

**การลดพลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศโดย
ควบคุมอุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็น**
**Energy reduction in air conditioner usage by controlling the condensing
temperature of the refrigerant**

รศ.ดร. สุรัชย์ รดาการ

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร แขวงลาดยาว กรุงเทพฯ 10900

E-mail surachai.radagan@gmail.com โทร. 02 942 8930

บทคัดย่อ

การใช้เครื่องปรับอากาศเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้สำหรับประเทศที่มีอากาศร้อนชื้น จากการวิจัยพบว่าการทำงานในห้องที่มีการปรับสภาพอากาศจะทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องปรับอากาศเป็นตัวเลขที่ค่อนข้างสูง และ การใช้พลังงานในการเดินเครื่องปรับอากาศมีแนวโน้มที่สูงขึ้นเรื่อยๆ จากสาเหตุดังกล่าวจึงเป็นที่มาของการศึกษาการลดพลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศ ในการศึกษาการลดพลังงานครั้งนี้ใช้สารทำความเย็น R134a โดยหลักการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นที่กลั่นตัวนอกคอยล์เย็น กับ สารทำความเย็นกลั่นตัวภายในคอยล์ร้อน เพื่อลดอุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็น น้ำเย็นที่กลั่นตัวนอกคอยล์เย็นจะไหลมารวมที่ภาชนะกักเก็บน้ำที่อยู่ด้านล่าง ระดับน้ำถูกควบคุมโดยใช้ลูกกลอย และรักษาอุณหภูมิไว้ในช่วง 50 °F - 70 °F น้ำส่วนนี้จะนำไปฉีดเข้าที่แผงคอยล์ร้อนในลักษณะคล้ายละอองหมอก ผลการศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็นลดลงจาก 120 °F ลงไป 5 °F 10 °F และ 15 °F โดยควบคุมอุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็นไว้ที่ 40 °F สามารถลดพลังงานต่อต้านความเย็นลดได้ 8.3% 16.7% และ 24% ตามลำดับ และระบบทำความเย็น มีค่า C.O.P. สูงขึ้น 9.4% 20.0% และ 31.8% ตามลำดับ จากการวิเคราะห์พอสรุปได้ว่าเมื่อทำการลดอุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็นลง จะทำให้ระบบทำความเย็นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และใช้พลังงานต่อต้านความเย็นลดลง

คำหลัก: การลดพลังงาน เครื่องปรับอากาศ อุณหภูมิกลั่นตัว การทำความเย็นด้วยละอองหมอก

Abstract

Using air-conditioner is unavoidable for a country with a tropical climate. Research indicates that working in a room with air conditioning will improve working efficiency. But the expense of operating an air-conditioner is costly. In addition, the power consumption for operating air-conditioners continues to increase. For this reason, we study the energy reduction in air conditioner usage. This study uses the refrigerant R134a by using the principle of heat exchange between the cold water that condenses outside the cooling coil with a condensing refrigerant within the hot coil in order to reduce the condensing

temperature of the refrigerant. The chilled water that condenses outside the cooling coil will be collected at a storage container below. The water level is maintained by using a float and the temperature is kept between 50°F - 70°F. This water is later injected as mist into the hot coil. The results show that when the condensing temperature of the refrigerant is decreased from 120 °F by 5 °F, 10 °F and 15 °F, while keeping the vaporizing temperature of the refrigerant at 40°F, we can reduce the power per ton of refrigeration down to 8.33%, 16.66% and 23.95% respectively. Moreover the C.O.P. increases by 9.3% 20.0% และ 31.8% respectively. The results from the analysis can be summarized as: decreasing the condensing temperature of the refrigerant raises the cooling system performance and decreases the energy consumption per ton of cooling.

Keywords: Energy reduction, air-conditioner, Condensing temperature, Water mist cooling

1. บทนำ

อุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็นมีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบทำความเย็นในเครื่องปรับอากาศโดยตรง กล่าวคือหากลดอุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ลงสมรรถนะของระบบทำความเย็นโดยรวมจะดีขึ้น ซึ่งหมายถึงการใช้พลังงานจะลดลงด้วย การศึกษาการลดพลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศ โดยควบคุมอุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็น จะใช้หลักการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างไอสารทำความเย็นที่ส่งจากคอมเพรสเซอร์ กับ น้ำเย็นที่กลั่นตัวจากแผงคอยล์เย็นที่อยู่ในห้องปรับอากาศ น้ำเย็นที่วุ่นนี้จะไหลมารวมที่ภาชนะกักเก็บน้ำที่อยู่ด้านล่าง ระดับน้ำถูกควบคุมโดยใช้ลูกลอย และรักษาอุณหภูมิไว้ในช่วง 50 °F - 70 °F น้ำส่วนนี้จะนำไปฉีดเข้าที่แผงคอยล์ร้อนในลักษณะคล้ายละอองหมอก ละอองหมอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กๆ จะระเหยกลายเป็นไอน้ำ ขณะที่ละอองหมอกระเหยกลายเป็นไอน้ำจะดูดความร้อนจากอากาศโดยรอบ และความร้อนจากสารทำความเย็นในคอยล์ที่มันสัมผัส ไอสารทำความเย็นจะคลายความร้อนออก อุณหภูมิจะลดลงและกลั่นตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าปกติ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้ สภาวะการทำความเย็นที่อุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็น 40 °F และอุณหภูมิกลั่นตัว 120 °F เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบ โดยลดอุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็นลง 5 °F 10 °F และ 15 °F และควบคุม

อุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็นไว้ที่ 40 °F คำนวณหาตัวแปรสัมพัทธ์เชิงความร้อนของของไหลทั้งสองชนิดในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ สมรรถนะรวมของระบบวัดในรูป สัมประสิทธิ์สมรรถนะ (C.O.P.) และ อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER)

สัญลักษณ์ คำอธิบายและหน่วย

d = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ (in)

D = เส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ (ft)

e = ความหยาบของผิวท่อ (ft)

f = แฟคเตอร์ความหยาบผิว

g = ความเร่งของแรงโน้มถ่วง (32.2 ft/s²)

h_f = เอนทัลปีของของไหลสถานะของเหลว (BTU/lb)

h_{fg} = ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (BTU/lb)

h_g = เอนทัลปีของของไหลสถานะแก๊ส (BTU/lb)

h_{igr} = ความร้อนแฝงของการควบแน่น (BTU/lb)

ΔP = ความดันสูญเสียจากความเสียดทาน (psi)

L = ความยาวท่อ (ft)

m_w = อัตราไหลของน้ำ (lb/Hr)

m_r = อัตราไหลของสารทำความเย็น (lb/Hr)

Q_w = อัตราดูดความร้อนของน้ำ (BTU/Hr)

Q_c = อัตราคายความร้อนของสารทำความเย็น (BTU/h)

MHP = แรงม้ามอเตอร์ (hp)

ρ = ความหนาแน่น (lb/ft³)

μ = ความหนืดสัมบูรณ์ (cP)

ϵ = ค่าความหยาบผิวท่อ (ft)

$C.F.M.$ = อัตราไหลของอากาศ (ft^3/min)

η_m = ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%)

η_p = ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ (%)

2. หลักการทำความร้อนด้วยละอองหมอก

2.1 คุณสมบัติเชิงความร้อนของน้ำ

น้ำเป็นของไหลมีสามสถานะคือ สถานะของแข็ง สถานะของเหลว และสถานะไอ น้ำที่อยู่ในสถานะของเหลวจะอัดตัวไม่ได้ มีความหนาแน่นสูงสุดที่ 38°F ซึ่งความหนาแน่นนี้มีค่าเท่ากับ 62.4 ปอนด์ต่อ ลบ.ฟุต น้ำมีจุดเดือดอยู่ที่ 212°F เมื่อน้ำเดือดหรือระเหยกลายเป็นไอจะดูดความร้อน การที่จะทำให้น้ำระเหยที่อุณหภูมิต่ำจะต้องลดความดันไออิ่มตัวของน้ำลง ในการศึกษานี้จะให้น้ำระเหยที่อุณหภูมิช่วง $50^\circ\text{F} - 70^\circ\text{F}$ การลดความดันโดยให้น้ำไหลผ่านหัวฉีดน้ำเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กๆ ขนาด 0.02 - 0.04 นิ้ว ด้วยเครื่องสูบน้ำเย็นน้ำขนาดเล็กความดันสูง 400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว น้ำจะฉีดออกที่หัวฉีดเป็นละอองเล็กๆ คล้ายหมอก แขนงลอยอยู่ในอากาศ เมื่อถูกกระแสลมดูดจากพัดลมมอเตอร์ของ CDU จะปะทะกับแผงคอยล์ร้อน ละอองน้ำที่มีขนาดเล็กพร้อมที่จะระเหยเมื่อสัมผัสกับอากาศและแผงคอยล์ร้อนจะดูดความร้อนจากอากาศ และความร้อนจากสารทำความเย็นในคอยล์ร้อนที่มันสัมผัส ปริมาตรความร้อนที่ละอองน้ำดูดแล้วกลายเป็นไอน้ำอิ่มตัว เรียกว่า ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ (3) หน่วย BTU/lb

ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำ
เมื่อ $50^\circ\text{F} < t < 70^\circ\text{F}$

$$h_f = t - 31.9 \dots\dots\dots (1)$$

$$h_g = 1061.6 + 0.4252t + 0.00009t^2 \dots\dots (2)$$

$$h_{fg} = 1093.5 + 0.5748t + 0.00009t^2 \dots\dots (3)$$

2.2 คุณสมบัติเชิงความร้อนของสารทำความเย็น R134a

สารทำความเย็น R134a ที่ใช้ในระบบทำความเย็นจะกำหนดให้ระเหยที่อุณหภูมิ 40°F ภายในคอยล์

เย็น และ สารทำความเย็นนี้จะนำกลับมาใช้ทำความเย็นใหม่ โดยทำการควบแน่นที่คอนเดนเซอร์ที่อุณหภูมิ 120°F และลดอุณหภูมิกลั่นตัวลงไป 5°F 10°F และ 15°F สารทำความเย็น R134a มีความร้อนจำเพาะเมื่ออยู่ในสถานะของเหลวอิ่มตัว และสถานะไออิ่ม โดยประมาณเท่ากับ 0.34 BTU/lb- $^\circ\text{F}$ และ 0.21 BTU/lb- $^\circ\text{F}$ ตามลำดับ ปริมาณจำเพาะเมื่อเป็นไออิ่มตัวที่อุณหภูมิ 120°F เท่ากับ 0.95 ลบ.ฟุตต่อปอนด์ มีความร้อนสะสมในสถานะของเหลวอิ่มตัวตามสมการ (4) ความร้อนสะสมในสถานะไออิ่มตัวตามสมการ (5) และ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอดังสมการ (6)

ค่าความร้อนสะสมของสารทำความเย็น R134a
เมื่อ $80^\circ\text{F} < t < 120^\circ\text{F}$

$$h_f = 12.319 + 0.2835t + 0.0004t^2 \dots\dots\dots (4)$$

$$h_g = t - 31.9 \dots\dots\dots (5)$$

$$h_{fg} = 91.471 + 0.1731t + 0.0004t^2 \dots\dots\dots (6)$$

2.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

จากสมดุลพลังงาน ความร้อนที่ของไหลชนิดหนึ่งคายออกจะเท่ากับความร้อนที่ของไหลอีกชนิดหนึ่งรับไว้ ละอองน้ำเมื่อระเหยกลายเป็นไอน้ำอิ่มตัวจะดูด ความร้อน ปริมาตรความร้อนที่ดูดคำนวณได้จากสมการ (7)

$$Q_w = m_w h_{fg} \dots\dots\dots (7)$$

สารทำความเย็น R134a เมื่อควบแน่นจะคายความร้อนออก ปริมาตรความร้อนที่คายออก คำนวณได้จากสมการ (8)

$$Q_c = m_r h_{fg} \dots\dots\dots (8)$$

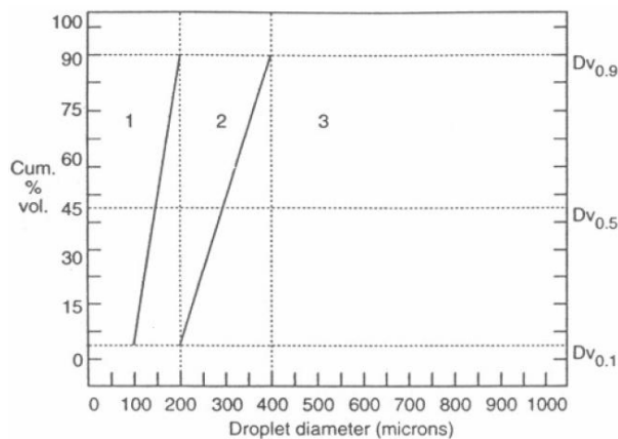
ปริมาณอากาศระบายความร้อนในแผงคอยล์ร้อน
คำนวณจากสมการ (9)

$$C.F.M. = \frac{Q_c}{1.08 \times \Delta T} \dots\dots\dots (9)$$

2.4 ระบบท่อส่งน้ำฉีดละอองหมอก

เปรียบเทียบน้ำจำนวนหนึ่งเมื่อพ่นเป็นละอองหมอกขนาดเม็ดเล็กมากๆ กับเมื่อพ่นเป็นละอองฝอยน้ำที่พ่นเป็นละอองหมอกได้เม็ดละอองหมอกมากกว่า

พื้นที่ผิวของน้ำสัมผัสกับความร้อนมากกว่า เม็ดละอองน้ำระเหยกลายเป็นไอได้มากกว่า ไอระเหยจากละอองหมอกดูดซับความร้อนจากสิ่งที่มีสัมผัสได้มากกว่า ช่วยลดอุณหภูมิลงได้มาก ดังนั้นเมื่อละอองหมอกสัมผัสผิวที่อุณหภูมิร้อนจะดูดความร้อนจากสารทำความเย็นได้มากกว่า เมื่อพ่นน้ำเป็นละอองฝอย



รูปที่ 1 ประเภทของละอองหมอก แบ่งตามขนาดของเม็ดน้ำ

สูญเสียในเส้นท่อน้ำคำนวณได้จากสมการ Darcy-Weisbach สำหรับความดันสูงดังนี้

$$\Delta P = 0.000216 \frac{fL\rho Q^2}{d^5} \quad \text{..... (10)}$$

$$Re = 50.6 \frac{Q\rho}{d\mu} \quad \text{..... (11)}$$

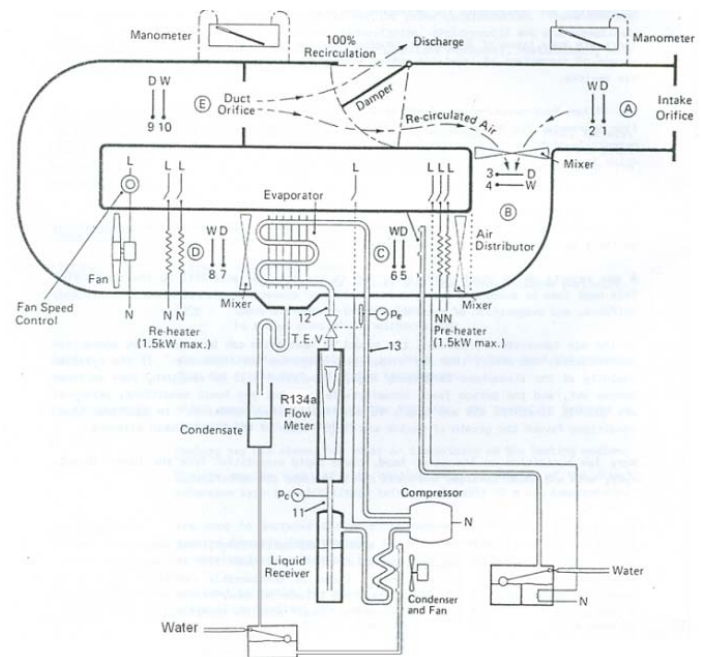
$$\text{Relative roughness} = \frac{\epsilon}{D} \quad \text{..... (12)}$$

ระบบพ่นน้ำเป็นละอองหมอกที่กล่าวใช้เครื่องสูบน้ำส่งน้ำเข้าระบบเส้นท่อน้ำด้วยความดัน 400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนของเครื่องสูบน้ำหาได้จากสมการ (13) ดังนี้

$$MHP = \frac{WHP}{\eta_p \times \eta_m} \quad \text{..... (13)}$$

3. อุปกรณ์ทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบสมรรถนะของระบบประกอบด้วยชุดทำความเย็น ซึ่งมีอุปกรณ์ทำความเย็นหลักคือ แผงคอยล์เย็น วาล์วลดความดันคอมเพรสเซอร์ และ อุปกรณ์ควบแน่นหรือแผงคอยล์ร้อน นอกจากอุปกรณ์หลักแล้วยังมีอุปกรณ์อื่นๆ เช่น ระบบท่อหมุนเวียนอากาศ ระบบท่อน้ำเย็นกลั่นตัวที่ใช้ในการสร้างละอองหมอก ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 อุปกรณ์ทดสอบสภาวะอากาศ และสมรรถนะระบบทำความเย็น

4. ผลและวิจารณ์

จากผลการศึกษาการลดพลังงานในการใช้เครื่องปรับอากาศครั้งนี้ ได้ข้อมูลดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 ขนาดทำความเย็นที่ใช้ เท่ากับ 12,000 BTU/Hr อากาศภายนอกเป็นอากาศมาตรฐานสภาวะปกติ ที่ระดับน้ำทะเล มีค่าปริมาตรจำเพาะเท่ากับ 13.34 ลบ.ฟุตต่อปอนด์ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบคิดรวมพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำที่สร้างระบบละอองหมอกไว้ด้วย

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการทำงานของระบบทำความเย็นที่สภาวะอุณหภูมิกลั่นตัวต่างๆ เมื่ออุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็นที่ 40 °F ที่ 49.74 psia.

Refrigerating terms	Condensing temperatures			
	120	115	110	105
Absolute pressure (psia)	185.83	173.10	161.04	149.63
Refrigerating eff (BTU/lb)	55.92	57.76	59.58	61.38
Mass flow (lb/min-ton)	3.58	3.46	3.36	3.26
Spec volume (ft ³ /lb)	0.95	0.95	0.95	0.95
Volume (ft ³ /min-ton)	3.39	3.29	3.19	3.10
Compression Ratio	3.74	3.48	3.24	3.01
Volumetric Eff (%)	74	76	78	80
Heat of comp (BTU/lb)	11.41	10.77	10.14	9.50
THR (BTU/min-ton)	241.04	237.11	234.26	231.07
THP (hp/ton)	0.96	0.88	0.80	0.73
FU consumption (w)	18.0	18.0	18.0	18.0
CDU consumption (w)	50.0	49.2	48.6	47.9
C.O.P.	4.90	5.36	5.88	6.46
EER. (BTUh/w)	15.23	16.25	17.71	19.22

จากการวิเคราะห์พอสรุปได้ว่า เมื่อทำการลดอุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็นลง โดยใช้เทคนิคระบบพ่นน้ำเป็นละอองหมอกเข้าช่วย เมื่ออุณหภูมิกลั่นตัวของสารทำความเย็นลดลงจาก 120 °F ลงไป 5 °F 10 °F และ 15 °F โดยคงอุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็นไว้ที่ 40 °F สามารถลดพลังงานต่อตันความเย็นได้ 8.3% 16.7% และ 24% ตามลำดับ และระบบทำความเย็น มีค่า C.O.P. สูงขึ้น 9.4% 20.0% และ 31.8% ตามลำดับ ทำให้ระบบทำความเย็นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น และใช้พลังงานลดลง

5. เอกสารอ้างอิง

5.1 หนังสือ

- [1] Roy J.Dossat. (1997). *Principles of Refrigeration*, Prentic-Hall, Inc.
- [2] Gagnon, R.M. 1997. *Design of Water-Based Fire Protection Systems*. Delmar Publishers.

- [3] Puchovsky, M.T. and K.E. Isman. 1998. *Fire Pump Handbook*. National Fire Protection Association.

5.2 ข้อกำหนดและมาตรฐาน

- [1] National Fire Protection Association; NFPA 750 1996 Edition. Standard on Water Mist Fire Protection Systems. The United States of America.