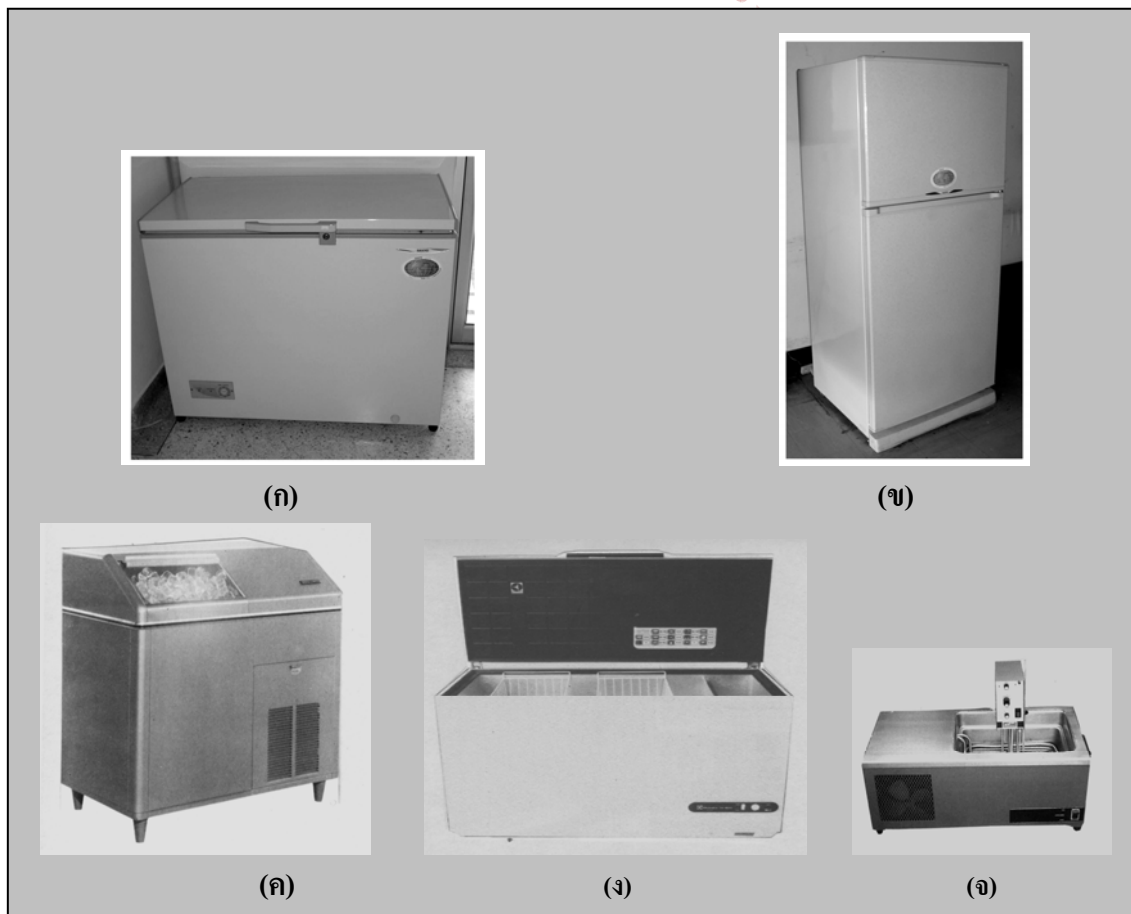


## บทที่ 8 : ระบบทำความเย็น (COOLING SYSTEM)

ความเย็นเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับงานในห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์มาก เพราะช่วยรักษาเสถียรภาพของชีววัตถุ เอนไซม์ สารเคมี แวกซีน จุลชีพ ตลอดจนใช้ร่วมในการแยกสารชนิดต่าง ๆ ออกจากกัน ระบบทำความเย็นอาจติดตั้งอยู่ในตู้เย็น(refrigerator) ตู้แช่แข็ง(freezer) ตู้ดูดความชื้น(dehumidifier) ตู้เก็บเลือดในธนาคารเลือด(blood bank refrigerator) เครื่องปรับอากาศ เครื่องหมุนเหวี่ยงความเร็วสูง ออสโมมิเตอร์(osmometer) เครื่องทำให้แห้งที่อุณหภูมิต่ำ(freeze dryer) ฯลฯ. ถึงแม้ว่าระบบทำความเย็นจะพบอยู่ในเครื่องมือชนิดต่าง ๆ มากมาย(รูปที่ 8.1)



รูปที่ 8.1 ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ระบบทำความเย็น ตู้แช่แข็ง(ก) ตู้เย็น(ข) ตู้ทำน้ำแข็ง(ค) ตู้แช่แข็งอุณหภูมิต่ำ(ง) และอ่างควบคุมความเย็น(จ)

แต่หลักการทำความเย็นจะเหมือนกัน จะแตกต่างกันบ้างเฉพาะรูปร่าง วิธีการใช้งาน และที่ตั้งของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบทำความเย็น ในที่นี้จะยกเอาตู้เย็นเป็นเครื่องมือต้นแบบในการศึกษาระบบทำความเย็น เนื่องจากเป็นเครื่องทำความเย็นที่พบได้ในห้องปฏิบัติการเกือบทุกแห่ง

### หลักการทำความเย็น

การทำความเย็นไม่ใช่เป็นการสร้างความเย็นขึ้นมาหักล้างความร้อนที่มีอยู่ แต่เป็นการทำให้ความร้อนที่มีอยู่ถูกถ่ายเทออกไป เป็นผลให้เกิดความเย็นขึ้นมาแทนที่ เครื่องอัด(compressor) ทำหน้าที่อัดแก๊สของสารทำความเย็น(refrigerant) ให้เป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์(condenser) หรือคอยล์ร้อน และส่งผ่านหลอดรูเล็ก(capillary tube) ไปยังท่อที่โตกว่าในเครื่องระเหย(evaporator) หรือคอยล์เย็น ทำให้ความดันของของเหลวลดลงจนเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ซึ่งความร้อนแฝงของการกลายเห็นไอ (latent heat of vaporization) ของสารทำความเย็นได้รับมาจากวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ใกล้เครื่องระเหย โดยวิธีการนำความร้อน การพาความร้อน หรือการแผ่รังสีความร้อน หลังจากนั้นแก๊สความดันต่ำของสารทำความเย็นจะถูกดูดโดยเครื่องอัดและอัดออกไปยังเครื่องควบแน่น เพื่อให้ความร้อนที่ได้รับมาถูกถ่ายเทออกไป หลังจากนั้นสารทำความเย็นจะเข้าไปรับความร้อนที่เครื่องระเหยใหม่อีกเป็นวงจรการทำงานดังนี้เรื่อย ๆ ไป (รูปที่ 8.2)

ในกรณีที่ทำให้วัตถุเย็นต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของวัตถุ ปริมาณความร้อนที่ต้องพาออกไปคือ ความร้อนจากผลรวมของความร้อนเหนือจุดเยือกแข็งของวัตถุ(sensible heat above freezing, Q1) ความร้อนแฝงของการแข็งตัว(latent heat of freezing, Q2) และความร้อนต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง(sensible heat below freezing, Q3) (sensible heat หมายถึงความร้อนที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยไม่เปลี่ยนสถานะ ส่วน latent heat หมายถึงความร้อนที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนสถานะโดยไม่เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ) ความร้อนเหล่านี้สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$Q1 = WC (T1-T2)$$

$$Q2 = Wh$$

$$Q3 = WCi (T2-T3)$$

โดย W = น้ำหนักของวัตถุ (ปอนด์)

C = ความร้อนจำเพาะเหนือจุดเยือกแข็ง (บีทียู/ปอนด์/°ฟ.)

Ci = ความร้อนจำเพาะใต้จุดเยือกแข็ง (บีทียู/ปอนด์/°ฟ.)

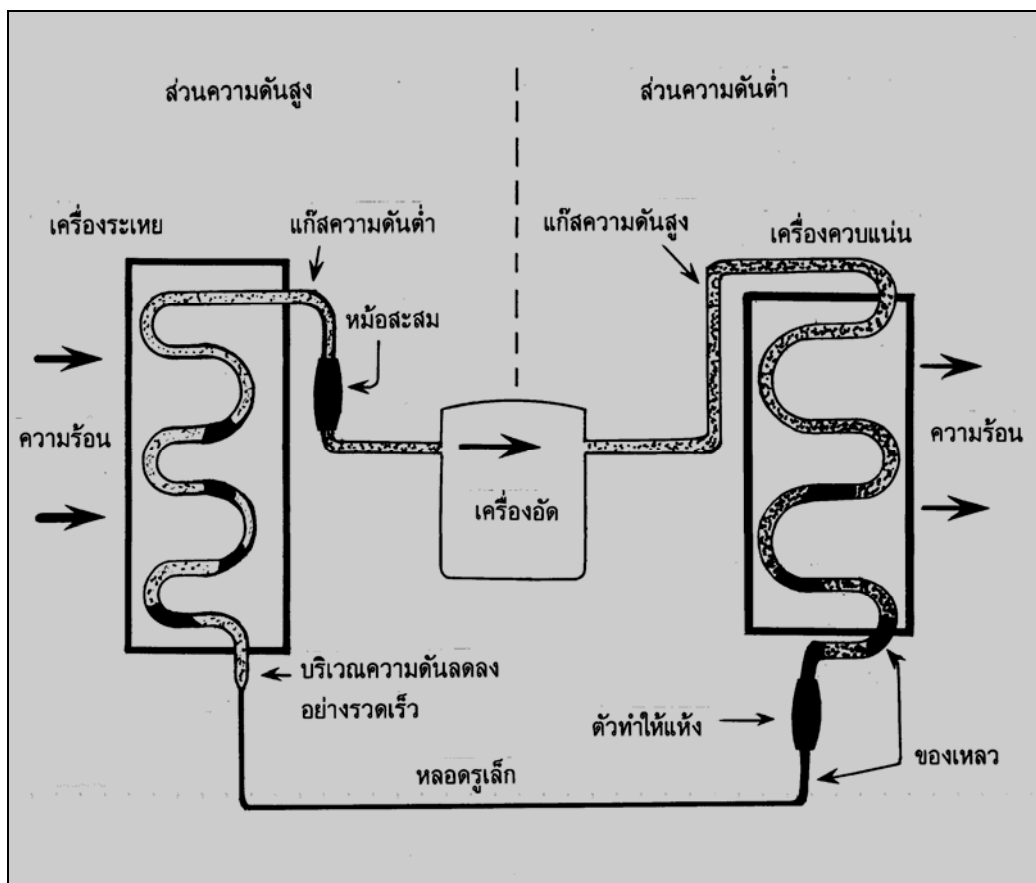
h = ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (บีทียู/ปอนด์/°ฟ.)

T1 = อุณหภูมิเริ่มแรกของวัตถุ (°ฟ.)

T2 = จุดเยือกแข็งของวัตถุ (°ฟ.)

T3 = อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งที่ต้องการ (°ฟ.)

ในกรณีที่ทำให้วัตถุเย็นลงแต่ไม่ถึงจุดเยือกแข็งของวัตถุ สามารถคำนวณค่าของความร้อนที่ต้องพาออกไปได้จากค่าของ  $Q_1$  ด้วยการแทนค่า  $T_2$  ด้วยอุณหภูมิสุดท้ายที่ต้องการทำให้เย็นลง ในทางปฏิบัติยังมีความร้อนจากแหล่งอื่น ๆ อีก ที่เครื่องระเหยต้องพาออกไป ตัวอย่างเช่น ความร้อนจากหลอดไฟฟ้าภายในตู้เย็น ความร้อนจากคนซึ่งเปิดตู้เย็น ความร้อนจากอากาศภายนอกที่รั่วไหลเข้าไป ฯลฯ. ซึ่งผู้ผลิตและผู้ใช้ควรให้ความสำคัญต่อความร้อนจากแหล่งอื่น ๆ เหล่านี้ด้วย

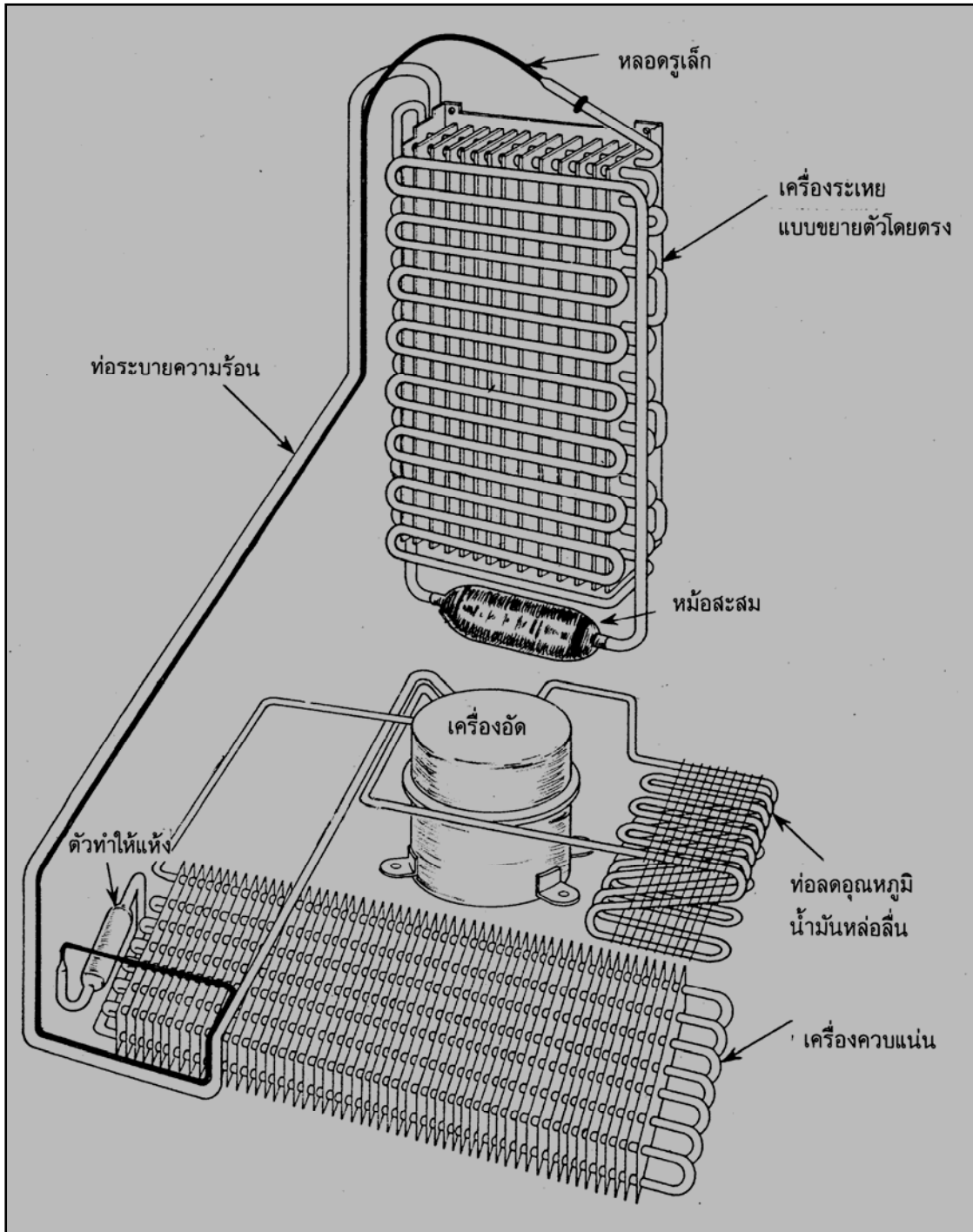


รูปที่ 8.2 แผนผังการทำงานของระบบทำความเย็น

### องค์ประกอบและคุณสมบัติ

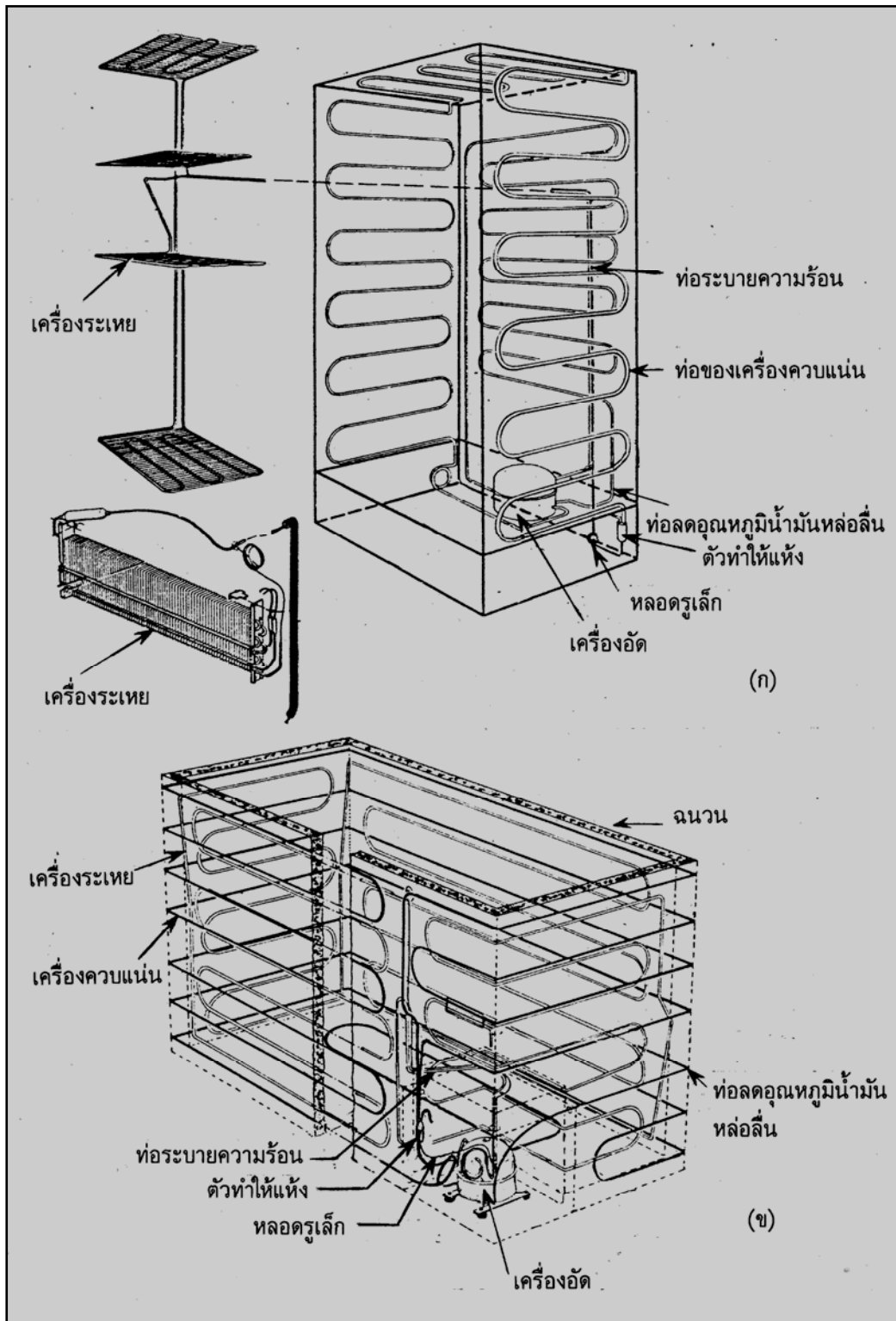
ตู้เย็นและตู้แช่แข็งอาจแบ่งองค์ประกอบเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ ส่วนแรกเป็นตัวตู้ (body) ซึ่งใช้เป็นที่เก็บวัตถุและติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ส่วนที่สองเป็นระบบทำความเย็น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (รูปที่ 8.3 และรูปที่ 8.4)

1. สารทำความเย็น เป็นสารที่สามารถเปลี่ยนสถานะไปมาระหว่างของเหลวและแก๊สได้ง่าย อาศัยการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นแก๊สเพื่อดูดความร้อน และคายความร้อนเมื่อเปลี่ยนสถานะจากแก๊สเป็นของเหลว สารทำความเย็นที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้ มีเสถียรภาพดีสามารถใช้ได้



รูปที่ 8.3 การเชื่อมต่อของท่ออุปกรณ์ต่างๆ ของระบบทำความเย็น

นานโดยประสิทธิภาพไม่ลดลง มีราคาถูก พาคความร้อนได้มาก 'ไม่ติดไฟ' 'ไม่ระเบิด' 'ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำมันหล่อลื่น' 'ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ' มีปริมาณของแก๊สต่อหน่วยน้ำหนักน้อย(สามารถใช้เครื่องอัดขนาดเล็กได้) ใช้แรงอัดให้เป็นของเหลวต่ำ(ช่วยประหยัดไฟฟ้าที่เลี้ยงเครื่องอัด) ในอดีตนิยมใช้



รูปที่ 8.4 แผนผังการเดินท่อระบบทำความเย็นของตู้แช่แข็งแบบแนวตั้ง (ก)  
และแบบแนวนอน (ข)

แก๊สแอมโมเนีย(NH<sub>3</sub>) แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์(CO<sub>2</sub>) และแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO<sub>2</sub>) แต่เนื่องจากมีพิษมาก จึงหันมาใช้สารประเภท ฮาโลคาร์บอน(halocarbon) และฟลูออโรคาร์บอน (fluorocarbon) มาตั้งแต่ปี ค.ศ.1920 เพราะมีความปลอดภัย ไม่ระเบิด ไม่ติดไฟ และมีประสิทธิภาพในการพาร้อนได้ดี สารดังกล่าวได้จากการแทนที่อะตอมไฮโดรเจนของมีเทน(CH<sub>4</sub>) อีเทน(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) ด้วยอะตอมของ F, Cl หรือ Br ทำให้ได้สารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 8.1 สารฟลูออโรคาร์บอนที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันได้แก่ R 12 , R 22 และ R 502

ตารางที่ 8.1 คุณสมบัติของสารทำความเย็นชนิดต่าง ๆ

รหัสตามมาตรฐาน ASRE	ชื่อทางเคมี	สูตรเคมี	น้ำหนักโมเลกุล	จุดเดือด (°ฟ.)
R 10	Carbontetrachloride	CCl <sub>4</sub>	153.8	170.2
R 11	Trichloromonofluoromethane	CCl <sub>3</sub> F	137.4	74.8
R 12	Dichlorodifluoromethane	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	120.9	-21.6
R 13	Monochlorotrifluoromethane	CClF <sub>3</sub>	104.5	-114.6
R 20	Chloroform	CHCl <sub>3</sub>	119.4	142.0
R 21	Dichloromonofluoromethane	CHCl <sub>2</sub> F	102.9	48.1
R 22	Monochlorodifluoromethane	CHClF <sub>2</sub>	86.5	-41.4
R 23	Trifluoromethane	CHF <sub>3</sub>	70.0	-119.9
R 30	Methylenedichloride	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	84.9	105.2
R 40	Methylenechloride	CH <sub>3</sub> Cl	50.5	-10.8
R 41	Methylfluoride	CH <sub>3</sub> F	34.0	-109.0
R 50	Methane	CH <sub>4</sub>	16.0	-259.0
R 110	Hexachloroethane	CCl <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	236.8	365.0
R 113	Trichlorotrifluoroethane	CCl <sub>2</sub> FCClF <sub>2</sub>	187.4	117.6
R 114	Dichlorotetrafluoroethane	CClF <sub>2</sub> CClF <sub>2</sub>	170.9	38.4
R 120	Pentachloroethane	CHCl <sub>2</sub> CCl <sub>3</sub>	202.3	324.0
R 140a	Trichloroethane	CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub>	133.4	165.0
R 152a	Difluoroethane	CH <sub>3</sub> CHF <sub>2</sub>	66.0	-12.4
R 170	Ethane	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	30.0	-127.5

ASRE = The American Society of Refrigerating Engineers

โดยทั่วไปสารฟลูออโรคาร์บอนมีน้ำละลายปนอยู่เล็กน้อย (การละลายเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น) ซึ่งไม่เป็นอันตรายต่อระบบทำความเย็น แต่ถ้ามีน้ำปนอยู่ในปริมาณมากขึ้น สารฟลูออโรคาร์บอนจะสลายตัวกลายเป็นกรด(HCl, HF) กัดกร่อนโลหะในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องอัด ตัวอย่างเช่น ผนังลูกสูบ ลิ้น(valve) ลูกปืน ฯลฯ. กรดยังทำให้น้ำมันหล่อลื่นภายในเครื่องอัดเสื่อมสภาพเร็วขึ้น ในกรณีที่มือน้ำปนอยู่ในสารทำความเย็นมากขึ้นไปอีก น้ำอาจก่อให้เกิดสนิมในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องอัด โดยเฉพาะเมื่อไม่ได้ใช้งาน และเกิดน้ำแข็งอุดตันท่อของเครื่องระเหยในขณะที่ใช้งาน ทำให้สารทำความเย็นไม่สามารถไหลได้

ขณะที่ใช้งานเครื่องอัดจะเกิดความร้อนมาก ทำให้น้ำมันหล่อลื่นระเหยกลายเป็นไอผสมกับแก๊สทำความเย็น ซึ่งปกติจะทำปฏิกิริยาเคมีกันได้เล็กน้อย ยกเว้นในกรณีที่มือน้ำสกปรก หรือมีน้ำเจือปนการทำปฏิกิริยาเคมีจะมีมากขึ้น นอกจากนี้คุณสมบัติในการรวมตัวกับน้ำมัน (oil miscibility) ของสารทำความเย็นอาจพบได้ในลักษณะต่าง ๆ กันคือ ชนิดที่รวมกับน้ำมันได้ที่ทุกอุณหภูมิ ชนิดที่รวมกับน้ำมันเฉพาะในเครื่องควบแน่นแต่แยกตัวในเครื่องระเหย และชนิดที่ไม่รวมตัวกับน้ำมันในทุก ๆ อุณหภูมิ การรวมตัวของแก๊สทำความเย็นกับน้ำมันหล่อลื่นทำให้น้ำมันหล่อลื่นถูกเจือจางลง เป็นผลให้ความหนืดลดลง และทำให้น้ำมันหล่อลื่นถูกพาไปเคลือบที่ผนังด้านในของท่อในเครื่องระเหยและเครื่องอัด ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนลดลง ซึ่งแก้ไขได้โดยติดตั้งแยกน้ำมัน (oil separator) เพิ่มเติม และเพิ่มการระบายความร้อนให้กับเครื่องอัด

สารฟลูออโรคาร์บอนแต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่าง ๆ ไปเหมือนกัน กล่าวคือ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่ติดไฟ แต่อาจเป็นอันตรายต่อชีวิต ซึ่งในระยะหลังได้เริ่มใช้สารอื่นแทนสารฟลูออโรคาร์บอน ตัวอย่างเช่น R-600 a หรือ isobutane ซึ่งนอกจากจะมีอันตรายน้อยกว่าแล้วยังช่วยลดมลภาวะได้อีกด้วย สำหรับสารฟลูออโรคาร์บอนแต่ละชนิดมีคุณสมบัติและการใช้งานแตกต่างกันดังนี้

1.1 R 12 เป็นสารทำความเย็นที่นิยมใช้มากที่สุด สามารถใช้ทำความเย็นต่ำจนถึงเย็นจัด (-11 °ฟ.) เมื่อใช้เครื่องอัดหลายตัว(multistage compressor) สามารถพาความร้อนได้ประมาณ 50 บีทียู/ปอนด์ เนื่องจากมีปริมาตรจำเพาะ(specific volume) ต่ำ (1.46 ลบฟ./ปอนด์) จึงสามารถใช้เครื่องอัดที่มีขนาดเล็กลง ทำให้ประหยัดกระแสไฟฟ้า แต่มีข้อเสียตรงที่รวมกับน้ำมันได้ดีในทุก ๆ อุณหภูมิ จึงอาจก่อให้เกิดปัญหาการเจือจางน้ำมันหล่อลื่น และลดประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของเครื่องระเหยและเครื่องควบแน่น

1.2 R 1 เป็นสารทำความเย็นที่เหมาะสมสำหรับการทำอุณหภูมิต่ำมาก(ultra low temperature) โดยใช้ร่วมกับสารทำความเย็นชนิดอื่นในระบบทำความเย็นที่ใช้เครื่องอัดหลายตัว สามารถทำความเย็นได้ถึง -150 °ฟ. เนื่องจากมีความดันใช้งานที่เครื่องระเหยและเครื่องควบแน่นปานกลาง จึงสามารถใช้ได้ดีกับเครื่องอัดทุกชนิด R 13 ไม่รวมตัวกับน้ำมันจึงไม่ก่อปัญหาเรื่องการเจือจางน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องอัด

1.3 R 22 เป็นสารทำความเย็นที่ใช้ในตู้แช่แข็งที่ใช้งานทั่วไป สามารถทำให้อุณหภูมิ

ต่ำได้ถึง  $-125^{\circ}\text{F}$ . สามารถพาความร้อนได้ประมาณ 70 บีทียู/ปอนด์ และเนื่องจากมีปริมาตรต่อน้ำหนักน้อย (1.24 ลบฟ./ปอนด์) จึงถูกนำไปใช้ในเครื่องปรับอากาศที่ต้องใช้เครื่องอัดขนาดเล็ก (เล็กกว่า R 12 ประมาณร้อยละ 60) ขณะใช้งาน R 22 ต้องใช้ความดันที่เครื่องระเหย และเครื่องควบแน่นสูงกว่า R 12 ถึง 1.5-2 เท่า ทำให้ความร้อนของแก๊สทำความเย็นที่ออกมาจากเครื่องอัดมีอุณหภูมิสูงถึง  $128^{\circ}\text{F}$ . (R 12 =  $101^{\circ}\text{F}$ .) ทำให้เครื่องอัดที่ใช้ R 22 มีอุณหภูมิสูงมาก R 22 รวมกับน้ำมันได้ดี แต่แยกตัวออกจากกันที่เครื่องระเหย ทำให้น้ำมันหล่อลื่นไหลกับสู่เครื่องอัดได้ยากขึ้น ดังนั้นจึงควรติดตั้งตัวแยกน้ำมันเพิ่มในระบบด้วย

1.4 R 500 เป็นสารทำความเย็นที่เกิดจากการผสม R 12 ร้อยละ 73.8 กับ R 152a ร้อยละ 26.2 โดยน้ำหนัก ได้สารผสม (azeotropic mixture) ที่มีจุดเดือด  $-28^{\circ}\text{F}$ . สามารถพาความร้อนได้ 60.6 บีทียู/ปอนด์ ความดันในการใช้งานที่เครื่องระเหยและเครื่องควบแน่นมีค่าประมาณ 16.4 และ 112.9 ปอนด์/ตารางนิ้ว ตามลำดับ นิยมใช้แทน R 12 ในเครื่องอัดที่ใช้กระแสไฟฟ้า 60 เฮิร์ตซ์ แต่นำไปใช้กับกระแสไฟฟ้าสลับ 50 เฮิร์ตซ์ จะสิ้นเปลืองพลังงานและให้ความเย็นเท่าเดิม เพราะการบรรจุ R 22 แทน R 12 ในเครื่องอัดอันเดิมทำให้บรรจุ R 22 ได้เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 18 ทำให้ลดความเร็วมอเตอร์ของเครื่องอัดที่ลดลงประมาณร้อยละ 18 เมื่อนำไปใช้กับกระแสไฟฟ้าที่มีความถี่ต่ำกว่า

1.5 R 502 เป็นสารทำความเย็นที่ได้จากการผสม R 22 ร้อยละ 51.2 และ R 115 ร้อยละ 48.8 โดยน้ำหนัก ได้สารผสมที่มีจุดเดือด  $-49.8^{\circ}\text{F}$ . รวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นได้เล็กน้อย นิยมใช้ในตู้แช่แข็งอุณหภูมิต่ำ มีข้อดีกว่า R 22 ตรงที่อุณหภูมิของแก๊สทำความเย็นที่ออกมาจากเครื่องอัดต่ำกว่า ( $99^{\circ}\text{F}$ .) ทำให้เครื่องอัดไม่ร้อนจัดขณะใช้งาน

1.6 R 503 เกิดขึ้นโดยการผสม R 23 ร้อยละ 40.1 และ R 13 ร้อยละ 59.9 โดยน้ำหนักมีจุดเดือดที่  $-127.6^{\circ}\text{F}$ . โดยใช้ร่วมกับ R12, R 22 หรือ R 502 เนื่องจากสามารถใช้ R 503 น้อยกว่า R 13 ประมาณร้อยละ 36 ในการทำให้เกิดความเย็นเท่ากัน จึงสามารถใช้เครื่องอัดที่มีขนาดเล็กลงได้

2. เครื่องอัด มีหน้าที่หลัก 2 ประการ คือทำหน้าที่ขับเคลื่อนสารทำความเย็นให้ไหลเวียนไปในท่อต่าง ๆ ในระบบทำความเย็น และสร้างแรงดันต่อแก๊สทำความเย็นที่ออกมาจากเครื่องอัดทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนกลายเป็นของเหลว ในปัจจุบันนิยมใช้เครื่องอัดแบบปิด (hermetically sealed type) มากกว่าแบบเปิดเพราะมีขนาดเล็กกว่า และสะดวกในการติดตั้งใช้งาน เครื่องอัดแบบปิดแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1 แบบลูกสูบ(reciprocating type) มีหลักการทำงานคล้ายเครื่องสูบน้ำทั่ว ๆ ไป กล่าวคือ มีมอเตอร์ไฟฟ้าหมุนแกนข้อเหวี่ยง(crank shaft) ซึ่งมีก้านลูกสูบติดอยู่ เมื่อแกนข้อเหวี่ยงหมุนทำให้ลูกสูบ(piston) เคลื่อนที่ขึ้นลงในกระบอกสูบ ด้านบนกระบอกสูบมีลิ้นไหลทางเดียว(one way valve) อยู่ 2 ชนิด ชนิดแรกเป็นลิ้นไหลเข้า (intake valve) ส่วนอีกชนิดหนึ่งเป็นลิ้นไหลออก (exhaust valve) เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่สู่ศูนย์กลางลิ้นไหลเข้าจะเปิดส่วนลิ้นไหลออกจะปิด แต่เมื่อ

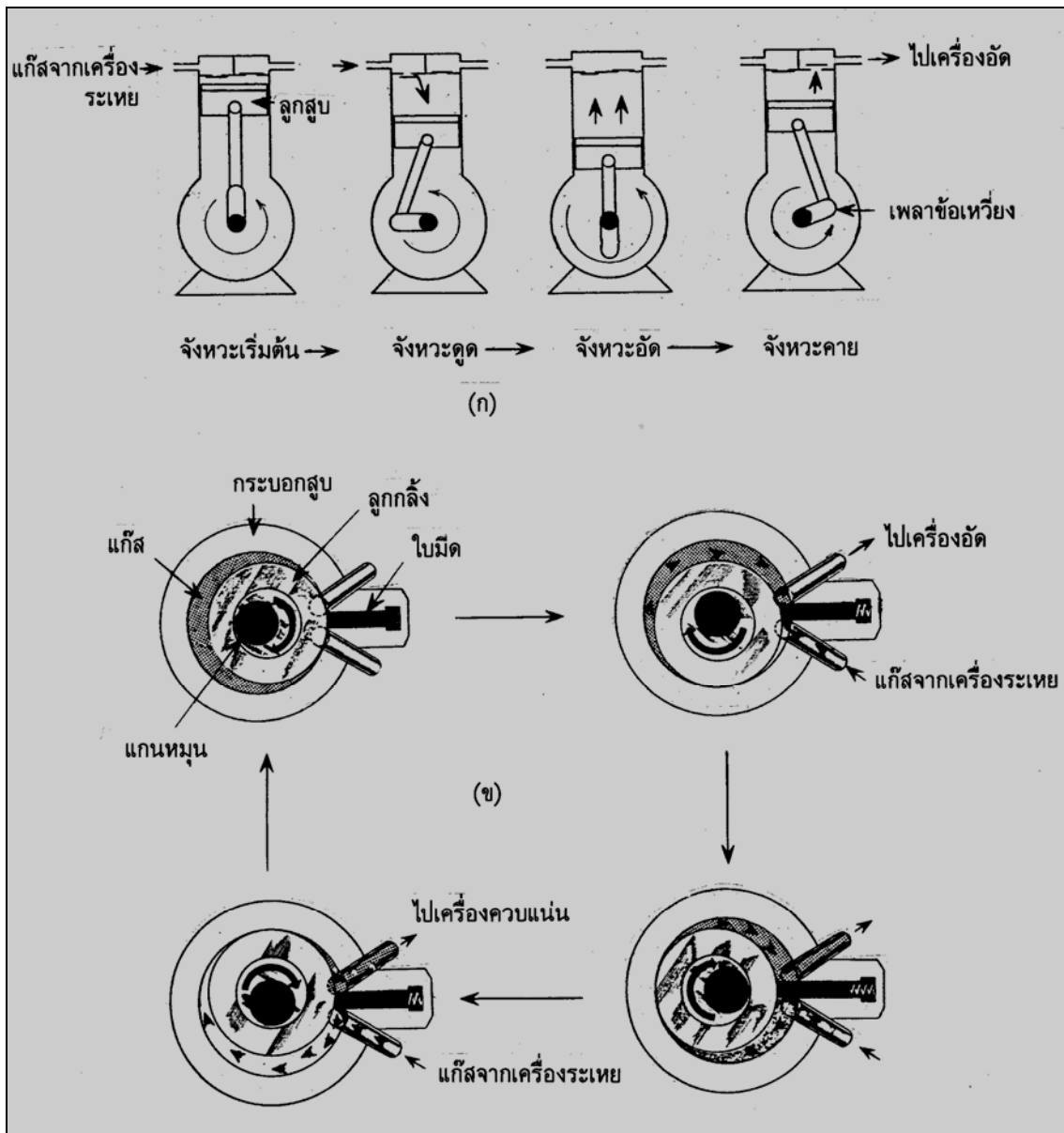
ลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้นมาสู่ศูนย์กลางบนลิ้นไหลเข้าจะปิด ส่วนลิ้นไหลออกจะเปิด(รูปที่ 8.5 ก) การทำงานเป็นวงรอบนี้ทำให้สารทำความเย็นถูกอัดไปในท่ออย่างต่อเนื่องตลอดเวลา การหล่อลื่นใช้ความดันคั่นน้ำมันจากกันอย่างเก็บน้ำมันขึ้นไปหล่อลื่นส่วนที่เคลื่อนไหวยส่วนต่าง ๆ ร่วมกับการวิดสารของเพลาลูกเบี้ยวเพื่อให้น้ำมันหล่อลื่นผนังกระบอกสูบ เครื่องอัดชนิดนี้มีองค์ประกอบมากทำให้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ นอกจากนี้ยังมีความเสียดทานการเคลื่อนไหวยมากทำให้สูญเสียพลังงานบางส่วนไปเพื่อเอาชนะความเสียดทานเหล่านี้ เป็นผลให้ใช้กระแสไฟฟ้าหรือพลังงานในการหมุนมอเตอร์มากขึ้น เครื่องอัดแบบลูกสูบไม่สามารถใช้ความเร็วรอบสูงมากได้ เพราะขีดจำกัดของโครงสร้างที่เป็นลูกสูบ จึงหมุนด้วยความเร็วในช่วง 500-1,750 รอบต่อนาที แต่เครื่องอัดชนิดนี้มีข้อดีที่สามารถบรรจุสารทำความเย็นได้มากกว่า

2.2 แบบโรตารี(rotary type) ทำงานโดยการให้ลูกกลิ้งเหล็ก(roller) ซึ่งติดอยู่บนแกนหมุนของมอเตอร์แบบเยื้องศูนย์กลาง(eccentric) หมุนซิดไปตามผนังของกระบอกสูบซึ่งเป็นวงกลมเมื่อประกอบกับการยึดหุดของใบมีด(blade) จะทำให้เกิดเป็นวงรอบของการดูด การอัด และปล่อยแก๊สทำความเย็น(รูปที่ 8.5 ข) เครื่องอัดชนิดนี้มีขนาดเล็กเนื่องจากมีองค์ประกอบง่าย ๆ น้อยขึ้น ประหยัดพลังงานในการหมุนมอเตอร์เพราะมีแรงเสียดทานน้อยกว่าแบบลูกสูบ และมีความเร็วรอบในการหมุนสูง สามารถสร้างแรงดูดได้มากกว่าเครื่องอัดแบบลูกสูบ

การใช้งานโดยทั่วไปที่ต้องการอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า  $-400^{\circ}\text{F}$ . นิยมใช้เครื่องอัดเพียงตัวเดียว(single stage system) ถ้าต้องการอุณหภูมิต่ำกว่านี้ ควรใช้เครื่องอัดมากกว่า 1 ตัว เพื่อป้องกันแก๊สที่ถูกล้อออกจากเครื่องอัดมีอุณหภูมิสูงเกิน ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของระบบทำความเย็นลดลง และก่อให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องอัด

ถ้าต้องการทำความเย็นต่ำกว่า  $-400^{\circ}\text{F}$ . ควรใช้ระบบทำความเย็น 2 ระบบเชื่อมต่อกัน (two stage system หรือ cascade system) ซึ่งใช้ระบบทำความเย็นทุติยภูมิ(secondary system) มาช่วยดึงความร้อนออกจากเครื่องควบแน่นของระบบทำความเย็นปฐมภูมิ(primary system) ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกมาจากเครื่องอัดลดลง และความร้อนถูกถ่ายเทออกไปสู่ระบบทุติยภูมิได้อย่างรวดเร็ว สารทำความเย็นที่ใช้ในระบบทุติยภูมินิยมใช้สาร R 11 หรือ R 503 ซึ่งมีจุดเดือดต่ำกว่าสารทำความเย็นในระบบปฐมภูมิซึ่งนิยมใช้ R 12, R 22 หรือ R 500

3. เครื่องควบแน่น มีหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากแก๊สที่ถูกล้อออกจากเครื่องอัดให้กับอากาศที่อยู่ภายนอกตู้เย็นหรือตู้แช่แข็ง แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ชนิดที่การถ่ายเทความร้อนอาศัยการไหลเวียนของอากาศที่มีความหนาแน่นต่างกัน(static condenser) มักพบในลักษณะของท่อยาวที่ขดไปมา ติดตั้งอยู่ด้านหลัง ด้านใต้ หรือฝังอยู่ในผนัง(warm wall condenser) ของตู้เย็น ส่วนอีกชนิดหนึ่งใช้พัดลมช่วยเป่าระบายความร้อนออกจากแผงเครื่องควบแน่น(forced draft condenser) ซึ่งมีลักษณะเป็นแผงที่มีท่อขนาดเล็กขดไปมาซ้อนกันหลายชั้นติดตั้งอยู่ใกล้ ๆ เครื่องอัด พัดลมระบายความร้อนจะทำงานเฉพาะตอนที่เครื่องอัดทำงาน



รูปที่ 8.5 วงรอบการทำงานของเครื่องอัดแบบลูกสูบ (ก) และแบบโรตารี (ข)

4. สารดูดความชื้น(drying agent หรือ dessicant) เป็น silica gel (silicon dioxide), activated alumina (aluminum oxide) หรือ drierite (anhydrous calcium sulfat) บรรจุอยู่ในกระเปาะตัวทำให้แห้ง(drier) ซึ่งติดตั้งอยู่ระหว่างท่อของเครื่องอัดกับหลอดรูเล็ก มีหน้าที่ 3 ประการ คือ เป็นแหล่งเก็บสารทำความเย็นในรูปของเหลวก่อนถูกดูดไปยังเครื่องระเหย กรองสิ่งสกปรกออกจากสารทำความเย็น และดูดความชื้นออกจากสารทำความเย็น

5. หลอดรูเล็ก เป็นท่อเล็ก ๆ ที่เชื่อมต่อระหว่างเครื่องควบแน่นกับเครื่องระเหย มีความยาวตั้งแต่ 2-3 นิ้วจนถึงหลายฟุต ขึ้นอยู่กับสารทำความเย็นที่ใช้ และอุณหภูมิที่ต้องการ รูขนาดเล็กของ

หลอดทำหน้าที่สร้างความแตกต่างของความดันที่เครื่องควบแน่นและเครื่องระเหย และควบคุมสารทำความเย็นให้ไหลในระบบในปริมาณที่เหมาะสม

6. เครื่องระเหย ใช้สำหรับดูดความร้อนออกจากอากาศและวัตถุที่อยู่บริเวณรอบ ๆ นิยมใช้แบบขยายตัวโดยตรง(direct expansion type) โดยทำให้ท่อของเครื่องระเหยมีขนาดใหญ่กว่าหลอดรูเล็กมาก ทำให้ความดันของสารทำความเย็นลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านมาที่ท่อของเครื่องระเหย การเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นแก๊สทำให้เกิดการดูดความร้อนเข้าไปอย่างรวดเร็ว เครื่องระเหยแบบนี้ผลิตได้ง่ายและมีราคาถูกจึงนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในตู้เย็นและตู้แช่แข็งทั่ว ๆ ไป

7. หม้อสะสม(accumulator) อาจพบในตู้เย็นหรือตู้แช่แข็งบางแบบ มีลักษณะเป็นกระเปาะที่ต่ออยู่ระหว่างท่อของเครื่องระเหยที่กลับสู่เครื่องอัด มีหน้าที่เหมือนตัวทำให้แห้ง กล่าวคือช่วยกรองสิ่งสกปรกและดูดความชื้น และป้องกันสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวไหลกลับสู่เครื่องอัด

8. ท่อระบายความร้อน(heat exchanger tube) เป็นท่อที่ต่อระหว่างท่อของเครื่องระเหยกับท่อดูดกลับของเครื่องอัด แต่เดินท่อให้ติดขนานไปกับหลอดรูเล็กเพื่อช่วยลดความร้อนของสารทำความเย็นในหลอดรูเล็กก่อนไหลไปสู่เครื่องระเหย

9. ท่อลดอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น(oil cooler หรือ pre cooler) นิยมใช้กับเครื่องอัดชนิดโรตารี เพื่อลดอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่น เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำมันหล่อลื่นไปอุดตันในท่อของระบบความเย็น น้ำมันจะถูกดันออกมาจากเครื่องอัดไปตามท่อลดอุณหภูมิก่อนเครื่องอัด แล้วไหลเวียนกลับสู่เครื่องอัดอีกด้านหนึ่ง เป็นผลให้อุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นไม่สูงมากเกินไป

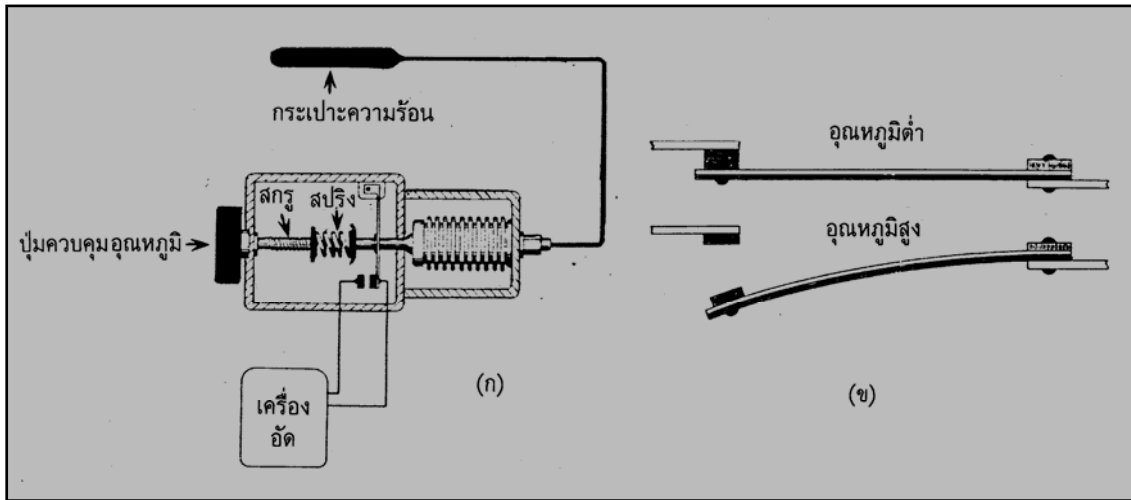
10. ตัวแยกน้ำมัน นิยมติดตั้งเพิ่มเติมเข้าไปในระบบทำความเย็นที่ต้องการอุณหภูมิต่ำ ใช้สารทำความเย็นที่ไม่รวมตัวกับน้ำ และใช้เครื่องระเหยแบบป้องกันน้ำมันไหลกลับ (nonoil-returning evaporator) โดยต่อตัวแยกน้ำมันที่ท่อส่งแก๊สทำความเย็นความดันสูงออกจากเครื่องอัดไปยังเครื่องควบแน่น การแยกน้ำมันอาศัยหลักการที่น้ำมันหนักมากกว่าสารทำความเย็นจึงรวมตัวแยกเป็นชั้นอยู่ด้านล่างของตัวแยกน้ำมันแล้วไหลกลับสู่เครื่องอัด

11. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ มีหน้าที่รักษาอุณหภูมิของตู้เย็นหรือตู้แช่แข็งให้ได้ตามต้องการ โดยมีความสม่ำเสมอของอุณหภูมิทั่วทั้งตู้ทำความเย็น อุปกรณ์เหล่านี้ได้แก่

11.1 ตัวไวความร้อน(thermal sensor) มีหน้าที่วัดอุณหภูมิภายในตู้ทำความเย็นแล้วส่งสัญญาณไปควบคุมการทำงานของเครื่องอัดเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามต้องการ ตัวไวความร้อนนิยมติดตั้งไว้ใกล้ ๆ กับเครื่องระเหย ตัวไวความร้อนที่ใช้อาจเป็นแบบที่อาศัยการหดหรือการขยายตัวของแก๊ส พรอท หรือ โลหะ (รูปที่ 8.6)

11.2 ปุ่มควบคุมอุณหภูมิ(temperature control knob) ปกติจะมีสเกลบอกอุณหภูมิแบบหยาบ ๆ บนตัวปุ่มหรือรอบ ๆ ปุ่ม การตรวจสอบความถูกต้องของสเกลนี้จึงต้องอาศัยการปรับให้ถูกต้อง โดยการใส่เทอร์มอมิเตอร์วัดอุณหภูมิที่แท้จริงเมื่อหมุนปุ่มควบคุมอุณหภูมิไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ

11.3 เครื่องชี้อุณหภูมิ(temperature indicator) เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่นอกตู้ทำความเย็น



รูปที่ 8.6 ตัวไวความร้อนแบบกระเปาะแก๊ส (ก) และแบบโลหะ 2 ชนิด (ข)

มีสายเชื่อมโยงไปยังตัววัดอุณหภูมิของตู้ทำความเย็น ซึ่งอาจแตกต่างจากอุณหภูมิของเครื่องระเหย 1-2 °ซ.

11.4 พัดลมหมุนเวียนอากาศ มักติดตั้งอยู่หลังเครื่องระเหยทำหน้าที่ดูดอากาศที่มีความร้อนกว่ามาเป่าใส่เครื่องระเหย ช่วยทำให้มีการถ่ายเทความร้อนอย่างทั่วถึงทั้งตู้ทำความเย็นและช่วยลดการเกาะของน้ำแข็งที่เครื่องระเหย พัดลมหมุนเวียนอากาศมักพบในตู้แช่แข็งหรือตู้เย็นขนาดใหญ่ เพราะการถ่ายเทความร้อนอย่างทั่วถึง โดยธรรมชาติเกิดขึ้นช้ามาก และยังนิยมใช้ในตู้เย็นระบบไร้ น้ำแข็ง(nofrost system)

11.5 ฉนวน(insulator) ใช้บุผนังและประตูตู้ทำความเย็นและท่อบางส่วนของระบบทำความเย็น เพื่อป้องกันความร้อนจากภายนอกผ่านเข้ามาภายในตู้ทำความเย็น แต่เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่เป็นฉนวน พื้นที่ผิวและความแตกต่างของอุณหภูมิดังสมการ

$$Q = UA \times (T_o - T_i)$$

โดย Q = อัตราการถ่ายเทความร้อน (บีที่อยู่ที่ชั่วโมง)

U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของฉนวน (บีที่อยู่ที่ชั่วโมง/°ฟ.)

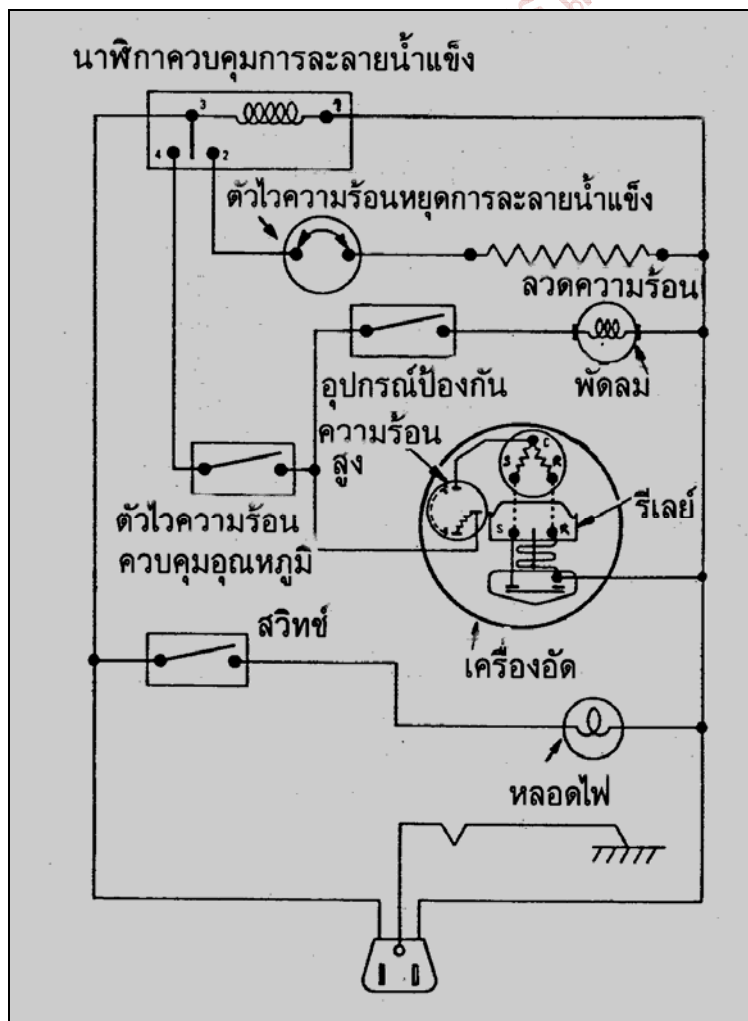
A = พื้นที่ผิวของฉนวน (ตรฟ.)

T<sub>o</sub> = อุณหภูมิภายนอกตู้เย็น (°ฟ.)

T<sub>i</sub> = อุณหภูมิภายในตู้เย็น (°ฟ.)

ดังนั้นจึงต้องพยายามเลือกวัสดุที่สามารถนำความร้อนได้น้อย ตัวอย่างเช่น polyurethane foam, polystyrene foam หรือใยแก้ว เป็นต้น แต่เพื่อความเหมาะสมในการใช้งานต้องคำนึงถึงน้ำหนัก ราคา เสถียรภาพ และความสามารถในการดูดน้ำของวัสดุที่จะนำมาใช้ทำฉนวนด้วย ในปัจจุบันนิยมใช้ polyurethane foam มากที่สุด โดยให้ความหนาตั้งแต่ 2.5 นิ้วขึ้นไป ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอกตู้ทำความเย็น

12. ระบบละลายน้ำแข็ง(defrost system) ในขณะที่ระบบทำความเย็นทำงาน น้ำหรือความชื้นจากวัสดุต่าง ๆ ในตู้ทำความเย็นจะเกาะที่เครื่องระเหย ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนลดลงจึงจำเป็นต้องมีระบบละลายน้ำแข็งที่เครื่องระเหย ซึ่งนิยมใช้ลดความร้อนที่ใช้พลังงานจากกระแสไฟฟ้า ลดความร้อนอาจทำงานโดยการควบคุมด้วยมือเมื่อต้องการ หรือทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อมีแข็งเกาะเครื่องระเหยมากเกินไป(รูปที่ 8.7) โดยการรับสัญญาณมาจากตัวไวความร้อน แต่ชนิดที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน เป็นระบบที่ใช้นาฬิกาตั้งเวลาควบคุมการทำงานของลดความร้อน

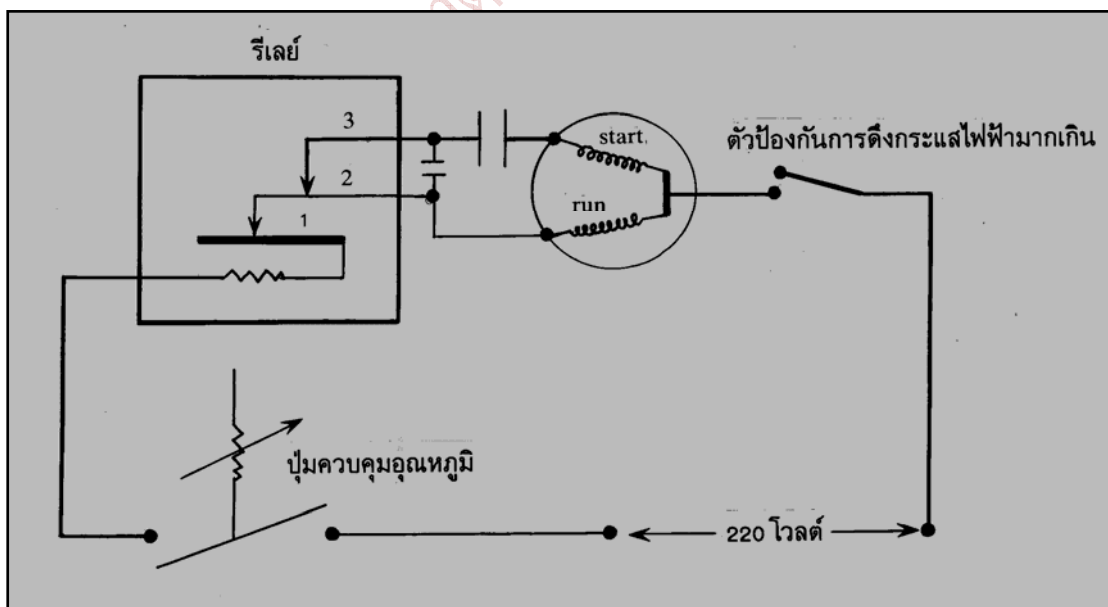


**รูปที่ 8.7 ตัวอย่างวงจรไฟฟ้าในตู้ทำความเย็นชนิดละลายน้ำแข็งแบบอัตโนมัติ**

โดยอัตโนมัติ นาฬิกาตั้งเวลาจะทำให้เกิดการละลายน้ำแข็งที่เครื่องระเหยวันละ 1-4 ครั้ง นานครั้งละประมาณ 20 นาที ขึ้นอยู่กับตู้ทำความเย็นแต่ละชนิด ในช่วงเวลาของการละลายน้ำแข็ง กระแสไฟฟ้าจะถูกตัดออกจากเครื่องอัดโดยอัตโนมัติ และเริ่มต่อใหม่เมื่อผ่านช่วงเวลาของการละลายน้ำแข็ง ตู้เย็นระบบใช้น้ำแข็งมีการละลายน้ำแข็งในช่วงเวลาสั้น ๆ สามารถละลายน้ำแข็งออกจากเครื่องระเหยได้ โดยทำให้อุณหภูมิภายในตู้ทำความเย็นเปลี่ยนแปลงน้อย (2-6 °ซ.) จึงไม่ก่อเกิดผลเสียกับวัตถุที่เก็บไว้ภายในตู้ทำความเย็น แต่ในบางกรณีนาฬิกาตั้งเวลาทำงานผิดปกติ ทำให้มีช่วงเวลการละลายน้ำแข็งนานเกินไปจนอาจทำให้วัตถุที่เก็บอยู่ภายในเสียหาย

13. อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องอัด มอเตอร์ที่ใช้ในเครื่องอัดส่วนใหญ่เป็นแบบเหนี่ยวนำ(induction type) เพราะมีโครงสร้างง่าย ๆ และมีราคาถูก มอเตอร์ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด ชุดแรกเป็นขดลวดเริ่มหมุน(starting winding) ชุดที่สองเป็นขดลวดใช้งาน(running winding) เมื่อเริ่มทำงานขดลวดทั้งสองได้รับกระแสไฟฟ้าพร้อม ๆ กัน แล้วจึงถูกควบคุมการทำงานโดยอุปกรณ์ดังนี้

13.1 รีเลย์(relay) มีหน้าตัดกระแสไฟฟ้าออกจากขดลวดชุดแรกเมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนจนมีความเร็วประมาณ 3 ใน 4 ส่วนของความเร็วปกติ เพื่อป้องกันมอเตอร์ได้รับกระแสไฟฟ้ามากเกินไปเป็นเวลานาน รูปที่ 8.8 เป็นรีเลย์แบบใช้ความลวดความร้อน(hot wire) ซึ่งนิยมใช้ในเครื่องอัดขนาด



## รูปที่ 8.8 แผนผังการต่อวงจรของรีเลย์แบบใช้ลวดความร้อน

เล็ก เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านในตอนเริ่มแรกความร้อนจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงระดับที่ทำให้ลวดเส้นที่ 1 ขยายตัว งอตัวลง ตัดกระแสไฟฟ้าออกจากขดลวดชุดแรก (ลวดเส้นที่ 3) ขณะใช้งานถ้ามีความผิดปกติทำให้มีการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวดชุดที่ 2 มากเกิน ลวดเส้นที่ 1 จะงอตัวมากขึ้นอีกจนลวดเส้นที่ 2 ถูกตัดกระแสไฟฟ้าออก ดังนั้นรีเลย์ชนิดนี้จึงทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ป้องกันการดึงกระแสไฟฟ้ามากเกินไป(overload protector) ด้วย

13.2 ตัวเก็บประจุเริ่มหมุนมอเตอร์(start capacitor) เป็นตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ที่มีความจุมาก ใช้ต่ออนุกรมกับขดลวดชุดแรก มีหน้าที่ช่วยจ่ายกระแสไฟฟ้าปริมาณมากให้กับขดลวดชุดแรก ในขณะที่เริ่มหมุนมอเตอร์ แต่รีเลย์จะต้องตัดตัวเก็บประจุนี้ออกจากวงจรภายใน 5 วินาที เพื่อป้องกันขดลวดไหม้

13.3 ตัวเก็บประจุหมุนมอเตอร์(run capacitor) เป็นตัวเก็บประจุขนาดเล็กใช้ต่อขนานกับขดลวดชุดที่สอง มีหน้าที่สะสมไฟฟ้าและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดชุดที่สอง ทำให้มอเตอร์หมุนได้อย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา

13.4 ตัวป้องกันการดึงกระแสไฟฟ้ามากเกินไป(overload protector) นิยมใช้ชนิดที่เป็นโลหะ 2 ชนิดประกบติดกัน(bimetallic) ต่ออนุกรมกับขดลวดชุดที่สอง เมื่อเกิดความผิดปกติกระแสไฟฟ้าถูกดึงผ่านขดลวดชุดที่สองมากเกินไปจนเกิดความร้อนทำให้โลหะ 2 ชนิดดังกล่าวโค้งงอตัดวงจรไฟฟ้าและจะต่อวงจรไฟฟ้าเองเมื่อโลหะเย็นลง

14. สัญญาณเตือนต่าง ๆ อาจพบอยู่ในรูปของแสงหรือเสียง เพื่อแสดงการทำงาน หรือการไม่ทำงานของพัดลม เครื่องอัด การละลายน้ำแข็ง เป็นต้น

## ข้อควรปฏิบัติในการใช้ตู้ทำความเย็น

ถึงแม้ว่าตู้เย็นหรือตู้แช่แข็งเป็นเครื่องมือที่ใช้ง่าย แต่สิ่งที่ควรกระทำเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้ และเสถียรภาพของวัตถุที่เก็บไว้ในตู้ทำความเย็น ตลอดจนการประหยัดพลังงาน เป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึง สิ่งที่ต้องปฏิบัติในการใช้งานมีดังนี้

1. การตั้งตู้ทำความเย็น ควรตั้งบนพื้นที่แห้ง ราบเรียบ พึงหลีกเลี่ยงความร้อนจากแสงแดดหรือแหล่งอื่น ๆ ควรให้แผงของเครื่องควมแน่นห่างจากผนังอย่างน้อย 5 นิ้ว ถ้าเป็นตู้ทำความเย็นในแนวตั้ง ควรตั้งให้ด้านหน้าสูงกว่าด้านหลังเล็กน้อย เพื่อให้ประตูตู้ทำความเย็นปิดได้เองเมื่อเปิดออกมาประมาณ 45 องศา

2. ในการต่อกระแสไฟฟ้า ควรใช้โวลต์ที่ถูกต้อง(110, 220 หรือ 380 โวลต์) และควรต่อสายดินเสมอ นอกจากนี้อาจติดอุปกรณ์ตัดไฟ(circuit breaker) ซึ่งจะตัดกระแสไฟฟ้าเองเมื่อมีการรั่วของกระแสไฟฟ้า

3. วัตถุที่นำไปใส่ในตู้ทำความเย็น ควรปิดสนิทหรือห่อหุ้มให้มิดชิด เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ซึ่งจะไปเกาะสะสมที่เครื่องระเหย
4. ไม่ควรใส่สารที่ระเหยง่ายและติดไฟได้ง่ายในตู้ทำความเย็น ตัวอย่างเช่น อีเธอร์ หรือ benzene เป็นต้น
5. เพื่อหลีกเลี่ยงการแตก ไม่ควรใช้ภาชนะที่ทำด้วยแก้วใสของเหลวหรือของแข็งที่ต้องนำไปเก็บในที่อุณหภูมิต่ำมาก(แช่แข็ง)
6. ถ้าไม่จำเป็นไม่ควรนำวัตถุที่ร้อนใส่ในตู้ทำความเย็นทันที ควรรอให้เย็นก่อน
7. วัตถุและสิ่งของที่ใส่ในตู้ทำความเย็นควรเหมาะสมกับความจุของตู้ทำความเย็น เพราะถ้าใส่มากเกินไป นอกจากจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแล้ว ยังอาจทำให้สิ่งของที่เก็บไว้เสียหายเนื่องจากถ่ายเทความร้อนออกจากสิ่งของไม่ดี แต่ถ้าใส่น้อยเกินไปย่อมเกิดการสูญเปล่าของพลังงาน
8. เอาสิ่งของที่ไม่จำเป็น หรือหมดความจำเป็นที่จะเก็บไว้ในตู้ทำความเย็นออกเสมอ ๆ
9. วางสิ่งของในตู้ทำความเย็นให้เป็นระเบียบ และเขียนเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ที่ชัดเจนเพื่อความรวดเร็วในการหยิบออกมา
10. ควรเปิดประตูเย็นตามความจำเป็นเท่านั้น ควรกำหนดว่าในวันหนึ่ง ๆ จะเปิดกี่ครั้ง แต่ครั้งจะหยิบอะไรบ้าง และในการหยิบแต่ละครั้งควรหยิบหลาย ๆ อย่างออกมาพร้อม ๆ กันถ้าสามารถกระทำได้
11. การหยิบสิ่งของในตู้แช่แข็งควรสวมถุงมือยาง เพื่อลดการเกิดเกล็ดน้ำแข็งที่จะเกาะติดกับเครื่องระเหย ผนัง หรือสิ่งของที่สัมผัสกับมือ เพราะมีไอน้ำระเหยออกจากมือตลอดเวลา
12. ไม่ควรใช้ของมีคมขูดหรือแช่น้ำแข็งบริเวณท่อของเครื่องระเหย เพราะท่ออาจรั่วได้ง่ายเนื่องจากทำจากโลหะอ่อนประเภทอะลูมิเนียมหรือทองแดง
13. ห้ามวางสิ่งของบนฝาตู้ทำความเย็นแบบแนวนอน เพราะการเปิดปิดฝาดูจะทำให้สิ่งของตกเสียหาย และอาจทำให้ตัวตู้ทำความเย็นเสียหายด้วย
14. จากการศึกษาพบว่าถ้าลดอุณหภูมิในตู้ทำความเย็นลงเพียง 1 °ฟ. จะประหยัดพลังงานตู้ทำความเย็นลงร้อยละ 2 ถึงร้อยละ 5 ดังนั้นจึงควรใช้อุณหภูมิให้เหมาะสมกับวัตถุ หรือสิ่งของที่นำมาเก็บ ตัวอย่างเช่น การเก็บเอนไซม์บางชนิดในระยะสั้น ๆ ควรเก็บที่ -32 °ฟ. แทนการเก็บที่ -70 °ฟ. เป็นต้น
15. เมื่อกระแสไฟฟ้าดับหรือปิดสวิทช์ไฟฟ้าตู้ทำความเย็น ไม่ควรเปิดสวิทช์ไฟฟ้าทันทีควรทิ้งช่วงเวลาประมาณ 3 นาที เพื่อให้ความดันในเครื่องระเหย และเครื่องควบแน่นสมดุลกันก่อน เพราะถ้ายังมีความดันสูงอยู่ในระบบท่อทำความเย็น การเริ่มทำงานของมอเตอร์ของเครื่องอัดจะต้องเอาชนะแรงดันในท่อนี้ด้วย ทำให้มอเตอร์ทำงานหนักและดึงกระแสไฟฟ้ามากขึ้นทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์ของเครื่องอัดลดลง

## การบำรุงรักษา

การบำรุงรักษาตู้ทำความเย็นเป็นสิ่งที่ไม่ได้ง่าย ๆ และไม่ต้องกระทำบ่อยนัก จึงเป็นสาเหตุให้ตู้ทำความเย็นถูกละเลยการบำรุงรักษา การบำรุงรักษาที่ควรกระทำมีดังนี้

1. ตรวจสอบรอยรั่วตามขอบประตูตู้ทำความเย็นเสมอ ๆ
2. ตรวจสอบความแน่นหนาของบานพับและอุปกรณ์ยึดประตูตู้ทำความเย็นทุก ๆ 6 เดือน
3. ตรวจสอบความถูกต้องของอุณหภูมิของปุ่มควบคุมอุณหภูมิทุก ๆ 6 เดือน
4. ตรวจสอบการรั่วของฉนวนในผนังตู้ทำความเย็น โดยการสังเกตดูหยดน้ำที่อาจเกิดขึ้นเฉพาะแห่งบนผนังตู้ทำความเย็น
5. ทำความสะอาดภายนอกเครื่องอัด และแผงเครื่องควบแน่นทุก ๆ 3 เดือน เพื่อกำจัดคราบไขมันและฝุ่นออก
6. ถ้าตู้ทำความเย็นไม่มีระบบละลายน้ำแข็งอัตโนมัติ ควรละลายน้ำแข็งเมื่อมีน้ำแข็งจับที่เครื่องระเหยหนาเกิน 2.5 นิ้ว
7. การทำความสะอาดภายนอกตู้ทำความเย็น ควรใช้น้ำปริมาณเล็กน้อยร่วมกับการใช้สารชะล้างที่เป็นกลาง หรือเป็นด่างอ่อน ๆ
8. ความถี่ของการทำความสะอาดภายในตู้ทำความเย็นขึ้นอยู่กับพิจารณาของผู้ใช้ ซึ่งอาจจะบ่อยมากคืออาทิตย์ละ 1 ครั้งจนถึงปีละครั้ง การทำความสะอาดภายในควรปฏิบัติดังนี้
  - 8.1 ถอดปลั๊กไฟฟ้อออก
  - 8.2 เปิดประตูตู้ทำความเย็นเอาสิ่งของภายในออก นำไปเก็บไว้ในตู้ทำความเย็นอื่น ๆ
  - 8.3 เปิดประตูตู้ทำความเย็นให้กว้างที่สุด เพื่อให้อุณหภูมิภายในสูงขึ้นเกิน 32 °ฟ.(อาจใช้พัดลมช่วยถ่ายเทความร้อน)
  - 8.4 กำจัดสิ่งสกปรกออกโดยใช้แผ่นขัดหรือแปรงขัดที่ทำด้วยพลาสติก จุ่มสารชะล้างที่อ่อน ๆ (33-49 °ซ.) ใช้ฟองน้ำจุ่มน้ำอุ่นเล็กน้อยเช็ดสารชะล้างออก เช็ดหรือฉีดพ่นด้วยสารฆ่าเชื้อโรคในกรณีที่ใช้ quaternary ammonium chloride เป็นสารชะล้างไม่จำเป็นต้องใช้สารฆ่าเชื้อโรคอื่น ๆ อีก
  - 8.5 ปล่อยให้แห้ง เสียปลั๊กไฟฟ้อ ตั้งอุณหภูมิให้เท่ากับอุณหภูมิก่อนทำความสะอาด นำสิ่งของมาเก็บเข้าที่เดิมให้เป็นระเบียบ
9. ในกรณีที่มึกลิ่นเหม็น อาจใช้  $\text{NaHCO}_3$  ล้าง หรือใส่ถ่านกัมมันต์(activated carbon) ปิดประตูตู้ทำความเย็นทิ้งไว้เป็นเวลา 2-3 วัน

## การเลือก

ตู้เย็นและตู้แช่แข็งในปัจจุบันมีประสิทธิภาพและคุณภาพค่อนข้างใกล้เคียงกัน จะแตกต่างกันบ้างในส่วนของราคา รูปร่าง และความเหมาะสมสำหรับใช้งานแต่ละประเภท สำหรับงานทางห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ควรพิจารณาถึงสิ่งต่อไปนี้

1. มีความแม่นยำ(accuracy) และความเที่ยง(precision) ของการควบคุมอุณหภูมิ
2. มีความสม่ำเสมอของอุณหภูมิทุก ๆ บริเวณภายในตู้ทำความเย็น
3. มีสัญญาณเตือนเมื่อเครื่องอัด หรืออุปกรณ์ส่วนอื่น ๆ ทำงาน ผิดปกติ
4. ตู้แช่แข็งควรมีเครื่องบันทึกอุณหภูมิแบบต่อเนื่องตลอดเวลา
5. เลือกขนาดความจุภายในให้เหมาะสมกับปริมาณสิ่งของที่ใส่
6. มีชั้นวางที่เหมาะสมกับงาน ตัวอย่างเช่น มีชั้นวางที่เลื่อนปรับระดับได้ หรือสามารถหมุนได้รอบตัว
7. ควรมีประตูขนาดที่ไม่โตเกินไป ถ้าเป็นตู้ทำความเย็นขนาดใหญ่ ประตูควรแบ่งออกเป็นประตูเล็ก ๆ หลายประตู
8. มีการรั่วไหลของความเย็นตามขอบประตูหรือผนังน้อย ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบ ชนิด และความหนาของฉนวนที่ใช้
9. ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้รวมต่อวัน การเปรียบเทียบเฉพาะวัตต์ที่เครื่องอัดใช้อาจได้ ข้อมูลที่ไม่ตรงกับความเป็นจริง เพราะกระแสไฟฟ้ารวมทั้งตู้ทำความเย็นใช้ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์อื่น ๆ ด้วย เช่น พัดลมหมุนเวียนอากาศ หลอดไฟ ขดลวดความร้อน ฯลฯ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับการสูญเสียของความเย็นซึ่งจะทำให้เครื่องอัดทำงานเป็นระยะเวลาที่นานไม่เท่ากันในแต่ละวัน
10. ใช้เครื่องอัดที่มีประสิทธิภาพสูง และควรมีขนาดเหมาะสมกับความจุของตู้ทำความเย็น เพราะถ้าใช้เครื่องอัดขนาดเล็กเกินไปจะทำให้เครื่องอัดทำงานหนัก เป็นผลให้อายุการใช้งานลดลง แต่ถ้าใช้ขนาดโตเกินไปจะสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้ามากขึ้น
11. ใช้สารทำความเย็นที่ปลอดภัย เพื่อป้องกันอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่อาจจะเกิดขึ้นถ้ามีการรั่วไหลของท่อในระบบทำความเย็น
12. ตู้เย็นที่มีระบบละลายน้ำแข็งอัตโนมัติ ซึ่งส่วนใหญ่จะละลายน้ำแข็งทุก ๆ 10 ชั่วโมง จะทำให้เปลืองค่าไฟฟ้ามากกว่าตู้เย็นชนิดที่กำหนดเวลาการละลายน้ำแข็งได้
13. ควรเลือกตู้เย็นที่มีโครงสร้างที่สามารถนำไปรีไซเคิล(recycle) ได้เกือบทั้งตู้ เพื่อช่วยรักษาสภาพแวดล้อม

## ปัญหาและสาเหตุ

ปัญหาที่พบบ่อยสำหรับตู้เย็นหรือตู้แช่แข็งมีดังตารางที่ 8.2 การแก้ไขสามารถกระทำได้ง่ายขึ้น ถ้าเข้าใจการทำงานของระบบทำความเย็น ซึ่งนอกจากใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับตู้ทำความเย็นโดยตรงแล้ว ยังสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางแก้ไขข้อขัดข้อง หรือแก้ปัญหาของเครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่มีระบบทำความเย็นเป็นส่วนประกอบของเครื่องมือได้อีกด้วย

ตารางที่ 8.2 ปัญหาและสาเหตุของผู้ทำความเย็น

ปัญหา	สาเหตุ
มีน้ำไหลนองพื้นบริเวณตู้เย็น	<ul style="list-style-type: none"> <li>-มีน้ำแข็งเกาะที่เครื่องระเหยมากเกินไป</li> <li>-มีสารทำความเย็นมากเกินไป</li> <li>-พัดลมของเครื่องระเหยไม่ทำงาน</li> <li>-อากาศภายนอกตู้มีความชื้นสูง</li> <li>-ถาดรับน้ำที่ระบายน้ำออกรั่ว</li> <li>-ท่อระบายน้ำที่ตัน</li> </ul>

ตารางที่ 8.2 ปัญหาและสาเหตุของผู้ทำความเย็น(ต่อ)

ปัญหา	สาเหตุ
ภายในตู้ไม่เย็นและเครื่องอัดพยายามจะทำงาน	<ul style="list-style-type: none"> <li>-โวลต์ของกระแสไฟฟ้าสูงหรือต่ำเกินกว่าร้อยละ 10 ของโวลต์ที่กำหนด</li> <li>-มอเตอร์เครื่องอัดลัดวงจร</li> <li>-มีสารทำความเย็นมากเกินไป</li> <li>-ตัวเก็บประจุเริ่มหมุนเสีย</li> <li>-อุณหภูมิรอบ ๆ เครื่องอัดสูง</li> <li>-รีเลย์เสีย</li> <li>-อุปกรณ์ป้องกันการดึงกระแสไฟฟ้ามากเกินไป</li> </ul>
ความเย็นไม่พอและเครื่องอัดทำงานปกติ	<ul style="list-style-type: none"> <li>-มีน้ำแข็งเกาะที่เครื่องระเหยมาก</li> <li>-ปิดประตูตู้เย็นไม่สนิท</li> <li>-อากาศภายนอกมีอุณหภูมิสูง</li> <li>-สารทำความเย็นรั่ว</li> <li>-มีสารทำความเย็นน้อยเกินไป</li> <li>-มีการอุดตันในท่อระบบทำความเย็น</li> <li>-พัดลมของเครื่องควบแน่นไม่ทำงาน</li> <li>-เครื่องอัดมีขนาดเล็ก</li> <li>-ตัวไวความร้อนเสีย</li> <li>-พัดลมกระจายความเย็นภายในตู้เสีย</li> </ul>
เครื่องอัดทำงานตลอดเวลา และภายในตู้เย็นจัด	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ตั้งอุณหภูมิทำความเย็นไว้ต่ำมาก</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ตัวไวความร้อนเสีย</li> <li>-ปุ่มควบคุมอุณหภูมิเสีย</li> </ul>
มีน้ำแข็งเกาะตัวระเหยมาก หรือ มีหยดน้ำเกาะภายในตู้	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ลวดความร้อนขาด</li> <li>-นาฬิกาควบคุมการละลายน้ำแข็งเสีย</li> <li>-ท่อระบายน้ำที่ตัน</li> <li>-ภายในตู้มีน้ำและความชื้นมาก</li> <li>-ปิดประตูตู้ไม่สนิท</li> <li>-ฉนวนบางหรือเปียกน้ำ</li> </ul>

ตารางที่ 8.2 ปัญหาและสาเหตุของผู้ทำความเย็น(ต่อ)

ปัญหา	สาเหตุ
มีหยดน้ำเกาะนอกตู้มาก	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ฉนวนบาง หรือเปียก</li> <li>-อากาศภายนอกมีความชื้นสูง</li> <li>-ยางขอบประตูรั่ว</li> <li>-ท่อของเครื่องระเหยชนิดที่ฝังในผนัง ฝังชิดผนัง ด้านนอกมากเกินไป</li> </ul>
มีเสียงดังมาก	<ul style="list-style-type: none"> <li>-เสียงจากเครื่องอัด หรือพัดลม</li> <li>-เสียงจากการยึดท่อของระบบทำความเย็นไม่แน่น</li> <li>-ตั้งตู้ทำความเย็นไม่ดี</li> <li>-มีนอตหลุดหลวม</li> </ul>
เครื่องบันทึกอุณหภูมิไม่ทำงาน	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ใส่กระดาษไม่ถูกต้อง</li> <li>-หมึกหมด</li> <li>-สปริงขาด</li> </ul>

<p>ภายในตู้ไม่เย็นและเครื่องอัดไม่ทำงาน</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ไม่ได้เสียบปลั๊กไฟฟ้า</li> <li>-ฟิวส์ขาด</li> <li>-โวลต์ต่ำมาก</li> <li>-ไม่ได้เปิดสวิตช์ไฟฟ้า</li> <li>-มอเตอร์ของเครื่องอัดเสีย</li> <li>-รีเลย์เสีย</li> <li>-ตัวเก็บประจุเริ่มหมวนเสีย</li> <li>-นาฬิกาควบคุมการละลายน้ำแข็งเสีย</li> <li>-อุปกรณ์ป้องกันการดึงกระแสไฟฟ้ามกเกินเสีย</li> </ul>
---	--

การศึกษาหลักการทำความเย็น องค์ประกอบ การใช้ การบำรุงรักษา ตลอดจนปัญหาต่าง ๆ ที่อาจจะพบ คาดว่าจะกระตุ้นให้ผู้ใช้เกิดความสนใจในการบำรุงรักษาระบบทำความเย็น และมีการใช้ที่ถูกต้องมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเรื่องมีวิทยาศาสตร์ที่มีระบบทำความเย็นเป็นองค์ประกอบ รวมทั้งอุปกรณ์ทำความเย็นอื่น ๆ ด้วย

### บรรณานุกรม

1. Ashley S. Energy-efficient appliances. Mechanical Engineering 1998;120:94-7.
2. Babyak R. Calling on compressors. Appliance Manufacturer 2000;48:62-6.
3. Ballaney PL. Refrigeration and air conditioning. Delhi : Khanna Publishers, 1974.
4. Banda HT, Harries AD, Boeree MJ, Nyirenda TE, Banerjee A, Salaniponi FM. Viability of stored sputum specimens for smear microscopy and culture. Int J Tuberc Lung Dis. 2000;4:272-4.
5. Chai D. Samsung Electric's CFC free refrigerator: leader of the pack. Business Korea 1993;10:45-6.
6. Croppi A, Poletini A, Lunetta P, Chille G, Montagna M. A fetal case of trichlorofluoromethane(Freon 11) poisoning : tissue distribution study by gas chromatography- mass spectrometry. J Forensic Sci 1994;39:871-6.
7. Dossat RJ. Principles of refrigeration. 1<sup>st</sup> ed. New York : John Wiley and Sons, 1978.

8. Fitzgerald RL, Fishel CE, Bush LL. Fatality due to recreation use of chlorodifluoromethane and chloropentafluoroethane. J Forensic Sci 1993;38:477-83.
9. Ley SJ. Foodservice refrigeration. Boston : CBI Publishing Company Inc, 1980.
10. Rechowicz M. Electric power at low temperature. Oxford : Clarendon Press, 1975.
11. Remich NC. Green Frost : a recyclable refrigerator. Appliance Manufacturer 1992;40:69.
12. Sammarco ML, Manfredi STM, Quaranta A. Vaccine storage in the community: a study in central italy. Bull World Health Organ 1999;77:352-5.
13. Scharff R. Refrigeration, air conditioning, range and oven servicing. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1976.

รศ.ชูชาติ อาริราทุสรณ์