บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพระบบสารทำความเย็นของตู้น้ำเย็น ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้ คือ

2.1 ระบบการทำความเย็น

2.2 สารทำความเย็น (Refrigerant)

2.3 ประสิทธิภาพการทำความเย็น

2.4 ส่วนประกอบการทำความเย็นแบบระบบอัดไอ

2.5 วัฏจักรของการทำความเย็นแบบอัดไอ

2.6 อุณหภูมิและความร้อน

2.7 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Theory of heat transfer)

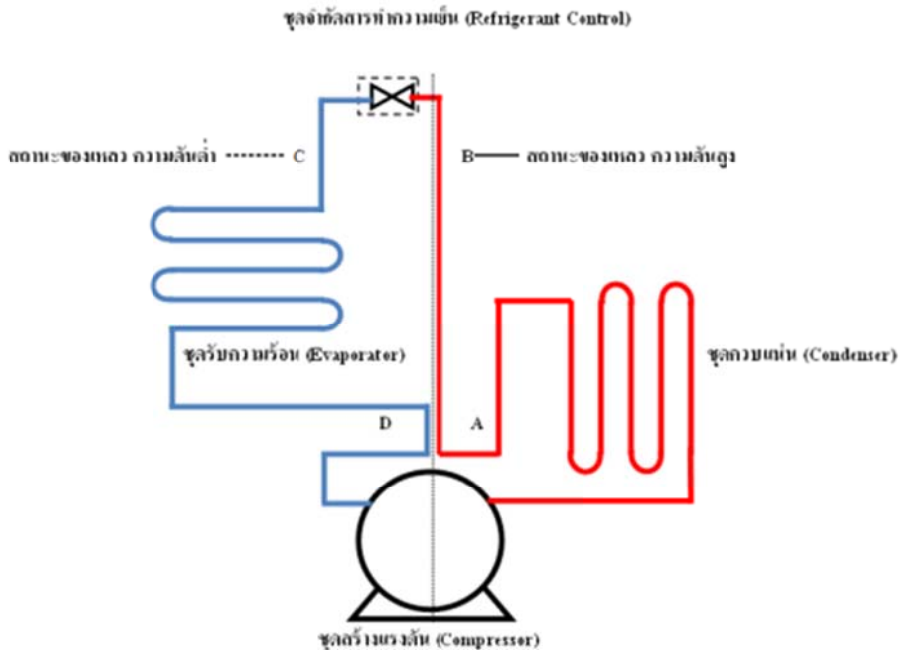
2.1 ระบบการทำความเย็น

ปัจจุบันมนุษย์ใช้ประโยชน์จากการทำความเย็นในการดำรงชีวิตมากขึ้น ทั้งในการเก็บรักษาและถนอมอาหาร การทำความเย็นในการปรับอากาศ และรักษาอุณหภูมิและความชื้นทางอุตสาหกรรม ทั้งนี้การทำความเย็นมีจุดประสงค์เพื่อทำให้อุณหภูมิในบริเวณที่ต้องการทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลงให้ได้ตามที่ต้องการ ด้วยการถ่ายเทความร้อนออกจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็นให้กับบรรยากาศโดยรอบที่มีอุณหภูมิสูงกว่า เช่น นำความร้อนออกจากตู้เย็นที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยในช่องแช่แข็งประมาณ 10 ˚c ไปถ่ายเททิ้งให้กับบรรยากาศโดยรอบที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 35 ˚c เป็นต้น

การทำความเย็นจึงมีลักษณะการทำงานที่ฝืนกฎของธรรมชาติการถ่ายเทความร้อนที่ว่า “ความร้อนจะถ่ายเทจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเสมอ” ดังนั้นหลักการทำความเย็นจึงต้องอาศัยปรากฏการณ์ที่ย้อนกระบวนการทางความร้อน เพื่อให้สามารถถ่ายเทความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าได้ การทำงานในลักษณะนี้คล้ายคลึงกับการใช้ฟองน้ำมาซับน้ำจากก้นถังแล้วนำมาบีบทิ้งนอกถัง นั่นคือต้องอาศัยตัวกลางมาดูดซับความร้อนในตู้เย็นเพื่อลดอุณหภูมิในตู้เย็น (เช่นเดียวกับการใช้ฟองน้ำมาซับน้ำ) จากนั้นนำมาบีบความร้อนทิ้งนอกตู้เย็น (ทำนองเดียวกับการบีบฟองน้ำเพื่อรีดน้ำออก)ตัวกลางดังกล่าวในระบบการทำความเย็นเรียกว่าสารทำความเย็น (Refrigerant) ทั้งนี้การจะทำให้สารทำความเย็นทำหน้าที่ดังกล่าวได้ต้องอาศัยพลังงานมาช่วยในการขับเคลื่อนระบบ (เช่นเดียวกับการใช้พลังงานในการเคลื่อนย้ายฟองน้ำ) ซึ่งสามารถกระทำได้หลายรูปแบบ จึงเป็นที่มาของการออกแบบระบบทำความเย็นในลักษณะต่างๆ

2.1.1 ระบบการทำความเย็นแบบลักษณะต่างๆ ดังนี้

- การทำความเย็นแบบระบบอัดไอ การทำความเย็นลักษณะนี้อาศัยกระบวนการอัดไอ สารทำความเย็น (สารตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน) ที่มีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำให้มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงขึ้นด้วยเครื่องอัด (Compressor) ทั้งนี้ต้องทำการอัดให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศโดยรอบเพื่อให้สารทำความเย็นสามารถถ่ายเทความร้อนให้อากาศได้ กระบวนการคายความร้อนจากสารทำความเย็นให้บรรยากาศภายนอกนี้เกิดขึ้นในอุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่องควบแน่น เนื่องจากในขณะที่สารทำความเย็นถ่ายเทความร้อนจะเปลี่ยนแปลงสถานะจากสถานะก๊าซเป็นสถานะของเหลว หลังจากนั้นสารทำความเย็นนี้จะถูกลดความดันให้มีความดันลดต่ำลงด้วยอุปกรณ์ลดความดัน (Pressure reducer) หรือที่มักเรียกว่า วาล์วขยายตัว (Expansion valve) ทั้งนี้ต้องทำให้สารทำความเย็นมีความดันลดลงในระดับที่ทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น เพื่อให้สารทำความเย็นสามารถรับการถ่ายเทความร้อนจากอากาศหรือวัตถุในบริเวณที่ทำความเย็นได้ กระบวนการดูดซับความร้อนออกจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็นสู่สารทำความเย็นเกิดขึ้นในอุปกรณ์ที่เรียกว่าเครื่องระเหย เนื่องจากทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนแปลงสถานะจากสถานะของเหลวเป็นสถานะก๊าซก่อนถูกดูดเข้าสู่เครื่องอัดเพื่อเพิ่มความดันต่อไป รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะอุปกรณ์ของระบบการทำความเย็นแบบระบบอัดไอ สำหรับหลักการทำงานและการออกแบบระบบอย่างละเอียดจะได้กล่าวถึงต่อไป



รูปที่ 2.1 วงจรการทำงานของการทำความเย็นแบบระบบอัดไอ

- **การทำความเย็นแบบใช้น้ำแข็งแห้ง** การทำความเย็นลักษณะนี้ใช้น้ำแข็งแห้งซึ่งทำจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกอัดด้วยความดันสูงให้อยู่ในสถานะของแข็ง ดังรูปที่ 2.2 น้ำแข็งแห้งนี้จะระเหิดเป็นก๊าซที่ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิที่ได้เท่ากับ -78.33 °C ดังนั้นเมื่อนำน้ำแข็งแห้งใส่ลงในภาชนะที่ต้องการทำความเย็นจะทำให้ภายในภาชนะนั้นมีอุณหภูมิลดลง

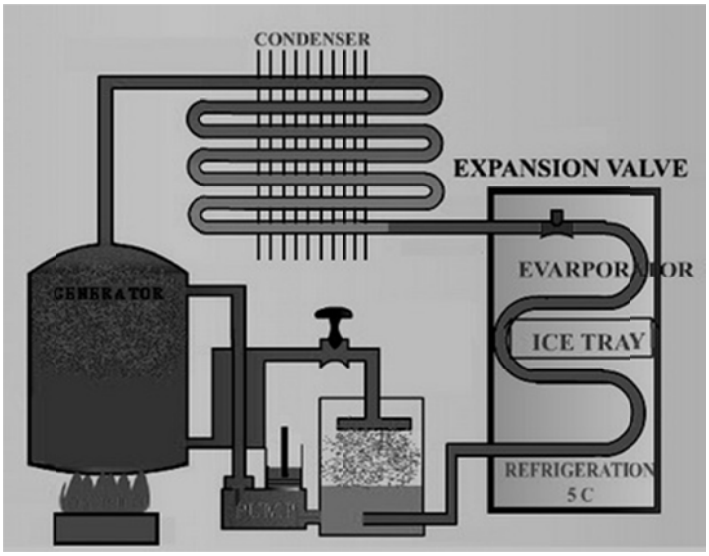
รูปที่ 2.2 ลักษณะๆ ของก้อนน้ำแข็งแห้ง

- การทำความเย็นแบบสตีมเจ็ท การทำความเย็นลักษณะนี้ใช้ไอน้ำพ่นด้วยความเร็วสูง เป็นตัวกลางในการทำความเย็น โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อลดความดันที่ผิวหน้าของน้ำที่อยู่ในภาชนะปิดมิดชิด น้ำจะระเหยตัวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่ำได้ อย่างไรก็ตามการใช้น้ำเป็นตัวกลางในการทำความเย็นมีข้อจำกัด เรื่องอุณหภูมิแข็งตัวของน้ำ และเหมาะสมกับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีไอน้ำเป็นผลผลิตพลอยได้ที่จะนำมาใช้ในการทำความเย็น

- การทำความเย็นโดยใช้แผ่นร้อนเย็น การทำความเย็นลักษณะนี้ใช้หลักการทางฟิสิกส์ซึ่งนักวิทยาศาสตร์ได้ค้นพบเมื่อปี พ.ศ.2377 โดยพบว่าหากนำวัตถุกึ่งตัวนำสองชนิดที่มีสมบัติการนำความร้อนไม่เท่ากันมาตรึงปลายด้าน หนึ่งติดกันแล้วต่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับปลายด้านที่เหลือ เนื่องจากวัตถุกึ่งตัวนำทั้งสองมีระดับ พลังงานภายในไม่เท่ากัน เมื่อมีไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่านทำให้ปลายด้านที่ตรึงติดกันเย็น ขณะที่ปลายที่เหลือที่ต่อกับวงจรไฟฟ้าร้อน ดังนั้นถ้านำปลายด้านเย็นจัดให้อยู่ภายในบริเวณที่ต้องการทำความเย็นที่มีฉนวนกันความร้อนล้อมรอบ และจัดให้ปลายด้านร้อนอยู่ภายนอกห้อง ส่งผลให้ภายในบริเวณที่ต้องการทำความเย็นมีการดูดรับความเย็นและมาคายออกภายนอกห้อง และถ้ามีการเปลี่ยนทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ด้านที่เป็นด้านเย็นจะกลับเป็นร้อนและด้านที่เป็นด้านร้อนจะกลับเป็นเย็น อย่างไรก็ตาม ผลความเย็นที่ได้รับน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับระบบทำความเย็นแบบอื่นๆ

- การทำความเย็นโดยปล่อยสารไนโตรเจนเหลว(Liquid Nitrogen) ระเหยตัว การทำความเย็นลักษณะนี้อาศัยหลักการเช่นเดียวกับการทำความเย็น โดยใช้การระเหยของน้ำ เพียงแต่ใช้สารทำความเย็นอื่นแทนน้ำเท่านั้น โดยทั่วไปใช้ไนโตรเจนเหลวเนื่องจากมีจุดเดือดต่ำถึง-195.5 °C และไม่เป็นสารอันตรายสามารถปล่อยทิ้งสู่บรรยากาศได้โดยตรง ไนโตรเจนในถังที่เก็บจะมีความดันอยู่ที่ประมาณ 14.5 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร จะถูกปล่อยฉีดพ่นผ่านตัววาล์วควบคุมความดัน เมื่อไนโตรเจนผ่านวาล์วจะเป็นฝอยมายังพื้นที่ ที่ต้องการทำความเย็น ทำให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิลดลง

- **การทำความเย็นแบบใช้ระบบดูดซึม** การทำความเย็นลักษณะนี้คิดค้นขึ้นมาโดยฟาราเดย์ ในปี พ.ศ.2367 ด้วยการใช้ ซิลเวอร์คลอไรด์ (Silver chloride) ซึ่งเป็นของแข็งที่มีสมบัติในการดูดซับแอมโมเนียได้ดีมาผสมรวมกันเป็นสารผสมซิลเวอร์คลอไรด์-แอมโมเนีย (Ammonia) จากนั้นนำมาให้ความร้อน ทำให้แอมโมเนียระเหยกลายเป็นไอและแยกตัวออกจาก ซิลเวอร์คลอไรด์ และหากต่อท่อและนำท่อไอแอมโมเนียนี้ไปผ่านในน้ำเย็นจะทำให้แอมโมเนียกลั่นตัวเป็นแอมโมเนียเหลว หลังจากนั้นถ้านำแอมโมเนียเหลวนี้ส่งผ่านไปตามท่อสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิที่สูงกว่าที่ต้องการลดอุณหภูมิ จะทำให้ แอมโมเนียระเหยและดูดซับความร้อนโดยรอบ ช่วงนี้ถือเป็นช่วงการทำความเย็น ส่วนสารซิลเวอร์คลอไรด์ที่เหลืออยู่ถ้านำความร้อนออก จะทำให้ซิลเวอร์คลอไรด์เย็นตัวลงและมีสมบัติในการดูดซับแอมโมเนียได้อีกครั้ง หลักการนี้มีการนำมาพัฒนาเป็นระบบทำความเย็นแบบดูดซึม การทำความเย็นลักษณะนี้ใช้หลักการการทำความเย็นเช่นเดียวกับการใช้ของแข็งเป็นตัวดูดซับแต่ใช้น้ำแทนซิลเวอร์คลอไรด์ กล่าวคือใช้แอมโมเนีย เป็นสารทำความเย็นและใช้น้ำ เป็นสารดูดซึมแอมโมเนีย เรียกว่าระบบแอมโมเนีย-น้ำ หลักการทำงาน เมื่อสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นได้รับความร้อนในอุปกรณ์ ที่เรียกว่า เครื่องกำเนิดไอ (Generator) ดังแสดงในรูปที่ 1.3 จะทำให้แอมโมเนียระเหยกลายเป็นไอแยกตัวออกมา ก๊าซแอมโมเนียที่ได้จะถูกส่งไปทำให้เย็นตัวลงและควบแน่นเป็นแอมโมเนียเหลวในเครื่องควบแน่น (Condenser) แอมโมเนียเหลวนี้จะถูกส่งไปตามท่อเข้าไปในเครื่องระเหย (Evaporator) เพื่อรับการถ่ายเทความร้อนจากน้ำที่ไหลมาจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งติดตั้ง ณ พื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น เมื่อแอมโมเนียเหลวรับการถ่ายเทความร้อนเข้ามาทำให้แอมโมเนียเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอไหลไปรวมตัวกับน้ำซึ่งเป็นสารที่ดูดซึมแอมโมเนียได้ดีในส่วนดูดซึม (Absorber) ก่อนถูกส่งไปรับความร้อนในเครื่องกำเนิดไอ เพื่อทำให้ระเหยแยกตัวออกไปอีกครั้ง ดังรูปที่ 2.3 นอกจากการใช้แอมโมเนียเป็นสารทำความเย็นและใช้น้ำเป็นสารดูดซึมแล้ว ยังมีการใช้น้ำเป็นสารทำความเย็นและใช้ลิเธียมโบรไมด์เป็นสารดูดซึม เรียกว่าระบบน้ำ-ลิเธียมโบรไมด์



รูปที่ 2.3 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม

- การทำความเย็นโดยใช้การระเหยของน้ำ การทำความเย็นลักษณะนี้อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อของเหลวระเหยเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอจะดูดซับความร้อนแฝงจากสิ่งแวดล้อมโดยรอบ เพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะ ดังนั้นถ้านำน้ำมาบรรจุในภาชนะที่มีผิวพรุน เช่น ตุ่มดิน น้ำในตุ่มจะซึมผ่านผิวออกมาได้และเมื่อระเหยไปจะทำให้น้ำที่เหลือในตุ่ม เย็นลง หลักการนี้ถูกนำมาใช้ในการทำความเย็นน้ำหล่อเย็นในหอระบายความร้อน

2.2 สารทำความเย็น (Refrigerant)

สารทำ ความเย็นเช่น ไดคลอโรไดฟลูออโรมีเทน (R-12), โมโนคลอโรไดฟลูออโรมีเทน (R-22) และ R-502 ถูกเรียกว่า สารทำ ความเย็นปฐมภูมิ เนื่องจากในแต่ละขั้นของการเปลี่ยนแปลงสถานะจะมีการดูดซับหรือคายความร้อนออกจากเนื้อของสสาร สารทำ ความเย็นปฐมภูมิ เป็นคำ ที่ถูกตั้งขึ้น เนื่องจากมีพฤติกรรมที่ตอบสนองโดยตรงต่อพื้นที่หรือสสาร แม้ว่าจะอยู่ภายในระบบปิด สารทำ ความเย็นสามารถเย็นตัวลงได้ในระบบปิด โดยอาศัยการควบคุมแรงดัน จากนั้นสารทำ ความเย็นจะดูดซับความร้อนเพื่อให้ได้อุณหภูมิ ณ จุดที่ต้องการ แต่ถ้าให้สารทำ ความเย็นดูดซับความร้อนต่อไป โดยไม่มีการควบคุมแรงดัน แรงดัน จะต่ำลง จนกระทั่งถึงจุดเยือกแข็ง สารทำ ความเย็นทุติยภูมิ คือสสาร ซึ่งได้แก่ อากาศ, น้ำ หรือน้ำเกลือ ซึ่งถูกทำ ให้เย็นลงจากระบบสารทำ ความเย็นปฐมภูมิ

สารทำ ความเย็นถูกแบ่งออกได้หลายกลุ่ม โดยที่ The National Refrigeration Safety Code แบ่งสารทำความเย็นออกเป็นสามกลุ่ม

กลุ่ม 1 – สารทำ ความเย็นที่ปลอดภัยที่สุด ได้แก่ R-12, R-22 และ R-502

กลุ่ม 2 – สารทำ ความเย็นที่เป็นพิษและบางส่วนติดไฟได้ เช่น R-40 (Methyl Chloride) และ R-764 (Sulfur Dioxide)

กลุ่ม 3 – สารทำ ความเย็นที่ติดไฟได้ เช่น R-170 (Ethane) และ R-290 (Propane)

อย่างไรก็ดี สารทำความเย็นในยุคแรกๆ ส่วนใหญ่สามารถติดไฟได้ หรือเป็นพิษ หรือทั้งสามารถติดไฟและเป็นพิษ ดังนั้นจึงเกิดอุบัติเหตุขึ้นอยู่เสมอๆ จนกระทั่งในปี ค.ศ.1926 Thomas Midgley จึงสามารถพัฒนาสารทำความเย็นที่ไม่ติดไฟ และเกือบไม่เป็นพิษหากไม่สูดดมโดยตรงหรือไม่สัมผัสกับเปลวไฟ ไม่กัดกร่อนและสามารถเข้ากันได้ดีกับวัสดุอื่นๆ ในระบบ นอกจากนี้ยังเป็นสารที่มีเสถียรภาพมากรวมทั้งมีสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์และทางฟิสิกส์ในการใช้งานที่ดีมาก ได้แก่ dichlorodifluoromethane หรือที่รู้จักกันในชื่อ ฟรีออน 12 หรือ R-12 โดยได้ประกาศการค้นพบอย่างเป็นทางการเมื่อ เดือนเมษายน ค.ศ.1930 และบริษัทดูปองก์ (DuPont) ผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายเป็นครั้งแรกในราวต้น ค.ศ.1931 (พ.ศ.2474) ในชื่อ ฟรีออน 12 (F-12) หลังจากนั้นได้พัฒนาสารทำความเย็นตระกูล chlorofluorocarbon (CFC) ตัวอื่นๆ ดังนี้ R-11 ในปี ค.ศ.1932, R-114 ในปี ค.ศ.1933 และ R-113 ในปี ค.ศ.1934 สำหรับสารทำความเย็นตระกูล hydro chlorofluorocarbon (HCFC) ตัวแรกคือ R-22 พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ.1936 และได้มีการพัฒนาสารทำความเย็นตระกูล CFC สารทำความเย็นตระกูล HCFC 36 และอื่นๆ รวมทั้งสารทำความเย็นชนิดผสมระหว่างสารทำความเย็นในทั้งสองตระกูลหรือสารอื่นขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 2.1 สารทำความเย็นที่พัฒนาขึ้นตั้งแต่เริ่มแรกจนถึง ปี ค.ศ.1926

ปี	ชื่อสารทำความเย็น	สูตรสาร หรือ ผลิตขึ้นจาก
1830s	Caoutchoucine	สกัดยางอินเดีย
	Sulfuric (ethyl) ether	CH3CH2-O-CH2-CH3
1840s	Methyl ether	CH3-O-CH3
1850	Water / sulfuric acid	H2O / H2SO4
1856	Ethyl alcohol	CH3-CH2-OH
1859	Ammonia / water	NH3 / H2O
1866	Chymogene	Petrol ether and naphtha (hydrocarbon)
	Carbon dioxide	CO2

ตารางที่ 2.1 สารทำความเย็นที่พัฒนาขึ้นตั้งแต่เริ่มแรกจนถึง ปี ค.ศ.1926 (ต่อ)

ปี	ชื่อสารทำความเย็น	สูตรสาร หรือ ผลิตขึ้นจาก
1860s	Ammonia (R-717)	NH3
	Methyl amine (R-630)	CH3(NH2)
	Ethyl amine (R-631)	CH3-CH2-(NH2)
1870	Methyl formate (R-611)	HCOOCH3
1875	Sulfur dioxide (R-764)	SO2
1878	Methyl chloride (R-40)	CH3Cl
1870s	Ethyl chloride (R-160)	CH3-CH2Cl
1891	Blends of sulfuric acid with hydrocarbons	H2SO4,C4H10,C5H12,(CH3)2CH-CH3
1900s	Ethyl bromide (R-160B1)	CH3-CH2Br
1912	Carbon tetrachloride	CCl4
	Water vapor (R-718)	H2O
1920s	Isobutane (R-600a)	(CH3)2CH-CH3
	Propane (R-290)	CH3-CH2-CH3
1922	Dielene (R-1130)	CHCl=CHCl
1923	Gasoline	Hydrocarbons
1925	Trielene (R-1120)	CHCl=CCl2
1926	Methylene chloride (R-30)	CH2Cl2

จากการค้นพบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมดังกล่าวทำให้มีความพยายามที่จะแสวงหาสารทำความเย็นตัวใหม่ๆ ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด ในขณะที่มีความเป็นพิษและผลกระทบทางด้านอื่นน้อยเช่นกัน แต่ยังคงมีสมบัติในการทำความเย็นได้ดี ผลการวิจัยและพัฒนาพบว่าสารทำความเย็นตระกูล HFC (hydrofluorocarbon) เป็นสารทำความเย็นที่สามารถนำมาทดแทน สารทำความเย็นตระกูล CFC และสารทำความเย็นตระกูล HCFC ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ดี จำเป็นต้องดัดแปลงระบบบางส่วน หรือออกแบบอุปกรณ์ในระบบใหม่หมด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสารทำความเย็นที่ใช้อยู่เดิม

ปฏิกิริยาทำลายโอโซน ตามขั้นตอนดังนี้

- สารทำความเย็นที่ออกสู่บรรยากาศลอยตัวสู่บรรยากาศชั้น สตราโตสเฟียร์ รังสีอัลตราไวโอเรท (UV) ในบรรยากาศชั้นนี้ซึ่งถูกดูดซับไว้โดยโอโซนประมาณร้อยละ 95 ของรังสีที่ส่งผ่านมาจากดวงอาทิตย์ จะทำให้คลอรีนในสารทำความเย็นแตกตัวออกมาเป็นอะตอมคลอรีนอิสระดังตัวอย่างสมการเคมีของสารทำความเย็น R-12 ดังนี้

$$CCl2F2 + UV \rightarrow CClF2 + Cl$$

- คลอรีนที่ได้ทำปฏิกิริยากับโอโซนมีสูตรทางเคมีดังนี้

$$Cl + O3 \rightarrow O2 + ClO$$

- คลอรีนมอนออกไซด์ (ClO) ที่รวมตัวกับอะตอมของ ออกซิเจนอิสระสูตรเคมีดังนี้

$$ClO + O \rightarrow O2 + Cl$$

คุณสมบัติสารทำความเย็นที่ใช้อย่างปลอดภัย

การพัฒนาสารทำความเย็นขึ้นมาในแต่ละชนิด มักอาศัยเกณฑ์คุณสมบัติต่างๆ ของสารทำความเย็นที่พึงประสงค์เป็นแนวทางในการพัฒนา ซึ่งควรมีลักษณะของสารทำความเย็น ดังนี้

- มีผลกระทบต่อปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมต่ำ โดยเฉพาะการทำลายโอโซน และการทำให้โลกร้อน
- ไม่ติดไฟหรือไม่มีการระเบิด ทั้งในสภาวะของเหลว ก๊าซ หรือเมื่อผสมกับน้ำมันหล่อลื่น
- มีความเป็นพิษต่ำ หรือไม่เป็นพิษ หรือไม่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต
- เมื่อเกิดการรั่วไหล ไม่ทำปฏิกิริยากับอาหารและน้ำดื่มจนทำให้รส กลิ่น สี เปลี่ยนแปลงหรือเป็นอันตราย
- ไม่ทำปฏิกิริยาหรือกัดกร่อนวัสดุและอุปกรณ์ในระบบ เช่น ยาง พลาสติก เหล็ก ทองเหลือง ทองแดง อะลูมิเนียม เป็นต้น
- มีโครงสร้างทางเคมีที่มีเสถียรภาพ สามารถทำงานภายใต้ความดันและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงภายในระบบได้โดยไม่เปลี่ยนสภาพ
- มีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอสูง ทำให้อัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบต่ำ อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบาและใช้พลังงานลดลง
- มีความหนาแน่นสูง ทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบาและใช้พลังงานลดลง
- จุดเดือด จุดหลอมเหลว และจุดแข็งตัวต่ำ
- รวมตัวกับน้ำมันหล่อลื่นได้ดี สามารถพาน้ำมันหล่อลื่นกลับสู่เครื่องอัดได้
- มีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูง ทำให้ไม่เกิดไฟฟ้าลัดวงจรผ่านสารทำความเย็นขณะทำงาน โดยเฉพาะเมื่อใช้กับเครื่องอัดแบบหุ้มปิด

- มีค่าความดันขณะควบแน่นต่ำ ทำให้ลดน้ำหนักอุปกรณ์จากความหนาที่ลดลง รวมทั้งลดการเกิดการรั่วไหลของสารทำความเย็น และลดอันตรายจากสาเหตุที่มาจากความดันสูง

- สารทำความเย็นกลุ่มฮาโลคาร์บอน (Halocarbon compounds) สารกลุ่มนี้เป็นสารสังเคราะห์ของมีเทน (Methane) อีเทน (Ethane) เป็นสารทำความเย็น ที่ใช้งานเป็นส่วนใหญ่ในปัจจุบันทั้งในเครื่องทำความเย็นที่ใช้ในครัวเรือน ใช้เชิงพาณิชย์ และในทาง อุตสาหกรรมการทำความเย็น แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มตามองค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

- สารทำความเย็นตระกูล CFC (Chlorofluorocarbon) เป็นสารทำความเย็นที่มี คลอรีน (Cl) ฟลูออรีน (F) และคาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบ เช่น สารทำความเย็น Dichloromonofluoromethane (R-12)

- สารทำความเย็นตระกูล HCFC (Hydrochlorofluorocarbon) เป็นสารทำความเย็นที่มีไฮโดรเจน (H) คลอรีน (Cl) ฟลูออรีน (F) และคาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบ เช่นสารทำความเย็น Monochlorodifluoromethane (R-22)

- สารทำความเย็นตระกูล HFC (Hydro fluorocarbon) เป็นสารทำความเย็นที่มีไฮโดรเจน (H) ฟลูออรีน (F)

สารทำความเย็นผสมชนิดซีโอโทรปิก (Zeotropic blends) สารกลุ่มนี้เป็นสารทำความเย็นที่ได้จากการนำสารที่มีส่วนประกอบทางเคมีต่างกันตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน สารที่นำมาผสมกันอาจมีสมบัติเป็นสารทำความเย็นอยู่เดิมที่มีใช้อยู่หรืออาจเป็นสารอื่นก็ได้ ทำให้ได้สารทำความเย็นชนิดใหม่ขึ้นมาที่มีสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานบางลักษณะสำหรับสมบัติของสารทำความเย็นที่ได้เมื่อมาใช้ในระบบการทำความเย็น ขณะเปลี่ยนแปลงสถานะจาก ไอควบแน่นเป็นสารทำความเย็นเหลว หรือจากสารทำความเย็นเหลวเดือดกลายเป็นไอ อุณหภูมิเริ่มต้น และอุณหภูมิสุดท้ายขณะเปลี่ยนแปลงสถานะ (Temperature glide) จะต่างกันค่อนข้างมาก เช่นสารทำ ความเย็น R-407C ซึ่งเป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น Difluoromethane (R-32) จำนวนร้อยละ 23 สารทำความเย็น Pentafluoroethane (R-125) จำนวนร้อยละ 25 และสารทำความเย็น Tetrafluoroethane (R-134a) จำนวนร้อยละ 52 โดยน้ำหนัก มีอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายขณะเปลี่ยนแปลงสถานะเท่ากับ 4.9 ˚C เป็นต้น

สารทำความเย็นผสมชนิดอะซีโอโทรปิก (Azeotropic blends) สารกลุ่มนี้เป็นสารทำความเย็นที่ได้จากการนำสารที่มีส่วนประกอบทางเคมีต่างกันตั้งแต่ สองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน ในทำนองเดียวกับสารทำความเย็นผสมชนิดซีโอโทรปิก เพียงแต่สารทำความเย็นใหม่ที่ได้เมื่อมาใช้ในระบบการทำความเย็น ขณะเปลี่ยนแปลงสถานะจากไอควบแน่นเป็นสารทำความเย็นเหลว หรือจากสารทำความเย็นเหลวเดือดกลายเป็นไอ อุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายขณะเปลี่ยนแปลงสถานะจะเป็นค่าเดียวกัน

เหมือนสารทำความเย็นเดี่ยว เช่นสารทำความเย็น R-502 ซึ่งเป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น Monochlorodifluoromethane (R-22) จำนวนร้อยละ 48.8 และสารทำความเย็น Monochloropentafluoroethane (R-115) จำนวนร้อยละ 51.2โดยน้ำหนัก มีอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายขณะเปลี่ยนแปลงสถานะเท่ากับ 0 ˚C เป็นต้น สำหรับการเติมสารทำความเย็นหรือการถ่ายสารทำความเย็นออกสามารถทำได้ทั้งในสภาวะที่สารทำความเย็นมีสถานะเป็นของเหลวหรือก๊าซ

สารทำความเย็นผสมชนิดกึ่งอะซีโอโทรปิก (Semi-azeotropic blends) สารกลุ่มนี้เป็นสารทำความเย็นที่ได้จากการนำสารที่มีส่วนประกอบทางเคมีต่างกันตั้งแต่ สองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน ในทำนองเดียวกับสารทำความเย็นผสมชนิดซีโอโทรปิก เพียงแต่สารทำความเย็นใหม่ที่ได้เมื่อมาใช้ในระบบการทำความเย็น ขณะเปลี่ยนแปลงสถานะจากไอควบแน่นเป็นสารทำความเย็นเหลว หรือจากสารทำความเย็นเหลวเดือดกลายเป็นไอ อุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายขณะเปลี่ยนแปลงสถานะจะต่างกันน้อยจนสามารถตัดทิ้งไม่นำมาคิดได้ เช่นสารทำความเย็น R-404A ซึ่งเป็นสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมของสารทำความเย็น Pentafluoroethane (R-125) จำนวนร้อยละ 44 สารทำความเย็น Trifluoroethane (R-143a) จำนวนร้อยละ 52 และสารทำความเย็น Tetrafluoroethane (R-134a) จำนวนร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก มีอุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสุดท้ายขณะเปลี่ยนแปลงสถานะเท่ากับ 0.7 ˚C เป็นต้น อย่างไรก็ดีเมื่อต้องมีการเติมสารทำความเย็นหรือการถ่ายสารทำความเย็นออกควรทำในสภาวะที่สารทำความเย็นมีสถานะเป็นของเหลวเช่นเดียวกับสารทำความเย็นกลุ่มซีโอโทรปิก

สารทำความเย็นกลุ่มสารอนินทรีย์ (Inorganic compounds) สารกลุ่มนี้เป็นสารทำความเย็นที่มีสารอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบ ถือเป็นสารทำความเย็น ยุคแรกๆ ที่ใช้ในการทำความเย็น เช่น แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น เนื่องจากสารทำความเย็นในกลุ่มนี้เป็นสารที่ค่อนข้างอันตราย และต้องอาศัยการควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด จึงไม่เป็นที่นิยมใช้โดยทั่วไป ในปัจจุบันที่มีใช้งานในทางอุตสาหกรรมการทำความเย็นเป็นหลัก ได้แก่ แอมโมเนีย เนื่องจากมีราคาถูก และมีค่าความร้อนจำเพาะสูง

สารทำความเย็นผสมชนิดซีโอโทรปิกและกึ่งอะซีโอโทรปิก สารกลุ่มนี้มีหลักเกณฑ์การเรียกชื่อโดยกำหนดให้ใช้เลขในกลุ่มอนุกรม 400 เรียงลำดับกันไปตามการค้นพบหรือพัฒนา สำหรับสารทำความเย็นที่มีส่วนผสมจากสารทำความเย็นชนิดที่เหมือนกันแต่อัตราส่วนผสมต่างกัน ให้ตามหลังด้วยตัวอักษร A, B, C ตามลำดับไป เช่น สารทำความเย็น R-402A มีส่วนผสมของสารทำความเย็น R-22 จำนวนร้อยละ 38 สารทำความเย็น R-125 จำนวนร้อยละ 60 กับโปรเพนจำนวนร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก และสารทำความเย็น R-402B มีส่วนผสมของสารทำความเย็นR-22 จำนวนร้อยละ 38 สารทำความเย็น R-125 จำนวนร้อยละ 60 กับโปรเพน (R-290) จำนวนร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก เป็นต้น

สารทำความเย็นประกอบสารกลุ่มนี้เป็นสารทำความเย็นที่ประกอบด้วยสารทำความเย็นผสมที่นำมารวมกับสารทำความเย็นชนิดอื่นให้เป็นสารทำความเย็นชนิดใหม่ มีหลักเกณฑ์การเรียกชื่อโดยกำหนดให้ใช้ชื่อของสารทำความเย็นที่นำมา ผสมระบุเรียง ต่อกันไปพร้อมทั้งบอกส่วนผสมตามน้ำหนักในวงเล็บท้ายชื่อสารทำความเย็นด้วย เช่น สารทำความเย็นที่ประกอบด้วยส่วนผสมของสารทำความเย็น R-502 (สารทำความเย็นผสมชนิดอะซีโอโทรปิกระหว่าง R-22 กับ R-115) จำนวนร้อยละ 92 กับสารทำความเย็น R-290(Propane) จำนวนร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก จะเรียกชื่อสารทำความเย็นนี้ว่า R-290/22/115 (8/45/47) เป็นต้น

2.3 ประสิทธิภาพการทำความเย็น

ในการหาประสิทธิภาพของการทำความเย็นด้วยระบบระเหย จะทำงานได้ดีในสภาวะที่อากาศอิ่มตัวแล้ว ซึ่งจะเป็นตัวถึงการทำงานเต็มที่ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance, COP) ค่า COP ค่า COP ของระบบทำความเย็นจะคำนวณได้จาก

$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

เมื่อ $h1$ = สารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์, kJ/kg

$h2$ = สารทำความเย็นที่ออกจากคอมเพรสเซอร์, kJ/kg

$h4$ = สารทำความเย็นก่อนเข้าคอยล์เย็น (เท่ากับทำความเย็นที่ออกจากคอยล์ร้อน), kJ/kg

สำหรับระบบทำความเย็นแบบอัดไอ อุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์และของอีวาพอเรเตอร์ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็น หากสามารถลดอุณหภูมิทำงานของคอนเดนเซอร์และเพิ่มอุณหภูมิทำงานของอีวาพอเรเตอร์ได้ สมรรถนะการทำงานของระบบทำความเย็นก็จะสูงขึ้น ปัจจัยที่กล่าวข้างต้นเป็นปัจจัยที่ทำให้ระบบทำความเย็น มีสมรรถนะสูงขึ้น ระบบมีการใช้พลังงานลดลง ซึ่งเป็นการอนุรักษ์พลังงาน อย่างไรก็ตามอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องพิจารณา คือ การลดภาระการทำความเย็นของระบบให้ต่ำลง

2.4 ส่วนประกอบการทำความเย็นแบบระบบอัดไอ

2.4.1 เครื่องสร้างแรงดัน

อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ อุปกรณ์ที่สำคัญของระบบการทำความเย็นแบบนี้ ได้แก่ เครื่องสร้างแรงดัน เครื่องควบแน่น อุปกรณ์ลดความดัน และเครื่องระเหย ตามลักษณะ

การทำงานของระบบการทำความเย็นแบบอัดไอ นอกจากนี้ระบบยังจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆ เพิ่มเติมอีกเพื่อช่วยให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนี้ อุปกรณ์แยกน้ำมัน ถังพักสารทำความเย็นเหลว ท่อทางส่งสารทำความเย็นเหลว ตัวกรองและตัวลดความชื้นทางส่งวาล์วควบคุมสารทำความเย็น อุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์ของเครื่องอัด กระเปาะหรือที่เก็บสารทำความเย็น ณ ท่อทางดูด (ไอสารทำความเย็น) ตัวกรองและตัวลดความชื้นทางดูด ดังตารางที่ 2.2 ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์และลักษณะการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้บางชนิดเทียบกับความดัน อุณหภูมิ และสภาวะของสารทำความเย็น

ในส่วนของเครื่องสร้างแรงดัน (สารทำความเย็น) หรือคอมเพรสเซอร์ โดยส่วนใหญ่ในระบบการทำความเย็นโดยเฉพาะที่มีกำลังผลิตไม่สูง เครื่องอัดมักทำงานด้วยแรงขับจากมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นหลัก หน้าที่ของเครื่องอัดคือ อัดสารทำความเย็นในสถานะก๊าซหรือไอที่ส่งมาจากเครื่องระเหยให้มีความดันและอุณหภูมิที่สูงขึ้นตามที่ต้องการ

ตารางที่ 2.2 การทำงานของตัวอุปกรณ์ที่ประกอบในระบบทำความเย็น

อุปกรณ์	การทำงานในระบบ	ความดันและอุณหภูมิ	สารทำความเย็น
เครื่องสร้างแรงดัน	อัดสารทำความเย็นความดันต่ำให้มีความดันสูง	ต่ำ+สูง / ต่ำ+สูง	เป็นไอ

2.4.1.1 การแยกประเภทเครื่องสร้างแรงดัน

เครื่องสร้างแรงดันสามารถแยกประเภทได้เป็นหลายลักษณะ ในที่นี้จัดแบ่งเป็น 2 ลักษณะใหญ่คือ การแยกประเภทตามลักษณะการจัดวางมอเตอร์ของเครื่องสร้างแรงดัน และการจำแนกประเภทตามลักษณะการทำงานของเครื่องสร้างแรงดัน เครื่องสร้างแรงดันจำแนกประเภทตามลักษณะโครงสร้างสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 แบบ คือแบบเปิด (Open type) และแบบปิด (Close type) เครื่องสร้างแรงดันแบบเปิด เป็นแบบที่เครื่องอัดที่ติดตั้งแยกกันกับตัวขับโดยมีสายพาน ต่อเชื่อมระหว่างเพลาของมอเตอร์และเพลาข้อเหวี่ยงของเครื่องสร้างแรงดันมักใช้กับระบบทำความเย็นใหญ่ๆ เช่น ระบบทำความเย็นของห้องเย็น ลักษณะโดยทั่วไปติดตั้งอยู่บนถังพักสารทำความเย็นและแยกน้ำมันหล่อลื่น

- เครื่องอัดแบบปิด เป็นเครื่องอัดที่มีตัวมอเตอร์ติดตั้งรวมอยู่ในเปลือกโลหะที่เป็นชิ้นเดียวกัน เครื่องอัดแบบนี้จึงเรียกกันว่า มอเตอร์เครื่องอัด แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

- แบบปิดสนิท เรียกโดยทั่วไปว่าแบบเฮอร์เมติค (Hermetic compressor) ดังแสดง ในรูปที่ 5.3 เป็นแบบที่มีมอเตอร์และเครื่องอัดอยู่ในตัวเดียวกันโดยมีการเชื่อมปิดหมดแต่จะมี ท่อโผล่มา 3 ทาง คือ ทางดูด ทางอัด และท่อเติมสารทำความเย็น ขั้วสายไฟจะมีขั้วหลัก 3 ขั้ว คือ ขั้วหลักขดสตาร์ท ขั้วขดรัน และขั้วคอมมอน

- แบบกึ่งปิดสนิท (Semi hermetic) เป็นเครื่องอัดที่มีมอเตอร์และเครื่องอัดรวมอยู่ในเปลือกเดียวกันแต่ไม่ได้เชื่อมติดหมด โดยใช้การยึดด้วยสลักเกลียวแทน

เครื่องอัดจำแนกประเภทตามลักษณะการทำงาน อาศัยหลักการพิจารณาจากชิ้นส่วนของเครื่องอัดและลักษณะการทำงานของเครื่องอัด สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ แบบลูกสูบ (Reciprocating compressor) แบบโรตารี่ (Rotary type compressor) แบบสกรู (Screw compressor) และแบบสโครล์ (Scroll compressor)

- เครื่องอัดแบบลูกสูบ เป็นแบบที่ใช้ลูกสูบเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในกระบอกสูบ อาจใช้กำลังจากเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ ทั้งนี้อาจมีสูบเดียวหรือหลายสูบก็ได้แล้วแต่การทำงาน

- ลักษณะการทำงาน เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงจะเป็นจังหวะการดูดไอสารทำความเย็นผ่านวาล์วทางดูด ในจังหวะนี้วาล์วทางส่งจะปิดเนื่องจากสุญญากาศที่เกิดขึ้นในกระบอกสูบ จังหวะนี้จะทำให้สารทำความเย็นเข้ามาเก็บตัวอยู่ในกระบอกสูบ แต่เมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้นจะทำการอัดสารให้มีความดันสูงขึ้น รวมทั้งดันให้วาล์วทางส่งเปิดและวาล์วทางดูดปิด ทำให้สารทำความเย็นไหลออกจาก กระบอกสูบเมื่อลูกสูบเลื่อนขึ้น

- เครื่องอัดแบบสกรู ประกอบด้วยเฟืองตัวหนอน 2 ตัว คือตัวผู้และตัวเมียประกบกันอยู่ในเรือน โดยมีช่องทางเข้าและช่องทางจ่ายที่เหมาะสม เฟืองตัวผู้จะเป็นตัวขับประกอบด้วยร่องเกลียว (Lobe) โดยทั่วได้จะมี 6 ร่อง

- เครื่องอัดแบบโรตารี่ สามารถแบ่งย่อยออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก) เครื่องอัดแบบโรตารี่ชนิดทรงกระบอกหมุน ลักษณะของเครื่องประกอบด้วยทรงกระบอกหมุน (Roller) ทำด้วยเหล็กเหนียวหมุนรอบเพลาลูกเบี้ยว และประกอบเข้าไปในเสื้อสูบของเครื่องอัด โดยมีจุดหมุนร่วมกัน เนื่องจากเพลาลูกเบี้ยวและทรงกระบอกหมุนอยู่เยื้องศูนย์กับเสื้อสูบและสัมผัสกับผนังเสื้อสูบ ดังนั้นขณะที่เพลาหมุน ทรงกระบอกหมุนจะหมุนรอบผนังเสื้อสูบในทิศทางการหมุนของเพลาและสัมผัสไปกับผนังเสื้อสูบ โดยสัมผัสกับแกนลูกเบี้ยว ทั้งนี้ผิวด้านในของทรงกระบอกหมุนเคลื่อนที่สวนทางกับทิศทางการหมุนของเพลาใบพัดที่อยู่ในช่องของเสื้อสูบซึ่งเคลื่อนที่เข้าออกโดยมีสปริงกดอยู่ เพื่อให้ปลายของใบพัดสัมผัสกับทรงกระบอกหมุนอยู่ตลอดเวลา สำหรับฝาสูบ (End-plates) ใช้ปิดเสื้อสูบทั้งด้านหน้าและด้านหลังเพื่อเป็นตัวรองรับแกนลูกเบี้ยว ส่วนช่องทางดูดและช่องทางออกติดตั้งอยู่ในผนังเสื้อสูบใกล้กับช่องใบพัดแต่อยู่คนละด้านกัน

- การทำงาน ไอสารทำความเย็นไหลเข้าช่องดูดและออกทางช่องจ่ายอย่าง ต่อเนื่องทั้งนี้เมื่อเพลาลูกเบี้ยวหมุนทวนเข็มนาฬิกาผิวนอกของทรงกระบอกหมุนสัมผัสผิวในด้านล่างของเสื้อสูบของเครื่องอัด โดยไอสารทำความเย็นจะถูกดูดเข้าสู่เสื้อสูบจากท่อทางดูดในช่องว่างระหว่างทรงกระบอกหมุนและเสื้อสูบซึ่งมีใบพัดกั้นอยู่อีกด้านหนึ่ง ในขณะเดียวกันไอสารทำความเย็นซึ่ง อยู่ในช่องว่างอีกด้านหนึ่งจะถูกอัดเมื่อเพลาลูกเบี้ยวหมุนต่อไปจนกระทั่งผิวนอกของทรงกระบอกหมุนสัมผัสกับผิวในทางด้านขาวของเสื้อสูบ จากนั้นเมื่อไอสารทำความเย็นถูกดูดเข้ามาในเสื้อสูบจนเต็มในช่องว่างด้านล่างและในช่องด้านบนไอสารทำความเย็นถูกอัดและออกไปตามช่องทางจ่าย ซึ่งจะมีวาล์วกันกลับ (Check valve) ป้องกันการไหลย้อนกลับของไอสารทำความเย็น และเมื่อเพลาลูกเบี้ยวหมุนต่อไปอีกช่องว่างทางด้านบนจะลดลงไอสารทำความเย็นจะถูกอัดออกไปตามช่องทางจ่ายเรื่อยๆ ขณะเดียวกันช่องว่างด้านล่างจะเพิ่มขึ้น ไอสารทำความเย็นจะถูกดูดเข้ามาอีก ในขณะที่เพลาลูกเบี้ยวหมุนเป็นการเริ่มวัฏจักรใหม่ต่อไป

ข) เครื่องอัดแบบโรตาริ่ชนิดใบพัดหมุน ลักษณะของเครื่องประกอบด้วยใบพัดหมุนซึ่งติดตั้งอยู่ในช่องของเพลาเยื้องศูนย์ (Off-center rotor) โดยเจาะไว้เป็นช่องๆ เพื่อให้ใบพัดสวมอยู่ได้ และประกอบเข้าไปบรรจุไว้ในเสื้อสูบโดยอยู่เยื้องศูนย์กัน ระยะที่แคบสุดจะเป็นระยะที่ โรเตอร์หรือเพลาลูกเบี้ยวเกือบสัมผัสกับผนังเสื้อสูบโดยมีน้ำมันหล่อลื่นบางๆ อยู่ระหว่างผิวสัมผัส ทั้งสองสำหรับด้านตรงข้ามกับด้านที่สัมผัสนี้เป็นด้านที่มีเนื้อที่ว่างระหว่างโรเตอร์และผนังเสื้อสูบมากที่สุด ส่วนฝาปิดใช้ปิดเสื้อสูบเพื่อเป็นซีลกันรั่วและยังเป็นตัวยึดเพลาลูกเบี้ยว ทั้งนี้ใบพัดเคลื่อนที่เข้าออกในร่องโรเตอร์ในลักษณะปลายของใบพัดสัมผัสกับผนังเสื้อสูบโดยแรงเหวี่ยงและแรงดันจากสปริงภายในร่องของโรเตอร์ และในขณะที่เคลื่อนที่จะกวาดไอสารทำความเย็นไปพร้อมๆ กับการหมุนของเพลาลูกเบี้ยว

- เครื่องอัดแบบสโครล์ ประกอบด้วยชิ้นส่วนลักษณะก้นหอยม้วนเข้าข้างในสองชิ้นประกบกัน ซึ่งทำให้เกิดเป็นกระเปาะหลายห้องสำหรับกักเก็บไอสารทำความเย็นระหว่างกระบวนการอัด การทำงาน สโครล์อันหนึ่งจะคงที่ ในขณะที่อีกอันหนึ่งจะเคลื่อนที่เบียดกับสโครล์อันแรกแต่ไม่ใช่การหมุนแบบรอบตัว ทั้งนี้ขณะการเคลื่อนที่เกิดขึ้น กระเปาะต่างๆ ระหว่าง สโครล์ สองอันจะรีดให้ไอสารเข้าสู่ตรงศูนย์กลางซึ่งเป็นการลดปริมาตร และทำให้ไอสารมีความดันสูงขึ้นและจ่ายออกไปทางช่องซึ่งอยู่ตรงศูนย์กลาง ระหว่างกระบวนการอัดกระเปาะต่างๆ จะถูกอัดพร้อมกัน เป็นผลให้กระบวนการเป็นไปอย่างราบเรียบและต่อเนื่องทั้งกระบวนการดูด (เข้าทางด้านนอกของสโครล์) และกระบวนการส่ง (ทางด้านในของสโครล์)

การคำนวณปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่

ปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่ของเครื่องอัดแบบลูกสูบ หมายถึง ปริมาตรทั้งหมดภายในกระบอกสูบที่ลูกสูบเคลื่อนที่จากศูนย์ตายบนลงมาถึงศูนย์ตายล่าง โดยปกติจะบอกเป็นลิตรต่อวินาที (L/s) สำหรับเครื่องอัดแบบลูกสูบที่ทำการอัดครั้งเดียว ปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่คำนวณได้ดังนี้

$$V_p = \frac{0.7857D^2LNn}{1000} \qquad (2.2)$$

เมื่อ V_p = ปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่, L/s

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ, cm

L = ระยะชัก, cm

N = จำนวนรอบของข้อเหวี่ยง, rps (รอบ/วินาที)

n = จำนวนของลูกสูบ

ตัวอย่าง 2.1 จงคำนวณหาปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่ของเครื่องอัด 2 สูบ หมุนที่ความเร็ว 1500 รอบ/นาที (25 รอบ/วินาที) ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบเท่ากับ 5 เซนติเมตร และระยะชักเท่ากับ 5 เซนติเมตร

$$V_p = [(0.7857)(5\text{ cm} \times 5\text{ cm})(5\text{ cm})(25\text{ rps})(2)]/1000$$

$$= 4.91\text{ L/s}$$

ความสามารถของการทำความเย็นทางทฤษฎี (Theoretical refrigerating capacity) ของเครื่องอัดใดๆ จะขึ้นกับสภาพการทำงานของระบบ และความสามารถของระบบคำนวณได้จากอัตราการไหลเชิงมวลของสารทำความเย็นต่อหน่วยเวลา และค่าการทำความเย็นต่อหน่วยมวลของสารทำความเย็นที่หมุนเวียน อัตราการไหลเชิงมวลที่ได้ของเครื่องอัดจะเท่ากับมวลของไอสารความเย็นที่เครื่องอัดดูดเข้ามาต่อหน่วยเวลาถ้าสมมติว่าเครื่องอัดมีประสิทธิภาพ 100% และเสื้อสูบของเครื่องอัดบรรจุไอสารทำความเย็นอย่างสมบูรณ์ ปริมาตรไอสารทำความเย็นที่เข้ามาในกระบอกสูบเครื่องอัดและถูกอัดต่อหน่วยเวลาจะเท่ากับปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่ ทั้งนี้จำนวนมวลของสารทำความเย็นที่เทียบเท่าอัตราการไหล เชิงปริมาตรของไอสารความเย็นในกระบอกสูบต่อเวลา สามารถคำนวณได้จากผลคูณระหว่างปริมาตรที่

ลูกสูบเคลื่อนที่กับความหนาแน่นของไอสารทำความเย็นที่เข้ามาในเครื่องอัด และเนื่องจากปริมาตรจำเพาะเป็นส่วนกลับของความหนาแน่น เพราะฉะนั้นอัตราการไหลเชิงมวลจะเท่ากับปริมาตรที่ลูกสูบ

เคลื่อนที่หารด้วยปริมาตรจำเพาะของไอสารทำความเย็นที่ถูกอัดเข้ามาในเครื่องอัด ดังนี้

$$m = Vp/v \qquad (2.3)$$

เมื่อ m = อัตราการไหลเชิงมวล, kg/s
Vp = ปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่, L/s (ลิตรต่อวินาที)
v = ปริมาตรจำเพาะของไอสารทำความเย็น, L/kg

ถ้าเครื่องอัดไม่มีปริมาตรที่ว่างเหนือลูกสูบ (Clearance volume) และไม่มี ความสูญเสียใดๆ เลย เครื่องอัดจะดูดไอสารทำความเย็นเข้ามาในกระบอกสูบในแต่ละช่วงชักเท่ากับการเคลื่อนที่ของลูกสูบ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้ เนื่องจากไม่สามารถสร้างเครื่องอัดโดยปราศจากปริมาตรที่ว่างเหนือลูกสูบและฝาสูบได้ นอกจากนี้ ยังมีความสูญเสียความดันในขณะที่ไอสารไหลผ่านในท่อ ผ่านวาล์วทางเข้า (Suction valve) และวาล์วทางออก (Discharge valve) อีกด้วย การที่มีปริมาตรที่ว่างเหนือลูกสูบในตำแหน่งศูนย์ตายบน (Top dead center) จะมีไอ สารทำความเย็นจำนวนหนึ่งเหลืออยู่ในปริมาตรที่ว่างเหนือลูกสูบ และไม่ถูกขับออกมาทางวาล์วทางออกไอสารทำความเย็นจำนวนนี้จะมีความดันและอุณหภูมิสูง และในจังหวะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ลงไอสารทำความเย็นนี้จะเกิดการขยายตัวจนกระทั่งความดันลดลงต่ำกว่าความดันด้านทางเข้า วาล์วทางเข้าจึงจะเปิดและดูดไอสารทำความเย็นเข้ามาในกระบอกสูบ ทำให้ไอสารทำความเย็นที่เข้ามาในกระบอกสูบมีปริมาตรน้อยกว่าปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่ดังนั้น ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร (Volumetric efficiency) จึงหมายถึง อัตราส่วนปริมาตรไอสารทำความเย็นที่เข้าไปในกระบอกสูบของเครื่องอัดในแต่ละช่วงชักต่อปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่

$$\eta_{vol} = Va / Vd \qquad (2.4)$$

เมื่อ η_{vol} = ประสิทธิภาพเชิงปริมาตร
Va = ปริมาตรไอสารทำความเย็นที่เข้ามาในกระบอกสูบจริง
Vd = ปริมาตรที่ลูกสูบเคลื่อนที่

พลังงานรวมที่ใช้ในการหมุนเพลาของเครื่องอัด เรียกว่า พลังงานเพลา อาจจะคำนวณจากพลังงานทางทฤษฎี และตัวประกอบในการใช้งาน ซึ่งเรียกว่า ประสิทธิภาพของเครื่องอัด ประสิทธิภาพของเครื่องอัดเป็นความสัมพันธ์ของพลังงานทางทฤษฎีต่อพลังงานเพลา ดังสมการ

$$E_0 = (PT / PS) \times (100) \qquad (2.5)$$

และ

$$P_S = P_T / [E_0/100] \quad (2.6)$$

เมื่อ E_0 = ประสิทธิภาพรวม, %

P_T = พลังงานทางทฤษฎี

P_S = พลังงานเพลา

ประสิทธิภาพของเครื่องอัด (P_T) บางครั้งจะตกลง เนื่องจากส่วนประกอบ 2 ประการ คือ (1) ประสิทธิภาพการอัดตัว และ (2) ประสิทธิภาพทางกล

ฉะนั้น $E0 = E_C \times E_m \quad (2.7)$

เมื่อ E_C = ประสิทธิภาพการอัด, %

E_m = ประสิทธิภาพทางกล, %

$$P_S = P_T / E_C \times E_m \quad (2.8)$$

ประสิทธิภาพการอัดตัวของเครื่องอัดวัดจากความสูญเสียจากการเปลี่ยนแปลงของวัฏจักรการอัดตัวที่เกิดขึ้นจริงกับวัฏจักรการอัดตัวทางทฤษฎี ส่วนประสิทธิภาพทางกลของเครื่องอัดวัดจากความสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานทางกลในเครื่องอัด ซึ่งเขียนสมการได้ดังนี้

$$P_S = m (h_D - h_C) \times 1.1 / E_V \quad (2.9)$$

และเนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบต่างๆ ที่เปลี่ยนแปลงเป็นผลทำให้การคำนวณหาประสิทธิภาพการอัดตัวมีข้อยุ่งยาก ประสิทธิภาพการอัดตัวของเครื่องอัดจึงสามารถที่จะคำนวณได้ค่าที่ละเอียดด้วยการทดสอบเครื่องอัดเท่านั้น

2.4.2 อุปกรณ์ลดความดัน

อุปกรณ์ลดความดันทำหน้าที่ในการลดความดันของสารทำความเย็น เพื่อให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น ซึ่งเป็นผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็นสู่สารทำความเย็นได้ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการควบคุมการไหลของสารทำความเย็น ทำให้อุปกรณ์ประเภทนี้มี 2 หน้าที่ คือ ควบคุมสารทำความเย็นเหลวให้ไหลเข้าสู่

เครื่องระเหยอย่างเหมาะสมและปรับลดความดันและคงสภาพความดันให้ได้ตามที่กำหนดในเครื่องระเหย อุปกรณ์ที่สามารถทำงานในลักษณะดังกล่าวที่นิยมใช้งานในกลไกการควบคุมความเย็นมีด้วยกัน 5 ชนิดหลัก ดังนี้

- ท่อรูเล็กหรือท่อแคพิลารี (Capillary tube : CAP) ใช้กับเครื่องระเหยแบบแห้ง
- วาล์วขยายตัวอัตโนมัติ (Automatic expansion valve : AEV) ใช้กับเครื่องระเหยแบบแห้ง
- วาล์วขยายตัวเทอร์โมสแตติก (Thermostatic expansion valve : TEV) ใช้กับเครื่องระเหยแบบแห้ง
- วาล์วลูกลอยด้านความดันต่ำ (Low side float : LSF) ใช้กับเครื่องระเหยแบบท่วม
- วาล์วลูกลอยด้านความดันสูง (High side float : HSF) ใช้กับเครื่องระเหยแบบท่วม

ท่อรูเล็กหรือท่อแคพิลารี อุปกรณ์ชนิดนี้ใช้งานกับตู้เย็น ตู้แช่ ตามบ้านและเครื่องทำความเย็นเชิงพาณิชย์ขนาดเล็กเป็นหลัก ที่ใช้ในระบบการทำความเย็นโดยทั่วไป ลักษณะของท่อแคพิลารีมีรูปร่างเป็นท่อรูเล็กที่มีขนาดยาวเพื่อทำหน้าที่ในการลดความดันด้วยการลดอัตราการไหลของสารทำความเย็นตลอดความยาวของท่อ สำหรับขนาดของท่อมีด้วยกันหลายขนาดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารทำความเย็น ขนาดเครื่องทำความเย็น และความยาวของท่อเอง

การคำนวณขนาดความยาวของหลอดแคพิลลารีอาศัยหลักการของกฎอนุรักษ์มวล กฎอนุรักษ์โมเมนตัม และกฎอนุรักษ์พลังงาน กับหลอดแคพิลลารีในช่วงความยาว ΔL ดังภาพที่ 1 ที่หน้าตัดทางเข้าท่อ (หน้าตัด(1)) ทราบค่าอุณหภูมิของน้ำยาทำความเย็น น้ำยาไหลในท่อช่วง ΔL12 ซึ่งกำหนดให้อุณหภูมิลดลงทุก ๆ 1 องศา และไหลออกที่หน้าตัดทางออก (หน้าตัด(2)) โดยจะคำนวณ ΔL12 สำหรับท่อช่วงต่อไป ΔL23 จะสามารถคำนวณได้ในทำนองเดียวกับช่วงแรกก่อนหน้านี้ โดยกำหนดให้อุณหภูมิทางออกของท่อช่วงแรกเป็นอุณหภูมิทางเข้าของท่อช่วงต่อไป แล้วกำหนดให้อุณหภูมิลดลง 1 องศาในท่อช่วงต่อจากท่อช่วงแรก ΔL23 จึงคำนวณความยาวในแต่ละช่วงที่คำนวณได้ ดังนั้นความยาวของหลอดแคพิลารีเท่ากับผลรวมของความยาวในช่วงต่าง ๆ ที่คำนวณได้พิจารณาภายใต้การไหลคงตัวและสภาวะคงตัว ขณะไหลผ่านหลอดแคพิลารี จากกฎอนุรักษ์มวล พบว่า

$$\dot{m} = \frac{V_1 A}{v_1} = \frac{V_2 A}{v_2} \tag{2.10}$$

$$\frac{\dot{m}}{A} = \frac{V_1}{v_1} = \frac{V_2}{v_2} \tag{2.11}$$

การควบคุมการไหลด้วยท่อแคพิเลอรีจะไม่ใช้งานร่วมกับวาล์วกันการไหลย้อนกลับ (Check valve) หรือวาล์วควบคุมทิศทาง (Directional control valve) ดังนั้นระหว่างที่วัฏจักรหยุดการทำงานจะเกิด

การปรับสมดุลระหว่างด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำให้มีความดันเท่ากัน ซึ่งในสภาวะที่ด้านความดันสูงและด้านความดันต่ำมีความดันเท่ากันนี้ทำให้เครื่องอัดเริ่มต้นทำงานใหม่ง่ายขึ้นเนื่องจากไม่มีความดันมาต้านการทำงานขณะเริ่มทำงานซึ่งเป็นสภาวะที่ระบบมีความเสียดทานสูงอยู่แล้ว อย่างไรก็ดีระบบต้องไม่มีการบรรจุสาร ทำความเย็นเกินกว่ากำหนด เพราะจะเป็นสาเหตุให้สารทำความเย็นส่วนเกินนี้ไหลท่วมเครื่องระเหยอันเป็นผลให้เกิดน้ำแข็งเกาะบริเวณท่อทางดูดเมื่อเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์

วาล์วลูกลอยด้านความดันต่ำ อุปกรณ์ชนิดนี้ใช้กับเครื่องระเหยแบบท่วม ซึ่งระดับของสารทำความเย็นถูกควบคุมด้วยวาล์วลูกลอย ลักษณะการทำงาน เริ่มจากในขณะที่สารทำความเย็นระเหยส่งผลให้ระดับสารทำความเย็นเหลวลดลง ทำให้วาล์วที่ต่ออยู่กับก้านลูกลอยเปิดและระบบเกิดการเสียสมดุล ซึ่งจะส่งสัญญาณผ่านทางวาล์วส่งถ่าย ทำให้สารทำความเย็นเหลวจากด้านความดันสูงไหลเข้าสู่เครื่องระเหยทดแทนปริมาณสารทำความเย็นที่ระเหยไป ส่งผลให้ระดับสารทำความเย็นเหลวเพิ่มขึ้น ทำให้วาล์วที่ต่ออยู่กับก้านลูกลอยปิด จนกว่าระดับสารทำความเย็นจะลดลงและเปิดวาล์วใหม่

2.4.3 เครื่องควบแน่น

เครื่องควบแน่นที่ใช้งานกับเครื่องทำความเย็น มีด้วยกัน 3 ชนิดหลัก ดังนี้ ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-cooled condenser) ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (water cooled condenser) และชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศและน้ำ (Evaporative condenser)

- เครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ มีรูปแบบเป็นแผงครีบและขดท่อ การถ่ายเทความร้อนเป็นชนิดการพาความร้อน มีอยู่ด้วยกัน สองลักษณะ คือการใช้อากาศรอบตัวเครื่องควบแน่นระบายหรือระบบโดยธรรมชาติ แบบที่สองเป็นการใช้พัดลมในการนำอากาศไปผ่านครีบของเครื่องควบแน่นทำให้การระบายความร้อนของสารทำความเย็นดีขึ้น

- เครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ มีรูปแบบเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อการถ่ายเทความร้อนเป็นชนิดการพาความร้อนแบบบังคับที่ใช้น้ำหมุนเวียนผ่านแบบไหลสวนทางกัน โดยท่ออยู่ชั้นในจะใช้เป็นท่อน้ำ ส่วนช่องว่างระหว่างท่อชั้นในกับเปลือกถังจะให้ไอสารทำความเย็นความดันสูงและอุณหภูมิสูงไหลผ่าน ลักษณะการไหลเป็นการไหลสวนทางกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน เครื่องควบแน่นรูปแบบนี้โดยทั่วไปต้องติดตั้งหอระบายความร้อน(Cooling tower) เพื่อใช้ในการระบายความร้อนออกของน้ำที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนอีกต่อหนึ่งเพื่อให้สามารถนำน้ำที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนกลับมาใช้ได้ใหม่

- เครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำ มีรูปแบบเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกึ่งเปิดกึ่งปิด การถ่ายเทความร้อนเป็นชนิดการพาความร้อนแบบบังคับที่ใช้น้ำหมุนเวียนผ่านลงบนขดท่อสารทำความเย็น ในขณะที่มีอากาศหมุนเวียนผ่านสวนทางกับน้ำอีกต่อ

หนึ่งในการระบายความร้อนจากน้ำ เครื่องควบแน่น ชนิดนี้โดยทั่วไปมีรูปแบบการจัดวางพัดลมในการระบายความร้อนออกเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบพัดลมตามแนวแกนกระแสลมแบบเป่า (Forced-draft with axial fan) รูปแบบพัดลมตามแนวแกนกระแสลมแบบดูด (Induced-draft with axial fan) และรูปแบบพัดลมหอยโข่งกระแสลมแบบเป่า (Forced-draftwith centrifugal fan)

- ภาระของเครื่องควบแน่น (Condenser load) หมายถึง ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกจากเครื่องควบแน่น อันประกอบไปด้วยความร้อนที่สารทำความเย็นดูดซับจากเครื่องระเหย รวมถึงความร้อนที่ได้รับระหว่างท่อทางดูดเข้าเครื่องอัดและจากเครื่องอัดเนื่องจากงานอัดไอต่อหน่วยของประสิทธิภาพการทำความเย็นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการอัด ดังนั้นปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจากเครื่องควบแน่นต่อหน่วยของประสิทธิภาพการทำความเย็นจะแปรไปตามภาระการใช้งาน ส่วนความร้อนเนื่องจากการอัดจะแปรไปตามลักษณะการออกแบบของเครื่องอัด โดยที่เครื่องอัดแบบปิดจะมีค่าความร้อนมากกว่าแบบเปิด เพราะว่ารวมความร้อนที่ไอสารทำความเย็นดูดซับขณะระบายความร้อนให้เครื่องอัดไว้ด้วย ผู้ผลิตเครื่องอัดบางรายจะจัดข้อมูล "ความร้อนที่ถ่ายเททั้งหมด " ไว้เป็นส่วนหนึ่งของอัตราเครื่องอัด ซึ่งข้อมูลนี้จะใช้เป็นฐานในการเลือกใช้เครื่องควบแน่น แต่ถ้าไม่มีข้อมูลเหล่านี้สามารถที่จะหาภาระของเครื่องควบแน่นโดยประมาณได้ดังนี้

ภาระเครื่องควบแน่น = ความสามารถของเครื่องอัด x ตัวประกอบการถ่ายเทความร้อน (2.12)

เพราะเครื่องควบแน่นอาศัยการนำความร้อนเป็นหลัก ฉะนั้นความสามารถของเครื่องควบแน่น (Condenser capacity) สามารถหาได้จากสูตรพื้นฐานการถ่ายเทความร้อน ดังนี้

$$Q_C = (A)\,(U)\,(T_D) \qquad (2.12)$$

และ Q_C = ความสามารถเครื่องควบแน่น, W

A = พื้นที่สัมผัสในการถ่ายเทความร้อน, m^2

U = สัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทความร้อน, $W/m^2 . K$

T_D = ค่าความต่างอุณหภูมิโดยเฉลี่ยสารหล่อเย็นกับสารทำความเย็น, K

= $(T_R - T_E) - (T_R - T_L) / \ln [(T_R - T_E) / (T_R - T_L)]$

กรณีเครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศหรือน้ำ

= $T_R - T_E = T_R - T_L$

กรณีเครื่องควบแน่นชนิดระบายความร้อนด้วยการระเหยของน้ำ

เมื่อ T_E = อุณหภูมิของสารหล่อเย็นที่เข้าขดท่อ, ˚C (K)

T_L = อุณหภูมิ ของสารหล่อเย็นที่ออกจากขดท่อ, ˚C (K)

T_R = อุณหภูมิของสารทำความเย็นขณะควบแน่นในขดท่อ, ˚C (K)

2.4.4 เครื่องระเหย

การทำความเย็นในระบบการทำความเย็นทั้งหมดเกิดขึ้นในอุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องระเหย ดังนั้น หน้าที่หลักของอุปกรณ์นี้คือ การดึงเอาความร้อนออกไปจากผลิตภัณฑ์ หรือบริเวณที่ต้องการทำความเย็นเพื่อให้ได้อุณหภูมิต่ำตามที่ต้องการ การสร้างเครื่องระเหยนั้นโดยทั่วไปใช้โลหะ เช่น เหล็ก ทองแดง หรือ อะลูมิเนียม เป็นต้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน สถานที่ที่ติดตั้ง และสิ่งของที่จะนำมาเป็นภาระการทำความเย็น สำหรับการแบ่งชนิดของเครื่องระเหยสามารถแบ่งได้เป็นหลายลักษณะ เช่น การแบ่งตามลักษณะตัวกลางของไหลที่ใช้ในการถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำความเย็น โดยแบ่งเป็นแบบใช้อากาศเป็นสารตัวกลางและใช้น้ำหรือของเหลวชนิดอื่นเป็นสารตัวกลาง หรือการแบ่งตามลักษณะการทำงาน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ แบบแห้ง (Dry expansion) แบบแช่น้ำ

- เครื่องระเหยแบบแห้ง เป็นเครื่องระเหยที่มีการป้อนสารความเย็นเข้าขดท่อของเครื่องระเหยด้วยปริมาณที่กำจัดเท่าที่จำเป็นในการกลายเป็นไอเท่าที่ถูกดูดเข้าเครื่องอัดเท่านั้น ซึ่งจะเห็นว่าเครื่องระเหยแบบนี้ สารทำความเย็นที่เป็นของเหลวจะผ่านตลอดจนกระทั่งเป็นไอโดยไม่มีการแยกระหว่างสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวและไอ

- เครื่องระเหยแบบแช่น้ำ ลักษณะของเครื่องระเหยแบบนี้จะมีถังทำความเย็นเป็นแหล่งจ่ายสารทำความเย็นโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลกให้กับขดท่อ ระดับของเหลวในถังจะถูกควบคุมโดยด้านความดันต่ำหรือสูงก็ได้ และไอของสารทำความเย็นที่มาจากขดท่อจะถูกแยกอยู่ส่วนบนของถังเก็บและถูกดูดออกไปเข้าเครื่องอัด ทั้งนี้สามารถใช้อากาศเป็นสารตัวกลาง หรือใช้น้ำหรือของเหลวชนิดอื่นเป็นสารตัวกลางตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำความเย็นได้เช่นเดียวกัน

2.5 วัฏจักรของการทำความเย็นแบบอัดไอ

วัฏจักรอัดไอมาตรฐาน (Standard vapor-compression cycle) วัฏจักรอัดไอมาตรฐาน หรือ วัฏจักรอัดไอชั้นเดียวทางทฤษฎี จะประกอบไปด้วย 4 กระบวนการ ดังนี้

- กระบวนการอัดแบบไอเซนทรอปิค (Isentropic compression process)
- กระบวนการการคายความร้อนที่ความดันคงที่ (Heat reject process)
- กระบวนการขยายตัวแบบเอนทัลปีคงที่ (Expansion process)
- กระบวนการรับความร้อนที่ความดันคงที่ (Heat add process)

สามารถที่จะคำนวณหางานและปริมาณความร้อนที่คายออกและรับเข้าของ วัฏจักรพร้อมกับ COP ตามสูตร ดังนี้

$$\text{COP ref. คือ} \quad (h_1-h_4) / (h_2-h_1) \tag{2.13}$$

งานที่ใช้ในการอัดแบบไอเซนทรอปิคของคอมเพรสเซอร์

$$W_{1-2} = (H_2-H_1),\ H_4 = H_3$$

ปริมาณความร้อนที่ปลอยออกของคอยล์ร้อน

$$Q_{2-3}= (H_2-H_3)$$

ปริมาณความร้อนที่รับเข้าไปของคอยล์เย็น

$$Q_{4-1}= (H_1-H_4)$$

วัฏจักรการทำความเย็นจริง มีความแตกต่างกับวัฏจักรอัดไอมาตรฐาน คือ มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดกลายเป็นไอ หรือ เกิดไอร้อนยวดยิ่ง (Superheated) มีการเย็นตัวต่ำกว่าจุดควบแน่นของของเหลว (Subcool) และมีการสูญเสียแรงดัน(Pressure loss) ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเฉพาะ การเกิดไอร้อนยวดยิ่งและมีการเย็นตัวต่ำกว่าจุดควบแน่นของของเหลวเท่านั้น

การเกิดไอร้อนยวดยิ่ง แสดงถึง วัฏจักรการทำความเย็นจริง ซึ่งอุณหภูมิไอเมื่อออกจากคอยล์เย็นจะมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย พอเลยมาถึงก่อนปากทางดูดของคอมเพรสเซอร์ ไอมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นหลายเท่าในขณะที่แรงดันยังคงที่อยู่ สาเหตุหนึ่งเป็นเพราะว่าการเคลื่อนที่ของไอมายังคอมเพรสเซอร์ได้รับเอาความร้อนจากสภาวะแวดล้อมเข้ามาด้วย จึงทำให้อุณหภูมิไอเพิ่มสูงขึ้นไปด้วย รูปที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์แรงดันกับเอนทาลปีของวัฏจักรอัดไอมาตรฐานกับวัฏจักรจริง ที่เกิดไอร้อนยวดยิ่งของ R12 โดยคุณสมบัติของไอร้อนของ R12 ที่จุด C/และ D

2.6 อุณหภูมิและความร้อน

อุณหภูมิ (Temperature: t) อุณหภูมิของสารเป็นตัวบ่งชี้ถึงสภาวะทางความร้อน และความสามารถในการแลกเปลี่ยนพลังงานกับสารกับสารเมื่อนำมาสัมผัสด้วย โดยที่สารที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจะส่งถ่ายพลังงานไปสู่สารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ในหน่วย S.I. เราใช้องศาเซลเซียส (°C) เป็นตัววัดอุณหภูมิ โดยมีระดับอ้างอิงที่จุดเยือกแข็งของน้ำ (0 °C) และจุดเดือดของน้ำ (100 °C)

อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Temperature: T) เป็นตัวเลขบอกองศาที่อยู่เหนือจุดศูนย์สัมบูรณ์ (absolute zero) แสดงค่าด้วยเคลวิน (K) โดยที่ T = 1°C + 273 ดังนั้น ความแตกต่างอุณหภูมิของทั้ง 2 สเกลนี้ จึงมีค่าเท่ากัน ซึ่งสามารถใช้แทนกันได้

ความร้อนจำเพาะ ความร้อนจำเพาะของสาร หมายถึง ปริมาณของพลังงานที่ต้องการในการทำให้ 1 หน่วยมวลของตัวมันมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 หน่วยองศา (1 K) ความร้อนจำเพาะพื้นฐานที่ใช้กันมี 2 ตัว ความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่ (Specific heat at content volume, Cv) และความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ (Specific heat at content pressure, Cp) ซึ่งตัวหลังจะถูกกล่าวถึงมากกว่า เนื่องจากมันสามารถนำไปใช้กับกระบวนการต่าง ๆ เป็นที่เกิดขึ้นในการทำความเย็น และการปรับอากาศ ค่าประมาณของความร้อนจำเพาะสำหรับสารที่สำคัญบางตัวได้แก่

1.0	kJ/kg.K	สำหรับ อากาศแห้ง
4.19	kJ/kg.K	สำหรับ น้ำ
1.88	kJ/kg.K	สำหรับ ไอน้ำ

โดยที่ J (joule) แสดง หน่วยของพลังงาน
จากการสังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติ และการพิจารณาอย่างมีเหตุผลเป็นขั้นตอน ทำให้เราสามารถสร้างสมการนำความร้อนขึ้นมาได้ จากการพิจารณาถึงพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทในแท่งวัตถุแข็ง พบว่าเป็นสัดส่วนผกผันกับความยาว Fourier ได้สร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ขึ้นมาสำหรับกระบวนการเช่นนี้ เป็นปัญหามิติเดียว (one dimension)

$$q = - kA \frac{\Delta t}{L} \qquad (2.14)$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดขวาง, m^2
Δt = ความแตกต่างอุณหภูมิ, m
L = ความยาว, m
k = ค่าการนำความร้อน, W/m. K (thermal conductivity)

ค่า k นี้จะเป็นลักษณะเฉพาะตัวของวัตถุแต่ละชนิด และอัตราส่วน K/L จะถูกเรียกว่า “Conductance” ค่าการนำความร้อนซึ่งเป็นตัวบอกถึงความสามารถในการนำความร้อนของวัตถุนี้ จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างโมเลกุลของวัตถุนั้น ๆ วัตถุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแน่นหนา เช่น พวกโลหะ การส่งถ่ายพลังงานระหว่างโมเลกุล ก็จะเกิดขึ้นอย่างสะดวกรวดเร็วกว่าวัตถุที่มีโครงสร้างโมเลกุลไม่แน่นหนา

สะเปะสะปะ เช่นพวกอโลหะ จำนวนอิเล็กตรอนอิสระ (free electron) ในโลหะ ก็จะส่งผลต่อการเพิ่มค่าการนำความร้อนขึ้นเช่นกัน ดังนั้น สำหรับวัตถุที่มีการนำไฟฟ้าที่ดีก็มักจะมีการนำความร้อนที่ดีเช่นกัน ค่าการนำความร้อนของของแข็งพวกสารอนินทรีย์มักจะต่ำกว่าพวกโลหะ ส่วนวัตถุพวกสารอินทรีย์ หรือสารเส้นใยต่าง ๆ ยิ่งมีค่าต่ำลงไปอีก และในสารอโลหะในสภาพของเหลว ก็จะมีค่าต่ำกว่าในสภาพของแข็ง เช่น เดียวกับแก๊สในบรรยากาศก็มีค่าต่ำเช่นกัน ตาราง 1.1 แสดงค่าของการนำความร้อนของวัตถุต่าง ๆ

สมการการนำความร้อน ปกติมักจะถูกแสดงในรูปของดิฟเฟอร์เรนเชียล

$$q = - kA \frac{dt}{dx} \tag{2.15}$$

กระบวนการการถ่ายโอนความร้อนที่ใช้ในร่างกายมนุษย์ ขั้นแรกจะเป็นลักษณะของการปรับอากาศให้มีความสะดวกสบายแก่มนุษย์ และจะเป็นหลักการทำงานของความร้อน ซึ่งจะมีตั้งแต่กระบวนการอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamics) และกระบวนการการถ่ายโอนความร้อน (Heat Transfer) จากแง่คิดที่เกี่ยวกับความร้อนในร่างกายที่ไม่มีประสิทธิภาพแต่อุณหภูมิในร่างกายยังคงปกตินั้น ในร่างกายมนุษย์จะได้รับเชื้อเพลิงในรูปของอาหารแล้วย่อยเปลี่ยนเป็นพลังงาน ในเชื้อเพลิงก็จะกลายเป็นงานและทิ้งส่วนที่เหลือคือ ความร้อน กระบวนการนี้จะเป็นความต่อเนื่องกันของการขจัดความร้อนทิ้งขณะที่ต้องการสมดุลความร้อน ซึ่งแสดงถึงระบบการทำงานความร้อนของร่างกาย ทำให้ความร้อนเกิดขึ้นในเซลล์ทั้งหมดของร่างกายและระบบจะหมุนเวียนลำเลียงส่งความร้อนไปสู่ผิวหนัง เพื่อปล่อยความร้อนออกสู่สิ่งแวดล้อมอีกที

ในสภาวะสมดุลความร้อนคงที่ พลังงานความร้อนจะทำให้เกิดการเผาผลาญอาหาร เพื่อเป็นพลังงานเท่ากับอัตราการถ่ายโอนความร้อนจากร่างกายโดยการพาความร้อน การแผ่รังสี การระเหยและการหายใจ ถ้าอัตราการเผาผลาญอาหารเพื่อเป็นพลังงานไม่สมดุลโดยการกักเก็บความร้อนในร่างกายนั้น สมการที่สมบูรณ์ของสมดุลความร้อน จะเป็น

$$M = \varepsilon + \Re + C + B + S \tag{2.16}$$

และค่า M = อัตราการย่อยอาหาร เป็นพลังงาน, W

ε = การสูญเสียความร้อนจากร่างกาย, W

$\Re$ = อัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการแผ่รังสี, W

C = อัตราการถ่ายโอนความร้อนโดยการพาความร้อน, W

B = การสูญเสียความร้อนโดยการหายใจ, W

S = อัตราการเปลี่ยนแปลงของการกักเก็บความร้อนในร่างกาย, W

2.7 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน (Theory of heat transfer)

การวิเคราะห์เรื่องการถ่ายเทความร้อนนี้ ถูกพัฒนามาจากทางเทอร์โมไดนามิคส์ว่าด้วยกฎการอนุรักษ์มวลและพลังงาน จากกฎข้อที่ 2 ของเทอร์โมไดนามิคส์ และสมการคำนวณอัตราความร้อนเกี่ยวกับการนำ (conduction) การพา (convection) และการแผ่รังสี (radiation) สมการคำนวณอัตราความร้อนนี้จากการสังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติทางกายภาพของการเปลี่ยนแปลงพลังงานแล้วใช้คณิตศาสตร์เป็นแบบจำลองเพื่อปรากฏการณ์นั้น

การถ่ายเทความร้อนความร้อนผ่านวัตถุที่เป็นของแข็งเรียกว่า การนำความร้อน จะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานในระดับโมเลกุลของวัตถุ การแผ่รังสีความร้อน (radiation) เป็นขบวนการเคลื่อนย้ายพลังงานโดยแพร่รังสีโฟรตรอน (photron) จากพื้นผิวหนึ่งไปยังอีกพื้นผิวหนึ่ง การแผ่รังสีความร้อนนี้สามารถส่งผ่านบริเวณสุญญากาศได้ และไม่ได้ขึ้นอยู่กับตัวกลางใด ๆ ที่เชื่อมระหว่างพื้นผิวทั้งสอง ส่วนการพาความร้อน (convection) ขึ้นอยู่กับการนำความร้อนที่บริเวณผิวของแข็งไปยังของไหลรอบข้างและของไหลนั้นเคลื่อนตัวไปตามผิว หรือเคลื่อนตัวออกไป แต่อย่างไรก็ตามการถ่ายเทความร้อนทั้งสาม ก็มีลักษณะร่วมที่เหมือนกัน คือ ต่างก็ขึ้นกับอุณหภูมิ และ ขนาดของวัตถุที่พิจารณา

การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น พลังงานในการแผ่รังสีความร้อนมีผลจากโฟรตรอนเคลื่อนย้ายจากพื้นผิวหนึ่งไปสู่อีกพื้นผิวหนึ่ง เมื่อโฟรตรอนเคลื่อนมาถึงพื้นผิว มันอาจถูกดูดกลืนไว้โดยพื้นผิว สะท้อนกลับหรือส่งทะลุผ่านพื้นผิวนั้น ๆ ไป

พลังงานในการแผ่รังสีจากพื้นผิวนี้จะถูกนิยามอยู่ในรูปของ emissive power ซึ่งเราสามารถแสดงโดยผลทางเทอร์โมไดนามิคส์ได้ว่า emissive power จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิสมบูรณ์ยกกำลังสี่ สำหรับวัตถุที่เป็นตัวแผ่รังสีได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งมักเรียกว่า blackbody ค่า emissive power (E_b W/m^2) จะมีค่าเท่ากับ

$$E_b = \sigma T^4$$

เมื่อ σ = Stefan-Boltzmann constant = $5.669 \times 10^{-8}\ W/m^2 K^4$

T = อุณหภูมิสมบูรณ์, K

การแผ่รังสี ใช้สูตร $\varepsilon = \frac{E}{E_b}$

ในวัตถุจำนวนมาก จะถูกสมมุติให้ค่า emissivity และ absorptivity (สปส. การดูดกลืน) เท่ากันโดยประมาณ ซึ่งเราเรียกวัตถุเหล่านี้ว่า gray bodies

$$\varepsilon = \alpha$$

โดยที่ α = absorptivity (ไม่มีหน่วย)

การพาความ อัตราการถ่ายโอนความร้อนเนื่องจากการไหลของอากาศโดยการพาความร้อนหรือจากร่างกาย สมการที่สำคัญของการการพาความร้อน คือ

$$C = h_c A (t_s - t_a) \qquad (2.17)$$

เมื่อ A = พื้นที่ผิว, m^2

t_s = อุณหภูมิวัตถุ, °C

t_a = อุณหภูมิอากาศ, °C

ปกติพื้นที่ผิวของร่างกายมนุษย์จะอยู่ในช่วง 1.5 - 2.5 m^2 ขึ้นอยู่กับรูปร่างของแต่ละคน ซึ่งสัมประสิทธิ์การถ่ายโอนความร้อน h_c ขึ้นอยู่กับความชื้นที่ผ่านร่างกาย ดังนั้นแต่ละคนจึงมีการปรับสภาพร่างกายให้สมดุลกับสภาวะที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน ค่า h_c สามารถหาได้จาก

$$h_c = 13.5\ V^{0.6} \qquad (2.18)$$

โดย V คือ ความเร็วอากาศ มีหน่วยเป็น m/s

อุณหภูมิผิวหนังจะควบคุมกลไกการทำงานของร่างกาย และโดยทั่วไปส่วนของร่างกายที่ปกคลุมด้วยเสื้อผ้าจะมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 31- 33 °C และอุณหภูมิของเสื้อผ้าปกติจะอยู่ระหว่างอุณหภูมิผิวหนังและอุณหภูมิอากาศ

ปริมาณของความร้อนที่เข้าหรือออกจากวัตถุ จะทำให้วัตถุนั้นมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงได้ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\mathbf{Q} = mst \tag{2.19}$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อน, cal

m = มวล, g

s = ค่าความร้อนจำเพาะ, cal/ g / ^{0}C

t = อุณหภูมิแตกต่าง, ^{0}C