บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1พื้นฐานการทำความเย็น

การทำความเย็นคือการนำความร้อนจากสสารหรือวัตถุที่ต้องการทำความเย็นออกไป ทำให้อุณหภูมิอุณหภูมิลดลง

การปรับอากาศหมายถึง การปรับสภาวะของอากาศให้เหมาะสมกับสภาพต่างๆตามต้องการ หมายถึงการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น การเคลื่อนที่ การเคลื่อนไหวของอากาศ ตลอดจนการทำความสะอาดอากาศให้บริสุทธิ์

เครื่องปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ที่สามารถทำหน้าที่นี้ได้ เมื่อมีการปรับอากาศในห้อง ความร้อนในห้องจะถูกสารทำความเย็นรับไป ทำให้ห้องนั้นเย็นลงกว่าอุณหภูมิรอบ ๆ สารทำความเย็นเมื่อได้รับความร้อนก็จะมีพลังงานเพิ่มขึ้น และด้วยวิธีการที่เหมาะสมของปรับอากาศ พลังงานความร้อนที่นำออกจากห้อง สามารถระบายทิ้งไปกับอากาศภายนอกหรือนำระบายความร้อนได้

2.2 ระบบการทำความเย็นพื้นฐาน

ในระบบการทำความเย็น จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

2.2.1 คอมเพรสเซอร์ (Compressor)

คอมเพรสเซอร์ คือหัวใจของเครื่องปรับอากาศ ที่จะทำหน้าที่สูบฉีดสารทำความเย็นให้ไหลเวียนภายในระบบและทำให้สารทำความเย็นมีความดันสูงพอที่จะขับถ่ายความร้อนออกไปทางคอนเดนเซอร์ได้ คอมเพรสเซอร์จึงมีความสำคัญกับค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศด้วย ยิ่งในปัจจุบันเรื่องการประหยัดไฟเป็นเรื่องที่มีความสำคัญและเป็นจุดขายของเครื่องปรับอากาศ รวมทั้งเรื่องความเงียบของเครื่อง คอมเพรสเซอร์จึงได้รับการพัฒนาให้ประหยัดไฟ, เงียบ และทนทานมากขึ้น

2.2.2 คอนเดนเซอร์ (Condenser)

คอนเดนเซอร์ทำหน้าที่ ให้สารทำความเย็นในสถานะแก๊สกลั่นตัวเป็นของเหลว ด้วยการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นนั้น กล่าวคือ สารทำความเย็นในสถานะแก๊ส อุณหภูมิสูง ความดันสูง ซึ่งถูกส่งมาจากคอมเพรส เมื่อถูกระบายความร้อนแฝงออก จะกลั่นตัวเป็นของเหลว แต่ยังคงมีความดัน และอุณหภูมิสูงอยู่

2.2.3 เอกซ์เพนชั่นวาล์ว (Expansion valve)

เอกซ์เพนชั่นวาล์วทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็นเหลว ที่ผ่านเข้ามาในอีวาปโปเรเตอร์ ให้มีความดันต่ำลง การที่สารทำความเย็นมีความดันต่ำจะสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนเพียงเล็กน้อย

2.2.4 อีวาปโปเรเตอร์ (Evaporator)

อีวาปโปเรเตอร์ทำหน้าที่ ดูดความร้อนในห้อง ที่ต้องการทำความเย็น โดยที่สารทำความเย็น ที่เข้ามาในอีวาปโปเรเตอร์จะระเหยกลายเป็นไอและดูดเอาความร้อนบริเวณรอบ ๆ อีวาปโปเรเตอร์ทำให้บริเวณรอบๆ อีวาปโปเรเตอร์มีอุณหภูมิต่ำลง

2.2.5 รีซีฟเวอร์ (Receiver)

รีซีฟเวอร์ หรือถังพักสารทำความเย็น เป็นอุปกรณ์ที่ต่อพวงขึ้นสำหรับระบบทำความเย็นขนาดใหญ่ ถ้าเป็นระบบทำความเย็นขนาดเล็กก็ไม่จำเป็น การที่ระบบทำความเย็นขนาดใหญ่จำเป็นต้องมี ก็เพื่อให้สารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลวมีปริมาณมากเพียงพอที่จะจ่ายให้ไประเหยที่อีวาปโปเรเตอร์

นอกจากอุปกรณ์ข้างต้นแล้วยังมีส่วนประกอบอื่นที่ควรทราบคือ

2.2.6 ท่อทางดูด (Suction line)

ท่อทางดูด เป็นท่อทางเดินสารทำความเย็นที่ต่ออยู่ระหว่างอีวาปโปเรเตอร์กับทางดูดของคอมเพรสเซอร์ สารทำความเย็นในสถานะแก๊ส อุณหภูมิและความดันต่ำ จากอีวาปโปเรเตอร์จะถูกดูดผ่านท่อทางดูดเข้าไปยังคอมเพรสเซอร์

2.2.7 ท่อทางออก (Discharge line)

ท่อทางออก เป็นท่อทางเดินสารทำความความเย็นที่ต่ออยู่ระหว่างท่อทางอัดของคอมเพรสเซอร์กับคอนเดนเซอร์ สารทำความเย็นในสถานะที่เป็นแก๊สซึ่งถูกคอมเพรสเซอร์อัดให้มีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นจะถูกส่งไปยังคอนเดนเซอร์โดยผ่านท่อนี้

2.2.8 ท่อของเหลว (Liquid line)

ท่อของเหลว เป็นท่อทางเดินสารทำความเย็นที่ต่อระหว่างทางพักสารทำความเย็นเหลวกับเอกซ์เพนชั่นวาล์ว สารทำความเย็น ความดันสูงอุณหภูมิสูงจากท่อพักสารทำความเย็น จะถูกส่งไปยังเอกซ์เพนชั่นวาล์วโดยผ่านทางท่อนี้

2.3 หลักการทำงานของเครื่องปรับอากาศ

เครื่องปรับอากาศทุกชนิด มีหลักการทำงานเหมือนๆกัน คือใช้คุณสมบัติในการระเหยของของเหลว และความร้อนแฝงจากการระเหยนี้ เช่น น้ำ เมื่อระเหยกลายเป็นไอ ก็จะเย็นลง เนื่องจากได้ใช้ความร้อนแฝงไปในการระเหย ความเย็นลักษณะนี้ ก็คือความเย็นที่เราสามารถนำมาใช้ในการปรับอากาศ น้ำก็เป็นสารทำความเย็น โดยเรียกว่า R-718 แต่เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติในการระเหยช้าเกินไป ไม่สามารถนำมาใช้เป็นสารทำความเย็นที่ มีประสิทธิภาพได้โดยตรง (มีการนำน้ำมาใช้เป็นสารทำความเย็น ในเครื่องทำความเย็นที่เรียกว่า Absorption แต่ต้องเพิ่มส่วนผสมของสารเคมี เช่น ลิเธียมโบรไมด์ การทำงานของเครื่องแบบ Absorption อาศัยความร้อนจากไอน้ำ หรือความร้อนที่เหลือจากขบวนการผลิตในอุตสาหกรรม)

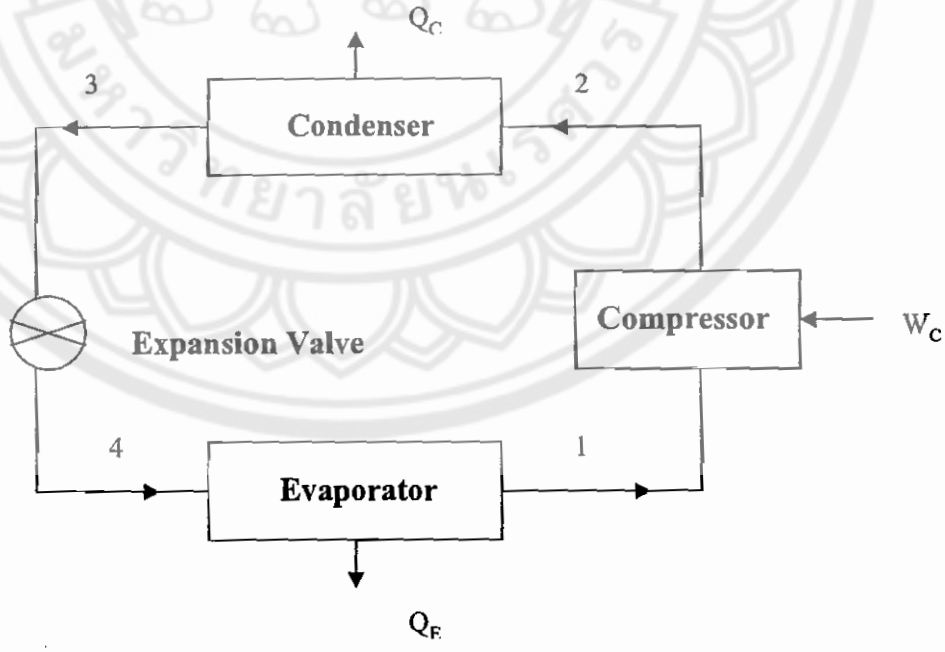
นักเคมีจึงได้คิดค้นหาสารทำความเย็นตัวใหม่ที่ระเหยได้เร็ว และมีค่าความร้อนแฝงมากจะได้ความเย็นมากๆ ในเวลาที่สั้นลง ในที่สุดก็พบว่าสารที่ประกอบด้วย คาร์บอน, ฟลูออรีน, คลอรีน และไฮโดรเจน เป็นหลัก มีคุณสมบัติที่ว่านี้ จึงได้มีการสังเคราะห์สารทำความเย็นออกมาที่ชาวบ้านเรียกว่า น้ำยาแอร์ หรือ สารทำความเย็น (Refrigerant) หรือบางคนเรียกว่า ฟรีออน (Freeon - เป็นชื่อเรียกทางการค้าของผู้ผลิตคือ ดูปองท์) มีชื่อเรียกต่างๆกัน ตามองค์ประกอบที่ต่างกัน เช่น R-11, R-12, R-22, R-502 โดย R-11, R-12 มีใช้อยู่ในเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ R-12 ใช้ในเครื่องปรับอากาศติตรถยนต์ ส่วน R-22 ใช้ในเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก และ R-502 ใช้ในเครื่องเย็น ปัจจุบันมีการพบว่าสารเหล่านี้ ก่อให้เกิดปัญหากับโอโซนในชั้นบรรยากาศ ซึ่งห่อหุ้มโลกนี้ให้พ้นจากรังสีอุลตราไวโอเลต เป็นช่องโหว่ทางขั้วโลก จึงมีข้อตกลงระหว่างประเทศที่เรียกว่า Montreal Protocal เพื่อจำกัดปริมาณการใช้สารนี้ โดยเฉพาะสารที่มีองค์ประกอบของคลอรีน (Cl), ฟลูออรีน (F) และ คาร์บอน (C) หรือที่เรียกกันว่า CFC (Chlorofluoro Carbon) เนื่องจากสารตัวนี้สามารถตกค้างอยู่ในชั้นบรรยากาศได้ยาวนาน ในขณะเดียวกันก็จะทำลาย

โอโซนไปได้เรื่อยๆ นอกจากนี้ยังกล่าวกันว่าทำให้แสงอาทิตย์ที่เข้ามายังโลกสะท้อนกลับออกไปสู่นอกโลกได้น้อยลง ทำให้บรรยากาศของโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น การกำหนดค่าความสามารถในการทำลายโอโซน เรียกว่า ODP (Ozone Depletion Potential) และความสามารถในการทำให้โลกร้อนขึ้น เรียกว่า GWP (Global Warming Potential) ตารางแสดงค่าดัชนี ODP และ GWP ของสารทำความเย็น

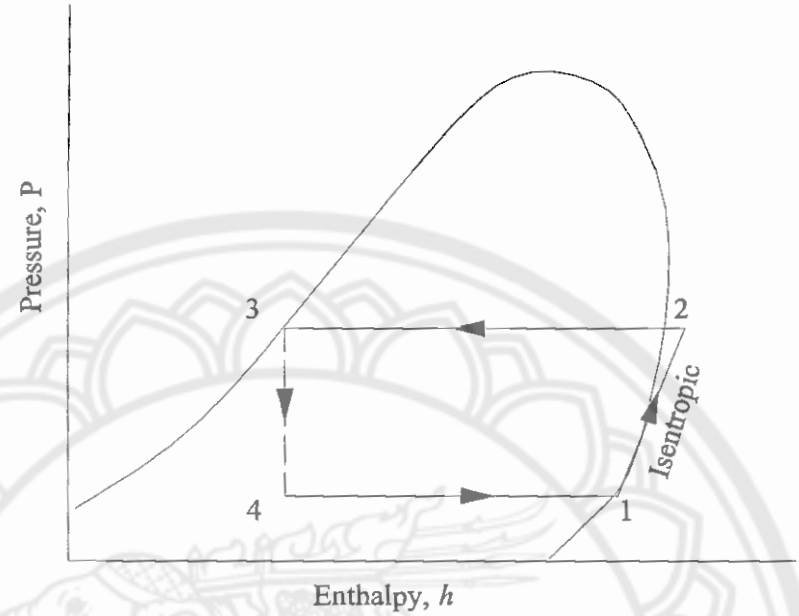
สาร CFC ที่จะต้องถูกกำจัดให้หมดไปได้แก่ R-11, R-12 และ R-502 เป็นต้น ส่วน R-22 เป็นพวกที่มีองค์ประกอบของไฮโดรเจน (H) เป็นหลักด้วย จึงอยู่ในพวกที่เรียกว่า HCFC (Hydrochlorofluoro Cabon) ซึ่งมีค่า ODP และ GWP ต่ำกว่า และเนื่องจากใช้อยู่กับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กที่มีจำนวนมหาศาล จึงยังคงให้ใช้อยู่ได้อีกต่อไปอีกระยะหนึ่ง หรือไม่เกินปี ค.ศ. 2030 และมีแนวโน้มว่าอาจถูกกำจัดไปเร็วกว่านี้ จากเรื่อง CFC นี้ ทำให้เกิดปฏิวัติในวงการปรับอากาศขนานใหญ่ กล่าวคือ ผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศต้องวิจัย และออกแบบเครื่องปรับอากาศใหม่ เพื่อให้เหมาะสมกับสารทำความเย็นใหม่ที่ไม่ใช่ CFC รวมทั้งผู้ผลิตสารทำความเย็น ต้องพัฒนาผลิตสารทำความเย็นตัวใหม่ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง สารทำความเย็นที่พูดถึงมากที่สุดขณะนี้ก็คือ R-123 และ R-134a โดยการสร้างโรงงานใหม่ เพื่อผลิตสารทำความเย็นนี้

สารทำความเย็นนี้ ไม่สามารถนำไปใช้กับเครื่องปรับอากาศที่มีอยู่เดิมได้โดยตรง เนื่องจากปัญหาการกัดกร่อน, ปัญหาน้ำมันหล่อลื่นในระบบ และประสิทธิภาพการทำงานที่ลดลง เครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่ อาจนำมาปรับปรุง (Retrofit) ได้แต่ก็มีค่าใช้จ่ายสูง ส่วนเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก คงจะต้องใช้จนหมดสภาพและในอนาคตอันใกล้ก็คงจะมีเครื่องปรับอากาศรุ่นใหม่ที่ใช้สารทำความเย็น R-134a มาแทนที่ แอมโมเนีย หรือ R-717 ก็เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ได้ และนิยมใช้ในโรงงานผลิตอาหารแช่แข็ง และโรงน้ำแข็งขนาดกลาง และขนาดใหญ่ แต่มักจะเป็นห่วงกันเรื่องความปลอดภัย จากการรั่วของสารแอมโมเนีย หรือ การที่อาจเกิดโอกาสระเบิดของแอมโมเนียได้ จึงยังไม่แพร่หลาย ถึงสารแอมโมเนียจะไม่ใช่สาร CFC ก็ตาม ผู้ผลิตสารทำความเย็นรายใหญ่ของโลก คือ ดูปองท์ ยังได้ผลิตสารทำความเย็นอีกหลายชนิดเข้าสู่คลาด โดยส่วนมากจะเป็นสารทำความเย็นผสม หรือ Blended Refrigerant มีชื่อทางการค้าว่า SUVA เพื่อทดแทน R-11, R-12, R-22, R-502 สารทำความเย็นบางตัวสามารถใช้กับอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศเดิมได้ แต่สารทำความเย็นบางตัวจะต้องออกแบบเครื่องใหม่เลย สาเหตุที่ต้องออกแบบใหม่ เพราะหากใช้เครื่องเดิมกับสารทำความเย็นทดแทนเหล่านี้ มักจะมีความสามารถในการทำความเย็นลดลง หรือประสิทธิภาพลดลง นอกจากนี้ ในการพิจารณาเลือกใช้สารทำความเย็นยังมีมาตรฐานกำหนดเกี่ยวกับอันตรายเมื่อหายใจเอาสารนี้เข้าไป เมื่อเกิดการรั่วของสารนี้ด้วย

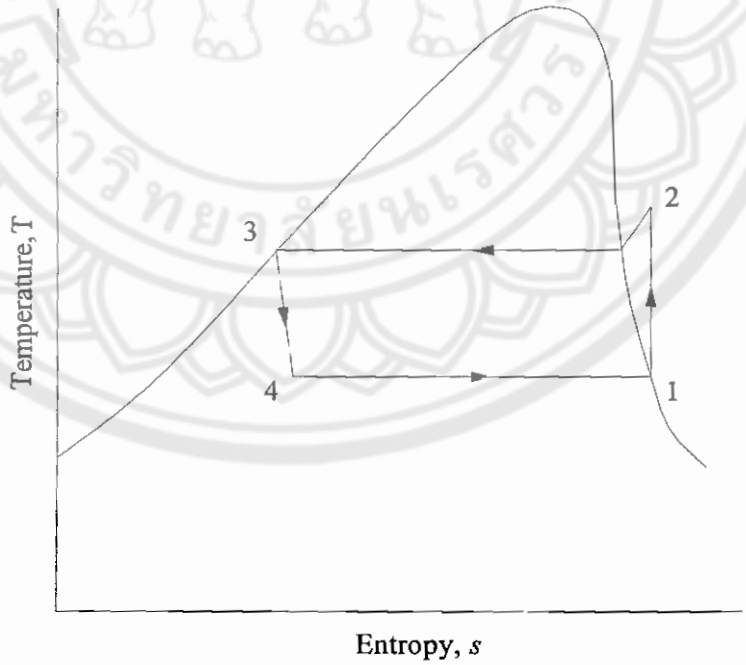
การทำความเย็นของระบบปรับอากาศ จะอาศัยหลักการระเหยของสารทำความเย็น และเนื่องจากสารทำความเย็นมีราคาแพง ประกอบกับการให้ระเหยทิ้งไปจะทำให้เกิดผลกับสภาพแวดล้อม เมื่อสารทำความเย็นระเหยและทำความเย็นแล้ว จึงต้องนำไปควบแน่นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ หลักการควบแน่นอาศัยการเพิ่มความดันให้กับไอระเหย หรืออัด (Press) ไอ โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า คอมเพรสเซอร์ (Compressor) จนไอระเหยนั้นกลายเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่อัดนี้ ไอระเหยก็จะคายความร้อนออกมาด้วย เราก็ต้องมีวิธีการในการระบายความร้อนนี้ออกไป โดยอาจจะใช้อากาศ (Air-cooled) หรือ น้ำ (Water-cooled) ในการระบายความร้อนก็ได้ เมื่อสารทำความเย็นกลายเป็นของเหลวแล้ว การทำให้ของเหลวระเหยเพื่อทำความเย็นอีกครั้ง จะอาศัยการลดความดันลง โดยผ่านอุปกรณ์ลดความดัน สำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดเล็ก มักจะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า วาล์วลดความดัน (Thermal Expansion Valve) หรือบางทีการใช้ขดท่อทองแดงเล็กๆ (Capillary Tube) ที่ให้ค่าแรงเสียดทานที่พอเหมาะ ก็ใช้ในการปรับลดความดันนี้ได้ดี ซึ่งจากที่กล่าวมานี้สามารถแสดงด้วยวงจรการทำความเย็น (Refrigeration Cycle) รูปที่ 2.1 และในการพิจารณาบนแกนความสัมพันธ์ของความดันและเอนธาลปี หรืออุณหภูมิและ เอนโทรปี สามารถแสดงตามรูปที่ 2.2 และรูปที่ 2.3 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 วงจรการทำความเย็น



รูปที่ 2.2 ไดอะแกรมความดันและเอนธาลปีของสารทำความเย็น



รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมอุณหภูมิและเอนโทรปีของสารทำความเย็น

- กระบวนการ1-2 เป็นการอัดสารทำความเย็นตามกระบวนการไอเซนโทรปิค (Isentropic Process)

$$W_c = \dot{m}_r(h_2 - h_1) \tag{2.1}$$

โดยที่

W_c คือ กำลังงานของคอมเพรสเซอร์, kW

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

h_1, h_2 คือ เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่เข้าและออกจากคอมเพรสเซอร์ตามลำดับ (kJ/kg)

- กระบวนการ 2-3 เป็นการระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นตามสภาวะความดันคงที่ (Isobaric Process)

$$W_c = \dot{m}_r(h_3 - h_2) \tag{2.2}$$

โดยที่

Q_c คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์, kW

h_2, h_3 คือ เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่เข้าและออกจากคอนเดนเซอร์ตาม ตามลำดับ , kJ/kg

- การบวนการ 3-4 เป็นการขยายตัวของสารทำความเย็น ตามกระบวนการเอนทัลปีคงที่ (Constant Enthalpy)

$$h_3 = h_4 \tag{2.3}$$

โดยที่

h_4 คือ เอนทัลปีของสารทำความเย็นที่ออกจากเอ็กเพนชั่นวาล์ว, kJ/kg

- กระบวนการ 4-1 เป็นการรับความร้อนของสารทำความเย็นเพื่อเปลี่ยนสถานะตามกระบวนการความดันคงที่ (Isobaric Process)

$$W_c = \dot{m}_r(h_1 - h_4) \tag{2.4}$$

โดยที่

Q_e คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของอีวาปโปเรเตอร์, kW

และ

$$Q_c = Q_e + W \tag{2.5}$$

สำหรับสมรรถนะของวัฏจักรการทำความเย็นมักจะระบุในเทอมของสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) การทำความเย็นซึ่ง

$$COP = \frac{\text{ความร้อนที่ได้รับประโยชน์จากระบบ}}{\text{งานที่ใส่ให้กับระบบ}} \tag{2.6}$$

$$COP = \frac{Q_e}{W_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \tag{2.7}$$

2.4 วัฏจักรคาร์โนต์

วัฏจักรคาร์โนต์เป็นวัฏจักรทางอุดมคติโดยเป็นวัฏจักรที่ย้อนกลับได้และมีประสิทธิภาพสูงสุดวัฏจักรคาร์โนต์สามารถย้อนกลับได้ ดังนั้นทุก ๆ กระบวนการในวัฏจักรจึงสามารถย้อนกลับได้ โดยที่อุณหภูมิของสารทำสารทำงานในอีวาปโปรเตอร์นั้นจะต่ำกว่าอุณหภูมิของแหล่งความร้อน อุณหภูมิสูง

การดำเนินวัฏจักรคาร์โนต์จะประกอบด้วยกระบวนการหลัก 4 กระบวนการเสมอ ไม่ว่าสารทำงานนั้นจะเป็นสารใดก็ได้ ซึ่งได้แก่

1. กระบวนการอุณหภูมิคงที่แบบย้อนกลับได้ เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนจาก (หรือไปสู่) แหล่งความร้อนอุณหภูมิสูง
2. กระบวนการแอเดียแบติกแบบย้อนกลับได้ เป็นกระบวนการที่ทำให้อุณหภูมิของสารทำงานลดลงจากอุณหภูมิไปสู่อุณหภูมิต่ำ
3. กระบวนการอุณหภูมิคงที่แบบย้อนกลับได้ เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนไปสู่แหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำ
4. กระบวนการแอเดียแบติคแบบย้อนกลับได้ เป็นกระบวนการที่ทำให้อุณหภูมิของสารทำงานเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิต่ำไปสู่อุณหภูมิสูง

ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ของวัฏจักรคาร์โนต์หาได้จาก

$$COP = \frac{T_L}{T_H - T_L} \qquad (2.8)$$

พิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ ของระบบ ดังสมการ 2.8 เมื่ออุณหภูมิอากาศก่อนเข้าชุดคอนเดนเซอร์ลดลง ความสามารถในการระบายความร้อนที่ชุดคอนเดนเซอร์มากขึ้น ทำให้แหล่งรับความร้อนที่อุณหภูมิสูงลดต่ำลง ส่งผลให้ค่า COP เพิ่มขึ้น

2.5 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์กระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ (Induction motor) และสามารถแปรค่าความเร็วของมอเตอร์ได้อย่างต่อเนื่อง ลดกระแสสตาร์ท และมีฟังก์ชั่นในการควบคุมมอเตอร์มากมาย ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้สะดวกและทำให้การควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำมีลักษณะใกล้เคียงกับมอเตอร์กระแสตรงที่มีราคาสูง ทั่วไปแล้วอินเวอร์เตอร์ จะมีหลักการทำงานโดยวงจรภายในอินเวอร์เตอร์นั้นสามารถสร้างความถี่ และแรงดันขนาดต่าง ๆ มาขับมอเตอร์เพื่อให้หมุนด้วยความเร็วรอบที่ต่าง ๆ กัน ดังนั้นอินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์แปลงไฟสลับที่มีความถี่ และแรงดันขนาดต่าง ๆ แหล่งจ่ายไฟที่ป้อนเป็นอินพุตของอินเวอร์เตอร์จะเป็นแหล่งจ่ายไฟสลับทั่วไปที่มีรูปคลื่นซายน์ ไฟสลับนี้จะถูกแปลงเป็นไฟตรงโดยวงจรคอนเวอร์เดอร์ (Converter) จากนั้นไฟตรงจะถูกแปลงเป็นไฟสลับที่สามารถแปลงขนาดแรงดัน และความถี่ได้ด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรทั้งสองส่วนนี้เป็นวงจรหลักที่ทำหน้าที่แปลงรูปคลื่น และผ่านพลังงานของอินเวอร์เตอร์ นอกจากนั้นยังมีวงจรสำหรับควบคุมการทำงานของวงจรทั้งสองส่วนนี้ ดังนั้นอินเวอร์เตอร์จึงเป็นอุปกรณ์ควบคุมคอมเพรสเซอร์ชนิดเฟสเดียวที่สามารถควบคุมความเร็วรอบคอบเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ไฟเฟสเดียวได้โดยในระบบเครื่องปรับอากาศจะใช้อินดักชั่นมอเตอร์ (Capacitior motor) เป็นอุปกรณ์ขับคอมเพรสเซอร์