การศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในระบบปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศโดยการพ่นน้ำ

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

ธนวรา ทองล้วน์, รศ. ฤชากร จิรกาลวสาน์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพฯ 10330 โทร 02-2186-642, โทร สาร 02-2186-642,
E-mail : nawara_t@hotmail.com, richakorn.c@chula.ac.th
Thanawara Tongloun, Assoc.Prof. Richakorn Chirakalwasan

Abstract

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 inlet air.

In the research, comparisons of both performance and efficiency between the water-spray-cooled and air-cooled air conditioners at the same room and ambient 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 much better than the air-cooled air conditioner. In the field test, both 15,000 Btu/hr(4.4 kW) and 48,000 Btu/hr (14 kW) air conditioners could increase the Coefficient of Performance (COP) by about 20%. From the Calorimeter room, the 12,000 Btu/hr(3.5 kW) air conditioner could increase COP by about 19% which was agreed very well with the field test.

The smallest atomized water spray system is feasible for a single air conditioner with a capacity at least 48,000 Btu/hr(14 kW) or for many small air conditioners.

บทคัดย่อ

อาคารที่พักอาศัย อาคารพาณิชย์ต่างๆ ตลอดจนอาคารอีกหลายประเภท มักนิยมใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งสามารถทำการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการพ่นน้ำ

ในการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบทั้งสมรรถนะ และประสิทธิภาพของเครื่องปรับ อากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ การทดสอบกระทำที่สภาวะอากาศเดียวกัน และยังศึกษาความคุ้มค่าในการติดตั้งระบบพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000(4.4 kW) และ 48,000(14 kW) Btu/hr.

จากการวิจัยนี้พบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำดีกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศมาก จากการทดสอบที่สถานที่ติดตั้ง เครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr(4.4 kW) และ 48,000 Btu/hr(14 kW) สามารถเพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ขึ้นประมาณ 20% และผล

ทดสอบจากห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศมาตรฐานกับเครื่องปรับอากาศขนาด 12,000 Btu/hr (3.5 kW) สัมประสิทธิ์สมรรถนะเพิ่มขึ้น 19 %

เนื่องจากระบบพ่นน้ำขนาดเล็กสุด ถ้าจะติดตั้งกับเครื่องปรับอากาศเพียงเครื่องเดียวให้คุ้มทุนได้เร็ว เครื่องปรับอากาศควรมีขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr (14 kW) หรือมากกว่า หรือใช้กับเครื่องขนาดเล็กจำนวนหลายเครื่อง

บทนำ

ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioner) เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายโดยทั่วไป มีข้อดีคือ มีขนาดเล็ก ติดตั้งและบำรุงรักษาง่าย แต่ข้อเสียก็คือใช้กำลังไฟฟ้ามาก เพราะระบายความร้อนด้วยอากาศ เนื่องจากประเทศไทยอุณหภูมิอากาศค่อนข้างร้อน ทำให้ความดัน (อุณหภูมิควบแน่น) และอุณหภูมิของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์สูง ซึ่งจะมีผลทำให้ทั้งเครื่องอัดไอ (Compressor) ต้องทำงานหนักและความสามารถในการทำความเย็นลดลงได้ หรือประสิทธิภาพไม่ดี ซึ่งนั่นก็หมายความว่าต้องมีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้มากขึ้น

ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดที่จะลดความดัน (อุณหภูมิควบแน่น) และอุณหภูมิของสารทำความเย็น โดยทำการลดอุณหภูมิของอากาศลงก่อนเข้าไประบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างอุปกรณ์ และทดสอบสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำทั้งแบบในการใช้งานจริงและในห้องทดสอบมาตรฐานเครื่องปรับอากาศ (Calorimeter Room) และทำการวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบระหว่างสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ โดยทำการทดสอบที่สภาวะอากาศภายนอกและภายในคู่เดียวกัน

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สัมประสิทธิ์สมรรถนะรวมของระบบ (Coefficient of Performance, $COP_{Overall}$)

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะโดยรวมของระบบ คือ อัตราส่วนความสามารถในการทำความเย็นต่อพลังงานรวมที่ใช้ทั้งหมดนั่นคือที่เครื่องอัดไอและพัดลมทั้งหมด (ได้จากห้องทดสอบโดยตรง)

$$COP_{Overall} = \frac{Q_t}{W_T}$$

เมื่อ Q_t = ขีดความสามารถในการทำความเย็น (kW)

W_T = พลังงานโดยรวมที่ป้อนให้กับระบบ (kW)

ผลจากการลดอุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นต่อประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

จากสมการพื้นฐานการถ่ายเทความร้อนในคอนเดนเซอร์

$$Q_C = U_O A_O \Delta T_m$$

โดย Q_C = ความร้อนที่ถ่ายเทในคอนเดนเซอร์(W)

U_O = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ ($W/m^2.^oC$)

A_O = พื้นที่ผิวภายนอกทั้งหมด (m^2)

ΔT_m = ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิธมิค (^oC)

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

ta,i = อุณหภูมิอากาศขาเข้าคอนเดนเซอร์ (^oC)

ta,o = อุณหภูมิอากาศขาออกคอนเดนเซอร์ (^oC)

tc = อุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น(^oC)

เนื่องจากพื้นที่ผิวภายนอกทั้งหมด (A_O) เป็นค่าคงที่ ถ้าสมมุติค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์มีค่าคงที่ ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิธมิค (ΔT_m) จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์หรืออุณหภูมิอากาศที่ใช้ระบายความร้อนมีการเปลี่ยนแปลง การถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิธมิค (ΔT_m)

$$Q_C \propto \frac{(t_{a,o} - t_{a.i})}{\ln[(t_C - t_{a,i})/(t_C - t_{a,o})}$$

จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิอากาศเข้าลดลง ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิธมิค (ΔT_m) จะเพิ่มขึ้น ทำให้การถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ (Q_C) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีผลดีคือทำให้อุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ (t_C) ลดลง ประสิทธิภาพ

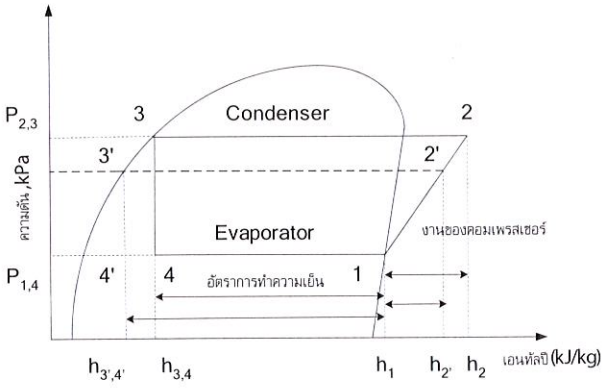
ของระบบ (สัมประสิทธิ์สมรรถนะ) จะเพิ่มขึ้น แต่การที่อุณหภูมิสารทำความเย็นลดลง ผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ยแบบลอการิธมิค (ΔT_m) จะลดลงตาม ทำให้การถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ (Q_C) ลดลงได้ ซึ่งก็เป็นไปตามธรรมชาติ จะพบว่าการลดอุณหภูมิอากาศระบายความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถทำความเย็นได้มากขึ้น การที่ทำความเย็นได้มากขึ้นการระบายความร้อนก็ต้องเพิ่มขึ้น แต่ใช้กำลังที่คอมเพรสเซอร์น้อยลง การระบายความร้อนก็ต้องน้อยลง ผลลัพธ์ก็คือการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ก็ไม่เพิ่มขึ้นมาก คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ถ้าพ่นน้ำสู่อากาศก่อนที่จะเข้าสู่คอนเดนเซอร์ จะทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง สามารถทำให้อุณหภูมิและความดันสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ต่ำลงได้ สามารถเขียนบนแผนภูมิ P-h ได้ดังรูปที่ 1 วัฏจักรทำความความเย็นเปลี่ยนแปลงจากวัฏจักร 1-2-3-4 ไปเป็นวัฏจักร 1'-2'-3'-4' เนื่องจากการระบายความร้อนของคอนเดนเซอร์ด้วยอากาศเปลี่ยนเป็นมีการพ่นน้ำเข้าสู่อากาศก่อน กล่าวคือละอองน้ำจะดึงความร้อนออกจากอากาศทำให้อากาศเย็นลงและมักจะมีบางส่วนกระเด็นไปถูกคอนเดนเซอร์ก็จะช่วยในการดึงความร้อนออกโดยตรง โดยวิธีการนี้จะสามารถทำให้อุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ (Condensing temperature) มีค่าต่ำกว่าเมื่อไม่ได้ใช้น้ำพ่น เนื่องจากอุณหภูมิกลั่นตัวของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำในอุดมคติจะมีค่าเข้าใกล้อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้ามาในคอนเดนเซอร์ ในขณะที่คอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศนั้นอุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์จะเข้าใกล้อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่เข้ามาในคอนเดนเซอร์ ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศจะมีค่าน้อยกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศเสมอ ดังนั้นอุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ที่มีการพ่นน้ำจึงมีค่าต่ำกว่า เมื่อพิจารณาจากแผนภาพ P-h ในรูปที่ 1 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ลดลงจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์ต่อกิโลกรัมสารทำความเย็น ($h_{2'} - h_{3'}$) เพิ่มขึ้นแต่ก็ไม่มากนัก เพราะในขณะที่ความดันทางด้านส่งของคอมเพรสเซอร์ (จุด 2') จะลดลง ทำให้งานที่ใส่ให้กับคอมเพรสเซอร์ต่อกิโลกรัมสารทำความเย็น ($h_{2'} - h_{1'}$) ลดลงด้วย ดังนั้นจึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศ (COP) เพิ่มขึ้นดังนี้

ระบายความร้อนด้วยอากาศ $$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

ระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำช่วย

$$COP' = \frac{h_{1'} - h_{4'}}{h_{2'} - h_{1'}}$$

ซึ่งจะเห็นว่า $COP' > COP$



รูปที่ 1 P-h diagram ของระบบปรับอากาศ ก่อนและหลังการพ่นน้ำ

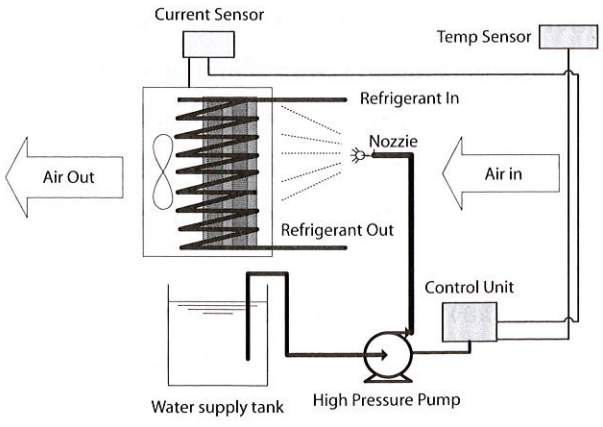
หลักการทำงานของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ

สำหรับคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำเป็นคอนเดนเซอร์ที่อาศัยทั้งน้ำและอากาศในการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะก๊าซ เพื่อให้สารทำความเย็นที่อยู่ในสถานะก๊าซเกิดการควบแน่นเปลี่ยนแปลงจากสถานะก๊าซเป็นของเหลว ดังนั้นหลักการของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำคือการนำเอาข้อดีของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยน้ำและการระบายความร้อนด้วยการระเหยน้ำ (Evaporative Cooling) แต่ใช้ปริมาณน้ำพอดีกับที่ต้องการ โดยไม่ต้องมีน้ำหมุนเวียน

ข้อดีของระบบนี้คือไม่ต้องดัดแปลงคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศเลย เพียงแต่ติดตั้งหัวฉีดพ่นหมอกน้ำด้านหลังหรือด้านที่อากาศก่อนจะไหลเข้าคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ทำให้ง่ายต่อการติดตั้งและบำรุงรักษา สามารถหยุดการพ่นน้ำทำงานเป็นแบบระบายความร้อนด้วย

อากาศธรรมดาได้ง่ายๆ ในขณะที่อากาศเย็นทำให้การพ่นน้ำอาจจะไม่ได้ประโยชน์เท่าที่ควร และจะหยุดการพ่นน้ำเสมอเมื่อคอมเพรสเซอร์หยุดการทำงาน การพ่นน้ำจะสามารถลดอัตราการหมุนเวียนของน้ำหรือลดขนาดปั๊มน้ำได้มาก ซึ่งในระบบปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยน้ำนั้นเพียงประมาณ 1% ของน้ำที่ปั๊มหมุนเวียนเท่านั้นที่ใช้ในการระเหยเพื่อทำให้น้ำที่เหลือ 99% เย็นลง การพ่นน้ำก็เปรียบเหมือนใช้ปั๊มน้ำแค่ 1% ในทางปฏิบัติจะต้องมีการกระเด็นบ้าง แต่รวมแล้วไม่เกิน 3% แม้ว่าจะต้องใช้ความดันเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัวก็ตาม กำลังที่ปั๊มต้องใช้ก็จะน้อยมากเมื่อเทียบกับกำลังที่ต้องใช้ที่เครื่องอัด เพราะอัตราไหลของน้ำที่ต้องใช้พ่นน้อยลงหลายสิบเท่าตัว

สำหรับการทำงานของคอนเดนเซอร์แบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำนั้น เริ่มด้วยเมื่อสารทำความเย็นอุณหภูมิสูงและความดันสูงในสถานะก๊าซจะไหลเข้าสู่ทางท่อด้านบน แล้วน้ำจากก้นถังจะถูกปั๊มส่งไปยังหัวฉีดเพื่อฉีดให้เป็นละอองน้ำขนาดเล็กคล้ายหมอก ฉีดพ่นไปผสมกับอากาศที่ถูกดูดจากพัดลมของคอนเดนเซอร์ ทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง และหมอกน้ำบางส่วนยังไปกับอากาศเข้าสัมผัสกับขดท่อสารทำความเย็นเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นที่ไหลผ่านขดท่อสารทำความเย็นที่คอนเดนเซอร์ ทำให้สารทำความเย็นควบแน่นเปลี่ยนสถานะจากไอกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิอิ่มตัวหรือความดันต่ำลง เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศสูงขึ้นดังกล่าวมาแล้ว



รูปที่ 2 แสดงการทำงานของชุดพ่นน้ำที่ติดตั้งกับชุดคอนเดนเซอร์

สำหรับหัวฉีดที่นำมาใช้ในการวิจัยนี้ จะใช้หัวฉีดแบบ Atomize ซึ่งให้ละอองน้ำที่ออกมาจากหัวฉีดอยู่ในลักษณะของหมอก (Homogeneous Fog) และมีลักษณะลำน้ำที่พ่นออกมาเป็นรูปกรวย ซึ่งมีส่วนช่วยในการผสมกันระหว่างอากาศกับละอองน้ำได้ดียิ่งขึ้น

การทดสอบกับเครื่องปรับอากาศที่ใช้งานอยู่ทั่วไป

การทดสอบนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องปรับอากาศที่ระบายความร้อนด้วยอากาศที่ใช้งานอยู่ทั่วไปกับแบบเพิ่มเติมโดยการพ่นน้ำช่วย นอกจากนี้ยังทำการปรับเปลี่ยนความดันของน้ำ (อัตราการไหลของน้ำ) ที่ใช้ในการฉีดพ่น (ทดสอบความดันน้ำที่ 5, 10 และ 15 Bar) สำหรับการทดสอบในขั้นตอนนี้มีผลดังนี้

จากตารางที่ 1 และ 2 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ที่ความดันน้ำทุกค่าความสามารถในการทำความเย็นไม่เปลี่ยนหรือเปลี่ยนไม่มากเพราะการวัดขนาดความสามารถในการทำความเย็นที่สถานที่ใช้งานมักจะมีค่าคลาดเคลื่อนได้มาก แต่ค่ากำลังไฟฟ้าลดลงอย่างมากคือประมาณ 16% หรือค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 20% โดยที่ความดันน้ำ 5, 10 และ 15 bar มีค่าทุกอย่างใกล้เคียงกันดังนั้นหากใช้งานทั่วไปที่เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดกำลังทำความเย็นไม่สูงกว่า 15,000 Btu/hr(4.4 kW) ควรใช้ความดันน้ำขนาด 5 Bar ก็สามารถเพิ่มค่า COP ได้ถึงประมาณ 20% ดังกล่าว สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาด 48,000 Btu/hr(14 kW) ซึ่งไม่ได้แสดงไว้ พบว่าค่า COP เพิ่มขึ้นประมาณ 20% เช่นกัน เพียงแต่ต้องใช้ความดันน้ำ 10 Bar ดังนั้นการติดตั้งกับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดทำความเย็นสูงๆ อาจจะต้องใช้ความดันน้ำสูงกว่านี้ การปรับความดันให้เหมาะสมโดยดูจากลักษณะของละอองไอหมอกที่ออกมาจากหัวฉีด

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) ของแบบระบายอากาศด้วยการพ่นน้ำมีค่าสูงกว่าประมาณ 20%

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลและค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบพ่นน้ำที่ความดันน้ำต่างๆ กัน

Condenser	Pressure	อากาศภายนอก		ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		CFM	h (Btu/lb)		อัตราการทำความเย็น	ปริมาณน้ำที่ใช้	W_{Total}	kW/ton	COP
	Water	T_{db}°C	%RH	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	(ft^3/min)	กลับ	จ่าย	Btu/hr (kW)	(L/min)	(kW)		
Air-Cooled	-	32.7	67.4	52.08	76.39	24.0	10.4	276.24	28.66	18.66	12,410(3.6)	-	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	12,403(3.6)	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	12,446(3.6)	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(3.6)	0.227	1.06	1.03	3.43

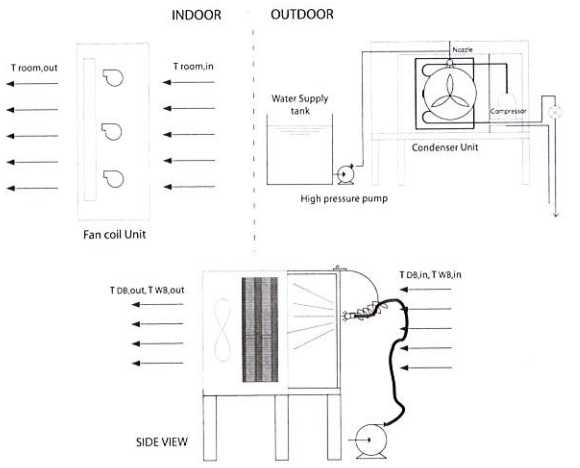
***หมายเหตุ** 1. กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการคิดค่าทั้งหมดรวมทุกอย่างคือ พัดลม ทั้งหมดและปั๊มน้ำ
2. การควบคุมสภาวะอากาศภายนอกทำได้โดยประมาณเท่านั้น

ตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบข้อมูลและค่าประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบพ่นน้ำที่ความดันน้ำต่างๆ กัน

Condenser	ความชื้น(%)		อุณหภูมิ(°C)		h (Btu/lb)		อัตราการทำความเย็น	W_{Total}	kW/ton	COP
	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย	กลับ	จ่าย				
Air-Cooled	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Water Spray,5	-0.83%	+2.95%	-0.59%	-5.28%	-0.84%	-1.55%	0%	-15%	-15%	+18%
Water Spray,10	+2.37%	+3.68%	-0.87%	-5.68%	+0.10%	-1.50%	0%	-16%	-16%	+20%
Water Spray,15	+2.21%	+4.66%	-1.01%	-5.92%	-0.09%	-1.29%	0%	-17%	-17%	+20%

การทดสอบที่ห้องทดสอบมาตรฐาน (Calorimeter Room)

การทดสอบในห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ ได้ทดสอบเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ โดยควบคุมสภาวะของอากาศภายนอกที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ ใกล้เคียงกับสภาวะอากาศจริงในประเทศไทย และค่าที่ใช้มาจากการประมาณเฉลี่ยค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ช่วงที่ร้อนจัดและเป็นช่วงที่เปิดเครื่องปรับอากาศมากที่สุด โดยที่ก่อทำการทดสอบได้ทำการปรับสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศให้ทำงานเต็มประสิทธิภาพมากที่สุด โดยได้เติมปริมาณสารทำความเย็นให้เหมาะสมตามมาตรฐานที่ผู้ผลิตกำหนด ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3 แสดงชุดทดสอบเครื่องปรับอากาศและชุดพ่นน้ำในห้องทดสอบมาตรฐานเครื่องปรับอากาศ

จากตารางที่ 3 ถึง 5 เป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ได้ทดสอบที่สภาวะอากาศภายนอกเดียวกัน ทั้งนี้เครื่องปรับอากาศทั้งสองมีปริมาณน้ำยาสารทำความเย็น R-22 ในระบบเท่ากัน (1.35 kg)

จากผลการทดสอบเครื่องปรับอากาศทั้งสองแบบสามารถหาค่าสมรรถนะเครื่องปรับอากาศด้วยการวัดค่าพลังงานที่ป้อนให้กับห้องปรับอากาศโดยตรง

จากตารางที่ 3 ทดสอบโดยควบคุมสภาวะอากาศภายนอก Tdb= 35°C, Twb=26.1°C(RH = 50%) พบว่ากรณีที่ 1 เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ และกรณีที่ 1ก แบบที่ระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ การพ่นน้ำทำให้ขีดความสามารถการทำความเย็น (Q_T) เพิ่มขึ้นประมาณ 7% ขณะที่ค่าพลังงานที่ป้อนให้กับระบบทั้งหมด (W_T) มีค่าลดลงประมาณ 10% ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 19%

จากตารางที่ 4 ทดสอบโดยควบคุมสภาวะอากาศภายนอก Tdb = 32.5°C, Twb=26.4°C, RH = 65% พบว่ากรณีที่ 2 เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ และกรณีที่ 2ก แบบที่ระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ การพ่นน้ำทำให้ขีดความสามารถการทำความเย็น (Q_T) เพิ่มขึ้นประมาณ 5% ขณะที่ค่าพลังงานที่ป้อนให้กับระบบทั้งหมด (W_T) มีค่าลดลงประมาณ 11% ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 18%

จากตารางที่ 5 ทดสอบโดยควบคุมสภาวะอากาศภายนอก Tdb = 30°C, Twb = 25.5°C, RH = 70% พบว่ากรณีที่ 3 เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ และกรณีที่ 3ก แบบที่ระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ การพ่นน้ำทำให้ขีดความสามารถการทำความเย็น (Q_T) เพิ่มขึ้นประมาณ 6% ขณะที่ค่าพลังงานที่ป้อนให้กับระบบทั้งหมด (W_T) มีค่าลดลงประมาณ 11% ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะโดยรวมของระบบ (COP) มีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 19%

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความดันด้านสูง (P_C) หรืออุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น (T_C) ของเครื่องปรับแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกับแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ พบว่าการพ่นทำให้ความดันด้านสูง (P_C) หรืออุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็น (T_C) ลดลงได้ประมาณระหว่าง 10 ถึง 15%

ดังนั้นสรุปได้ว่าเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ มีประสิทธิภาพดีกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยที่ขีดความสามารถในการทำความเย็นเพิ่มขึ้น ขณะที่พลังงานที่ป้อนให้กับระบบลดลง (ประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดไอ) และความดันที่คอมเพรสเซอร์ต้องอัดหรืออุณหภูมิควบแน่นของสารทำความเย็นลดลง ทำให้ช่วยยืดอายุการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้ยาวนานยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T, W_T, P_C, T_C และ COP ระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกรณีที่ 1 กับแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ (กรณีที่ 1ก)

สภาวะอากาศที่ทดสอบ	Q_T (Watt)	W_T (Watt)	P_C	T_C	COP
กรณีที่ 1 (T_{db}= 35, T_{wb}=26.1, RH = 50%)	2,950	1,225	1,871.75	48.8	2.41
กรณีที่ 1ก (T_{db}= 35, T_{wb}=26.1, RH = 50%)	3,150	1100	1,591.24	42.4	2.86
กรณีที่ 1 เทียบกับกรณีที่ 1ก	7%	-10%	-15%	-13%	+19%

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T, W_T, P_C, T_C และ COP ระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกรณีที่ 2 กับแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ (กรณีที่ 2ก)

สภาวะอากาศที่ทดสอบ	Q_T (Watt)	W_T (Watt)	P_C	T_C	COP
กรณีที่2 (T_{db}= 32.5, T_{wb}=26.4, RH = 65%)	3,035	1,175	1,722.44	45.6	2.58
กรณีที่2ก (T_{db}= 32.5,T_{wb}=26.4,RH =65%)	3,200	1,050	1522.01	41.1	3.05
กรณีที่ 2 เทียบกับกรณีที่ 2ก	+5%	-11%	-12%	-10%	+18%

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Q_T, W_T, P_C , T_C และ COP ระหว่างเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (กรณีที่ 3) กับแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำ (กรณีที่ 3ก)

สภาวะอากาศที่ทดสอบ	Q_T (Watt)	W_T (Watt)	P_C	T_C	COP
กรณีที่ 3 (T_{db}= 30, T_{wb}=25.5, RH = 70%)	3,100	1,150	1,687.21	44.7	2.70
กรณีที่ 3ก (T_{db}= 30, T_{wb}=25.5, RH = 70%)	3,275	1,025	1,501.11	39.9	3.20
กรณีที่ 3 เทียบกับกรณีที่ 3ก	+6%	-11%	-11%	-11%	+19%

หมายเหตุ: +เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น, -เปลี่ยนแปลงลดลง

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

นอกจากการที่วิเคราะห์สมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยการพ่นน้ำเทียบกับเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากผลตอบแทนการลงทุน และผลการดำเนินโครงการนี้ว่าสามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเท่าไร ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับการวิจัยนี้ ใช้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนการลงทุน (IRR) ซึ่งคิดค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ การลงทุนและระยะเวลาการคืนทุน

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

จากตารางที่ 6 แสดงผลการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr โดยคำนวณตามเงื่อนไขเครื่องพ่นน้ำ 1 ชุดต่อเครื่องปรับอากาศ 1-15 เครื่อง

เมื่อพิจารณาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่าต้องทำการติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศจำนวน6 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 7 แสดงผลการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ในการติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 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 หากทำการติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่มากๆ รวมทั้งหากเครื่องปรับอากาศนั้นชั่วโมงการใช้งานที่สูง จะช่วยคืนทุนเร็วยิ่งขึ้น คุ้มค่าในการลงทุนและการประหยัดพลังงาน

ตารางที่ 6 แสดงการคำนวณความคุ้มค่าในการลงทุนติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศขนาด 15,000 Btu/hr

จำนวนเครื่อง	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%

ตารางที่ 7 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%

สรุปผล

การปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนด้วยอากาศโดยการพ่นน้ำ สามารถทำให้สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) เพิ่มขึ้นได้ประมาณ 15% ถึง 20% การใช้น้ำความดันสูงผ่านหัวฉีดต้องทำให้ได้หมอกน้ำที่มีขนาดเล็กเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Fog) ไปผสมกับอากาศก่อนเข้าชุดคอนเดนเซอร์และบางส่วนมักจะเข้าไปแลกเปลี่ยนโดยตรงกับแผงคอนเดนเซอร์ มีสิ่งที่ต้องระวังคือมักจะมีน้ำที่ระเหยไม่หมดตกลงมาที่บริเวณเครื่องทำให้เปียกเลอะ

การใช้เครื่องปรับอากาศแบบระบายความร้อนโดยการพ่นน้ำ ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ขึ้นกับขนาดของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ด้วย ดังนั้นจึงต้องพิจารณาให้เหมาะสมกับการใช้งาน จากการติดตั้งระบบพ่นน้ำที่เครื่องปรับอากาศขนาดการทำความเย็น 15,000 Btu/hr 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 %

ถ้าเครื่องปรับอากาศมีขนาดการทำความเย็น 48,000 Btu/hr พบว่าต้องทำการติดตั้งชุดพ่นน้ำกับเครื่องปรับอากาศจำนวน 2 เครื่องจึงจะคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีการลงทุนในการติดตั้งชุดพ่นน้ำในตอนแรก 8,800 บาท และจากการคำนวณอัตราคืนทุน สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลา 1 ปี 3 เดือนและให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าเมื่อคิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน (NPV) เท่ากับ 19,411.25 บาท ของอายุการใช้งานเครื่องปรับอากาศตลอดระยะเวลา 10 ปี และเมื่อคิดผลตอบแทนการลงทุน (IRR) จะได้เท่ากับ 77% และถ้าหากต้องการคืนทุนเร็วและคุ้มค่ายิ่งขึ้น ต้องติดตั้งกับเครื่องปรับอากาศจำนวน 3-5 เครื่อง

นอกจากนี้หากเครื่องปรับอากาศมีชั่วโมงการทำงานสูง และเครื่องปรับอากาศที่ใช้เป็นเครื่องที่มีขนาดการทำความเย็นสูงๆ จะยิ่งความคุ้มค่าเมื่อทำการติดตั้งชุดพ่นน้ำ ซึ่งจะช่วยประหยัดกำลังไฟฟ้ามากขึ้นและหากติดตั้งหลายๆ เครื่องก็จะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าและคุ้มค่ากับการลงทุนยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ ที่ได้มอบทุนในการวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่อนุญาตให้ใช้ ห้องทดสอบเครื่องปรับอากาศ

เอกสารอ้างอิง

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

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

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

4. ASHRAE Handbooks 2000, 2001, 2002 and 2003