พื้นฐานและหลักการของเครื่องปรับอากาศแบบดูดกลืน

Principle of Absorption Refrigeration

รองศาสตราจารย์ ฤชากร จิรกาลวสาน
(Associate Professor Richakorn Chirakalwasan) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 0-2218-6622, 08-1821-2183 โทรสาร 0-2252-2889, 0-2693-6754
E-Mail: richakorn.c@chula.ac.th หรือ richakorn@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงหลักการเบื้องต้นในทางทฤษฎีที่มีความสัมพันธ์กับทางปฏิบัติของเครื่องปรับอากาศแบบดูดกลืน ความจริงแล้วเครื่องปรับอากาศแบบดูดกลืนก็มีหลักการคล้ายกับเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาที่ใช้กันอยู่ ซึ่งเรียกว่าเครื่องปรับอากาศแบบอัดไอ (Vapor Compression Refrigeration) เครื่องปรับอากาศแบบดูดกลืนนั้นใช้ปั๊มอัดของเหลวแทนการใช้คอมเพรสเซอร์ในการอัดไอ จึงใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่ามากมาย โดยสารที่ทำหน้าที่ในการทำความเย็น (Refrigerant) เท่านั้นจะไหลเวียนในคอนเดนเซอร์ (Condenser) อุปกรณ์ลดความดัน และเครื่องระเหย (Evaporator) เหมือนกับในเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดาทุกประการ มีส่วนที่ต่างกันคือการทำให้ไอกลายเป็นของเหลวเพื่อจะสามารถใช้ปั๊มอัดได้นั้น เราอาศัยของเหลวอีกชนิดดูด โดยของเหลวที่ทำหน้าที่ดูดกลืนนี้จะไม่มีการเปลี่ยนสถานะเป็นไอ ดังนั้นการที่จะให้สารที่จะใช้ทำความเย็นแยกตัวออกมาได้ จึงต้องใช้พลังงานความร้อนจำนวนมาก ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบดูดกลืนเปรียบเทียบกับแบบธรรมดาสามารถใช้หลักการของเครื่องทำความเย็นแบบคาร์โนต์พิสูจน์ได้ว่าจะเป็น $(T_G-T_H)/T_G$ เท่าของแบบธรรมดา โดย T_G คืออุณหภูมิแหล่งพลังงานความร้อน ส่วน T_H คือ อุณหภูมิแหล่งระบายความร้อน พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศแบบดูดกลืนจะมีประสิทธอภาพน้อยกว่าแบบธรรมดาหลายเท่าตัว

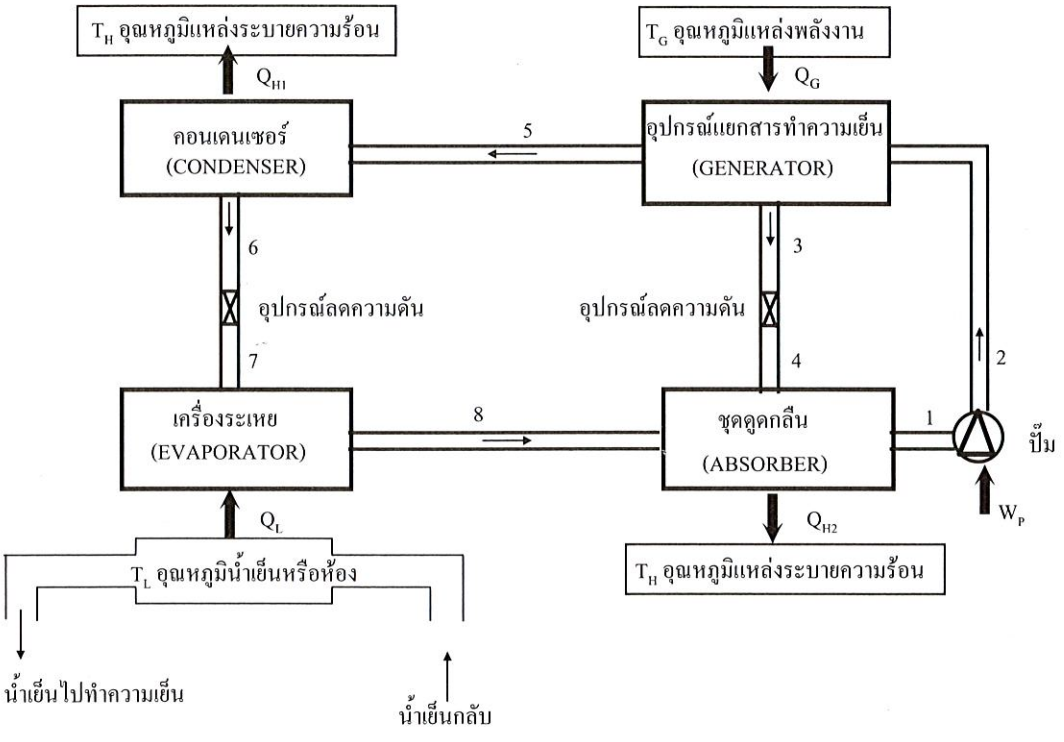
ABSTRACT

This article decribes the principle of absorption refrigeration. The basic concept of the Absorption Refrigeration is nearly the same as Vapor Compression Refrigeration. The Absorption Refrigeration uses pump to compress liquid where as the latter uses Compressor. In compressing liquid, power required for pump is very much less compared to a compressor. Only the refrigerant is recirculated into the condenser, expansion valve and evaporator as in normal vapor compression refrigeration. There are only some differences. A second liquid is used to absorb the refrigerant or equivalent to condense the vapor refrigerant into liquid so that a pump can be used instead of a compressor. In order to separate refrigerant from the absorber, a great deal of heat is required. In Carnot Refrigeration, the Coefficient of Performance (COP) of Absorption Refrigeration is $(T_G-T_H)/T_G$ of Vapor Compression Refrigeration COP in which the outcome is comparable with actual systems. T_G is the heat source temperature and T_H is the cooling medium temperature. The Coefficient of Performance of Absorption System is very much less than that of the Vapor Compression Refrigeration.

1. หลักการของเครื่องปรับอากาศแบบดูดกลืน

หลักการทำความเย็นแบบดูดกลืนคล้ายกับแบบธรรมดาคือการถ่ายเทความร้อนก็อาศัยสารทำความเย็น (Refrigerant) ในการเปลี่ยนสถานะระหว่างของเหลวกับไอ เพียงแต่ว่าใช้ปั๊มในการอัดของเหลวแทนการอัดไอด้วยคอมเพรสเซอร์ โดยใช้สารอีกชนิดดูดกลืนไอสารทำความเย็น ซึ่งเปรียบเหมือนทำให้กลายเป็นของเหลวที่ความดันต่ำได้ สารทำความเย็นที่นิยมใช้คือน้ำ ส่วนสารที่เป็นตัวดูดกลืน (Absorbent) นิยมใช้ลิเทียมโบรไมด์ (Lithium Bromide = LiBr) ซึ่งจะไม่มีการเปลี่ยนเป็นไอ (อาจจะกลายเป็นไอบ้างแต่น้อยมากไม่ค่อยมีความหมาย) คือ เป็นของเหลวตลอด

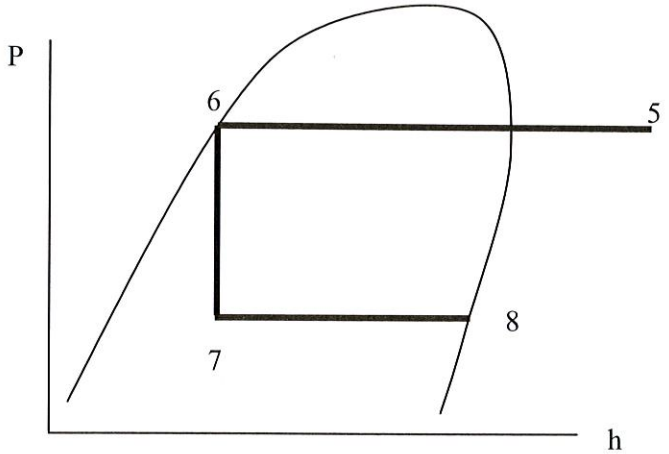
ตามรูปที่ 1 ภาวะที่ 1 เป็นด้านความดันต่ำหรือความดันระเหย (Evaporating Temperature) น้ำจะกลายเป็นของเหลวเมื่อถูกลิเทียมโบรไมด์ดูด ทางปฏิบัติพบว่าจะมีน้ำอยู่ประมาณ 41% (ความเข้มข้นของลิเทียมโบรไมด์ 59%) ของเหลวผสมนี้จะถูกปั๊มสูบแล้วอัดให้มีความดันเท่ากับความดันด้านสูงหรืออุณหภูมิควบแน่น (Condensing Temperature) ภาวะที่ 2 ส่งไปยังอุปกรณ์แยกสารทำความเย็น (GENERATOR) เพื่อใช้ความร้อน Q_G แยกเฉพาะสารทำความเย็นหรือน้ำออกไปภาวะที่ 5 ไปยังคอนเดนเซอร์ เพื่อระบายความร้อน Q_{H1} ออก ทำให้มันกลายเป็นของเหลวที่ภาวะที่ 6 ซึ่งความดันยังคงไม่เปลี่ยน ปล่อยให้ไหลผ่านอุปกรณ์ลดความดัน เช่น อาจจะใช้แผ่นช่อง (Orifice Plate) หรือวาล์วก็ได้ เป็นธรรมชาติการลดความดันก็จะทำให้ของเหลวบางส่วนกลายเป็นไอ ส่วนที่กลายเป็นไอจะทำให้ของเหลวที่เหลือเย็นลง (อุณหภูมิลด) ของเหลวที่เย็นนี้จะไหลเข้าไปทำความเย็นในเครื่องระเหย (Evaporator) เครื่องระเหยนี้ใช้ในการทำน้ำให้เย็นในเครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) หรือทำอากาศให้เย็นโดยตรงก็ได้ กระบวนการตั้งแต่ภาวะที่ 5 ถึง 8 เหมือนกับกระบวนการในระบบทำความเย็นธรรมดา (Vapor Compression Refrigeration) ทุกประการ ถ้าย้อนกลับมาดูภาวะที่ 3 ซึ่งเป็นจุดที่น้ำแยกตัวออกไปแล้วก็จริงแต่ก็ไม่สามารถแยกออกได้หมด จากประสบการณ์พบว่ายังคงมีน้ำอยู่ประมาณ 34% (หรือความเข้มข้นของลิเทียมโบรไมด์เพิ่มเป็น 66%) จากนั้นก็ให้ลดความดันมายังภาวะที่ 4 เพื่อไหลเข้าไปยังชุดดูดกลืน (Absorber) เพื่อดูดกลืนสารทำความเย็น (น้ำ) ที่ไหลออกมาจากเครื่องระเหย จากนั้นก็จะไหลออกสู่ภาวะที่ 1 วนเวียนเป็นวัฏจักร



รูปที่ 1 วงจรเครื่องปรับอากาศแบบดูดกลืน

2. การใช้หลักการของเครื่องทำความเย็นแบบอัด

ภาวะที่ 5 ถึง 8 สามารถประมาณใกล้เคียงกับเครื่องทำความเย็นแบบอัดไอ ซึ่งใช้น้ำเป็นสารทำความเย็นเช่นที่คอนเดนเซอร์ ระบายความร้อนด้วยน้ำอุณหภูมิควบแน่น (Condensing Temperature = T_C) จะประมาณ 40°C (104°F) นั่นคือความดันด้านสูงหรือในคอนเดนเซอร์ สามารถหาได้จากตารางคุณสมบัติทางเธอร์โมไดนามิกส์ของน้ำจะได้ 7.384 kPa (2.2 in.Hg) และที่เครื่องระเหยสำหรับเครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) ที่ต้องการทำเย็นอุณหภูมิ 7°C (44°F) มักจะต้องการอุณหภูมิระเหย (Evaporating Temperature) ประมาณ 5°C (41°F) ดังนั้นความดันด้านต่ำหรือในเครื่องระเหยสามารถหาได้จากตารางเช่นกัน นั่นคือ 0.8721 kPa (0.257 in.Hg) อาจจะเขียนแสดงบนแผนภูมิ P-h ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิ P-h

ขนาดทำความเย็นสามารถคำนวณจาก $Q_L = m_{W7} (h_8 - h_7)$ โดยทั่วไป $h_7 = h_6$ ดังนั้น

$$Q_L = m_{W7} (h_8 - h_6)$$

ความร้อนที่ระบายทิ้งที่คอนเดนเซอร์คือ

$$Q_{H1} = m_{W5} (h_5 - h_6)$$ ซึ่ง $m_{W5} = m_{W6} = m_{W7} = m_{W8}$

เนื่องจากมีแต่น้ำอย่างเดียวอาจจะเขียน

$$m_5 = m_6 = m_7 = m_8 = m_{W5} = m_{W6} = m_{W7} = m_{W8}$$

ตัวอย่างที่ 1 ถ้าไอน้ำ (สารทำความเย็น) ที่ออกจากอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นมีอุณหภูมิ 150°C (300°F) ความดัน 7.384 kPa (2.2 in.Hg) สมมุติไม่มีความเสียดทานการการไหล และให้อุณหภูมิระเหยเป็น 5°C (41°F) ถ้าเครื่องทำความเย็นได้ 350 kW (100 ตัน) จงหาอัตราไหลของสารทำความเย็น (น้ำ) และความร้อนที่ต้องระบายที่คอนเดนเซอร์

วิธีทำ จากตารางคุณสมบัติของน้ำจะได้

h_5 = 278 2.99 kJ/kg, h_6 = 167.54 kJ/kg, h_8 = 2510.54 kJ/kg

อัตราสารทำความเย็นไหล

$$m_{W7} = Q_L/(h_8 - h_6) = 350/(2510.54-167.54)$$
$$= 0.149 \text{ kg/s}$$

อัตราระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์

$$Q_{H1} = m_{W5} (h_5 - h_6) = 0.149^*$$
$$(2782.99-167.54) = 389.7 \text{ kW}$$

3. การคำนวณด้านอุปกรณ์แยกสารทำความเย็นและชุดดูดกลืน

อาศัยกฎการอนุรักษ์มวล

ถ้าให้ x แทนความเข้มข้นของลิเทียมโบรไมด์เป็น kgLiBr/kg ส่วน y แทนความเข้มข้นของน้ำเป็น kgW/kg หรือ x = 1 - y อาศัยกฎการอนุรักษ์มวลสามารถคำนวณอัตรามวลไหลที่ปั๊มต้องดูด-อัดภาวะที่ 1 ได้ดังต่อไปนี้

ที่ชุดดูดกลืน มวลรวม

$$m_1 = m_4 + m_8 \quad \text{.....(a)}$$

มวลของน้ำอย่างเดียว

$$y_1.m_1 = y_4.m_4 + y_8.m_8 \quad \text{.....(b)}$$

จากทั้งสองสมการจะได้

$$m_4 = m_8 (y_8 - y_1) / (y_1 - y_4) \quad \text{.....(c)}$$

จากสมการ (a) และ (c) จะได้

$$m_1 = m_8 \{(y_8 - y_1) / (y_1 - y_4) + 1\} \quad \text{.....(d)}$$

อาศัยกฎการอนุรักษ์พลังงาน

การหาความร้อน Q_G ที่ต้องใส่ที่อุปกรณ์แยกสารทำความเย็น

$$Q_G = m_5.h_5 + m_3.h_3 - m_2 h_2 \quad \text{.....(e)}$$

โดยค่าเอนทัลปีของลิเทียมโบรไมด์ผสมน้ำสามารถหาจากรูปที่ 3
กำลังของปั๊มหาได้จาก

$$W_P = m_1.v_1 (P_2-P_1) / n_P \quad \text{.....(f)}$$

โดยค่า v_1 สำหรับความเข้มข้นของลิเทียมโบรไมด์ประมาณ 63% (ของน้ำ 37%) มีค่าประมาณ 0.000555 m^3/kg, P_1 = ความดันเครื่องระเหย P_2 = ความดันในคอนเดนเซอร์ n_P = ประสิทธิภาพปั๊มประมาณ 0.75
เอนทัลปีที่ภาวะที่ 2 หาได้จาก

$$h_2 = h_1 + v_1 (P_2 - P_1) / n_P \quad \text{.....(g)}$$

ตัวอย่างที่ 2 จากตัวอย่างที่ 1 สมมุติภาวะที่ 1 และ 2 มีน้ำอยู่ประมาณ 41% (ความเข้มข้นของลิเทียมโบรไมด์ 59%) ภาวะที่ 3 และ 4 มีน้ำอยู่ประมาณ 34% (หรือความเข้มข้นของลิเทียมโบรไมด์เพิ่มเป็น 66%) สมมุติภาวะที่ 1 สูงกว่าแหล่งระบายความร้อนเล็กน้อยให้มีค่า 40°C (104°F) และภาวะที่ 3 มีอุณหภูมิ 150°C (300°F) จงหาความร้อนที่ต้องใช้ ความร้อนที่ต้องถ่ายออกที่ชุดดูดกลืน และประสิทธิภาพซีโอพี

วิธีทำ จากตัวอย่างที่ 1

$$m_5 = m_6 = m_7 = m_8 = m_{W5} = m_{W6} = m_{W7} = m_{W8} = 0.149 \text{ kg/s}$$

ภาวะที่ 3 มีน้ำอยู่ประมาณ 34% (หรือความเข้มข้นของลิเทียมโบรไมด์เพิ่มเป็น 66%) อุณหภูมิ 150°C (300°F) จากรูปที่ 3 หาค่า h_3 = 340 kJ/kg, จากตัวอย่างที่ 1 h_5 = 2782.99 kJ/kg

ภาวะที่ 1 มีน้ำอยู่ประมาณ 41% (ความเข้มข้นของลิเทียมโบรไมด์ 59%) อุณหภูมิ 40°C (104°F)

จากรูปที่ 3 หาค่า h_1 = 110 kJ/kg

$$h_2 = h_1 + v_1 (P_2-P_1) / n_P = 110 + 0.000555^* (7.384-0.8721) /0.75 = 110 \text{ kJ/kg}$$

$$m_4 = m_8 (y_8 - y_1) / (y_1 - y_4) = 0.149^* (1-0.41) / (0.41-0.34) = 1.26 \text{ kg/s}$$

$$m_3 = m_4 = 1.26 \text{ kg/s}$$

$$m_1 = m_8 \{ (y_8 - y_1) / (y_1 - y_4) + 1\} = 0.149^* \{(1-0.41) / (0.41-0.34) +1\} = 1.40 \text{ kg/s}$$

$$m_2 = m_1 = 1.40 \text{ kg/s}$$

การหาความร้อน Q_G ที่ต้องใส่ที่อุปกรณ์แยกสารทำความเย็น

$$Q_G = m_5.h_5 + m_3.h_3 - m_2 h_2 = 0.149^*2782.99 + 1.26^*340 - 1.40^*110 = 698.1 \text{ kW}$$

กำลังของปั๊มหาได้จาก

$$W_P = m_1.v_1 (P_2-P_1) / n_P = 1.4^*0.000555^* (7.384-0.8721) /0.75 = 0.00675 \text{ kW}$$

ความร้อนที่ต้องถ่ายออกที่ชุดดูดกลืนอาศัยกฎการอนุรักษ์พลังงานเมื่อเป็นวัฏจักร

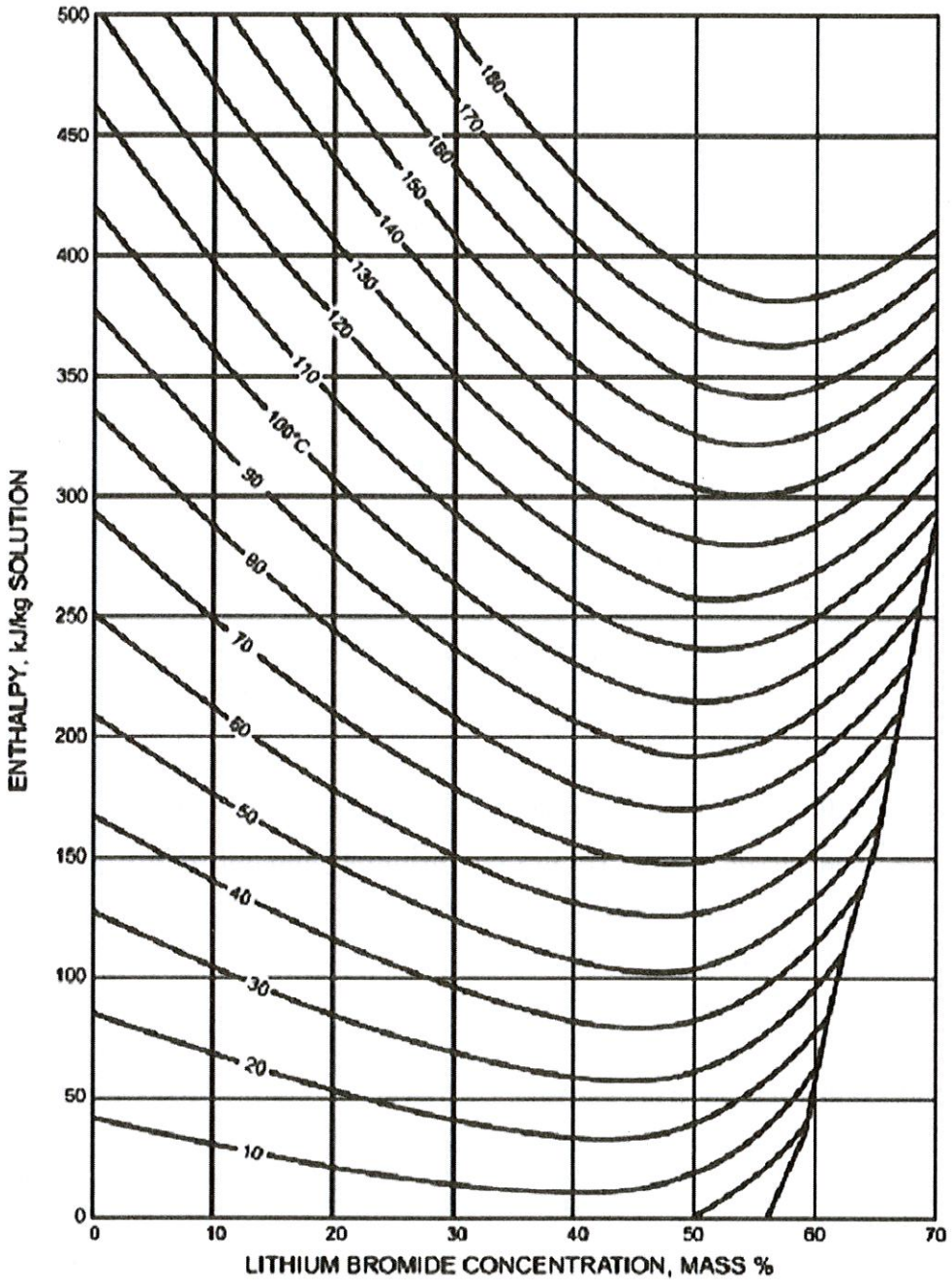
$$Q_G + Q_L - Q_{H1} - Q_{H2} = - W_P \quad \text{.....(h)}$$

$$Q_{H2} = Q_G + Q_L + W_P - Q_{H1} = 698.1+350+0.00675-389.7 = 658.4 \text{ kW}$$

ประสิทธิภาพ COP = $Q_L / (Q_G + W_P)$ = 350 / (698.1+0.00675) = 0.50

จะเห็นว่าประสิทธิภาพต่ำมากเพราะเครื่องทำน้ำเย็น (Water Chiller) แบบธรรมดาทั่วไปจะมี COP = 5 (หรือ 0.7 kW/Ton)

ทางปฏิบัติเราจะมีวิธีการปรับปรุงให้ประสิทธิภาพดีขึ้นได้อีกมากพอควรเช่น ของเหลวผสมที่ออกมาที่ภาวะที่ 3 มีอุณหภูมิถึง 150°C ขณะที่ของเหลวผสมที่ออกจากปั๊มภาวะที่ 2 มีอุณภูมิเพียง 40°C ถ้านำมาแลกเปลี่ยนความร้อนกัน จะสามารถทำให้ COP เพิ่มได้มาก ปัจจุบันมีผู้ผลิตหลายรายพยามปรุงวิธีการให้ใช้ความร้อนน้อยที่สุดในการทำให้สารทำความเย็นแยกจากสารดูดกลืน โดยระบบใหญ่ๆ สามารถมี COP ถึง 1.5



EQUATIONS **CONCENTRATION RANGE 40 < X < 70% LiBr** **TEMPERATURE RANGE 15 < t < 165°C**

$h = \Sigma_0^4 A_n X^n + t\Sigma_0^4 B_n X^n + t^2 \Sigma_0^4 C_n X^n$ in kJ/kg, where t = °C and X = %LiBr

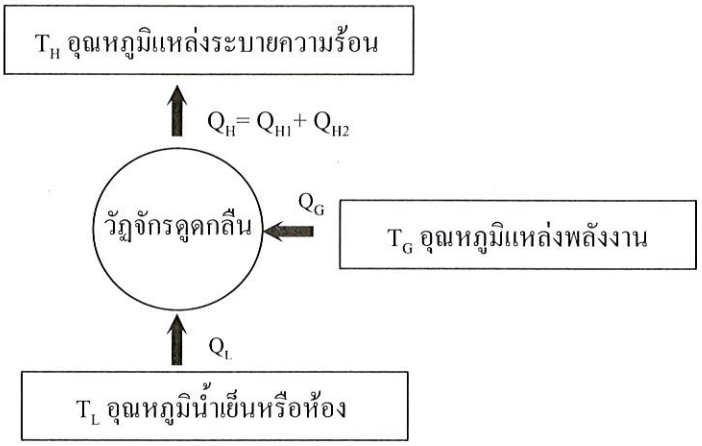
A_0 = −2024.33	B_0 = 18.2829	C_0 = −3.7008214 E-2
A_1 = 163.309	B_1 = −1.1691757	C_1 = 2.8877666 E-3
A_2 = −4.88161	B_2 = 3.248041 E-2	C_2 = −8.1313015 E-5
A_3 = 6.302948 E-2	B_3 = −4.034184 E-4	C_3 = 9.9116628 E-7
A_4 = −2.913705 E-4	B_4 = 1.8520569 E-6	C_4 = −4.4441207 E-9

รูปที่ 3 แผนภูมิ เอนทัลปี-ความเข้มข้นของลิเทียมโบรไมด์ผสมน้ำ

4. การใช้เครื่องทำความเย็นคาร์โนต์เปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนและอัดไอ

รูปที่ 1 สามารถเขียนเป็นแผนภูมิใหม่ดังรูปที่ 4 โดยการละเว้นปั๊มน้ำซึ่งมักจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับพลังงานความร้อน

สมการ (l) มีประโยชน์ทำให้เห็นได้ง่ายว่า อุณหภูมิต่างๆ มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืนอย่างไร เช่น อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อน (T_G) ยิ่งสูงประสิทธิภาพจะสูงตามเป็นต้น



รูปที่ 4 แผนภูมิการสมดุลพลังงาน

จากกฎข้อที่สองของเธอร์โมไดนามิกส์สำหรับวัฏจักรคาร์โนต์

$$\Delta S_{net} = \Delta S_{gen} = \Delta S_G + \Delta S_L + \Delta S_H = 0 \quad \text{..... (i)}$$

ซึ่ง $\Delta S_G = -Q_G / T_G$, $\Delta S_L = -Q_L / T_L$, $\Delta S_H = +Q_H / T_H$

$$-Q_G / T_G - Q_L / T_L + Q_H / T_H = 0 \quad \text{.....(j)}$$

แทนทั้งหมดลงในสมการ (i) จะได้

จากกฎข้อหนึ่งสำหรับวัฏจักร

$$Q_H = Q_G + Q_L \quad \text{.....(k)}$$

จากสมการ (j) และ (k) จะได้ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นแบบดูดกลืน QL / QG

$$COP_{ABSORP,CARNOT} = Q_L / Q_G = \left(\frac{T_G - T_H}{T_G}\right)\left(\frac{T_L}{T_H - T_L}\right) \quad \text{.....(l)}$$

ซึ่ง TL / (TH-TL) คือประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นคาร์โนต์แบบอัดไอ

สรุปได้ว่าถ้าเป็นเครื่องทำความเย็นสมบูรณ์ที่สุดเหมือนกันเครื่องแบบดูดกลืนจะมีประสิทธิภาพเพียง $(T_G - T_H) / T_G$ เท่าของเครื่องแบบอัดไอ ตัวอย่างเช่น ถ้าอุณหภูมิอากาศภายนอก 35°C (308 K) และอุณหภูมิของอุปกรณ์แยกสารทำความเย็น 200°C (473 K) ประสิทธิภาพของเครื่องแบบดูดกลืนก็จะมีประสิทธิภาพ (473-308) / 473 = 0.35 เท่าของเครื่องแบบธรรมดา

5 สรุป

การที่จะปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแบบดูดกลืนให้มีประสิทธิภาพดี สามารถวิเคราะห์ โดยอาศัยคุณสมบัติของสารจากตารางคุณสมบัติทางเธอร์โมไดนามิกส์คล้ายกับในเครื่องปรับอากาศแบบธรรมดา การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพก็คล้ายกัน ซึ่งสามารถใช้หลักการของเครื่องทำความเย็นดูดกลืนแบบคาร์โนต์ ให้เห็นการเพิ่มลดของประสิทธิภาพที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่างๆ มีสิ่งที่จะต้องไม่ลืมในทางปฏิบัติ การปรับปรุงประสิทธิภาพของวัฏจักรใดๆที่ใช้พลังงานความร้อน ไม่เพียงแต่วัฏจักรดูดกลืนเท่านั้น สามารถเพิ่มได้โดยการนำความร้อนที่จะทิ้ง กลับมาสู่วัฏจักร และประการสุดท้ายการถ่ายเทความร้อนสำหรับวัฏจักรที่จะทำให้วัฏจักรมีประสิทธิภาพสูงคือ อุณหภูมิต้องไม่ต่างจากแหล่งถ่ายเทความร้อนมาก

เอกสารอ้างอิง

1. Thermal Environmental Engineering, James L. Threlkeld.
2. ASHRAE Hanfbook, Fundamentals 2005

ตาราง คุณสมบัติทางเธอร์โมไดนามิกส์ของน้ำ (Thermodynamic Properties of Water)

น้ำอิ่มตัว (อุณหภูมิเป็นเลขเต็ม) (Saturated Water)

อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (kPa)	เอนทัลปีจำเพาะ kJ/kg ของเหลว	ผลต่าง	ไอ	เอนโทรปีจำเพาะ kJ/kg.K ของเหลว	ผลต่าง	ไอ
T	P	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0.01	0.6113	0.00	2501.35	2501.35	0	9.1562	9.1562
5	0.8721	20.98	2489.57	2510.54	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	41.99	2477.75	2519.74	0.1510	8.7498	8.9007
15	1.705	62.98	2465.93	2528.91	0.2245	8.5569	8.7813
20	2.339	83.94	2454.12	2538.06	0.2966	8.3706	8.6671
25	3.169	104.87	2442.30	2547.17	0.3673	8.1905	8.5579
30	4.246	125.77	2430.48	2556.25	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	146.66	2418.62	2565.28	0.5052	7.8478	8.3530
40	7.384	167.54	2406.72	2574.26	0.5724	7.6845	8.2569
45	9.593	188.42	2394.77	2583.19	0.6386	7.5261	8.1647
50	12.350	209.31	2382.75	2592.06	0.7037	7.3725	8.0762
55	15.758	230.20	2370.66	2600.86	0.7679	7.2234	7.9912
60	19.941	251.11	2358.48	2609.59	0.8311	7.0784	7.9095
65	25.03	272.03	2346.21	2618.24	0.8934	6.9375	7.8309
70	31.19	292.96	2333.85	2626.80	0.9548	6.8004	7.7552
75	38.58	313.91	2321.37	2635.28	1.0154	6.6670	7.6824
80	47.39	334.88	2308.77	2643.66	1.0752	6.5369	7.6121
85	57.83	355.88	2296.05	2651.93	1.1342	6.4102	7.5444
90	70.14	376.90	2283.19	2660.09	1.1924	6.2866	7.4790
95	84.55	397.94	2270.19	2668.13	1.2500	6.1659	7.4158
100	101.3	419.02	2257.03	2676.05	1.3068	6.0480	7.3548
105	120.8	440.13	2243.70	2683.83	1.3629	5.9328	7.2958
110	143.3	461.27	2230.20	2691.47	1.4184	5.8202	7.2386
115	169.1	482.46	2216.50	2698.96	1.4733	5.7100	7.1832
120	198.5	503.69	2202.61	2706.30	1.5275	5.6020	7.1295
125	232.1	524.96	2188.50	2713.46	1.5812	5.4962	7.0774
130	270.1	546.29	2174.16	2720.46	1.6343	5.3925	7.0269
135	313.0	567.67	2159.59	2727.26	1.6869	5.2907	6.9777
140	361.3	589.11	2144.75	2733.87	1.7390	5.1908	6.9298
145	415.4	610.61	2129.65	2740.26	1.7906	5.0926	6.8832
150	475.9	632.18	2114.26	2746.44	1.8417	4.9960	6.8378
155	543.1	653.82	2098.56	2752.39	1.8924	4.9010	6.7934
160	617.8	675.53	2082.55	2758.09	1.9426	4.8075	6.7501
165	700.5	697.32	2066.20	2763.53	1.9924	4.7153	6.7078
170	791.7	719.20	2049.50	2768.70	2.0418	4.6244	6.6663

ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง(Superheated Vapor Water)

T (°C)	v (m^3/kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)	v (m^3/kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K
		P= 10 kPa(45.81)				P=50 kPa(81.33)		
Sat.	14.67355	2437.89	2584.63	8.1501	3.24034	2483.85	2645.87	7.5939
50	14.86920	2443.87	2592.56	8.1749	—	—	—	—
100	17.19561	2515.50	2687.46	8.4479	3.41833	2511.61	2682.52	7.6947
150	19.51251	2587.86	2782.99	8.6881	3.88937	2585.61	2780.08	7.9400
200	21.82507	2661.27	2879.52	8.9037	4.35595	2659.85	2877.64	8.1579
250	24.13559	2735.95	2977.31	9.1002	4.82045	2734.97	2975.99	8.3555
300	26.44508	2812.06	3076.51	9.2812	5.28391	2811.33	3075.52	8.5372