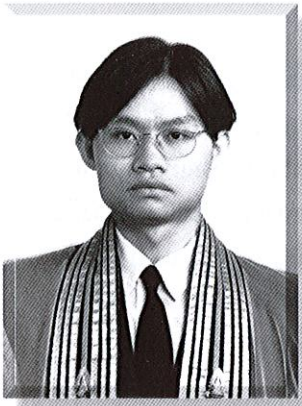




การออกแบบระบบท่อ ของเครื่องทำความเย็น (Refrigerant piping design)

บทนำ

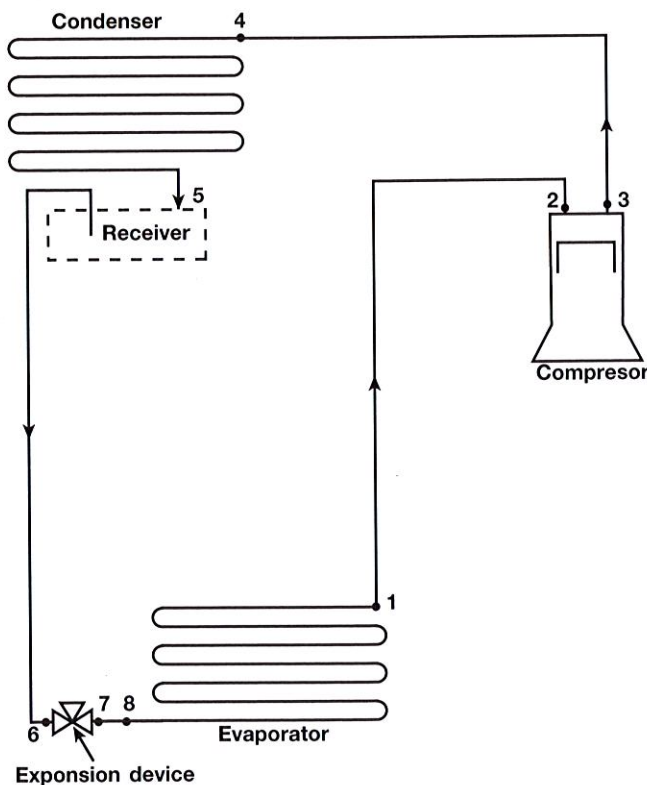
ในการออกแบบระบบท่อสำหรับสารทำความเย็น โดยสารทำความเย็นส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของไฮโดรคาร์บอน และสารทำความเย็นที่เป็นแอมโมเนีย ระบบท่อบริการทำความเย็นแยกเป็นส่วนใหญ่ๆ ได้ดังนี้ ระบบท่อบริการทำความเย็นทางดูดหรือก่อนเข้าเครื่องอัดไอ (Compressor) เรียกว่า Suction line ระบบท่อบริการทำความเย็นที่ออกจากเครื่องอัดไอยังเครื่องควบแน่น (Condenser) เรียกว่า Discharge line และส่วนสุดท้ายเรียกว่า liquid line ซึ่งเป็นระบบท่อจากทางออกเครื่องควบแน่นไปยังวาล์วลดความดัน (expansion valve) ทั้ง 3 ระบบท่อ ต้องศึกษาถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ, อัตราการไหลเชิงมวล, อุณหภูมิของสารทำความเย็น และสิ่งที่สำคัญคือความดันสูญเสียในระบบท่อทั้งหมดนี้เป็นรายละเอียดของการออกแบบระบบท่อบริการทำความเย็น

ขั้นตอนแรกควรจะศึกษาหลักการพื้นฐานของเครื่องทำความเย็น โดยหลักการทั่วไปจะเป็นการลดอุณหภูมิของสิ่งที่ต้องการให้ต่ำลง และระบบท่อก็เป็นอุปกรณ์หนึ่งในการส่งถ่ายสารทำความเย็นไปยังอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องทำความเย็น โดยสารทำความเย็นที่อยู่ในระบบท่อของเครื่องระเหย (Evaporator) ทำการรับความร้อนสิ่งที่ต้องการที่อุณหภูมิและความดันต่ำ จากนั้นไประบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นที่อุณหภูมิและความดันสูง

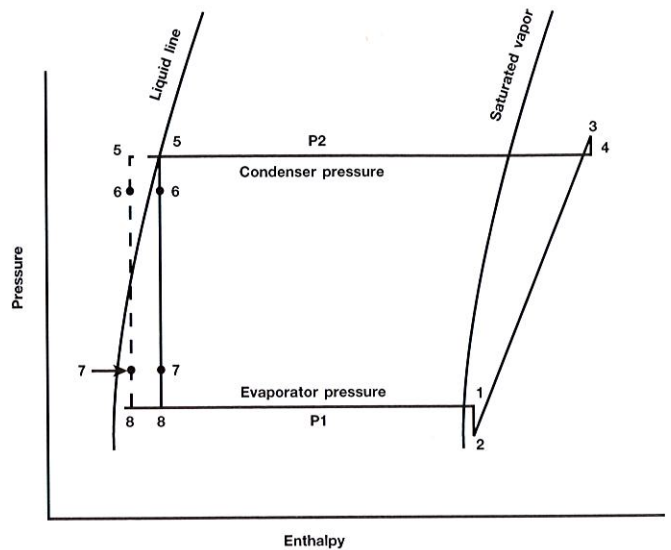
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล กลุ่มคณะวิศวกรรมศาสตร์และ
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต

ระบบท่อสารทำความเย็นของ American Standard Safety Code for Mechanical Refrigeration (ASAB9.1) เขียนในปี พ.ศ. 2532 เป็นรหัสที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบท่อของเครื่องทำความเย็น จากนั้น American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers ได้นำรายละเอียดบางส่วนของรหัสนี้มา และตั้งรหัสที่ใช้ในการออกแบบระบบท่อสารทำความเย็น คือ ANSI/ASHRAE 15.

ส่วนรหัสอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับระบบท่อสารทำความเย็น ได้แก่ American Standard B31 Code for Pressure Piping ในส่วนย่อยลงไปคือ Section B31.5 เกี่ยวกับระบบท่อของเครื่องทำความเย็น, การออกแบบโครงสร้าง และการทดสอบ เรียกส่วนนี้ว่า ANSI/ASME B31.5 Code พร้อมกับนำข้อมูลทางวิชาการในส่วนเครื่องทำความเย็นและการปรับอากาศของ ASHRAE Terminology of Heating, Ventilating, Air-Conditioning and Refrigerating จัดพิมพ์โดย American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers



รูปที่ 1 ระบบทำความเย็นแบบอัดไอ



รูปที่ 2 วงจรการทำความเย็นแบบอัดไอ

หลักการทั่วไปของความดันสูญเสีย

สารทำความเย็นที่ไหลภายในท่อจะเกิดแรงเสียดทานที่ผิวด้านในท่อทำให้ความดันสารทำความเย็นภายในท่อลดลง ถ้าทำให้การไหลปั่นป่วนมากขึ้นก็ทำให้เกิดการสูญเสียความดันมากขึ้นตามไปด้วย

ระบบท่อสารทำความเย็นทั้ง 3 ส่วน คือ Suction line, Discharge line และ liquid line มีหลักการที่เหมือนกัน ดังนั้นการศึกษาการสูญเสียความดันเนื่องจากแรงเสียดทานของผิวท่อ สำหรับสารทำความเย็นที่ไหลภายในท่อสารทำความเย็น และไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะในระหว่างการไหล โดยใช้สมการของ Darcy-Weisbach

$$H = f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

- เมื่อ
- f = ค่าคงที่ของแรงเสียดทาน
 - L = ความยาวของท่อสารทำความเย็น, m
 - D = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อสารทำความเย็น, m
 - V = ความเร็วของสารทำความเย็น, m/s
 - g = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง, 9.81 m/s²
 - H = ความดันสูญเสียรวม, m

สำหรับค่าคงที่ของแรงเสียดทาน f ส่วน Suction line และ Discharge line ของระบบท่อสารทำความเย็นที่ความเร็วปกติ และช่วงของความดันสูญเสียที่ใช้งานอยู่ระหว่าง 0.0025 ถึง 0.003 และส่วน liquid line จะอยู่ในช่วง 0.003 ถึง 0.004

ค่าคงที่ของแรงเสียดทานนั้นขึ้นอยู่กับความราบเรียบของท่อและค่า Reynolds number ของการไหล แต่ค่า Reynolds number ยังขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ, ความเร็ว, ความหนาแน่น และความหนืดของสารทำความเย็น พร้อมกันนั้นจำเป็นต้องทราบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ ทั้งหมดนี้นำมาช่วยวิเคราะห์ความดันสูญเสียในระบบท่อสารทำความเย็นเพื่อออกแบบระบบท่อสารทำความเย็น

อัตราการไหลของสารทำความเย็น

อัตราการไหลของสารทำความเย็นนั้นเป็นส่วนหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงเนื่องจากการออกแบบเลือกขนาดของท่อสารทำความเย็น และหน่วยพลังงานของเครื่องทำความเย็นนั้นส่วนใหญ่ใช้ตันความเย็น หรือ Btu/hr หรือ kW

สำหรับการเลือกขนาดท่อสารทำความเย็น อัตราการไหลของสารทำความเย็นควรวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆ ดังนี้ น้ำหนักของสารทำความเย็นมีค่าคงที่, ปริมาตรสารทำความเย็นมีเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับความหนาแน่นที่สถานะต่างๆ ของสารทำความเย็น และการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำความเย็นขณะเคลื่อนที่เป็นไปตามกระบวนการ ปริมาตรของสารทำความเย็นมีส่วนสำคัญในการเลือกใช้ขนาดท่อสารทำความเย็นของ Suction line และยังเป็นตัวเลือกขนาดของเครื่องอัดไอด้วย

สมการคำนวณอัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็นต่อตันความเย็นสำหรับเครื่องทำความเย็นได้จาก

$$\dot{m}(\text{kg/s.ton}) = \frac{(3.52 \text{ kW})}{(h_g - h_f)}$$

เมื่อ h_g = ค่าเอนทัลปีของสารทำความเย็นสถานะไออิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันทางออกของเครื่องระเหย

h_f = ค่าเอนทัลปีของสารทำความเย็นเหลวอิ่มตัวที่ทางเข้าวาล์วลดความดัน

ส่วนอัตราการไหลเชิงปริมาตร ต้องทราบปริมาตรจำเพาะที่ทางออกของเครื่องระเหยที่คุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำความเย็นนั้น จะได้สมการดังนี้

$$\dot{V}(\text{m}^3/\text{s.ton}) = \frac{(3.52 \text{ kW})}{(h_g - h_f)} v$$

เมื่อ v = ปริมาตรจำเพาะของสารทำความเย็นสถานะไอที่อุณหภูมิและความดันทางออกของเครื่องระเหย

สำหรับการออกแบบค่าปริมาตรจำเพาะของสารทำความเย็นจะเป็นไอแห้งอิ่มตัว จากตารางที่ 1 แสดงอัตราการไหลของสารทำความเย็นต่างๆ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิความหนาแน่นและอุณหภูมิระเหย

ตารางนี้ในส่วน Suction line ของระบบท่อสารทำความเย็นค่าเอนทัลปีอิ่มตัว และปริมาตรจำเพาะอ้างอิงที่อุณหภูมิ -12.2 °C (10 °F) ในสถานะไออิ่มตัว และในส่วน Discharge line ปริมาตรจำเพาะที่อุณหภูมิ -1.1 °C (30 °F) สูงกว่าอุณหภูมิ Discharge ของกระบวนการ Isentropic และอุณหภูมิ -12.2 °C ของสถานะไออิ่มตัวที่ Suction

ในส่วนอัตราการไหลเชิงปริมาตรของ Discharge line ไม่สามารถคำนวณได้ เพราะอุณหภูมิที่วัดได้จริงที่ทางออกของเครื่องอัดไอขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องอัดไอ ซึ่งต้องทราบจากผู้ผลิตเครื่องอัดไอ ดังนั้น อัตราการไหลเชิงปริมาตรในส่วนของ Discharge line จะประมาณได้ดังสมการ

$$\dot{V}_{\text{discharge}} (\text{m}^3/\text{s}) = \dot{V}_{\text{suction}} (\text{m}^3/\text{s}) \times \frac{P_1}{P_2} \times 1.2$$

เมื่อ P_1 = ความดันสัมบูรณ์ที่ Suction

P_2 = ความดันสัมบูรณ์ที่ discharge

สมการข้างต้นนี้ความแม่นยำน้อย แต่จะช่วยประมาณค่าความเร็วได้ในส่วนของ discharge line ได้

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์อุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นต่างๆ และสามารถวิเคราะห์หาความดันสูญเสียของสารทำความเย็นในท่อสารทำความเย็นใช้การเปลี่ยนของอุณหภูมิอิ่มตัว ผู้ผลิตเครื่องทำความเย็นหลายบริษัทได้แสดงเส้นกราฟของความดันสูญเสียให้กับผู้ซื้อ ดังนั้น ตารางที่ 2 จึงเป็นความดันของสารทำความเย็นที่ขึ้นกับอุณหภูมิ

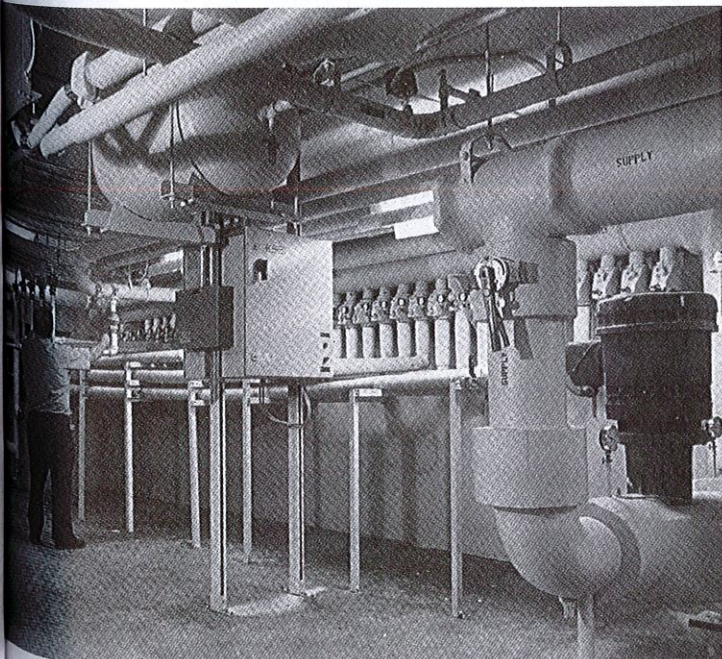
ความดันสูญเสียในท่อสารทำความเย็น

จากรูปที่ 1 และรูปที่ 2 แสดงระบบทำความเย็นแบบอัดไอ โดยมีระบบท่อสารทำความเย็นเป็นตัวส่งถ่ายสารทำความเย็น และแบ่งการวิเคราะห์ท่อสารทำความเย็นได้ 3 ส่วน ดังนี้

Suction line

ในท่อนส่วนนี้อยู่ในช่วงระหว่างเครื่องระเหยกับเครื่องอัดไอ ดังนั้นความดันจะขึ้นอยู่กับนุณหภูมิระเหยและทำการตรวจสอบคุณสมบัติของเครื่องอัดไอที่ผู้ผลิตในส่วนของการทำงานที่ภาคความดันต่ำทางด้านดูด และจุดที่มีความดันสูญเสียมากที่สุดนั้นอยู่ที่จุดที่ความดันต่ำกว่าความดันด้าน Suction เห็นได้จากไอของสารทำความเย็นจะขยายตัวที่ความดันต่ำกว่า และเครื่องอัดไอเป็นอุปกรณ์ที่ใช้บรรจุงสารทำความเย็นเป็นสาเหตุทำให้ความจุของเครื่องอัดไอลดลงเนื่องจากต้องควบคุมน้ำหนักของสารทำความเย็นที่เบาแล้วแล้วทำการอัดไปสู่ทางออกของเครื่องอัดไอที่ความดันสูง ทำให้มีผลต่างของความดันเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้องใช้กำลังงานในการอัดไอเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เมื่อเทียบที่ขนาดการทำความเย็นที่เท่ากัน ในส่วนอื่นๆ ถ้า Suction line มีขนาดท่อที่ใหญ่กว่าอุปกรณ์อื่นๆ เช่น วาล์ว หรืออุปกรณ์ควบคุม ก็มีขนาดใหญ่ขึ้นด้วยย่อมส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์สูงขึ้น และขนาดท่อที่ใหญ่ยังมีผลถึงน้ำมันหล่อลื่นที่ย้อนกลับไปที่เครื่องอัดไอ

ความดันสูญเสีย และค่าใช้จ่ายต่างๆ ไม่ใช่ 2 ประเด็นในการเลือกใช้ขนาดของท่อสารทำความเย็นของส่วน Suction line เท่านั้น คุณสมบัติการไม่รวมตัวระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำมันหล่อลื่นของเครื่องอัดไอ ก็เป็นส่วนหนึ่งของการเลือกใช้ จะเห็นได้ว่าขนาดท่อสารทำความเย็นในส่วน Suction line เป็นจุดที่ควรพิจารณาอย่างละเอียดและสำคัญต่อระบบทำความเย็น



Discharge line

ความดันสูญเสียที่มากจะอยู่ในช่วงความดันที่สูงที่สุดและตกลงมาที่ความดันสูงของเครื่องควบแน่น ในช่วงระหว่างเครื่องอัดไอดังเครื่องควบแน่น เมื่อความดันในส่วน discharge line สูงขึ้น ส่งผลให้เครื่องอัดไอต้องใช้กำลังงานสูงตามไปด้วย และประสิทธิภาพเชิงปริมาตรลดลงสำหรับด้านค่าใช้จ่ายของ discharge line ส่วนใหญ่อยู่ที่ค่าติดตั้งและการลงทุน

liquid line

ความดันสูญเสียในส่วน liquid line มีผลกระทบน้อยกว่า Suction line และ discharge line ซึ่งเป็นช่วงของความดันลดลงจากเครื่องควบแน่นผ่านวาล์วลดความดันสำหรับการเลือกใช้อุปกรณ์หรือวาล์วลดความดันที่ดีจะทำให้ช่วงของการลดความดันอยู่ในช่วงที่แคบและเหมาะสมความดันสูญเสียก่อนผ่านวาล์วลดความดันนั้นเป็นการสูญเสียความดันที่สูง เนื่องจากขณะควบแน่นจะมีสารทำความเย็นสถานะไอบางส่วนผ่านวาล์วลดความดัน เพื่อเปลี่ยนสถานะเป็นสารทำความเย็นเหลวอย่างรวดเร็วเรียกว่า "flashing" ดังนั้น จึงต้องเลือกใช้อุปกรณ์หรือวาล์วลดความดันที่มีประสิทธิภาพดีและควรหลีกเลี่ยงการเกิด flashing ของสารทำความเย็นภายในท่อนส่วน liquid line ดังนั้น การเกิดความดันสูญเสียสามารถควบคุมได้โดยการเลือกอุปกรณ์หรือวาล์วลดความดันที่มีประสิทธิภาพ และการเกิด flashing ที่น้อยที่สุดเท่าที่ทำได้ของไอก่อนไหลผ่านวาล์วลดความดัน

การเลือกขนาดท่อสารทำความเย็น

Suction line

ขนาดท่อมาตรฐานทั่วไปของสารทำความเย็นในส่วน Suction line นั้น พิจารณาจากความดันสูญเสียรวม ซึ่งประมาณได้เท่ากับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็น -16.6°C (2°F) ของสารทำความเย็นที่มีองค์ประกอบไฮโดรคาร์บอน และไม่เกินอุณหภูมิ -17.2°C สำหรับแอมโมเนีย เมื่อใช้ขนาดท่อมาตรฐานกับเครื่องทำความเย็นทำงานที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ความดันของสารทำความเย็นต่ำด้วย เพราะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอิ่มตัวต่อการเปลี่ยนแปลงความดันนั้นเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้การเลือกใช้และการทำงานของเครื่องอัดไอดังต้องเพิ่มตามไปด้วย จาก **ตารางที่ 2** เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นต่างๆ สามารถนำมาใช้ในการหาความดันสูญเสียที่มีค่าเท่ากับอุณหภูมิที่สูญเสียไป ในส่วนของความดันสูญเสียนั้นความยาวท่อและจำนวนวาล์วกับอุปกรณ์

ข้อต่อต่างๆ มีผลมากกว่าอัตราการไหลและเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อสารทำความเย็นเทียบได้จากกรณีความดันสูญเสียเท่ากัน ความยาวท่อสารทำความเย็นที่ยาวจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็ก และความยาวท่อสารทำความเย็นที่ยาวจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่

จาก**ตารางที่ 3** แสดงขนาดท่อเหล็กสำหรับแอมโมเนียที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.0127 m (1/2 in) ถึง 0.304 m (12 in) ที่อุณหภูมิอิ่มตัวด้าน Suction ต่างๆ และความดันสูญเสียจาก 3.4 kPa (1/2 psi) ต่อความยาวท่อ 3 m (100 ft) ถึง 20.68 kPa (3 psi) ต่อความยาวท่อ 3 m ซึ่งสามารถหาข้อมูลขนาด การทำความเย็นซึ่งมีหน่วยเป็นตัน ความเย็น ส่วน**ตารางที่ 4** รายละเอียดกับ**ตารางที่ 3** ของแอมโมเนีย แต่เป็นสารทำความเย็น R-12 ที่อุณหภูมิควบแน่นอยู่ในช่วง 32.2 °C (90 °F) ถึง 48.8 °C (120 °F) ในตารางนี้สามารถใช้ท่อวัสดุเป็นเหล็กหรือทองแดง กับสารทำความเย็น R-12 และ**ตารางที่ 5** เป็นขนาดท่อสารทำความเย็น R-22 และขนาดการทำความเย็นที่อุณหภูมิอิ่มตัวในส่วน suction และความดันสูญเสียต่างๆ

Discharge line

ความดันสูญเสียของสารทำความเย็นที่เป็นก๊าซร้อนในส่วนนี้มีค่าน้อยมาก เพราะไม่มีผลกระทบต่อการประสิทธิภาพหรือการใช้กำลังงานของเครื่องอัดไอ และการสูญเสียความดันในส่วน discharge จะมีเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เนื่องจากความดัน และอุณหภูมิในด้าน discharge มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันดังนั้น การเลือกใช้ ความดันสูญเสียในขั้นตอนควรมีค่าประมาณ 13.78 kPa (2 psi) หรือ 20.68 kPa ต่อความยาวท่อ 3 m

จาก**ตารางที่ 6** แสดงขนาดการทำความเย็นของท่อสารทำความเย็นชนิดแอมโมเนีย ที่ทำด้วยวัสดุเหล็กที่อุณหภูมิและความดันสูญเสียต่างๆ ซึ่งใช้กับอุณหภูมิควบแน่นอิ่มตัวเฉลี่ยประมาณ 32.2 °C (90 °F) และอุณหภูมิขณะสารทำความเย็นไหลเท่ากับ 121.11 °C (250 °F) ส่วนอุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็นที่ -6.6 °C (20 °F) แต่ยังสามารถใช้ได้สำหรับอุณหภูมิควบแน่นอยู่ระหว่าง 26.6 °C (80 °F) ถึง 63.3 °C (110 °F) และอุณหภูมิระเหยในช่วง -12.22 °C (10 °F) ถึง -1.11 °C (30 °F)

ตารางที่ 7 และ**ตารางที่ 8** มีลักษณะการใช้งานเหมือนกับ **ตารางที่ 6** แต่เป็นสารทำความเย็น R-12 และ

R-22 ตามลำดับ ซึ่งการใช้ต่างกันที่สารทำความเย็น R-22 ใช้อุณหภูมิควบแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 40.5 °C (105 °F) และอุณหภูมิระเหยอิ่มตัวเท่ากับ 4.4 °C (40 °F) ส่วนอุณหภูมิเนื่องจากการไหลของสารทำความเย็นใน discharge ประมาณ 79.4 °C (175 °F) โดยเงื่อนไขข้างต้นนี้สามารถนำมาใช้งานกับเครื่องปรับอากาศทั่วไปสำหรับความสะกดสบาย

liquid line

เมื่อสารทำความเย็นสถานะไอผ่านเครื่องควบแน่นมาเก็บไว้ที่ถังเก็บสารทำความเย็นเหลว ในท่อส่วนนี้จะมีขนาดที่ปกติ เมื่อในช่วงนี้เป็นการไหลแบบอิสระของสารทำความเย็น โดยมีความเร็วประมาณ 0.5 m/s (100 fpm) สำหรับการเลือกใช้ท่อที่ทางเข้าของถังเก็บสารทำความเย็นเหลว ซึ่งความดันของเครื่องควบแน่นประมาณได้เท่ากับความดันในถังเก็บสารทำความเย็นเหลว แต่ถ้าความดันต่ำกว่า 0.5 m/s สามารถใช้กับขนาดท่อ liquid line ที่เล็กลงได้ ในส่วนออกแบบจะเลือกใช้ 0.5 m/s สำหรับเครื่องควบแน่นถึงถังเก็บสารทำความเย็นเหลว

จาก**ตารางที่ 6**, **ตารางที่ 7** และ**ตารางที่ 8** สามารถเลือกขนาดการทำความเย็นในส่วน liquid line ถึงถังเก็บสารทำความเย็นเหลวของแอมโมเนีย, สารทำความเย็น R-12 และ R-22 ตามลำดับ

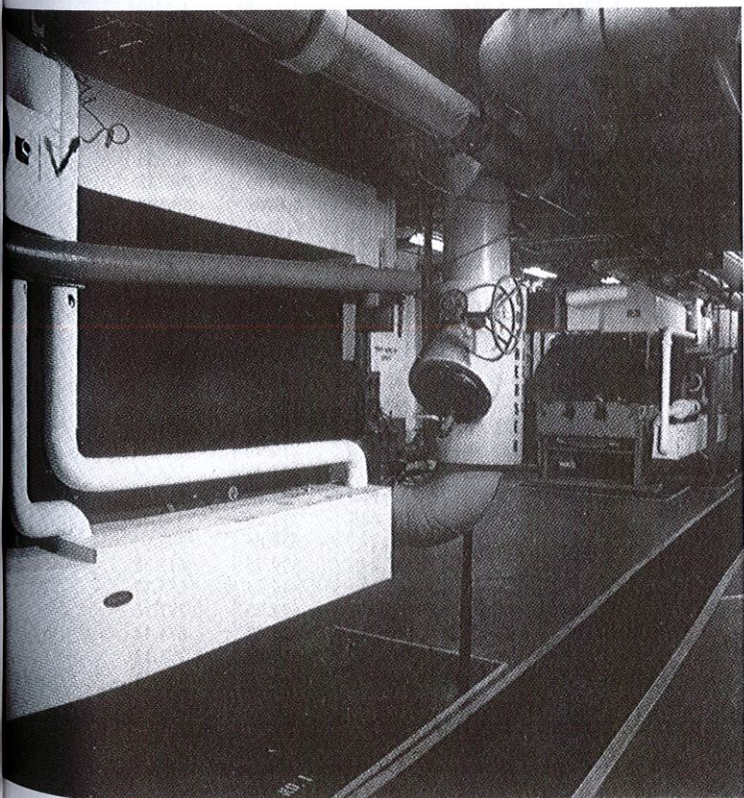
ส่วน liquid line ระหว่างถังเก็บสารทำความเย็นเหลวถึงอุปกรณ์หรือวาล์วลดความดัน ต้องวิเคราะห์ความดันสูญเสียเสียรวม ซึ่งส่วนใหญ่จะนำความดันสูญเสียสำหรับการทำงานปกติเท่ากับ 13.78 kPa (2 psi) ต่อความยาว 3m สามารถใช้ **ตารางที่ 6**, **ตารางที่ 7** และ**ตารางที่ 8** ในส่วน liquid line ของสารทำความเย็นทั้ง 3 ได้เช่นเดียวกัน

ขนาดของท่อสารทำความเย็น, วาล์ว และข้อต่อต่างๆ จะยังไม่ทราบเส้นผ่านศูนย์กลาง ต้องกำหนดค่าความดันสูญเสียก่อน โดยก่อนอื่นจะประมาณความยาวท่อและเพิ่มอีก 50% ซึ่งส่วนนี้เป็นการสูญเสียของวาล์วและข้อต่อต่างๆ จากนั้นเลือกเส้นผ่านศูนย์กลางได้จะมาทำการหาความดันสูญเสียวาล์ว และข้อต่อต่างๆ ที่เส้นผ่านศูนย์กลางนั้น แล้วรวมค่าเป็นความดันสูญเสียรวม โดยความดันสูญเสียรวมไม่ควรเกินที่กำหนดไว้ตั้งแต่ต้นสำหรับการเลือกใช้ขนาดท่อ ถ้าความยาวท่อและอุปกรณ์อื่นๆ ที่ติดตั้งรวมความดันสูญเสียแล้วเกินที่กำหนด ควรกลับมาแก้ไขที่กำหนดไว้ตอนต้น

วาล์วและอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ

ในที่นี้มี 2 วิธีในการหาค่าความดันสูญเสียของวาล์วและอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ วิธีแรก เป็นวิธี equivalent length method โดยวาล์วและอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ เทียบเป็นความดันสูญเสียของความยาวท่อของขนาดต่างๆ วิธีนี้ต้องสมมติเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาว ดังแสดงได้จาก **ตารางที่ 9** ซึ่งเป็นการเทียบวาล์ว และอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ เป็นความยาวท่อมาใช้ประเมินหาความดันสูญเสียรวม วาล์วและอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ ที่เทียบมาเป็นความยาวท่อ จะนำไปรวมกับความยาวท่อที่ออกแบบไว้รวมเป็นความยาวท่อสารทำความเย็นทั้งหมด และใช้คำนวณหาความดันสูญเสีย

อีกวิธีหนึ่งเป็นการประมาณค่าความดันสูญเสียของวาล์วและอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ เทียบเป็นการสูญเสียความเร็วสูงสุด วิธีนี้มีค่าแม่นยำ แต่ยุ่งยากและช้า อันดับแรกในการหาค่าความดันสูญเสียของวาล์วและอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ โดยการคำนวณหาความเร็วสูงสุดจากอัตราการไหลและพื้นที่หน้าตัดของท่อ เมื่อได้ความเร็วสูงสุด จึงนำมาคูณกับค่าคงที่ K จะได้ผลลัพธ์การสูญเสียความเร็วสูงสุด ของวาล์วและอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ มีหน่วยเป็น m. จากนั้นเปลี่ยนเป็นหน่วย kPa โดยคูณกับความหนาแน่นของสารทำความเย็นขณะไหล จาก**ตารางที่ 10** แสดงค่าคงที่ K ของวาล์วและอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ



สรุป

การออกแบบระบบท่อสารทำความเย็นนั้นจำเป็นต้องมีความรู้, ความสามารถ และประสบการณ์ ของระบบทำความเย็นเป็นอย่างน้อย ส่วนในบทความนี้เป็นการกล่าวเฉพาะการออกแบบระบบท่อสารทำความเย็น 3 ส่วนหลักๆ คือ Suction line, discharge line และ liquid line ซึ่งความดันสูญเสียในท่อและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งมีส่วนสำคัญในการออกแบบและเลือกใช้ขนาดท่อสารทำความเย็น และส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพเครื่องอัดไอในเครื่องทำความเย็นด้วย ดังนั้น ผู้เกี่ยวข้องหรือผู้ออกแบบระบบทำความเย็นควรพิจารณาอย่างละเอียด สำหรับการเลือกใช้อุปกรณ์ระบบทำความเย็นอย่างเหมาะสม ไม่ใช่แต่เพียงลดค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์และการติดตั้งระบบเพียงเท่านั้น อาจส่งผลถึงการสิ้นเปลืองพลังงานของระบบทำความเย็นและความปลอดภัยในอนาคต

เอกสารอ้างอิง :

1. Nayyan, Mohinder L., Pipe handbook, 6th ed., United States of America, McGraw-Hill, 1992.
2. Cengel, Yunus A., Thermodynamics : and engineering approach, Singapore, McGraw-Hill, 1989.
3. Dossat. Roy J., Principle of refrigeration, 4th ed., United State of America, Prentice-Hall, 1997.
4. ASHRAE Standard Safety Code for Mechanical Refrigeration, ANSI/ASHRAE 15, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., 1791 Tullie Circle NE, Atlanta, GA 30329.
5. Refrigeration Pinping, ANSI/ASME B31.5, American Society of Mechanical Engineers, New York.
6. ASHRAE Handbook-1989. Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA.

ตารางที่ 1

อัตราการไหลของสารทำความเย็น

Refrigerant	717 Ammonia			12 Dichlorodifluoro- methane			22 Monochlorodifluoro- methane		
Condensing temp, F	90	100	110	90	100	110	90	100	110
Evaporating temp, F	Lbs/(min ton)								
40	0.418	0.428	0.439	3.8	3.98	4.17	2.81	2.94	3.09
20	0.422	0.432	0.444	3.96	4.15	4.36	2.88	3.03	3.19
0	0.426	0.438	0.450	4.12	4.34	4.57	2.97	3.13	3.30
-20	0.434	0.445	0.457	4.32	4.55	4.82	3.07	3.24	3.42
	Cfm/ton (suction line)*								
40	1.71	1.75	1.8	3.02	3.17	3.32	1.91	1.99	2.1
20	2.57	2.63	2.70	4.47	4.68	4.92	2.75	2.90	3.07
0	3.96	4.07	4.18	6.81	7.16	7.55	4.15	4.38	4.62
-20	6.55	6.72	6.90	10.84	11.42	12.1	6.54	6.90	7.28
	Approximate cfm/ton (discharge line)†								
40	0.878	0.805	0.715	1.55	1.42	1.31	1.07	0.94	0.87
20	0.950	0.860	0.776	1.64	1.50	1.38	1.12	1.00	0.93
0	1.023	0.935	0.850	1.72	1.58	1.46	1.19	1.10	0.99
-20	1.128	1.023	0.929	1.84	1.68	1.57	1.29	1.17	1.10

*Based on saturated enthalpies and specific volume at 10°F superheat.

†Based on discharge specific volume at 30° above isentropic discharge temperature and 10°F suction superheat.

ตารางที่ 2 ความสัมพันธ์อุณหภูมิและความดันของสารทำความเย็นต่างๆ (หน่วยของเกจความดันเท่ากับ IB/in²)*

Refrigerants						Refrigerants					
Temp. (°F)	12	22	114	500	717	Temp. (°F)	12	22	114	500	717
-140	29.401*	—	—	—	—	-40	10.977*	0.5717	26.073*	7.6082*	8.7956*
-130	29.084*	28.519*	—	—	—	-38	9.9666*	1.3763	—	6.4300*	—
-120	28.617*	27.738*	—	—	—	-36	8.9139*	2.2138	—	5.2028*	—
-110	27.950*	26.623*	—	—	—	-34	7.8180*	3.0852	—	3.9250*	—
-100	27.019*	25.075*	29.523*	—	27.410*	-32	6.6777*	3.9914	—	2.5951*	—
-90	25.753*	22.976*	29.259*	24.869*	26.136*	-30	5.4916*	4.9333	—	1.2118*	1.7050*
-80	24.065*	20.191*	28.994*	22.884*	24.356*	-28	4.2586*	5.9119	—	0.1113	0.0784*
-70	21.858*	16.564*	28.474*	20.301*	21.921*	-26	2.9773*	6.9283	—	0.8455	0.7974
-60	19.023*	11.926*	27.955*	16.990*	18.656*	-24	1.6466*	7.9832	—	1.6082	1.6715
-50	15.440*	6.0851*	27.014*	12.811*	14.358*	-22	0.2651*	9.0778	—	2.4002	2.5850
-10	4.5011	16.535	20.638*	7.8110	8.9683	-20	0.5739	10.213	22.893*	3.2222	3.5392
-8	5.3725	17.936	—	8.8301	10.195	-18	1.3043	11.390	—	4.0751	4.5355
-6	6.2742	19.385	—	9.8849	11.473	-16	2.0615	12.610	—	4.9596	5.5752
-4	7.2067	20.883	—	10.976	12.802	-14	2.8463	13.873	—	5.8766	6.6596
-2	8.1710	22.431	—	12.105	14.185	-12	3.6592	15.181	—	6.8267	7.7902
0	9.1675	24.030	17.829*	13.272	15.622	50	46.736	84.062	3.9226	57.523	74.254
2	10.197	25.682	—	14.478	17.116	60	57.766	101.64	7.9967	70.587	92.622
4	11.260	27.387	—	15.724	18.668	70	70.204	121.45	12.722	85.346	113.78
6	12.358	29.147	—	17.011	20.280	80	84.154	143.66	18.553	101.93	137.99
8	13.491	30.962	—	18.340	21.953	90	99.725	168.44	24.384	120.47	165.54
10	14.660	32.834	14.374*	19.712	23.688	100	117.03	195.97	31.452	141.10	196.70
12	15.865	34.765	13.597*	21.127	25.488	110	136.18	226.44	39.436	163.96	231.77
14	17.108	36.754	12.789*	22.586	27.354	120	157.29	260.03	48.407	189.20	271.06
16	18.389	38.805	11.950*	24.091	29.288	130	180.50	296.96	58.438	216.96	314.88
18	19.709	40.916	11.078*	25.642	31.291	140	205.93	337.45	69.603	247.41	363.54
20	21.069	43.090	10.174*	27.240	33.366	150	233.73	381.72	81.982	280.71	417.39
25	24.645	48.809	7.7564	31.6065	39.1165	160	264.05	430.06	95.656	317.06	476.76
30	28.486	59.945	5.1219*	35.973	44.867	170	297.04	482.76	110.71	356.66	542.04
35	32.604	61.519	2.2371*	40.9995	51.6425	180	332.91	540.19	127.24	399.75	613.58
40	37.009	68.550	0.4384	46.026	58.418	190	371.86	602.82	145.33	446.64	695.37
						200	414.14	671.32	165.09	497.70	777.16
						210	460.06	—	186.62	553.47	874.14
						220	510.01	—	210.05	614.80	971.11
						230	564.63	—	235.49	—	1085.51

*In Hg vacuum.

†Contributed by B. C. Seam, Engineering Supervisor, Bechtel Corporation, Gaithersburg, Maryland.

Source: ASHRAE Handbook, 1989.

ตารางที่ 3 ขนาดท่อสารทำความเย็นและขนาดการทำความเย็น (ตัน) ของแอมโมเนีย*

Line size, in.†	Saturated suction temperature, F															
	-30				-20				0				20			
	Pressure drop, psi/100 ft				Pressure drop, psi/100 ft				Pressure drop, psi/100 ft				Pressure drop, psi/100 ft			
IPS	1/4	1	2		1/4	1	2		1/4	1	2		1/4	1	2	3
1/4	0.44	0.62	0.88		0.50	0.72	1.02		0.65	0.92	1.31		0.82	1.18	1.70	2.40
3/4	0.96	1.37	1.96		1.11	1.58	2.24		1.45	2.06	2.93		1.81	2.60	3.70	5.23
1	1.92	2.72	3.85		2.13	3.01	4.26		2.74	3.9	5.61		3.5	4.98	7.06	8.70
1 1/4	4.8	6.95	9.85		5.43	7.80	11.1		7.07	10.1	14.6		8.99	12.95	18.5	22.8
1 1/2	7.3	10.5	14.9		8.25	11.9	16.8		10.7	15.5	22.0		14.6	19.7	27.8	34.2
2	14.1	20.5	29.0		15.9	23.9	32.5		20.9	29.6	42.7		26.4	38.0	53.7	67.1
2 1/4	22.8	32.6	46.1		25.3	36.1	52.0		33.3	47.7	68.2		42.3	60.2	85.6	105.0
3	40.1	57.5	81.4		45.1	64.6	91.5		59.1	84.2	121		74.5	106.5	151	187.5
4	83.5	119	169		93.0	132	186		121	172	244		153	218	305	378
5	150	214	303		168	238	341		218	312	443		276	394	555	683
6	244	344	487		274	388	550		354	505	715		447	637	900	1,110
8	500	710	1,000		560	796	1,128		726	1,039	1,468		920	1,308	1,850	2,270
10	900	1,280	1,810		1,010	1,435	2,020		1,305	1,860	2,645		1,645	2,350	3,310	4,100
12	1,450	2,050	2,900		1,625	2,310	3,280		2,100	2,780	4,280		2,675	3,820	5,410	6,600

*Courtesy of Air Conditioning Refrigeration Institute (ARI).

†Based on fluid flow at 90°F saturated condensing temperature.

‡Data based on Sch 40 steel pipe, except that 1 in and smaller are based on Sch 80.

ตารางที่ 4 ขนาดท่อสารทำความเย็นและขนาดทำความเย็น (ตัน) ของสารทำความเย็น R-12*

Line size, in.†		Saturated suction temperature, F																			
		-40				-20				0				20				40			
		Pressure drop, psi/100 ft				Pressure drop, psi/100 ft				Pressure drop, psi/100 ft				Pressure drop, psi/100 ft				Pressure drop, psi/100 ft			
IPS	OD	¼	1	2	3	¼	1	2	3	¼	1	2	3	¼	1	2	3	¼	1	2	3
½	¼	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	0.24	....	....	0.25	0.31	....	....	0.31	0.39
	⅜	....	....	0.20	0.25	....	....	0.28	0.35	....	0.25	0.36	0.45	....	0.32	0.47	0.58	0.28	0.40	0.59	0.74
	½	....	....	0.24	0.29	....	0.22	0.32	0.39	....	0.29	0.41	0.51	0.26	0.37	0.53	0.66	0.32	0.46	0.66	0.81
	¾	....	0.23	0.35	0.44	0.22	0.32	0.47	0.59	0.29	0.42	0.62	0.77	0.37	0.54	0.79	0.99	0.47	0.68	1.00	1.23
¾	¾	0.25	0.37	0.53	0.67	0.34	0.50	0.73	0.91	0.45	0.65	0.95	1.19	0.57	0.84	1.22	1.51	0.72	1.05	1.54	1.89
	1	0.24	0.35	0.51	0.63	0.33	0.47	0.68	0.83	0.43	0.61	0.87	1.08	0.55	0.78	1.13	1.38	0.69	0.98	1.38	1.70
	1 ¼	0.51	0.75	1.10	1.36	0.69	1.00	1.47	1.85	0.91	1.32	1.94	2.42	1.17	1.69	2.47	3.10	1.46	2.14	3.14	3.91
	1 ½	0.47	0.67	0.96	1.20	0.63	0.90	1.29	1.58	0.82	1.17	1.67	2.06	1.05	1.51	2.14	2.64	1.30	1.87	2.65	3.27
1	1 ¾	0.90	1.32	1.92	2.40	1.22	1.77	2.58	3.22	1.61	2.34	3.39	4.22	2.04	2.94	4.30	5.34	2.58	3.74	5.52	6.75
	2	0.97	1.38	1.99	2.43	1.29	1.85	2.62	3.24	1.68	2.40	3.42	4.22	2.16	3.06	4.35	5.40	2.68	3.81	5.41	6.73
	2 ¼	1.44	2.09	3.00	3.78	1.92	2.82	4.10	5.10	2.54	3.68	5.37	6.62	3.25	4.70	6.90	8.46	4.05	6.02	8.65	10.7
	2 ½	1.47	2.09	2.98	3.65	1.94	2.78	3.95	4.87	2.52	3.62	5.12	6.29	3.25	4.59	6.54	8.00	4.00	5.70	8.10	9.83
2	2 ¾	2.94	4.35	6.30	7.80	4.01	5.80	8.44	10.6	5.28	7.70	11.1	13.8	6.70	9.75	14.2	17.6	8.47	12.3	17.9	22.1
	3	2.88	4.05	5.78	7.10	3.80	5.40	7.70	9.5	4.94	7.04	10.0	12.2	6.35	8.95	12.7	15.6	7.87	11.1	15.7	19.3
	3 ¼	5.27	7.71	11.2	13.9	7.10	10.4	15.1	18.7	9.44	13.7	19.6	24.5	12.0	17.4	25.4	31.0	15.0	21.9	31.5	39.3
	3 ½	4.52	6.50	9.24	11.4	6.02	8.55	12.2	14.9	7.86	11.2	15.7	19.3	10.1	14.1	20.2	24.7	12.4	17.6	25.0	30.7
3	3 ¾	8.53	12.4	17.9	22.4	11.3	16.6	23.9	29.9	15.0	21.8	31.4	39.3	19.0	27.8	40.5	49.9	23.8	34.9	50.5	62.6
	4	8.02	11.4	16.2	19.9	10.6	15.0	21.6	26.5	13.8	19.6	27.8	34.4	17.6	24.9	35.2	43.5	21.9	30.7	44.3	54.0
	4 ¼	12.7	18.4	26.8	32.9	16.9	24.5	35.8	44.4	22.2	32.1	46.7	57.9	28.5	41.2	59.3	74.1	35.6	51.6	75.0	92.0
	4 ½	17.7	25.8	37.4	46.3	23.7	34.6	50.1	62.3	31.4	45.8	65.5	82.0	40.0	57.7	83.5	105	50.3	72.5	106	130
4	4 ¾	16.6	23.8	32.8	41.2	21.8	31.4	44.4	55.5	28.6	40.6	57.2	70.7	36.2	51.8	73.4	90.4	45.0	64.4	91.0	111
	5	32.1	46.3	67.0	83.2	42.7	62.3	90.7	113	56.1	81.3	119	146	71.7	103	150	186	89.7	130	189	233
	5 ¼	30.0	42.6	60.9	74.6	39.9	56.5	80.3	99.3	51.7	73.6	105	128	65.9	93.0	134	162	81.5	117	165	202
	5 ½	51.2	74.5	108	134	69.4	100	145	180	91.0	131	190	236	115	165	240	300	145	209	300	371
6	6 ¼	48.7	69.0	97.5	121	64.5	91.2	130	159	83.5	118	167	207	106	151	217	264	132	187	265	325
	6 ½	99.5	140	199	245	130	186	262	322	170	242	339	422	216	306	435	540	268	381	540	669
	6 ¾	181	258	361	446	239	338	480	588	310	438	618	759	395	553	788	965	489	689	970	1,205
	7	290	406	574	706	382	538	765	936	490	695	984	1,210	623	882	1,260	1,550	774	1,093	1,548	1,890

*Courtesy of ARI.

†Based on fluid flow at 105°F saturated condensing temperature.

ตารางที่ 5 ขนาดท่อสารทำความเย็นและขนาดทำความเย็น (ตัน) ของสารทำความเย็น R-22[†]*

Line size, in.†		Saturated suction temperature, F																			
		—40				—20				0				20				40			
		Pressure drop, psi/100 ft				Pressure drop, psi/100 ft				Pressure drop, psi/100 ft				Pressure drop, psi/100 ft				Pressure drop, psi/100 ft			
IPS	OD	¼	1	2	3	¼	1	2	3	¼	1	2	3	¼	1	2	3	¼	1	2	3
1/8	1/8	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	0.38	.....	.....	0.39	0.47	.....	0.33	0.48	0.59
	1/8	.....	.....	0.34	0.40	.....	.....	0.43	0.52	.....	0.38	0.55	0.69	0.34	0.48	0.71	0.87	0.41	0.60	0.87	1.09
	1/8	.....	.....	0.40	0.48	.....	0.36	0.49	0.61	0.31	0.45	0.63	0.78	0.40	0.56	0.80	0.96	0.49	0.70	0.99	1.21
1/4	1/4	.....	0.39	0.56	0.69	0.37	0.52	0.74	0.90	0.46	0.67	0.94	1.17	0.57	0.84	1.21	1.53	0.73	1.16	1.54	1.90
	1/4	0.42	0.61	0.87	1.07	0.53	0.79	1.12	1.41	0.70	1.02	1.46	1.84	0.88	1.28	1.90	2.33	1.13	1.64	2.35	2.93
	1/4	0.39	0.56	0.79	0.98	0.51	0.73	1.03	1.26	0.65	0.93	1.31	1.62	0.81	1.16	1.64	2.02	0.99	1.42	2.03	2.58
3/8	3/8	0.83	1.19	1.73	2.16	1.09	1.56	2.29	2.81	1.40	2.02	2.90	3.77	1.78	2.61	3.86	4.72	2.28	3.28	4.80	5.83
	3/8	0.74	1.05	1.50	1.81	0.98	1.38	1.95	2.42	1.25	1.78	2.51	3.12	1.56	2.25	3.18	3.92	1.96	2.72	4.04	4.90
	3/8	1.45	2.11	3.05	3.89	1.90	2.76	4.14	5.03	2.50	3.61	5.20	6.40	3.16	4.61	6.76	8.20	4.04	5.69	8.35	10.3
1/2	1/2	1.53	2.20	3.18	3.86	1.98	2.84	4.05	5.00	2.53	3.74	5.15	6.37	3.21	4.50	6.43	7.97	4.04	5.69	8.05	9.94
	1/2	2.30	3.38	4.76	5.91	2.96	4.35	6.23	7.77	3.93	5.60	8.10	9.96	4.95	7.17	10.8	12.9	6.23	8.94	13.1	16.2
	1/2	2.33	3.35	4.76	6.05	3.00	4.35	6.15	7.54	3.93	5.49	7.79	9.52	4.81	6.91	9.65	12.0	6.03	8.47	12.0	14.9
3/4	3/4	4.79	6.9	10.1	12.4	6.24	9.05	13.2	16.3	8.11	11.7	17.0	21.5	10.3	14.9	22.2	27.0	13.1	19.0	27.1	34.4
	3/4	4.47	6.4	8.95	10.8	5.70	8.19	11.7	14.1	7.37	10.3	14.9	18.4	9.31	13.0	18.7	22.8	11.5	16.4	23.2	28.5
	3/4	3/4	7.15	10.1	14.1	17.3	9.1	12.9	18.6	23.0	11.7	16.5	24.0	29.3	14.7	20.9	29.4	38.0	18.2	26.2	37.7	46.3
1	1	13.2	19.4	27.7	35.2	17.7	25.2	36.8	45.8	22.6	33.0	47.7	58.3	28.9	41.8	60.0	76.6	35.7	52.9	76.2	94.4
	1	12.4	17.9	25.4	31.8	16.1	23.4	34.2	40.4	21.0	29.6	42.0	52.3	26.1	38.0	53.0	64.3	32.5	45.7	65.6	81.2
	1	20.0	28.9	41.3	50.8	25.8	38.1	53.8	67.7	33.7	49.2	70.4	86.2	43.2	62.7	89.0	113	54.6	78.2	114	139
1 1/4	1 1/4	27.4	40.0	57.6	73.6	36.6	52.7	76.3	96.4	47.7	68.5	99.5	125	59.5	87.5	128	160	77.2	112	161	199
	1 1/4	25.6	36.4	50.5	63.5	32.0	47.1	65.9	81.7	42.7	59.1	84.5	107	53.7	75.5	105	129	64.7	91.7	132	162
	1 1/4	50.0	73.7	107	132	66.0	96.5	138	174	89.3	124	180	222	110	159	230	286	135	199	286	357
1 1/2	1 1/2	46.4	65.7	92	114	59.3	85.0	121	149	77.4	109	154	189	96.5	133	191	234	118	167	234	291
	1 1/2	79.6	117	169	207	105	151	215	272	136	193	284	359	171	251	373	450	218	314	457	573
	1 1/2	75.0	105	149	180	96	138	195	239	124	176	249	309	156	222	312	396	192	270	397	477
2	2	156	222	317	392	206	291	410	515	262	373	530	656	331	470	660	820	407	579	827	1,010
	2	274	396	533	678	365	519	719	890	458	670	920	1,120	570	817	1,140	1,400	718	1,020	1,420	1,740
	2	442	606	882	1,060	555	810	1,140	1,420	717	1,020	1,490	1,810	901	1,290	1,830	2,250	1,130	1,600	2,280	2,810

*Courtesy of ARI.

†Based on fluid flow at 105°F saturated condensing temperature.

‡IPS data based on Sch 40 steel piping. OD data based on Type L copper tubing.

ตารางที่ 6

ขนาดท่อ discharge line และ
liquid line ขนาดการทำความเย็น
(ตัน) ของแอมโมเนีย[†]*

Line size, †, §, ¶ in.	Discharge lines				Liquid lines	
	Temperature, 250 F				To receiver	To system
	Pressure drop, psi/100 ft				Velocity, fpm	Pressure drop, psi/100 ft
IPS	1/4	1	2	3	100	2
3/8	.....	.....	.....	.....	8.5	11.6
1/2	1.28	1.85	2.65	3.25	13.6	23.5
3/4	2.84	4.03	5.83	7.15	25.2	53.2
1	5.68	8.06	11.6	14.2	42.1	105
1 1/4	14.7	21.1	30.4	37.2	75.3	225
1 1/2	22.2	31.5	45.0	55.0	103	351
2	43.0	61.4	87.6	107	197	805
2 1/4	68.6	98.5	140	171	280	1,280
3	122	174	246	300	432	2,270
4	244	351	497	608	745	4,630
5	450	638	900	1,100		
6	734	1,030	1,470	1,800		
8	1,480	2,110	3,010	3,650		

*Courtesy of ARI.

†Based on fluid flow at 90°F saturated condensing temperature and 20°F saturated evaporating temperature.

‡Data on sizes 2 in and over based on Sch 40 steel pipe.

§Data on sizes 1 in and below based on Sch 80 steel pipe.

¶Data for discharge line sizes 1 1/4 and 1 1/2 in based on Sch 40 steel pipe; for liquid-line sizes 1 1/4 and 1 1/2 in based on Sch 80 steel pipe.

ตารางที่ 7 ขนาดท่อ discharge line และ liquid line ขนาดการทำความเย็น (ตัน)
ของสารทำความเย็น R-12⁺

Line size,† in.	IPS	Discharge lines				Liquid lines	
		Temperature, 175 F				To receiver	To system
		Pressure drop, psi/100 ft				Velocity, fpm	Pressure drop, psi/100 ft
	OD	1/4	1	2	3	100	2
1/4	3/8	0.42	0.33	0.48	0.60	3.18	4.23
	5/8	0.48	0.62	0.90	1.13	3.20	3.62
	1	0.73	1.06	1.54	1.92	4.77	7.25
3/4	1 1/8	1.11	1.62	2.36	2.92	6.61	11.2
	1 1/4	1.02	1.46	2.06	2.54	5.90	8.17
	1 3/4	1.26	2.26	3.30	4.02	11.2	23.1
1	1 7/8	1.94	2.78	3.96	4.80	9.85	16.1
	2	3.96	5.72	8.25	10.3	17.1	40.0
1 1/4	2 1/8	3.98	5.72	8.15	9.95	17.5	34.4
	2 1/2	6.27	9.10	13.4	16.5	24.3	64.0
1 1/2	2 3/4	5.97	8.45	12.1	14.8	24.1	52.6
	3	13.0	18.8	27.3	34.0	42.3	133
2	3 1/2	11.6	16.6	23.4	29.0	45.7	123
2 1/4	3 3/4	23.1	33.7	48.0	60.2	65.1	236
	4	18.4	26.6	37.4	45.5	65.5	197
	4 1/4	36.9	53.6	77.5	95.5	93.0	376
3	4 1/2	32.4	46.2	65.1	80.0	101	350
	4 3/4	54.6	79.2	113	140	126	565
4	5	76.7	111	160	198	163	795
	5 1/4	67.1	94.7	135	165	174	712
5	5 1/2	138	199	288	357		
	6	122	172	244	298		
	6 1/4	222	320	455	570		
6	6 1/2	195	280	394	480		
8	7	398	573	810	985		
10	8	725	1,030	1,450	1,770		
12	9	1,145	1,625	2,310	2,830		

*Courtesy of ARI.

†Based on fluid flow at 105°F saturated condensing temperature and 40°F saturated evaporating temperature.

‡IPS data based on Sch 40 steel piping except that liquid lines 1 1/2 in and smaller are Sch 80. OD data based on Type L copper tubing.

ตารางที่ 8 ขนาดท่อ discharge line และ liquid line ขนาดการทำความเย็น (ตัน)
ของสารทำความเย็น R-12⁺

Line size in.†	IPS	OD	Discharge lines				Liquid lines	
			Temperature, 200 F				To receiver	To system
			Pressure drop, psi/100 ft				Velocity, fpm	Pressure drop, psi/100 ft
			1/4	1	2	3	100	2
1/4	1/4	0.33	0.48	0.69	0.86	2.34	2.89	
	5/8	0.59	0.88	1.27	1.63	3.78	5.48	
	1	0.71	1.00	1.40	1.71	3.81	4.65	
3/4	3/4	1.05	1.53	2.22	2.74	5.55	9.20	
	7/8	1.64	2.36	3.42	4.32	7.85	14.3	
1	1 1/8	1.50	2.09	3.00	3.82	7.05	10.3	
	1 1/4	3.29	4.71	6.91	8.64	13.4	29.2	
	1 1/2	2.82	4.09	5.75	6.98	11.7	20.2	
	1 3/8	5.71	8.37	12.1	15.1	20.4	51.5	
1 1/4	1 3/4	5.75	8.21	11.6	13.8	20.9	44.1	
	1 7/8	8.97	13.1	19.0	23.6	28.9	83.0	
1 1/2	2 1/8	8.64	12.4	17.2	21.6	28.8	66.4	
	2 1/4	19.3	27.2	40.5	49.8	50.4	168	
2	2 3/8	16.6	23.6	33.1	41.9	54.6	159	
2 1/4	2 3/4	32.9	48.2	68.8	87.0	77.6	296	
	2 7/8	26.6	39.2	53.2	65.8	77.9	248	
3	3 1/8	53.2	77.1	111	136	111	475	
	3 1/4	47.2	66.4	93.7	116	120	459	
	3 3/8	79.0	115	165	203	150	742	
4	4 1/8	111	163	232	291	194	984	
	4 1/4	95	133	189	232	207	911	
5	5 1/8	199	292	419	522	303		
	5 1/4	171	239	346	425	325		
	6 1/4	316	459	658	823	434		
6	6 3/8	281	409	572	681	471		
8	8 3/8	588	844	1,180	1,440	815		
10	10 3/8	1,020	1,430	2,040	2,490	1,280		
12	12 3/8	1,640	2,320	3,300	4,080	1,840		

*Courtesy of ARI.

†Based on fluid flow at 105°F saturated condensing temperature and 40°F saturated evaporating temperature.

‡IPS data based on Sch 40 steel piping except that liquid lines 1 1/2 in and smaller are Sch 80. OD data based on Type L copper tubing.

ตารางที่ 9 วาล์วและอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ เทียบเป็นความยาว*

Ferrous valves and fittings†, §																
Line size, in. IPS	Globe valve		Angle valve		Short-radius ell			Long-radius ell			Tee, line-flow			Tee, branch-flow		
	Screwed	Flanged	Screwed	Flanged	Screwed	Flanged	Welded	Screwed	Flanged	Welded	Screwed	Flanged	Welded	Screwed	Flanged	Welded
1/4	29	...	16	...	4.1	....	....	...	....	....	1.8	...	....	4.7	...	...
3/8	31	...	16	...	4.7	....	....	2.5	...	....	2.5	...	....	5.6	...	...
1	35	57	16	19	5.3	1.6	1.8	2.8	1.5	1.2	3.4	1.0	1.6	6.8	3.8	2.5
1 1/4	46	69	19	22	7.1	2.2	2.3	3.3	2.0	1.6	4.9	1.3	2.0	9.2	4.9	7.1
1 1/2	51	76	19	22	7.9	2.6	2.6	3.4	2.2	1.8	5.9	1.4	2.0	9.9	5.8	8.4
2	63	89	20	25	9.0	3.2	3.4	3.6	2.7	2.3	8.1	1.7	2.5	12.6	7.2	10.5
2 1/2	..	101	..	28	...	3.8	4.2	...	3.0	2.7	...	1.9	2.9	...	8.4	13
3	..	123	..	36	...	4.9	5.3	...	3.7	3.4	...	2.4	3.6	...	11	16
4	..	155	..	48	...	6.2	7.2	...	4.5	4.5	...	2.9	4.5	...	14	22
5	..	190	..	63	...	8.1	9.2	...	5.4	5.7	...	3.5	5.1	...	17	27
6	..	227	..	78	...	9.5	11	...	6.1	6.8	...	4.1	6.1	...	20	33
8	..	295	..	110	...	13	15	...	7.1	9.0	...	4.7	7.1	...	27	44
10	..	370	..	142	...	16	18	...	8.7	11	...	5.6	8.7	...	32	56
12	..	465	..	173	...	19	22	...	10	14	...	6.2	10	...	39	68

Non-ferrous valves and fittings‡

Line size, in. OD	Globe valve		Angle valve		Short-radius ell		Long-radius ell		Tee, line-flow		Tee, branch-flow	
	Screwed	Other¶	Screwed	Other¶	Screwed	Other¶	Screwed	Other¶	Screwed	Other¶	Screwed	Other¶
1/4	40	70	21	24	4.7	4.7	...	3.2	1.9	1.7	5.1	6.6
3/8	39	72	22	25	5.4	5.7	...	3.9	2.3	2.3	6.2	8.2
1/2	39	75	23	25	6.2	6.5	2.9	4.5	2.9	2.9	7.1	97
3/4	45	78	23	28	7.0	7.8	3.7	5.3	3.7	3.7	8.2	12
1 1/4	54	87	25	29	8.1	2.7	4.2	1.9	5.2	2.5	11	8.0
1 1/2	64	102	27	33	9.9	3.2	4.6	2.2	6.9	2.7	13	10
2	75	115	28	34	12	3.8	5.0	2.6	8.7	3.0	14	12
2 1/2	95	141	30	39	14	5.2	5.4	3.4	12	3.8	19	16
3	...	159	...	44	...	6.5	...	4.2	...	4.6	...	20
3 1/2	...	185	...	53	...	8.0	...	5.1	...	5.4	...	25
4	...	216	...	66	...	10	...	6.3	...	6.6	...	30
4 1/2	...	248	...	76	...	12	...	7.3	...	7.3	...	35
5 1/2	...	292	...	96	...	14	...	8.8	...	7.9	...	42
6 1/2	...	346	...	119	...	17	...	10	...	9.3	...	50

*Courtesy of ARI.

† $L_e = K(D/f)$.

‡Friction factors f determined at "practical" Reynolds numbers based on 40°F suction lines having pressure drop of 1.8 psi per 100 ft.

§Based on Sch 40 pipe.

¶Flare, sweat, flanged, and so on, and based on Type L copper tubing.

ตารางที่ 10 ค่าคงที่ K ของวาล์วและอุปกรณ์ข้อต่อต่างๆ a, b

Ferrous valves and fittings^c

Line size, in. IPS	Globe valve		Angle valve		Short-radius ell			Long-radius ell			Tee, line-flow			Tee, branch-flow		
	Screwed	Flanged	Screwed	Flanged	Screwed	Flanged	Welded	Screwed	Flanged	Welded	Screwed	Flanged	Welded	Screwed	Flanged	Welded
1/4	15	...	8.4	...	2.1	...	...	...	...	...	...	...	...	2.4	...	...
3/8	11	...	5.7	...	1.7	...	...	0.9	...	...	0.9	...	...	2.0	...	...
1	9.3	15.5	4.3	5.0	1.4	0.43	0.46	0.73	0.40	0.32	0.9	0.26	0.43	1.8	1.0	1.37
1 1/4	8.4	12.8	3.5	4.0	1.3	0.40	0.42	0.60	0.37	0.29	0.9	0.24	0.36	1.7	0.90	1.31
1 1/2	7.8	11.5	2.9	3.4	1.2	0.39	0.40	0.52	0.34	0.27	0.9	0.22	0.31	1.5	0.88	1.27
2	7.0	9.9	2.2	2.8	1.0	0.36	0.38	0.40	0.30	0.25	0.9	0.19	0.28	1.4	0.80	1.17
2 1/2	...	9.0	...	2.5	...	0.34	0.37	...	0.27	0.24	...	0.17	0.26	...	0.75	1.13
3	...	8.3	...	2.4	...	0.33	0.36	...	0.25	0.23	...	0.16	0.24	...	0.72	1.10
4	...	7.5	...	2.3	...	0.31	0.35	...	0.22	0.22	...	0.14	0.22	...	0.68	1.05
5	...	7.0	...	2.3	...	0.30	0.34	...	0.20	0.21	...	0.13	0.19	...	0.64	1.01
6	...	6.7	...	2.3	...	0.28	0.32	...	0.18	0.20	...	0.12	0.18	...	0.60	0.98
8	...	6.2	...	2.3	...	0.27	0.31	...	0.15	0.19	...	0.10	0.15	...	0.57	0.93
10	...	6.0	...	2.3	...	0.25	0.30	...	0.14	0.18	...	0.09	0.14	...	0.52	0.90
12	...	6.0	...	2.3	...	0.25	0.29	...	0.13	0.18	...	0.08	0.13	...	0.50	0.88

Nonferrous valves and fittings^{d, e, f}

Line size, in. OD	Globe valve, flare or sweat	Angle valve, flare or sweat	Short-radius ell, flare or sweat	Long-radius ell, flare or sweat	Tee, line-flow, flare or sweat	Tee, branch-flow, flare or sweat
1/4	37	12.8	2.5	1.7	0.9	3.5
3/8	28	9.9	2.2	1.5	0.9	3.2
1/2	23	7.8	2.0	1.4	0.9	3.0
3/4	19	6.7	1.9	1.3	0.9	2.8
1 1/4	15.0	5.0	0.46	0.32	0.43	1.37
1 1/2	13.4	4.4	0.42	0.29	0.36	1.33
1 3/4	12.0	3.5	0.40	0.27	0.31	1.29
2 1/4	10.4	2.9	0.38	0.25	0.28	1.19

^aCourtesy of ARI.

^b $K = 2gh/V^2$.

^cBased on Sch 40 pipe.

^dBased on Type L copper tubing.

^eFor screwed valves and fittings, use ferrous K factors.

^fFor OD sizes above 2 1/4 in, use welded ferrous K factors.