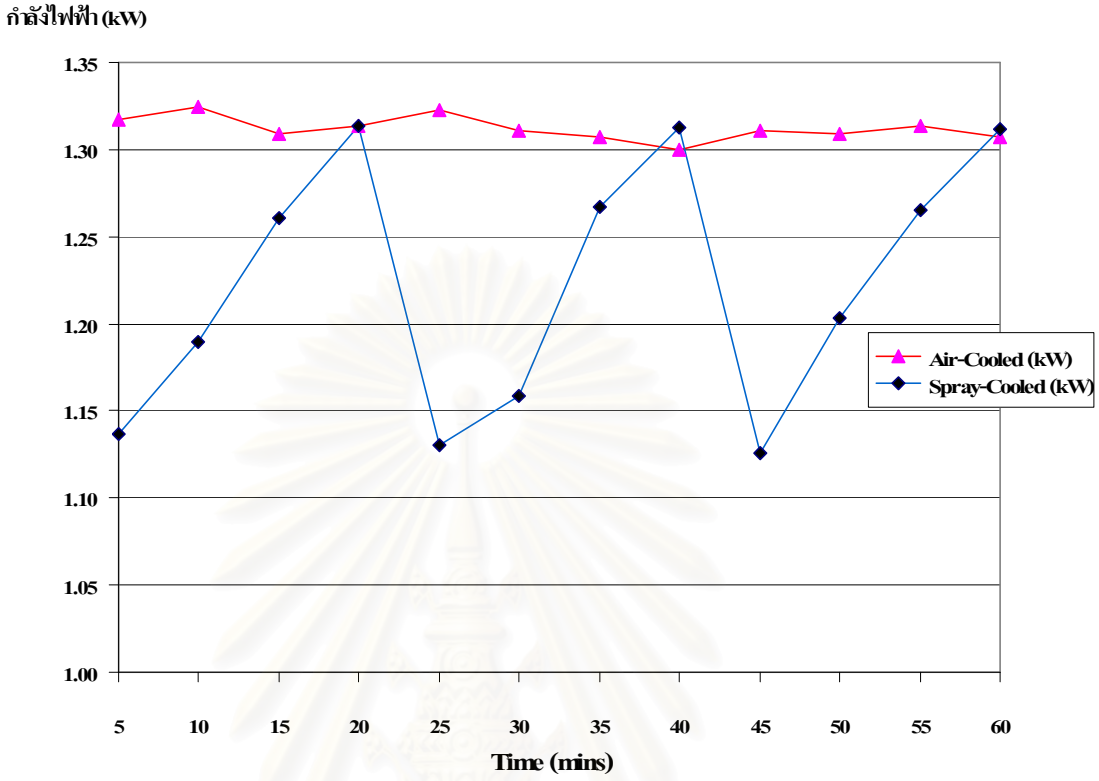
จากข้อมูลผลการทดสอบตารางภาคผนวก ค-1 พบว่าเมื่อทำการฉีดละอองน้ำผสมกับอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ทำให้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าและค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าลดลง

ในช่วงขณะที่ทำการฉีด ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าลดลงมากในช่วงที่ฉีดต่อเนื่อง และค่อยๆปรับตัวเพิ่มขึ้นเมื่อไม่ได้ทำการฉีดละอองน้ำ จนเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 15 นาที ค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าเดิมก่อนทำการฉีด สำหรับค่ากระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ลดลงในช่วงที่ทำการฉีดเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยช่วงปกติ ดังแสดงในกราฟกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ารูปที่ 5.1 และ 5.2 โดยค่ากระแสไฟฟ้าลดลงมีค่าเท่ากับ 13.67% แรงดันเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.11% กำลังไฟฟ้าลดลงเท่ากับ 13.60% และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (p.f.) ลดลงเท่ากับ 1.01% ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ดังนั้นจากข้อมูลในการทดสอบ พบว่าเป็นไปตามสมมุติฐาน ที่ว่าเมื่อลดอุณหภูมิอากาศภายนอก ก่อนเข้าไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับคอยล์ร้อนจะช่วยให้กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยรวมในเครื่องปรับอากาศที่ทำการทดสอบมีค่าลดลง โดยที่ความสามารถการทำความเย็นหรือประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบระหว่างระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศทั่วไป กับการที่ใช้การสเปรย์น้ำนั้นจะทำการศึกษาในหัวข้อต่อไป



รูปที่5.1 แสดงกระแสไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและช่วงที่สเปรย์น้ำที่คอนเดนเซอร์เพื่อช่วยในการระบายความร้อน



รูปที่ 5.2 แสดงกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและช่วงที่สเปรย์น้ำที่คอนเดนเซอร์เพื่อช่วยในการระบายความร้อน

ตารางที่5.1แสดงการเปรียบเทียบ I,V, P และค่า p.f. ระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนกับแบบที่ใช้สเปรย์พ่นละอองน้ำที่คอนเดนเซอร์

การระบายความร้อนแบบ	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (Volt)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (p.f.)
Air-Cooled	5.94	226.00	1.32	0.98
Spray-Cooled	5.13	228.50	1.14	0.97
เปรียบเทียบ Spray กับ Air Cooled	-13.67%	+1.11%	-13.60%	-1.01%

*หมายเหตุ + แทนการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น - การเปลี่ยนแปลงลดลง

5.2 การทดสอบกับเครื่องปรับอากาศในการใช้งานจริง

สำหรับการทดสอบนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบที่ระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ นอกจากนี้ยังทำการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำเมื่อทำการปรับเปลี่ยนแรงดันของน้ำ(อัตราการไหลของน้ำ)ที่ใช้ในการฉีดพ่น(ทดสอบแรงดันน้ำที่ 5 , 10 และ 15 Bar) และทำการเปรียบเทียบกันระหว่างหัวฉีดที่มีประสิทธิภาพสูงแบบ PJ12 และแบบ PJ20 ซึ่งข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ในการเลือกหัวฉีดและแรงดันน้ำที่เหมาะสมในการใช้การทดสอบเครื่องปรับอากาศในห้องทดสอบมาตรฐาน สำหรับการทดสอบในขั้นตอนนี้มีผลดังนี้

5.2.1 การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายด้วยอากาศกับการระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการทดสอบการทำงานและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ โดยในการทดสอบได้ทำการทดสอบการทำงานและวัดค่าต่างๆของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศก่อน ทำการเก็บค่าต่อเนื่องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำที่แรงดันน้ำที่ต่างกัน ที่ 5, 10 และ 15 Bar ตามลำดับโดยแต่ละการทดสอบนั้นจะใช้เวลาวัดและบันทึกค่าต่างๆ 1 ชั่วโมง โดยวัดและบันทึกค่าข้อมูลทุกๆ 5 นาที

ช่วงแรกทดสอบโดยใช้หัวฉีดแบบ PJ12 และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งเพื่อความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลมากที่สุด จากนั้นได้ทำการเปลี่ยนหัวฉีดเป็นแบบ PJ20 และทำการทดสอบที่สภาวะอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิและความชื้นใกล้เคียงกัน

หัวฉีดแบบ PJ12 และ PJ20 เป็นหัวฉีดแบบ Atomize ซึ่งให้ละอองน้ำที่ออกมาจากหัวฉีดอยู่ในลักษณะของหมอก(Homogeneous Fog) และมีลักษณะลำน้ำที่พ่นออกมาเป็นรูปกรวย ซึ่งมีส่วนช่วยในการผสมกันระหว่างอากาศกับละอองน้ำได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ระยะการกระจายตัวของละอองน้ำมีค่าต่ำคือ 127 mm. สำหรับ PJ12 และ 155 mm สำหรับ PJ20 และมีค่าการกระจายตัวของละอองน้ำอยู่ที่ 254 mm สำหรับ PJ12 และ 310 mm. สำหรับ PJ20.:หัวฉีดแบบ PJ12 และ PJ20 ทำให้เหมาะสำหรับนำมาทำการทดสอบกว่าหัวฉีดแบบอื่นๆ เนื่องจากพื้นที่สำหรับการติดตั้งหลัง

คอนเดนเซอร์ของระบบปรับอากาศทั่วไปมีพื้นที่ค่อนข้างแคบ ทำให้หัวฉีดทั้งสองแบบนี้ทำงานได้ดีกว่าหัวฉีดแบบอื่นๆ

จากตารางที่ 5.3 สำหรับหัวฉีดแบบ PJ12 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบที่ระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำที่แรงดันน้ำ 5 bar ความสามารถในการทำความเย็นลดลงเท่ากับ 0.06% แต่ค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 17.85 % โดยที่กำลังไฟฟ้าโดยรวมลดลงเท่ากับ 15.20% ขณะที่แรงดันน้ำ 10 bar ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.28% ค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 19.56% และค่ากำลังไฟฟ้าโดยรวมลดลงเท่ากับ 16.12% และที่แรงดันน้ำ 15 bar ความสามารถในการทำความเย็นลดลงเท่ากับ 0.44% ส่วนค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 19.96 % โดยที่กำลังไฟฟ้าโดยรวมลดลงเท่ากับ 16.78%

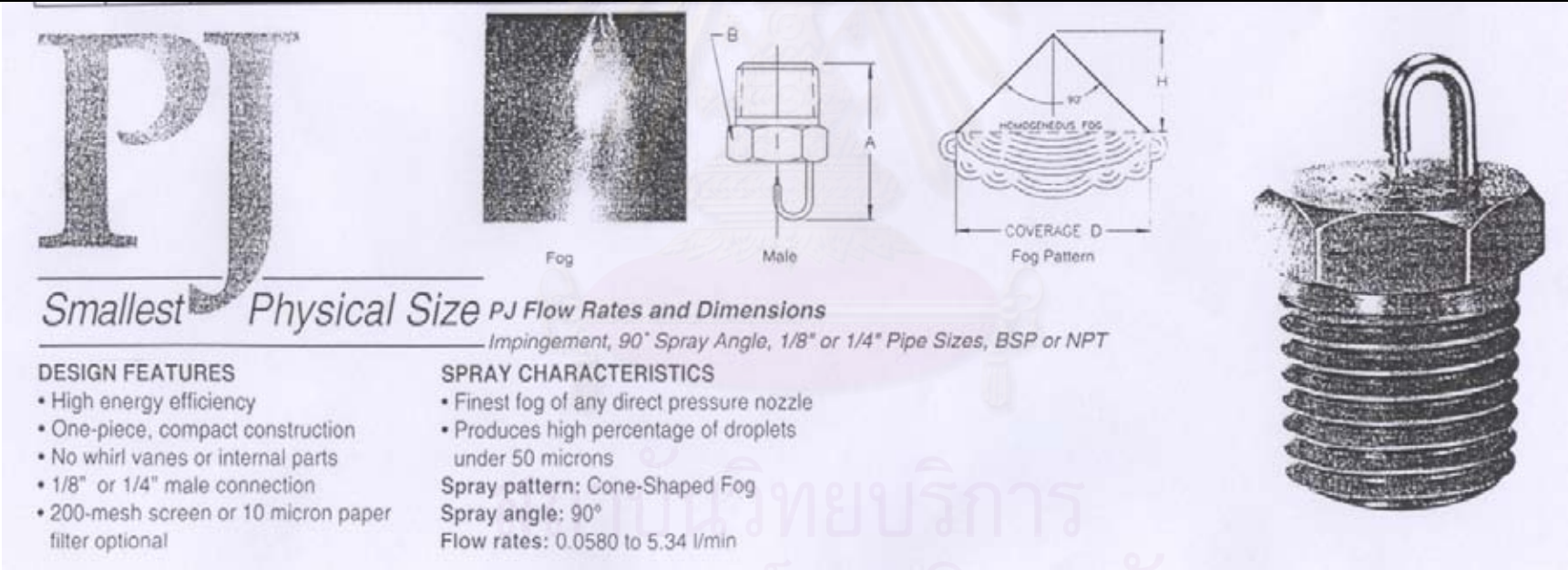
จากตารางที่ 5.5 ส่วนหัวฉีดแบบ PJ20 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำที่แรงดันน้ำ 5 bar ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.92% ส่วนค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 19.43 % โดยที่กำลังไฟฟ้าโดยรวมลดลงเท่ากับ 13.28% ขณะที่แรงดันน้ำ 10 bar ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.71% ส่วนค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 20.49 % แต่กำลังไฟฟ้าโดยรวมลดลงเท่ากับ 14.06% และที่แรงดันน้ำ 15 bar ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.51% ส่วนค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 21.20 % และกำลังไฟฟ้าโดยรวมลดลงเท่ากับ 15.63 %

ในส่วนของแรงดันน้ำที่ใช้ในการพ่นน้ำ พบว่าเมื่อแรงดันน้ำมีค่าสูงขึ้น ปริมาณของน้ำที่ใช้ในการพ่นเพิ่มขึ้นตาม ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้นเพียง 1.5-2% แต่ที่ต้องสูญเสียปริมาณน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้มีผลต่อความคุ้มค่าทางเชิงเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นหากใช้งานทั่วไปที่เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดกำลังทำความเย็นไม่สูงกว่า 15,000 Btu/hr ควรใช้แรงดันน้ำขนาด 5 Bar ก็สามารถเพิ่มค่า COP ได้ถึง 17- 22% และหากติดตั้งกับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดกำลังทำความเย็นสูงๆ ควรใช้แรงดันน้ำสูงกว่า 5 Bar หรือปรับตามความเหมาะสม โดยดูได้จากลักษณะของละอองไอน้ำที่ออกมาจากหัวฉีดให้เหมาะสมกับการใช้งาน

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) ของแบบระบายอากาศด้วยการพ่นน้ำมีค่าสูงกว่าประมาณ 17-22 % ขึ้นอยู่กับแรงดันน้ำที่ใช้ในการฉีดพ่น และสามารถประหยัดกำลังไฟฟ้าโดยรวมที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศลงได้ประมาณ 14 – 17 % ทั้งนี้ยังช่วยทำความสะอาดแผงคอยล์ร้อนที่มีฝุ่นหรือคราบสกปรกเกาะติดอยู่ ช่วยให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าคุณสมบัติต่างของหัวฉีดแบบ PJ12 และแบบ PJ20

Male Pipe Size	Nozzle No.	K Factor	Liters per minute @ Bar								Appr. Orifice Dia.(mm)	Appr.. Coverage D(mm)	Appr. Spray H.(mm)	Pipe Size	Dim. (mm)		Wt.(g) Metal
			2 Bar	3 Bar	5 Bar	10 Bar	20 Bar	30 Bar	50 Bar	70 Bar					A	B	
1/8	PJ12	0.0524	-	0.908	0.117	0.166	0.234	0.287	0.371	0.439	0.305	254	127	1/8	19.1	11.1	7
	PJ20	0.153	0.216	0.264	0.341	0.483	0.683	0.836	1.08	1.28	0.508	310	155	1/4	24.6	14.2	



รูปที่ 5.3 แสดงรายละเอียดและลักษณะของหัวฉีดแบบ PJ12 และแบบ PJ20

ตารางที่5.3 แสดงข้อมูลและค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบพ่นน้ำที่แรงดันน้ำต่างๆกัน ทดสอบด้วยหัวฉีดแบบ PJ12

Condenser	Pressure	อากาศภายนอก		ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		CFM	h (Btu/lb)		4.5xCFMxΔh	ปริมาณน้ำที่ใช้	W_{Total}	kW/ton	COP
	Water	T_{db}	%RH	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/hr)	(L/min)	.(kW)		Overall
Air-Cooled	-	32.7	67.4	52.08	76.39	24.0	10.4	276.24	28.66	18.66	12,410.46	-	1.27	1.23	2.86
Water Spray	5	32.6	66.7	51.64	78.64	23.9	9.9	274.47	28.42	18.37	12,402.78	0.138	1.08	1.04	3.37
Water Spray	10	33.0	64.9	53.31	79.20	23.8	9.8	268.55	28.69	18.38	12,445.64	0.189	1.07	1.03	3.42
Water Spray	15	33.2	63.2	53.23	79.95	23.8	9.8	269.73	28.63	18.42	12,390.33	0.227	1.06	1.03	3.43

ตารางที่5.4 แสดงการเปรียบข้อมูลและค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบพ่นน้ำที่แรงดันน้ำต่างๆกันทดสอบด้วยหัวฉีดแบบ PJ12

Condenser	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		h (Btu/lb)		4.5xCFMxΔh	W_{Total}*	kW/ton	COP
	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(Btu/hr)	(kW)		Overall
Air-Cooled	52.08	76.39	24.0	10.4	28.66	18.66	12,410.46	1.27	1.23	2.86
Water Spray	**-0.83%**	**+2.95%**	**-0.59%**	**-5.28%**	**-0.84%**	**-1.55%**	**-0.06%**	**-14.96%**	**-15.19%**	**+17.85%**
Water Spray	**+2.37%**	**+3.68%**	**-0.87%**	**-5.68%**	**+0.10%**	**-1.50%**	**+0.28%**	**-15.74%**	**-16.35%**	**+19.56%**
Water Spray	**+2.21%**	**+4.66%**	**-1.01%**	**-5.92%**	**-0.09%**	**-1.29%**	**-0.44%**	**-16.53%**	**-16.68%**	**+19.96%**

***หมายเหตุ + แทนการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น - การเปลี่ยนแปลงลดลง**

ตารางที่ 5.5 แสดงข้อมูลและค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบพ่นน้ำที่แรงดันน้ำต่างๆกัน ทดสอบด้วยหัวฉีดแบบ PJ20

Condenser	Pressure	อากาศภายนอก		ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		CFM	h (Btu/lb)		4.5xCFMxΔh	ปริมาณน้ำที่ใช้	W_{Total}	kW/ton	COP
	Water	T_{db}	%RH	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/hr)	(L/min)	(kW)		Overall
Air-Cooled	-	32.8	64.7	49.32	72.33	23.9	9.9	273.87	27.92	17.89	12,367.75	-	1.28	1.25	2.83
Water Spray	5	32.8	64.3	53.49	77.97	23.8	9.9	273.87	28.73	18.30	12,853.11	0.386	1.11	1.04	3.38
Water Spray	10	32.9	63.9	53.04	78.28	23.9	9.8	272.10	28.76	18.28	12,826.01	0.505	1.10	1.03	3.41
Water Spray	15	33.3	61.4	53.09	78.98	23.9	9.8	270.92	28.74	18.34	12,678.51	0.591	1.08	1.03	3.43

ตารางที่ 5.6 แสดงการเปรียบข้อมูลและค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบพ่นน้ำที่แรงดันน้ำต่างๆกัน ทดสอบด้วยหัวฉีดแบบ PJ20

Condenser	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		h (Btu/lb)		4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	COP
	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(Btu/hr)	(kW)		
Air-Cooled	49.32	72.33	23.9	9.9	27.92	17.89	12,367.75	1.28	1.25	2.83
Water Spray	**+8.47%**	**+7.80%**	**-0.17%**	**0.0%**	**+2.90%**	**+2.33%**	**+3.92%**	**-13.28%**	**-16.80%**	**+19.43%**
Water Spray	**+7.55%**	**+8.24%**	**0.0%**	**-1.2%**	**+2.99%**	**+2.19%**	**+3.71%**	**-14.06%**	**-17.01%**	**+20.49%**
Water Spray	**+7.65%**	**+9.19%**	**0.0%**	**-1.2%**	**+2.93%**	**+2.54%**	**+2.51%**	**-15.63%**	**-17.60%**	**+21.20%**

***หมายเหตุ + แทนการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น - การเปลี่ยนแปลงลดลง**

5.2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของหัวฉีดแบบ PJ12 และแบบ PJ20

หัวฉีดที่ใช้ในระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ มีส่วนสำคัญที่ช่วยทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างคอยล์ร้อนกับอากาศและละอองน้ำเพิ่มขึ้น หัวฉีดที่ดีต้องมีการกระจายตัวของหมอกละอองน้ำเป็นแบบเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Fog) เพื่อประสิทธิภาพที่สูงสุดและมีอัตราการใช้น้ำในปริมาณที่ไม่สูงจนเกินไป เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในส่วนที่ต้องสิ้นเปลืองน้ำ เมื่อคิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากตารางที่ 5.7 – 5.9 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ ระหว่างหัวฉีดแบบ PJ12 กับ PJ20 ที่แรงดันน้ำ 5 ,10 และ 15 Bar ตามลำดับ ซึ่งทดสอบที่สภาวะอากาศภายนอกที่มีค่าใกล้เคียงกัน พบว่าเมื่อเปรียบเทียบหัวฉีดแบบ PJ12 กับแบบ PJ20 ที่แรงดันน้ำ 5 bar อุณหภูมิด้านกลับมีค่าลดลงเท่ากับ 3.53 % ด้านจ่ายลดลงเท่ากับ 0.85%และความชื้นด้านจ่ายมีค่าลดลงเท่ากลับ 0.85% และด้านกลับลดลงเท่ากับ 0.42 % ความสามารถในการทำความเย็นลดลงเท่ากับ 3.63% ส่วนค่า COP มีค่าลดลงเท่ากับ 0.30% โดยที่กำลังไฟฟ้าโดยรวมเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.78 % ส่วนอัตราการใช้น้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 1.7 เท่า

ขณะที่แรงดันน้ำ 10 bar พบว่าเมื่อเปรียบเทียบหัวฉีดแบบ PJ12 กับแบบ PJ20 ที่ อุณหภูมิด้านกลับมีค่าลดลงเท่ากับ 0.50% ด้านจ่ายลดลงเท่ากับ 1.16% และความชื้นด้านจ่ายมีค่าเท่าเดิม และด้านกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.49 % ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเท่ากับ 3.06% แต่ค่า COP มีค่าลดลงเท่ากับ 1.05 % โดยที่กำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยรวมมีค่าเท่ากับ 3.52% ส่วนอัตราการใช้น้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 1.7 เท่า

ขณะที่แรงดันน้ำ 15 bar พบว่าเมื่อเปรียบเทียบหัวฉีดแบบ PJ12 กับแบบ PJ20 ที่ อุณหภูมิด้านกลับมีค่าลดลงเท่ากับ 0.25% ด้านจ่ายลดลงเท่ากับ 1.22% และความชื้นด้านจ่ายมีค่าเท่าเดิม และด้านกลับมีค่าลดลงเท่ากับ 0.53 % ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.33% แต่ค่า COP มีค่าเท่ากัน โดยที่กำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยรวมเปรียบเทียบกันมีค่ามากกว่าเท่ากับ 2.36% ส่วนอัตราการใช้น้ำเพิ่มขึ้นประมาณ 1.7 เท่า

จากข้อมูลการเปรียบเทียบหัวฉีดแบบ PJ12 กับ PJ20 ที่แรงดันน้ำที่ใช้ฉีดต่างกัน พบว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน แต่ปริมาณน้ำที่ใช้มีค่าแตกต่างกันโดยที่หัวฉีดแบบ PJ20 จะมีอัตราการใช้น้ำมากกว่าหัวฉีดแบบ PJ12 ประมาณ 1.6 – 1.8 เท่า ซึ่งอัตราการใช้น้ำนี้มีผลต่อความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นในการเลือกใช้หัวฉีดในการใช้งาน จึงควรเลือกหัวฉีดที่มีประสิทธิภาพสูงและใช้น้ำในปริมาณที่ต่ำ เพื่อคุ้มค่ากับพลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดลงกับปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากการทำงานของระบบพ่นน้ำ

ตารางที่ 5.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆระหว่างหัวฉีดแบบ PJ12 กับแบบ PJ20 ที่แรงดันน้ำ 5 bar

หัวฉีด	Condenser	Pressure	อากาศภายนอก		ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(^{o}C)		CFM	h (Btu/lb)		4.5xCFMxΔh	ปริมาณน้ำที่ใช้	W_{Total}	kW/ton	COP
รุ่น		Water	T_{db}	T_{wb}	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/hr)	(L/min)	(kW)		
PJ12	Water-Spray	5	32.6	27.3	51.64	78.64	23.9	9.9	274.47	28.42	18.37	12,402.78	0.138	1.08	1.04	3.37
PJ20	Water-Spray	5	32.8	27.1	53.49	77.97	23.8	9.7	273.87	28.73	18.30	12,853.11	0.386	1.11	1.04	3.38
เปรียบเทียบ PJ20 เทียบกับ PJ12					**+3.58%**	**-0.85%**	**-0.42%**	**-2.02%**	**-0.22%**	**+1.09%**	**-0.38%**	**+3.63%**	**+179.71%**	**+2.78%**	**0.00%**	**+0.30%**

ตารางที่ 5.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆระหว่างหัวฉีดแบบ PJ12 กับแบบ PJ20 ที่แรงดันน้ำ 10 bar

หัวฉีด	Condenser	Pressure	อากาศภายนอก		ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(^{o}C)		CFM	h (Btu/lb)		4.5xCFMxΔh	ปริมาณน้ำที่ใช้	W_{Total}	kW/ton	COP
รุ่น		Water	T_{db}	T_{wb}	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/hr)	(L/min)	(kW)		
PJ12	Water-Spray	10	33.0	27.4	53.31	79.20	23.8	9.8	268.55	28.69	18.38	12,445.64	0.189	1.07	1.03	3.42
PJ20	Water-Spray	10	32.9	27.1	53.04	78.28	23.9	9.8	272.10	28.76	18.28	12,826.01	0.505	1.10	1.03	3.41
เปรียบเทียบ PJ20 เทียบกับ PJ12					**-0.50%**	**-1.16%**	**-0.49%**	**0.00%**	**+1.32%**	**+0.25%**	**-0.57%**	**+3.06%**	**+167.20%**	**+2.80%**	**0.00%**	**-0.29%**

***หมายเหตุ + แทนการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น -การเปลี่ยนแปลงลดลง**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆระหว่างหัวฉีดแบบ PJ12 กับแบบ PJ20 ที่แรงดันน้ำ 15 bar

หัวฉีด	Condenser	Pressure	อากาศภายนอก		ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		CFM	h (Btu/lb)		4.5xCFMxΔh	ปริมาณน้ำที่ใช้	W_{Total}	kW/ton	COP
รุ่น		Water	T_{db}	T_{wb}	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/hr)	(L/min)	(kW)		
PJ12	Water-Spray	15	33.2	27.3	53.23	79.95	23.8	9.8	269.73	28.63	18.42	12390.33	0.227	1.06	1.03	3.43
PJ20	Water-Spray	15	33.3	26.9	53.09	78.98	23.9	9.8	270.92	28.74	18.34	12678.51	0.591	1.08	1.03	3.43
เปรียบเทียบ PJ20 เทียบกับ PJ12					**-0.25%**	**-1.22%**	**+0.53%**	**0.00%**	**+0.44%**	**+0.38%**	**-0.43%**	**+2.33%**	**+160.35%**	**+2.36%**	**0.00%**	**0.00%**

***หมายเหตุ + แทนการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น - การเปลี่ยนแปลงลดลง**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 การทดสอบที่ห้องทดสอบมาตรฐาน (Calorimeter Room)

สำหรับในการดำเนินการทดสอบในห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ ได้ทำการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำที่สภาวะของอากาศภายนอกที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ แต่ใกล้เคียงกับสภาวะอากาศจริงในประเทศไทย และค่าเฉลี่ยที่ได้มาจากการประมาณค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ช่วงที่ร้อนจัดและเป็นช่วงที่เปิดเครื่องปรับอากาศมากที่สุด โดยที่ก่อนทำการทดสอบได้ทำการปรับสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศให้ทำงานเต็มประสิทธิภาพมากที่สุด โดยได้ทำการเติมปริมาณสารทำความเย็นให้เหมาะสมตามมาตรฐานที่ตั้งไว้

ในการทดสอบเครื่องปรับอากาศที่ห้องทดสอบนี้ เราจะทำการทดสอบเครื่องปรับอากาศทั้งสองแบบ โดยจะแยกเป็นกรณีทดสอบทั้งหมด 11 กรณี แบ่งได้ดังนี้

1.กรณี Standard และกรณีที่ 1-5 เป็นการทดสอบด้วยเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

2.กรณีที่ 6-10 เป็นการทดสอบด้วยเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ

ตารางที่ 5.10 แสดงกรณี (สภาวะอากาศ) ที่ใช้ในการทดสอบเครื่องปรับอากาศ

สภาวะอากาศที่ทดสอบ	อุณหภูมิห้องควบคุมอากาศร้อน		ปริมาณน้ำยาR-22 (kg)	แรงดันน้ำ (bar)	อัตราการไหลของน้ำ (L/min)	ชนิดของ Condenser
	T_{DB} (°C)	T_{WB} (°C) ,%RH				
Standard	35	24 , 40 %	1.35	-	-	Air-Cooled Condenser
1	35	26.1 , 50 %	1.35	-	-	
2	35	28.2 , 60 %	1.35	-	-	
3	32.5	26.4 , 65 %	1.35	-	-	
4	30	25.5 , 70 %	1.35	-	-	
5	30	27.1 , 80 %	1.35	-	-	
6	35	26.1 , 50 %	1.35	5	0.117-0.140	Water Spray -Cooled Condenser
7	35	28.2 , 60 %	1.35	5	0.117-0.140	
8	32.5	26.4 , 65 %	1.35	5	0.117-0.140	
9	30	25.5 , 70 %	1.35	5	0.117-0.140	
10	30	27.1 , 80 %	1.35	5	0.117-0.140	

สำหรับผลการทดสอบที่ได้ (ดูจากภาคผนวก จ) ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์สามารถแยกเป็นหัวข้อต่างๆได้ดังนี้

1. วิเคราะห์ผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่สภาวะภายนอกต่างๆเพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาวะอากาศภายนอกที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบ

2.วิเคราะห์ผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำที่สภาวะภายนอกต่างๆเพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาวะอากาศภายนอกที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบ

3.วิเคราะห์ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบโดยการพ่นน้ำ

1.การวิเคราะห์ผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่สภาวะอากาศภายนอกต่างๆเพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาวะอากาศภายนอกที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบ

สำหรับการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ เป็นการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศที่ทำงานภายใต้สภาวะอากาศแบบต่างๆ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

1.1 สมรรถนะที่ได้จากวัดค่าพลังงานพลังงานที่ป้อนให้กับห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศโดยตรง

จากผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศภายใต้สภาวะอากาศแบบมาตรฐานห้องทดสอบ(Standard) และสภาวะอากาศแบบที่ 1 ถึง 5 โดยการวัดค่าพลังงานที่ป้อนให้กับห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศโดยตรง ซึ่งผลการทดสอบได้แสดงไว้ดังตารางที่ จ-1 ถึง จ-6

ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าในกรณีที่สภาวะอากาศภายนอกแบบที่มาตรฐานห้องทดสอบ (Standard) , 1 และ 2 มีอุณหภูมิอากาศภายนอก (Outdoor)ที่ T_{db} = 35 °C เท่ากัน พบว่าเมื่อสภาวะอากาศที่มีความชื้นเพิ่มขึ้น(เปรียบเทียบกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 เทียบกับกรณี Standard) มีค่าขีดความสามารถการทำความเย็น (Q_T) ลดลง 0.84% เท่ากัน ในขณะที่ค่าพลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้กับระบบ(W_T)เท่าเดิม แต่ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ(COP) มีค่าลดลงเล็กน้อยคือ 0.82 %

ขณะที่สภาวะอากาศภายนอกที่กรณีที่ 4 และ 5 เทียบกับกรณี Standard มีค่าขีดความสามารถการทำความเย็น (Q_T) เพิ่มขึ้น แต่ค่าพลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้กับระบบ (W_T) มีค่าลดลง ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) มีค่าเพิ่มขึ้น 11.11% และ 8.23% ตามลำดับ

ดังนั้นเมื่อสภาวะอากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลทำให้ค่าขีดความสามารถการทำความเย็น (Q_T) ลดลง ค่าพลังงานโดยรวมที่ป้อนให้กับระบบ (W_T) มีค่าเพิ่มขึ้นและสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) มีค่าลดลง

ในทางกลับกันเมื่อสภาวะอากาศภายนอกมีอุณหภูมิต่ำลง ส่งผลทำให้ค่าขีดความสามารถการทำความเย็น (Q_T) เพิ่มขึ้น ค่าพลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้กับระบบ (W_T) มีค่าลดลงและทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) เพิ่มขึ้นตาม ส่วนที่อุณหภูมิของสภาวะอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิเดียวกัน แต่ความชื้นที่อยู่ในอากาศต่างกัน พบว่ามีผลกระทบน้อยมาก

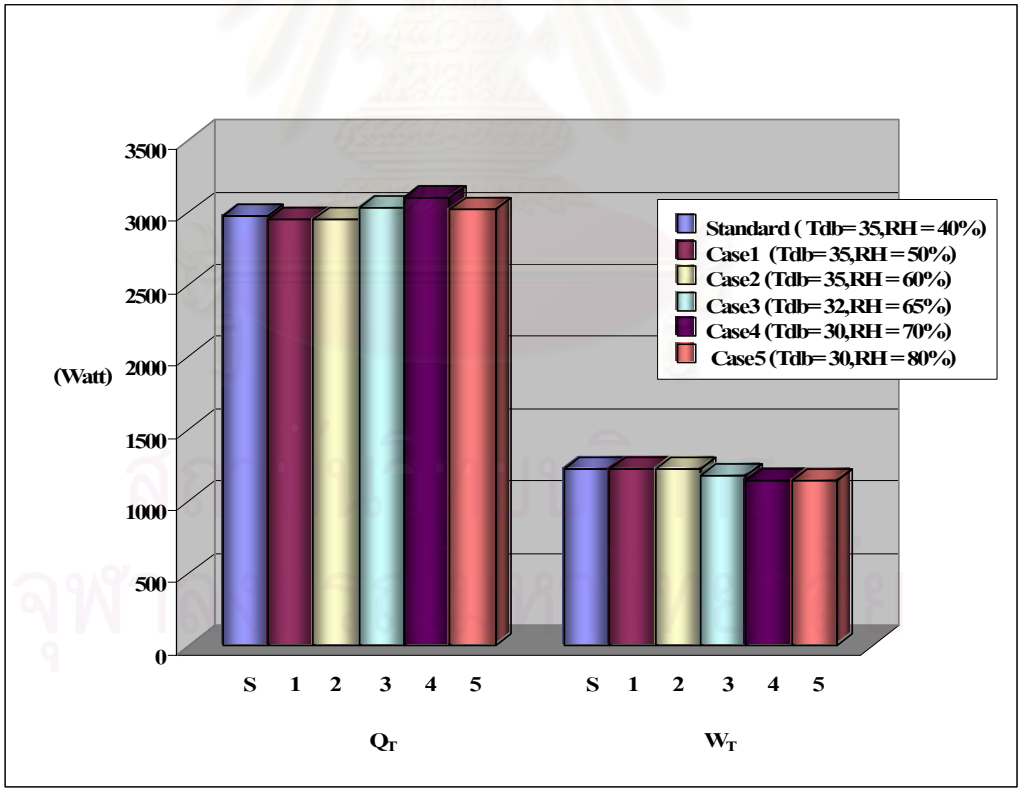
ตารางที่ 5.11 แสดงค่า Q_T, W_T, COP ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่สภาวะอากาศภายนอกต่างๆกัน

สภาวะอากาศที่ทดสอบ	Q_T (Watt)	W_T (Watt)	COP
Standard (T_{db}= 35, T_{wb}= 24, RH = 40%)	2,975	1,225	2.43
Case1 (T_{db}= 35, T_{wb}= 26.1, RH = 50%)	2,950	1,225	2.41
Case2 (T_{db}= 35, T_{wb}= 28.2, RH = 60%)	2,950	1,225	2.41
Case3 (T_{db}= 32.5, T_{wb}= 26.4, RH = 65%)	3,035	1,175	2.58
Case4 (T_{db}= 30, T_{wb}= 25.5, RH = 70%)	3,100	1,150	2.70
Case5 (T_{db}= 30, T_{wb}= 27.1, RH = 80%)	3,025	1,150	2.64

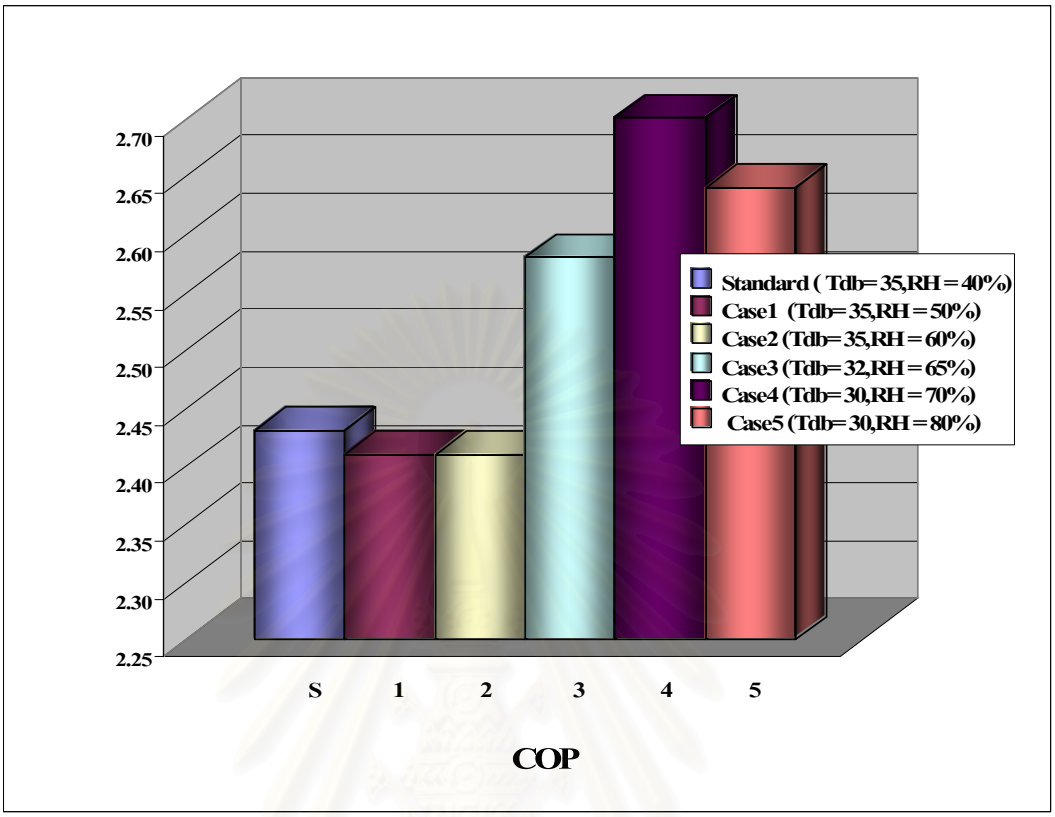
ตารางที่ 5.12 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T , W_T ,COP ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ที่สภาวะอากาศภายนอกต่างๆกัน

สภาวะอากาศที่ทดสอบ	Q_T (Watt)	W_T (Watt)	COP	หมายเหตุ
Standard (T_{db}= 35,RH = 40%)	2,9975	1,225	2.43	% การเปลี่ยนแปลงของสภาวะที่ 1,2,3,4,5 เทียบกับสภาวะมาตรฐาน (Standard)
Case1 (T_{db}= 35,RH = 50%)	-0.84 %	0.00%	-0.82%	
Case2 (T_{db}= 35,RH = 60%)	- 0.84 %	0.00%	-0.82%	
Case3 (T_{db}= 32.5,RH = 65%)	+2.02 %	-4.08 %	+6.17%	
Case4 (T_{db}= 30,RH = 70%)	+4.20 %	-6.12 %	+11.11%	
Case5 (T_{db}= 30,RH = 80%)	+1.68 %	-6.12 %	+8.23%	

หมายเหตุ: + เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น , - เปลี่ยนแปลงลดลง



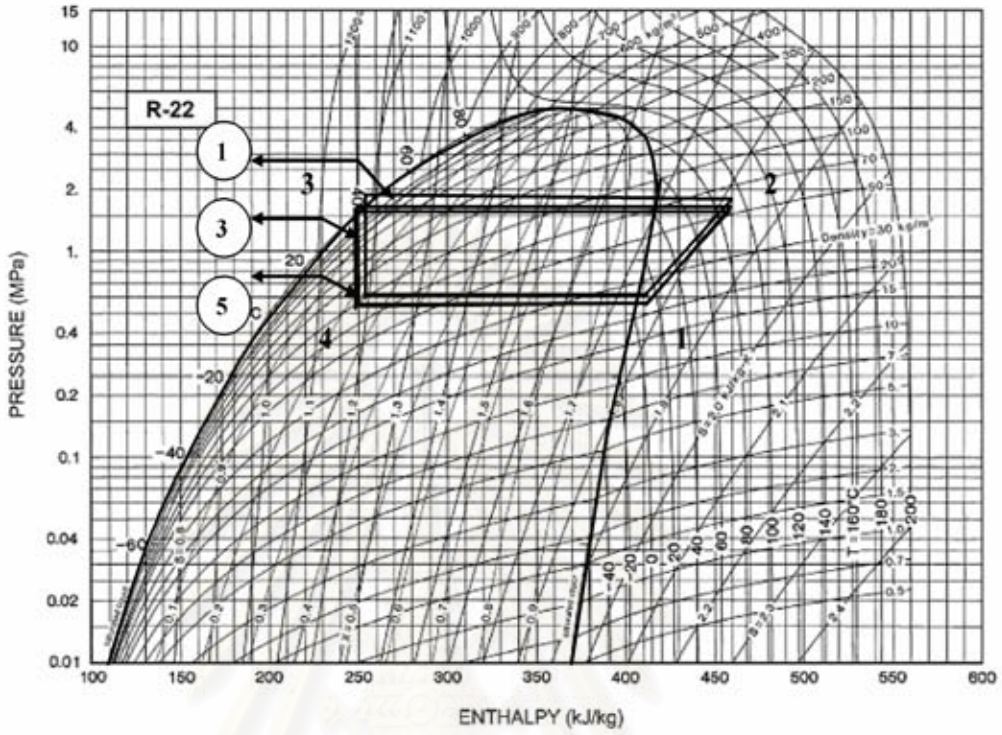
รูปที่ 5.4 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า Q_T และ W_T ของการระบายความร้อนด้วยอากาศ



รูปที่ 5.5 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า COP ของการระบายความร้อนด้วยอากาศ

1.2 ลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศตามวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

สำหรับผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศในกรณีที่ทดสอบที่อุณหภูมิอากาศภายนอกที่แตกต่างกัน(กรณี Standard, 1, 2, 3, 4 และ 5) เมื่อนำข้อมูลผลการทดสอบมาเขียนอยู่ในวัฏจักรการทำความเย็นบนแผนภาพ P-h ของสารทำความเย็น R-22 โดยแบ่งออกเป็น 3 วัฏจักร คือ วัฏจักรการทำความเย็นที่สภาวะอากาศภายนอกที่ T_{db} = 35 °C ได้แก่ กรณีที่ Standard, 1และ 2 ซึ่งจะมีวัฏจักรทำความเย็นเหมือนกัน วัฏจักรทำความเย็นที่สภาวะอากาศภายนอกที่ T_{db} = 32.5 °C ได้แก่กรณีที่ 3 และวัฏจักรทำความเย็นที่สภาวะอากาศภายนอกที่ T_{db} = 30 °C ได้แก่กรณีที่ 4 และ 5 ซึ่งก็จะมีวัฏจักรทำความเย็นที่เหมือนกัน



รูปที่ 5.6 แสดงแผนภาพ P-h ของการระบายความร้อนด้วยอากาศ ระหว่างกรณีที่ 1 (T_{db} = 35 °C), กรณีที่ 3 (T_{db} = 32.5°) และ กรณีที่ 5 (T_{db} = 30 °C)

จากแผนภาพ P-h พบว่าในวัฏจักรการทำความเย็นที่อุณหภูมิของสภาวะอากาศภายนอกที่ T_{db} = 30 °C มีผลต่างของความดันตกคร่อมเครื่องอัดไอ (Compressor) ลดลงต่ำกว่าวัฏจักรการทำความเย็นที่อุณหภูมิอากาศภายนอกที่ T_{db} = 35 °C และวัฏจักรการทำความเย็นที่อุณหภูมิอากาศภายนอกที่ T_{db} = 32.5 °C ทั้งนี้เป็นผลมาจากอุณหภูมิของสภาวะอากาศภายนอกที่ลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอนเดนเซอร์ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกรณีอื่นๆ ทำให้ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนในคอนเดนเซอร์เพิ่มมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นลดต่ำลง ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถดึงความร้อนจากห้องปรับอากาศได้มากขึ้น คอมเพรสเซอร์ทำงานน้อยลง ดังนั้นจึงทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานของเครื่องเครื่องปรับอากาศดีขึ้นตาม

นอกจากนี้พบว่าพลังงานที่ใช้ในเครื่องอัดไอมีค่าลดลง ความดันหลังจากออกเครื่องควบแน่นและอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นมีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิของสภาวะอากาศภายนอกมีค่าลดลง

2. การวิเคราะห์ผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ ที่สภาวะอากาศภายนอกต่างๆเพื่อศึกษาอิทธิพลของสภาวะอากาศที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบ

ในการวิจัยนี้ได้ดำเนินการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำที่สภาวะอากาศภายนอกต่างๆ เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ จากผลการทดสอบสามารถนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศ ที่ทำงานภายใต้สภาวะอากาศภายนอกแบบต่างๆกัน ทั้งที่อยู่ภายใต้อัตราความชื้นเดียวกัน และอัตราความชื้นแตกต่างกัน ว่าอิทธิพลของสภาวะเงื่อนไขเหล่านี้ มีผลต่อการทำงานและสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำอย่างไรบ้าง โดยในการทดสอบนี้ได้แบ่งออกเป็น 5 กรณี

โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ลักษณะตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้คือ 1. พิจารณาเปรียบเทียบกรณีที่ 6 (T_{db} = 35 °C, T_{wb} = 26.1°C , 50% RH), กรณีที่ 7 (T_{db} = 35 °C, T_{wb} = 28.2°C ,60% RH) และ 2. พิจารณาเปรียบเทียบเทียบกรณีที่ 9 (T_{db} = 30 °C, T_{wb} = 25.5°C, 70% RH) กับกรณีที่ 10 (T_{db} = 30 °C, T_{wb} = 27.1°C, 80% RH) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

2.1 สมรรถนะที่ได้จากการวัดค่าพลังงานที่ป้อนให้กับห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศโดยตรง

จากผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในกรณีที่ 6-10 โดยใช้วิธีวัดค่าพลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องปรับอากาศโดยตรง ซึ่งแสดงผลการทดสอบในตารางที่ จ-7 ถึง จ-11 จากตารางที่ 5.13 และ 5.14 โดยเมื่อพิจารณาการเปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ 6 (T_{db} = 35 °C, T_{wb} = 26.1°C, 50% RH), กรณีที่ 7 (T_{db} = 35 °C, T_{wb} = 28.2°C, 60% RH) พบว่ากรณีที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น(อุณหภูมิกระเปาะเปียกเพิ่มขึ้น) ขณะที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศภายนอกมีค่าเท่ากัน มีค่าขีดความสามารถในการทำความเย็น (Q_T) ลดลงเท่ากับ 3.17 % โดยที่พลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้กับระบบ (W_T) มีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.27 % และค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) ลดลงเท่ากับ 5.25 %

เช่นเดียวกันกับเมื่อเปรียบเทียบกรณีที่ 9 (T_{db} = 30 °C, T_{wb} = 25.5°C, 70% RH) กับกรณีที่ 10 (T_{db} = 30 °C, T_{wb} = 27.1°C, 80% RH) พบว่าค่าขีดความสามารถในการทำความเย็น (Q_T) ลดลงเท่ากับ 0.76% โดยที่พลังงานทั้งหมดที่ป้อนให้กับระบบ (W_T) มีค่าเท่ากัน และค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) ลดลงเท่ากับ 0.94 %

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของสภาวะอากาศภายนอก คือเมื่อที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของสภาวะอากาศที่เท่ากัน แต่อุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำกว่า ประสิทธิภาพของเครื่องที่มีอุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำกว่าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า

ตารางที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T, W_T และค่า COP ในกรณีที่ 6 และ 7

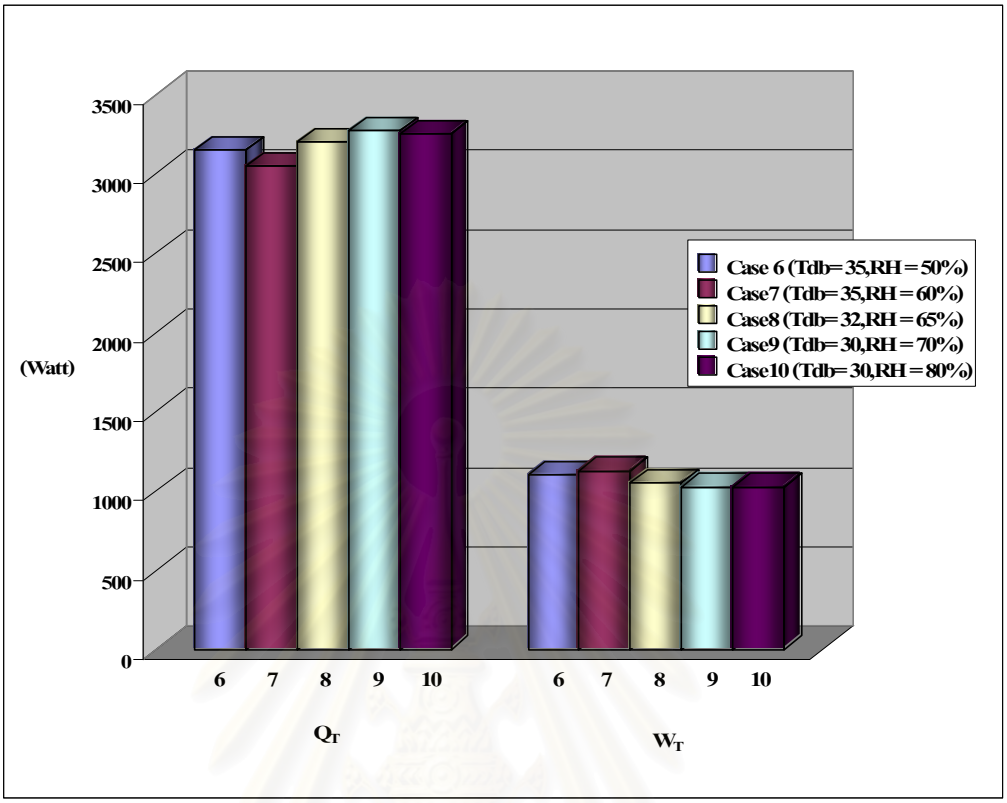
สภาวะอากาศที่ทดสอบ	Q_T (Watt)	W_T (Watt)	COP
Case 6 (T_{db}= 35,T_{wb} =26.1, RH = 50%)	3,150	1,100	2.86
Case7 (T_{db}= 35, T_{wb} =28.2, RH = 60%)	3,050	1,125	2.71
เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงกรณีที่ 7 เทียบกับกรณีที่ 6	-3.17%	+2.27%	-5.25%

ตารางที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T, W_T และค่า COP ในกรณีที่ 9 และ 10

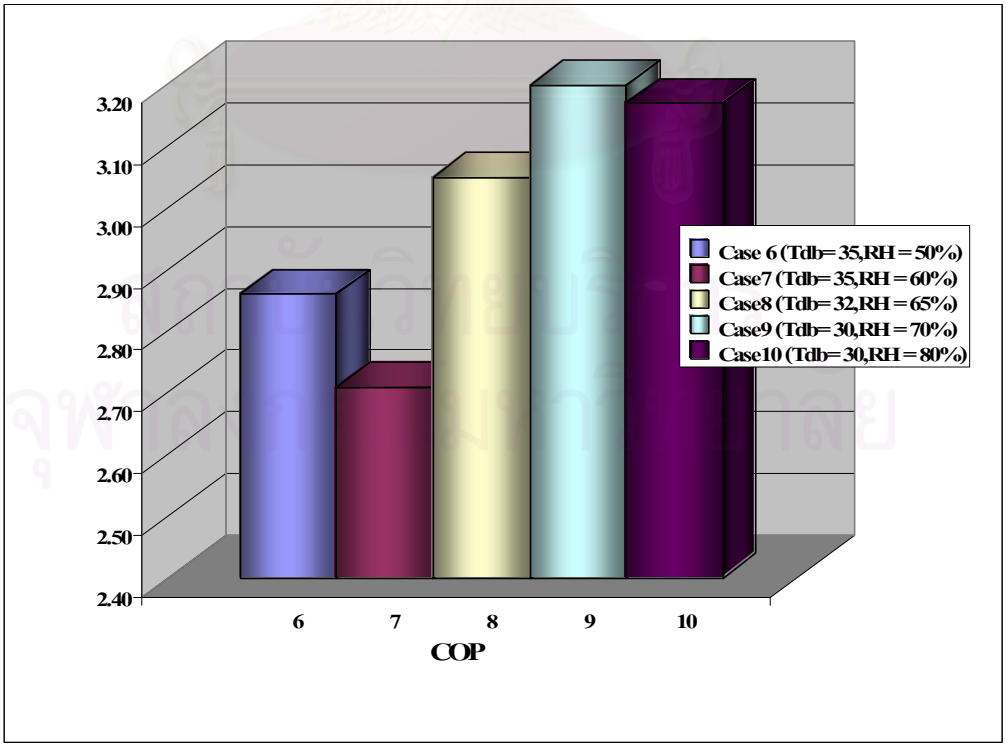
สภาวะอากาศที่ทดสอบ	Q_T (Watt)	W_T (Watt)	COP
Case9 (T_{db}= 30, T_{wb} =25.5, RH = 70%)	3,275	1,025	3.20
Case10 (T_{db}= 30, T_{wb} =27.1, RH = 80%)	3,250	1,025	3.17
เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงกรณีที่ 10 เทียบกับกรณีที่ 9	-0.76%	0.00%	-0.94%

หมายเหตุ: + เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น , - เปลี่ยนแปลงลดลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.7 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า Q_T และ W_T ของการระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ



รูปที่ 5.8 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า COP ของการระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ

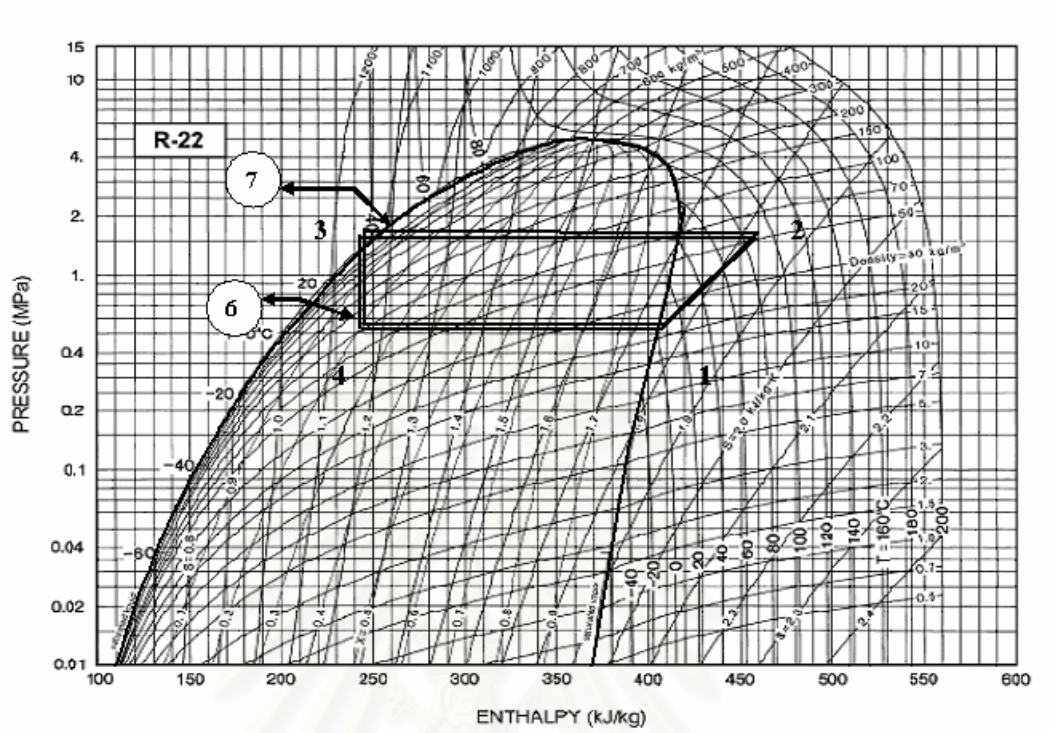
2.2 ลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศตามวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

จากผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในกรณีที่ 6-10 เมื่อนำวัฏจักรทำความเย็นมาเขียนบนแผนภาพ P-h ของสารทำความเย็น R-22 ในรูปที่ 5.13 และ 5.14 โดยในรูปที่ 5.13 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่ 6 กับกรณีที่ 7 และรูปที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบกรณีที่ 9 กับกรณีที่10 โดยที่การที่เปรียบเทียบกรณีที่ 6 กับกรณีที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบวัฏจักรการทำความเย็นที่มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งของสภาวะอากาศภายนอกเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่สภาวะอากาศภายนอกมีความชื้นต่างกัน(อุณหภูมิกระเปาะเปียกต่างกัน) ซึ่งพบว่ากรณีที่ 6 มีประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศดีกว่ากรณีที่ 7 เนื่องมาจากกรณีที่ 7 จะมีความดันด้านที่ออกจากคอมเพรสเซอร์สูงกว่ากรณีที่ 6 และอุณหภูมิการควบแน่นของสารทำความเย็นในกรณีที่ 6 จะต่ำกว่ากรณีที่ 7 ทำให้คอนเดนเซอร์สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น

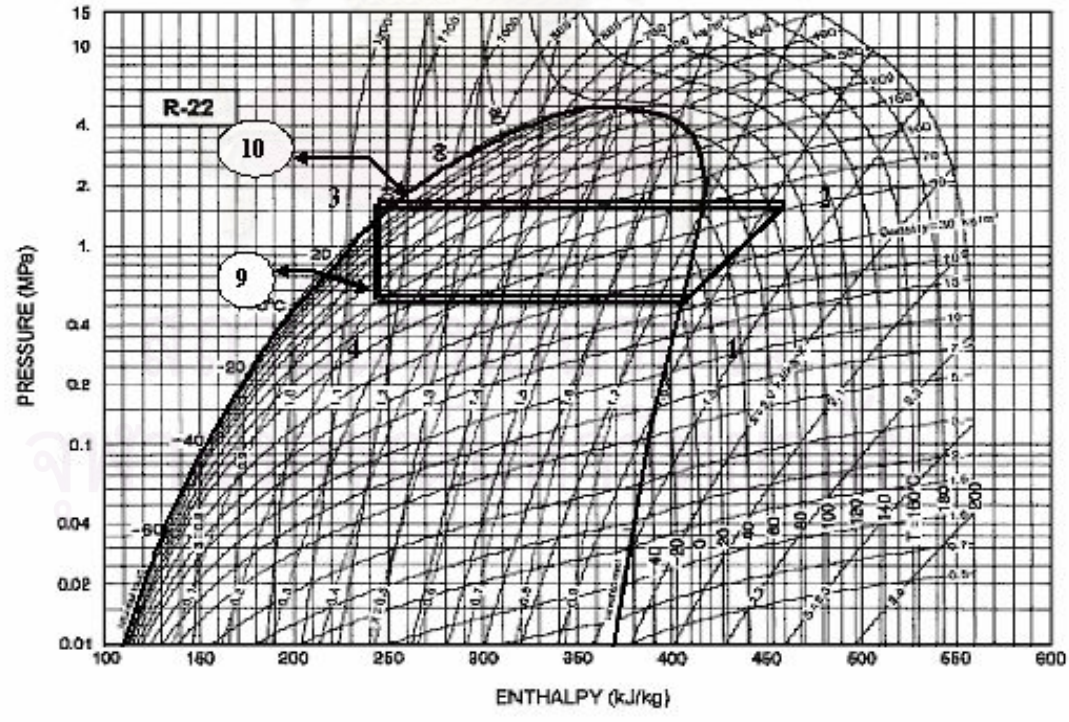
ในส่วนของการเปรียบเทียบกรณีที่ 9 และ 10 พบว่าที่สภาวะอุณหภูมิอากาศภายนอกมีค่าต่างกัน โดยในกรณีที่ 9 เมื่อเทียบกับกรณีที่ 10 มีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่า เนื่องจากงานที่ป้อนให้กับระบบลดลงและมีอัตราการระบายร้อนที่คอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น ส่วนอัตราการทำความเย็นมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นที่คอนเดนเซอร์ทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้อัตราในการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น

จากแผนภาพ P-h ของวัฏจักรทำความเย็นของระบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิกระเปาะเปียกที่สูงขึ้น ขณะที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งของสภาวะอากาศภายนอกเท่าเดิม ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำมีค่าลดต่ำลง และในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศภายนอกลดต่ำลง ทำให้ประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยน้ำมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

ดังนั้นแสดงว่าสมรรถนะของประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของสภาวะอากาศภายนอก คือ เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำทำงานได้ดีภายใต้สภาวะอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำๆ



รูปที่ 5.9 แสดงแผนภาพ P-h ของการระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำระหว่าง กรณีที่ 6 กับ 7



รูปที่ 5.10 แสดงแผนภาพ P-h ของการระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำระหว่างกรณีที่ 9 กับ 10

3.การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำไป

การเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ได้เลือกมาเปรียบเทียบดังตารางที่ 5.15 - 5.17โดยที่ตารางที่ 5.15 เป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่ 1 และ กรณีที่ 6 โดยที่กรณีที่ 1 เป็นเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ส่วนกรณีที่ 6 เป็นเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ซึ่งทั้งสองกรณีทดสอบที่สภาวะอากาศภายนอกแบบเดียวกันคือ ที่สภาวะอากาศภายนอกที่ T_{db} = 35 °C และ T_{wb} = 28.2 °C (หรือ 50 % RH)

ส่วนในตารางที่ 5.16 เป็นการเปรียบเทียบกันระว่างกรณีที่ 3 และ กรณีที่ 8 โดยที่กรณีที่ 3 เป็นเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ส่วนกรณีที่ 8 จะเป็นเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ซึ่งทั้งสองกรณีจะทดสอบที่สภาวะอากาศภายนอกที่ T_{db} = 32.5 °C และ T_{wb} = 26.4 °C(หรือ 65 % RH) เหมือนกันทั้งสองกรณี และในตารางที่ 5.17 เป็นการเปรียบเทียบกันระว่างกรณีที่ 4 และ กรณีที่ 9 โดยที่กรณีที่ 4 เป็นเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ส่วนกรณีที่ 9 จะเป็นเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ซึ่งทั้งสองกรณีจะทดสอบที่สภาวะอากาศภายนอกที่ T_{db} = 30 °C และ T_{wb} = 25.5 °C(หรือ 70 % RH) เหมือนกันทั้งสองกรณี โดยที่เครื่องปรับอากาศทั้งสองมีปริมาณน้ำยาสารทำความเย็น R-22 ในระบบเท่ากัน (1.35 kg)

3.1 สมรรถนะที่ได้จากการวัดค่าพลังงานที่ป้อนให้กับห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศโดยตรง

จากผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศทั้งสองแบบตามสภาวะทดสอบในกรณีที่ 1 และกรณีที่ 6 สามารถหาค่าสมรรถนะเครื่องปรับอากาศด้วยการวัดค่าพลังงานที่ป้อนให้กับห้องปรับอากาศโดยตรง ดังแสดงผลการทดสอบในตาราง จ-1 และ จ-6 (ภาคผนวก จ)

จากตารางที่ 5.15 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (กรณีที่ 1) กับแบบที่ระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ (กรณีที่ 6) กรณีที่ 6 มีขีดความสามารถการทำความเย็น (Q_T) เพิ่มขึ้น 6.78 % ขณะที่ค่าพลังงานที่ป้อนให้กับระบบทั้งหมด (W_T) มีค่าลดลง 10.20 % ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) มีค่าเพิ่มขึ้น 18.67 %

จากตารางที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่ 3 (แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ) กับกรณีที่ 8 (แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ พบว่ากรณีที่ 8 มีขีดความสามารถการทำ

ความเย็น (Q_T) เพิ่มขึ้น 5.44 % ขณะที่ค่าพลังงานที่ป้อนให้กับระบบทั้งหมด (W_T) มีค่าลดลง 10.64 % ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) มีค่าเพิ่มขึ้น 18.22 %

จากตารางที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่ 4 (แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ) กับกรณีที่ 9 (แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ พบว่ากรณีที่ 9 มีขีดความสามารถการทำความเย็น (Q_T) เพิ่มขึ้น 5.65 % ขณะที่ค่าพลังงานที่ป้อนให้กับระบบทั้งหมด (W_T) มีค่าลดลง 10.87 % ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) มีค่าเพิ่มขึ้น 18.53 %

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความดันด้านสูง (P_C) และอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น (T_C) ของเครื่องปรับแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ จากตารางที่ 5.15 พบว่ากรณีที่ 6 มีความดันด้านสูง (P_C) และอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น (T_C) ต่ำกว่ากรณีที่ 1 เท่ากับ 14.97 % และ 13.11 % ตามลำดับ เช่นเดียวกัน จากตารางที่ 5.16 พบว่ากรณีที่ 8 มีความดันด้านสูง (P_C) และอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น (T_C) ต่ำกว่ากรณีที่ 1 เท่ากับ 11.64 % และ 9.87 % ตามลำดับ

จากตารางที่ 5.17 พบว่ากรณีที่ 9 มีความดันด้านสูง (P_C) และอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น (T_C) ต่ำกว่ากรณีที่ 4 เท่ากับ 11.03 % และ 10.74 % ตามลำดับ

ดังนั้นสรุปได้ว่าเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยที่ขีดความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น ขณะที่พลังงานที่ป้อนให้กับระบบลดลง ทำให้ช่วยสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดไอในคอมเพรสเซอร์และความดันหลังออกจากคอมเพรสเซอร์และอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นลดลง ทำให้ช่วยยืดอายุการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้ยาวนานยิ่งขึ้น

ตารางที่ 5.15 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T , W_T ,P_C T_C และ COP ระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ(กรณีที่ 1) กับแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ (กรณีที่ 6)

สภาวะอากาศที่ทดสอบ	Q_T (Watt)	W_T (Watt)	P_C	T_C	COP
Case1 (T_{db}= 35, T_{wb}=26.1, RH = 50%)	2,950	1,225	1,871.75	48.8	2.41
Case 6 (T_{db}= 35, T_{wb}=26.1, RH = 50%)	3,150	1100	1,591.24	42.4	2.86
เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงกรณีที่ 6 เทียบกับกรณีที่ 1	+6.78%	-10.20%	-14.97%	-13.11%	+18.67%

ตารางที่ 5.16 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T , W_T ,P_C T_C และ COP ระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ(กรณีที่ 3) กับแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ (กรณีที่ 8)

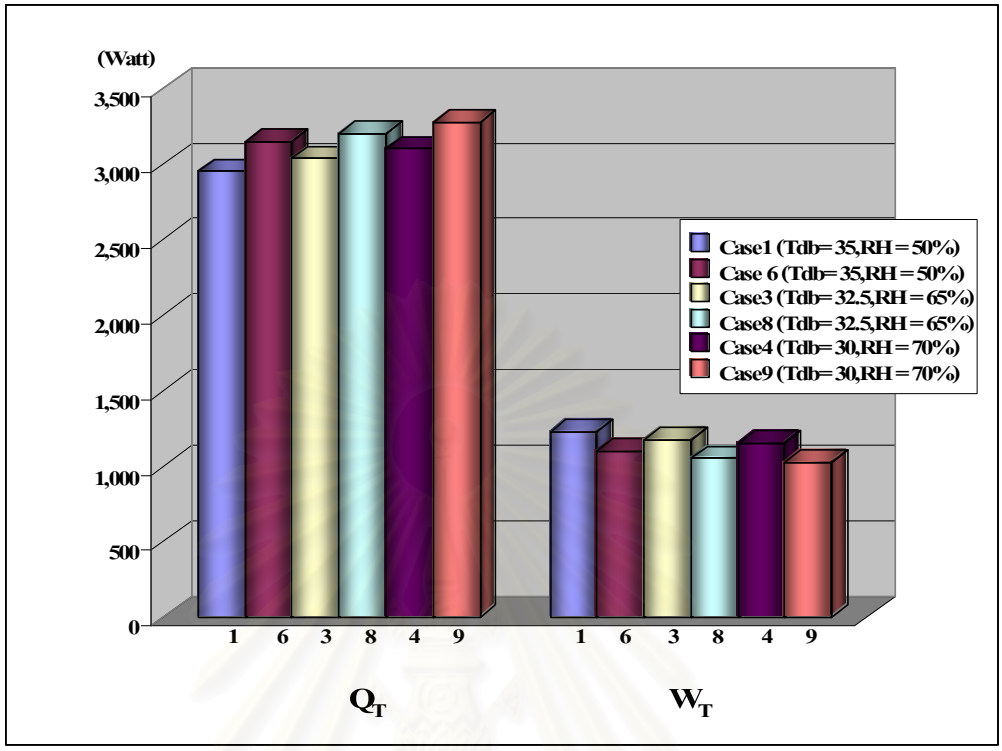
สภาวะอากาศที่ทดสอบ	Q_T (Watt)	W_T (Watt)	P_C	T_C	COP
Case3 (T_{db}= 32.5, T_{wb}=26.4, RH = 65%)	3,035	1,175	1,722.44	45.6	2.58
Case 8 (T_{db}= 32.5, T_{wb}=26.4, RH = 65\%)	3,200	1,050	1522.01	41.1	3.05
เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงกรณีที่ 8 เทียบกับกรณีที่ 3	+5.44%	-10.64%	-11.64%	-9.87%	+18.22%

ตารางที่ 5.17 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T , W_T ,P_C ,T_C และ COP ระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ(กรณีที่ 4) กับแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ (กรณีที่ 9)

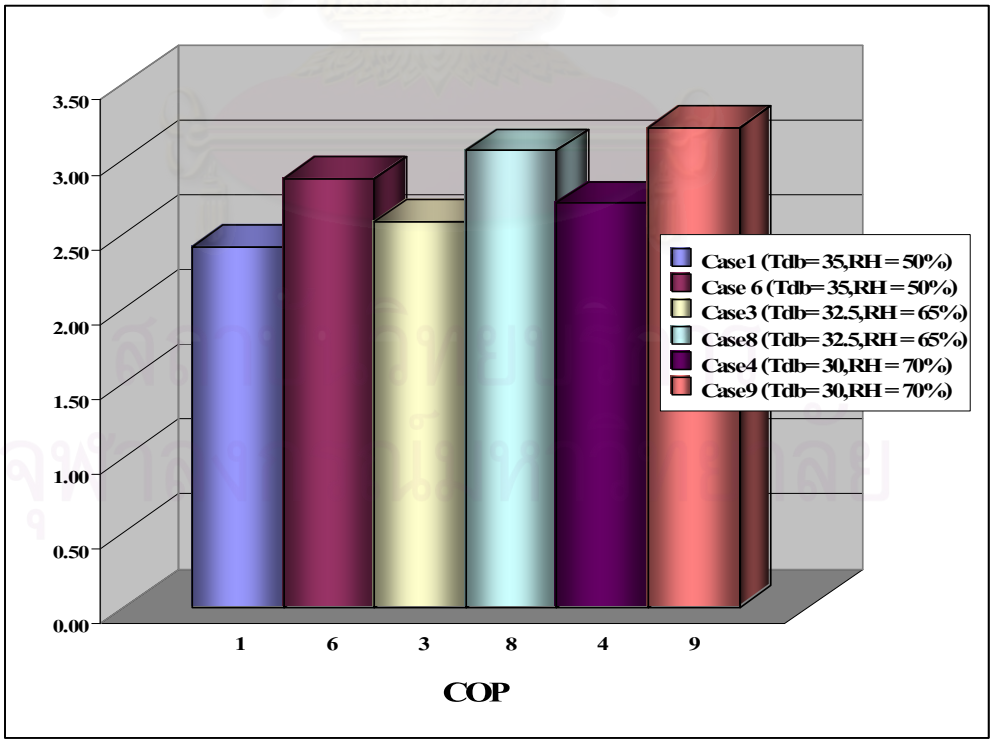
สภาวะอากาศที่ทดสอบ	Q_T (Watt)	W_T (Watt)	P_C	T_C	COP
Case4 (T_{db}= 30, T_{wb}=25.5, RH = 70%)	3,100	1,150	1,687.21	44.7	2.70
Case9 (T_{db}= 30, T_{wb}=25.5, RH = 70%)	3,275	1,025	1,501.11	39.9	3.20
เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงกรณีที่ 9 เทียบกับกรณีที่ 4	+5.65%	-10.87%	-11.03%	-10.74%	+18.53%

หมายเหตุ: + เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น , - เปลี่ยนแปลงลดลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.11 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า Q_T และ W_T ของการระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบพ่นน้ำที่สภาวะอากาศภายนอกเหมือนกัน



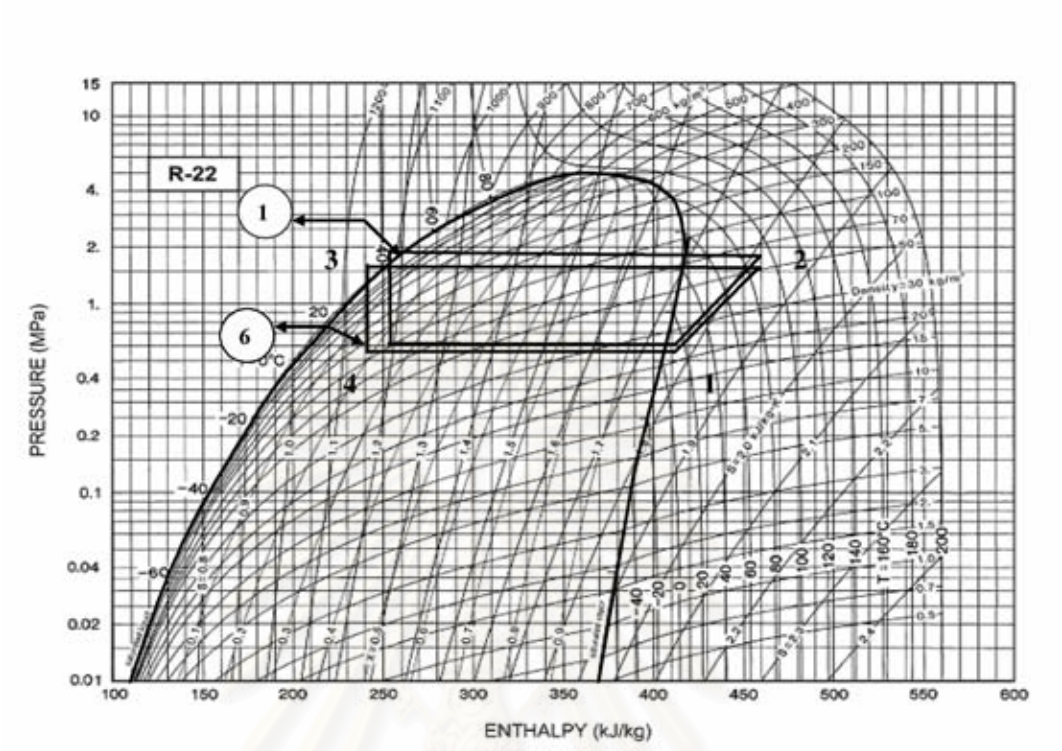
รูปที่ 5.12 แสดงกราฟการเปรียบเทียบค่า COP ของการระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบพ่นน้ำที่สภาวะอากาศภายนอกเหมือนกัน

3.2 ลักษณะการทำงานของเครื่องปรับอากาศตามวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

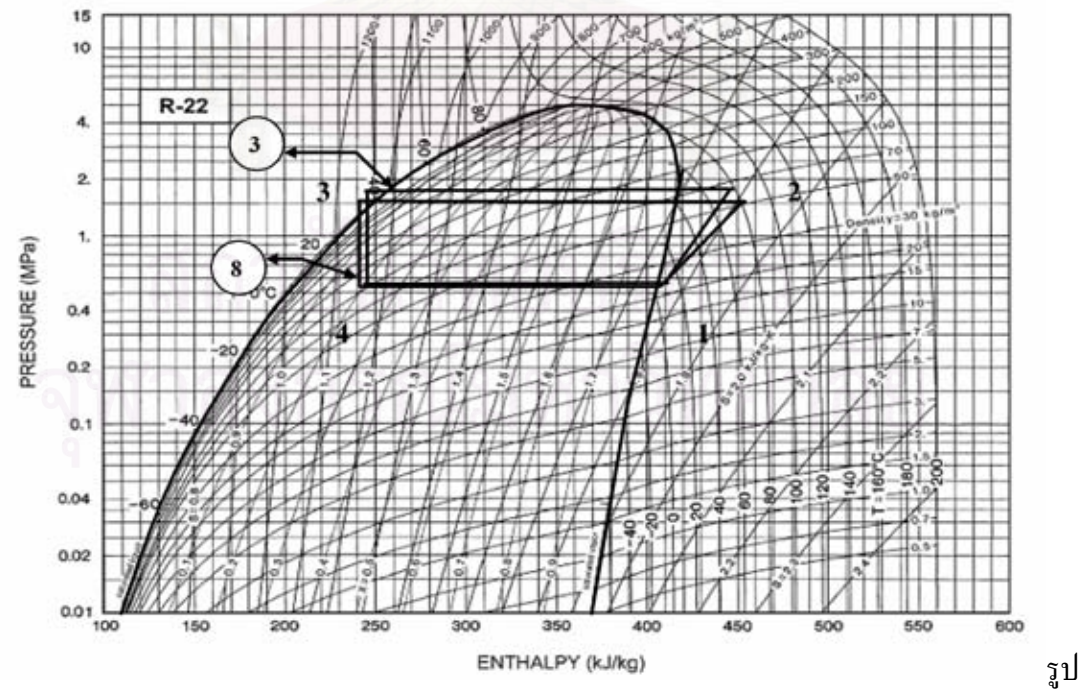
จากตารางผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศในกรณีที่ 1-10 (ตารางที่ จ-11 ถึง จ-20) เมื่อนำวัฏจักรการทำความเย็นมาเขียนบนแผนภาพ P-h ของสารทำความเย็น R-22 ดังแสดงในรูปที่ 5.13 (เป็นการเปรียบเทียบกรณีที่ 1 กับกรณีที่ 6) รูปที่ 5.14 (เป็นการเปรียบเทียบกรณีที่ 3 กับกรณีที่ 8)และรูปที่ 5.15 (เป็นการเปรียบเทียบกรณีที่ 4 กับกรณีที่ 9) พบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนจากการระบายความร้อนด้วยอากาศไปเป็นการระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำที่สภาวะอากาศภายนอกเดียวกัน ช่วยลดอุณหภูมิและความดันของสารควบแน่นสารทำความเย็นลง และส่งผลให้ความสามารถในการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์เพิ่มขึ้น

จากแผนภาพ P-h เห็นว่าพื้นที่ใต้กราฟระหว่างสภาวะที่ 2-3 ของการระบายความร้อนแบบการพ่นน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ แสดงว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากสารทำความเย็นสู่สภาวะแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น นั่นคือการระบายความร้อนแบบโดยการพ่นน้ำมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดีกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังนั้นเมื่อสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะไอร้อนยิ่งยวด(Superheated) ไหลผ่านคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ทำให้สารทำความเย็นเกิดการควบแน่นกลั่นตัวเป็นของเหลวได้เร็วกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ และการลดลงของความดันควบแน่นของสารทำความเย็นส่งผลทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นลดลงตามไปด้วย มีผลทำให้ความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มมากขึ้น แต่ในขณะที่ปริมาณสารทำความเย็นมีเท่าเดิม ทำให้บริเวณก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์มีสภาพเป็นไอร้อนยิ่งยวดมากขึ้น ซึ่งเป็นไปตามกฎของชาร์ลส์ (Charles's law) คือเมื่ออุณหภูมิของสารทำความเย็นที่กลายเป็นไอสูงขึ้น ปริมาตรของไอก็สูงขึ้นตาม($V \alpha T$)

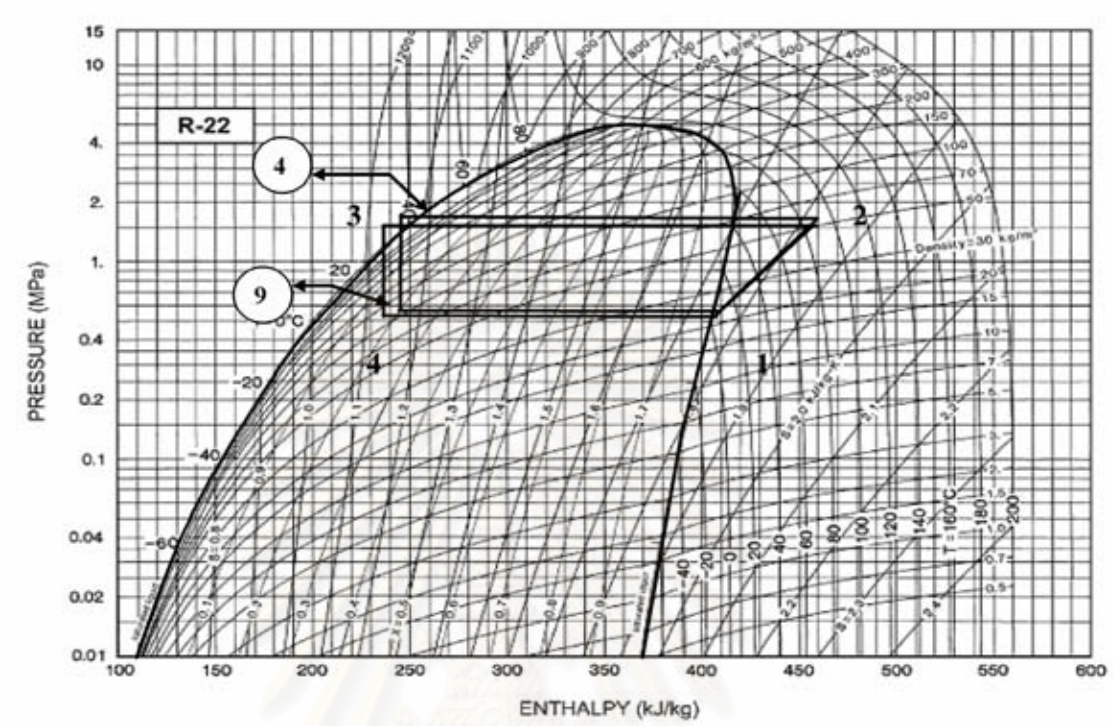
ดังนั้นปริมาตรของไอทางด้านดูดที่คอมเพรสเซอร์ต่อกิโลกรัมของสารทำความเย็น (v_g) จะเพิ่มขึ้น นั่นคือทุกๆ 1 กิโลกรัมของไอนี้ต้องการเนื้อที่ในคอมเพรสเซอร์มากขึ้นกว่าเดิมทำให้คอมเพรสเซอร์อัดมวลสารทำความเย็นได้น้อยลง จึงทำให้อัตราการไหลของสารทำความเย็นลดลง แต่จากผลการทดสอบพบว่าลดลงไม่มาก โดยในกรณีที่ 6 เทียบกับกรณีที่ 1 ลดลง 0.29 % และลดลง 3.43 % ในกรณีที่ 9 เทียบกับกรณีที่ 4 นอกจากนี้ในกรณีที่เมื่ออุณหภูมิของสารทำความเย็นก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์กลายเป็นไอร้อนยิ่งยวดสูงขึ้น จะทำให้ภาระในการอัดไอของสารทำความเย็นให้เป็นไอร้อนยวดยิ่งของคอมเพรสเซอร์ลดลง ดังที่แสดงในแผนภาพ P-h จะพบว่างานของระบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำที่ใช้ในการอัดไอที่คอมเพรสเซอร์จะลดลง เมื่อเทียบกับการระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งอุณหภูมิ,ความดันและภาระที่ลดลงจะช่วยยืดอายุการใช้งานของคอมเพรสเซอร์ให้ยาวนานยิ่งขึ้นและเป็นการช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศ



รูปที่ 5.13 แสดงแผนภาพ P-h ระหว่างการระบายความร้อนด้วยอากาศและการพ่นน้ำ (กรณีที่ 1 กับที่ 6)



รูปที่ 5.14 แสดงแผนภาพ P-h ระหว่างการระบายความร้อนด้วยอากาศและการพ่นน้ำ (กรณีที่ 3 กับที่ 8)



ที่ 5.15 แสดงแผนภาพ P-h ระหว่างการระบายความร้อนด้วยอากาศและการพ่นน้ำ (กรณีที่ 4 กับที่ 9)

5.4การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ

นอกจากการที่วิเคราะห์สมรรถนะ และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากผลตอบแทนการลงทุนและผลการดำเนินโครงการนี้ว่าสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเท่าไร ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยนี้ ใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV), อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) ซึ่งคิดค่าไฟฟ้าที่ลดลง, การลงทุนและระยะเวลาการคืนทุน ซึ่งสูตรและวิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ฉ

สำหรับการทดสอบนี้ ได้ทำการทดสอบกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศที่มีขนาดการทำความเย็น 15,000 และ 48,000 Btu/hr โดยทำการติดตั้งระบบพ่นน้ำ ทำให้สามารถใช้ได้ทั้งแบบระบายความร้อนด้วยอากาศแบบปกติและแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ แล้วทำการเปรียบเทียบกัน

5.4.1 การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการระบายด้วยอากาศกับการระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ

สำหรับในการทดสอบนี้ เป็นคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งคำนึงถึงผลตอบแทนการลงทุน มูลค่าการลงทุนและระยะเวลาการคืนทุน แต่ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำก็มีส่วนสำคัญในการตัดสินใจในการลงทุน

ดังนั้นจึงต้องนำข้อมูลจากการทดสอบที่ได้มาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) ของแบบระบายอากาศด้วย

จากตารางที่ 5.18 และ 5.19 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบที่ระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ที่แรงดันน้ำ 5 bar สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr พบว่าความสามารถในการทำความเย็นจะลดลง 0.06% แต่ค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้น 17.83% โดยที่กำลังไฟฟ้าโดยรวมจะลดลง 14.96 %

ขณะที่เครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr พบว่าความสามารถในการทำความเย็นจะเพิ่มขึ้น 0.49 % ค่า COP มีค่าเพิ่มขึ้น 20.13 % โดยที่กำลังไฟฟ้าโดยรวมจะลดลง 16.18 %จากรูปที่ 5.15 จะแสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ลดลงเมื่อทำการเปลี่ยนให้เป็นคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ

ดังนั้นเห็นได้ว่าเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบระบายความร้อนโดยอากาศ ทั้งค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) รวมถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในระบบลดลงอีกด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหากทำการติดตั้งจะไม่มีผลกระทบใดๆต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง และไม่มีผลกระทบต่อความสามารถในการทำความเย็นมากนัก

ตารางที่ 5.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำในเครื่องปรับอากาศ ขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

Condenser	Pressure	อากาศภายนอก		ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(^{o}C)		CFM	h (Btu/lb)		4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	COP
	Water	T_{db}	T_{wb}	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/hr)	(kW)		
Air-Cooled	-	32.8	27.1	52.08	76.39	24.0	10.4	276.24	28.66	18.66	12410.46	1.27	1.23	2.86
Water-Spray	5	32.8	27.0	51.64	78.64	23.9	9.9	274.47	28.42	18.37	12402.78	1.08	1.04	3.37
Water Spray เปรียบเทียบกับ Air-Cooled				**-0.84%**	**+2.95%**	**-0.42%**	**-4.81%**	**-0.64%**	**-0.77%**	**-5.44%**	**-0.06%**	**-14.96%**	**-15.44%**	**+17.83%**

ตารางที่ 5.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่างๆระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำในเครื่องปรับอากาศ ขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr

Condenser	Pressure	อากาศภายนอก		ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(^{o}C)		CFM	h (Btu/lb)		4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	COP
	Water	T_{db}	T_{wb}	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/hr)	(kW)		
Air-Cooled	-	33.4	27.3	62.07	91.63	22.06	12.11	1466.97	28.47	21.66	44876.07	4.14	1.11	3.18
Water Spray	10	33.5	27.1	58.14	91.36	20.48	9.25	1390.07	26.06	18.85	45095.35	3.47	0.92	3.82
Water Spray เปรียบเทียบกับ Air-Cooled				**-6.33%**	**-0.29%**	**-7.16%**	**-23.61%**	**-5.24%**	**-8.47%**	**-12.97%**	**+0.49%**	**-16.18%**	**+17.12%**	**+20.13%**

***หมายเหตุ + แทนการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น, - การเปลี่ยนแปลงลดลง**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.20 แสดงการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาด 15,000 Btu/hr

จำนวนเครื่อง No	P_{save} (kW)	ชม.ทำงาน (hr/ปี)	ค่าไฟฟ้า (kWh/บาท)	ประหยัดได้ (บาท/ปี)	ค่าน้ำ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าปั๊ม (บาท/ปี)	ลงทุนครั้งแรก (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)	รวมรายจ่าย (บาท/ปี)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)	NPV (บาท)	IRR (%)
1	0.19	2,600	2.78	1,373.32	182.99	1,662.44	6,400.00	192.00	2,037.43	-664.11	-9.6	-9,527.87	หาค่าไม่ได้
2	0.38	2,600	2.78	2,746.64	365.98	1,662.44	7,200.00	216.00	2,244.42	502.22	14.3	-3,740.05	-6%
3	0.57	2,600	2.78	4,119.96	548.96	1,662.44	8,000.00	240.00	2,451.40	1,668.56	4.8	2,047.78	16%
4	0.76	2,600	2.78	5,493.28	731.95	1,662.44	8,800.00	264.00	2,658.39	2,834.89	3.1	7,835.60	30%
5	0.95	2,600	2.78	6,866.60	914.94	1,662.44	9,600.00	288.00	2,865.38	4,001.22	2.4	13,623.42	40%
6	1.14	2,600	2.78	8,239.92	1,097.93	1,662.44	10,400.00	312.00	3,072.37	5,167.55	2.0	19,411.25	49%
7	1.33	2,600	2.78	9,613.24	1,280.92	1,662.44	11,200.00	336.00	3,279.36	6,333.88	1.8	25,199.07	56%
8	1.52	2,600	2.78	10,986.56	1,463.90	1,662.44	12,000.00	360.00	3,486.34	7,500.22	1.6	41,568.71	62%
9	1.71	2,600	2.78	12,359.88	1,646.89	1,662.44	12,800.00	384.00	3,693.33	8,666.55	1.5	36,774.71	67%
10	1.9	2,600	2.78	13,733.20	1,829.88	1,662.44	13,600.00	408.00	3,900.32	9,832.88	1.4	42,562.54	72%
11	2.09	2,600	2.78	15,106.52	2,012.87	1,662.44	14,400.00	432.00	4,107.31	10,999.21	1.3	48,350.36	76%
12	2.28	2,600	2.78	16,479.84	2,195.86	1,662.44	15,200.00	456.00	4,314.30	12,165.54	1.2	54,138.18	80%
13	2.47	2,600	2.78	17,853.16	2,378.84	1,662.44	16,000.00	480.00	4,521.28	13,331.88	1.2	59,926.01	83%
14	2.66	2,600	2.78	19,226.48	2,561.83	1,662.44	16,800.00	504.00	4,728.27	14,498.21	1.2	65,713.83	86%
15	2.85	2,600	2.78	20,599.80	2,744.82	1,662.44	17,600.00	528.00	4,935.26	15,664.54	1.1	71,501.65	89%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5.21 แสดงการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาด 48,000 Btu/hr

จำนวนเครื่อง No	P_{save} (kW)	ชม.ทำงาน (hr/ปี)	ค่าไฟฟ้า (kWh/บาท)	ประหยัดได้ (บาท/ปี)	ค่าน้ำ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าปั๊ม (บาท/ปี)	ต้นทุน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)	รวมรายจ่าย (บาท/ปี)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)	NPV (บาท)	IRR (%)
1	0.67	2,600.00	2.78	4,842.76	466.75	1,662.44	7,200.00	216.00	2,345.19	2,497.57	2.88	7,405.89	33%
2	1.34	2,600.00	2.78	9,685.52	933.50	1,662.44	8,800.00	264.00	2,859.94	6,825.58	1.29	30,127.46	77%
3	2.01	2,600.00	2.78	14,528.28	1,400.26	1,662.44	10,400.00	312.00	3,374.70	11,153.58	0.93	52,849.04	107%
4	2.68	2,600.00	2.78	19,371.04	1,867.01	1,662.44	12,000.00	360.00	3,889.45	15,481.59	0.78	75,570.62	129%
5	3.35	2,600.00	2.78	24,213.80	2,333.76	1,662.44	13,600.00	408.00	4,404.20	19,809.60	0.69	98,292.20	146%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.2 วิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์สามารถวิเคราะห์ได้จากผลตอบแทนการลงทุน และผลการดำเนินโครงการนี้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเท่าไร ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน, มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV) และอัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) โดยเงื่อนไขรายละเอียดวิธีในการคำนวณแสดงไว้ในภาคผนวก ฉ

จากตารางที่ 5.20 แสดงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr โดยคำนวณตามเงื่อนไขเครื่องพ่นน้ำ 1 ชุดต่อเครื่องปรับอากาศ 1-15 เครื่อง

เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่าต้องทำการติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศจำนวน 6 เครื่องจึงจะคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีการลงทุนในการติดตั้งชุดพ่นน้ำในตอนแรก 10,400 บาท และจากการคำนวณอัตราคืนทุน สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 2 ปี และให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน (NPV) เท่ากับ 30,127.46 บาท ของอายุการใช้งานเครื่องปรับอากาสตลอดระยะเวลา 10 ปี และเมื่อคิดผลตอบแทนการลงทุน (IRR) จะได้เท่ากับ 49 % และถ้าหากต้องการคืนทุนเร็วและคุ้มค่ายิ่งขึ้น ต้องติดตั้งกับเครื่องปรับอากาศจำนวน 10- 15 เครื่อง

จากตารางที่ 5.21 แสดงการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr โดยคำนวณตามเงื่อนไขเครื่องพ่นน้ำ 1 ชุดต่อเครื่องปรับอากาศ 1-5 เครื่อง

เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่าต้องทำการติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศจำนวน 2 เครื่องจึงจะคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีการลงทุนในการติดตั้งชุดพ่นน้ำในตอนแรก 8,800 บาท และจากการคำนวณอัตราคืนทุน สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 1 ปี 3 เดือนและให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน (NPV) เท่ากับ 19,411.25 บาท ของอายุการใช้งานเครื่องปรับอากาสตลอดระยะเวลา 10 ปี และเมื่อคิดผลตอบแทนการลงทุน (IRR) จะได้เท่ากับ 77 % และถ้าหากต้องการคืนทุนเร็วและคุ้มค่ายิ่งขึ้น ต้องติดตั้งกับเครื่องปรับอากาศจำนวน 3-5 เครื่อง

ทั้งนี้หากทำการติดตั้ง 1 ชุดพ่นน้ำต่อเครื่องปรับอากาศ 1 เครื่องก็สามารถทำได้ แต่เพื่อความคุ้มค่าในการลงทุน และคืนทุนเร็ว ต้องทำการติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ รวมทั้งชั่วโมงการใช้งานที่สูง จึงจะคุ้มค่าในการลงทุนและการประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะระยะในการคืนทุนจะสั้น ก็จะทำให้คุ้มค่ายิ่งขึ้น

ดังนั้นเมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ในติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ หากเป็นเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเล็ก(ต่ำกว่า 15,000 Btu/hr) ต้องทำการติดตั้งกับหลายๆเครื่องจึงจะคุ้มค่ากับการลงทุน แต่ถ้าเป็นเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดการทำความเย็นสูงๆ (มากกว่า 48,000 Btu/hr) สามารถเครื่องเดียวติดตั้งกับเพียงเครื่องเดียวได้

นอกจากนี้หากเครื่องปรับอากาศมีชั่วโมงการทำงานสูง จะยิ่งความคุ้มค่าเมื่อทำการติดตั้งชุดพ่นน้ำ ก็จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าและคุ้มค่ากับการลงทุนยิ่งขึ้น โดยไม่กระทบต่อความสามารถในการทำความเย็น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศอีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ในการวิจัยนี้ได้นำหลักการของการระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ(Evaporative Cooling) มาใช้ แต่เพิ่มประสิทธิภาพของการระเหยโดยการใช้น้ำแรงดันสูงผ่านหัวฉีดเพื่อให้ได้หมอกน้ำที่มีขนาดเล็กเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Fog) ไปผสมกับอากาศก่อนเข้าชุดคอนเดนเซอร์และบางส่วนเข้าไปแลกเปลี่ยนโดยตรงกับแผงคอยล์ร้อน โดยเครื่องพ่นน้ำและหัวฉีดน้ำแรงดันสูงนี้สะดวกต่อการติดตั้ง โดยที่ไม่ต้องปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงชุดคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศทั่วไปเหมือนเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (Evaporative Condenser) ซึ่งทำการติดตั้งยุ่งยากและต้องดัดแปลงจากแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ นอกจากนี้ปริมาณน้ำที่ใช้มีปริมาณเล็กน้อยและจะระเหยไปกับสภาวะแวดล้อม ซึ่งมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่เกาะตัวที่ผิวคอยล์ร้อนจนกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ซึ่งพบว่ามีปริมาณน้ำที่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำไม่มากนัก และระเหยไปในที่สุด

การวิจัยนี้เริ่มด้วยการทดสอบสมมุติฐานของการวิจัยถึงความเป็นไปได้ของงานวิจัย จากนั้นได้ทำการสร้างอุปกรณ์การทดสอบ และศึกษาทดสอบสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำทั้งแบบทั่วไปและในห้องทดสอบมาตรฐานเครื่องปรับอากาศ (Calorimeter Room) และทำการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบระหว่างสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ โดยทำการทดสอบที่สภาวะอากาศภายนอกเดียวกัน

นอกจากนี้ยังยังพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ของการนำเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำมาใช้แทนเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1.ในการทดสอบที่ห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศมาตรฐาน (Calorimeter Room) เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำกับแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (เครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 12,000 Btu/hr) กรณีสภาวะอากาศเฉลี่ยทั่วไปที่ T_{db} = 32.5 °C,T_{wb} = 64.4 °C(%RH = 65) พบว่าในการระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ค่า

ความสามารถในการทำความเย็น (Q_T) เพิ่มขึ้นเท่ากับ 5.44 %, ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบทั้งหมด (W_T) ลดลงเท่ากับ 8.70 % ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) เพิ่มขึ้นเท่ากับ 15.53 %

ในขณะที่ความดันที่ด้านออกจากคอมเพรสเซอร์ (P_{dis}) ลดลงเท่ากับ 10.16 % และอุณหภูมิควบแน่นสารทำความเย็น (T_C) มีค่าลดลงเท่ากับ 9.87 % ความดันและอุณหภูมิควบแนของสารทำความเย็นที่ลดลงนี้ช่วยทำให้ยืดอายุการใช้งานของคอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศให้ยาวนานยิ่งขึ้น ดังนั้นเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานไฟฟ้ากว่าของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

2.ในการทดสอบกับเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในงานจริง สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำกับแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ พบว่าในการระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ มีค่าความสามารถในการทำความเย็น (Q_T) ลดลงเท่ากับ 0.06 %, ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบทั้งหมด (W_T) ลดลงเท่ากับ 14.96 % ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) เพิ่มขึ้นเท่ากับ 17.83%

สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำกับแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ พบว่าในการระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ มีค่าความสามารถในการทำความเย็น (Q_T) จะเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.49 %, ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบทั้งหมด (W_T) ลดลงเท่ากับ 16.18 % ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) เพิ่มขึ้นเท่ากับ 20.13%

3.สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะแห้งของสภาวะอากาศภายนอก ส่วนสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ จะขึ้นอยู่กับทั้งอุณหภูมิกระเปาะเปียกของสภาวะอากาศภายนอก แต่เนื่องจากเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำจะมีน้ำเข้ามาช่วยในการดึงความร้อน จากอากาศภายนอกทำให้อากาศมีอุณหภูมิลดต่ำลง จึงช่วยในการเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศและน้ำบางส่วนยังแลกเปลี่ยนความร้อนโดยตรงกับท่อคอยล์ร้อน ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ สามารถระบายความร้อนได้ดีกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

4.การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนเป็นแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ เป็นการช่วยเพิ่มสมรรถนะ, ประสิทธิภาพการทำงานและประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบ

ปรับอากาศได้ดีเนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ มีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับแบบระบายความร้อนแบบอื่นๆ

5. ในการปรับสมรรถนะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำให้มีประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศเพิ่มขึ้น (วัดจากขีดความสามารถในการทำความเย็น, ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ (COP)ที่เพิ่มขึ้น และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ป้อนให้กับระบบที่ลดลง) ทำได้โดยการปรับเพิ่มแรงดันน้ำที่ใช้ฉีดพ่นน้ำให้สูงขึ้น ทำให้สมรรถนะการทำงานของระบบดีขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงขนาดของเครื่องปรับอากาศที่ใช้และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ด้วย ดังนั้นจึงควรพิจารณาให้เหมาะสมกับการใช้งาน

6.เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ จากการติดตั้งระบบพ่นน้ำที่เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น15,000 Btu/hr เพื่อปรับปรุงให้เป็นเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ พบว่าเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ พบว่าจะคุ้มค่าต่อการลงทุนเมื่อทำการติดตั้งกับเครื่องปรับอากาศจำนวน 6 เครื่องต่อชุดพ่นน้ำ 1 ชุด โดยมีผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าคิดเป็นสามารถประหยัดเงินได้ 5,165.55 บาท/ปี มูลค่าการลงทุน 10,400 บาท จะสามารถคืนทุนในระยะเวลา 2 ปี โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 19,411.25 บาท มีอายุการใช้งาน 10 ปี และให้อัตราผลตอบแทนการลงทุน(IRR) มากกว่า 49 %

จากการติดตั้งระบบพ่นน้ำที่เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น48,000 Btu/hr เพื่อปรับปรุงให้เป็นเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ พบว่าเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่าต้องทำการติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศจำนวน 2 เครื่องจึงจะคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีการลงทุนในการติดตั้งชุดพ่นน้ำในตอนแรก 8,800 บาท และจากการคำนวณอัตราคืนทุน สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 1 ปี 3 เดือนและให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน (NPV) เท่ากับ 19,411.25 บาท ของอายุการใช้งานเครื่องปรับอากาสตลอดระยะเวลา 10 ปี และเมื่อคิดผลตอบแทนการลงทุน (IRR) จะได้เท่ากับ 77 % และถ้าหากต้องการคืนทุนเร็วและคุ้มค่ายิ่งขึ้น ต้องติดตั้งกับเครื่องปรับอากาศจำนวน 3-5 เครื่อง

นอกจากนี้หากเครื่องปรับอากาศมีชั่วโมงการทำงานสูง และเครื่องปรับอากาศที่ใช้เป็นเครื่องที่มีขนาดการทำความเย็นสูงๆ จะยิ่งความคุ้มค่าเมื่อทำการติดตั้งชุดพ่นน้ำ ซึ่งจะช่วยประหยัดกำลังไฟฟ้ามากขึ้นและหากติดตั้งหลายๆเครื่องก็จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าและคุ้มค่ากับการลงทุนยิ่งขึ้น โดยไม่กระทบต่อความสามารถในการทำความเย็น อีกทั้งยังช่วยเพิ่มสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศอีกด้วย

6.2 ปัญหา,อุปสรรคและข้อแนะนำในการทำวิจัย

1.จากการทำการทดสอบที่ห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศมาตรฐาน พบว่าจะใช้ระยะเวลาประมาณ 3-4 ชั่วโมง ในการเตรียมอุปกรณ์และเดินเครื่องควบคุมต่างๆ เพื่อปรับค่าต่างๆทั้งห้องควบคุมอากาศร้อนและเย็น ซึ่งเมื่อทำการเริ่มเดินเครื่องและอุปกรณ์ทดสอบต่างๆ ควรรับประทานอาหารให้เรียบร้อยและเตรียมเครื่องมือในการทดสอบก่อนล่วงหน้าเพื่อประหยัดเวลาในการทดสอบ และนอกจากนี้การทำการควบคุมสภาวะอากาศภายในห้องร้อนให้ได้ตามสภาวะที่กำหนดในการทดสอบ เป็นเรื่องที่ยากมาก จะต้องใช้ระยะเวลานานในกว่าระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุลตามที่กำหนด (ประมาณ 1-2 ชั่วโมง) ยิ่งหากทำการทดสอบที่สภาวะอากาศภายนอกมีความชื้นสูงๆ จะต้องใช้เวลานานในกรณีการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ดังนั้นจึงควรทำการทดสอบสภาวะที่มีความชื้นต่ำๆ ซึ่งจะทำให้ลดระยะเวลาในการทำการทดสอบและระบบสู่สมดุลได้เร็วขึ้น นอกจากนี้หลังการทดสอบแล้วควรทดสอบสภาวะมาตรฐานห้องทดสอบอีกครั้ง เพื่อตรวจสอบว่าแตกต่างจากค่าที่ทดสอบไปแล้วมากน้อยเพียงใด เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ

2. จากการทำการทดสอบที่ห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศมาตรฐาน ได้ทำการสร้างชุดสอบที่สามารถวัดคุณสมบัติต่างๆของสารทำความเย็นเพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบปรับอากาศจากสารทำความเย็น พบว่าค่าที่ได้สูงผิดปกติ โดยมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าที่ได้จากห้องทดสอบประมาณ 25 – 60 % ซึ่งอาจเป็นผลมาเนื่องจากความผิดพลาดจากการวัดเครื่องมือที่ใช้วัด เช่น เทอร์โมคัปเปิ้ลอาจจะไม่สัมผัสแนบกับผิวท่อ หรือชุดอ่านข้อมูลผิดพลาดโดยเฉพาะอุณหภูมิที่วัดได้หลังจากออกคอมเพรสเซอร์ พบว่าอุณหภูมิ 65- 67 $^{\circ}$C ซึ่งอาจต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งโดยปกติจะอยู่ที่ 75 -100 $^{\circ}$C แต่ทั้งนี้ได้ลองเช็คโดยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบผิวสัมผัสก็พบว่าวัดได้อยู่ที่ 65 – 67 $^{\circ}$C เช่นกัน ซึ่งเป็นไปได้ว่าตำแหน่งที่ติดเทอร์โมคัปเปิ้ลอาจติดที่ตำแหน่งที่ผิด หรืออาจเกิดจากสาเหตุอื่นๆ ดังนั้นในการทำการทดสอบ จึงควรเช็คและตรวจสอบอย่างละเอียดและทำการ Calibrate เครื่องมือวัดบ่อยๆหลังจากการทดสอบทุกกรณีการทดสอบ

3.ในการติดตั้งชุดเครื่องพ่นน้ำและหัวฉีดกับชุดคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อน กรณีที่ติดตั้งกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split type) มากกว่า 5 ตัวขึ้นไป (เครื่องพ่นน้ำ 1 ชุด หัวฉีด 1 หัวต่อชุดคอนเดนเซอร์ 1 ชุด) ควรเพิ่มแรงดันน้ำ โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันที่ก่อนถึงหัวฉีด เพื่อเช็คดูว่าแรงดันที่ปลายก่อนถึงหัวฉีดมีค่าเท่าใด เพื่อจะได้ปรับแรงดันน้ำที่เครื่องพ่นน้ำให้เหมาะสมกับปริมาณของชุดหัวฉีดที่ใช้ เพื่อให้หัวฉีดมีประสิทธิภาพตามที่ตั้งไว้

4.ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนจะเพิ่มขึ้น ถ้าหากอุณหภูมิของน้ำที่ใช้มีอุณหภูมิต่ำ ดังนั้นหากนำน้ำกลั่นตัวจากในห้องปรับอากาศมาใช้หรือมาเติมในถังน้ำป้อน จะช่วยลดอุณหภูมิของน้ำที่จะนำไปใช้ระบายความร้อน ซึ่งสามารถทำได้ในกรณีที่เป็นเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งอยู่ในที่สูง น้ำกลั่นตัวสามารถไหลลงมาตามท่อสู่ถังน้ำป้อนเอง เพื่อไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเมในส่วนนี้

5.ปริมาณน้ำและแรงดันที่ใช้ควรมีปริมาณที่เหมาะสมกับการใช้งาน เพื่อป้องกันการที่ปริมาณน้ำที่ใช้มากเกินไปจนระเหยไปไม่หมดทำให้ไปเกาะตัวที่แผงคอยล์ร้อนจนทำให้เกิดฟิล์มหนาของน้ำที่ท่ออลูมิเนียมซึ่งจะส่งผลให้เป็นฉนวน ทำให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงและมีผลต่อการตกค้างของน้ำทำให้เกิดตะไคร่น้ำเกาะอยู่ตามพื้น ซึ่งอาจแก้ปัญหาโดยการเติมสารป้องกันการเกิดตะไคร่น้ำ

6.เครื่องพ่นน้ำควรติดตั้งระบบควบคุมการทำงานด้วยเซนเซอร์ที่ตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศภายนอก และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ เมื่ออุณหภูมิของอากาศภายนอกต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ ให้หยุดการทำงานของชุดพ่นน้ำเพื่อประหยัดพลังงาน หรือเมื่อคอมเพรสเซอร์และพัดลมหยุดทำงาน ระบบพ่นน้ำจะหยุดทำงานตามโดยอัตโนมัติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. ญาณวุฒิ สุพิชญางกูร. การปรับปรุงเครื่องปับอากาศแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

2. เทียบ เอื้อกิจ. การศึกษาสมรรถนะของระบบปรับอากาศรถยนต์ซึ่งใช้สารทำความเย็นผสม R22/R152a/R124. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเก้าธนบุรี, 2539.

3. สมคิด ไชยรัตน์. การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้ความร้อนจากคอนเดนเซอร์ของเครื่องปรับอากาศเพื่อการประหยัดพลังงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

4. ธนะสิทธิ์ องค์ธนะสุข. สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

5. การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ, สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

6. สนอง อิ่มเอม. เครื่องทำความเย็นและและระบบปรับอากาศรถยนต์. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ อมรพริ้นติ้ง กรุ๊พ, 2530.

7. ศุภชัย ปัญญาวีร์. การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศ (1). ระบบปรับอากาศชุดที่ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด, พ.ศ. 2546.

8. ASHRAE Handbook & Product Directory. (1975 Equipment). American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.1995.

9. David E. Knebel. Evaporative Condensing Minimizes System Power Requirement. HPAC Heating, Piping, Air Conditioning 69 (Apr 1997) : 75-84.

10. AC2 Evaporative Condenser Monitoring Report: 1998 Cooling Season, Davis Energy Group Pacific Gas and Electric Company, 1998.

11. E.N. Sieder, and C.E. Tate, Heat Transfer and pressure drop of liquids in tubes. Ind. Eng. Chem., 28 : 1429, 1936.

12. Shower System Halves AC Running Costs, Environmental Process System Limited, RAC Magazine, (May 2001).

13. Frank P. Incropera, David P. Dewitt. Fundamental of Heat and Mass Transfer. 4th ed. NewYork : John Wiley & Sons, 1996.

14. Goswami, mathur , and Kulkami S.M. Experimental Investigation of Performance of a Residential Conditioning System with an Evaporatively Cooled Condenser. Journal of Solar Energy Engineering, Transactions of the ASME 115 (Nov 1993) : 206 – 211.

15. Handbook of Air Conditioning System Design. (n.p) : McGraw-Hill, 1965.

16. Karl A. Gardner, Efficiency of extended surface. ASME Transaction (1945) : 621-631.

17. McQuiston F.C., Parker J.D. Heating, Ventilating, and Air Conditioning Analysis and Design. 4th ed. : John Wiley & Sons, 1994.

18. R.L. Webb, Air-side heat transfer correlation for flat plate and wavy plate fin and tube geometries. ASHRAE TRANSECTION 2 (1990) : 445-449

19. Manohar Prasad., Hybrid Split Air-Conditioning System with Evaporative Condenser for Energy Conservation. Available from : www.icr2003.org.

20. Stoeker W.F., Jones J.W. Refrigeration & Air Conditioning. 2nd ed. Singapore : McGraw-Hill, 1982.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

มาตรฐานการทดสอบเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบแยกส่วน

ในการทดสอบจะดำเนินการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน มาตราฐานที่ มอก.1155-2536 ทั้งนี้ประกอบด้วย ห้องควบคุมอากาศเย็นหรือห้องวัดความร้อน และห้องควบคุมอากาศร้อน ประเภทและสภาวะการทดสอบ อุปกรณ์สำหรับวัดค่าต่างๆซึ่งอาจมีการปรับปรุงบางส่วนให้เหมาะสมแก่การทดสอบในงานวิจัยดังนี้ คือ

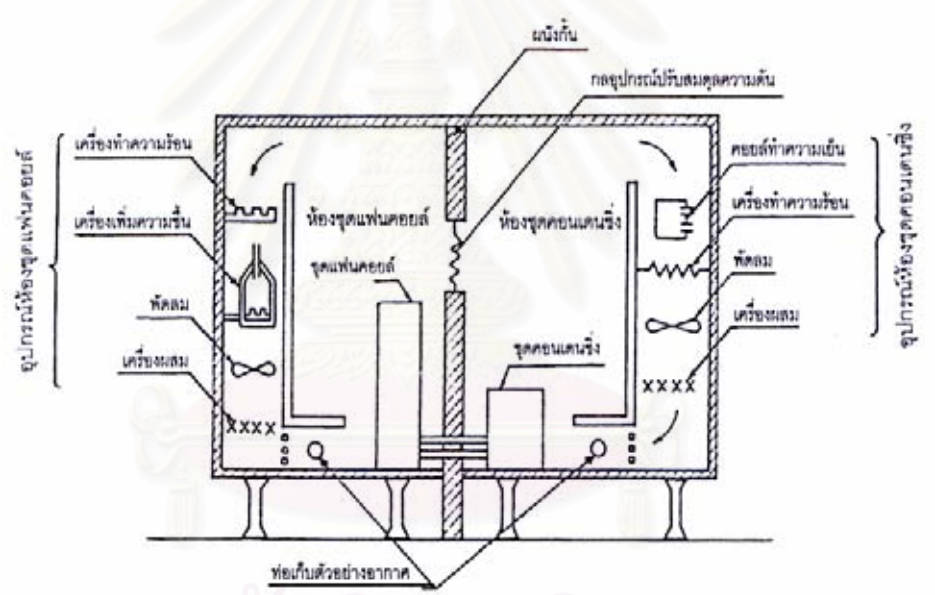
1. ห้องวัดความร้อนแบบสอบเทียบ(Calibrated room-type calorimeter)
   โดยมีลักษณะทั่วไปดังนี้
   1.1 ส่วนภายในห้องควบคุมอากาศเย็นและห้องควบคุมอากาศร้อน ต้องมีการบุผนังด้วยฉนวนกั้นกลางและโดยรอบห้อง ที่ผนังมีช่องสำหรับติดตั้งเครื่องปรับอากาศโดยใช้ที่ยึดและกรอบเช่นเดียวกับการติดตั้งเมื่อใช้งานตามปกติ และการติดตั้งนี้ต้องพยามอุดรอยรั่วผนังกั้นกลาง เพื่อป้องกันการรั่วไหลของอากาศจากห้องควบคุมอากาศร้อนไปสู่ห้องควบคุมอากาศเย็น
   1.2 ขนาดของห้องวัดความร้อน ต้องเพียงพอที่จะให้อากาศไหลเข้าและออกจากเครื่องปรับอากาศไม่ติดขัด และไม่ให้ความเร็วผิวหน้า (face velocity) มากกว่า 500 มิลลิเมตรต่อวินาที ต้องมีบริเวณทางด้านหน้าของตะแกรงที่ลมเข้าหรือออกจากเครื่องปรับอากาศถึงผนังห้อง หรือเพดานห้องไม่น้อยกว่า 1000 มิลลิเมตร ขนาดของห้องวัดความร้อนตามตารางที่ ก-1

ตารางที่ ก-1 แสดงขนาดของห้องวัดความร้อน

ขีดความสามารถทำความเย็นที่กำหนดสูงสุดของเครื่อง (วัตต์)	**ขนาดภายในของแต่ละส่วนของห้องวัดความร้อน**		
	ความกว้างต่ำสุด (มิลลิเมตร)	**ความสูงต่ำสุด (มิลลิเมตร)**	**ความลึกต่ำสุด (มิลลิเมตร)**
3000	2400	2100	1800
6000	2400	2100	2400
9000	2400	2400	3000
12000	3000	2400	3700

1.3 ในแต่ละส่วนของห้องวัดความร้อนต้องมีอุปกรณ์ปรับอากาศ เพื่อรักษาภาวะและการไหลของอากาศที่กำหนดให้คงที่ อุปกรณ์ปรับอากาศส่วนภายในห้องประกอบด้วยเครื่องทำความร้อนสำหรับให้ความร้อนสัมผัส และเครื่องความชื้นพลังงานที่ให้อาจเป็นพลังงานไฟฟ้า ไอน้ำหรืออย่างอื่นๆซึ่งสามารถควบคุมและวัดได้

1.4 ห้องวัดความร้อน ดังแสดงในรูปที่ ก-1 แต่ละด้านของห้องต้องบุด้วยฉนวนเพื่อป้องกันการรั่วไหลของความร้อน (รวมทั้งการแผ่รังสีความร้อน) ไม่มากกว่าร้อยละ 5 ของขีดความสามารถสุทธิของเครื่องปรับอากาศ และให้มีที่ว่างเพื่อให้อากาศหมุนเวียนได้สะดวกภายใต้พื้นของห้องวัดความร้อน



รูปที่ ก-1 แสดงห้องวัดความร้อนแบบสอบเทียบ

2. ประเภทและสภาวะการทดสอบ

2.1 เครื่องปรับอากาศแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ประเภท ก ข และ กข

2.1.1 เครื่องที่ผลิตสำหรับใช้ในภูมิอากาศ เช่นเดียวกับอุณหภูมิตามที่ระบุในตารางที่ ก-2 สดมภ์ที่ 2 เท่านั้นให้ระบุเป็นเครื่องประเภท ก

2.1.2 เครื่องที่ผลิตสำหรับใช้ในภูมิอากาศ เช่นเดียวกับอุณหภูมิตามที่ระบุในตารางที่ ก-2 สดมภ์ที่ 3 เท่านั้นให้ระบุเป็นเครื่องประเภท ข

2.1.3 เครื่องที่ผลิตสำหรับใช้ในภูมิอากาศ เช่นเดียวกับอุณหภูมิตามที่ระบุในตารางที่ ก-2 สดมภ์ที่ 2 และสดมภ์ที่ 3 ให้ระบุเป็นเครื่องประเภท กข

2.2 เครื่องปรับอากาศที่นำมาทดสอบเป็นประเภท ก หมายถึงเครื่องปรับอากาศที่ใช้กับอุณหภูมิอากาศที่มีอุณหภูมิสูงสุดภายนอกห้องปรับอากาศ 35 °C

ตารางที่ ก-2 แสดงภาวะที่ใช้ทดสอบเพื่อหาค่าขีดความสามารถการทำความเย็น

ภาวะที่ใช้ทดสอบ	ประเภท ก	ประเภท ข
อุณหภูมิอากาศภายในห้อง		
- กระเปาะแห้ง องศาเซลเซียส	27	29
- กระเปาะแห้ง องศาเซลเซียส	19	19
อุณหภูมิอากาศภายในห้อง		
- กระเปาะแห้ง องศาเซลเซียส	35	46
- กระเปาะแห้ง องศาเซลเซียส	24	24
ความถี่สำหรับการทดสอบ	ความถี่ที่กำหนด *	
แรงดันไฟฟ้าสำหรับการทดสอบ	แรงดันไฟฟ้าที่กำหนด **	

* เครื่องที่ระบุความถี่ที่กำหนดไว้ 2 ค่า ให้ทดสอบที่แต่ละความถี่

** เครื่องที่ระบุแรงดันที่กำหนดไว้ 2 ค่า ให้ทดสอบที่ค่าแรงดันสูงสุด

3. อุปกรณ์สำหรับวัด

ความเที่ยงตรงของอุปกรณ์สำหรับวัด ต้องอยู่เกณฑ์ที่กำหนด ดังนี้

3.1 อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ

3.1.1 $\pm$0.05 องศาเซลเซียส เมื่อใช้วัดอุณหภูมิของอากาศในส่วนภายในห้องวัดความร้อน ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะเปียก และกระเปาะแห้ง

3.1.2 $\pm$0.05 องศาเซลเซียส เมื่อใช้วัดอุณหภูมิของน้ำ ขดท่อปรับภาวะอากาศในส่วนนอกห้องวัดความร้อน

3.1.3 $\pm$0.03 องศาเซลเซียส เมื่อใช้วัดอุณหภูมิอื่นๆทั้งหมด

3.1.4 ขีดแบ่งที่เล็กที่สุดของอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิต้องไม่มากกว่า 2 เท่า ของความเที่ยงตรงที่กำหนด

3.1.5 ตำแหน่งใดที่กำหนดความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ สำหรับวัดอุณหภูมิ ±0.05 องศาเซลเซียส อุปกรณ์นั้นต้องได้รับการสอบเทียบกับอุปกรณ์มาตรฐานจากสถาบันที่เชื่อถือได้

3.1.6. ในการวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกทุกครั้ง ต้องให้กระเปาะเปียกพอเพียงและต้องให้เวลานานพอให้การระเหยถึงจุดสมดุลสำหรับเทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอท กระเปาะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่มากกว่า 6.5 มิลลิเมตร และการอ่านค่า ทำเมื่อความเร็วของอากาศไม่น้อยกว่า 3000 มิลิเมตรต่อวินาที

3.1.7 อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิที่ใช้วัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิให้สามารถสับเปลี่ยนกันได้สะดวก ระหว่างตำแหน่งทางเข้ากับตำแหน่งทางออกทั้งนี้เพื่อจะเพิ่มความเที่ยงตรงขึ้น

3.2. อุปกรณ์สำหรับวัดความดัน

3.2.1 อุปกรณ์วัดความดัน ต้องอ่านได้ละเอียด ± 1 Pa (±0.1 มิลลิเมตรน้ำ) และขีดแบ่งที่เล็กที่สุดของอุปกรณ์สำหรับวัดความดันต้องไม่มากกว่า 2 เท่าของความเที่ยงตรงที่กำหนด

3.2.2 ให้ใช้บาโรมิเตอร์ ซึ่งอ่านได้ละเอียดถึงร้อยละ ±0.1 สำหรับวัดความดันบรรยากาศ (Barometric Pressure)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การคำนวณ

ข-1. การคำนวณข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศทั่วไป

จากข้อมูลที่ได้ในจากการตรวจวัดเครื่องปรับอากาศทั่วไปสามารถนำมาคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ตามลำดับดังนี้

จากข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr

ที่ทางด้านจ่ายลมเย็น

- ความอุณหภูมิลมจ่าย (T_{db}) 12.11 $^{\circ}$C
- ความชื้นสัมพัทธ์(%RH) 91.63 %

จากโปรแกรม (การคำนวณหาเอนทัลปีของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน) สามารถคำนวณ หาค่าเอนทัลปีที่ด้านจ่ายลมเย็น h_{Supply} = 21.66 Btu/lb

ที่ทางด้านลมกลับ

- ความอุณหภูมิลมกลับ (T_{db}) 22.06 $^{\circ}$C
- ความชื้นสัมพัทธ์(%RH) 62.07 %

จากโปรแกรม (การคำนวณหาเอนทัลปีของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน) สามารถคำนวณ หาค่าเอนทัลปีที่ด้านจ่ายลมเย็น h_{Return} = 28.47 Btu/lb

โดยมีพื้นที่จ่ายลมเย็น 1,250 cm^2 และความเร็วลมจ่ายเท่ากับ 8.30 m/s

ปริมาตรอากาศที่ใช้ในการทำความเย็น (CFM)

CFM = 0.142 x พื้นที่จ่ายลมเย็น x ความเร็วลมจ่าย

ft^3/min

= 0.142 x 1,250 x 8.30

= 1,466.97 ft^3/min

โดยที่ 0.142 = ค่า Derivation ของการแปลงหน่วย

ขีดความสามารถในการทำความเย็น (Q_t)

$$Q_t = 4.5 \times CFM \times (h_{Return} - h_{Supply}) \quad \text{Btu/hr}$$

$$= 4.5 \times 1{,}466.97 \times (28.47 - 21.66)$$

$$= 44{,}955.61 \quad \text{Btu/hr}$$

โดยที่ 4.5 = ค่า Derivation ของการแปลงหน่วย

โดยที่เปลี่ยน Q_t จาก Btu/hr เป็น kW

$$Q_t = \frac{44{,}955.61 \times 3.52}{12{,}000} \quad \text{kW}$$

โดยที่ค่า 3.52 = ค่า Derivation ของการแปลงหน่วย

ค่าอัตราส่วนประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบ (COP)

จากสมการ $$COP = \frac{Q_t}{W_{Total}}$$

$$COP = \frac{13.17}{4.14}$$

$$= 3.18$$

ข-2. การคำนวณข้อมูลที่ได้จากห้องทดสอบมาตรฐาน

จากข้อมูลที่ได้ในการทดสอบสามารถนำมาคำนวณหาค่าต่างๆ ได้ตามลำดับดังนี้

1. คำนวณหาความสามารถในการทำความเย็น

ในการคำนวณหาความสามารถในการทำความเย็นสามารถคำนวณได้ 2 แนวทางคือ

1.1 คำนวณจากค่าพลังงานต่างๆที่วัดได้จากห้องควบคุมอากาศเย็นของห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ(Calorimeter room) โดยใช้วิธีวัดความร้อนในห้องโดยตรงดังสมการ

$$Q_t = \sum E_r + (h_{W1} - h_{W2})W_r + Q_p + Q_r \qquad [ข\text{-}1]$$

เมื่อ Q_t = ความสามารถทำความเย็นภายในห้องปรับอากาศ, W

$\sum E_r$ = ผลรวมของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดจากฮีตเตอร์อากาศที่ใช้ในห้องปรับอากาศ

h_{w1} = เอนทาลปีของน้ำหรือของไอน้ำขาเข้าห้องซึ่งใช้ในการเพิ่มความชื้น, J/kg

h_{w2} = เอนทาลปีของน้ำควบแน่นที่ไหลออกจากห้อง, J/kg

W_r = อัตราน้ำที่ควบแน่นที่เครื่องส่งลมเย็น, Kg/s

Q_p = อัตราความร้อนที่รั่วไหลสู่ห้อง โดยผ่านผนังกั้นห้องระหว่างห้องควบอากาศร้อนกับห้องควบคุมอากาศเย็น, W

Q_r = อัตราความร้อนที่รั่วไหลเข้าสู่ห้อง โดยผ่านพื้นผนังและเพดาน , W

1.2 คำนวณจากการวิเคราะห์คุณสมบัติสารทำความเย็น R-22 ตามทฤษฎีวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ โดยความสามารถกรทำความเย็น (QE) คำนวนมาจากค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็น R-22 ที่เปลี่ยนแปลงในระบบ ตามสมการ

$$Q_E = \dot{m}_r(h_1-h_4) \quad [3.4]$$

เมื่อ $\dot{m}_r$ = อัตราการไหลของสารทำความเย็น, kg/s

สำหรับการหาค่าเอนทัลปีจะใช้สมการสำหรับหาค่าเอนทัลปีของสารทำความเย็น R-22 ตามเทียบ เอื้อกิจ[2] เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดจากการอ่านค่าโดยตรงจากตารางคุณสมบัติของสารทำความเย็น ซึ่งเราจะแบ่งออกเป็น 3 สถานะตามกระบวนการทำความเย็นแบบอัดไอ ดังนี้

เอนทาลปีของ R-22 ก่อนเข้าคอมเพรสเซอร์ (h_1) , kJ/kg [State 1]

$$h_1 = 443.24397 - 6.0866 \ln P_1 + 0.70432t_1 + 0.00037t^2_1 \quad [ข-2]$$

โดยที่ $-10 \leq t_1 \leq 40\ ^\circ C$

$350 \leq t_1 \leq 550$ kPa (abs)

เอนทัลปีของ R-22 ออกจากคอมเพรสเซอร์เข้าสู่คอนเดนเซอร์ (h_2) , kJ/kg [State 2]

$$h_2 = 435.68938 - 3.93376 \ln P_2 + 0.68643t_1 + 0.00019t^2_1 \quad [ข-3]$$

โดยที่ $-40 \leq t_2 \leq 120\ ^{\circ}C$

$1,400 \leq t_2 \leq 2,200$ kPa (abs)

เอนทัลปีของ R-22 ออกจากคอนเดนเซอร์ (h_3) , kJ/kg [State 3]

$$h_3 = 0.00003t^3_3 - 0.0002t^2_3 + 1.2195t_3 + 199.55$$

[ข-4]

โดยที่ $-20 \leq t_3 \leq 60\ ^{\circ}C$

เอนทัลปีของ R-22 ก่อนเข้าเครื่องทำระเหย (h4) , kJ/kg [State 4]

$$h_4 = h_3$$

[ข-5]

2. คำนวณหาความสามารถในการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ (Q_C) , kW

จากสมการ $Q_C = \dot{m}_r(h_2 - h_3)$

[3.2]

โดยค่า h_2 และ h_3 สามารถหาได้จากสมการ [ข-3] , [ข-4]

3. ค่าอัตราส่วนประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบ (COP) (จากข้อมูลห้องทดสอบที่วัดโดยตรง)

จากสมการ $$COP = \frac{Q_t}{W_{Total}}$$

เมื่อ Q_t = ความสามารถทำความเย็นในห้องปรับอากาศที่วัดโดยตรง

W_{Total} = พลังงานรวมทั้งหมดที่ป้อนให้ระบบปรับอากาศ

4. คำนวณหาสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบ (COP) คำนวณจากข้อมูลที่ได้จากสารทำความเย็น

จากสมการ

$$COP = \frac{Q_E}{W_C} = \frac{\dot{m}_r(h_1 - h_4)}{\dot{m}_r(h_2 - h_1)}$$

เมื่อ Q_E = ความสามารถทำเย็นภายในห้องปรับอากาศ , kW

W_C = งานที่ป้อนให้กับเครื่องอัดไอ,kW

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการคำนวณ

ข-2.1 การคำนวณค่าต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระเหยความร้อนด้วยอากาศ ณ สภาวะการทดลองกรณีที่ 2 เมื่อกำหนดให้สภาวะอากาศภายในห้องมี T_{DB} = 35 °C, T_{WB} = 28.2 °C (60 % RH) และปริมาณน้ำยา R-22 เป็น 1.32 kg ดังตารางที่ จ-3 และ จ-14 แล้วนำผลมาคำนวณ หาค่าสมรรถนะต่างๆของระบบปรับอากาศได้ดังนี้

การคำนวณค่าอัตราส่วนประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบ (COP) (จากข้อมูลห้องทดสอบที่วัดโดยตรง)

จากสมการ $$COP = \frac{Q_t}{W_{Total}}$$

เมื่อ Q_t = ความสามารถทำความเย็นในห้องปรับอากาศที่วัดโดยตรง

W_{Total} = พลังงานรวมทั้งหมดที่ป้อนให้ระบบปรับอากาศ

ซึ่ง Q_t สามารถหาได้จากสมการ ข-1 ดังนี้

Q_t = กำลังไฟฟ้าฮีตเตอร์อากาศ + กำลังไฟฟ้าฮีตเตอร์น้ำ + ความร้อนรั่วไหลเข้าห้องสุทธิ

= 550 + 1,150 + 1,250

= 2,950 W

W_{Total} = 1,225 W

ดังนั้น $$COP = \frac{2,950}{1,225}$$

$$= 2.41$$

ส่วนค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) คำนวณได้จาก

จากสมการ $$EER = \frac{Q_t}{W_{Total}} \times 3.412 \quad \frac{Btu/hr}{Watt}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$= \frac{2,950}{1,225} \text{ x } 3.412$$

ดังนั้น $$= 8.21 \quad \frac{\text{Btu / hr}}{\text{Watt}}$$

การคำนวณค่าอัตราส่วนประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบ (COP) (จากข้อมูลที่วัดได้จากสารทำความเย็น)

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระเหยความร้อนด้วยอากาศ ณ สภาวะการทดลองกรณีที่ 2 เมื่อกำหนดให้สภาวะอากาศภายในห้องมี T_{DB} = 35 °C, T_{WB} = 28.2 °C (60 % RH) และปริมาณน้ำยา R-22 เป็น 1.32 kg ดังตารางที่ จ-3 และ จ-14 แล้วนำผลมาคำนวณ หาค่าสมรรถนะต่างๆของระบบปรับอากาศได้ดังนี้

ที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ (จุด 1)

- ความดัน (P_1) 586.79 kPa(abs)
- อุณหภูมิ(T_1) 9.6 °C

จากสมการที่ ข-2 สามารถคำนวณหาค่าเอนทัลปีที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ h_1 = 411.193 kJ/kg

ที่ทางออกคอมเพรสเซอร์ (จุด 2)

- ความดัน (P_2) 1943.84 kPa(abs)
- อุณหภูมิ(T_2) 68.0 °C

จากสมการที่ ข-3 สามารถคำนวณหาค่าเอนทัลปีที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ h_2 = 453.430 kJ/kg

ที่ทางออกคอมเพรสเซอร์ (จุด 3)

- ความดัน (P_3) 1898.77 kPa(abs)
- อุณหภูมิ(T_3) 43.3 °C

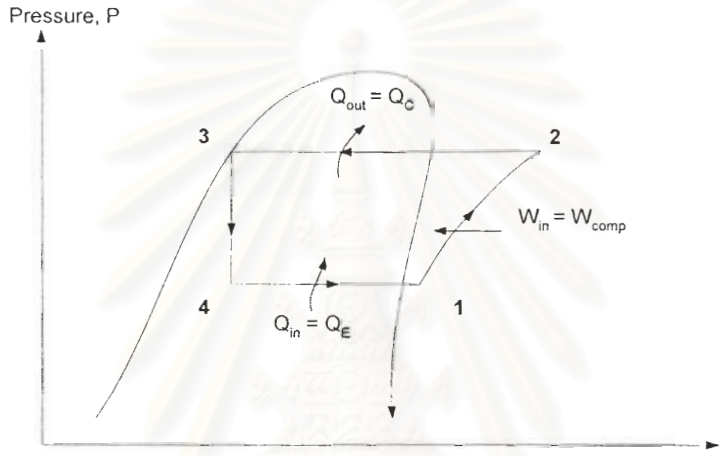
จากสมการที่ ข-4 สามารถคำนวณหาค่าเอนทัลปีที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ h_2 = 254.996 kJ/kg

ที่ทางออกคอมเพรสเซอร์ (จุด 4)

จากสมการที่ ข-5 สมารถคำนวณหาค่าเอนทัลปีที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ $h_2 = 254.996$ kJ/kg

อัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็น R-22 = 0.0207 kg/s

เมื่อนำข้อมูลต่างๆ มาวิเคราะห์ตามวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอของเครื่องปรับอากาศ ได้ผลการคำนวณดังนี้



รูป ข-1 แสดงแผนภาพ P-h ของวัฏจักรการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

ความสามารถในการทำความเย็นต่อหน่วยมวล R-22 $q_E = h_1 - h_4$

$= 411.193 - 254.996$

$= 156.197$ kJ/kg

ความสามารถในการทำความเย็น $Q_E = \dot{m}_r(h_1 - h_4)$

$= 0.0207 \times 156.197$

$= 3.239$ kW

งานที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์ต่อหน่วยมวล R-22 $w_C = h_2 - h_1$

$= 453.430 - 411.193$

$= 42.237$ kJ/kg

ความสามารถในการทำความเย็น $W_C = \dot{m}_r(h_2 - h_1)$

$= 0.0207 \times 42.237$

$= 0.874$ kW

ความสามารถในการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ต่อหน่อยมวล R-22

$q_E = h_2 - h_3$

$= 453.430 - 254.996$

$= 156.197$ kJ/kg

ความสามารถในการระบายความร้อน $Q_C = \dot{m}_r(h_2 - h_3)$

$= 0.0207 \times 198.434$

$= 4.108$ kW

ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบ (COP)

จากสมการ $$COP = \frac{Q_E}{W_C} = \frac{\dot{m}_r(h_1 - h_4)}{\dot{m}_r(h_2 - h_1)}$$

$$= \frac{(411.193 - 254.996)}{(453.996 - 411.193)}$$

$$= 3.649$$

โดยค่า COP ที่ได้มาจากการคำนวณจากข้อมูลของสารทำความเย็นที่วัดมาได้ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่คำนวณได้ในห้องทดสอบโดยตรง

ข-2.2 การคำนวณค่าต่างๆของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ ณ สภาวะการทดสอบที่กรณีที่ 7 เมื่อกำหนดให้สภาวะอากาศภายนอกห้องมี $T_{DB} = 35\ ^{\circ}C$, $T_{WB} = 28.2\ ^{\circ}C$ (60 % RH) และปริมาณน้ำยา R-22 เป็น 1.32 kg ดังตารางที่ จ-8 และ จ-18 แล้วนำผลมาคำนวณหาค่าสมรรถนะต่างๆของระบบปรับอากาศได้ดังนี้

การคำนวณค่าอัตราส่วนประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบ (COP) (จากข้อมูลห้องทดสอบที่วัดโดยตรง)

จากสมการ $$COP = \frac{Q_t}{W_{Total}}$$

เมื่อ Q_t = ความสามารถทำความเย็นในห้องปรับอากาศที่วัดโดยตรง

W_{Total} = พลังงานรวมทั้งหมดที่ป้อนให้ระบบปรับอากาศ

ซึ่ง Q_t สามารถหาได้จากสมการ ข-1 ดังนี้

Q_t = กำลังไฟฟ้าฮีตเตอร์อากาศ + กำลังไฟฟ้าฮตเตอร์น้ำ + ความร้อนรั่วไหลเข้าห้องสุทธิ

= 525 + 1,275 + 1,250

= 3,050 W

W_{Total} = 1,125 W

ดังนั้น $COP = \frac{3,050}{1,125}$

$= 2.71$

ส่วนค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) คำนวณได้จาก

จากสมการ $EER = \frac{Q_t}{W_{Total}} \times 3.412 \quad \frac{Btu/hr}{Watt}$

$= \frac{3,050}{1,125} \times 3.412$

ดังนั้น $= 9.25 \quad \frac{Btu/hr}{Watt}$

การคำนวณค่าอัตราส่วนประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบ (COP) (จากข้อมูลที่วัดได้จากสารทำความเย็น)

จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ ณ สภาวะการทดสอบที่กรณีที่ 7 เมื่อกำหนดให้สภาวะอากาศภายนอกห้องมี $T_{DB} = 35\ ^{\circ}C$, $T_{WB} = 28.2\ ^{\circ}C$ (60 % RH) และปริมาณน้ำยา R-22 เป็น 1.32 kg ดังตารางที่ จ-8 และ จ-18 แล้วนำผลมาคำนวณหาค่าสมรรถนะต่างๆของระบบปรับอากาศได้ดังนี้

ที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ (จุด 1)

- ความดัน (P_1) 555.72 kPa(abs)
- อุณหภูมิ(T_1) 7.9 $^{\circ}C$

จากสมการที่ ข-2 สมารถคำนวณหาค่าเอนทาลปีที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ $h_1 = 410.289$ kJ/kg

ที่ทางออกคอมเพรสเซอร์ (จุด 2)

- ความดัน (P_2) 1,688.80 kPa(abs)
- อุณหภูมิ(T_2) 66.5 °C

จากสมการที่ ข-3 สมารถคำนวณหาค่าเอนทาลปีที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ h_2 = 452.921 kJ/kg

ที่ทางออกคอมเพรสเซอร์ (จุด 3)

- ความดัน (P_3) 1,622.53 kPa(abs)
- อุณหภูมิ(T_3) 35.9 °C

จากสมการที่ ข-4 สมารถคำนวณหาค่าเอนทาลปีที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ h_2 = 244.430 kJ/kg

ที่ทางออกคอมเพรสเซอร์ (จุด 4)

จากสมการที่ ข-5 สมารถคำนวณหาค่าเอนทาลปีที่ทางเข้าคอมเพรสเซอร์ h_2 = 244.430 kJ/kg

อัตราการไหลโดยมวลของสารทำความเย็น R-22 = 0.0202 kg/s

เมื่อนำข้อมูลต่างๆ มาวิเคราะห์ตามวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอของเครื่องปรับอากาศได้ผลการคำนวณดังนี้

ความสามารถในการทำความเย็นต่อหน่วยมวล R-22 $q_E = h_1 - h_4$

$= 410.289 - 244.430$

$= 165.059$ kJ/kg

ความสามารถในการทำความเย็น $Q_E = \dot{m}_r(h_1 - h_4)$

$= 0.0202 \times 165.059$

$= 3.353$ kW

งานที่ป้อนให้คอมเพรสเซอร์ $w_c = (h_2 - h_1)$

$= 42.632$

$= 41.87$ kJ/kg

ความสามารถในการทำความเย็น $W_C = \dot{m}_r(h_2 - h_1)$

$= 0.0202 \times 42.632$

$= 0.861$ kW

ความสามารถในการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ต่อหน่อยมวล R-22

$q_E = h_2 - h_3$

$= 452.921 - 244.430$

$= 208.491$ kJ/kg

ความสามารถในการระบายความร้อน $Q_C = \dot{m}_r(h_2 - h_3)$

$= 0.0202 \times 208.491$

$= 4.215$ kW

ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะของระบบ (COP) (จากข้อมูลที่ได้มาจากสารทำความเย็น)

จากสมการ $$COP = \frac{Q_E}{W_C} = \frac{\dot{m}_r(h_1 - h_4)}{\dot{m}_r(h_2 - h_1)}$$

$$= \frac{(410.289 - 244.430)}{(452.921 - 410.289)}$$

$= 3.890$

โดยค่า COP ที่ได้มาจากการคำนวณจากข้อมูลของสารทำความเย็นที่วัดมาได้ซึ่งมีค่าสูงกว่าที่คำนวณได้ในห้องทดสอบโดยตรง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดสอบเบื้องต้น(Pre Test)

ทดสอบที่อุณหภูมิอากาศภายนอก T_{abient} = 34.6 °C , T_{wb}= 27.4 °C (%RH = 58.7%)

ทดสอบกับเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ Mitsubishi ขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลผลการทดสอบเบื้องต้น

การทดสอบ แบบ	เวลา (Time)	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (Volt)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (p.f.)
Air cooled	13.00	6.01	226.00	1.32	0.97
	13.05	5.98	226.00	1.32	0.98
	13.10	5.91	226.00	1.31	0.98
	13.15	5.93	226.00	1.31	0.98
	13.20	5.97	226.00	1.32	0.98
	13.25	5.92	226.00	1.31	0.98
	13.30	5.90	226.00	1.31	0.98
	13.35	5.87	226.00	1.30	0.98
	13.40	5.92	226.00	1.31	0.98
	13.45	5.91	226.00	1.31	0.98
	13.50	5.93	226.00	1.31	0.98
	13.55	5.90	226.00	1.31	0.98
Spray	14.00	5.14	228.00	1.14	0.97
	14.05	5.38	228.00	1.19	0.97
	14.10	5.70	228.00	1.26	0.97
	14.15	5.93	226.00	1.31	0.98
Spray	14.20	5.11	228.00	1.13	0.97
	14.25	5.24	228.00	1.16	0.97
	14.30	5.73	228.00	1.27	0.97
	14.35	5.90	227.00	1.31	0.98

การทดสอบ แบบ	เวลา (Time)	กระแสไฟฟ้า (A)	แรงดันไฟฟ้า (Volt)	กำลังไฟฟ้า (kW)	ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (p.f.)
Spray	14.40	5.09	228.00	1.13	0.97
	14.45	5.44	228.00	1.20	0.97
	14.50	5.72	228.00	1.27	0.97
	14.55	5.93	228.00	1.31	0.97
Spray	15.00	5.18	228.00	1.15	0.97
	15.05	5.38	228.00	1.19	0.97
	15.10	5.87	228.00	1.30	0.97
	15.15	5.92	228.00	1.31	0.97
Spray	15.20	5.11	228.00	1.13	0.97
	15.25	5.24	228.00	1.16	0.97
	15.30	5.73	228.00	1.27	0.97
	15.35	5.91	227.00	1.31	0.98
Spray	15.40	5.09	228.00	1.13	0.97
	15.45	5.44	228.00	1.20	0.97
	15.50	5.72	228.00	1.27	0.97
	15.55	5.90	227.00	1.30	0.97
จบการทดสอบ	16.00	5.93	227.00	1.32	0.98

หมายเหตุ ข้อมูลที่ได้มาจากเครื่องมือวัด Digital Power meter ยี่ห้อ Chauvin Arnoux รุ่น 8210

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศในการใช้งานจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 1

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = - bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.3 °C ,T_{wb} = 27.0 °C (%RH = 61.9) m_W = - kg/hr or - l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW).				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	49.20	73.20	24.00	10.30	4.00	500	284	28.06	18.28	9.77	12,488	1.26	1.21	3.66	2.91	9.91
		10	51.10	77.00	23.90	10.10	3.80	500	270	28.34	18.43	9.91	12,029	1.26	1.26	3.53	2.80	9.55
		15	52.30	75.60	24.10	10.30	3.70	500	263	28.81	18.49	10.32	12,196	1.26	1.24	3.58	2.84	9.68
		20	50.70	76.40	23.80	10.10	3.70	500	263	28.15	18.38	9.77	11,549	1.26	1.31	3.39	2.69	9.17
		25	52.60	74.30	24.30	10.70	3.80	500	270	29.09	18.72	10.37	12,584	1.25	1.19	3.69	2.95	10.07
		30	51.50	72.80	23.90	10.50	3.80	500	270	28.43	18.42	10.00	12,144	1.26	1.25	3.56	2.83	9.64
		35	55.30	75.30	24.30	10.60	3.50	500	248	29.66	18.72	10.94	12,227	1.25	1.23	3.59	2.87	9.78
		40	50.80	75.70	24.20	10.30	3.90	500	277	28.60	18.50	10.11	12,590	1.25	1.19	3.69	2.95	10.07
		45	53.20	77.30	24.00	10.20	3.80	500	270	28.88	18.54	10.34	12,550	1.26	1.20	3.68	2.92	9.96
		50	54.40	76.10	24.00	10.40	3.50	500	248	29.13	18.62	10.52	11,756	1.25	1.28	3.45	2.76	9.40
		55	50.20	78.20	24.20	10.10	3.70	500	263	28.48	18.53	9.94	11,753	1.26	1.29	3.45	2.74	9.33
		60	51.50	74.90	24.10	10.30	3.80	500	270	28.64	18.43	10.21	12,396	1.25	1.21	3.64	2.91	9.92
Mean			**51.90**	**75.57**	**24.07**	**10.33**	**3.75**	**500.00**	**266.18**	**500.00**	**18.51**	**10.18**	**12,188.54**	**1.26**	**1.24**	**3.58**	**2.85**	**9.71**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-2 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 1

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = 5 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.4 °C, T_{wb} = 27.4 °C (%RH = 62.9) m_W = 8.11 kg/hr or 0.135 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW).				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	55.30	80.30	24.00	9.90	3.70	500	263	29.32	18.53	10.79	12,749	1.07	1.01	3.74	3.50	11.91
		10	53.40	78.50	23.70	9.80	3.80	500	270	28.60	18.30	10.30	12,502	1.09	1.05	3.67	3.36	11.47
		15	53.20	78.60	23.90	9.70	3.80	500	270	28.77	18.22	10.56	12,814	1.07	1.00	3.76	3.51	11.98
		20	51.50	80.20	23.70	9.80	4.00	500	284	28.21	18.44	9.77	12,489	1.09	1.05	3.66	3.36	11.46
		25	52.40	81.30	23.70	9.90	3.90	500	277	28.39	18.61	9.78	12,182	1.08	1.06	3.57	3.31	11.28
		30	55.40	80.40	23.80	10.10	3.80	500	270	29.11	18.72	10.40	12,620	1.08	1.03	3.70	3.43	11.69
		35	52.70	79.50	23.70	9.80	3.90	500	277	28.45	18.38	10.08	12,552	1.09	1.04	3.68	3.38	11.52
		40	53.40	79.60	23.90	10.00	3.90	500	277	28.82	18.56	10.25	12,773	1.09	1.02	3.75	3.44	11.72
		45	56.30	82.10	23.80	10.20	3.70	500	263	29.30	18.95	10.35	12,231	1.08	1.06	3.59	3.32	11.33
		50	54.80	80.30	23.70	9.90	3.90	500	277	28.88	18.53	10.35	12,892	1.08	1.01	3.78	3.50	11.94
		55	52.70	78.60	23.60	9.90	4.00	500	284	28.35	18.39	9.95	12,719	1.07	1.01	3.73	3.49	11.89
		60	54.50	81.60	23.70	10.10	3.80	500	270	28.82	18.82	10.00	12,140	1.08	1.07	3.56	3.30	11.24
Mean			**53.80**	**80.08**	**23.77**	**9.93**	**3.85**	**500.00**	**273.28**	**500.00**	**18.54**	**10.21**	**12,555.37**	**1.08**	**1.03**	**3.68**	**3.41**	**11.62**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-3 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 1

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = 10 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.5 °C, T_{wb} = 27.2 °C (%RH = 61.2) m_W = 11.10 kg/hr or 0.185 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW).				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	51.20	77.80	23.90	9.90	3.90	500	277	28.36	18.33	10.04	12,505	1.09	1.05	3.67	3.37	11.47
		10	50.30	75.60	23.90	10.00	3.90	500	277	28.18	18.23	9.95	12,394	1.09	1.06	3.64	3.34	11.37
		15	53.10	76.40	24.10	9.90	3.70	500	263	28.97	18.21	10.76	12,722	1.08	1.02	3.73	3.46	11.78
		20	54.80	81.30	23.80	10.10	3.90	500	277	28.99	18.79	10.20	12,706	1.09	1.03	3.73	3.42	11.66
		25	52.00	78.80	23.80	9.80	4.00	500	284	28.42	18.32	10.10	12,903	1.09	1.01	3.78	3.47	11.84
		30	54.50	80.30	23.60	9.80	3.80	500	270	28.71	18.44	10.27	12,460	1.08	1.04	3.65	3.38	11.54
		35	50.80	75.40	23.80	9.90	3.90	500	277	28.17	18.13	10.05	12,517	1.08	1.04	3.67	3.40	11.59
		40	49.80	73.50	23.80	9.90	3.80	500	270	27.97	17.97	10.00	12,139	1.08	1.07	3.56	3.30	11.24
		45	51.70	76.30	23.90	10.00	3.70	500	263	28.47	18.29	10.18	12,030	1.07	1.07	3.53	3.30	11.24
		50	55.30	81.80	23.70	9.90	3.90	500	277	28.98	18.66	10.33	12,864	1.07	1.00	3.77	3.53	12.02
		55	52.70	78.00	23.90	9.90	3.70	500	263	28.67	18.34	10.33	12,208	1.07	1.05	3.58	3.35	11.41
		60	53.20	74.30	23.70	10.10	3.80	500	270	28.56	18.21	10.35	12,562	1.08	1.03	3.68	3.41	11.63
Mean			**52.45**	**77.46**	**23.83**	**9.93**	**3.83**	**500.00**	**272.10**	**500.00**	**18.33**	**10.21**	**12500.84**	**1.08**	**1.04**	**3.67**	**3.39**	**11.57**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-4 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 1

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = 15 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.3 °C,T_{wb} = 27.3 °C (%RH = 63.2) m_W = 13.72 kg/hr or 0.229 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb		(h	4.5xCFMx(h	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่พัก	Mitsubishi	5	54.60	80.10	23.80	9.70	3.70	500	263	28.95	18.34	10.61	12,541	1.06	1.01	3.68	3.47	11.83
		10	55.30	82.20	23.60	9.80	3.90	500	277	28.87	18.60	10.27	12,795	1.07	1.00	3.75	3.51	11.96
		15	52.80	79.80	24.00	10.10	3.70	500	263	28.80	18.67	10.13	11,978	1.06	1.06	3.51	3.31	11.30
		20	53.40	78.80	23.80	9.90	3.60	500	256	28.71	18.41	10.30	11,842	1.06	1.07	3.47	3.28	11.17
		25	50.30	80.40	23.90	9.90	3.90	500	277	28.18	18.54	9.64	12,007	1.05	1.05	3.52	3.35	11.44
		30	51.70	81.70	23.70	9.80	3.80	500	270	28.25	18.56	9.69	11,765	1.05	1.07	3.45	3.29	11.20
		35	54.30	78.50	23.80	9.80	3.70	500	263	28.89	18.30	10.59	12,520	1.05	1.01	3.67	3.50	11.92
		40	55.80	78.60	23.70	10.00	3.70	500	263	29.08	18.48	10.61	12,534	1.06	1.01	3.68	3.47	11.82
		45	52.10	76.20	23.60	9.80	3.90	500	277	28.22	18.11	10.12	12,604	1.05	1.00	3.70	3.52	12.00
		50	50.10	76.50	24.10	9.90	3.80	500	270	28.35	18.22	10.13	12,298	1.05	1.02	3.61	3.44	11.71
		55	52.00	77.40	23.80	10.10	3.90	500	277	28.42	18.47	9.95	12,400	1.05	1.02	3.64	3.46	11.81
		60	54.70	80.70	23.90	10.00	3.70	500	263	29.08	18.65	10.43	12,326	1.05	1.02	3.62	3.44	11.74
Mean			**53.09**	**79.24**	**23.81**	**9.90**	**3.78**	**500.00**	**267.96**	**28.65**	**18.44**	**10.21**	**12,300.75**	**1.06**	**1.03**	**3.61**	**3.42**	**11.66**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-5 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 2

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = - bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.7 °C,T_{wb} = 27.3 °C (%RH = 67.4) m_W = - kg/hr or - l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	.(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	50.20	74.60	24.20	10.80	4.00	500	284	28.48	18.84	9.64	12,318	1.27	1.24	3.61	2.85	9.70
		10	49.30	73.20	24.10	10.50	4.10	500	291	28.18	18.45	9.73	12,741	1.26	1.19	3.74	2.97	10.11
		15	52.40	76.40	23.90	10.40	3.90	500	277	28.61	18.64	9.97	12,416	1.26	1.22	3.64	2.89	9.85
		20	51.60	75.50	24.30	10.50	3.90	500	277	28.88	18.65	10.23	12,739	1.27	1.20	3.74	2.94	10.03
		25	50.60	77.40	24.00	10.30	3.80	500	270	28.35	18.64	9.71	11,781	1.28	1.30	3.46	2.70	9.20
		30	51.20	78.60	24.30	10.30	3.80	500	270	28.79	18.74	10.05	12,202	1.27	1.25	3.58	2.82	9.61
		35	50.80	76.10	24.00	10.50	4.00	500	284	28.39	18.70	9.68	12,373	1.27	1.23	3.63	2.86	9.74
		40	55.30	78.60	23.70	10.40	3.70	500	263	28.98	18.83	10.15	11,998	1.28	1.28	3.52	2.75	9.37
		45	52.90	76.90	23.90	10.60	3.90	500	277	28.71	18.86	9.85	12,272	1.27	1.24	3.60	2.83	9.66
		50	54.80	76.60	23.90	10.30	3.70	500	263	29.10	18.57	10.53	12,446	1.27	1.22	3.65	2.87	9.80
		55	50.60	78.30	23.80	10.20	4.20	500	298	28.13	18.63	9.50	12,752	1.28	1.20	3.74	2.92	9.96
		60	55.20	74.50	24.00	10.30	3.70	500	263	29.30	18.39	10.90	12,887	1.28	1.19	3.78	2.95	10.07
Mean			**52.08**	**76.39**	**24.01**	**10.43**	**3.89**	**500.00**	**276.24**	**500.00**	**18.66**	**10.00**	**12,410.46**	**1.27**	**1.23**	**3.64**	**2.86**	**9.76**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-6 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 2

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = 5 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.6 °C, T_{wb} = 27.1 °C (%RH = 66.7) m_W = 8.25 kg/hr or 0.138 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	50.20	75.60	23.90	9.80	3.80	500	270	28.16	18.06	10.10	12,259	1.09	1.07	3.60	3.30	11.25
		10	49.70	77.50	23.80	9.80	4.00	500	284	27.95	18.21	9.74	12,440	1.08	1.04	3.65	3.38	11.52
		15	51.40	78.20	24.00	9.70	3.80	500	270	28.51	18.18	10.33	12,535	1.09	1.04	3.68	3.37	11.50
		20	50.80	78.40	23.70	9.70	4.00	500	284	28.07	18.20	9.87	12,608	1.08	1.03	3.70	3.42	11.67
		25	52.30	79.70	23.80	9.90	3.90	500	277	28.48	18.48	10.00	12,456	1.08	1.04	3.65	3.38	11.53
		30	50.60	78.20	23.90	9.80	3.80	500	270	28.24	18.27	9.97	12,100	1.08	1.07	3.55	3.29	11.20
		35	52.30	80.10	23.80	10.10	3.90	500	277	28.48	18.69	9.79	12,194	1.07	1.05	3.58	3.34	11.40
		40	52.50	81.30	23.70	9.70	3.80	500	270	28.41	18.44	9.98	12,109	1.07	1.06	3.55	3.32	11.32
		45	52.80	79.80	23.80	10.00	3.90	500	277	28.58	18.58	10.00	12,463	1.08	1.04	3.66	3.39	11.54
		50	52.20	78.90	24.00	9.90	3.90	500	277	28.68	18.42	10.26	12,783	1.07	1.00	3.75	3.50	11.95
		55	52.60	78.60	24.10	9.90	3.70	500	263	28.87	18.39	10.48	12,384	1.07	1.04	3.63	3.39	11.57
		60	52.30	77.40	23.90	10.20	3.90	500	277	28.59	18.55	10.04	12,503	1.08	1.04	3.67	3.40	11.58
Mean			**51.64**	**78.64**	**23.87**	**9.88**	**3.87**	**500.00**	**274.47**		**18.37**	**10.05**	**12,402.78**	**1.08**	**1.04**	**3.64**	**3.37**	**11.50**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-7 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 2

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = 10 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.0 °C, T_{wb} = 27.3 °C (%RH = 64.9) m_W = 11.32 kg/hr or 0.189 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	51.10	75.40	23.80	9.70	3.70	500	263	28.24	17.96	10.28	12,149	1.08	1.07	3.56	3.30	11.25
		10	50.90	77.20	23.90	9.60	3.90	500	277	28.30	18.02	10.28	12,811	1.07	1.00	3.76	3.51	11.97
		15	52.10	78.90	23.90	9.80	3.70	500	263	28.55	18.33	10.22	12,078	1.07	1.06	3.54	3.31	11.29
		20	53.40	78.40	23.70	9.90	3.70	500	263	28.60	18.37	10.22	12,080	1.07	1.06	3.54	3.31	11.29
		25	54.20	80.30	23.60	9.80	3.90	500	277	28.65	18.44	10.20	12,713	1.06	1.00	3.73	3.52	11.99
		30	54.40	81.40	23.90	9.90	3.80	500	270	29.02	18.62	10.40	12,622	1.07	1.02	3.70	3.46	11.80
		35	51.60	79.60	23.80	10.10	3.90	500	277	28.34	18.65	9.69	12,069	1.07	1.06	3.54	3.31	11.28
		40	55.70	78.10	23.90	9.80	3.60	500	256	29.29	18.26	11.03	12,679	1.06	1.00	3.72	3.51	11.96
		45	54.20	79.70	23.80	10.00	3.90	500	277	28.87	18.57	10.30	12,830	1.06	0.99	3.76	3.55	12.10
		50	51.70	80.40	23.60	9.70	3.80	500	270	28.14	18.36	9.78	11,871	1.06	1.07	3.48	3.29	11.20
		55	55.60	81.30	23.70	9.90	3.80	500	270	29.04	18.61	10.43	12,658	1.06	1.00	3.71	3.50	11.94
		60	54.80	79.70	24.00	9.80	3.70	500	263	29.22	18.39	10.82	12,789	1.07	1.00	3.75	3.51	11.95
Mean			**53.31**	**79.20**	**23.80**	**9.83**	**3.78**	**500.00**	**268.55**	**500.00**	**18.38**	**10.30**	**12,445.64**	**1.07**	**1.03**	**3.65**	**3.42**	**11.67**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-8 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 2

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = 15 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.2 °C, T_{wb} = 26.9 °C (%RH = 63.2) m_W = 13.63 kg/hr or 0.227 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	. (kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	53.40	80.30	24.00	9.80	3.80	500	270	28.93	18.44	10.48	12,723	1.07	1.01	3.73	3.49	11.89
		10	52.30	79.80	23.80	9.70	3.90	500	277	28.48	18.32	10.17	12,664	1.07	1.01	3.71	3.47	11.84
		15	53.10	81.40	23.70	9.80	3.80	500	270	28.54	18.53	10.00	12,139	1.06	1.05	3.56	3.36	11.45
		20	53.80	82.30	23.90	9.90	3.80	500	270	28.90	18.70	10.20	12,381	1.06	1.03	3.63	3.43	11.68
		25	52.90	78.50	23.80	9.70	3.70	500	263	28.60	18.21	10.39	12,285	1.06	1.04	3.60	3.40	11.59
		30	54.00	78.60	23.70	10.10	3.80	500	270	28.72	18.57	10.15	12,322	1.06	1.03	3.61	3.41	11.62
		35	53.70	79.40	23.60	10.00	3.90	500	277	28.55	18.55	10.00	12,460	1.05	1.01	3.66	3.48	11.87
		40	52.50	77.50	23.70	9.80	3.80	500	270	28.41	18.21	10.20	12,380	1.06	1.03	3.63	3.43	11.68
		45	54.30	83.00	23.60	9.70	3.90	500	277	28.67	18.58	10.09	12,573	1.05	1.00	3.69	3.51	11.97
		50	52.60	79.20	23.70	9.80	3.90	500	277	28.43	18.35	10.08	12,557	1.05	1.00	3.68	3.51	11.96
		55	54.10	78.80	23.80	9.70	3.60	500	256	28.85	18.23	10.62	12,206	1.05	1.03	3.58	3.41	11.63
		60	52.00	80.60	23.90	9.70	3.70	500	263	28.53	18.38	10.15	11,993	1.06	1.06	3.52	3.32	11.31
Mean			**53.23**	**79.95**	**23.77**	**9.81**	**3.80**	**500.00**	**269.73**	**28.63**	**18.42**	**10.21**	**12,390.33**	**1.06**	**1.03**	**3.63**	**3.43**	**11.71**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-9 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 3

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = - bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.6 °C,T_{wb} = 27.4 °C (%RH = 67.3) m_W = - kg/hr or - l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	50.90	76.70	23.80	10.00	3.80	500	270	28.20	18.32	9.87	11,986	1.29	1.29	3.52	2.73	9.29
		10	51.70	76.70	23.90	10.20	4.00	500	284	28.47	18.49	9.97	12,741	1.28	1.21	3.74	2.92	9.95
		15	52.40	76.40	24.00	10.30	3.70	500	263	28.72	18.56	10.16	12,011	1.28	1.28	3.52	2.75	9.38
		20	50.90	74.20	23.70	9.90	3.90	500	277	28.09	18.03	10.06	12,533	1.28	1.23	3.68	2.87	9.79
		25	53.70	77.10	23.80	10.30	3.80	500	270	28.77	18.62	10.15	12,322	1.27	1.24	3.61	2.85	9.70
		30	52.80	78.60	23.60	9.90	3.80	500	270	28.37	18.39	9.97	12,107	1.27	1.26	3.55	2.80	9.53
		35	51.80	79.20	23.90	10.10	3.80	500	270	28.49	18.62	9.87	11,980	1.28	1.28	3.51	2.75	9.36
		40	51.60	78.70	23.70	9.90	4.00	500	284	28.23	18.40	9.83	12,561	1.27	1.21	3.68	2.90	9.89
		45	50.40	76.50	23.80	10.20	3.90	500	277	28.09	18.48	9.62	11,979	1.28	1.28	3.51	2.75	9.36
		50	52.10	78.10	24.00	10.10	3.70	500	263	28.66	18.52	10.13	11,975	1.27	1.27	3.51	2.77	9.43
		55	51.40	75.50	23.70	9.80	3.70	500	263	28.19	18.05	10.14	11,984	1.27	1.27	3.52	2.77	9.44
		60	55.10	78.30	23.60	10.00	3.80	500	270	28.83	18.45	10.38	12,595	1.27	1.21	3.69	2.91	9.92
Mean			**52.07**	**77.17**	**23.79**	**10.06**	**3.83**	**500.00**	**271.51**	**28.42**	**18.41**	**10.01**	**12,231.37**	**1.28**	**1.25**	**3.59**	**2.81**	**9.59**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-10 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 3

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = 5 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.7 °C, T_{wb} = 27.6 °C (%RH = 68.4) m_W = 8.13 kg/hr or 0.136 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	. (kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	51.10	72.40	23.60	9.80	4.00	500	284	28.02	17.80	10.23	13,068	1.09	1.00	3.83	3.52	11.99
		10	50.50	74.60	23.80	9.70	3.80	500	270	28.11	17.89	10.22	12,407	1.09	1.05	3.64	3.34	11.38
		15	52.70	77.50	23.90	9.90	3.90	500	277	28.67	18.30	10.37	12,920	1.08	1.00	3.79	3.51	11.96
		20	52.40	76.80	23.70	10.10	3.80	500	270	28.39	18.42	9.98	12,111	1.08	1.07	3.55	3.29	11.21
		25	51.90	78.30	23.90	9.80	3.90	500	277	28.51	18.28	10.23	12,741	1.09	1.03	3.74	3.43	11.69
		30	51.00	76.90	23.80	9.80	3.80	500	270	28.22	18.16	10.05	12,200	1.08	1.06	3.58	3.31	11.30
		35	52.20	75.40	23.80	9.70	3.70	500	263	28.46	17.96	10.50	12,414	1.08	1.04	3.64	3.37	11.49
		40	54.20	76.20	23.70	9.90	3.70	500	263	28.76	18.19	10.57	12,487	1.08	1.04	3.66	3.39	11.56
		45	51.70	76.80	23.90	10.00	4.00	500	284	28.47	18.33	10.14	12,952	1.08	1.00	3.80	3.52	11.99
		50	52.80	77.40	23.80	10.20	3.90	500	277	28.58	18.55	10.03	12,495	1.07	1.03	3.67	3.43	11.68
		55	54.30	80.30	23.90	9.70	3.70	500	263	29.00	18.36	10.64	12,580	1.08	1.03	3.69	3.42	11.65
		60	53.80	79.60	23.70	9.80	3.80	500	270	28.68	18.39	10.29	12,491	1.08	1.04	3.66	3.39	11.57
Mean			**52.38**	**76.85**	**23.79**	**9.87**	**3.83**	**500.00**	**272.10**	**28.49**	**18.22**	**10.27**	**12,572.16**	**1.08**	**1.03**	**3.69**	**3.41**	**11.62**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-11 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 3

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = 10 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.9 °C, T_{wb} = 26.7 °C (%RH = 64.2) m_W = 11.07 kg/hr or 0.185 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	51.50	77.40	23.80	9.70	3.80	500	270	28.32	18.12	10.20	12,378	1.08	1.05	3.63	3.36	11.46
		10	52.40	78.20	23.60	9.90	3.90	500	277	28.29	18.36	9.93	12,367	1.08	1.05	3.63	3.36	11.45
		15	52.70	79.40	23.70	9.80	3.90	500	277	28.45	18.37	10.08	12,562	1.08	1.03	3.68	3.41	11.63
		20	53.80	78.20	23.90	10.00	3.80	500	270	28.90	18.45	10.45	12,687	1.08	1.02	3.72	3.45	11.75
		25	52.20	79.00	23.60	10.00	3.90	500	277	28.25	18.51	9.73	12,125	1.07	1.06	3.56	3.32	11.33
		30	54.10	79.50	23.90	9.70	3.80	500	270	28.96	18.29	10.67	12,950	1.07	0.99	3.80	3.55	12.10
		35	54.40	80.20	23.80	10.10	3.80	500	270	28.91	18.70	10.21	12,392	1.08	1.05	3.64	3.37	11.47
		40	52.80	78.80	23.70	9.70	3.80	500	270	28.47	18.23	10.24	12,430	1.07	1.03	3.65	3.41	11.62
		45	52.90	79.50	23.60	9.80	3.80	500	270	28.39	18.38	10.01	12,148	1.07	1.06	3.56	3.33	11.35
		50	55.20	81.30	23.70	9.70	3.80	500	270	28.96	18.44	10.52	12,775	1.07	1.01	3.75	3.50	11.94
		55	52.30	79.20	23.70	9.80	4.00	500	284	28.37	18.35	10.02	12,802	1.07	1.00	3.76	3.51	11.96
		60	51.70	78.10	23.80	9.90	3.80	500	270	28.36	18.35	10.01	12,148	1.07	1.06	3.56	3.33	11.35
Mean			**53.00**	**79.07**	**23.73**	**9.84**	**3.84**	**500.00**	**272.69**	**28.55**	**18.38**	**10.17**	**12,480.30**	**1.07**	**1.03**	**3.66**	**3.41**	**11.62**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-12 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 3

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = 15 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.4 °C, T_{wb} = 26.8 °C (%RH = 61.9) m_W = 13.74 kg/hr or 0.229 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	52.80	80.40	23.60	9.70	3.80	500	270	28.37	18.36	10.00	12,140	1.06	1.05	3.56	3.36	11.45
		10	51.90	78.70	23.70	9.60	3.80	500	270	28.29	18.14	10.15	12,323	1.06	1.03	3.61	3.41	11.63
		15	54.20	78.70	23.70	9.90	3.70	500	263	28.76	18.40	10.36	12,243	1.05	1.03	3.59	3.42	11.66
		20	53.70	79.80	23.80	9.90	3.80	500	270	28.77	18.49	10.28	12,474	1.05	1.01	3.66	3.48	11.88
		25	52.80	80.40	23.80	9.70	3.90	500	277	28.58	18.36	10.22	12,730	1.06	1.00	3.73	3.52	12.01
		30	51.70	78.40	23.60	9.80	3.80	500	270	28.14	18.29	9.86	11,964	1.05	1.05	3.51	3.34	11.39
		35	52.20	80.20	24.00	10.20	3.80	500	270	28.68	18.79	9.89	12,002	1.05	1.05	3.52	3.35	11.43
		40	55.30	82.40	23.60	10.00	3.80	500	270	28.87	18.80	10.08	12,230	1.06	1.04	3.59	3.38	11.54
		45	51.20	79.90	23.80	9.70	3.90	500	277	28.26	18.32	9.93	12,374	1.05	1.02	3.63	3.46	11.78
		50	52.70	80.50	23.70	9.60	3.70	500	263	28.45	18.28	10.17	12,019	1.05	1.05	3.53	3.36	11.45
		55	53.30	81.30	23.90	9.70	3.80	500	270	28.80	18.44	10.36	12,572	1.05	1.00	3.69	3.51	11.97
		60	54.10	80.80	23.70	9.70	3.80	500	270	28.74	18.40	10.34	12,553	1.05	1.00	3.68	3.51	11.95
Mean			**52.99**	**80.13**	**23.74**	**9.79**	**3.80**	**500.00**	**269.73**	**28.56**	**18.42**	**10.14**	**12,301.95**	**1.05**	**1.03**	**3.61**	**3.43**	**11.68**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-13 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 1

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ20 P_W = - bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.7 °C,T_{wb} = 27.0 °C (%RH = 59.8) m_W = - kg/hr or - l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW).				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	48.70	71.40	24.10	10.20	4.00	500	284	28.06	18.05	10.01	12,792	1.29	1.21	3.75	2.91	9.92
		10	51.60	75.60	23.90	10.00	3.80	500	270	28.45	18.23	10.22	12,401	1.29	1.25	3.64	2.82	9.61
		15	50.90	73.40	24.00	10.30	3.90	500	277	28.41	18.30	10.11	12,592	1.28	1.22	3.69	2.89	9.84
		20	49.70	74.60	23.80	9.90	4.00	500	284	27.95	18.06	9.89	12,636	1.29	1.23	3.71	2.87	9.79
		25	53.30	77.30	23.70	9.90	3.90	500	277	28.58	18.28	10.29	12,821	1.29	1.21	3.76	2.92	9.94
		30	51.80	72.30	23.70	9.80	3.80	500	270	28.27	17.79	10.48	12,725	1.28	1.21	3.73	2.92	9.94
		35	52.20	75.20	23.70	9.70	3.70	500	263	28.35	17.94	10.41	12,306	1.28	1.25	3.61	2.82	9.61
		40	50.40	73.80	23.90	9.90	3.80	500	270	28.20	17.99	10.20	12,386	1.28	1.24	3.63	2.84	9.68
		45	51.10	72.20	23.70	10.10	3.90	500	277	28.13	18.03	10.10	12,581	1.28	1.22	3.69	2.88	9.83
		50	52.80	74.10	23.80	9.90	3.80	500	270	28.58	18.02	10.56	12,822	1.28	1.20	3.76	2.94	10.02
		55	49.80	72.70	24.00	10.10	3.70	500	263	28.18	18.07	10.11	11,948	1.28	1.29	3.50	2.74	9.33
		60	50.70	74.90	23.90	10.20	3.90	500	277	28.26	18.34	9.92	12,356	1.28	1.24	3.62	2.83	9.65
Mean			**51.08**	**73.96**	**23.85**	**10.00**	**3.85**	**500.00**	**273.28**	**28.28**	**18.09**	**10.19**	**12,530.28**	**1.28**	**1.23**	**3.68**	**2.86**	**9.76**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-14 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 1

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ20 P_W = 5 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.8 °C, T_{wb} = 27.2 °C (%RH = 60.9) m_W = 22.94 kg/hr or 0.382 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	51.70	76.60	23.50	9.90	3.90	500	277	28.04	18.23	9.81	12,223	1.10	1.08	3.59	3.26	11.11
		10	52.30	77.40	23.90	10.00	3.90	500	277	28.59	18.38	10.21	12,720	1.11	1.05	3.73	3.36	11.46
		15	53.90	79.00	23.60	10.00	4.10	500	291	28.59	18.51	10.08	13,196	1.10	1.00	3.87	3.52	12.00
		20	55.10	79.20	23.70	9.70	3.80	500	270	28.94	18.27	10.68	12,958	1.10	1.02	3.80	3.46	11.78
		25	56.60	83.10	23.60	9.80	3.90	500	277	29.13	18.67	10.46	13,030	1.09	1.00	3.82	3.51	11.95
		30	54.00	78.20	23.70	9.60	3.80	500	270	28.72	18.10	10.62	12,890	1.09	1.01	3.78	3.47	11.83
		35	50.60	78.40	24.00	9.80	4.10	500	291	28.35	18.29	10.06	13,173	1.10	1.00	3.86	3.51	11.98
		40	53.80	81.40	23.60	9.90	3.80	500	270	28.57	18.62	9.95	12,071	1.09	1.08	3.54	3.25	11.07
		45	51.80	79.00	23.80	10.00	3.90	500	277	28.38	18.51	9.87	12,292	1.09	1.06	3.61	3.31	11.28
		50	51.70	78.60	23.90	9.70	3.80	500	270	28.47	18.22	10.25	12,440	1.10	1.06	3.65	3.32	11.31
		55	52.90	79.10	23.70	9.80	3.80	500	270	28.49	18.35	10.15	12,319	1.10	1.07	3.61	3.29	11.20
		60	53.70	78.80	23.80	9.80	3.90	500	277	28.77	18.32	10.45	13,013	1.09	1.01	3.82	3.50	11.94
Mean			**53.18**	**79.07**	**23.73**	**9.83**	**3.89**	**500.00**	**276.24**	**28.59**	**18.37**	**10.21**	**12,693.75**	**1.10**	**1.04**	**3.72**	**3.40**	**11.58**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-15 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 1

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ20 P_W = 10 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.6 °C, T_{wb} = 27.1 °C (%RH = 62.1) m_W = 30.46 kg/hr or 0.508 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	53.10	78.20	23.80	9.80	3.90	500	277	28.64	18.27	10.37	12,922	1.10	1.02	3.79	3.45	11.75
		10	54.40	80.10	23.70	9.60	3.80	500	270	28.80	18.25	10.55	12,802	1.09	1.02	3.76	3.45	11.75
		15	51.90	78.30	23.90	9.80	4.00	500	284	28.51	18.28	10.23	13,068	1.10	1.01	3.83	3.48	11.88
		20	53.70	80.30	23.80	9.70	3.80	500	270	28.77	18.36	10.41	12,637	1.09	1.04	3.71	3.40	11.59
		25	52.50	79.40	23.80	10.00	3.90	500	277	28.52	18.55	9.98	12,428	1.09	1.05	3.65	3.34	11.40
		30	53.10	78.80	24.00	9.70	3.80	500	270	28.86	18.23	10.63	12,903	1.09	1.01	3.78	3.47	11.84
		35	51.90	76.80	23.90	9.80	3.90	500	277	28.51	18.16	10.35	12,894	1.08	1.01	3.78	3.50	11.94
		40	52.40	81.20	23.70	9.80	3.70	500	263	28.39	18.52	9.88	11,671	1.09	1.12	3.42	3.14	10.71
		45	53.20	79.40	23.80	10.00	4.00	500	284	28.66	18.55	10.12	12,930	1.08	1.00	3.79	3.51	11.97
		50	54.60	77.60	23.90	9.70	3.70	500	263	29.06	18.14	10.93	12,914	1.08	1.00	3.79	3.51	11.96
		55	52.90	78.50	23.70	9.80	3.80	500	270	28.49	18.30	10.20	12,379	1.09	1.06	3.63	3.33	11.36
		60	52.70	79.60	23.90	9.90	3.90	500	277	28.67	18.47	10.20	12,704	1.08	1.02	3.73	3.45	11.76
Mean			**53.03**	**79.02**	**23.83**	**9.80**	**3.85**	**500.00**	**273.28**	**28.66**	**18.34**	**10.32**	**12,687.54**	**1.09**	**1.03**	**3.72**	**3.42**	**11.66**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-16 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 1

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ20 P_W = 15 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.2 °C T_{wb} = 27.1 °C (%RH = 62.4) m_W = 35.80 kg/hr or 0.597 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	52.00	79.00	23.70	9.80	3.90	500	277	28.31	18.34	9.97	12,426	1.08	1.04	3.65	3.38	11.51
		10	51.70	78.40	23.90	9.60	3.70	500	263	28.47	18.11	10.35	12,234	1.08	1.06	3.59	3.32	11.33
		15	51.40	77.20	23.90	9.70	3.70	500	263	28.40	18.10	10.30	12,174	1.07	1.05	3.57	3.34	11.38
		20	54.10	79.50	23.50	9.70	3.90	500	277	28.52	18.29	10.23	12,742	1.07	1.01	3.74	3.49	11.91
		25	54.00	80.60	23.90	9.80	3.90	500	277	28.94	18.47	10.47	13,044	1.08	0.99	3.83	3.54	12.08
		30	55.60	81.50	23.80	9.90	3.80	500	270	29.16	18.63	10.52	12,775	1.07	1.01	3.75	3.50	11.94
		35	54.50	82.40	23.70	10.00	4.00	500	284	28.82	18.80	10.02	12,808	1.07	1.00	3.76	3.51	11.97
		40	52.00	78.60	23.90	9.70	3.80	500	270	28.53	18.22	10.31	12,515	1.06	1.02	3.67	3.46	11.81
		45	51.90	79.60	24.00	10.20	3.90	500	277	28.62	18.74	9.88	12,304	1.07	1.04	3.61	3.37	11.50
		50	50.70	78.60	23.80	9.80	3.90	500	277	28.15	18.30	9.85	12,271	1.06	1.04	3.60	3.40	11.58
		55	53.50	79.30	23.90	9.90	3.80	500	270	28.84	18.45	10.39	12,608	1.07	1.02	3.70	3.46	11.78
		60	54.60	80.20	23.70	9.60	3.70	500	263	28.84	18.26	10.58	12,504	1.06	1.02	3.67	3.46	11.80
Mean			**53.00**	**79.58**	**23.81**	**9.81**	**3.83**	**500.00**	**272.10**	**28.63**	**18.39**	**10.24**	**12,533.56**	**1.07**	**1.02**	**3.68**	**3.44**	**11.71**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-17 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 2

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ20 P_W = - bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.5 °C T_{wb} = 28.3 °C (%RH = 67.2) m_W = - kg/hr or - l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	51.70	76.30	23.80	10.20	4.00	500	284	28.36	18.46	9.90	12,647	1.28	1.21	3.71	2.90	9.88
		10	49.80	74.50	24.10	10.40	3.90	500	277	28.29	18.48	9.81	12,217	1.28	1.26	3.58	2.80	9.54
		15	50.90	77.30	24.20	10.00	3.70	500	263	28.62	18.37	10.25	12,118	1.27	1.26	3.55	2.80	9.54
		20	50.20	74.30	23.70	9.90	3.90	500	277	27.95	18.04	9.91	12,346	1.28	1.24	3.62	2.83	9.65
		25	47.50	69.80	23.80	10.10	3.80	500	270	27.50	17.83	9.67	11,740	1.27	1.30	3.44	2.71	9.24
		30	48.50	72.30	23.90	10.00	3.80	500	270	27.81	17.95	9.85	11,961	1.27	1.27	3.51	2.76	9.42
		35	49.70	71.50	23.70	10.00	4.00	500	284	27.85	17.89	9.96	12,722	1.28	1.21	3.73	2.92	9.94
		40	50.60	74.60	23.80	9.90	3.90	500	277	28.13	18.06	10.07	12,548	1.27	1.21	3.68	2.90	9.88
		45	51.20	73.80	24.20	9.80	3.70	500	263	28.69	17.91	10.78	12,736	1.28	1.21	3.74	2.92	9.95
		50	50.00	73.20	23.80	10.00	3.90	500	277	28.01	18.03	9.98	12,435	1.28	1.24	3.65	2.85	9.71
		55	48.30	70.80	23.90	10.10	3.90	500	277	27.77	17.91	9.85	12,277	1.27	1.24	3.60	2.84	9.67
		60	49.10	71.10	23.70	9.80	3.80	500	270	27.72	17.69	10.03	12,180	1.27	1.25	3.57	2.81	9.59
Mean			**49.79**	**73.29**	**23.88**	**10.02**	**3.86**	**500.00**	**273.87**	**28.06**	**18.05**	**10.01**	**12,327.24**	**1.28**	**1.24**	**3.62**	**2.84**	**9.67**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-18 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 2

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ20 P_W = 5 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.6 °C T_{wb} = 27.5 °C (%RH = 68.3) m_W = 22.91 kg/hr or 0.382 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	50.60	76.70	23.70	9.70	3.90	500	277	28.03	18.06	9.97	12,414	1.11	1.07	3.64	3.28	11.18
		10	51.20	77.90	23.90	9.90	3.90	500	277	28.36	18.33	10.03	12,495	1.10	1.06	3.67	3.33	11.36
		15	54.40	80.20	24.00	9.80	3.80	500	270	29.13	18.44	10.70	12,984	1.11	1.03	3.81	3.43	11.70
		20	52.70	78.30	23.90	10.00	3.90	500	277	28.67	18.45	10.22	12,729	1.09	1.03	3.73	3.43	11.68
		25	51.90	79.50	24.10	9.90	3.80	500	270	28.72	18.47	10.26	12,451	1.10	1.06	3.65	3.32	11.32
		30	53.80	81.10	23.80	9.80	3.80	500	270	28.79	18.51	10.28	12,475	1.10	1.06	3.66	3.33	11.34
		35	54.60	79.60	23.90	10.10	3.70	500	263	29.06	18.65	10.41	12,306	1.10	1.07	3.61	3.28	11.19
		40	55.20	78.80	23.70	9.70	3.80	500	270	28.96	18.23	10.73	13,022	1.10	1.01	3.82	3.47	11.84
		45	52.30	76.40	23.90	9.90	4.00	500	284	28.59	18.21	10.38	13,262	1.10	1.00	3.89	3.54	12.06
		50	51.00	78.20	23.80	9.80	4.00	500	284	28.22	18.27	9.94	12,705	1.10	1.04	3.73	3.39	11.55
		55	54.50	80.40	23.70	9.80	3.90	500	277	28.82	18.45	10.37	12,915	1.09	1.01	3.79	3.48	11.85
		60	52.80	79.00	23.70	9.90	4.00	500	284	28.47	18.42	10.05	12,841	1.09	1.02	3.77	3.46	11.78
Mean			**52.92**	**78.84**	**23.84**	**9.86**	**3.88**	**500.00**	**275.06**	**28.65**	**18.38**	**10.28**	**12,716.68**	**1.10**	**1.04**	**3.73**	**3.39**	**11.57**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-19 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 2

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ20 P_W = 10 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.7 °C T_{wb} = 27.2 °C (%RH = 66.3) m_W = 30.36 kg/hr or 0.506 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW.)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	53.70	80.40	23.80	9.80	3.90	500	277	28.77	18.45	10.31	12,850	1.09	1.02	3.77	3.46	11.79
		10	54.20	78.80	23.90	9.70	3.70	500	263	28.98	18.23	10.75	12,701	1.09	1.03	3.73	3.42	11.65
		15	55.00	79.20	23.60	9.80	3.90	500	277	28.81	18.35	10.46	13,026	1.10	1.01	3.82	3.47	11.84
		20	53.70	78.70	23.70	9.90	3.90	500	277	28.66	18.40	10.26	12,778	1.09	1.02	3.75	3.44	11.72
		25	55.10	79.00	23.90	9.70	3.70	500	263	29.17	18.25	10.92	12,900	1.09	1.01	3.78	3.47	11.84
		30	54.80	80.20	24.10	10.00	3.80	500	270	29.33	18.61	10.72	13,007	1.09	1.01	3.82	3.50	11.93
		35	56.20	81.30	23.70	9.90	3.70	500	263	29.17	18.61	10.55	12,470	1.09	1.05	3.66	3.36	11.44
		40	53.70	79.70	23.90	9.80	3.70	500	263	28.88	18.39	10.48	12,389	1.09	1.06	3.63	3.33	11.37
		45	53.80	79.10	24.00	10.00	3.80	500	270	29.01	18.52	10.49	12,731	1.08	1.02	3.73	3.46	11.79
		50	53.50	77.60	23.90	9.80	3.80	500	270	28.84	18.22	10.61	12,883	1.09	1.02	3.78	3.47	11.82
		55	52.60	79.50	24.00	10.10	3.90	500	277	28.76	18.64	10.12	12,605	1.09	1.04	3.70	3.39	11.56
		60	53.30	78.50	23.80	9.80	3.70	500	263	28.69	18.30	10.39	12,279	1.09	1.07	3.60	3.30	11.26
Mean			**54.13**	**79.33**	**23.86**	**9.86**	**3.79**	**500.00**	**269.14**	**28.92**	**18.42**	**10.50**	**12,718.19**	**1.09**	**1.03**	**3.73**	**3.42**	**11.67**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-20 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 2

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ20 P_W = 15 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.5 °C T_{wb} = 27.3 °C (%RH = 67.1) m_W = 35.77 kg/hr or 0.596 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW).				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	52.00	78.80	23.80	9.70	3.90	500	277	28.42	18.23	10.19	12,689	1.08	1.02	3.72	3.45	11.75
		10	54.10	80.20	23.90	9.60	3.70	500	263	28.96	18.26	10.70	12,645	1.08	1.02	3.71	3.43	11.71
		15	55.60	80.40	23.70	9.90	3.70	500	263	29.04	18.54	10.50	12,413	1.08	1.04	3.64	3.37	11.49
		20	53.70	79.90	23.90	10.00	3.80	500	270	28.88	18.59	10.29	12,490	1.08	1.04	3.66	3.39	11.57
		25	53.90	81.60	23.70	9.80	3.90	500	277	28.70	18.55	10.15	12,641	1.07	1.02	3.71	3.47	11.81
		30	52.30	78.50	23.90	9.80	3.80	500	270	28.59	18.30	10.29	12,494	1.08	1.04	3.66	3.39	11.57
		35	53.00	80.20	23.60	9.70	3.80	500	270	28.41	18.35	10.06	12,209	1.07	1.05	3.58	3.35	11.41
		40	55.10	80.50	23.80	9.90	3.70	500	263	29.05	18.55	10.50	12,415	1.07	1.03	3.64	3.40	11.60
		45	51.90	77.70	23.70	9.80	3.90	500	277	28.29	18.23	10.06	12,534	1.07	1.02	3.68	3.44	11.71
		50	52.70	77.60	24.00	9.80	3.80	500	270	28.78	18.22	10.56	12,816	1.08	1.01	3.76	3.48	11.87
		55	53.50	79.60	23.80	9.90	3.80	500	270	28.73	18.47	10.25	12,444	1.07	1.03	3.65	3.41	11.63
		60	54.10	80.50	24.10	10.00	3.70	500	263	29.18	18.64	10.55	12,463	1.07	1.03	3.66	3.42	11.65
Mean			**53.49**	**79.63**	**23.83**	**9.83**	**3.79**	**500.00**	**269.14**	**28.75**	**18.41**	**10.34**	**12,521.13**	**1.08**	**1.03**	**3.67**	**3.42**	**11.65**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-21 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 3

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ20 P_W = - bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.8 °C T_{wb} = 27.1 °C (%RH = 64.7) m_W = - kg/hr or - l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	47.50	71.80	24.10	10.10	3.90	500	277	27.81	18.00	9.81	12,224	1.28	1.26	3.59	2.80	9.55
		10	49.20	72.50	23.70	9.80	4.00	500	284	27.74	17.80	9.94	12,701	1.29	1.22	3.73	2.89	9.85
		15	48.70	70.50	23.90	10.00	4.00	500	284	27.85	17.81	10.04	12,834	1.28	1.20	3.76	2.94	10.03
		20	50.20	72.60	23.80	9.90	3.70	500	263	28.05	17.90	10.16	12,004	1.28	1.28	3.52	2.75	9.38
		25	50.80	74.30	23.90	10.20	3.80	500	270	28.28	18.29	9.99	12,125	1.29	1.28	3.56	2.76	9.40
		30	51.20	72.00	24.00	9.80	3.80	500	270	28.47	17.76	10.71	12,997	1.28	1.18	3.81	2.98	10.15
		35	49.60	71.80	23.70	9.90	3.80	500	270	27.83	17.83	10.00	12,133	1.28	1.27	3.56	2.78	9.48
		40	48.50	73.60	23.90	9.80	3.90	500	277	27.81	17.89	9.92	12,352	1.28	1.24	3.62	2.83	9.65
		45	49.20	70.20	23.80	10.00	3.70	500	263	27.85	17.78	10.07	11,899	1.28	1.29	3.49	2.73	9.30
		50	49.70	74.10	23.80	9.90	3.80	500	270	27.95	18.02	9.93	12,054	1.29	1.28	3.54	2.74	9.34
		55	48.20	72.60	23.90	9.70	4.00	500	284	27.75	17.73	10.02	12,801	1.28	1.20	3.75	2.93	10.00
		60	49.00	71.90	23.70	9.90	3.90	500	277	27.70	17.84	9.87	12,290	1.28	1.25	3.61	2.82	9.60
Mean			**49.32**	**72.33**	**23.85**	**9.92**	**3.86**	**500.00**	**273.87**	**27.92**	**17.89**	**10.04**	**12,367.75**	**1.28**	**1.25**	**3.63**	**2.83**	**9.64**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-22 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 3

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ20 P_W = 5 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.8 °C T_{wb} = 27.0 °C (%RH = 64.3) m_W = 23.18 kg/hr or 0.386 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	52.50	78.20	23.80	9.80	3.80	500	270	28.52	18.27	10.25	12,442	1.12	1.08	3.65	3.26	11.11
		10	52.70	78.70	23.90	10.00	3.90	500	277	28.67	18.49	10.18	12,687	1.12	1.06	3.72	3.32	11.33
		15	53.80	76.50	23.90	9.60	3.80	500	270	28.90	17.96	10.94	13,275	1.12	1.01	3.89	3.48	11.85
		20	54.20	79.00	24.00	9.90	3.90	500	277	29.09	18.42	10.67	13,288	1.11	1.00	3.90	3.51	11.97
		25	53.60	78.30	23.80	10.10	4.00	500	284	28.75	18.54	10.21	13,039	1.12	1.03	3.82	3.42	11.64
		30	53.30	76.90	23.70	9.90	3.80	500	270	28.58	18.25	10.33	12,533	1.11	1.06	3.68	3.31	11.29
		35	55.10	78.20	23.90	10.00	3.90	500	277	29.17	18.45	10.72	13,354	1.12	1.01	3.92	3.50	11.92
		40	52.90	77.30	23.60	9.70	3.90	500	277	28.39	18.11	10.27	12,800	1.11	1.04	3.75	3.38	11.53
		45	54.00	79.10	23.80	9.80	3.80	500	270	28.83	18.35	10.48	12,724	1.11	1.05	3.73	3.36	11.46
		50	51.60	75.80	23.70	9.80	3.90	500	277	28.23	18.07	10.16	12,652	1.11	1.05	3.71	3.34	11.40
		55	54.50	78.40	23.90	9.90	3.70	500	263	29.04	18.37	10.67	12,607	1.11	1.06	3.70	3.33	11.36
		60	53.70	79.20	23.70	9.80	3.90	500	277	28.66	18.35	10.30	12,836	1.11	1.04	3.77	3.39	11.56
Mean			**53.49**	**77.97**	**23.81**	**9.86**	**3.86**	**500.00**	**273.87**	**28.73**	**18.30**	**10.43**	**12,853.11**	**1.11**	**1.04**	**3.77**	**3.38**	**11.54**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-23 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 3

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ20 P_W = 10 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.9 °C T_{wb} = 27.1 °C (%RH = 63.9) m_W = 30.31 kg/hr or 0.505 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	51.40	78.20	24.00	9.80	4.00	500	284	28.51	18.27	10.24	13,084	1.11	1.02	3.84	3.46	11.79
		10	52.00	77.70	23.90	9.80	3.90	500	277	28.53	18.23	10.30	12,828	1.11	1.04	3.76	3.39	11.56
		15	53.40	75.60	24.00	9.70	3.70	500	263	28.93	17.97	10.95	12,945	1.10	1.02	3.80	3.45	11.77
		20	52.80	78.70	23.80	10.00	3.90	500	277	28.58	18.49	10.10	12,577	1.10	1.05	3.69	3.35	11.43
		25	53.70	77.20	23.70	9.90	3.80	500	270	28.66	18.28	10.38	12,601	1.11	1.06	3.70	3.33	11.35
		30	53.30	76.80	23.70	9.80	3.80	500	270	28.58	18.16	10.42	12,647	1.10	1.04	3.71	3.37	11.50
		35	54.00	78.50	24.10	9.80	3.60	500	256	29.16	18.30	10.87	12,494	1.10	1.06	3.66	3.33	11.36
		40	54.60	80.60	23.70	9.80	3.90	500	277	28.84	18.47	10.37	12,920	1.11	1.03	3.79	3.41	11.64
		45	52.90	79.10	24.20	9.50	3.80	500	270	29.04	18.08	10.96	13,300	1.11	1.00	3.90	3.51	11.98
		50	52.30	80.00	24.10	10.00	4.00	500	284	28.81	18.60	10.21	13,048	1.10	1.01	3.83	3.48	11.86
		55	53.70	78.60	23.80	9.80	3.70	500	263	28.77	18.30	10.46	12,365	1.10	1.07	3.63	3.30	11.24
		60	52.40	78.40	24.00	9.70	3.90	500	277	28.72	18.20	10.52	13,102	1.10	1.01	3.84	3.49	11.91
Mean			**53.04**	**78.28**	**23.92**	**9.80**	**3.83**	**500.00**	**272.10**	**28.76**	**18.28**	**10.48**	**12,826.01**	**1.10**	**1.03**	**3.76**	**3.41**	**11.62**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-24 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr

การทดลองครั้งที่ 3

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 24.0 °C หัวฉีดแบบ PJ20 P_W = 15 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.3 °C T_{wb} = 26.9 °C (%RH = 61.4) m_W = 35.46 kg/hr or 0.591 l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	(Btu/lb)	(Btu/hr)	(kW).				
เครื่องปรับอากาศที่ห้องพัก	Mitsubishi	5	53.70	80.40	24.10	9.70	3.80	500	270	29.10	18.36	10.73	13,030	1.09	1.00	3.82	3.51	11.95
		10	52.90	79.50	23.90	9.60	3.80	500	270	28.71	18.20	10.51	12,756	1.09	1.03	3.74	3.43	11.70
		15	53.80	79.20	23.70	9.90	3.90	500	277	28.68	18.44	10.24	12,752	1.08	1.02	3.74	3.46	11.81
		20	55.10	78.70	23.90	9.80	3.80	500	270	29.17	18.31	10.85	13,173	1.09	0.99	3.86	3.55	12.09
		25	52.70	77.90	23.80	10.00	3.70	500	263	28.56	18.42	10.14	11,987	1.09	1.09	3.52	3.23	11.00
		30	53.00	79.40	24.00	9.80	3.80	500	270	28.84	18.37	10.47	12,712	1.08	1.02	3.73	3.45	11.77
		35	53.50	78.50	24.10	9.90	3.80	500	270	29.06	18.38	10.67	12,956	1.08	1.00	3.80	3.52	12.00
		40	52.60	79.60	23.90	10.00	3.90	500	277	28.65	18.56	10.09	12,568	1.08	1.03	3.69	3.41	11.64
		45	51.70	80.20	23.70	9.70	3.90	500	277	28.25	18.35	9.90	12,337	1.07	1.04	3.62	3.38	11.53
		50	52.00	78.50	23.90	9.80	3.80	500	270	28.53	18.30	10.23	12,419	1.08	1.04	3.64	3.37	11.50
		55	53.80	78.50	23.80	9.80	3.70	500	263	28.79	18.30	10.49	12,399	1.08	1.05	3.64	3.37	11.48
		60	52.30	77.30	23.90	9.70	3.90	500	277	28.59	18.11	10.48	13,053	1.09	1.00	3.83	3.51	11.97
Mean			**53.09**	**78.98**	**23.89**	**9.81**	**3.82**	**500.00**	**270.92**	**28.74**	**18.34**	**10.40**	**12,678.51**	**1.08**	**1.03**	**3.72**	**3.43**	**11.70**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-25 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr

การทดลอง

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ T_{room} : 20.0 °C หัวฉีดแบบ - P_W = - bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.4 °C, T_{wb} = 27.3 °C (%RH = 62.9) m_W = - kg/hr or - l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท. จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย		(Btu/lb)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ส่วนบริการการศึกษา ตึกวิศวกรรม 3	Carrier	5	64.20	92.00	23.20	13.40	8.20	1,250	1,455	30.19	23.03	7.16	46,864	4.12	0.92	13.75	3.34	11.37
		10	64.10	93.00	23.50	13.80	8.00	1,250	1,420	30.53	23.57	6.96	44,473	4.13	0.92	13.05	3.16	10.77
		15	64.40	93.40	23.20	13.50	8.50	1,250	1,508	30.23	23.29	6.94	47,110	4.14	0.91	13.82	3.34	11.38
		20	62.60	90.40	22.10	13.00	8.70	1,250	1,544	28.59	22.44	6.15	42,702	4.13	0.93	12.53	3.03	10.34
		25	61.10	92.60	22.50	12.40	8.20	1,250	1,455	28.76	22.04	6.73	44,053	4.14	0.91	12.92	3.12	10.64
		30	62.30	91.90	22.20	12.00	8.10	1,250	1,437	28.65	21.56	7.09	45,852	4.13	0.93	13.45	3.26	11.10
		35	61.20	90.20	21.30	11.60	8.30	1,250	1,473	27.44	20.99	6.44	42,717	4.13	0.93	12.53	3.03	10.34
		40	61.10	91.30	21.40	11.10	8.20	1,250	1,455	27.53	20.60	6.93	45,385	4.14	0.93	13.31	3.22	10.96
		45	62.70	91.10	21.20	11.20	8.00	1,250	1,420	27.59	20.68	6.91	44,144	4.14	0.92	12.95	3.13	10.66
		50	61.50	91.00	21.40	11.20	8.30	1,250	1,473	27.60	20.67	6.93	45,933	4.15	0.92	13.47	3.25	11.07
		55	60.40	91.30	21.20	11.20	8.40	1,250	1,491	27.19	20.70	6.49	43,543	4.15	0.93	12.77	3.08	10.49
		60	59.20	91.30	21.50	10.90	8.30	1,250	1,473	27.30	20.40	6.90	45,736	4.15	0.92	13.42	3.23	11.02
Mean			**62.07**	**91.63**	**22.06**	**12.11**	**8.27**	**1250.00**	**1466.97**	**28.47**	**21.66**	**6.80**	**44876.07**	**4.14**	**0.92**	**13.16**	**3.18**	**10.83**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-26 ข้อมูลการทดสอบและวิเคราะห์เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr

การทดลอง

ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ T_{room} : 20.0 °C หัวฉีดแบบ PJ12 P_W = 10 bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 33.5 °C, T_{wb} = 27.1 °C (%RH = 61.2) m_W = 0.352 kg/hr or l/min

สถานที่ทดสอบ	ยี่ห้อ	เวลา	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		ความเร็วลม	พท.จ่ายลม	CFM	h (Btu/lb)		Δh	4.5xCFMxΔh	W_{Total}	kW/ton	kW_R	COP	EER
		(mins)	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(m/s)	(cm^2)	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย		(Btu/lb)	(kW)				
เครื่องปรับอากาศที่ส่วนบริการการศึกษา ตึกวิศวกรรม 3	Carrier	5	59.60	91.00	21.70	10.80	7.80	1,250	1,384	27.59	20.28	7.31	45,553	3.50	1.05	13.36	3.82	13.02
		10	58.50	90.50	21.90	10.70	7.60	1,250	1,349	27.61	20.14	7.47	45,358	3.49	1.11	13.31	3.81	13.00
		15	60.20	90.00	21.10	10.40	7.90	1,250	1,402	27.05	19.81	7.24	45,670	3.48	1.05	13.40	3.85	13.12
		20	58.60	92.30	20.80	9.60	7.80	1,250	1,384	26.45	19.24	7.21	44,922	3.47	1.16	13.18	3.80	12.95
		25	59.00	91.10	20.50	9.50	8.00	1,250	1,420	26.21	19.05	7.16	45,714	3.47	1.13	13.41	3.86	13.17
		30	57.00	92.40	20.70	9.20	7.80	1,250	1,384	26.08	18.88	7.20	44,872	3.47	1.08	13.16	3.79	12.93
		35	57.70	90.80	19.90	8.70	7.90	1,250	1,402	25.38	18.29	7.09	44,702	3.46	1.16	13.11	3.79	12.92
		40	57.20	90.10	20.50	8.90	7.50	1,250	1,331	25.91	18.42	7.49	44,843	3.46	1.09	13.15	3.80	12.96
		45	57.40	91.80	19.80	8.40	7.90	1,250	1,402	25.23	18.10	7.13	45,000	3.45	1.13	13.20	3.83	13.04
		50	58.30	91.00	19.50	8.40	8.00	1,250	1,420	25.07	18.04	7.03	44,932	3.44	1.08	13.18	3.83	13.06
		55	57.40	92.70	19.80	8.20	7.70	1,250	1,366	25.23	17.98	7.25	44,559	3.45	1.14	13.07	3.79	12.92
		60	56.80	92.60	19.60	8.20	8.10	1,250	1,437	24.94	17.98	6.96	45,018	3.44	1.09	13.21	3.84	13.09
Mean			**58.14**	**91.36**	**20.48**	**9.25**	**7.83**	**1250.00**	**1390.07**	**26.06**	**18.85**	**7.21**	**45095.35**	**3.47**	**1.11**	**13.23**	**3.82**	**13.01**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter

ข้อมูลการวิเคราะห์คุณสมบัติสารทำความเย็น R-22 และกราฟแสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-1 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ Standard)

สภาวะที่ใช้ในห้องทดสอบ

ห้องควบคุมความเย็น T_{DB} = 27 °C, T_{WB} = 19 °C

ห้องควบคุมความร้อน T_{DB} = 35 °C, T_{WB} = 24.0 °C (40 %RH)

อัตราการไหลของน้ำ = - l/min

แรงดันน้ำที่ใช้พ่น = - bar

ข้อกำหนดเครื่องปรับอากาศ

แรงดันไฟฟ้า	220	V	ความถี่ไฟฟ้า	50	Hz
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมเย็นสูงสุด			1,150		rpm
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมร้อนสูงสุด			947		rpm
ปริมาณน้ำยา R-22 ที่อัดเข้าระบบ			1.32		kg

ผลการทดสอบ

ห้องร้อน

ความดันด้านสูง	1,855.82	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	42.8	°C
ความดันด้านสูง	558.38	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	9.4	°C

ห้องเย็น

อุณหภูมิลมส่ง 15.6 °C

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์อากาศ = 525 W

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ = 1200 W

ขีดความสามารถทำความเย็น = กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์อากาศ + ฮีตเตอร์น้ำ + 1,250 W

= 525 + 1,200 + 1,250 W

= 2,975 W

กำลังไฟฟ้ารวม	1,225	W
กระแสไฟฟ้า	6.3	A
COP	2.43	
ปริมาณน้ำกลั่น	1.32	kg/hr

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-2 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 1)

สภาวะที่ใช้ในห้องทดสอบ

ห้องควบคุมความเย็น T_{DB} = 27 °C, T_{WB} = 19 °C

ห้องควบคุมความร้อน T_{DB} = 35 °C, T_{WB} = 26.1 °C (50 %RH)

อัตราการไหลของน้ำ = - l/min

แรงดันน้ำที่ใช้พ่น = - bar

ข้อกำหนดเครื่องปรับอากาศ

แรงดันไฟฟ้า	220	V	ความถี่ไฟฟ้า	50	Hz
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมเย็นสูงสุด			1,150		rpm
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมร้อนสูงสุด			947		rpm
ปริมาณน้ำยา R-22 ที่อัดเข้าระบบ			1.32		kg

ผลการทดสอบ

ห้องร้อน

ความดันด้านสูง	1,871.73	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	43.3	°C
ความดันด้านสูง	583.83	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	9.5	°C

ห้องเย็น

อุณหภูมิลมส่ง 15.8 °C

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์อากาศ = 500 W

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ = 1200 W

ขีดความสามารถทำความเย็น = กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์อากาศ + ฮีตเตอร์น้ำ + 1,250 W

= 500 + 1,200 + 1,250 W

= 2,950 W

กำลังไฟฟ้ารวม	1,225	W
กระแสไฟฟ้า	6.3	A
COP	2.41	
ปริมาณน้ำกลั่น	1.32	kg/hr

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-3 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 2)

สภาวะที่ใช้ในห้องทดสอบ

ห้องควบคุมความเย็น T_{DB} = 27 °C, T_{WB} = 19 °C

ห้องควบคุมความร้อน T_{DB} = 35 °C, T_{WB} = 28.2 °C (60 %RH)

อัตราการไหลของน้ำ = - l/min

แรงดันน้ำที่ใช้พ่น = - bar

ข้อกำหนดเครื่องปรับอากาศ

แรงดันไฟฟ้า	220	V	ความถี่ไฟฟ้า	50	Hz
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมเย็นสูงสุด			1,150		rpm
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมร้อนสูงสุด			947		rpm
ปริมาณน้ำยา R-22 ที่อัดเข้าระบบ			1.32		kg

ผลการทดสอบ

ห้องร้อน

ความดันด้านสูง	1,898.77	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	43.7	°C
ความดันด้านสูง	586.79	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	9.6	°C

ห้องเย็น

อุณหภูมิลมส่ง 15.9 °C

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์อากาศ = 550 W

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ = 1,150 W

ขีดความสามารถทำความเย็น = กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์อากาศ + ฮีตเตอร์น้ำ + 1,250 W

= 550 + 1,150 + 1,250 W

= 2,950 W

กำลังไฟฟ้ารวม	1,225	W
กระแสไฟฟ้า	6.3	A
COP	2.41	
ปริมาณน้ำกลั่น	1.32	kg/hr

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-4 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 3)

สภาวะที่ใช้ในห้องทดสอบ

ห้องควบคุมความเย็น T_{DB} = 27 °C, T_{WB} = 19 °C

ห้องควบคุมความร้อน T_{DB} = 32.5 °C, T_{WB} = 26.4 °C (65 %RH)

อัตราการไหลของน้ำ = - l/min

แรงดันน้ำที่ใช้พ่น = - bar

ข้อกำหนดเครื่องปรับอากาศ

แรงดันไฟฟ้า	220	V	ความถี่ไฟฟ้า	50	Hz
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมเย็นสูงสุด			1,150		rpm
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมร้อนสูงสุด			947		rpm
ปริมาณน้ำยา R-22 ที่อัดเข้าระบบ			1.32		kg

ผลการทดสอบ

ห้องร้อน

ความดันด้านสูง	1,722.74	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	38.7	°C
ความดันด้านสูง	567.81	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	8.1	°C

ห้องเย็น

อุณหภูมิลมส่ง 15.6 °C

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์อากาศ = 575 W

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ = 1,200 W

ขีดความสามารถทำความเย็น = กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์อากาศ + ฮีตเตอร์น้ำ + 1,250 W

= 575 + 1,200 + 1,250 W

= 3,035 W

กำลังไฟฟ้ารวม	1,175	W
กระแสไฟฟ้า	5.9	A
COP	2.58	
ปริมาณน้ำกลั่น	1.36	kg/hr

ตารางที่ จ-5 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 4)

สภาวะที่ใช้ในห้องทดสอบ

ห้องควบคุมความเย็น T_{DB} = 27 °C, T_{WB} = 19 °C

ห้องควบคุมความร้อน T_{DB} = 30 °C, T_{WB} = 25.5 °C (70 %RH)

อัตราการไหลของน้ำ = - l/min

แรงดันน้ำที่ใช้พ่น = - bar

ข้อกำหนดเครื่องปรับอากาศ

แรงดันไฟฟ้า	220	V	ความถี่ไฟฟ้า	50	Hz
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมเย็นสูงสุด			1,150		rpm
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมร้อนสูงสุด			947		rpm
ปริมาณน้ำยา R-22 ที่อัดเข้าระบบ			1.32		kg

ผลการทดสอบ

ห้องร้อน

ความดันด้านสูง	1,687.21	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	37.7	°C
ความดันด้านสูง	564.63	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	8.0	°C

ห้องเย็น

อุณหภูมิลมส่ง 15.2 °C

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์อากาศ = 570 W

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ = 1,275 W

ขีดความสามารถทำความเย็น = กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์อากาศ + ฮีตเตอร์น้ำ + 1,250 W

= 575 + 1,275 + 1,250 W

= 3,100 W

กำลังไฟฟ้ารวม	1,150	W
กระแสไฟฟ้า	6.0	A
COP	2.70	
ปริมาณน้ำกลั่น	1.48	kg/hr

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-6 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 5)

สภาวะที่ใช้ในห้องทดสอบ

ห้องควบคุมความเย็น T_{DB} = 27 °C, T_{WB} = 19 °C

ห้องควบคุมความร้อน T_{DB} = 30 °C, T_{WB} = 27.1 °C (80 %RH)

อัตราการไหลของน้ำ = - l/min

แรงดันน้ำที่ใช้พ่น = - bar

ข้อกำหนดเครื่องปรับอากาศ

แรงดันไฟฟ้า	220	V	ความถี่ไฟฟ้า	50	Hz
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมเย็นสูงสุด			1,150		rpm
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมร้อนสูงสุด			947		rpm
ปริมาณน้ำยา R-22 ที่อัดเข้าระบบ			1.32		kg

ผลการทดสอบ

ห้องร้อน

ความดันด้านสูง	1,700.47	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	37.7	°C
ความดันด้านสูง	567.28	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	8.3	°C

ห้องเย็น

อุณหภูมิลมส่ง 15.4 °C

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์อากาศ = 550 W

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ = 1,225 W

ขีดความสามารถทำความเย็น = กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์อากาศ + ฮีตเตอร์น้ำ + 1,250 W

= 550 + 1,225 + 1,250 W

= 3,025 W

กำลังไฟฟ้ารวม	1,150	W
กระแสไฟฟ้า	6.0	Amp
COP	2.63	
ปริมาณน้ำกลั่น	1.48	kg/hr

ตารางที่ จ-7 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 6)

สภาวะที่ใช้ในห้องทดสอบ

ห้องควบคุมความเย็น T_{DB} = 27 °C, T_{WB} = 19 °C

ห้องควบคุมความร้อน T_{DB} = 35 °C, T_{WB} = 26.1 °C (50 %RH)

อัตราการไหลของน้ำ = 0.135 l/min

แรงดันน้ำที่ใช้พ่น = 5 bar

ข้อกำหนดเครื่องปรับอากาศ

แรงดันไฟฟ้า	220 V	ความถี่ไฟฟ้า	50 Hz
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมเย็นสูงสุด	1,150	rpm	
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมร้อนสูงสุด	947	rpm	
ปริมาณน้ำยา R-22 ที่อัดเข้าระบบ	1.32	kg	

ผลการทดสอบ

ห้องร้อน

ความดันด้านสูง	1,591.24	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	34.3	°C
ความดันด้านสูง	552.54	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	7.5	°C

ห้องเย็น

อุณหภูมิลมส่ง 14.8 °C

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์อากาศ = 550 W

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ = 1,350 W

ขีดความสามารถทำความเย็น = กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์อากาศ + ฮีตเตอร์น้ำ + 1,250 W

= 550 + 1,350 + 1,250 W

= 3,150 W

กำลังไฟฟ้ารวม	1,100	W
กระแสไฟฟ้า	5.8	A
COP	2.86	
ปริมาณน้ำกลั่น	1.50	kg/hr

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-8ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 7)

สภาวะที่ใช้ในห้องทดสอบ

ห้องควบคุมความเย็น T_{DB} = 27 °C, T_{WB} = 19 °C

ห้องควบคุมความร้อน T_{DB} = 35 °C, T_{WB} = 28.1 °C (60 %RH)

อัตราการไหลของน้ำ = 0.130 l/min

แรงดันน้ำที่ใช้พ่น = 5 bar

ข้อกำหนดเครื่องปรับอากาศ

แรงดันไฟฟ้า	220 V	ความถี่ไฟฟ้า	50 Hz
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมเย็นสูงสุด	1,150	rpm	
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมร้อนสูงสุด	947	rpm	
ปริมาณน้ำยา R-22 ที่อัดเข้าระบบ	1.32	kg	

ผลการทดสอบ

ห้องร้อน

ความดันด้านสูง	1,622.53	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	35.9	°C
ความดันด้านสูง	555.72	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	7.9	°C

ห้องเย็น

อุณหภูมิลมส่ง 15.0 °C

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์อากาศ = 525 W

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ = 1,275 W

ขีดความสามารถทำความเย็น = กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์อากาศ + ฮีตเตอร์น้ำ + 1,250 W

= 525 + 1,275 + 1,250 W

= 3,050 W

กำลังไฟฟ้ารวม	1,125	W
กระแสไฟฟ้า	5.8	A
COP	2.71	
ปริมาณน้ำกลั่น	1.29	kg/hr

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-9 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 8)

สภาวะที่ใช้ในห้องทดสอบ

ห้องควบคุมความเย็น T_{DB} = 27 °C, T_{WB} = 19 °C

ห้องควบคุมความร้อน T_{DB} = 32 .5 °C, T_{WB} = 26.4 °C (65 %RH)

อัตราการไหลของน้ำ = 0.131 l/min

แรงดันน้ำที่ใช้พ่น = 5 bar

ข้อกำหนดเครื่องปรับอากาศ

แรงดันไฟฟ้า	220 V	ความถี่ไฟฟ้า	50 Hz
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมเย็นสูงสุด	1,150	rpm	
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมร้อนสูงสุด	947	rpm	
ปริมาณน้ำยา R-22 ที่อัดเข้าระบบ	1.32	kg	

ผลการทดสอบ

ห้องร้อน

ความดันด้านสูง	1,552.01	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	33.5	°C
ความดันด้านสูง	545.65	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	7.0	°C

ห้องเย็น

อุณหภูมิลมส่ง 15.0 °C

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์อากาศ = 600 W

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ = 1,350 W

ขีดความสามารถทำความเย็น = กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์อากาศ + ฮีตเตอร์น้ำ + 1,250 W

= 600 + 1,350 + 1,250 W

= 3,200 W

กำลังไฟฟ้ารวม	1,050	W
กระแสไฟฟ้า	5.6	A
COP	3.05	
ปริมาณน้ำกลั่น	1.50	kg/hr

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-10 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 9)

สภาวะที่ใช้ในห้องทดสอบ

ห้องควบคุมความเย็น T_{DB} = 27 °C, T_{WB} = 19 °C

ห้องควบคุมความร้อน T_{DB} = 30 °C, T_{WB} = 25.5 °C (70 %RH)

อัตราการไหลของน้ำ = 0.133 l/min

แรงดันน้ำที่ใช้พ่น = 5 bar

ข้อกำหนดเครื่องปรับอากาศ

แรงดันไฟฟ้า	220 V	ความถี่ไฟฟ้า	50 Hz
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมเย็นสูงสุด	1,150	rpm	
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมร้อนสูงสุด	947	rpm	
ปริมาณน้ำยา R-22 ที่อัดเข้าระบบ	1.32	kg	

ผลการทดสอบ

ห้องร้อน

ความดันด้านสูง	1,501.11	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	31.7 °C
ความดันด้านสูง	541.41	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	6.5 °C

ห้องเย็น

อุณหภูมิลมส่ง 14.6 °C

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์อากาศ = 575 W

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ = 1,450 W

ขีดความสามารถทำความเย็น = กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์อากาศ + ฮีตเตอร์น้ำ + 1,250 W

= 575 + 1,450 + 1,250 W

= 3,275 W

กำลังไฟฟ้ารวม	1,025	W
กระแสไฟฟ้า	5.5	A
COP	3.20	
ปริมาณน้ำกลั่น	1.56	kg/hr

ตารางที่ จ-11 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในห้องทดสอบ Calorimeter (กรณีที่ 10)

สภาวะที่ใช้ในห้องทดสอบ

ห้องควบคุมความเย็น T_{DB} = 27 °C, T_{WB} = 19 °C

ห้องควบคุมความร้อน T_{DB} = 30 °C, T_{WB} = 27.1 °C (80 %RH)

อัตราการไหลของน้ำ = 0.132 l/min

แรงดันน้ำที่ใช้พ่น = 5 bar

ข้อกำหนดเครื่องปรับอากาศ

แรงดันไฟฟ้า	220 V	ความถี่ไฟฟ้า	50 Hz
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมเย็นสูงสุด		1,150	rpm
ความเร็วของพัดลมที่เครื่องเป่าลมร้อนสูงสุด		947	rpm
ปริมาณน้ำยา R-22 ที่อัดเข้าระบบ		1.32	kg

ผลการทดสอบ

ห้องร้อน

ความดันด้านสูง	1,494.21	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	31.5	°C
ความดันด้านสูง	534.78	kPa	อุณหภูมิด้านสูง	6.2	°C

ห้องเย็น

อุณหภูมิลมส่ง 14.8 °C

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์อากาศ = 700 W

กำลังไฟฟ้าของฮีตเตอร์น้ำ = 1,300 W

ขีดความสามารถทำความเย็น = กำลังไฟฟ้าจากฮีตเตอร์อากาศ + ฮีตเตอร์น้ำ + 1,250 W

= 700 + 1,300 + 1,250 W

= 3,250 W

กำลังไฟฟ้ารวม	1,025	W
กระแสไฟฟ้า	5.5	A
COP	3.17	
ปริมาณน้ำกลั่น	1.66	kg/hr

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-12 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี Standard)

กรณีที่ Standard T_{room} : T_{db} = 27 °C , T_{wb} = 19 °C m_W = - l/min

$T_{outdoor}$: T_{db} = 35 °C , T_{wb} = 24 °C (%RH = 40%) R-22 = 1.32 kg

เวลา	T_{room}		$T_{in,cond}$		$T_{out,cond}$		ความดันตำแหน่งต่างๆ (abs)				อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)				เอนทัลปีที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)				m_R	Q_E	W_C	Q_C	COP
(min)	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4	h_1	h_2	h_3	h_4	(kg/s)	(kW)	(kW)	(kW)	cal
0	27.17	19.00	35.4	24.2	41.7	25.1	583.83	1927.93	1865.90	904.34	9.4	64.0	43.4	23.3	411.063	450.643	254.552	254.552	0.0210	3.287	0.831	4.118	3.954
5	27.13	19.06	34.5	24.0	40.7	25	576.93	1900.36	1852.11	894.00	9.2	64.9	42.5	23.1	410.995	451.340	253.320	253.320	0.0211	3.327	0.851	4.178	3.908
10	27.07	19.13	34.4	24.0	40.8	24.8	576.93	1893.47	1838.33	887.11	9.2	64.3	42.3	22.9	410.995	450.928	253.048	253.048	0.0210	3.317	0.839	4.155	3.955
15	27.23	19.18	34.5	24.1	40.1	24.7	576.93	1893.47	1838.33	887.11	9.3	63.7	42.6	22.9	411.065	450.501	253.457	253.457	0.0209	3.294	0.824	4.118	3.997
20	27.24	19.24	34.8	24.1	41.4	25.0	576.93	1893.47	1831.43	890.56	9.2	63.8	42.2	22.8	410.995	450.572	252.911	252.911	0.0210	3.320	0.831	4.151	3.994
25	27.17	19.25	34.8	24.2	41.4	25.1	576.93	1893.47	1859.00	900.90	9.4	64.3	42.9	23.2	411.135	450.928	253.867	253.867	0.0210	3.303	0.836	4.138	3.952
30	27.18	19.12	34.8	24.2	41.1	25.0	583.83	1927.93	1865.90	900.90	9.5	64.4	42.8	23.2	411.132	450.928	253.730	253.730	0.0211	3.321	0.840	4.161	3.955
35	27.14	19.11	34.4	24.0	41.2	25.1	583.83	1900.36	1859.00	900.90	9.4	64.8	42.7	23.2	411.063	451.269	253.594	253.594	0.0208	3.275	0.836	4.112	3.917
40	27.15	19.08	34.7	23.9	41.1	25.0	583.83	1907.25	1852.11	897.45	9.6	64.4	42.8	23.3	411.202	450.970	253.730	253.730	0.0209	3.291	0.831	4.122	3.960
45	27.21	19.20	34.7	23.9	41.1	25.0	580.38	1914.15	1859.00	900.90	9.5	64.4	42.7	23.2	411.168	450.956	253.594	253.594	0.0210	3.309	0.836	4.145	3.960
50	27.15	19.15	34.9	23.8	40.8	25.1	580.38	1914.15	1852.11	900.90	9.4	64.6	42.7	23.1	411.099	451.098	253.594	253.594	0.0210	3.308	0.840	4.148	3.938
55	27.24	19.10	34.8	24.0	41.4	25.0	580.38	1914.15	1859.00	900.90	9.5	64.4	43.0	23.2	411.168	450.956	254.004	254.004	0.0211	3.316	0.840	4.156	3.950
60	27.11	19.12	35.3	24.1	41.8	25.0	583.83	1941.72	1893.47	907.79	9.6	64.4	43.4	23.5	411.202	450.900	254.552	254.552	0.0210	3.290	0.834	4.123	3.946
Mean	27.17	19.13	34.77	24.0	41.12	25.0	580.38	1909.37	1855.82	897.98	9.4	64.3	42.8	23.1	411.099	450.922	253.689	253.689	0.0210	3.304	0.836	4.140	3.953

หมายเหตุ อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยคอนเดนเซอร์ (T_C) = 48.5 °C

ตารางที่ จ-13 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 1)

กรณีที่ 1 T_{room} : T_{db} = 27 °C , T_{wb} = 19 °C m_W = - l/min

$T_{outdoor}$: T_{db} = 35 °C , T_{wb} = 26.1 °C (%RH = 50%) R-22 = 1.32 kg

เวลา	T_{room}		$T_{in,cond}$		$T_{out,cond}$		ความดันตำแหน่งต่างๆ (abs)				อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)				เอนทัลปีที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)				m_R	Q_E	W_C	Q_C	COP
(min)	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4	h_1	h_2	h_3	h_4	(kg/s)	(kW)	(kW)	(kW)	cal
0	27.34	19.28	35.3	26.2	42.2	27.6	590.72	1934.83	1893.47	907.79	9.6	65.6	43.3	23.6	411.131	451.767	254.415	254.415	0.0205	3.213	0.833	4.046	3.857
5	27.29	19.24	35.5	26.2	42.3	27.6	583.83	1941.72	1893.47	904.34	9.7	65.3	43.4	23.6	411.272	451.540	254.552	254.552	0.0208	3.260	0.838	4.097	3.892
10	27.25	19.1	35.4	26.3	42.1	28.2	583.83	1934.83	1879.68	907.79	9.6	65.2	43.4	23.5	411.202	451.483	254.552	254.552	0.0208	3.258	0.838	4.096	3.889
15	27.02	19.45	35.5	26.2	42.1	28.5	583.83	1907.25	1865.90	904.34	9.5	65.0	43.3	23.4	411.132	451.397	254.415	254.415	0.0207	3.244	0.833	4.078	3.892
20	27.09	18.99	35.2	26.4	41.2	27.4	583.83	1900.36	1872.79	900.90	9.6	64.9	43.4	23.4	411.202	451.340	254.552	254.552	0.0207	3.243	0.831	4.074	3.903
25	27.06	18.99	35.0	26.2	41.3	27.5	583.83	1927.93	1872.79	897.45	9.7	63.9	43.3	23.4	411.272	450.572	254.415	254.415	0.0206	3.231	0.810	4.041	3.991
30	27.09	18.96	35.2	26.2	41.3	27.0	576.93	1900.36	1852.11	897.45	9.3	64.6	42.9	23.1	411.065	451.127	253.867	253.867	0.0208	3.270	0.833	4.103	3.924
35	27.12	19.11	35.1	26.2	41.5	27.1	583.83	1927.93	1865.90	897.45	9.6	63.7	43.8	23.2	411.202	450.430	255.101	255.101	0.0208	3.247	0.816	4.063	3.979
40	27.14	19.13	35.3	26.0	41.7	27.1	583.83	1927.93	1865.90	897.45	9.4	64.0	43.3	23.2	411.063	450.643	254.415	254.415	0.0207	3.243	0.819	4.062	3.958
45	27.13	19.19	35.2	26.0	41.5	26.9	583.83	1927.93	1865.90	894.00	9.4	64.4	43.2	23.3	411.063	450.928	254.278	254.278	0.0209	3.277	0.833	4.110	3.933
50	27.21	19.23	35.2	26.2	41.6	26.9	583.83	1927.93	1865.90	900.90	9.4	64.6	43.1	23.2	411.063	451.070	254.141	254.141	0.0209	3.280	0.836	4.116	3.922
55	27.16	18.82	35.3	26.1	41.7	26.8	583.83	1927.93	1865.90	900.90	9.6	64.9	43.2	23.4	411.202	451.283	254.278	254.278	0.0210	3.295	0.842	4.137	3.915
60	27.08	18.69	35.4	26.2	41.8	26.8	583.83	1927.93	1872.79	904.34	9.6	65.2	43.1	23.4	411.202	451.497	254.141	254.141	0.0209	3.283	0.842	4.125	3.898
Mean	**27.15**	**19.09**	**35.3**	**26.2**	**41.7**	**27.3**	**583.83**	**1924.22**	**1871.73**	**901.16**	**9.5**	**64.7**	**43.3**	**23.4**	**411.159**	**451.160**	**254.394**	**254.394**	**0.0208**	**3.257**	**0.831**	**4.088**	**3.919**

หมายเหตุ อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยคอนเดนเซอร์ (T_C) = 48.8 °C

ตารางที่ จ-14 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 2)

กรณีที่ 2 T_{room} : T_{db} = 27 °C , T_{wb} = 19 °C m_W = - l/min

$T_{outdoor}$: T_{db} = 35 °C , T_{wb} = 26.1 °C (%RH = 60%) R-22 = 1.32 kg

เวลา	T_{room}		$T_{in,cond}$		$T_{out,cond}$		ความดันตำแหน่งต่างๆ (abs)				อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)				**เอนทัลปีที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)**				m_R	Q_E	W_C	Q_C	COP
(min)	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4	h_1	h_2	h_3	h_4	(kg/s)	(kW)	(kW)	(kW)	cal
0	27.10	19.09	35.3	28.6	42.0	30.1	590.72	1941.72	1893.47	911.24	9.5	67.9	43.5	23.4	411.061	453.390	254.689	254.689	0.0207	3.237	0.876	4.113	3.694
5	27.22	19.13	35.7	28.8	42.3	30.1	587.27	1941.72	1900.36	911.24	9.6	67.9	43.8	23.4	411.166	453.390	255.101	255.101	0.0206	3.215	0.870	4.085	3.696
10	27.11	19.08	35.8	28.9	42.3	32.2	587.27	1962.40	1907.25	911.24	9.6	67.9	43.9	23.5	411.166	453.348	255.239	255.239	0.0207	3.228	0.873	4.101	3.697
15	27.14	19.05	35.8	29.0	42.5	31.1	587.27	1962.40	1907.25	914.68	9.7	68.2	44.1	23.5	411.236	453.562	255.514	255.514	0.0208	3.239	0.880	4.119	3.679
20	27.12	19.00	35.8	28.6	42.3	31.2	587.27	1962.40	1907.25	911.24	9.7	68.6	44.0	23.5	411.236	453.847	255.376	255.376	0.0208	3.242	0.886	4.128	3.658
25	27.09	19.00	35.7	28.6	42.2	31.0	587.27	1955.50	1900.36	911.24	9.7	68.4	43.9	23.6	411.236	453.718	255.239	255.239	0.0208	3.245	0.884	4.128	3.672
30	27.00	18.93	35.5	29.1	42.0	30.8	585.89	1934.83	1900.36	911.24	9.6	68.2	43.3	23.4	411.181	453.618	254.415	254.415	0.0207	3.245	0.878	4.124	3.694
35	26.96	18.96	35.4	29.1	42.3	30.3	585.89	1934.83	1893.47	904.34	9.6	67.6	43.6	23.4	411.181	453.191	254.826	254.826	0.0208	3.252	0.874	4.126	3.722
40	27.11	18.97	35.5	28.5	41.9	30.1	587.27	1934.83	1893.47	907.79	9.7	67.9	43.6	23.4	411.236	453.404	254.826	254.826	0.0208	3.253	0.877	4.130	3.709
45	27.18	19.08	35.4	28.5	42.0	30.1	587.27	1934.83	1893.47	911.24	9.7	67.8	43.7	23.5	411.236	453.333	254.964	254.964	0.0207	3.235	0.871	4.106	3.712
50	27.06	19.06	35.7	28.7	41.7	30.1	587.27	1934.83	1893.47	911.24	9.7	67.9	43.6	23.5	411.236	453.404	254.826	254.826	0.0207	3.238	0.873	4.111	3.709
55	27.14	19.03	35.4	28.4	41.9	30.0	583.83	1934.83	1900.36	907.79	9.5	67.5	43.9	23.5	411.132	453.119	255.239	255.239	0.0208	3.243	0.873	4.116	3.713
60	27.04	18.89	35.4	28.4	42.0	30.0	583.83	1934.83	1893.47	907.79	9.6	67.7	43.5	23.4	411.202	453.262	254.689	254.689	0.0207	3.240	0.871	4.110	3.721
Mean	27.10	19.02	35.6	28.7	42.1	30.5	586.79	1943.84	1898.77	910.18	9.6	68.0	43.7	23.5	411.193	453.430	254.996	254.996	0.0207	3.239	0.876	4.115	3.698

หมายเหตุ อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยคอนเดนเซอร์ (T_C) = 49.4 °C

ตารางที่ จ-15 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 3)

กรณีที่ 3 T_{room} : T_{db} = 27 °C , T_{wb} = 19 °C m_W = - l/min

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.5 °C , T_{wb} = 26.4 °C (%RH = 65%) R-22 = 1.32 kg

เวลา	T_{room}		$T_{in,cond}$		$T_{out,cond}$		ความดันตำแหน่งต่างๆ (abs)				อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)				**เอนทัลปีที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)**				m_R	Q_E	W_C	Q_C	COP
(min)	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4	h_1	h_2	h_3	h_4	(kg/s)	(kW)	(kW)	(kW)	cal
0	27.08	19.08	32.4	26.6	38.6	28.3	566.59	1790.08	1721.15	856.09	8.0	60.9	38.6	20.8	410.268	448.734	248.050	248.050	0.0204	3.309	0.785	4.094	4.217
5	27.12	19.13	32.5	26.7	38.3	28.3	566.59	1790.08	1721.15	856.09	7.9	61.0	38.6	20.8	410.198	448.805	248.050	248.050	0.0205	3.324	0.791	4.115	4.200
10	27.12	19.24	32.0	26.8	38.5	28.4	566.59	1790.08	1721.15	856.09	8.0	61.3	38.4	20.8	410.268	449.018	247.783	247.783	0.0204	3.315	0.790	4.105	4.193
15	27.05	19.17	32.3	26.6	38.6	28.4	570.04	1790.08	1721.15	859.54	8.1	61.2	38.5	20.8	410.301	448.947	247.916	247.916	0.0204	3.313	0.788	4.101	4.202
20	27.20	19.13	31.9	26.6	39.2	28.8	566.59	1790.08	1728.04	859.54	8.2	61.1	38.8	20.9	410.408	448.876	248.318	248.318	0.0205	3.323	0.789	4.111	4.214
25	27.08	19.07	32.0	26.5	38.4	28.4	570.04	1790.08	1721.15	856.09	8.1	61.8	38.6	20.9	410.301	449.372	248.050	248.050	0.0205	3.326	0.801	4.127	4.153
30	27.10	19.03	32.4	26.4	38.1	28.3	570.04	1790.08	1721.15	862.99	8.1	62.0	39.0	20.9	410.301	449.514	248.586	248.586	0.0204	3.299	0.800	4.099	4.124
35	27.14	19.19	32.3	26.6	38.2	28.5	566.59	1790.08	1721.15	862.99	8.1	62.3	39.2	21.0	410.338	449.728	248.854	248.854	0.0205	3.310	0.807	4.118	4.100
40	27.00	18.96	32.4	26.4	37.8	28.4	566.59	1783.18	1714.25	856.09	8.0	63.1	38.6	20.8	410.268	450.311	248.050	248.050	0.0205	3.325	0.821	4.146	4.051
45	27.02	19.09	32.3	26.7	38.7	28.2	566.59	1796.97	1741.83	862.99	8.1	63.1	38.2	21.1	410.338	450.281	247.515	247.515	0.0204	3.322	0.815	4.136	4.076
50	27.05	19.03	32.5	26.4	38.4	28.2	566.59	1769.40	1714.25	859.54	8.0	63.2	38.6	20.9	410.268	450.412	248.050	248.050	0.0204	3.309	0.819	4.128	4.041
55	26.99	19.03	32.0	26.5	38.1	28.3	568.66	1790.08	1721.15	856.09	8.0	63.6	38.7	21.0	410.246	450.651	248.184	248.184	0.0205	3.322	0.828	4.151	4.011
60	27.03	19.01	32.5	27.0	39.0	28.4	570.04	1803.86	1728.04	862.99	8.1	63.3	38.9	21.2	410.301	450.408	248.452	248.452	0.0204	3.302	0.818	4.120	4.035
Mean	27.07	19.09	32.3	26.6	38.5	28.4	567.81	1789.54	1722.74	859.01	8.1	62.1	38.7	20.9	410.293	449.620	248.143	248.143	0.0204	3.315	0.804	4.119	4.124

หมายเหตุ อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยคอนเดนเซอร์ (T_C) = 45.6 °C

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ-16 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 4)

กรณีที่ 4 T_{room} : T_{db} = 27 °C , T_{wb} = 19 °C m_W = - l/min

$T_{outdoor}$: T_{db} = 30 °C , T_{wb} = 25.5 °C (%RH = 70%) R-22 = 1.32 kg

เวลา	T_{room}		$T_{in,cond}$		$T_{out,cond}$		ความดันตำแหน่งต่างๆ (abs)				อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)				เอนทัลปีที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)				m_R	Q_E	W_C	Q_C	COP
(min)	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4	h_1	h_2	h_3	h_4	(kg/s)	(kW)	(kW)	(kW)	cal
0	26.94	18.97	30.6	28.1	37.2	28.8	563.15	1755.61	1693.58	845.75	8.1	63.8	37.9	20.7	410.375	450.870	247.115	247.115	0.0204	3.331	0.826	4.157	4.032
5	26.92	18.95	30.7	28.1	37.3	28.4	563.15	1755.61	1693.58	911.24	8.0	64.0	37.8	20.7	410.305	451.012	246.982	246.982	0.0203	3.315	0.826	4.142	4.012
10	26.95	18.89	30.9	27.4	37.5	28.4	563.15	1769.40	1700.47	918.13	8.2	64.1	37.9	20.7	410.445	451.052	247.115	247.115	0.0204	3.332	0.828	4.160	4.022
15	27.06	18.86	30.7	27.6	37.3	28.4	563.15	1755.61	1686.68	911.24	8.0	63.5	38.0	20.7	410.305	450.656	247.248	247.248	0.0203	3.310	0.819	4.129	4.041
20	27.14	18.97	30.6	28.0	37.0	28.4	559.70	1741.83	1686.68	907.79	7.9	63.3	37.5	20.5	410.273	450.545	246.582	246.582	0.0204	3.339	0.822	4.161	4.065
25	27.10	18.98	30.4	27.0	36.0	28.4	563.15	1728.04	1659.11	904.34	8.0	63.3	36.9	20.3	410.305	450.577	245.785	245.785	0.0204	3.356	0.822	4.178	4.085
30	27.07	18.99	30.1	26.8	36.3	27.9	570.04	1755.61	1672.90	911.24	8.0	62.6	37.2	20.5	410.231	450.017	246.183	246.183	0.0203	3.330	0.808	4.138	4.123
35	27.07	18.95	30.0	26.9	36.0	27.8	570.04	1755.61	1686.68	911.24	8.0	62.7	37.9	20.8	410.231	450.088	247.115	247.115	0.0203	3.311	0.809	4.120	4.093
40	27.12	18.96	29.9	27.9	36.6	28.1	566.59	1741.83	1672.90	911.24	7.9	63.1	37.2	20.4	410.198	450.403	246.183	246.183	0.0203	3.330	0.816	4.146	4.079
45	26.97	18.98	30.1	27.0	36.8	28.1	563.15	1755.61	1686.68	911.24	8.1	63.0	37.6	20.6	410.375	450.301	246.715	246.715	0.0204	3.339	0.814	4.153	4.099
50	27.16	19.21	30.8	27.4	36.4	28.4	563.15	1769.40	1700.47	911.24	8.0	63.4	37.9	20.7	410.305	450.555	247.115	247.115	0.0203	3.313	0.817	4.130	4.054
55	27.05	19.04	30.7	27.4	36.9	28.3	563.15	1769.40	1693.58	911.24	8.0	63.5	37.9	20.7	410.305	450.626	247.115	247.115	0.0204	3.329	0.823	4.152	4.047
60	27.11	198.97	30.7	27.4	37.4	28.5	568.66	1769.40	1700.47	914.68	8.0	63.3	38.1	20.7	410.246	450.484	247.382	247.382	0.0204	3.322	0.821	4.143	4.048
Mean	27.05	32.82	30.5	27.5	36.8	28.3	564.63	1755.61	1687.21	906.20	8.0	63.4	37.7	20.6	410.300	450.553	246.818	246.818	0.0204	3.327	0.819	4.147	4.062

หมายเหตุ อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยคอนเดนเซอร์ (T_C) = 44.7 °C

ตารางที่ จ-17 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 5)

กรณีที่ 5 T_{room} : T_{db} = 27 °C , T_{wb} = 19 °C m_W = - l/min

$T_{outdoor}$: T_{db} = 30 °C , T_{wb} = 27.1 °C (%RH = 80%) R-22 = 1.32 kg

เวลา	T_{room}		$T_{in,cond}$		$T_{out,cond}$		ความดันตำแหน่งต่างๆ (abs)				อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)				**เอนทัลปีที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)**				m_R	Q_E	W_C	Q_C	COP
(min)	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4	h_1	h_2	h_3	h_4	(kg/s)	(kW)	(kW)	(kW)	cal
0	26.95	18.95	30.1	26.0	37.2	27.1	570.04	1755.61	1686.68	845.75	8.4	64.4	37.6	20.8	410.510	451.296	246.715	246.715	0.0203	3.325	0.828	4.153	4.016
5	27.03	18.99	30.4	26.0	37.0	27.1	563.15	1714.25	1672.90	838.86	8.3	64.3	37.2	20.6	410.515	451.319	246.183	246.183	0.0204	3.352	0.832	4.185	4.027
10	26.96	19.03	30.0	26.2	37.9	27.0	563.15	1755.61	1693.58	842.31	8.2	63.8	37.5	20.7	410.445	450.870	246.582	246.582	0.0203	3.326	0.821	4.147	4.054
15	27.03	19.15	30.0	26.0	37.2	27.0	559.70	1755.61	1693.58	845.75	8.2	64.3	37.3	20.7	410.482	451.225	246.316	246.316	0.0204	3.349	0.831	4.180	4.029
20	27.08	19.17	30.1	26.0	37.3	27.0	561.77	1755.61	1693.58	845.75	8.1	64.2	37.3	20.7	410.390	451.154	246.316	246.316	0.0203	3.331	0.828	4.158	4.025
25	27.16	19.04	30.7	25.8	37.4	27.8	566.59	1755.61	1686.68	849.20	8.3	63.8	37.6	20.8	410.477	450.870	246.715	246.715	0.0204	3.341	0.824	4.165	4.054
30	27.09	19.10	30.8	26.3	37.6	27.5	570.04	1755.61	1686.68	849.20	8.3	64.3	37.5	20.8	410.441	451.225	246.582	246.582	0.0202	3.310	0.824	4.134	4.018
35	27.13	19.12	30.6	26.3	37.8	27.4	570.04	1783.18	1721.15	856.09	8.3	64.7	38.1	21.0	410.441	451.448	247.382	247.382	0.0203	3.310	0.832	4.143	3.976
40	27.08	19.10	30.6	26.0	37.1	27.7	570.04	1783.18	1734.93	852.65	8.3	64.6	38.1	20.9	410.441	451.377	247.382	247.382	0.0202	3.294	0.827	4.121	3.983
45	27.10	19.10	30.7	26.3	37.4	27.3	570.04	1783.18	1714.25	852.65	8.3	64.6	38.1	20.9	410.441	451.377	247.382	247.382	0.0202	3.294	0.827	4.121	3.983
50	27.11	19.04	30.8	26.0	37.8	27.3	570.04	1783.18	1714.25	852.65	8.3	64.0	38.0	20.8	410.441	450.950	247.248	247.248	0.0203	3.313	0.822	4.135	4.028
55	27.12	18.97	30.8	26.0	37.6	27.3	570.04	1783.18	1700.47	849.20	8.3	63.8	38.0	20.8	410.441	450.808	247.248	247.248	0.0202	3.296	0.815	4.112	4.043
60	27.07	18.96	30.6	26.1	37.6	27.4	570.04	1776.29	1707.36	852.65	8.4	64.5	38.2	20.9	410.510	451.321	247.515	247.515	0.0202	3.292	0.824	4.117	3.994
Mean	27.07	19.06	30.5	26.1	37.5	27.3	567.28	1764.62	1700.47	848.67	8.3	64.3	37.7	20.8	410.459	451.172	246.890	246.890	0.0203	3.318	0.826	4.144	4.018

หมายเหตุ อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยคอนเดนเซอร์ (T_C) = 45.0 °C

ตารางที่ จ-18 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 6)

กรณีที่ 6 T_{room} : T_{db} = 27 °C , T_{wb} = 19 °C m_W = 0.135 l/min P_W = 5 Bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 35 °C , T_{wb} = 26.1 °C (%RH = 50%) R-22 = 1.32 kg

เวลา	T_{room}		$T_{in,cond}$		$T_{out,cond}$		ความดันตำแหน่งต่างๆ (abs)				อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)				**เอนทัลปีที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)**				m_R	Q_E	W_C	Q_C	COP
(min)	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4	h_1	h_2	h_3	h_4	(kg/s)	(kW)	(kW)	(kW)	cal
0	27.04	19.10	35.5	26.6	38.3	28.0	559.70	1679.79	1597.08	883.66	7.7	65.5	34.6	19.8	410.133	452.252	242.748	242.748	0.0203	3.398	0.855	4.253	3.974
5	27.04	19.02	35.6	26.8	38.3	28.1	556.25	1686.68	1631.54	883.66	7.8	64.4	35.5	20.1	410.240	451.454	243.932	243.932	0.0201	3.343	0.828	4.171	4.035
10	27.02	19.10	35.5	26.6	37.8	27.6	556.25	1672.90	1590.18	883.66	7.6	64.6	34.5	19.5	410.101	451.628	242.617	242.617	0.0202	3.383	0.839	4.222	4.033
15	26.93	19.03	35.8	26.8	37.6	27.5	556.25	1672.90	1590.18	883.66	7.6	64.6	34.0	19.5	410.101	451.628	241.961	241.961	0.0202	3.396	0.839	4.235	4.049
20	26.99	19.03	35.0	26.4	37.3	27.5	556.25	1672.90	1590.18	880.22	7.5	64.5	34.1	19.4	410.031	451.557	242.092	242.092	0.0202	3.392	0.839	4.231	4.044
25	27.01	19.01	35.1	26.6	37.8	27.6	552.81	1672.90	1590.18	878.84	7.4	64.5	33.9	19.3	409.999	451.557	241.830	241.830	0.0201	3.380	0.835	4.216	4.047
30	27.13	19.05	35.4	26.7	37.6	27.8	542.47	1652.22	1583.29	880.22	7.4	65.0	34.0	19.3	410.114	451.961	241.961	241.961	0.0202	3.397	0.845	4.242	4.018
35	26.97	19.08	35.6	26.6	37.5	28.1	542.47	1652.22	1583.29	880.22	7.4	65.0	33.9	19.3	410.114	451.961	241.830	241.830	0.0203	3.416	0.850	4.266	4.021
40	26.94	18.98	35.2	26.7	38.1	28.0	556.25	1652.22	1583.29	880.22	7.5	66.0	34.5	19.4	410.031	452.673	242.617	242.617	0.0202	3.382	0.861	4.243	3.926
45	27.39	19.05	35.4	26.8	38.2	28.0	556.25	1652.22	1583.29	883.66	7.4	66.1	34.3	19.4	409.961	452.744	242.354	242.354	0.0201	3.369	0.860	4.229	3.918
50	27.11	19.11	35.3	26.7	37.9	27.8	549.36	1645.33	1583.29	883.66	7.6	65.6	34.2	19.4	410.177	452.405	242.223	242.223	0.0202	3.393	0.853	4.246	3.977
55	27.08	19.02	35.1	26.5	37.0	27.5	549.36	1652.22	1590.18	883.66	7.6	65.3	34.3	19.3	410.177	452.175	242.354	242.354	0.0202	3.390	0.848	4.238	3.996
60	27.12	19.01	34.9	26.6	37.6	27.6	549.36	1652.22	1590.18	883.66	7.6	64.7	34.3	19.3	410.177	451.748	242.354	242.354	0.0202	3.390	0.840	4.230	4.037
Mean	27.06	19.04	35.3	26.6	37.8	27.8	552.54	1662.82	1591.24	882.23	7.5	65.1	34.3	19.5	410.104	451.980	242.375	242.375	0.0202	3.387	0.846	4.232	4.006

หมายเหตุ อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยคอนเดนเซอร์ (T_C) = 42.4 °C

ตารางที่ จ-19 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 7)

กรณีที่ 7 T_{room} : T_{db} = 27 °C , T_{wb} = 19 °C m_W = 0.130 l/min P_W = 5 Bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 35 °C , T_{wb} = 28.2°C (%RH = 60%) R-22 = 1.32 kg

เวลา	T_{room}		$T_{in,cond}$		$T_{out,cond}$		ความดันตำแหน่งต่างๆ (abs)				อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)				เอนทัลปีที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)				m_R	Q_E	W_C	Q_C	COP
(min)	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4	h_1	h_2	h_3	h_4	(kg/s)	(kW)	(kW)	(kW)	cal
0	27.07	19.03	35.2	28.1	38.7	29.8	549.36	1659.11	1617.75	887.11	7.8	65.7	35.7	19.9	410.316	452.443	244.196	244.196	0.0202	3.356	0.851	4.207	3.943
5	27.09	19.13	36.0	28.9	38.8	29.7	556.25	1700.47	1645.33	897.45	7.8	66.0	36.4	20.2	410.240	452.560	245.122	245.122	0.0203	3.352	0.859	4.211	3.902
10	27.04	19.11	35.4	28.6	38.7	29.6	549.36	1700.47	1617.75	890.56	7.9	65.5	36.2	20.3	410.386	452.204	244.857	244.857	0.0202	3.344	0.845	4.188	3.958
15	27.11	19.18	35.3	28.5	38.7	29.7	549.36	1700.47	1624.65	890.56	7.9	65.6	36.3	20.2	410.386	452.275	244.989	244.989	0.0202	3.341	0.846	4.187	3.948
20	27.08	19.24	35.2	28.4	38.4	29.6	556.25	1686.68	1617.75	890.56	7.9	66.7	35.6	20.1	410.310	453.090	244.064	244.064	0.0203	3.375	0.868	4.243	3.886
25	27.12	19.22	35.1	28.8	38.5	29.4	556.25	1700.47	1624.65	897.45	7.7	66.7	35.7	19.9	410.171	453.058	244.196	244.196	0.0202	3.353	0.866	4.219	3.870
30	27.08	19.23	35.0	28.7	38.4	29.4	563.15	1686.68	1617.75	890.56	7.8	67.1	35.6	19.8	410.165	453.374	244.064	244.064	0.0202	3.355	0.873	4.228	3.844
35	27.14	19.19	34.9	28.8	38.0	29.6	556.25	1686.68	1624.65	897.45	7.9	67.0	35.7	20.0	410.310	453.303	244.196	244.196	0.0202	3.356	0.868	4.224	3.864
40	27.05	19.14	35.2	28.8	38.4	29.4	563.15	1686.68	1617.75	897.45	7.9	67.0	35.8	20.2	410.235	453.303	244.328	244.328	0.0203	3.368	0.874	4.242	3.852
45	27.10	19.11	35.4	28.9	38.5	29.5	556.25	1686.68	1624.65	894.00	7.8	66.9	35.7	20.1	410.240	453.232	244.196	244.196	0.0202	3.354	0.868	4.223	3.862
50	26.99	18.98	35.3	28.7	38.5	29.5	556.25	1686.68	1624.65	890.56	7.9	66.4	36.0	20.0	410.310	452.876	244.592	244.592	0.0201	3.331	0.856	4.187	3.893
55	27.06	19.02	35.2	28.6	38.3	29.4	556.25	1686.68	1617.75	890.56	8.0	66.8	35.9	20.1	410.380	453.161	244.460	244.460	0.0202	3.352	0.864	4.216	3.878
60	27.11	19.09	35.2	28.5	37.9	28.9	556.25	1686.68	1617.75	887.11	7.9	66.7	35.8	20.2	410.310	453.090	244.328	244.328	0.0202	3.353	0.864	4.217	3.880
Mean	**27.08**	**19.13**	**35.3**	**28.6**	**38.4**	**29.5**	**555.72**	**1688.80**	**1622.53**	**892.41**	**7.9**	**66.5**	**35.9**	**20.1**	**410.289**	**452.921**	**244.430**	**244.430**	**0.0202**	**3.353**	**0.862**	**4.215**	**3.891**

หมายเหตุ อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยคอนเดนเซอร์ (T_C) = 43.1 °C

ตารางที่ จ-20 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 8)

กรณีที่ 8 T_{room} : T_{db} = 27 °C , T_{wb} = 19 °C m_W = 0.133 l/min P_W = 5 Bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 32.5 °C , T_{wb} = 26.4 °C (%RH = 65%) R-22 = 1.32 kg

เวลา	T_{room}		$T_{in,cond}$		$T_{out,cond}$		ความดันตำแหน่งต่างๆ (abs)				อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)				เอนทัลปีที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)				m_R	Q_E	W_C	Q_C	COP
(min)	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4	h_1	h_2	h_3	h_4	(kg/s)	(kW)	(kW)	(kW)	cal
0	27.15	19.25	32.5	27.0	36.5	28.3	549.36	1617.75	1569.50	804.40	7.0	66.7	34.0	19.0	409.757	453.254	241.961	241.961	0.0198	3.322	0.861	4.184	3.858
5	27.10	19.24	32.3	27.0	35.8	28.3	545.91	1617.75	1548.83	800.95	6.9	66.7	33.5	18.9	409.726	453.254	241.307	241.307	0.0198	3.335	0.862	4.197	3.869
10	27.08	19.28	32.6	26.9	35.9	28.4	545.91	1617.75	1548.83	800.95	6.9	66.7	33.3	18.7	409.726	453.254	241.045	241.045	0.0198	3.340	0.862	4.202	3.875
15	27.09	19.18	32.3	26.9	36.3	28.4	545.91	1617.75	1548.83	797.50	7.1	66.5	33.3	18.8	409.865	453.111	241.045	241.045	0.0198	3.343	0.856	4.199	3.904
20	26.96	19.11	32.6	26.8	36.7	28.8	549.36	1617.75	1548.83	800.95	7.2	66.3	33.5	18.8	409.897	452.969	241.307	241.307	0.0198	3.338	0.853	4.191	3.914
25	27.00	19.10	32.5	26.8	36.2	28.4	549.36	1617.75	1548.83	800.95	7.1	66.0	33.8	18.8	409.827	452.756	241.699	241.699	0.0198	3.329	0.850	4.179	3.916
30	27.01	19.11	32.6	26.5	35.8	28.4	545.91	1617.75	1548.83	797.50	6.9	66.0	33.3	18.5	409.726	452.756	241.045	241.045	0.0198	3.340	0.852	4.192	3.920
35	27.03	19.16	32.0	27.0	35.4	28.6	545.91	1617.75	1548.83	797.50	7.0	66.7	33.3	18.6	409.796	453.254	241.045	241.045	0.0198	3.341	0.860	4.202	3.883
40	26.98	18.96	32.1	26.9	36.8	28.4	545.91	1603.97	1548.83	797.50	6.9	66.2	33.3	18.5	409.726	452.932	241.045	241.045	0.0198	3.340	0.855	4.195	3.904
45	27.02	19.11	32.7	27.0	36.3	28.3	542.47	1624.65	1555.72	800.95	7.0	66.1	33.5	18.7	409.834	452.810	241.307	241.307	0.0198	3.337	0.851	4.188	3.921
50	27.04	19.10	32.5	27.0	37.0	28.5	542.47	1624.65	1555.72	800.95	6.9	65.9	33.6	18.7	409.764	452.668	241.437	241.437	0.0198	3.333	0.849	4.182	3.923
55	27.02	19.11	32.5	26.9	36.8	28.3	542.47	1548.83	1548.83	797.50	6.9	66.5	33.7	18.5	409.764	453.283	241.568	241.568	0.0198	3.330	0.862	4.192	3.865
60	27.08	19.11	32.6	26.9	36.9	28.4	542.47	1555.72	1555.72	797.50	6.9	66.5	33.5	18.5	409.764	453.265	241.307	241.307	0.0198	3.335	0.861	4.197	3.872
Mean	**27.04**	**19.14**	**32.4**	**26.9**	**36.3**	**28.4**	**545.65**	**1607.68**	**1552.01**	**799.62**	**7.0**	**66.4**	**33.5**	**18.7**	**409.782**	**453.043**	**241.317**	**241.317**	**0.0198**	**3.336**	**0.857**	**4.192**	**3.894**

หมายเหตุ อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยคอนเดนเซอร์ (T_C) = 41.1 °C

ตารางที่ จ-21 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 9)

กรณีที่ 9 T_{room} : T_{db} = 27 °C , T_{wb} = 19 °C m_W = 0.132 l/min P_W = 5 Bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 30 °C , T_{wb} = 25.5 °C (%RH = 70%) R-22 = 1.32 kg

เวลา	T_{room}		$T_{in,cond}$		$T_{out,cond}$		ความดันตำแหน่งต่างๆ (abs)				อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)				เอนทัลปีที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)				m_R	Q_E	W_C	Q_C	COP
(min)	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4	h_1	h_2	h_3	h_4	(kg/s)	(kW)	(kW)	(kW)	cal
0	26.98	19.02	30.7	25.8	34.3	26.8	539.02	1548.83	1514.36	776.83	6.5	65.2	31.6	17.6	409.523	452.358	238.833	238.833	0.0198	3.380	0.848	4.228	3.985
5	27.01	19.03	30.8	25.8	34.2	26.6	539.02	1562.61	1507.47	776.83	6.5	64.4	31.7	17.6	409.523	451.754	238.963	238.963	0.0197	3.360	0.832	4.192	4.039
10	27.02	19.04	30.8	26.2	34.4	27.5	542.47	1583.29	1514.36	780.27	6.6	65.1	31.8	17.8	409.554	452.200	239.093	239.093	0.0196	3.341	0.836	4.177	3.997
15	26.98	19.04	30.8	26.4	34.4	27.4	542.47	1583.29	1514.36	776.83	6.5	65.5	31.7	17.7	409.484	452.485	238.963	238.963	0.0197	3.359	0.847	4.206	3.966
20	26.89	19.00	31.0	26.4	34.6	27.4.	542.47	1569.50	1500.58	773.38	6.4	65.3	32.1	17.8	409.414	452.377	239.482	239.482	0.0196	3.331	0.842	4.173	3.955
25	26.99	18.95	30.8	25.8	34.8	26.8	539.02	1569.50	1507.47	780.27	6.5	64.7	32.1	17.8	409.523	451.950	239.482	239.482	0.0196	3.333	0.832	4.164	4.008
30	27.03	18.95	31.3	26.3	34.4	26.8	542.47	1583.29	1514.36	783.72	6.6	65.1	32.1	17.9	409.554	452.200	239.482	239.482	0.0196	3.333	0.836	4.169	3.988
35	27.10	19.02	31.1	26.4	34.5	27.1	545.91	1548.83	1486.79	773.38	6.6	65.1	31.9	17.7	409.516	452.287	239.222	239.222	0.0197	3.355	0.843	4.197	3.982
40	27.02	19.01	30.4	26.2	33.8	27.5	542.47	1548.83	1479.90	769.93	6.4	65.6	31.0	17.4	409.414	452.642	238.056	238.056	0.0195	3.341	0.843	4.184	3.964
45	27.11	19.04	30.2	25.9	34.2	27.6	542.47	1548.83	1486.79	769.93	6.4	65.5	31.1	17.4	409.414	452.571	238.185	238.185	0.0197	3.373	0.850	4.223	3.968
50	27.05	18.99	30.0	25.8	34.0	27.5	542.47	1548.83	1479.90	769.93	6.4	65.5	31.1	17.3	409.414	452.571	238.185	238.185	0.0198	3.390	0.855	4.245	3.968
55	26.97	19.11	30.5	25.8	34.1	27.7	542.47	1562.61	1500.58	773.38	6.4	66.0	32.0	17.6	409.414	452.892	239.352	239.352	0.0196	3.333	0.852	4.185	3.911
60	27.03	19.02	30.1	25.8	34.4	27.5	535.58	1583.29	1507.47	773.38	6.3	67.0	31.9	17.6	409.422	453.552	239.222	239.222	0.0197	3.353	0.869	4.222	3.857
Mean	27.01	19.02	30.7	26.0	34.3	27.2	541.41	1564.73	1501.11	775.23	6.5	65.4	31.7	17.6	409.475	452.449	238.963	238.963	0.0197	3.353	0.845	4.197	3.968

หมายเหตุ อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยคอนเดนเซอร์ (T_C) = 39.9 °C

ตารางที่ จ-22 ข้อมูลการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของสารทำความเย็น R-22 (กรณี 10)

กรณีที่ 10 T_{room} : T_{db} = 27 °C , T_{wb} = 19 °C m_W = 0.131 l/min P_W = 5 Bar

$T_{outdoor}$: T_{db} = 30 °C , T_{wb} = 27.1 °C (%RH = 80%) R-22 = 1.32 kg

เวลา	T_{room}		$T_{in,cond}$		$T_{out,cond}$		ความดันตำแหน่งต่างๆ (abs)				อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ (°C)				เอนทัลปีที่ตำแหน่งต่างๆ (kJ/kg)				m_R	Q_E	W_C	Q_C	COP
(min)	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	T_{DB}	T_{WB}	P_1	P_2	P_3	P_4	T_1	T_2	T_3	T_4	h_1	h_2	h_3	h_4	(kg/s)	(kW)	(kW)	(kW)	cal
0	27.02	19.04	30.1	27.2	34.6	28.4	535.58	1548.83	1493.68	773.38	6.3	65.2	31.7	17.5	409.422	452.358	238.963	238.963	0.0194	3.307	0.833	4.140	3.970
5	27.01	19.00	30.5	27.5	34.2	28.4	539.02	1583.29	1514.36	776.83	6.3	64.8	32.0	17.6	409.383	451.987	239.352	239.352	0.0194	3.299	0.827	4.125	3.991
10	26.85	18.99	30.9	27.6	34.3	28.6	539.02	1583.29	1514.36	780.27	6.3	64.8	32.5	17.8	409.383	451.987	240.002	240.002	0.0195	3.303	0.831	4.134	3.976
15	27.04	18.97	30.6	27.6	33.8	28.5	539.02	1569.50	1500.58	776.83	6.3	65.5	31.6	17.6	409.383	452.519	238.833	238.833	0.0194	3.309	0.837	4.146	3.954
20	27.02	18.98	30.7	27.5	33.5	28.4	535.58	1569.50	1500.58	773.38	6.2	65.7	31.8	17.6	409.352	452.661	239.093	239.093	0.0194	3.303	0.840	4.143	3.931
25	27.02	18.97	30.1	26.8	33.7	28.4	535.58	1548.83	1500.58	766.49	6.2	64.7	31.3	17.3	409.352	452.002	238.444	238.444	0.0194	3.316	0.827	4.143	4.007
30	27.00	18.99	29.7	27.2	33.7	28.2	535.58	1548.83	1479.90	773.38	6.1	64.3	30.9	17.0	409.282	451.718	237.927	237.927	0.0194	3.324	0.823	4.148	4.038
35	26.99	19.01	30.0	27.3	34.5	27.8	532.13	1548.83	1479.90	766.49	6.0	64.0	31.0	17.1	409.252	451.505	238.056	238.056	0.0195	3.338	0.824	4.162	4.052
40	26.90	19.01	30.1	27.2	34.2	28.1	525.24	1535.04	1479.90	766.49	5.9	65.9	31.1	17.1	409.261	452.891	238.185	238.185	0.0194	3.319	0.846	4.165	3.921
45	27.01	19.03	30.3	26.7	34.0	28.2	525.24	1541.93	1479.90	756.15	6.0	65.8	31.1	17.0	409.331	452.802	238.185	238.185	0.0194	3.320	0.843	4.164	3.937
50	27.05	19.03	30.6	27.4	33.9	28.8	535.58	1548.83	1500.58	759.59	6.2	66.0	31.6	17.4	409.352	452.927	238.833	238.833	0.0194	3.308	0.845	4.153	3.913
55	27.09	18.93	30.8	27.3	33.9	28.7	535.58	1548.83	1486.79	769.93	6.2	64.9	31.6	17.4	409.352	452.145	238.833	238.833	0.0194	3.308	0.830	4.138	3.985
60	27.04	18.94	30.6	27.4	33.7	28.8	539.02	1562.61	1493.68	769.93	6.1	65.0	31.6	17.4	409.243	452.181	238.833	238.833	0.0194	3.306	0.833	4.139	3.969
Mean	**27**	**19**	**30.4**	**27.3**	**34.0**	**28.4**	**534.78**	**1556.78**	**1494.21**	**769.93**	**6.2**	**65.1**	**31.5**	**17.4**	**409.335**	**452.283**	**238.734**	**238.734**	**0.0194**	**3.312**	**0.834**	**4.146**	**3.973**

หมายเหตุ อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยคอนเดนเซอร์ (T_C) = 39.7 °C

ภาคผนวก ฉ

การพิจารณาความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์

นอกจากการพิจารณาสรรถนะและประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจะต้องพิจารณาความคุ้มค่าทางเชิงเศรษฐศาสตร์ของการปรับปรุงระบบปรับอากาศจากที่ใช้เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศขนาด 15,000 และ 48,000 Btu ไปเป็นเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ พบว่าสามารถเพิ่มค่า COP ของระบบได้เพิ่มขึ้นและลดกำลังไฟฟ้า (W_T) ที่ใช้ในระบบลง สำหรับการคำนวณหาผลตอบแทนการลงทุนได้ดังนี้

การคำนวณเราจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1.คำนวณเมื่อใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาด 15,000 และ 2. คำนวณเมื่อใช้กับเครื่องปรับอากาศขนาด 48,000 โดยเราจะกำหนดเงื่อนไข โดยในส่วนที่ 1 จากการทดสอบจะได้ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ ฉ-1 แสดงข้อมูลและเปรียบเทียบค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบพ่นน้ำของเครื่องปรับอากาศขนาด 15,000 Btu/hr

Condenser	Pressure	อากาศภายนอก		ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		4.5xCFMxΔh	ปริมาณน้ำที่ใช้	W_{Total}	COP
	Water	Temp	%RH	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(Btu/hr)	(L/min)	(kW).	
Air Cooled	-	32.7	67.4	52.08	76.39	24.0	10.4	12410.46	-	1.27	2.86
Spray Cooled	5	32.6	66.7	51.64	78.64	23.9	9.9	12402.78	0.138	1.08	3.37
Mean				-0.84%	+2.95%	-0.42%	-4.81%	-0.06%	-	-14.96%	+17.83%

***หมายเหตุ + แทนการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น - การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น**

จากตารางที่ ฉ-1 ข้อมูลเปรียบเทียบจากการทดสอบเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น15,000 Btu/hr ระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงเปรียบเทียบกัน พบว่าขีดความสามารถของการทำความเย็นลดลงเพียง 0.06 % อัตราพลังงานโดยรวมที่ป้อนให้กับระบบลดลง 14.96% ขณะที่ค่า COP เพิ่มขึ้น 17.83%

ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อทำการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนให้เป็นแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำไม่ได้ทำให้สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศลดลง

ในขณะที่อัตราพลังงานที่ป้อนให้กับระบบลดลง ช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศดีขึ้นกว่าเดิม

ดังนั้นในการติดตั้งระบบ จะพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งระบบ โดยมีเงื่อนไขในการคำนวณความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณ

เงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณหาผลตอบแทนการลงทุนมีดังนี้

- บริเวณห้องปรับอากาศมีภาระความร้อนเฉลี่ยเท่ากัน และ 1 ชุดของเครื่องพ่นน้ำใช้กับคอนเดนเซอร์ 15 ชุดโดยแต่ละชุดใช้หัวฉีด 1 หัว

รายการเงื่อนไข	**ข้อมูล**
1.ชั่วโมงการทำงานของเครื่องปรับอากาศ(คิดที่ติดตั้งอาคารที่ทำงาน 8.00 – 18.00 น.)	10 ชั่วโมง
2.ชั่วโมงการทำงานในรอบ 1 ปีของเครื่องปรับอากาศ(ทำงาน 5 วัน/week,52 week/ปี)	2600 hr/ปี
3.ค่าบำรุงรักษารายปี(คิดเป็น 3 % ของต้นทุนการสร้าง)	528 บาท
4.อายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ	10
5.ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (kW-hr) เมื่อใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง 151-400 หน่วย	2.78 บาท
6.ค่าน้ำประปา	8.5 บาท/m^3
7.อัตราดอกเบี้ย	10
โดยในการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศจะมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มเข้ามาดังนี้	
1.ค่าใช้ทำระบบพ่นน้ำ,หัวฉีด 15 หัวและอุปกรณ์ต่างๆ	16,600 บาท
2.ค่าติดตั้ง	1,000 บาท
รวมค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง	17,600 บาท

ฉ.1 ระยะเวลาคืนทุน

รายรับ/ปี = ค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่สามารถประหยัดได้ต่อปี

= พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ x จำนวนชั่วโมงการทำงานรอบปี x อัตราค่าไฟฟ้า

= [(0.19 x 15)x 2600 x 2.78]

= 20,599.80 บาท/ปี

รายจ่าย/ปี = ค่าน้ำที่ใช้ระบายความร้อน + ค่าไฟฟ้าสำหรับปั๊มแรงดันสูง + ค่าบำรุงรักษารายปี

=[(0.138 x 15 x 60 x 2600) x 8.5 /1000] + [(0.23 x 2600 x 2.78)] + 528

= 2,744.82 + 1662.44 + 528

= 4,935.26 บาท/ปี

ผลตอบแทนสุทธิ/ปี = รายรับ/ปี – รายจ่าย/ปี

= 20,599.80 - 4,935.26

= 15,664.54 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน / ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี

= 17,600 / 15,664.54

= 1.12 ปี หรือประมาณ 1 ปี 2 เดือน

ฉ.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

จากสมการ $$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} = \sum_{n=0}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n}$$

หรือ $$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC$$

เมื่อ TIC = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก = 17,600 บาท

NCF_n = ผลตอบแทนสุทธิในปีที่ n (บาท/ปี)

i = อัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ย = 0.10 % /ปี

R_n = ผลตอบแทนที่ได้รับในปีที่ n = 20,599.80 บาท

C_n = ค่าใช้จ่ายในปีที่ n = 4,935.26 บาท

N = อายุของโครงการ = 10 ปี

จะได้ $$NPV = \sum_{n=1}^{10} \frac{(20,599.8 - 4,935.26)}{(1+0.1)^n} - 17,600$$

= 89,101.65 – 17,600

= 71,501.65 บาท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฉ.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR)

จากสมการ $$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC = 0$$

$$= \sum_{n=1}^{10} \frac{(20,599.8 - 4,935.26)}{(1+0.1)^n} - 17,600 = 0$$

พิจารณาหาค่า n โดยวิธี Trial and error จะได้ i = 0.89 หรือ 89 %

IRR = 89 %

สำหรับในการพิจารณาการลงทุน จะพิจารณาจำนวนเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมคุ้มค่ากับการลงทุนต่อจำนวนชุดพ่นน้ำ 1 ชุด โดยคำนวณและแสดงข้อมูลดังตารางที่ ฉ-2 ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ-2 แสดงการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาด 15,000 Btu/hr

จำนวนเครื่อง No	P_{save} (kW)	ชม.ทำงาน (hr/ปี)	ค่าไฟฟ้า (kWh/บาท)	ประหยัดได้ (บาท/ปี)	ค่าน้ำ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าปั๊ม (บาท/ปี)	ลงทุนครั้งแรก (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)	รวมรายจ่าย (บาท/ปี)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)	NPV (บาท)	IRR (%)
1	0.19	2,600	2.78	1,373.32	182.99	1,662.44	6,400.00	192.00	2,037.43	-664.11	-9.6	-9,527.87	หาค่าไม่ได้
2	0.38	2,600	2.78	2,746.64	365.98	1,662.44	7,200.00	216.00	2,244.42	502.22	14.3	-3,740.05	-6%
3	0.57	2,600	2.78	4,119.96	548.96	1,662.44	8,000.00	240.00	2,451.40	1,668.56	4.8	2,047.78	16%
4	0.76	2,600	2.78	5,493.28	731.95	1,662.44	8,800.00	264.00	2,658.39	2,834.89	3.1	7,835.60	30%
5	0.95	2,600	2.78	6,866.60	914.94	1,662.44	9,600.00	288.00	2,865.38	4,001.22	2.4	13,623.42	40%
6	1.14	2,600	2.78	8,239.92	1,097.93	1,662.44	10,400.00	312.00	3,072.37	5,167.55	2.0	19,411.25	49%
7	1.33	2,600	2.78	9,613.24	1,280.92	1,662.44	11,200.00	336.00	3,279.36	6,333.88	1.8	25,199.07	56%
8	1.52	2,600	2.78	10,986.56	1,463.90	1,662.44	12,000.00	360.00	3,486.34	7,500.22	1.6	41,568.71	62%
9	1.71	2,600	2.78	12,359.88	1,646.89	1,662.44	12,800.00	384.00	3,693.33	8,666.55	1.5	36,774.71	67%
10	1.9	2,600	2.78	13,733.20	1,829.88	1,662.44	13,600.00	408.00	3,900.32	9,832.88	1.4	42,562.54	72%
11	2.09	2,600	2.78	15,106.52	2,012.87	1,662.44	14,400.00	432.00	4,107.31	10,999.21	1.3	48,350.36	76%
12	2.28	2,600	2.78	16,479.84	2,195.86	1,662.44	15,200.00	456.00	4,314.30	12,165.54	1.2	54,138.18	80%
13	2.47	2,600	2.78	17,853.16	2,378.84	1,662.44	16,000.00	480.00	4,521.28	13,331.88	1.2	59,926.01	83%
14	2.66	2,600	2.78	19,226.48	2,561.83	1,662.44	16,800.00	504.00	4,728.27	14,498.21	1.2	65,713.83	86%
15	2.85	2,600	2.78	20,599.80	2,744.82	1,662.44	17,600.00	528.00	4,935.26	15,664.54	1.1	71,501.65	89%

ดังนั้นจะได้ว่า เมื่อทำการลงทุนติดตั้งระบบพ่นน้ำ 1 ชุดกับเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr จำนวน 6 เครื่องขึ้นไป (แต่ละเครื่องติดหัวฉีด 1 หัว) จึงจะคุ้มค่าในการลงทุน เนื่องจากสามารถคืนทุนในระยะเวลาภายใน 2 ปี และค่า IRR เท่ากับ 49 % และถ้าหากติดตั้งกับ 15 เครื่อง สามารถให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าเมื่อคิดมูลค่าปัจจุบัน(NPV) เท่ากับ 71,501.65 บาท หรือสามารถหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนหรือ IRR สูงสุด89 %

จากการทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr จะได้ข้อมูลดังตาราง ซ-3 ดังนี้

ตารางที่ ฉ-3 แสดงข้อมูลและเปรียบเทียบค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบพ่นน้ำของเครื่องปรับอากาศขนาด 48,000 Btu/hr

Condenser	Pressure	อากาศภายนอก		ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		4.5xCFMxΔh	ปริมาณน้ำที่ใช้	W_{Total}	COP
	Water	Temp	%RH	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(Btu/hr)	(L/min)	(kW)	
Air Cooled	-	**62.07**	**91.63**	**22.06**	**12.11**	**28.47**	**21.66**	**44876.07**	**-**	**4.14**	**3.18**
Spray Cooled	10	**58.14**	**91.36**	**20.48**	**9.25**	**26.06**	**18.85**	**45095.35**	**0.352**	**3.47**	**3.82**
Mean				-7.16%	-23.62%	-8.47%	-12.97%	+0.49%	-	-16.18%	+20.13%

***หมายเหตุ + แทนการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น, การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น**

จากตารางที่ ฉ-3 ข้อมูลเปรียบเทียบจากการทดสอบเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr ระหว่างก่อนและหลังปรับปรุงเปรียบเทียบกัน พบว่าขีดความสามารถของการทำความเย็นลดลงเพียง 0.49 % อัตราพลังงานโดยรวมที่ป้อนให้กับระบบลดลง 16.18% ขณะที่ค่า COP เพิ่มขึ้น 20.13%

ดังนั้นจะเห็นว่าเมื่อเปลี่ยนขนาดของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการทดสอบจาก 15,000 เป็น 48,000 Btu/hr ในการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนให้เป็นแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ก็ไม่ได้ทำให้สมรรถนะและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศลดลง ในขณะที่อัตราพลังงานที่ป้อนให้กับระบบลดลง ช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าและเครื่องปรับอากาศมีประสิทธิ ภาพที่ดีขึ้นกว่าเดิม

ดังนั้นในการติดตั้งระบบ จะพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งระบบ โดยมีเงื่อนไขในการคำนวณความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ดังนี้

ตัวอย่างการคำนวณ

เงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณหาผลตอบแทนการลงทุนมีดังนี้

- บริเวณห้องปรับอากาศมีภาระความร้อนเฉลี่ยเท่ากัน และ 1 ชุดของเครื่องพ่นน้ำใช้กับคอนเดนเซอร์ 1 ชุดโดยแต่ละชุดใช้หัวฉีด 2 หัว

รายการเงื่อนไข	**ข้อมูล**
1.ชั่วโมงการทำงานของเครื่องปรับอากาศ(คิดที่ติดตั้งอาคารที่ทำงาน 8.00 – 18.00 น.)	10 ชั่วโมง
2.ชั่วโมงการทำงานในรอบ 1 ปีของเครื่องปรับอากาศ(ทำงาน 5 วัน/week,52 week/ปี)	2600 hr/ปี
3.ค่าบำรุงรักษารายปี(คิดเป็น 3 % ของต้นทุนการสร้าง)	216 บาท
4.อายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ	10
5.ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (kW-hr) เมื่อใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง 151-400 หน่วย	2.78 บาท
6.ค่าน้ำประปา	8.5 บาท/m^3
7.อัตราดอกเบี้ย	10
โดยในการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศจะมีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มเข้ามาดังนี้	
1.ค่าใช้ทำระบบพ่นน้ำ,หัวฉีด 1 หัวและอุปกรณ์ต่างๆ	6,200 บาท
2.ค่าติดตั้ง	1000 บาท
รวมค่าใช้จ่ายในการปรับปรุง	7,200 บาท

ฉ.1 ระยะเวลาคืนทุน

รายรับ/ปี = ค่าไฟฟ้าทั้งหมดที่สามารถประหยัดได้ต่อปี

= พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ x จำนวนชั่วโมงการทำงานรอบปี x อัตราค่าไฟฟ้า

= [0.67 x 2,600 x 2.78]

= 4,842.76 บาท/ปี

รายจ่าย/ปี = ค่าน้ำที่ใช้ระบายความร้อน + ค่าไฟฟ้าสำหรับปั๊มแรงดันสูง + ค่าบำรุงรักษารายปี

=[(0.352 x 60 x 2,600) x 8.5 /1,000] + [(0.23 x 2,600 x 2.78)] + 216

= 466.75 + 1,662.44 + 216

= 2,345.19 บาท/ปี

ผลตอบแทนสุทธิ/ปี = รายรับ/ปี – รายจ่าย/ปี

= 4,842.76 - 2,345.19

= 2,497.57 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการลงทุน

ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี

= 7,200 / 2,497.57

= 2.88 ปี หรือประมาณ 2 ปี 10 เดือน

ฉ.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)

จากสมการ $NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{R_n - C_n}{(1+i)^n} = \sum_{n=0}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n}$

หรือ $NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC$

เมื่อ TIC = ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก = 7,200 บาท

NCF_n = ผลตอบแทนสุทธิในปีที่ n (บาท/ปี)

i = อัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ย = 0.10 % /ปี

R_n = ผลตอบแทนที่ได้รับในปีที่ n = 4,842.76 บาท

C_n = ค่าใช้จ่ายในปีที่ n = 2,345.19 บาท

N = อายุของโครงการ = 10 ปี

จะได้ $NPV = \sum_{n=1}^{10} \frac{(4,842.76 - 2,345.19)}{(1+0.1)^n} - 7,200$

= 14,605.89 – 7,200

= 7,405.89 บาท

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฉ.3 อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR)

จากสมการ

$$NPV = \sum_{n=0}^{N} \frac{NCF_n}{(1+i)^n} - TIC = 0$$

$$= \sum_{n=1}^{10} \frac{(4,842.76 - 2,345.19)}{(1+0.1)^n} - 7,200 = 0$$

พิจารณาหาค่า n โดยวิธี Trial and error จะได้ i = 0.33 หรือ 33 %

IRR = 33 %

สำหรับในการพิจารณาการลงทุน จะพิจารณาจำนวนเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมคุ้มค่ากับการลงทุนต่อจำนวนชุดพ่นน้ำ 1 ชุด โดยคำนวณและแสดงข้อมูลดังตารางที่ ฉ-4 ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ฉ-4 แสดงการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาด 48,000 Btu/hr

จำนวนเครื่อง No	P_{save} (kW)	ชม.ทำงาน (hr/ปี)	ค่าไฟฟ้า (kWh/บาท)	ประหยัดได้ (บาท/ปี)	ค่าน้ำ (บาท/ปี)	ค่าไฟฟ้าปั๊ม (บาท/ปี)	ต้นทุน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท/ปี)	รวมรายจ่าย (บาท/ปี)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท/ปี)	คืนทุน (ปี)	NPV (บาท)	IRR (%)
1	0.67	2,600.00	2.78	4,842.76	466.75	1,662.44	7,200.00	216.00	2,345.19	2,497.57	2.88	7,405.89	33%
2	1.34	2,600.00	2.78	9,685.52	933.50	1,662.44	8,800.00	264.00	2,859.94	6,825.58	1.29	30,127.46	77%
3	2.01	2,600.00	2.78	14,528.28	1,400.26	1,662.44	10,400.00	312.00	3,374.70	11,153.58	0.93	52,849.04	107%
4	2.68	2,600.00	2.78	19,371.04	1,867.01	1,662.44	12,000.00	360.00	3,889.45	15,481.59	0.78	75,570.62	129%
5	3.35	2,600.00	2.78	24,213.80	2,333.76	1,662.44	13,600.00	408.00	4,404.20	19,809.60	0.69	98,292.20	146%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการคำนวณพบว่า หากทำการติดตั้งเครื่องพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศเพียงหนึ่งตัว ความคุ้มค่าจะน้อยมาก ดังนั้นควรติดตั้งกับ 2 เครื่องขึ้นไปเพื่อจะได้ผลตอบแทนการลงทุนที่คุ้มค่าและคืนทุนเร็ว โดยจากตาราง ฉ-4 พบว่าเมื่อติดตั้งกับ 2 เครื่องขึ้นจะมีอัตราการคืนทุน 1 ปี 4 เดือน NPV เท่ากับ 30,127.46 บาท และค่า IRR มีค่าเท่ากับ 77 % สำหรับเครื่องพ่นน้ำนั้นมีความสามารถในการทำงานกับเครื่องปรับอากาศได้หลายเครื่อง ดังนั้นจึงควรติดตั้งชุดพ่นน้ำ 1 ชุดต่อเครื่องปรับอากาศมากกว่า 5 เครื่องขึ้นไป เพื่อชุดพ่นน้ำจะสามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ และเพื่อความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

ข้อแนะนำ

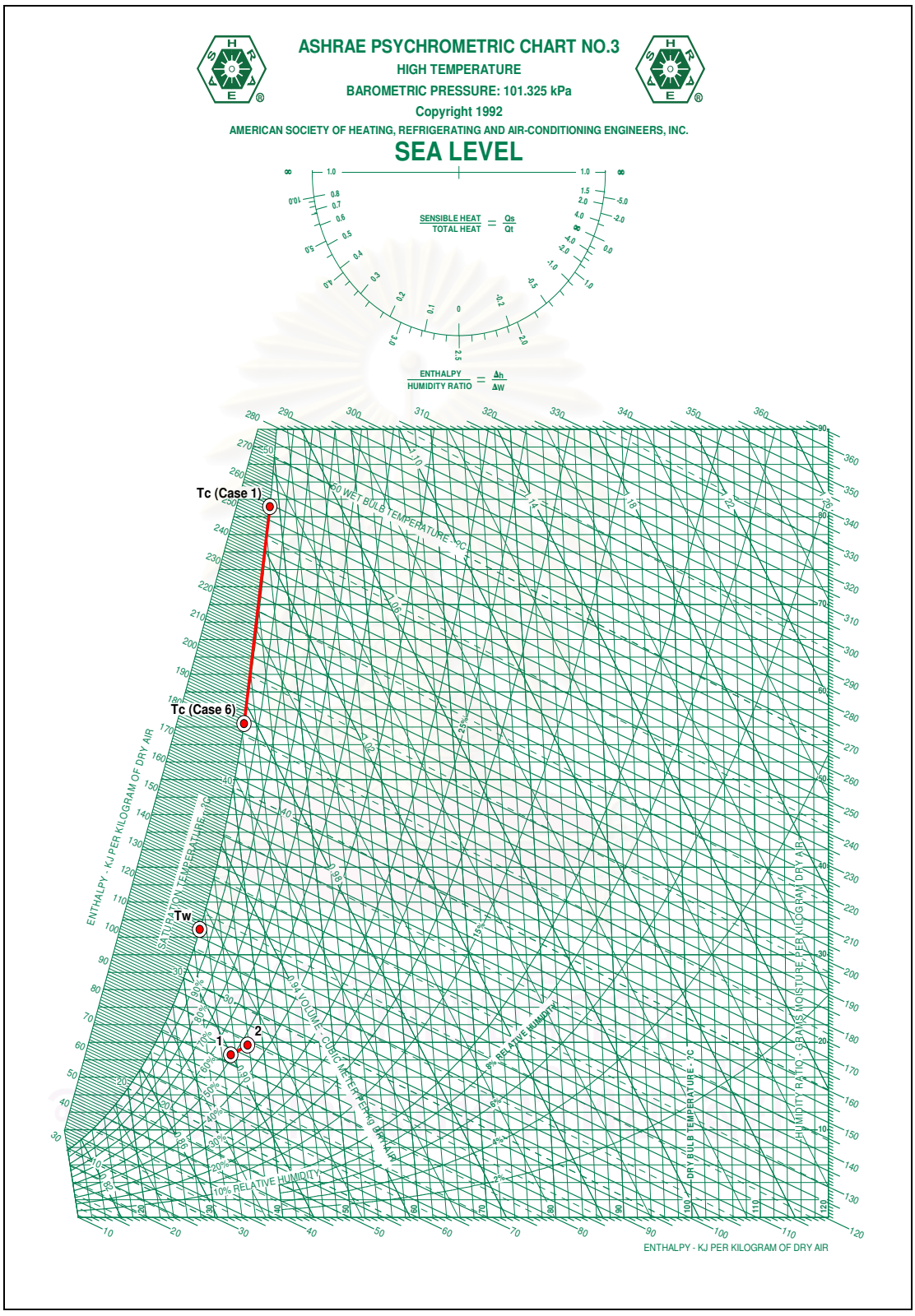
ในการใช้งานจริงเครื่องคอมเพรสเซอร์จะมีการทำงานแบบตัดต่อ ดังนั้นควรตั้งให้เครื่องฉีดพ่นน้ำทำงานให้สมดุลกับเครื่องปรับอากาศ คือเมื่อคอมเพรสเซอร์ทำงาน เครื่องพ่นน้ำก็จะต้องทำงานตาม และเมื่อเครื่องคอมเพรสเซอร์หยุดการทำงาน เครื่องพ่นน้ำต้องหยุดทำงานตาม ถ้าทำงานกับเครื่องปรับอากาศหลายตัว ต้องทำการติดตั้งวาล์วเพื่อตัดวงจรน้ำไม่ให้ทำการฉีดพ่นขณะที่มอเตอร์พัดลมคอนเดนเซอร์ไม่ทำงาน(เครื่องคอมเพรสเซอร์หยุดการทำงาน)เพื่อความเหมาะสมในการทำงานและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงานของเครื่องพ่นน้ำ ซึ่งในการใช้งานจริงมูลค่าการลงทุนจะมีค่าต่ำกว่าที่คำนวณได้เนื่องจากหากมีการหยุดการทำงานของปั๊มตามการทำงานของมอเตอร์พัดลม จะทำให้กำลังไฟฟ้าที่ใช้และปริมาณน้ำที่ใช้มรค่าลดลงตาม ทำให้สามารถประหยัดได้มากขึ้นกว่าเดิม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

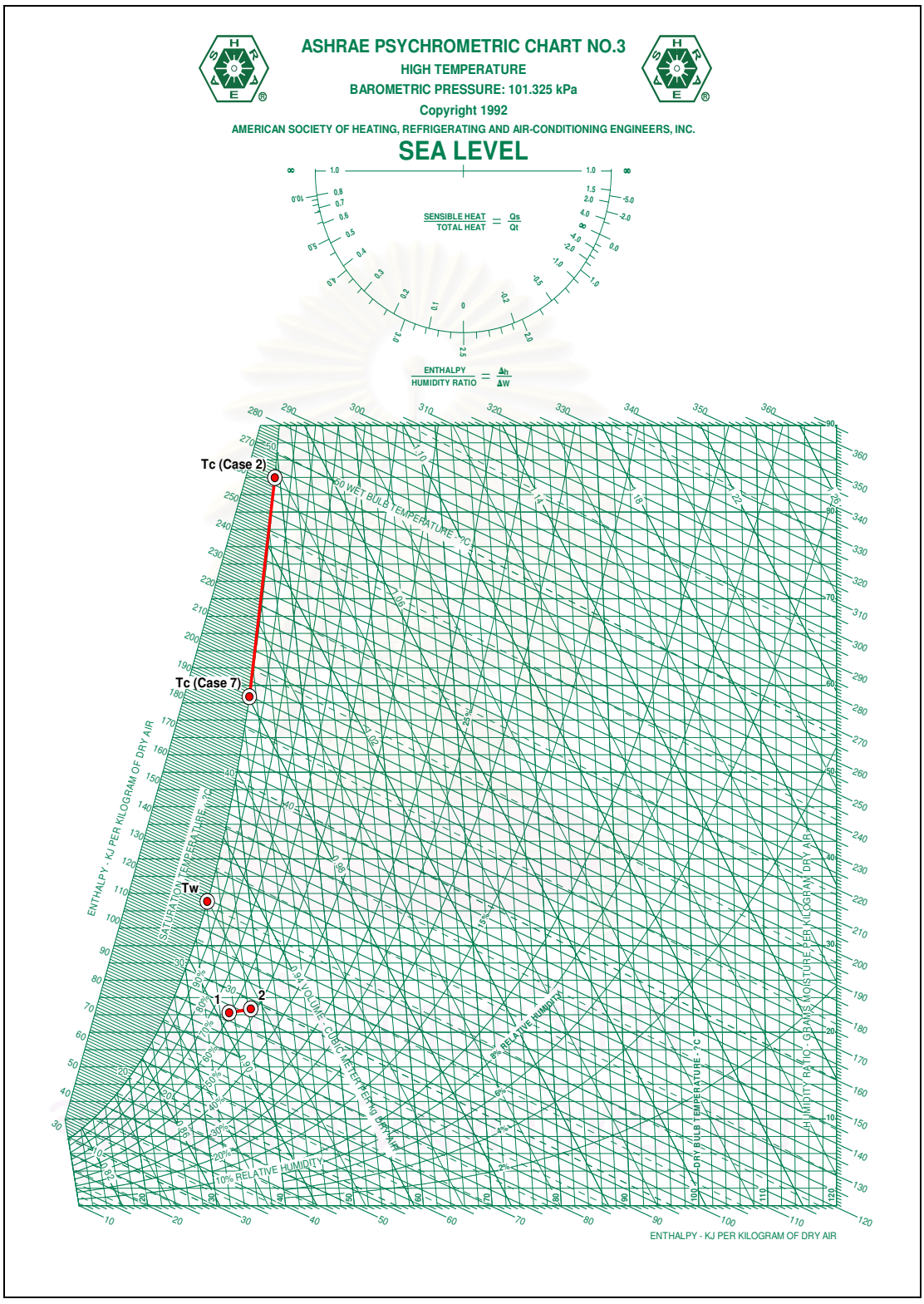
ภาคผนวก ช

ข้อมูลแสดงทิศทางการถ่ายความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศและแบบพ่นน้ำของเครื่องปรับอากาศที่ทดสอบในห้อง Colorimeter

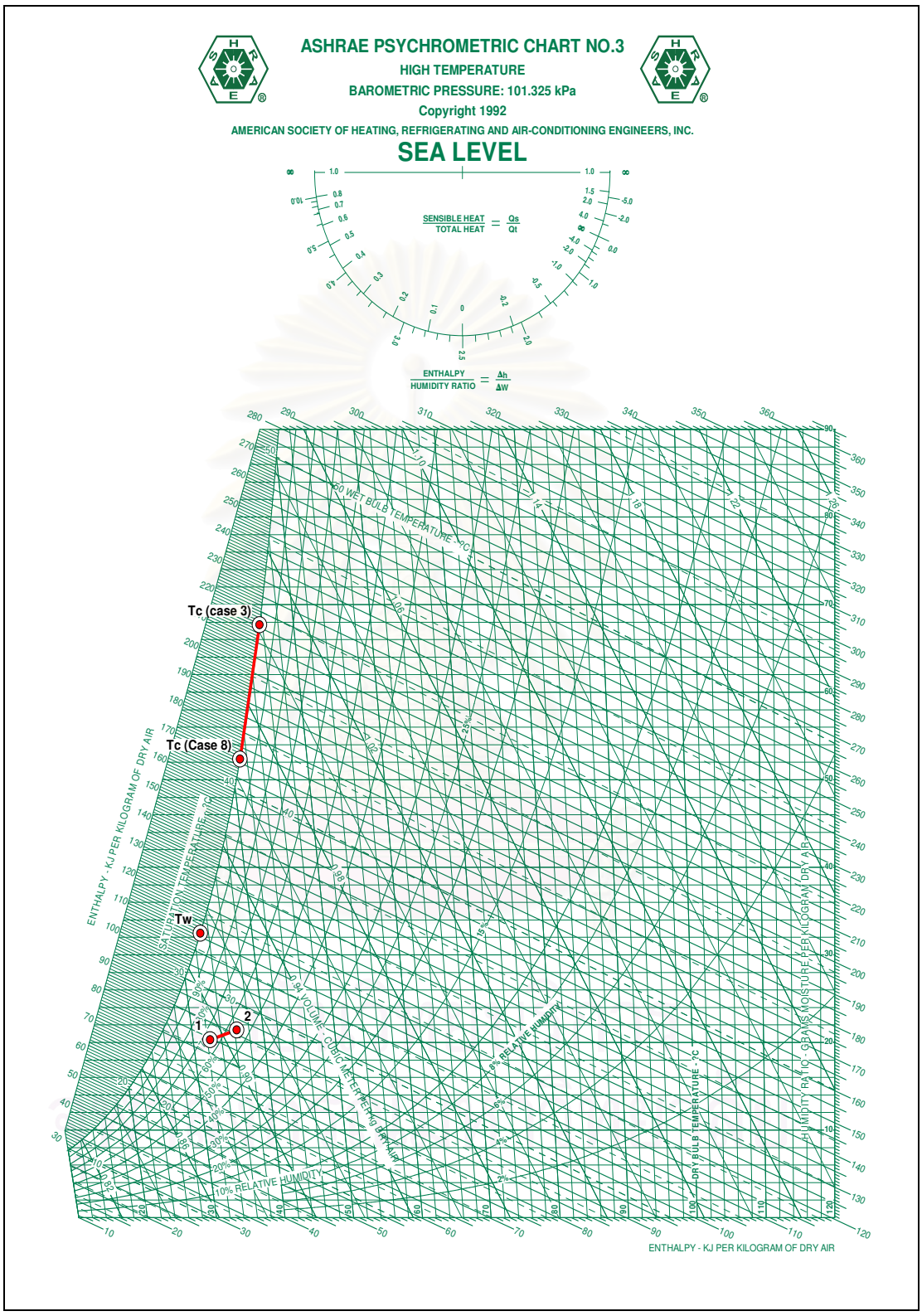
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



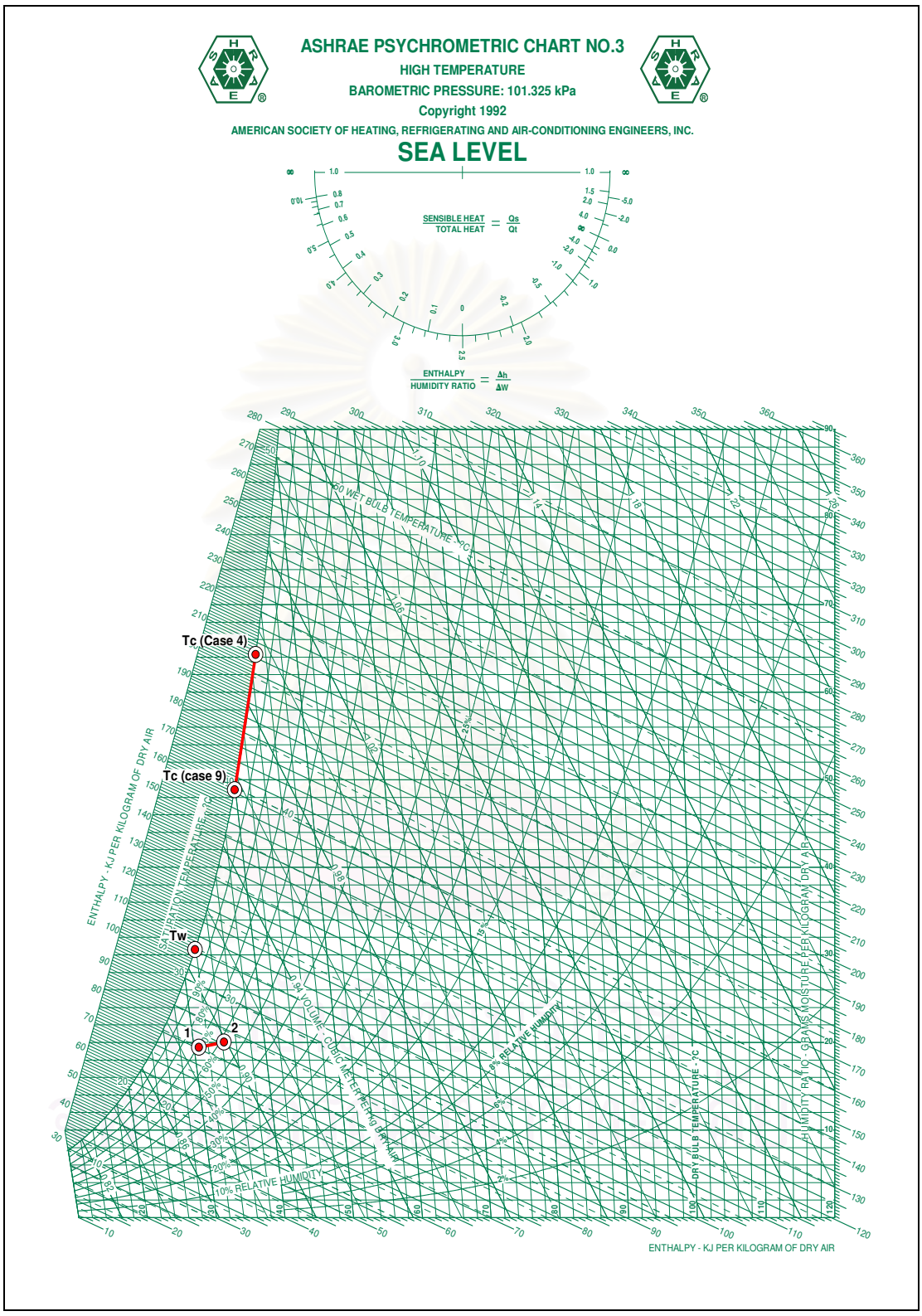
รูปที่ ช-1 แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ และเปรียบเทียบอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น กรณีที่ 6 เทียบกับกรณีที่ 1



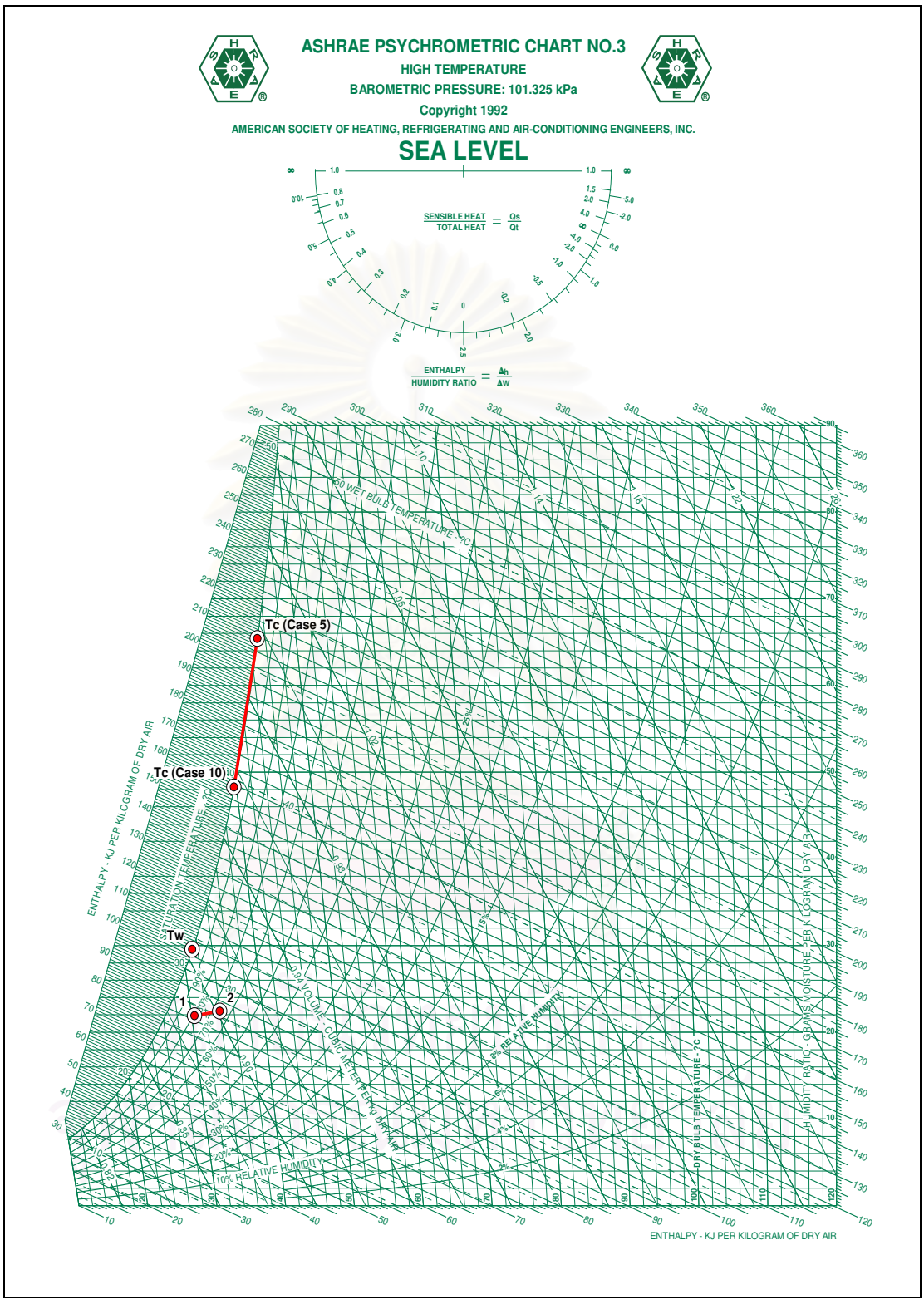
รูปที่ ช-2 แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ และเปรียบเทียบอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น กรณีที่ 7 เทียบกับกรณีที่ 2



รูปที่ ช-3 แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ และเปรียบเทียบอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น กรณีที่ 8 เทียบกับกรณีที่ 3



รูปที่ ช-4 แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ และเปรียบเทียบอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น กรณีที่ 9 เทียบกับกรณีที่ 4



รูปที่ ช-5 แสดงทิศทางการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ และเปรียบเทียบอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น กรณีที่ 10 เทียบกับกรณีที่ 5

ภาคผนวก ซ

ตารางสมบัติสารทำความเย็น R-22 และแผนภูมิอากาศ

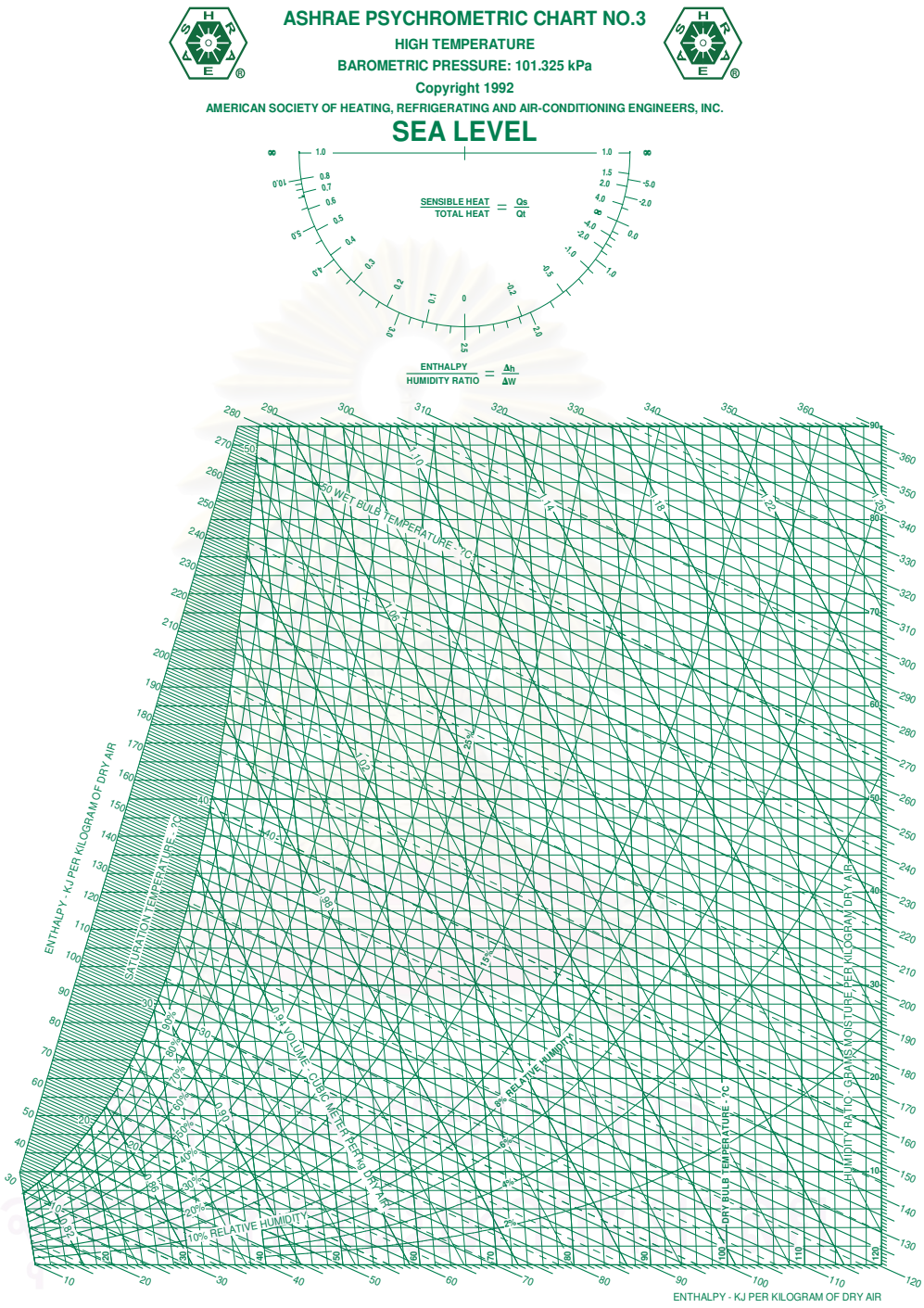
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ซ-1 แสดงสมบัติของเหลวและไออิ่มตัวของสารทำความเย็น R-22

		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/kg • K		Specific volume, L/kg	
t, °C	P, kPa	h_f	h_g	s_f	s_g	v_f	v_g
21	935.64	225.324	412.202	1.08805	1.72334	0.82691	25.2829
22	961.89	226.568	412.481	1.09220	1.72206	0.82954	24.5857
23	988.67	227.816	412.755	1.09634	1.72080	0.83221	23.9107
24	1016.0	229.068	413.025	1.10048	1.71953	0.83491	23.2572
25	1043.9	230.324	413.289	1.10462	1.71827	0.83765	22.6242
26	1072.3	231.583	413.548	1.10876	1.71701	0.84043	22.0111
27	1101.4	232.847	413.802	1.11290	1.71576	0.84324	21.4169
28	1130.9	234.115	414.050	1.11703	1.71450	0.84610	20.8411
29	1161.1	235.387	414.293	1.12116	1.71325	0.84899	20.2829
30	1191.9	236.664	414.530	1.12530	1.71200	0.85193	19.7417
31	1223.2	237.944	414.762	1.12943	1.71075	0.85491	19.2168
32	1255.2	239.230	414.987	1.13355	1.70950	0.85793	18.7076
33	1287.8	240.520	415.207	1.13768	1.70826	0.86101	18.2135
34	1321.0	241.814	415.420	1.14181	1.70701	0.86412	17.7341
35	1354.8	243.114	415.627	1.14594	1.70576	0.86729	17.2686
36	1389.2	244.418	415.828	1.15007	1.70450	0.87051	16.8168
37	1424.3	245.727	416.021	1.15420	1.70325	0.87378	16.3779
38	1460.1	247.041	416.208	1.15833	1.70199	0.87710	15.9517
39	1496.5	248.361	416.388	1.16246	1.70073	0.88048	15.5375
40	1533.5	249.686	416.561	1.16659	1.69946	0.88392	15.1351
41	1571.2	251.016	416.726	1.17073	1.69819	0.88741	14.7439
42	1609.6	252.352	416.883	1.17486	1.69692	0.89097	14.3636
43	1648.7	253.694	417.033	1.17900	1.69564	0.89459	13.9938
44	1688.5	255.042	417.174	1.18315	1.69435	0.89828	13.6341
45	1729.0	256.396	417.308	1.18730	1.69305	0.90203	13.2841
46	1770.2	257.756	417.432	1.19145	1.69174	0.90586	12.9436
47	1812.1	259.123	417.548	1.19560	1.69043	0.90976	12.6122
48	1854.8	260.497	417.655	1.19977	1.68911	0.91374	12.2895
49	1898.2	261.877	417.752	1.20393	1.68777	0.91779	11.9753
50	1942.3	263.264	417.838	1.20811	1.68643	0.92193	11.6693
52	2032.8	266.062	417.983	1.21648	1.68370	0.93047	11.0806
54	2126.5	268.891	418.083	1.22489	1.68091	0.93939	10.5214
56	2223.2	271.754	418.137	1.23333	1.67805	0.94872	9.98952
58	2323.2	274.654	418.141	1.24183	1.67511	0.95850	9.48319
60	2426.6	277.594	418.089	1.25038	1.67208	0.96878	9.00062
62	2533.3	280.577	417.978	1.25899	1.66895	0.97960	8.54016
64	2643.5	283.607	417.802	1.26768	1.66570	0.99104	8.10023
66	2757.3	286.690	417.553	1.27647	1.66231	1.00317	7.67934
68	2874.7	289.832	417.226	1.28535	1.65876	1.01608	7.27605
70	2995.9	293.038	416.809	1.29436	1.65504	1.02987	6.88899
75	3316.1	301.399	415.299	1.31758	1.64472	1.06916	5.98334
80	3662.3	310.424	412.898	1.34223	1.63239	1.11810	5.14862
85	4036.8	320.505	409.101	1.36936	1.61673	1.18328	4.35815
90	4442.5	332.616	402.653	1.40155	1.59440	1.28230	3.56440
95	4883.5	351.767	386.708	1.45222	1.54712	1.52064	2.55133

ตารางที่ ซ-1 แสดงสมบัติของเหลวและไออิ่มตัวของสารทำความเย็น R-22 (ต่อ)

		Enthalpy, kJ/kg		Entropy, kJ/kg • K		Specific volume, L/kg	
t, °C	P, kPa	h_f	h_g	s_f	s_g	v_f	v_g
-60	37.48	134.763	379.114	0.73254	1.87886	0.68208	537.152
-55	49.47	139.830	381.529	0.75599	1.86389	0.68856	414.827
-50	64.39	144.959	383.921	0.77919	1.85000	0.69526	324.557
-45	82.71	150.153	386.282	0.80216	1.83708	0.70219	256.990
-40	104.95	155.414	388.609	0.82490	1.82504	0.70936	205.745
-35	131.68	160.742	390.896	0.84743	1.81380	0.71680	166.400
-30	163.48	166.140	393.138	0.86976	1.80329	0.72452	135.844
-28	177.76	168.318	394.021	0.87864	1.79927	0.72769	125.563
-26	192.99	170.507	394.896	0.88748	1.79535	0.73092	116.214
-24	209.22	172.708	395.762	0.89630	1.79152	0.73420	107.701
-22	226.48	174.919	396.619	0.90509	1.78779	0.73753	99.9362
-20	244.83	177.142	397.467	0.91386	1.78415	0.74091	92.8432
-18	264.29	179.376	398.305	0.92259	1.78059	0.74436	86.3546
-16	284.93	181.622	399.133	0.93129	1.77711	0.74786	80.4103
-14	306.78	183.878	399.951	0.93997	1.77371	0.75143	74.9572
-12	329.89	186.147	400.759	0.94862	1.77039	0.75506	69.9478
-10	354.30	188.426	401.555	0.95725	1.76713	0.75876	65.3399
-9	367.01	189.571	401.949	0.96155	1.76553	0.76063	63.1746
-8	380.06	190.718	402.341	0.06585	1.76394	0.76253	61.0958
-7	393.47	191.868	402.729	0.97014	1.76237	0.76444	59.0996
-6	407.23	193.021	403.114	0.97442	1.76082	0.76636	57.1820
-5	421.35	194.176	403.496	0.97870	1.75928	0.76831	55.3394
-4	435.84	195.335	403.876	0.98297	1.75775	0.77028	53.5682
-3	450.70	196.497	404.252	0.98724	1.75624	0.77226	51.8653
-2	465.94	197.662	404.626	0.99150	1.75475	0.77427	50.2274
-1	481.57	198.828	404.994	0.99575	1.75326	0.77629	48.6517
0	497.59	200.000	405.361	1.00000	1.75279	0.77834	47.1354
1	514.01	201.174	405.724	1.00424	1.75034	0.78041	45.6757
2	530.83	202.351	406.084	1.00848	1.74889	0.78249	44.2702
3	548.06	203.530	406.440	1.01271	1.74746	0.78460	42.9166
4	565.71	204.713	406.793	1.01694	1.74604	0.78673	41.6124
5	583.78	205.899	407.143	1.02116	1.74463	0.78889	40.3556
6	602.28	207.089	407.489	1.02537	1.74324	0.79107	39.1441
7	621.22	208.281	407.831	1.02958	1.74185	0.79327	37.9759
8	640.59	209.477	408.169	1.03379	1.74047	0.79549	36.8493
9	660.42	210.675	408.504	1.03799	1.73911	0.79775	35.7624
10	680.70	211.877	408.835	1.04218	1.73775	0.80002	34.7136
11	701.44	213.083	409.162	1.04637	1.73640	0.80232	33.7013
12	722.65	214.291	409.485	1.05056	1.73506	0.80465	32.7239
13	744.33	215.503	409.804	1.05474	1.73373	0.80701	31.7801
14	766.50	216.719	410.119	1.05892	1.73241	0.80939	30.8683
15	789.15	217.937	410.430	1.06309	1.73109	0.81180	29.9874
16	812.29	219.160	410.736	1.06726	1.72978	0.81424	29.1361
17	835.93	220.386	411.038	1.07142	1.72848	0.81671	28.3131
18	860.08	221.615	411.336	1.07559	1.72719	0.81922	27.5173
19	884.75	222.848	411.629	1.07974	1.72590	0.82175	26.7477
20	909.93	224.084	411.918	1.08390	1.72462	0.82431	26.0032



รูปที่ ซ-1 แสดงแผนภาพ Psychrometric chart

ภาคผนวก ฌ

ข้อมูลแสดงสภาวะอากาศของกรุงเทพฯเฉลี่ยระหว่างเดือน มีนาคม ถึง มิถุนายน ในปี พ.ศ. 2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-1 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยเดือน มีนาคม ของกรุงเทพฯในปี 2545 อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 8.00 – 17.00 น. T_{db} = 31.4 °C

Date\ Time	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
1	27.0	26.8	26.6	26.5	26.4	26.4	26.3	27.6	29.0	30.3	31.2	32.1	33.1	33.4	33.8	34.2	32.6	31.0	29.5	29.0	28.5	28.1	27.7	27.3
2	27.2	27.1	27.0	26.9	26.6	26.3	26.0	27.2	28.5	29.7	30.8	31.8	33.0	33.3	33.6	33.9	32.6	31.3	30.0	29.2	28.6	27.9	27.7	27.4
3	26.6	26.5	26.4	26.3	25.9	25.4	25.0	26.7	28.4	30.1	31.5	33.0	34.5	34.6	34.8	35.0	33.4	31.7	30.2	29.3	28.5	27.7	27.3	27.0
4	26.1	25.7	25.4	25.1	24.9	24.7	24.6	26.1	27.6	29.2	30.4	31.6	32.9	33.0	33.1	33.3	31.8	30.4	29.0	28.5	28.0	27.6	27.0	26.5
5	27.3	27.0	26.7	26.4	26.0	25.7	25.4	26.6	27.8	29.0	29.8	30.7	31.6	31.8	32.0	32.3	31.0	29.7	28.4	27.9	27.4	26.9	27.0	27.2
6	26.1	26.0	25.9	25.8	25.9	25.9	26.1	27.0	28.0	29.1	30.2	31.4	32.6	32.7	32.9	33.0	31.5	30.1	28.7	28.4	28.1	27.8	27.2	26.6
7	27.3	27.2	27.1	27.0	26.8	26.6	26.5	28.0	29.5	31.1	31.8	32.5	33.3	33.3	33.4	33.5	32.0	30.4	29.0	28.6	28.3	28.0	27.7	27.5
8	27.5	27.3	27.1	27.0	26.7	26.4	26.2	27.6	29.1	30.6	31.4	32.3	33.1	33.4	33.6	33.9	32.4	30.9	29.5	29.0	28.5	28.1	27.8	27.6
9	27.5	27.3	27.1	26.9	26.6	26.3	26.1	28.0	29.9	31.9	32.4	32.9	33.5	33.1	32.9	32.6	31.4	30.2	29.0	28.7	28.4	28.1	27.8	27.7
10	28.0	27.7	27.4	27.1	27.0	26.9	26.9	28.5	30.1	31.7	32.3	32.9	33.6	33.8	34.0	34.3	32.7	31.2	29.7	29.3	28.9	28.5	28.3	28.1
11	26.9	26.9	26.8	26.9	26.6	26.4	26.2	27.8	29.5	31.2	32.1	33.0	33.9	33.7	33.6	33.5	32.1	30.7	29.3	28.9	28.5	28.2	27.7	27.3
12	27.7	27.4	27.2	26.9	26.5	26.0	25.7	27.8	30.0	32.1	32.5	32.9	33.3	33.3	33.4	33.5	32.1	30.7	29.3	28.9	28.7	28.4	28.1	27.9
13	27.6	27.5	27.4	27.4	27.1	26.8	26.5	28.5	30.5	32.6	32.9	33.2	33.6	33.7	33.8	33.9	32.4	30.9	29.5	29.0	28.6	28.3	28.0	27.8
14	27.8	27.6	27.4	27.3	26.9	26.5	26.2	27.6	29.0	30.5	30.8	31.2	31.6	32.0	32.5	33.0	31.6	30.4	29.1	28.8	28.4	28.1	27.9	27.9
15	26.5	26.3	26.0	25.8	25.8	25.9	26.0	27.2	28.5	29.9	30.7	31.6	32.5	32.7	32.8	33.0	31.9	30.8	29.7	29.2	28.6	28.1	27.5	27.0
16	27.0	26.6	26.1	25.7	25.6	25.5	25.5	27.5	29.5	31.6	32.4	33.3	34.2	34.4	34.6	34.8	32.5	30.3	28.1	28.1	28.0	28.0	27.7	27.3
17	27.6	27.4	27.2	27.1	26.9	26.7	26.6	28.1	29.6	31.2	32.0	32.8	33.7	33.5	33.4	33.4	32.2	31.1	30.0	29.2	28.4	27.7	27.6	27.6
18	26.2	26.1	25.9	25.8	25.7	25.7	25.7	27.5	29.3	31.1	31.9	32.7	33.6	33.4	33.2	33.0	31.6	30.3	29.1	28.3	27.6	26.9	26.7	26.4
19	26.0	25.8	25.6	25.4	25.2	25.1	25.0	26.6	28.3	29.9	31.2	32.4	33.7	33.4	33.0	32.7	31.7	30.7	29.7	29.2	28.7	28.2	27.4	26.7
20	27.4	27.1	26.7	26.4	26.1	25.9	25.8	27.5	29.2	30.9	31.8	32.7	33.6	32.3	31.1	29.9	29.2	28.5	27.9	27.4	26.9	26.5	26.8	27.1
21	26.1	25.7	25.3	25.0	25.0	25.1	25.1	27.0	28.9	30.8	30.8	30.9	31.1	31.1	31.1	31.2	30.4	29.6	28.8	28.2	27.6	27.1	26.8	26.4
22	27.4	27.2	27.0	26.9	26.7	26.5	26.4	27.4	28.5	29.7	30.7	31.8	32.9	32.8	32.7	32.6	31.4	30.3	29.1	28.8	28.4	28.2	27.9	27.6
23	27.7	27.4	27.2	27.1	26.9	26.7	26.6	28.1	29.7	31.4	31.4	31.5	31.6	31.8	32.0	32.3	30.9	29.5	28.2	28.0	27.8	27.6	27.6	27.6
24	26.2	25.6	25.1	24.6	24.4	24.2	24.1	25.2	26.4	27.6	28.5	29.5	30.5	30.5	30.5	30.5	29.6	28.7	27.8	27.5	27.2	26.9	26.7	26.4
25	25.4	25.2	25.0	24.8	24.5	24.2	23.9	25.5	27.1	28.8	30.1	31.3	32.6	32.6	32.6	32.6	31.5	30.5	29.5	28.9	28.2	27.6	26.8	26.1
26	27.2	26.6	26.0	25.4	25.2	25.1	25.0	26.4	27.8	29.2	29.7	30.3	31.0	31.6	32.2	32.9	31.6	30.4	29.1	28.6	28.1	27.7	27.5	27.3
27	26.9	26.4	26.0	25.6	25.5	25.5	25.5	26.8	28.2	29.6	30.7	31.9	33.1	33.1	33.1	33.1	31.7	30.4	29.1	28.8	28.5	28.3	27.8	27.3
28	27.6	27.3	26.9	26.6	25.8	25.0	24.2	25.2	26.3	27.4	29.0	30.6	32.3	32.2	32.1	32.1	31.0	30.0	28.9	28.6	28.3	28.1	27.9	27.7
29	27.3	27.0	26.8	26.6	26.1	25.6	25.1	26.9	28.7	30.5	31.5	32.5	33.5	33.8	34.2	34.5	33.0	31.5	30.1	29.3	28.4	27.6	27.4	27.3
30	27.4	27.6	27.7	27.9	27.7	27.6	27.4	29.0	30.6	32.2	32.1	32.0	31.9	32.4	33.0	33.6	32.2	30.8	29.4	29.2	28.9	28.7	28.3	27.8
31	28.4	28.1	27.8	27.5	27.3	27.0	26.9	28.4	29.9	31.5	32.8	34.1	35.4	35.2	35.0	34.8	33.3	32.0	30.6	29.9	29.3	28.6	28.5	28.4

ตารางที่ ฌ-2 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยเดือน เมษายน ของกรุงเทพฯในปี 2545 อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 8.00 – 17.00 น. T_{db} = 33.0 °C

Date\ Time	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
1	28.5	28.2	28.0	27.8	27.8	27.7	27.7	29.0	30.4	31.8	32.3	32.8	33.4	33.6	33.9	34.2	32.9	31.6	30.3	29.8	29.3	28.9	28.7	28.6
2	28.4	28.1	27.9	27.7	27.7	27.7	27.7	29.4	31.0	32.7	33.3	33.9	34.5	34.5	34.5	34.6	33.1	31.7	30.4	30.0	29.7	29.4	29.1	28.7
3	27.8	27.5	27.2	27.0	26.8	26.6	26.5	28.5	30.5	32.6	32.9	33.3	33.7	33.7	33.8	33.9	32.4	31.0	29.7	29.4	29.1	28.9	28.5	28.1
4	28.2	28.0	27.8	27.6	27.4	27.2	27.0	27.6	28.4	29.1	30.2	31.2	32.3	32.7	33.2	33.7	32.3	30.9	29.5	28.7	27.9	27.1	27.4	27.8
5	26.4	26.4	26.3	26.4	26.3	26.3	26.3	28.0	29.7	31.4	31.7	32.0	32.3	32.7	33.1	33.5	32.3	31.1	30.0	29.5	29.1	28.7	27.9	27.2
6	28.1	27.9	27.8	27.6	27.4	27.1	27.0	28.8	30.7	32.7	33.7	34.8	35.9	35.8	35.7	35.7	34.2	32.8	31.5	30.8	30.2	29.7	29.1	28.6
7	28.9	28.7	28.5	28.4	28.0	27.6	27.3	28.9	30.5	32.2	33.3	34.4	35.5	35.5	35.4	35.4	34.0	32.6	31.2	30.7	30.2	29.7	29.4	29.1
8	29.0	28.5	28.1	27.7	27.3	27.0	26.7	28.3	29.9	31.5	32.4	33.4	34.5	34.5	34.5	34.5	33.2	31.9	30.7	29.9	29.2	28.5	28.7	28.8
9	28.3	28.1	28.0	27.9	27.5	27.2	26.9	28.9	31.0	33.1	33.8	34.6	35.5	35.2	34.9	34.7	33.3	31.9	30.5	29.9	29.4	29.0	28.7	28.5
10	28.5	28.3	28.1	28.0	27.6	27.3	27.0	29.0	31.0	33.1	33.5	34.0	34.5	34.6	34.7	34.9	33.3	31.8	30.3	29.9	29.4	29.0	28.8	28.7
11	28.4	28.3	28.1	28.0	27.7	27.4	27.2	29.1	31.1	33.1	33.7	34.3	34.9	34.9	34.9	35.0	33.5	32.0	30.5	30.1	29.8	29.5	29.1	28.8
12	29.1	29.0	28.9	28.8	28.3	27.9	27.5	29.5	31.6	33.7	34.3	34.9	35.5	35.3	35.2	35.0	33.5	32.0	30.6	30.1	29.7	29.3	29.2	29.1
13	28.9	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.9	30.4	31.9	33.4	34.1	34.7	35.4	35.4	35.4	35.4	33.0	30.7	28.4	28.3	28.3	28.2	28.4	28.7
14	27.8	27.6	27.5	27.4	27.4	27.5	27.5	29.0	30.4	31.9	33.1	34.4	35.7	35.4	35.2	35.0	33.5	32.1	30.7	30.3	29.9	29.6	29.0	28.4
15	26.8	26.7	26.6	26.5	26.6	26.8	27.0	28.2	29.5	30.7	31.7	32.7	33.7	34.1	34.4	34.9	33.7	32.5	31.4	30.8	30.4	29.9	28.8	27.8
16	28.5	27.6	26.8	26.0	26.2	26.5	26.8	27.8	28.9	29.9	31.4	32.9	34.4	34.4	34.5	34.5	33.3	32.1	31.0	30.3	29.7	29.1	28.9	28.6
17	29.1	28.9	28.7	28.5	28.5	28.5	28.5	29.8	31.2	32.6	33.3	33.9	34.7	34.7	34.7	34.7	33.3	31.9	30.6	30.1	29.7	29.3	29.2	29.1
18	29.2	28.9	28.7	28.5	28.5	28.6	28.6	29.5	30.5	31.5	32.2	33.1	33.9	34.0	34.1	34.2	33.0	31.8	30.7	30.2	29.8	29.4	29.3	29.2
19	29.0	28.9	28.8	28.7	28.8	28.8	28.9	30.1	31.4	32.7	33.5	34.4	35.3	35.2	35.3	35.3	33.8	32.3	30.9	30.5	30.2	29.9	29.6	29.3
20	29.3	29.2	29.1	29.0	29.0	29.0	29.0	29.3	29.7	30.1	31.4	32.8	34.2	34.2	34.4	34.5	33.3	32.0	30.9	30.5	30.2	29.9	29.6	29.5
21	29.3	29.1	28.9	28.8	28.6	28.5	28.4	30.0	31.7	33.5	34.1	34.8	35.5	35.3	35.1	34.9	33.6	32.5	31.3	30.8	30.4	30.0	29.7	29.5
22	29.3	29.0	28.8	28.7	28.6	28.5	28.5	30.1	31.7	33.4	34.1	34.8	35.5	35.5	35.5	35.6	34.1	32.8	31.1	30.7	30.3	30.0	29.7	29.5
23	29.4	29.4	29.4	29.4	29.2	29.1	29.0	30.4	31.8	33.2	33.8	34.3	34.9	34.9	34.9	34.9	33.5	32.1	30.8	30.4	30.0	29.6	29.5	29.4
24	29.4	29.3	29.2	29.1	29.1	29.2	29.3	30.5	31.8	33.2	33.7	34.3	34.9	34.8	34.8	34.8	33.4	32.0	30.7	30.4	30.1	29.9	29.7	29.5
25	29.5	29.3	29.1	29.0	28.9	28.8	28.7	30.3	31.8	33.5	34.0	34.6	35.2	35.1	35.0	35.0	33.6	32.3	31.0	30.5	30.2	29.8	29.7	29.5
26	29.5	29.3	29.1	29.0	28.7	28.5	28.3	30.0	31.7	33.5	33.4	33.3	33.2	33.0	32.9	32.8	31.9	31.1	30.2	29.6	29.0	28.5	28.8	29.1
27	28.1	27.8	27.6	27.5	27.5	27.5	27.5	28.6	29.6	30.7	32.0	33.3	34.6	34.6	34.5	34.5	33.3	32.1	31.0	30.0	28.9	28.0	28.0	28.0
28	27.7	27.4	27.2	27.0	26.7	26.6	26.4	27.5	28.5	29.6	30.9	32.3	33.7	33.6	33.6	33.6	32.5	31.5	30.6	30.0	29.5	29.0	28.5	28.1
29	28.0	27.7	27.4	27.1	27.1	27.2	27.3	29.0	30.7	32.5	33.3	34.0	34.8	34.4	34.0	33.6	32.5	31.4	30.3	30.0	29.8	29.5	29.0	28.5
30	29.1	28.9	28.6	28.4	28.0	27.7	27.4	29.4	31.4	33.5	33.9	34.4	34.9	34.5	34.1	33.8	32.9	31.9	31.1	30.5	30.0	29.5	29.3	29.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-3 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยเดือน พฤษภาคม ของกรุงเทพฯในปี 2545 อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 8.00 – 17.00 น. T_{db} = 31.8 °C

Date\ Time	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
1	29.2	28.7	28.3	27.9	27.7	27.6	27.5	29.1	30.8	32.5	33.3	34.1	34.9	34.9	34.8	34.9	33.5	32.1	30.8	30.5	30.3	30.0	29.7	29.4
2	29.4	29.2	28.9	28.7	28.8	28.9	29.0	30.3	31.7	33.1	33.9	34.7	35.6	35.4	35.2	35.1	33.7	32.3	30.9	30.7	30.5	30.4	30.0	29.7
3	28.6	28.2	27.8	27.5	27.5	27.7	27.8	29.4	31.0	32.6	33.3	34.0	34.8	34.4	34.1	33.8	32.5	31.2	29.9	29.4	28.9	28.5	28.5	28.5
4	28.5	28.1	27.8	27.5	27.6	27.6	27.7	29.7	31.7	33.7	34.3	35.0	35.7	35.4	35.3	35.1	33.8	32.4	31.1	30.7	30.3	30.0	29.4	28.9
5	28.9	28.6	28.3	28.1	28.0	27.9	27.9	29.4	30.9	32.5	32.1	31.8	31.5	31.9	32.4	32.9	32.1	31.2	30.4	30.0	29.7	29.4	29.2	29.0
6	28.1	27.8	27.6	27.4	27.4	27.5	27.7	28.8	30.0	31.2	32.4	33.6	34.8	34.2	33.6	33.0	31.9	30.9	29.9	29.5	29.2	29.0	28.7	28.4
7	27.7	27.1	26.6	26.1	26.3	26.6	26.9	28.2	29.4	30.7	32.1	33.5	35.0	33.9	32.9	32.0	31.4	30.8	30.3	29.2	28.2	27.2	27.4	27.5
8	25.9	25.8	25.8	25.8	25.9	26.0	26.1	25.8	25.5	25.3	26.3	27.4	28.5	29.7	30.8	32.0	31.0	30.0	29.0	28.4	27.8	27.2	26.8	26.3
9	26.3	26.1	26.0	25.9	25.8	25.6	25.6	26.9	28.2	29.6	30.0	30.4	30.9	31.2	31.6	32.0	31.1	30.3	29.5	29.3	29.1	28.9	28.0	27.1
10	28.7	28.5	28.2	28.0	27.6	27.3	27.0	28.4	29.9	31.4	31.9	32.4	32.9	32.7	32.5	32.4	31.4	30.4	29.4	29.1	28.7	28.4	28.5	28.6
11	26.8	26.6	26.6	26.5	26.5	26.5	26.5	27.3	28.2	29.2	30.0	30.9	31.8	31.8	31.9	32.0	31.2	30.5	29.7	29.3	28.9	28.6	28.0	27.4
12	27.9	27.6	27.4	27.2	27.1	27.0	26.9	28.5	30.1	31.7	32.2	32.7	33.2	33.4	33.7	34.0	32.5	31.1	29.8	29.6	29.5	29.4	28.9	28.4
13	27.2	27.1	27.1	27.1	27.1	27.1	27.2	28.4	29.6	30.9	31.7	32.4	33.3	33.2	33.2	33.2	32.3	31.3	30.4	30.1	29.7	29.4	28.6	27.9
14	28.7	28.4	28.1	27.9	27.2	26.6	26.0	27.2	28.4	29.6	30.0	30.4	30.9	31.2	31.5	31.8	31.3	30.9	30.6	29.8	29.1	28.5	28.5	28.6
15	28.6	28.3	28.1	27.8	28.0	28.2	28.5	29.9	31.4	32.9	33.3	33.7	34.2	33.9	33.7	33.4	32.4	31.5	30.6	29.8	29.1	28.4	28.4	28.5
16	27.8	27.6	27.3	27.1	27.1	27.2	27.3	29.0	30.7	32.5	33.0	33.6	34.2	34.1	34.1	34.1	33.0	31.9	30.9	30.5	30.1	29.8	29.1	28.4
17	29.0	28.7	28.5	28.3	28.2	28.1	28.0	29.5	31.0	32.5	32.9	33.5	34.0	34.1	34.2	34.4	33.2	32.0	30.9	30.1	29.2	28.4	28.6	28.8
18	28.3	28.2	28.1	28.1	28.2	28.3	28.4	29.3	30.2	31.1	31.2	31.4	31.6	30.7	29.8	28.9	27.6	26.4	25.2	25.3	25.4	25.5	26.4	27.3
19	25.6	25.5	25.4	25.4	25.5	25.6	25.8	27.1	28.4	29.7	30.0	30.5	30.9	31.0	31.1	31.2	30.6	30.1	29.6	28.6	27.6	26.7	26.3	25.9
20	25.9	25.7	25.5	25.4	25.4	25.4	25.5	27.1	28.7	30.3	30.8	31.3	31.8	31.6	31.5	31.4	30.4	29.5	28.6	28.0	27.4	26.8	26.5	26.2
21	26.5	26.1	25.8	25.6	25.7	25.9	26.2	27.7	29.2	30.7	31.6	32.5	33.4	33.0	32.7	32.4	31.6	30.7	29.9	29.4	28.9	28.5	27.8	27.1
22	27.9	27.6	27.3	27.1	27.0	27.0	27.0	28.3	29.6	31.0	32.0	33.1	34.3	33.9	33.6	33.3	32.7	32.0	31.4	30.7	30.0	29.4	28.8	28.3
23	28.4	28.2	28.0	27.9	27.6	27.3	27.0	28.8	30.7	32.5	33.2	33.9	34.6	34.1	33.6	33.2	32.3	31.4	30.6	30.3	29.9	29.7	29.2	28.8
24	29.1	29.0	28.8	28.8	28.2	27.6	27.0	28.8	30.7	32.6	33.2	33.8	34.4	34.3	34.2	34.2	33.0	31.8	30.6	30.3	30.0	29.8	29.6	29.3
25	29.4	28.9	28.4	27.9	27.5	27.2	26.9	28.5	30.1	31.8	32.8	33.7	34.7	34.7	34.7	34.8	33.5	32.2	31.0	30.6	30.2	29.9	29.7	29.5
26	29.3	29.2	29.1	29.1	29.1	29.2	29.2	30.5	31.8	33.2	34.2	35.2	36.2	34.6	33.1	31.6	31.2	30.9	30.6	29.9	29.3	28.7	28.9	29.1
27	27.8	27.7	27.5	27.5	27.6	27.7	27.8	28.9	29.9	31.1	32.0	33.0	34.0	33.6	33.1	32.7	31.9	31.1	30.4	30.0	29.6	29.3	28.7	28.3
28	29.0	28.3	27.7	27.1	26.5	26.0	25.5	26.8	28.1	29.4	30.2	30.9	31.7	30.8	29.9	29.0	28.4	27.9	27.3	26.9	26.4	26.0	27.0	28.0
29	25.9	25.8	25.7	25.7	25.8	25.9	26.0	27.4	28.8	30.3	31.0	31.8	32.5	32.1	31.8	31.5	30.8	30.1	29.5	29.2	28.9	28.7	27.7	26.8
30	26.3	26.4	26.4	26.6	26.7	26.8	26.9	28.1	29.4	30.7	31.3	32.0	32.7	32.5	32.3	32.1	31.1	30.2	29.3	28.8	28.3	27.9	27.3	26.8
31	28.0	27.8	27.8	27.7	27.7	27.7	27.8	29.0	30.2	31.5	31.9	32.5	33.0	32.9	32.8	32.7	32.0	31.3	30.6	30.3	29.9	29.6	29.0	28.5

ตารางที่ ฌ-4 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยเดือน มิถุนายน ของกรุงเทพฯในปี 2545 อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 8.00 – 17.00 น. T_{db} = 31.0 °C

Date\ Time	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
1	29.3	28.6	28.0	27.4	27.5	27.7	27.9	29.2	30.5	31.9	32.6	33.2	33.9	33.4	33.0	32.6	31.0	29.5	28.0	27.4	26.8	26.3	27.3	28.2
2	27.3	27.2	27.1	27.0	27.2	27.3	27.5	28.6	29.6	30.8	31.3	31.9	32.6	32.2	31.9	31.6	31.0	30.4	29.8	29.8	29.7	29.8	28.9	28.1
3	26.3	26.4	26.5	26.6	26.8	27.0	27.3	28.2	29.2	30.1	30.6	31.1	31.6	31.5	31.5	31.5	30.5	29.6	28.8	28.6	28.4	28.3	27.6	26.9
4	27.7	27.4	27.3	27.1	27.1	27.2	27.2	28.5	29.8	31.1	31.7	32.3	32.9	32.6	32.4	32.2	31.0	30.0	28.9	28.7	28.4	28.2	28.0	27.8
5	27.6	27.5	27.4	27.4	27.6	27.8	28.0	29.0	30.0	31.0	31.6	32.2	32.9	32.6	32.3	32.1	30.9	29.7	28.5	28.4	28.4	28.4	28.1	27.8
6	28.2	28.2	28.1	28.1	28.0	27.9	27.8	28.9	30.1	31.2	31.8	32.4	33.1	32.9	32.8	32.8	31.9	31.1	30.3	30.0	29.7	29.4	29.0	28.6
7	28.9	28.6	28.5	28.3	28.3	28.4	28.5	29.6	30.8	32.0	32.6	33.2	33.9	33.8	33.7	33.7	32.5	31.4	30.3	30.1	29.9	29.8	29.4	29.1
8	29.3	29.0	28.7	28.5	28.6	28.8	29.0	30.0	31.1	32.2	32.3	32.5	32.8	32.4	32.1	31.8	31.2	30.5	29.9	29.2	28.5	27.8	28.3	28.8
9	27.2	26.9	26.6	26.4	26.6	26.8	27.0	27.6	28.2	28.9	29.7	30.5	31.4	31.4	31.4	31.5	30.7	29.8	29.1	28.3	27.5	26.7	26.8	27.0
10	27.2	27.2	27.3	27.4	27.2	27.0	26.9	27.2	27.6	28.1	28.2	28.3	28.5	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.5	28.0	27.6	27.2	27.2	27.2
11	27.4	27.1	26.8	26.5	26.5	26.6	26.6	27.8	29.0	30.2	30.6	31.1	31.6	31.4	31.3	31.2	30.5	29.8	29.1	28.8	28.5	28.2	27.9	27.6
12	27.8	27.6	27.3	27.1	26.9	26.7	26.5	28.0	29.5	31.1	31.8	32.6	33.5	33.4	33.3	33.3	32.2	31.2	30.1	29.7	29.4	29.1	28.6	28.2
13	28.5	27.8	27.0	26.3	26.4	26.5	26.6	27.7	28.9	30.1	30.8	31.6	32.4	32.2	32.1	32.0	31.1	30.3	29.5	29.1	28.7	28.4	28.4	28.5
14	28.3	28.0	27.7	27.5	27.4	27.4	27.4	28.4	29.4	30.5	30.7	30.9	31.1	31.4	31.7	32.0	31.2	30.3	29.5	28.8	28.1	27.4	27.7	28.0
15	27.4	27.1	26.9	26.7	26.8	26.9	27.0	28.1	29.2	30.4	30.9	31.4	32.0	32.1	32.2	32.3	31.5	30.6	29.8	29.5	29.3	29.0	28.5	27.9
16	26.2	26.1	26.1	26.1	26.3	26.5	26.7	28.3	29.9	31.6	32.2	32.9	33.5	33.0	32.6	32.2	31.4	30.6	29.9	29.6	29.2	28.9	28.0	27.1
17	25.6	25.7	25.8	26.0	26.4	26.7	27.1	28.4	29.8	31.2	31.9	32.5	33.2	33.3	33.3	33.4	32.3	31.2	30.2	29.8	29.3	28.9	27.7	26.6
18	27.9	27.5	27.1	26.7	26.7	26.8	26.9	28.5	30.1	31.7	32.0	32.3	32.7	32.0	31.4	30.9	29.9	28.9	28.0	27.8	27.7	27.6	27.6	27.7
19	27.2	26.9	26.6	26.4	26.6	26.7	27.0	28.0	29.1	30.2	30.7	31.2	31.8	30.6	29.4	28.2	28.1	27.9	27.8	27.0	26.3	25.5	26.1	26.6
20	25.5	25.3	25.2	25.1	25.3	25.5	25.7	27.0	28.4	29.8	30.2	30.7	31.2	31.5	31.7	32.0	30.3	28.6	26.9	26.1	25.5	24.8	25.0	25.2
21	25.1	25.2	25.3	25.4	25.5	25.5	25.6	27.1	28.6	30.1	30.7	31.3	32.0	32.0	32.1	32.2	31.1	30.1	29.1	28.8	28.7	28.5	27.3	26.2
22	27.0	26.7	26.5	26.3	26.2	26.1	26.1	27.3	28.6	29.9	30.4	30.9	31.5	31.9	32.4	32.9	31.7	30.6	29.5	29.1	28.7	28.4	27.9	27.4
23	27.9	27.7	27.5	27.3	27.1	26.8	26.6	28.0	29.5	31.0	31.7	32.3	33.1	33.2	33.4	33.6	32.3	31.0	29.8	29.5	29.3	29.1	28.7	28.3
24	27.5	27.1	26.8	26.5	26.5	26.5	26.5	27.9	29.3	30.8	31.5	32.2	32.9	33.0	33.2	33.4	30.9	28.4	26.0	25.8	25.7	25.6	26.2	26.9
25	26.1	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.1	27.9	29.7	31.5	31.7	32.0	32.2	32.2	32.2	32.3	31.4	30.7	29.9	29.6	29.3	29.0	28.0	27.1
26	27.1	26.7	26.3	26.0	26.2	26.4	26.7	28.0	29.3	30.7	30.7	30.7	30.7	30.9	31.2	31.4	30.3	29.3	28.3	27.9	27.6	27.3	27.2	27.2
27	26.7	26.4	26.3	26.1	26.2	26.2	26.3	28.0	29.7	31.5	31.8	32.1	32.5	32.6	32.8	32.9	31.7	30.4	29.2	28.4	27.6	26.9	26.8	26.7
28	26.5	26.4	26.3	26.3	26.1	25.9	25.7	27.2	28.7	30.3	30.9	31.4	32.0	32.1	32.2	32.3	31.8	31.3	30.8	30.2	29.6	29.0	28.1	27.3
29	26.5	26.3	26.2	26.1	26.1	26.1	26.1	27.3	28.5	29.8	30.0	30.2	30.5	30.7	31.0	31.3	30.4	29.4	28.5	27.9	27.3	26.7	26.6	26.5
30	26.1	26.0	25.9	25.8	25.9	26.1	26.3	27.2	28.1	29.0	29.6	30.2	30.9	31.1	31.3	31.5	29.8	28.2	26.6	26.6	26.8	26.9	26.6	26.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-5 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยเดือน มีนาคม ของกรุงเทพฯในปี 2545 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยระหว่าง 8.00 – 17.00 น. %RH = 60.6%

Date\ Time	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
1	83.5	85.0	86.0	87.0	87.5	84.5	85.5	86.5	75.5	69.5	60.5	53.0	48.5	46.0	44.5	42.5	49.0	59.5	68.0	75.0	75.0	81.0	81.0	82.0
2	84.0	85.0	85.5	85.0	85.5	86.0	88.5	86.5	78.0	69.5	63.5	51.5	50.0	45.0	41.5	40.5	45.0	55.5	67.0	73.5	78.0	79.5	82.5	85.5
3	89.5	87.0	85.0	84.0	86.5	88.0	88.0	84.0	71.5	54.5	40.5	37.5	30.0	32.0	31.5	34.0	41.0	48.5	61.5	74.0	77.0	78.0	79.5	82.0
4	85.5	87.0	89.5	92.0	93.0	93.0	92.5	87.0	83.0	67.5	50.5	44.5	42.5	40.5	43.0	47.5	56.0	60.5	71.0	75.5	79.0	81.5	81.0	80.0
5	79.0	79.5	79.5	80.5	80.5	83.5	82.5	82.0	72.0	68.5	57.0	55.5	57.0	53.0	50.0	51.5	56.0	65.5	72.0	80.0	78.5	81.0	80.0	81.5
6	81.5	84.0	86.5	86.5	87.0	86.5	84.5	82.0	77.5	73.5	60.5	55.0	51.5	51.0	49.5	48.5	56.5	62.5	74.5	78.0	76.0	79.5	80.0	82.0
7	82.5	83.0	84.0	84.0	84.0	86.0	87.5	82.5	74.0	64.5	59.5	56.0	52.5	49.5	49.0	52.0	60.0	68.5	74.0	81.5	83.5	81.5	82.5	83.5
8	84.0	85.5	84.5	84.5	87.0	90.0	89.0	86.5	78.0	69.5	63.0	59.5	55.5	53.0	51.5	46.5	54.0	62.0	71.0	79.0	81.5	85.5	83.5	83.5
9	84.0	84.0	85.0	85.5	86.5	88.5	90.5	87.5	72.5	62.0	54.5	53.5	54.5	48.5	56.5	58.5	67.0	70.0	77.5	78.0	79.5	82.5	82.0	82.5
10	82.5	83.5	83.5	84.5	85.0	86.0	86.5	84.5	72.0	68.0	60.5	57.5	54.5	54.5	45.0	46.5	54.5	61.0	71.5	73.0	77.0	79.0	76.5	79.0
11	82.0	83.5	85.0	85.5	87.5	88.0	89.0	82.5	74.5	66.5	57.5	52.0	49.5	45.5	46.0	53.5	60.5	68.0	75.0	75.5	80.0	79.5	79.5	80.5
12	83.5	84.5	84.5	86.5	86.5	88.0	90.0	84.0	72.0	61.5	59.0	54.0	51.5	52.0	42.5	44.5	54.5	61.5	72.5	75.0	77.5	80.0	82.5	83.0
13	85.5	86.5	87.0	87.5	88.0	88.5	91.0	87.5	73.0	65.0	60.0	57.0	53.5	48.0	47.5	47.5	50.5	60.0	71.5	76.5	77.5	78.5	79.5	82.5
14	83.5	84.0	84.5	86.5	87.5	88.5	86.0	81.5	75.0	63.5	66.0	64.0	60.5	53.5	53.5	55.5	60.5	67.5	74.0	76.5	79.5	75.0	78.5	79.0
15	80.0	81.5	82.5	85.5	86.5	86.0	84.5	79.5	72.5	64.5	56.5	55.5	53.0	50.5	52.5	55.5	60.0	63.5	69.5	74.5	77.0	79.0	79.0	81.0
16	85.0	86.5	88.5	85.0	91.0	92.5	88.0	82.0	69.5	60.0	53.5	51.5	44.0	42.5	45.5	46.5	50.0	63.5	74.0	74.5	76.5	80.0	81.0	81.5
17	84.0	85.0	86.0	87.0	89.5	91.0	91.5	87.0	80.0	69.0	62.5	62.5	57.5	56.0	53.0	56.5	57.5	65.5	71.5	75.5	76.0	74.0	86.0	87.0
18	84.0	84.5	85.5	87.0	89.5	87.0	86.5	87.0	74.0	66.0	61.0	53.0	54.5	53.0	51.5	53.0	50.5	66.0	68.5	74.5	73.5	76.5	80.0	82.5
19	82.5	83.5	84.0	83.5	84.0	84.5	85.0	78.0	72.5	69.5	64.0	55.5	51.0	50.0	58.5	58.5	63.5	66.0	69.0	74.0	75.5	77.5	77.5	80.5
20	82.0	84.5	86.5	89.0	88.5	90.5	89.0	87.0	74.5	63.5	62.5	55.0	54.0	52.5	59.5	64.0	69.0	71.5	76.5	84.5	85.5	87.5	88.0	87.5
21	90.5	92.0	92.5	93.5	94.0	94.0	94.5	92.0	81.5	70.5	66.0	65.0	68.5	72.0	68.5	66.0	67.5	76.5	74.0	81.0	84.0	85.5	87.0	86.5
22	83.5	83.5	84.0	82.5	86.0	87.5	88.5	85.5	78.0	73.5	62.0	64.0	54.5	53.0	57.0	60.5	57.0	68.0	76.0	82.5	78.5	80.0	81.5	80.5
23	82.5	83.0	84.5	85.0	86.5	88.5	88.5	84.0	74.0	67.5	65.0	66.5	66.0	63.5	61.5	60.0	67.0	73.5	80.0	76.0	77.0	80.0	82.0	83.0
24	80.5	84.0	86.5	88.0	88.5	88.5	91.5	84.5	77.5	73.0	66.0	63.5	61.0	58.0	58.5	59.0	64.5	71.5	75.5	76.5	78.5	74.0	76.0	78.0
25	80.5	81.0	80.5	80.5	83.5	84.5	85.5	80.0	71.0	65.0	61.0	57.0	54.0	52.5	49.5	55.0	55.0	61.0	68.5	72.5	77.5	80.0	81.5	81.5
26	79.0	80.5	82.5	84.5	84.5	87.0	83.5	71.5	62.0	61.0	59.0	55.0	54.5	50.0	52.0	49.0	53.0	61.5	68.0	72.0	73.5	74.5	76.0	76.5
27	78.0	80.5	83.0	86.0	86.5	86.5	86.0	80.0	67.5	62.5	61.0	57.5	53.0	48.5	50.5	55.0	55.5	66.0	73.5	77.0	78.0	79.0	81.5	82.0
28	83.0	82.0	82.0	82.0	87.5	90.0	90.0	86.5	85.0	77.5	71.5	65.5	56.5	54.5	53.0	59.0	65.5	70.0	73.0	74.5	76.5	76.0	78.5	80.0
29	80.0	81.0	81.5	82.5	86.0	87.0	88.0	89.5	83.5	65.0	60.5	56.5	57.0	52.0	54.5	52.5	58.5	64.5	66.5	70.5	72.0	76.5	78.0	82.5
30	85.0	85.0	86.0	85.0	86.5	88.0	87.0	80.0	76.0	65.5	64.5	64.0	60.5	63.0	59.5	59.5	63.0	70.5	78.0	79.5	81.5	78.5	81.5	82.0
31	82.5	83.5	86.0	87.0	88.0	87.0	85.5	78.0	68.0	55.0	48.5	43.5	44.0	44.5	46.5	47.0	50.0	55.0	65.5	71.5	71.0	74.5	81.5	83.0

ตารางที่ ฌ-6 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยเดือน เมษายน ของกรุงเทพฯในปี 2545 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยระหว่าง 8.00 – 17.00 น. %RH = 59.7%

Date\ Time	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
1	83.5	84.0	84.5	85.5	87.5	87.0	91.5	75.5	72.0	67.0	65.5	60.0	61.0	56.0	55.0	55.5	57.5	64.0	72.5	76.5	78.0	80.0	81.5	84.5
2	83.5	84.5	86.0	86.5	86.5	87.5	88.0	79.5	70.5	63.0	62.0	58.0	58.0	54.5	51.5	53.0	61.0	66.5	70.5	76.5	79.0	77.0	78.0	78.5
3	81.0	82.5	84.5	84.5	85.0	85.5	83.5	75.0	68.5	64.5	56.0	53.5	55.0	53.5	53.0	53.0	64.0	69.0	76.0	79.0	80.0	79.5	82.0	83.5
4	84.5	85.0	85.5	86.0	86.0	87.5	89.0	83.0	72.5	78.0	68.0	65.0	62.0	55.0	52.0	54.5	62.0	68.0	74.5	79.0	83.0	79.5	83.5	84.0
5	84.5	85.5	86.0	86.5	86.5	86.5	88.0	77.5	72.5	65.5	63.5	61.0	64.5	60.5	57.0	57.5	58.0	67.5	74.0	75.5	78.5	80.0	81.5	82.5
6	84.0	85.0	86.5	87.5	87.5	88.0	86.5	79.0	70.5	60.5	54.0	46.5	42.5	41.5	50.5	48.5	52.5	60.0	67.5	72.0	74.0	75.5	76.0	78.5
7	80.5	80.5	80.5	82.0	82.5	85.5	89.5	78.0	66.5	61.5	51.0	48.0	44.5	45.0	45.0	44.0	48.5	54.5	57.5	66.5	75.0	75.5	75.5	77.5
8	79.0	77.5	79.5	75.5	75.5	78.5	81.5	71.5	67.0	59.0	55.0	46.0	47.5	47.5	45.5	46.5	45.0	50.5	58.0	67.5	71.5	75.5	74.5	74.5
9	75.5	78.5	80.5	83.5	84.5	85.5	83.5	72.5	62.0	54.0	48.0	47.0	46.5	45.5	44.0	47.5	53.5	58.5	65.0	73.5	74.5	74.5	79.0	80.5
10	81.0	82.0	84.0	85.0	85.5	88.5	89.5	78.5	70.0	61.5	59.5	55.5	48.0	48.5	48.0	47.0	49.5	56.0	66.5	68.0	72.5	71.0	72.5	78.0
11	78.5	81.5	83.5	84.5	86.0	89.5	89.5	76.5	66.0	60.5	53.0	48.0	43.5	48.5	45.0	45.0	47.5	55.0	68.0	70.0	72.0	73.0	75.5	79.0
12	79.5	79.0	79.0	79.5	81.5	84.5	85.0	71.0	64.0	54.0	52.0	53.5	48.0	47.0	42.5	46.0	49.0	56.5	67.0	70.0	69.0	73.5	74.5	77.5
13	76.5	77.5	78.5	79.5	81.5	84.0	84.5	77.5	69.0	60.0	58.5	56.0	56.5	54.0	50.5	50.5	52.5	67.0	75.0	79.0	75.5	80.5	82.0	82.0
14	81.5	82.0	82.5	84.0	82.5	84.0	85.0	81.0	71.0	64.0	58.5	50.5	51.0	50.0	53.0	52.0	56.0	62.5	73.5	78.0	79.0	80.0	82.0	81.5
15	89.0	90.0	89.5	88.0	87.0	88.5	88.5	82.0	79.0	75.0	68.0	61.5	59.5	54.0	54.5	52.5	57.5	61.5	67.5	73.5	76.0	78.0	81.0	81.5
16	85.5	87.0	89.5	91.0	90.0	91.5	91.0	86.0	82.0	74.0	64.5	57.0	53.0	51.5	54.0	56.0	58.5	62.5	69.5	73.5	80.0	81.0	81.5	80.0
17	82.5	82.5	84.0	85.0	86.0	85.5	85.0	78.0	72.0	68.5	61.0	58.5	58.0	55.0	55.5	55.5	58.5	62.5	72.0	74.5	76.0	80.5	82.0	80.5
18	78.5	80.5	82.5	81.5	83.5	85.0	84.0	80.0	72.5	69.0	69.0	60.5	58.5	56.0	54.5	55.5	62.0	66.5	72.0	77.0	79.0	79.5	80.0	82.0
19	81.0	82.0	83.0	83.0	82.0	82.5	81.5	77.5	66.0	66.0	62.5	56.5	52.0	53.5	54.5	52.0	54.5	59.0	69.0	76.0	75.5	75.5	78.0	79.5
20	79.0	79.5	80.0	82.0	82.5	83.5	84.5	76.5	78.5	76.5	66.5	62.5	62.0	59.5	60.0	59.0	64.0	64.0	72.5	76.5	78.5	80.0	82.0	82.5
21	81.0	81.5	82.5	83.5	84.0	85.5	87.5	76.5	69.5	57.0	58.0	55.5	54.5	53.5	53.0	53.0	55.0	63.0	72.0	75.0	78.0	78.0	79.0	80.5
22	82.0	81.5	81.5	83.0	84.0	84.5	86.0	78.5	69.5	62.5	60.5	55.5	55.0	52.0	50.5	56.0	60.5	68.0	71.5	73.5	78.0	77.5	78.5	80.5
23	81.0	82.0	81.0	80.5	81.5	85.0	84.0	77.0	69.5	64.5	64.0	58.5	57.0	57.5	57.0	57.5	57.5	63.5	72.5	73.0	75.0	78.0	79.5	81.0
24	79.0	79.5	80.5	81.0	82.0	84.5	83.5	78.0	71.0	66.5	61.5	59.0	56.5	53.0	52.0	52.5	57.5	66.0	73.0	75.0	77.5	78.5	80.0	81.5
25	81.0	82.0	82.0	83.0	83.5	85.0	86.0	73.5	63.0	60.5	56.5	55.0	55.0	52.0	49.5	48.0	51.5	64.5	71.0	74.0	75.5	77.5	80.5	80.5
26	81.0	81.5	82.5	83.0	85.0	87.0	88.0	79.5	69.5	63.0	56.0	52.0	58.0	60.0	59.5	59.5	61.0	68.0	71.0	76.0	80.5	80.5	82.0	82.0
27	83.5	84.0	85.0	85.5	86.5	88.5	87.5	78.0	79.5	76.0	72.0	61.5	55.5	54.0	54.5	58.0	63.0	67.0	72.0	74.0	76.5	78.5	77.5	78.5
28	79.0	78.5	78.0	77.0	78.5	79.0	77.5	78.5	73.5	66.0	63.5	59.5	54.0	52.0	54.5	54.5	64.0	65.0	69.5	74.0	77.0	80.0	82.0	79.5
29	82.0	84.0	86.0	89.0	90.5	89.5	91.5	79.5	67.5	62.5	59.5	55.5	54.5	54.0	56.0	60.5	61.5	70.0	75.0	78.0	78.0	78.5	80.5	80.0
30	80.0	81.0	82.5	84.0	84.5	86.5	89.5	76.5	68.5	60.0	55.5	53.5	54.0	55.0	53.5	58.5	61.0	64.5	70.0	71.5	74.5	75.0	77.0	79.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฌ-7 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยเดือน พฤษภาคม ของกรุงเทพฯในปี 2545 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยระหว่าง 8.00 – 17.00 น. %RH = 65.6%

Date\ Time	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
1	76.5	79.0	81.0	82.0	83.5	85.0	85.0	79.5	70.5	65.0	63.5	61.5	53.5	52.0	52.5	54.0	54.5	66.5	71.0	74.0	77.0	77.5	78.5	79.0
2	79.0	79.0	80.5	82.5	84.0	85.0	84.0	75.5	66.5	60.0	58.0	54.5	50.5	47.5	48.5	53.0	55.5	66.5	69.5	73.5	76.0	76.5	78.5	82.0
3	83.0	81.0	84.0	87.0	87.0	87.5	83.5	76.5	65.5	67.5	56.5	53.5	53.5	55.5	59.5	59.0	58.0	64.5	71.0	73.5	77.5	80.0	79.5	78.0
4	80.0	79.0	80.5	81.5	82.5	84.0	84.0	74.0	60.0	54.5	52.0	46.5	47.5	47.0	49.5	52.5	55.5	62.0	70.5	73.5	74.0	77.5	79.0	80.5
5	73.5	73.5	73.5	74.0	76.0	77.5	80.0	73.0	61.0	58.0	69.5	69.0	64.5	66.0	65.0	61.0	61.5	69.0	73.0	76.5	79.0	79.0	76.5	80.5
6	84.0	83.5	83.0	82.0	83.5	82.5	80.0	75.5	67.0	64.5	56.5	54.0	53.0	50.5	54.0	61.0	67.0	69.0	74.0	74.5	77.0	78.5	79.5	80.5
7	81.5	82.0	84.5	85.5	85.0	85.0	87.5	86.0	78.5	74.0	66.5	58.0	56.0	59.5	63.5	65.0	68.0	71.5	72.5	79.5	80.5	83.0	85.0	92.0
8	93.0	92.5	92.0	92.5	93.0	92.5	94.0	83.0	93.0	92.5	88.0	82.0	78.5	75.5	64.5	61.5	67.5	71.5	78.5	82.0	88.0	86.5	89.0	92.0
9	91.5	93.0	92.5	90.0	91.0	91.5	91.5	85.5	79.0	76.5	74.5	67.0	71.0	69.5	63.5	65.5	66.5	70.5	74.5	76.5	77.0	76.5	78.0	78.5
10	79.0	79.5	80.0	76.0	86.0	86.5	89.0	88.0	85.5	74.0	70.5	62.5	62.0	62.0	60.0	62.0	64.5	71.0	75.0	78.0	77.5	75.0	85.0	87.5
11	85.0	85.0	85.0	85.0	86.5	85.0	85.0	83.0	79.0	77.0	72.5	62.0	67.5	65.0	62.0	66.5	70.0	70.0	73.5	76.0	82.0	84.0	84.5	83.0
12	81.5	84.0	87.5	89.0	85.0	87.0	88.5	83.5	74.0	62.0	58.5	55.5	57.5	56.0	51.5	56.5	60.5	69.5	75.0	80.5	79.5	81.5	87.5	91.0
13	89.5	91.5	92.0	93.0	90.0	91.0	94.0	89.0	81.5	68.0	61.0	57.5	55.0	53.0	52.0	59.5	62.0	67.0	67.0	76.0	70.5	73.5	75.0	76.5
14	80.5	81.0	81.0	81.5	82.0	89.0	91.5	89.0	81.5	71.0	69.0	71.0	67.5	64.0	62.5	61.5	63.0	65.0	71.0	77.0	82.0	82.5	84.5	81.0
15	80.5	81.5	83.0	85.0	86.5	85.0	84.5	68.0	66.0	57.5	58.0	55.5	53.0	55.5	57.5	60.5	61.5	69.5	73.5	75.0	82.0	85.0	85.5	85.0
16	89.0	90.0	91.0	91.0	93.0	92.5	90.0	78.5	66.0	62.0	58.0	55.0	57.0	57.5	56.5	56.5	62.0	68.5	73.5	76.5	75.0	75.0	77.5	79.0
17	83.0	82.5	83.0	84.0	85.5	86.5	81.5	71.5	66.5	63.0	60.0	57.5	55.5	55.0	54.0	55.0	60.5	64.5	71.5	75.0	72.5	82.0	83.0	83.5
18	85.0	86.5	86.5	86.5	88.5	88.5	87.5	82.0	68.0	71.5	68.0	68.5	69.0	69.0	70.5	74.5	73.5	85.5	91.5	91.5	92.0	92.0	91.5	94.0
19	93.0	93.5	94.0	94.0	94.5	94.5	91.5	87.5	79.0	75.0	71.0	71.0	70.5	68.0	66.0	64.5	68.0	72.0	75.0	79.5	79.5	87.5	84.0	82.5
20	83.0	84.5	87.0	87.0	86.0	87.5	88.0	82.0	74.0	70.5	68.5	68.5	68.0	68.0	70.5	73.5	72.5	75.5	81.0	83.0	85.5	84.5	85.0	85.0
21	85.0	84.5	85.5	86.0	87.0	87.5	90.0	80.0	74.5	70.5	68.0	66.0	60.0	62.5	63.5	66.0	69.5	73.5	76.0	81.5	85.0	85.0	85.0	83.5
22	85.5	89.0	89.0	88.5	85.5	85.5	86.0	80.0	74.5	70.0	60.5	57.0	53.5	61.0	63.0	62.0	64.0	64.5	70.0	76.0	78.0	80.0	81.5	83.5
23	85.0	86.0	86.5	86.5	88.0	85.5	86.0	81.5	68.5	63.5	55.0	52.0	52.0	50.0	55.5	58.5	59.5	63.5	70.5	75.0	80.5	79.5	80.5	82.0
24	82.5	82.0	84.5	85.0	85.0	89.0	84.5	75.5	72.0	65.5	61.0	59.0	57.0	52.5	54.5	55.0	59.5	65.5	73.5	71.5	75.5	77.5	77.5	82.5
25	82.0	83.5	82.5	81.0	86.5	88.0	88.0	77.5	71.5	65.5	60.0	57.5	56.5	56.5	58.0	57.0	60.0	66.0	72.0	76.0	77.5	79.0	79.0	81.0
26	85.0	85.5	84.0	85.0	87.0	88.0	84.5	77.0	66.0	60.0	52.5	52.0	50.5	54.5	60.0	63.0	68.0	70.0	75.5	79.0	82.5	82.0	82.0	89.5
27	86.0	87.5	89.0	89.5	90.5	91.5	90.5	89.5	82.5	73.5	67.0	65.0	64.0	63.5	66.5	66.0	70.5	73.0	79.0	80.0	84.0	83.5	85.0	85.0
28	85.5	87.0	89.0	90.5	86.0	90.0	90.0	87.5	82.0	79.0	73.0	71.0	71.0	71.5	77.0	75.5	82.0	83.0	84.0	88.5	92.0	90.0	90.5	93.0
29	92.5	92.5	92.5	93.0	93.0	93.0	92.5	89.5	82.0	73.0	68.5	67.0	63.5	63.5	64.5	70.0	73.0	73.0	77.0	79.5	81.0	83.0	87.5	90.5
30	90.5	91.5	92.0	92.0	92.5	93.0	91.0	86.0	77.0	74.5	69.0	65.0	62.5	62.5	63.5	65.5	71.0	73.0	78.5	79.5	80.5	83.0	84.0	85.0
31	85.0	84.5	84.5	83.0	85.5	87.0	84.0	81.0	73.5	68.0	63.0	61.5	61.0	60.0	56.0	62.5	65.0	66.0	72.0	76.0	78.0	79.5	81.0	82.0

ตารางที่ ฌ-8 แสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยเดือน มิถุนายน ของกรุงเทพฯในปี 2545 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยระหว่าง 8.00 – 17.00 น. %RH = 68.8%

Date\ Time	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00
1	80.0	81.5	84.5	86.5	90.0	90.5	88.5	82.5	74.0	66.5	65.5	58.0	59.5	60.0	61.0	64.0	68.0	71.5	79.5	89.5	90.5	93.5	89.0	89.0
2	87.5	87.5	87.0	89.5	90.0	89.0	84.5	78.5	76.0	70.0	68.5	66.0	64.0	64.0	69.0	66.5	70.0	73.0	75.5	76.0	77.0	73.0	88.0	90.0
3	86.5	88.5	89.5	90.5	89.0	88.5	87.0	84.0	80.5	75.0	74.5	70.5	69.5	65.5	65.5	67.0	76.0	75.5	79.0	79.5	81.0	79.5	82.5	82.5
4	82.5	83.5	84.0	84.5	85.5	86.0	89.0	76.5	72.0	66.5	62.5	66.0	63.5	61.5	62.0	65.0	70.5	78.5	78.0	81.0	83.0	82.5	82.0	84.0
5	85.5	84.5	81.0	82.0	83.5	85.0	79.0	75.5	72.5	69.5	67.5	63.5	62.0	64.0	63.5	65.5	67.5	71.0	77.5	82.0	82.0	81.0	82.5	82.5
6	83.5	80.0	78.5	77.0	78.5	81.0	83.5	75.0	69.0	68.5	63.5	64.0	60.5	62.0	59.0	62.0	65.0	68.5	74.0	77.0	76.5	76.0	74.0	76.5
7	75.0	78.0	78.0	78.0	79.0	78.0	79.0	71.0	64.5	66.0	63.5	59.5	59.5	58.5	62.0	60.5	63.5	70.5	76.5	72.5	74.0	77.0	78.0	76.0
8	76.0	78.0	80.0	80.0	81.5	83.0	78.0	76.0	68.0	65.0	61.5	63.0	63.0	64.5	65.0	67.0	71.5	74.0	78.0	79.5	83.5	87.0	87.5	87.5
9	89.5	91.5	93.0	93.0	95.0	92.5	94.5	94.0	89.5	84.5	83.5	79.0	71.0	71.5	68.5	68.5	72.0	74.0	80.5	85.5	90.5	91.0	92.0	92.5
10	93.0	92.5	92.5	92.0	92.0	88.5	89.0	92.0	94.5	88.5	83.0	84.0	86.0	81.0	82.0	80.0	79.0	80.0	85.0	85.0	83.0	87.5	89.0	89.0
11	89.5	91.0	93.5	95.0	95.0	95.0	95.5	89.0	78.0	74.0	71.0	67.5	67.0	68.5	69.5	72.0	75.0	75.0	78.5	82.0	82.5	85.5	86.5	86.5
12	88.0	88.0	90.0	92.0	94.0	94.5	95.0	88.0	78.5	71.0	64.5	62.0	60.0	60.0	59.0	55.5	63.5	70.0	74.0	77.5	79.0	81.5	84.0	85.5
13	88.5	90.5	88.5	89.5	94.5	89.5	92.0	85.0	81.0	79.5	76.5	68.5	64.5	65.0	64.0	65.5	69.5	72.0	77.5	80.0	82.5	85.5	86.0	86.0
14	85.5	87.0	88.0	87.5	87.5	89.5	90.5	90.0	84.0	76.0	73.0	72.0	74.0	74.5	71.5	68.5	67.0	71.5	76.0	79.5	82.5	85.5	85.5	85.0
15	90.0	90.5	91.0	92.0	93.0	93.0	93.5	88.5	80.0	73.5	69.0	66.5	66.5	68.5	62.5	64.5	69.5	73.5	78.0	77.0	79.0	80.0	80.5	84.5
16	85.0	86.5	88.0	90.0	91.0	91.0	88.5	83.5	76.5	66.5	62.0	59.5	59.0	56.5	61.5	59.5	59.5	67.0	73.0	76.0	77.5	78.5	78.5	84.5
17	87.0	86.5	89.5	88.5	87.5	90.0	89.0	81.0	76.0	69.5	62.0	57.5	58.5	58.0	58.0	57.5	58.0	61.0	70.0	74.5	74.5	74.0	74.0	76.0
18	76.5	78.0	79.0	81.0	84.0	84.0	85.0	73.0	74.0	62.5	60.5	58.5	59.0	57.5	57.0	69.5	73.0	81.0	83.0	84.5	87.5	87.5	86.0	85.0
19	84.5	86.5	86.5	86.0	87.0	90.0	89.5	83.0	74.0	71.5	69.0	64.5	67.0	64.0	76.5	78.5	80.0	81.0	84.0	81.5	86.5	91.5	91.5	94.0
20	90.0	92.0	93.0	94.0	94.5	91.5	90.5	88.5	79.0	73.0	74.5	70.0	68.0	65.5	63.5	66.0	69.0	80.0	84.5	88.0	94.0	96.5	95.5	95.5
21	95.5	94.5	93.5	93.0	92.5	94.0	97.5	90.0	82.0	76.0	70.5	69.0	67.0	72.0	69.5	65.0	65.0	74.5	77.0	81.0	83.5	81.5	86.0	86.5
22	89.0	89.5	90.5	90.5	88.0	89.5	91.5	81.5	74.5	72.0	70.5	64.5	65.5	64.5	63.0	62.0	66.0	68.0	75.0	80.0	84.0	84.5	85.5	84.5
23	82.0	81.0	80.0	79.5	82.5	86.5	86.0	77.0	73.0	66.0	62.5	62.0	60.5	59.5	59.5	60.0	64.5	68.5	75.0	73.5	71.0	73.0	73.5	74.0
24	75.0	76.5	77.5	79.0	80.0	82.5	83.0	75.0	68.5	64.0	60.0	57.0	58.5	58.5	60.0	60.0	64.5	71.5	86.5	88.5	88.0	86.5	85.5	83.5
25	86.0	85.5	85.0	84.0	85.0	89.0	85.0	76.0	64.5	62.5	62.0	61.5	62.0	58.0	61.0	63.5	62.5	68.5	72.5	75.0	76.5	71.5	73.0	69.0
26	72.0	77.0	79.5	82.0	84.0	84.0	83.0	74.0	68.5	64.5	61.5	66.0	65.5	70.0	69.5	66.0	69.0	69.5	81.5	83.0	84.0	81.5	82.0	84.0
27	84.0	82.0	82.5	83.5	84.0	84.0	87.0	77.5	70.5	64.5	64.5	58.5	60.5	58.5	58.0	60.5	64.5	67.5	73.0	81.5	81.5	81.0	81.5	81.5
28	86.0	85.0	84.0	83.5	84.5	86.5	87.0	84.0	75.5	68.5	66.5	62.5	60.5	59.5	61.5	59.0	54.5	63.5	65.5	68.0	72.5	73.5	76.0	78.5
29	83.5	84.0	84.0	85.0	86.5	86.0	85.0	81.0	74.5	74.0	76.5	75.0	70.5	70.0	68.5	65.0	70.5	74.0	80.0	82.0	83.0	79.0	81.5	84.0
30	85.5	86.0	86.5	86.5	86.0	85.0	84.0	79.5	78.0	73.0	68.0	71.5	69.0	67.0	68.0	65.0	66.0	84.5	89.5	89.5	85.5	90.0	92.5	89.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากข้อมูลสภาวะอากาศระหว่างเดือน มีนาคม ถึง มิถุนายน จะได้ว่า อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 8.00 – 17.00 น. ระหว่างเดือน มีนาคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2545 คือ T_{db} = 32.3 °C และเปอร์เซ็นต์ความชื้นเฉลี่ยระหว่าง 8.00 – 17.00 น. ระหว่างเดือน มีนาคม ถึง มิถุนายน พ.ศ. 2545 คือ %RH = 63.7%

ดังนั้นเราจะใช้อุณหภูมิกระเปาะแห้งเฉลี่ยที่ T_{db} = 32.5 °C และ %RH = 65.0 % ในเป็นสภาวะอากาศที่ใช้ในการทดสอบเครื่องปรับที่ห้องทดสอบมาตรฐาน (Calorimeter Room)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นาย ธนวรา ทองล้วน

เกิดวันที่ 11 พฤศจิกายน พ.ศ. 2518

ประวัติการศึกษา

-สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจักรคำคณาทร ลำพูน

-สำเร็จการศึกษาระดับ ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2542

-เข้าศึกษาต่อในระดับ ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย