

2-8.1 ระบบทำความเย็นทำงานอย่างไร?

- (1) ระบบทำความเย็นนำไปใช้ประโยชน์อะไร?
- (2) มาตรฐานการแช่แข็งในอุตสาหกรรมเป็นอย่างไร?
- (3) แผนภูมิความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็นเป็นอย่างไร?
- (4) แผนภูมิไซโครเมตริกซ์มีประโยชน์กับระบบทำความเย็นอย่างไร?
- (5) แผนภูมิไซโครเมตริกซ์ใช้งานอย่างไร?

2-8.2 ระบบทำความเย็นในอุตสาหกรรมมีแบบใดบ้าง?

- (1) อุปกรณ์ในระบบทำความเย็นมีอะไรบ้าง?
- (2) ระบบทำความเย็นและระบบแช่แข็งในอุตสาหกรรมมีแบบใดบ้าง?
- (3) การหาสมรรถนะของระบบทำความเย็นทำอย่างไร?
- (4) ระบบละลายน้ำแข็ง (Defrost) ในอุตสาหกรรมมีแบบใดบ้าง?

2-8.3 เราจะเลือกระบบทำความเย็นให้เหมาะสมได้อย่างไร?

- (1) ระบบทำความเย็นแต่ละแบบเหมาะกับงานในอุตสาหกรรมประเภทใด?
- (2) การพิจารณาเลือกใช้สารทำความเย็นอย่างไรให้เหมาะสม?
- (3) ภาระการทำความเย็นมีอะไรบ้าง?

2-8.4 ระบบทำความเย็นสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างไรบ้าง?

- (1) จัดการเดินเครื่องอย่างไรให้เหมาะสมและประหยัดพลังงาน?
- (2) การลดความดันสารทำความเย็นด้านคอนเดนเซอร์ช่วยประหยัดพลังงานอย่างไร?
- (3) การเพิ่มความดันด้านอีวาโปเรเตอร์ให้สูงขึ้นช่วยประหยัดพลังงานอย่างไร?
- (4) เลือกใช้ระบบละลายน้ำแข็งอย่างไรให้เหมาะสมและประหยัดพลังงาน?
- (5) การลดภาระการทำความเย็นที่ไม่จำเป็นหรือปรับปรุงได้เพื่อประหยัดพลังงานมีอะไรบ้าง?

2-8.5 การตรวจวินิจฉัยและบำรุงรักษาระบบทำความเย็นเพื่อการอนุรักษ์พลังงานทำอย่างไร?

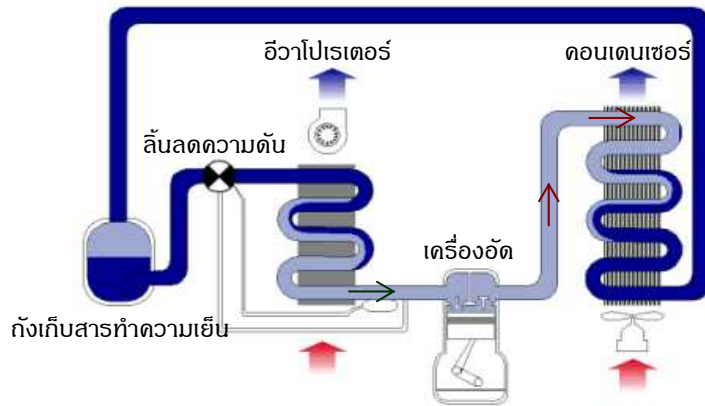
- (1) การตรวจวินิจฉัย ระบบทำความเย็นเพื่อการอนุรักษ์พลังงานทำอย่างไร?
- (2) การบำรุงรักษาระบบทำความเย็นเพื่อการประหยัดพลังงานมีอะไรบ้าง ?

2-8.1 ระบบทำความเย็นทำงานอย่างไร?

(1) ระบบทำความเย็นนำไปใช้ประโยชน์อะไร?

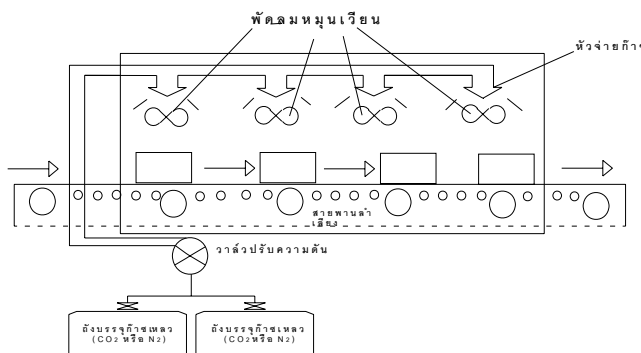
อุตสาหกรรมอาหารมีความจำเป็นในการใช้ระบบทำความเย็นเป็นอย่างมากเพื่อการเก็บรักษาคุณภาพอาหาร ถนอมอาหารให้สามารถเก็บไว้ได้นาน รวมทั้งขนส่งไปยังลูกค้าและผู้บริโภค แช่แข็ง ผลิตน้ำแข็ง และอุตสาหกรรมอีกหลายประเภทได้นำเอาระบบทำความเย็นไปประยุกต์ใช้ในการกระบวนการ เช่น อุตสาหกรรมเคมี เพื่อแบ่งแยกก๊าซ ควบแน่นก๊าซ รวมทั้งระบบปรับอากาศ สามารถกล่าวได้ว่าทั้งระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศมีพัฒนาการควบคู่กันมา โดยมีพื้นฐานในการทำงานและอุปกรณ์หลักของระบบเหมือนกัน แตกต่างเพียงแค่การนำไปใช้ประโยชน์เท่านั้น

การทำความเย็น หมายถึง การทำให้อุณหภูมิของบริเวณโดยรอบหรือบริเวณควบคุมลดต่ำลงจนถึงระดับที่ต้องการใช้ประโยชน์ โดยอาศัยหลักการดูดความร้อนในบริเวณดังกล่าวหรือจากสิ่งที่ต้องการทำให้เย็นผ่านอุปกรณ์ที่เราเรียกว่า อีวาโปเรเตอร์ (Evaporator) เข้าสู่ตัวกลางหรือสารทำงานเพื่อนำความร้อนส่วนนั้นไประบายทิ้งในแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณอุปกรณ์ที่เรียกว่า คอนเดนเซอร์ (Condenser) โดยมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนสารทำงานในระบบที่เรียกว่า เครื่องอัด (Compressor) และมีอุปกรณ์สำคัญที่จะทำให้เกิดการทำความเย็นในระบบได้โดยทำหน้าที่ลดความดันของสารทำความเย็น นั่นคือ ลิ้นลดความดัน (Expansion Valve) ซึ่งในระบบทำความเย็นจะนิยมเรียกว่า วาล์วควบคุมการไหลสารทำความเย็น (Refrigeration Flow Control) และในระบบใหญ่ที่ใช้งานจริงจะมีการติดตั้งถังเก็บสารทำความเย็น (Receiver Tank) เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2-8.1 วงจรพื้นฐานระบบทำความเย็นแบบ Indirect Contact

ที่กล่าวมานั้นเป็นระบบทำความเย็นแบบไม่สัมผัสตรง (Indirect Contact) คือ สารทำความเย็นจะมีสารตัวกลางในการทำให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์เย็นลง แต่ในอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งหรืออุตสาหกรรมบางประเภทจะมีการใช้งานระบบทำความเย็นแบบที่มีการสัมผัสตรง (Direct Contact) ระหว่างสารทำความเย็นกับผลิตภัณฑ์โดยตรง สารทำความเย็นเหลวจะสัมผัสและดึงความร้อนจากผลิตภัณฑ์เพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ส่งผลให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ลดต่ำลง ซึ่งสามารถลดต่ำลงถึงจุดเยือกแข็งได้โดยใช้เวลาเพียงสั้นๆ เท่านั้น สารทำความเย็นที่นิยมใช้คือ ไนโตรเจนเหลว (N_2) และ คาร์บอนไดออกไซด์เหลว (CO_2) เราเรียกว่า Cryogenic Refrigeration ระบบนี้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูงกว่าระบบอัดไอ แต่มีความเหมาะสมกับงานที่มีการเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์อยู่เสมอและการผลิตไม่ต่อเนื่อง (ดังรูปที่ 2-8.2)



รูปที่ 2-8.2 พื้นฐานระบบทำความเย็นแบบ Direct Contact

ซึ่งในที่นี้จะขอก้าวในรายละเอียดของระบบทำความเย็นแบบไม่สัมผัสตรงโดยเฉพาะวัฏจักรอัดไอ (Compression Cycle) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้โดยทั่วไปในอุตสาหกรรม และเป็นระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากอีกทั้งยังอุปกรณ์ในการทำงานหลายจุดที่ความซับซ้อน ทั้งนี้หากไม่มีความรู้ในการใช้งานและดูแลรักษาจะส่งผลต่อการใช้พลังงานที่สิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นอย่างมาก

(2) มาตรฐานการแช่แข็งในอุตสาหกรรมเป็นอย่างไร?

ตารางที่ 2-8.1 ความร้อนจำเพาะและความร้อนแฝงของผลไม้ ผัก เนื้อสัตว์และอาหาร

โกศภัณฑ์	อุณหภูมิเยือกแข็ง (°F)	ความร้อนจำเพาะ BTU/lb/ °F		ความร้อนแฝง หลอมเหลว
		เหนือเยือกแข็ง	ใต้เยือกแข็ง	
Water (น้ำ)	32	1.0	0.5	114
Fruits (ผลไม้)				
Apples (แอปเปิ้ล)	28.4	0.86	0.45	121
Apricots	28.1	0.88	0.46	122
Bananas(กล้วย)	28	0.80	0.42	108
Blackberries	28.9	0.88	0.46	122
Bluesberries	28.6	0.86	0.45	118
Cantaloupes(แคนตาลูป)	29	0.94	0.48	132
Cherries(เชอร์รี่)	26	0.87	0.45	120
Cranberries	27.3	0.90	0.46	124
Dates(dry)(อินทผลัมแห้ง)	-4.1	0.36	0.26	29
Dates(fresh)(อินทผลัมสด)	27.1	0.82	0.43	112
Grapefruit(ผลไม้จำพวกส้ม)	28.4	0.91	0.46	126
Grapes(องุ่น)	26.3	0.86	0.44	116
Lemons(มะนาวเขียว)	28.1	0.92	0.46	127
Limes(มะนาวเหลือง)	29	0.89	0.46	122
Oranges(ส้ม)	28	0.90	0.46	124
Peaches(ลูกท้อ)	29.4	0.90	0.46	124
Pears(ลูกสาส์)	28.5	0.86	0.45	118
Pineapples (สับปะรด)	29.4	0.88	0.45	122
Plums (ลูกพลัม)	28	0.88	0.45	123
Prunes (fresh) (ลูกพรุนสด)	28	0.88	0.45	123
Raspberries	30.1	0.85	0.45	122
VEGETABLES(ผัก)				
Asparagus(หน่อไม้ฝรั่ง)	29.8	0.94	0.48	134
Beans, String(ถั่ว)	29.7	0.91	0.47	128
Beans, lima (สารพัดถั่ว)	30.1	0.73	0.40	94
Beans, dried (ถั่วแห้ง)		0.30	0.24	18
Beets(ผักบีท)	31.1	0.86	0.47	129
Proccoli (กะหล่ำปลีจิว)	29.2	0.92	0.47	130
Brussels Sprouts	31	0.88	0.46	122
Cabbage (กะหล่ำปลี)	31.2	0.94	0.47	132
Carrots (หัวแครอท)	29.6	0.86	0.45	126
Cauliflower (กะหล่ำดอก)	30.1	0.93	0.47	132
Corn (green) (ข้าวโพด-สด)	28.9	0.80	0.43	108
Corn (dried) (ข้าวโพด-แห้ง)		0.28	0.23	15
Cucumbers (แตงกวา,แตงร้าน)	30.5	0.97	0.49	137
Eggplant (มะเขือยาว)	30.4	0.94	0.47	132

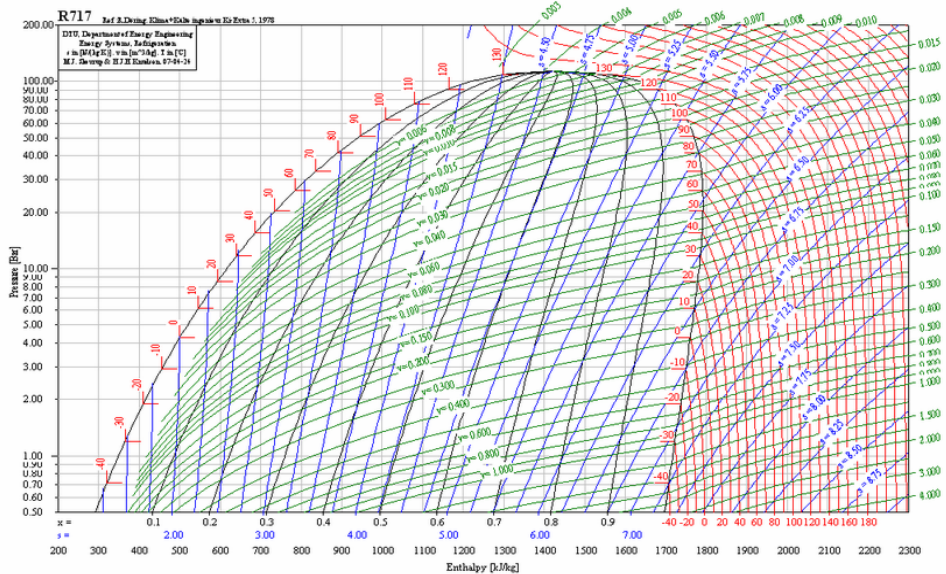
โภคภัณฑ์	อุณหภูมิเยือกแข็ง (°F)	ความร้อนจำเพาะ BTU/lb/ °F		ความร้อนแฝง หลอมเหลว
		เหนือเยือกแข็ง	ใต้เยือกแข็ง	
Peas (green) (ถั่วลันเตาสด)	30	0.79	0.42	106
Peas (dried) (ถั่วลันเตาแห้ง)		0.28	0.22	14
Potatoes (มันฝรั่ง)	28.9	0.82	0.43	111
Potatoes (sweet) (มันหวาน)	28.5	0.75	0.40	97
Spinach (ผักขม)	30.3	0.94	0.48	132
Squash (ผักชนิดหนึ่ง)	30.1	0.92	0.47	130
Tomatoes (green) (มะเขือเทศ)	30.4	0.95	0.48	134
Tomatoes (ripening) (มะเขือเทศ)	40.4	0.95	0.48	134
Turnips (ผักกาดชนิดหนึ่ง)	30.5	0.93	0.40	137
Vegetables (mixed) (ผักผสม)	30	0.90	0.45	130
MEATS AND FISH				
Becon (หมูเบคอน)		0.50	0.30	29
Beef (dried) (เนื้อวัวแห้ง)		0.22-0.34	0.19-0.26	7-22
Beef (fresh-lean) (เนื้อวัวสด)	29	0.77	0.40	100
Beef (fresh-fat) (เนื้อวัวติดมัน)	28	0.60	0.35	79
Cod fish (fresh) (ปลาคอดสด)	28	0.90	0.49	119
Fish (frozen) (ปลาสด)	28	0.76	0.41	101
Fish (iced) (ปลาแช่แข็ง)		0.76	0.41	101
Fish (dried) (ปลาแห้ง)		0.56	0.34	65
Hame and loins (สะโพกหลัง, ลำตัวของหมู)	27	0.68	0.38	86.5
Lamb (เนื้อแกะ)	29	0.67	0.30	83.5
Livers (ตับสัตว์)	29	0.72	0.40	93.3
Oysters (shell) (หอยนางรม)	27	0.83	0.44	116
Oysters (tub) (หอยนางรมทั้งเปลือก)	27	0.90	0.46	125
Pork (fresh) (เนื้อหมูสด)	28	0.68	0.38	86.5
Pork (smoked) (เนื้อหมูรมควัน)		0.60	0.32	
Poultry (fresh) (เป็ด ไก่สด)	27	0.79	0.37	106
Poultry (frozen) (เป็ดไก่ แช่แข็ง)	27	0.79	0.37	106
Sausage (drying) (ไส้กรอกแห้ง)	26	0.89	0.56	93
Sausage (franks)	29	0.86	0.56	86
Sausage (fresh) (ไส้กรอกสด)	26	0.89	0.56	93
Sausage(smoked)	25	0.86	0.56	86
Scallops (หอยแครง)	28	0.89	0.48	116
Shrimp (กุ้ง)	28	0.83	0.45	119
Veal (เนื้อลูกวัว)	29	0.71	0.39	91
MISCELLANEOUS				
Bread (ขนมปัง)		0.70	0.34	46-53
Bread (dough)	30 - 0	0.75		
Butter (เนยสด)	17	0.64	0.34	15

โภคภัณฑ์	อุณหภูมิเยือกแข็ง (°F)	ความร้อนจำเพาะ BTU/lb/ °F		ความร้อนแฝง หลอมเหลว
		เหนือเยือกแข็ง	ใต้เยือกแข็ง	
Cheese (American) (เนยแข็ง)	27	0.64	0.36	79
Egg (crated) (ไข่สด)	27	0.76	0.40	100
Egg (frozen) (ไข่แช่น้ำแข็ง)	31		0.41	100
Milk (นม)		0.93	0.49	124
Yeast (เชื้อราทำขนมปัง)		0.77	0.41	102

การใช้ตารางที่ 2-8.1 พิจารณาการเปลี่ยนสถานะของน้ำเป็นแนวทาง น้ำมีอุณหภูมิเยือกแข็งที่ 32°F ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำขณะเป็นของเหลว 1 BTU/lb/ °F ค่าความร้อนใต้จุดเยือกแข็ง 0.5 BTU/lb/ °F และค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (Latent Heat of Fusion) 144 BTU/lb

(3) แผนภูมิความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็นเป็นอย่างไร?

แผนภูมิความดัน-เอนทาลปี หรือที่เราเรียกว่า P-H Diagram แสดงถึงสภาวะและคุณสมบัติของสารทำความเย็นที่จุดต่างๆ ของระบบทำความเย็นช่วยให้เราสามารถวิเคราะห์ระบบได้ง่ายขึ้น ดังรูป



รูปที่ 2-8.3 แผนภูมิความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็น

จากรูปที่ 2-8.3 เป็นสภาวะทางเทอร์โมไดนามิกส์ของสารทำความเย็นที่จุดใดๆ เราสามารถที่จะแทนจุดนี้บนแผนภูมิ P-H ได้ โดยแบ่งเป็นเส้นของเหลวอิ่มตัวและเส้นไออิ่มตัว พื้นที่ทางด้านซ้ายมือของเส้นของเหลวอิ่มตัว เรียกว่า Sub-cooled liquid ซึ่งในพื้นที่นี้ อุณหภูมิของสารทำความเย็นเหลวจะต่ำกว่าอุณหภูมิของสารทำความเย็นอิ่มตัวที่มีความดันเดียวกัน ส่วนพื้นที่ทางด้านขวามือของไออิ่มตัว เรียกว่า ไอร้อนยวดยิ่งหรือ Super Heat ในพื้นที่นี้ อุณหภูมิของสารทำความเย็นในสถานะไอจะมีอุณหภูมิสูงกว่าไออิ่มตัวที่มีความดันเท่ากัน บริเวณพื้นที่ระหว่างเส้นของเหลวอิ่มตัวและไออิ่มตัวเราเรียกว่า ไอเปียก ซึ่งมีส่วนผสมของไอและของเหลว

ในการวิเคราะห์ระบบทำความเย็นจริง สามารถตรวจวัดความดันและอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ของระบบได้ จะมีการติดตั้งเครื่องวัดความดันและอุณหภูมิในตำแหน่งพื้นฐานที่สำคัญไว้เสมอ ดังนี้

- Discharge Line (Pressure, Temperature Gauge)
- Suction Line (Pressure, Temperature Gauge)

ค่าที่ควรต้องทราบ คือ ค่าความดันและอุณหภูมิของสารทำความเย็นทั้งสองด้าน วิธีการใช้โดยละเอียดและตัวอย่างการวิเคราะห์จะนำเสนอในหัวข้อการหาสมรรถนะของระบบทำความเย็นทำอย่างไร?

(4) แผนภูมิไซโครเมตริกซ์มีประโยชน์กับระบบทำความเย็นอย่างไร?

การปรับสภาวะอากาศโดยทั่วไปมี 8 กระบวนการ แต่ที่ใช้กับระบบทำความเย็นโดยเฉพาะในอุตสาหกรรมอาหารคือ กระบวนการทำให้เย็นและควบคุมความชื้น เพื่อใช้อากาศเป็นตัวกลางให้เกิดการแข็งตัวของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการถนอมหรือต้องการให้แข็งตัวได้ภายในเวลาที่กำหนด เพื่อให้ได้คุณค่า รสชาติ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ แผนภูมิไซโครเมตริกซ์จะช่วยให้ทราบได้ถึงคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศได้ทุกคุณสมบัติมีความสำคัญตั้งแต่การออกแบบจนถึงการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในการใช้งานหรือแก้ไขปรับปรุงระบบการทำงานให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่จะทำการแช่แข็งในอุตสาหกรรมแต่ละประเภท รูปภาพแผนภูมิไซโครเมตริกซ์ได้จากเรื่องระบบปรับอากาศหัวข้อ 2-7.1

(5) แผนภูมิไซโครเมตริกซ์ใช้งานอย่างไร?

วิธีการใช้งานดูได้ในหัวข้อ 2-7.1 ในเรื่อง แผนภูมิไซโครเมตริกซ์ใช้งานอย่างไร?

2-8.2 ระบบทำความเย็นในอุตสาหกรรมมีแบบใดบ้าง?

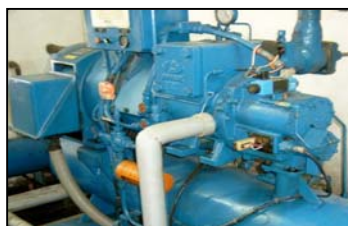
(1) อุปกรณ์ในระบบทำความเย็นมีอะไรบ้าง?

จากรูปที่ 2-8.1 แสดงถึงระบบพื้นฐานของการทำความเย็น อุปกรณ์หลักในการทำงานมีดังนี้

1. **เครื่องอัดสารทำความเย็น (Compressor)** ทำหน้าที่สร้างความดันในระบบโดยอัดสารทำความเย็นในสถานะไอทำให้เกิดการไหลเวียนไปยังอุปกรณ์ต่างๆ เครื่องอัดสารทำความเย็นที่ใช้กันมี 3 แบบ คือ 1) แบบลูกสูบ (Reciprocating Compressor) 2) แบบโรตารี (Rotary Compressor) 3) แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Compressor) ปัจจุบันเครื่องอัดแบบลูกสูบนิยมใช้กันเพราะสามารถใช้ทำความเย็นขนาดเล็กที่ใช้ตามบ้านหรือร้านค้าทั่วไปจนถึงขนาดใหญ่สำหรับงานอุตสาหกรรม และสามารถใช้ได้กับสารทำความเย็นหลายชนิด เช่น R-12, R-22, R-500, R-717 (แอมโมเนีย) เป็นต้น รวมทั้งมีการพัฒนาให้ใช้อุณหภูมิในช่วงการทำงานที่กว้างมากขึ้น มีทั้งแบบอัดขั้นตอนเดียว (Single Stage) สำหรับระบบทำความเย็นทั่วไปและแบบอัดหลายขั้นตอน (Multi Stage) สำหรับระบบทำความเย็นที่ต้องการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำมากๆ



ก) แบบลูกสูบ



ข) แบบโรตารีสกรู



ค) แบบแรงเหวี่ยง

รูปที่ 2-8.4 เครื่องอัดสารทำความเย็นแบบต่างๆ

2. **เครื่องควบแน่น (Condenser)** ทำหน้าที่ระบายความร้อนสารทำความเย็นหลังผ่านการอัดจากเครื่องอัด ซึ่งสารทำความเย็นดังกล่าวจะมีสถานะเป็นไอความดันสูง อุณหภูมิสูง เมื่อผ่านเครื่องควบแน่นจะมีอุณหภูมิลดต่ำลงและกลั่นตัวเป็นของเหลวที่อยู่ภายใต้ความดันสูง ซึ่งแบ่งประเภทเครื่องควบแน่นได้ 3 แบบคือ 1) แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled) 2) แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled) 3) แบบระเหยตัวของน้ำ (Evaporative Condenser) ปัจจัยสำคัญในการเลือกขึ้นกับวัสดุที่ใช้และขนาด ยิ่งมีขนาดใหญ่จะสามารถควบแน่นได้ดีซึ่งหมายถึงความดันควบแน่นในการทำงานก็จะต่ำลงด้วยส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น อย่างไรก็ตามราคาจะสูงขึ้นเป็นสัดส่วนกับขนาดของเครื่องควบแน่นด้วย



ก) ระบายความร้อนด้วยอากาศ



ข) ระบายความร้อนด้วยน้ำ



ค) แบบระเหยตัว

รูปที่ 2-8.5 เครื่องควบแน่นแบบต่างๆ

3. ถังเก็บสารทำความเย็น (Receiver Tank) ทำหน้าที่กักเก็บ พัก แยกสารทำความเย็นในสถานะไอกับของเหลวของสารทำความเย็น มีทั้งถังพักด้านความดันสูงและถังพักด้านความดันต่ำ จะจำเป็นอย่างมากในการใช้ร่วมกับระบบลดอุณหภูมิแบบ Flooded Coil และระบบเครื่องทำความเย็นแบบรวมศูนย์ โดยทำงานร่วมกับเครื่องระเหยหลายชุด หรือมีการใช้งานที่อุณหภูมิแตกต่างกัน ซึ่งในบางช่วงเวลาจะมีความต้องการใช้สารทำความเย็นปริมาณมากจึงจำเป็นต้องมีถังเก็บสารทำความเย็นที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้เพียงพอกับเครื่องระเหยหลายชุด

4. ลิ้นลดความดัน (Expansion Valve) หรือ วาล์วควบคุมการไหลของสารทำความเย็น ทำหน้าที่ลดความดันสารทำความเย็นจากสถานะของเหลวจากถังเก็บสารทำความเย็นให้ลดต่ำลงเพื่อส่งเข้าสู่เครื่องระเหยต่อไป โดยลิ้นลดความดันจะนิยมใช้กับระบบทำความเย็นที่มีขนาดเล็กควบคุมอุณหภูมิการทำงานโดยอาศัยการเดิน-หยุดของเครื่องอัด หากเป็นระบบขนาดใหญ่จะต้องใช้การควบคุมอัตราการไหลของสารทำความเย็นที่เข้าสู่เครื่องระเหยให้เพียงพอกับความต้องการในการทำความเย็นหรือควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ

5. เครื่องระเหย (Evaporator) ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างวัตถุหรือผลิตภัณฑ์กับสารทำความเย็น โดยเมื่อสารทำความเย็นเหลวถูกลดความดันลงจะดูดความร้อนจากบริเวณโดยรอบเครื่องระเหยเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ จึงส่งผลให้อุณหภูมิในบริเวณที่ต้องการลดต่ำลง และโดยปกติการดึงความร้อนระหว่างผลิตภัณฑ์กับเครื่องระเหยมักไม่สามารถทำได้โดยตรงจึงมักจะมีสารทุติยภูมิเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสม เช่น อากาศที่อาศัยการเคลื่อนที่ด้วยพัดลมในห้องเย็น หรือชั้นโซว์อาหารในซูเปอร์มาเก็ต ในการนำความเย็นไปใช้นั้นมีหลายลักษณะ ซึ่งจะได้กล่าวไว้ในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 2-8.6 เครื่องระเหยสารทำความเย็น

(2) ระบบทำความเย็นและระบบแช่แข็งในอุตสาหกรรมมีแบบใดบ้าง?

หากแยกระบบทำความเย็นตามลักษณะของการนำความเย็นไปใช้ประโยชน์ แบ่งได้ดังนี้

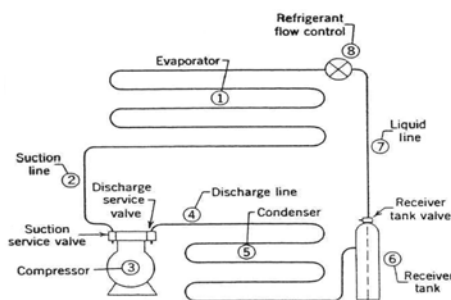
ห้องเย็น (Cool Room) นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมอาหารหมายถึงห้องซึ่งได้รับการควบคุมอุณหภูมิ ตลอดจนความชื้นที่เหมาะสมกับสินค้าที่จะจัดเก็บ ซึ่งช่วยชะลอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และแบคทีเรีย

ห้องแช่แข็ง (Frozen Room) จะเป็นห้องที่ใช้ลดอุณหภูมิของสินค้าในระยะเวลาอันสั้น ตามหลักการถนอมอาหาร เช่น กุ้ง อุณหภูมิเริ่มต้น 5°C จะลดจนถึง -18°C ภายใน 10 ชั่วโมง หลักการออกแบบห้องเย็นทุกประเภท จะคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้

- อุณหภูมิและหมุนเวียนอากาศสม่ำเสมอทั่วห้อง
- การควบคุมความชื้นได้ตามกำหนด
- การเคลื่อนไหวของลมเย็นไม่กระทบต่อการทำงานของคนในห้อง
- มีการระบายอากาศที่เหมาะสม
- อุณหภูมิของสินค้าที่จะเข้าเก็บในห้องเย็น
- ระยะเวลาในการเก็บ
- อุณหภูมิของสินค้าที่จะออกจากห้องเย็น

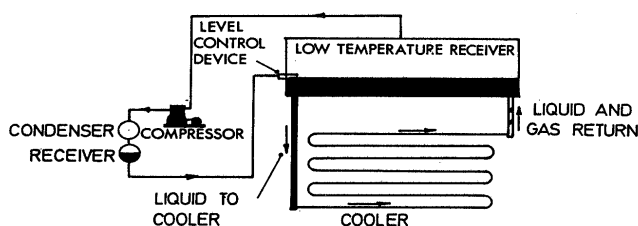
ในการลดอุณหภูมิมีอยู่หลายวิธี อาจจะใช้กับสารทำความเย็นที่ใช้มีทั้งแบบฟรอน (Freon R12, R22, R502) และ แอมโมเนีย (Ammonia: R717) สารแอมโมเนียมีการใช้มากที่สุดเพราะราคาถูกได้คุณภาพความเย็นต่อหน้าหนักมาก แต่มีข้อเสียคือเป็นสารพิษผู้ติดตั้งต้องมีความชำนาญเป็นพิเศษ ส่วน R12, R502 จะมีผลต่อปฏิกิริยาเรือนกระจก ส่วน R22 ยังมีการใช้อยู่ แต่จะถูกแทนที่โดยสารทำความเย็นที่ปราศจากคลอรีนในอนาคต โดยกรรมวิธีในการทำความเย็นจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบเครื่องระเหยหรือโดยทั่วไปเรียกว่า คอลล์เย็น (Evaporator) และระบบส่งสารทำความเย็นให้แก่คอลล์เย็น โดยแยกได้เป็นแบบต่างๆ ดังนี้

แบบขยายโดยตรง (Direct Expansion) เป็นระบบซึ่งสารทำความเย็นจะส่งจากคอลล์ร้อน (Condenser) หรือถึงพักความดันสูง ผ่านวาล์วลดความดัน (Expansion Valve) เข้าสู่คอลล์เย็นโดยตรง ดังรูป 2-8.7 ระบบขยายโดยตรงระบบนี้เหมาะสำหรับห้องเก็บหรือห้องเย็นที่มีปริมาณการถ่ายรับความร้อนไม่มาก ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมใช้กันมากทำให้คอลล์เย็นชนิดนี้มีขายทั่วไปในท้องตลาด



รูปที่ 2-8.7 วงจรระบบขยายตัวโดยตรง

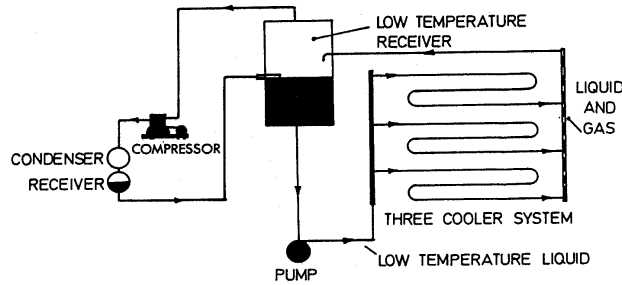
แบบท่วมคอลล์ (Flooded Coil) เป็นระบบซึ่งสารทำความเย็นส่งจากคอลล์ร้อนหรือถึงพักความดันสูงผ่านวาล์วลดความดันสู่ถังเก็บความดันต่ำก่อน จากนั้นสารทำความเย็นจากถังความดันต่ำจะไหลเข้าคอลล์เย็นโดยอาศัยการที่ของเหลวไหลไปแทนที่ก๊าซ ดังรูปที่ 2-8.8 คอลล์เย็นสำหรับระบบนี้จะต้องมีปริมาตรของท่อซึ่งบรรจุสารทำความเย็นมากกว่าระบบขยายโดยตรง เพราะจะต้องมีที่สำหรับให้ก๊าซของสารทำความเย็นแยกตัวออก และลอยตัวขึ้นจากคอลล์เย็น



รูปที่ 2-8.8 วงจรระบบท่วมคอลล์

แบบปั๊มหมุนเวียน (Pump Recirculation) เป็นระบบคล้ายกับระบบท่วมคอลล์ยกเว้นสารทำความเย็นจากถังความดันต่ำจะถูกปั๊มเข้าสู่คอลล์เย็น ทำให้ประสิทธิภาพในการถ่ายรับความร้อนได้มากขึ้นกว่าระบบท่วมคอลล์ โดยอัตราการ

ไหลของสารทำความเย็นผ่านคอลล์เย็นจะต้องอยู่ในช่วง 3-5 เท่าของปริมาตรการกลายเป็นไอ โดยคำนวณจากปริมาณความเย็นที่ต้องการ ดังรูป 2-8.9



รูปที่ 2-8.9 วงจรระบบปั๊มหมุนเวียน

ระบบความเย็นที่กล่าวมาในข้างต้น สามารถนำมาใช้ในการให้ความเย็นกับวัตถุดิบที่ต้องการลดอุณหภูมิโดยวิธีที่ใช้กันแพร่หลายมีดังนี้

➤ ระบบลดอุณหภูมิแบบ Sharp Freezer คือ ภายในห้องเย็นจะมีชุดท่อความเย็นหลายๆ ชั้น การใช้งานจะนำวัตถุดิบมาวางบนชุดท่อเย็นนี้ วัตถุดิบด้านที่สัมผัสกับชุดท่อจะเย็นเร็วและแข็งตัวเร็วกว่าอีกด้านหนึ่ง เป็นวิธีที่ค่อนข้างโบราณ มีข้อดีคือ มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาไม่สูงนัก แต่มีข้อเสียคือ น้ำแข็งเกาะชุดท่อได้ง่าย ใช้เวลาในการแช่หวน 8-10 ชั่วโมง และต้องเสียเวลาในการจัดเรียงวัตถุดิบบนชุดท่อดังกล่าว เหมาะกับการแช่แข็งผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างไม่แน่นอนครั้งละมากๆ



รูปที่ 2-8.10 การลดอุณหภูมิแบบ Sharp Freezer

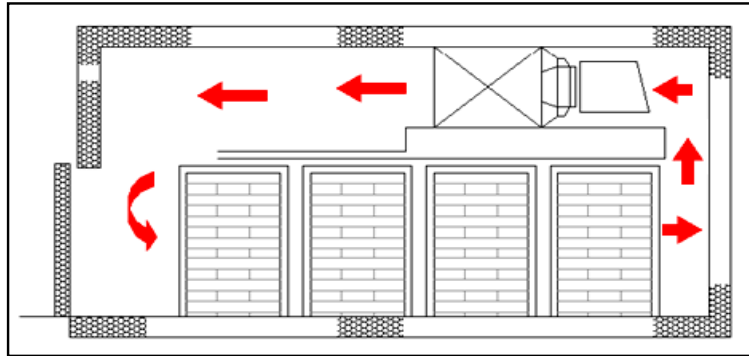
➤ ระบบลดอุณหภูมิแบบ Contact Freezer มีทั้งแบบ Plate และ Block Freezer คือ วัตถุดิบที่จะทำการแช่แข็งจะวางบนชั้น ซึ่งชั้นทุกชั้นทำหน้าที่เป็นคอลล์เย็น เมื่อวางวัตถุดิบจนเต็มแล้วระบบไฮโดรลิคจะทำการกดแผ่นโลหะด้านบนลงมาสัมผัสกับวัตถุดิบ เพื่อให้ความเย็นทั้งสองด้าน จะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าแบบ Sharp Freezer แต่มีข้อจำกัดคือ ผลิตภัณฑ์ที่แช่แข็งจะต้องมีขนาดและรูปร่างสม่ำเสมอ นิยมทำเป็นตู้มากกว่าทำเป็นห้องเย็นขนาดใหญ่ ใช้เวลาในการแช่แต่ละครั้งไม่เกิน 4 ชั่วโมง ดังนั้น การถ่ายเทความร้อนระหว่างคอลล์เย็นและวัตถุดิบจะเป็นโดยการนำความร้อนโดยตรง ดังรูป 2-8.11



รูปที่ 2-8.11 การลดอุณหภูมิแบบ Contact Freezer

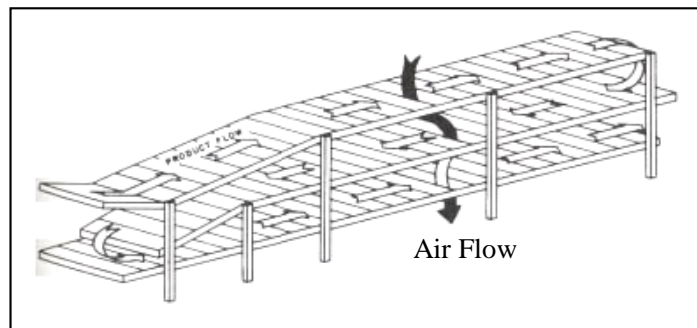
➤ ระบบลดอุณหภูมิแบบ Air Blast Freezer คือ กรรมวิธีการลดอุณหภูมิโดยที่วัตถุดิบจะถูกบรรจุภายในห้อง ซึ่งลมเย็นพัดผ่านวัตถุดิบนั้น โดยทั่วไปวัตถุดิบจะถูกบรรจุจนเต็มห้องและถูกทำให้ลดอุณหภูมิในคราวเดียวกัน ข้อกำหนดการออกแบบ คือ 1) ความเร็วลมผ่านวัตถุดิบมากกว่า 3 เมตร/วินาที 2) ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่ผิวของวัตถุดิบประมาณ $38 \text{ W/m}^2\text{-K}$ 3) ปริมาณลม 1-3 ลิตร/วินาที-กิโลกรัมของวัตถุดิบ การแข่งขันวิธีนี้แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้อีกดังนี้

Tunnel Freezer วัตถุดิบจะถูกเรียงใส่ถาดหรือรถเข็น วิธีนี้จะต้องมีช่องว่างระหว่างวัตถุดิบเพื่อให้มีที่ว่างสำหรับลมพัดผ่านใช้เวลาในการแช่แข็งประมาณ 4-6 ชั่วโมง



รูปที่ 2-8.11 การลดอุณหภูมิแบบ Air Blast Freezer ในลักษณะ Tunnel Freezer

Belt Freezer เหมาะสำหรับการแช่แข็งแบบแยกเป็นชิ้น/ตัว หรือที่เรียกว่า IQF (Individual Quick Freezing) โดยที่วัตถุดิบที่จะทำการแช่แข็งจะถูกลำเลียงเข้าห้องโดยสายพานลำเลียง มักจะใช้กับผัก และผลไม้ หรือวัตถุดิบที่ใช้เวลาในการแช่แข็งตัวไม่มากกว่า 30 นาที ดังรูป 2-8.12

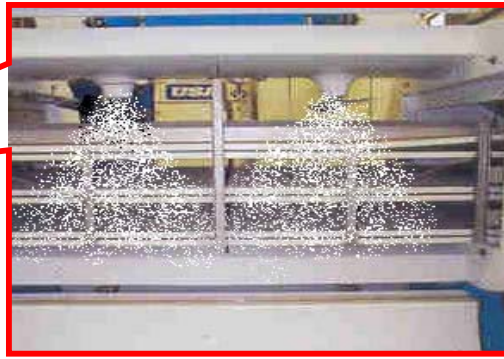
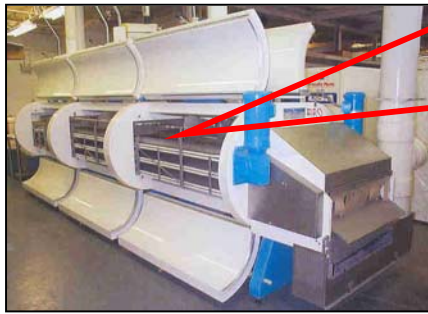


รูปที่ 2-8.12 การลดอุณหภูมิแบบ Air Blast Freezer ในลักษณะ Belt Freezer

Fluidized Bed Freezer ลักษณะเหมือน Belt Freezer แต่แตกต่างตรงที่สายพานจะสั้นสะเทือนตลอดเวลา ทำให้สิ่งของที่วางไม่ติดกับสายพาน วิธีนี้เหมาะกับวัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ถือว่าเป็น IQF

ข้อดีของ Air Blast สามารถผลิตผลิตภัณฑ์แบบ IQF และใช้เวลาในการแช่แข็งสั้น ส่วนข้อเสียคือ หากไม่มีการบรรจุหีบห่อก็จะสูญเสียน้ำหนัก เพราะมีการระเหยของไอน้ำออกจากผลิตภัณฑ์

➤ ระบบลดอุณหภูมิแบบ Cryogenic Freezer การแช่แข็งแบบนี้อาศัยสารที่มีจุดเดือดต่ำและไม่ปนเปื้อนกับผลิตภัณฑ์ สารที่นิยมใช้คือไนโตรเจนเหลว(จุดเดือด-196°C)และคาร์บอนไดออกไซด์ (จุดเดือด -78°C) ลักษณะระบบนี้เหมือนกับ Air Blast ชนิดสายพาน ในการแช่แข็งจะมีการพ่นสารทำความเย็นเหลวมาสัมผัสกับผลิตภัณฑ์แทนการใช้ลมเย็นเป่า ผิวด้านนอกผลิตภัณฑ์จะแข็งตัวอย่างรวดเร็ว บางครั้งอาจมีการแตกร้าวของผิวได้ง่าย วิธีนี้ไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่น เพราะทำให้สิ้นเปลืองสารทำความเย็นมากขึ้น



รูปที่ 2-8.13 การลดอุณหภูมิแบบ Cryogenic Freezer

ตารางที่ 2-8.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของเครื่องแช่แข็งชนิดต่างๆ

ชนิดเครื่องแช่แข็ง	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (W/m ² K)
Contact Freezer	100-1,000
Tunnel Freezer	15-50
Belt Freezer (Spiral Freezer)	35-40
Evaporating Liquid / Solid Freezer	140-280

ตารางที่ 2-8.3 แสดงลักษณะเฉพาะที่เหมาะสมในการใช้งานของเครื่องแช่แข็งชนิดต่างๆ

ชนิดของเครื่องแช่แข็ง	ชื่อเรียกผลิตภัณฑ์	ลักษณะการผลิต
1.Contact Freezer	Block	<ul style="list-style-type: none"> - วัตถุดิบที่มีเปียก (Wet product) - สินค้าที่ได้ทำ Pre-Packaged - สินค้าที่มีราคาไม่สูงนัก - วัตถุดิบที่มีขนาดไม่หนามากนัก - อัตราการผลิตปานกลาง - วัตถุดิบจำพวก ปลา ปลาหมึก กุ้ง ชูรุมิ กุ้ง
2.Air Blast Freezer 2.1 Tunnel	IQF	<ul style="list-style-type: none"> - วัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก บาง - สินค้าที่ได้ทำ Pre-Packaged - อัตราการผลิตต่ำ - วัตถุดิบจำพวก ปลา ปลาหมึก กุ้ง สินค้ามูลค่าเพิ่ม
2.2 Belt	IQF	<ul style="list-style-type: none"> - วัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก บาง - อัตราการผลิตต่ำ - วัตถุดิบจำพวก ปลา ปลาหมึก กุ้ง สินค้ามูลค่าเพิ่ม
2.3 Fluidization	IQF	<ul style="list-style-type: none"> - วัตถุดิบที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักน้อย - อัตราการผลิตสูงกว่าและราคาเครื่องสูงกว่า Tunnel และ Belt
3.Cryogenic	IQF	<ul style="list-style-type: none"> - สินค้าที่มีมูลค่าสูง - สินค้าที่มีอัตราการสูญเสีย (Dehydration) สูง - สินค้าที่ได้ทำ Pre-Packaged - อัตราการผลิตสูง - วัตถุดิบจำพวก กุ้ง สินค้าที่มีมูลค่าสูง

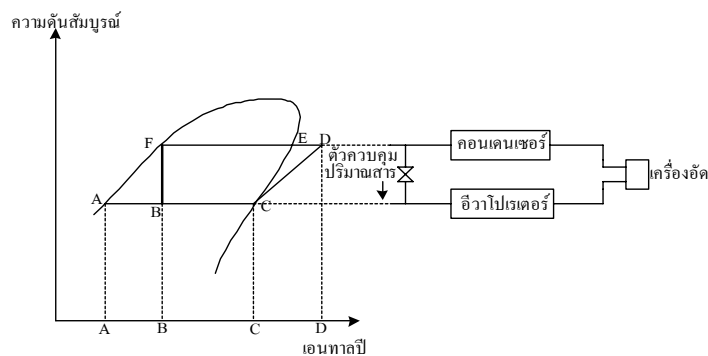
(3) การหาสมรรถนะของระบบทำความเย็นทำอย่างไร?

สัมประสิทธิ์สมรรถนะการทำความเย็น (Coefficient of Performance: COP) หมายถึง ปริมาณความเย็นที่ทำได้(Q) เทียบกับพลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์(W) โดยจะเกี่ยวข้องกับแผนภูมิความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็น(P-H diagram) แผนภูมิความดัน-เอนทาลปีของสารทำความเย็นแต่ละชนิด เช่น R-12, R-22, R-502 หรือ R-717 จะคล้ายกันแต่ใช้แทนกันไม่ได้ ไขว้วิเคราะห์หรือออกแบบเครื่องทำความเย็นทำให้ทราบถึงภาวะของอุปกรณ์ในระบบ โดยแผนภูมิความดัน-เอนทาลปีใช้สำหรับการออกแบบระบบเมื่อใช้สารทำความเย็นที่มีน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ดังนั้นเมื่อต้องการปรับลด/เพิ่ม ขนาดการทำความเย็นก็สามารถทำได้โดยลด/เพิ่มปริมาณสารทำความเย็นเพื่อใช้งานตามต้องการ ในการหาค่า COP เราควรเก็บข้อมูล 4 ค่า คือ

1. ชนิดน้ำยาสารทำความเย็น
2. ความดันทางด้านออกของเครื่องอัด (ความดันอิ่มตัว)
3. ความดันทางด้านดูดของเครื่องอัด (ความดันอิ่มตัว)
4. กำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดใช้งาน

จากค่าความดันด้านสูงและความดันด้านต่ำ เรานำไปกำหนดลงในแผนภูมิความดัน-เอนทาลปีของสารและหาค่าอื่นๆ ตามขั้นตอนดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1. ลากเส้นความดันสูง FE และความดันต่ำ AC ลงบน P-H diagram
- ขั้นตอนที่ 2. จากจุด F ลากเส้นลงมาตรงๆ (ตามเส้นอุณหภูมิคงที่) ตัดกับเส้น AC ที่ B
- ขั้นตอนที่ 3. จากจุด C ลากเส้นตามเส้นเอนโทรปี (S) คงที่ ตัดกับเส้นความดัน FE ที่จุด D



รูปที่ 2-8.14 แสดงอุปกรณ์กับจุดต่างๆในแผนภูมิความดัน-เอนทาลปี

การวิเคราะห์ระบบทำความเย็นโดยแผนภูมิความดัน-เอนทาลปี

สามารถหาค่าเอนทาลปี (h) ซึ่งเป็นค่าความร้อนใช้งานในแต่ละอุปกรณ์ของระบบทำความเย็นดังนี้

- $$h_c - h_b = \text{ความเย็นที่อีวาโปเรเตอร์ทำได้ต่อ 1 kg สารทำความเย็น}$$
- $$h_d - h_c = \text{กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้งานต่อ 1 kg สารทำความเย็น}$$
- $$h_d - h_f = \text{ความร้อนที่คอนเดนเซอร์ระบายออกไปจากระบบต่อ 1 kg สารทำความเย็น}$$

$$\text{และ } COP = \frac{h_c - h_b}{h_d - h_c} = \frac{\text{ความเย็นที่ระบบทำได้}(Q)}{\text{กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้งาน}(W)} \quad (2-8.1)$$

$$= \frac{\overset{\circ}{m} \cdot (h_c - h_b)}{\overset{\circ}{m} \cdot (h_d - h_c)} \quad (2-8.2)$$

โดย $\overset{\circ}{m}$ = อัตราการไหลของสารทำความเย็น kg/sec

ข้อควรสังเกต

1. จากแผนภูมิความดัน-เอนทาลปีรูปสามเหลี่ยม ABF บอกสภาพไอที่เกิดจากการขยายตัวของสารทำความเย็นขณะผ่านตัวควบคุมปริมาณสารทำความเย็น ถ้าเราสามารถทำให้จุด F อยู่ในสภาวะ Sub Cooled Liquid จะสามารถเพิ่มความเย็นที่อิวาโปรเตอร์ได้ และค่า COP จะสูงขึ้นด้วย

2. ถ้าสามารถลดความดัน FED ลงได้กำลังไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์จะลดลง

3. จุด C เป็นสภาวะไออิ่มตัว และเป็นตำแหน่งปลายสุดของอิวาโปรเตอร์ บางครั้งอาจมีโอกาที่จุด C จะมีของเหลวหลงเหลืออยู่ ถ้าคอมเพรสเซอร์ซึ่งมีหน้าที่อัดไอต้องอัดไอเปียกจะเกิดความเสียหายต่อคอมเพรสเซอร์มาก จึงควรทำสภาวะที่จุด C ให้เป็นไอร้อนยิ่งยวด (Superheated Vapor) เล็กน้อย

4. ความต้องการในข้อ 1 และข้อ 3 สามารถนำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมาสร้างภาวะ Sub Cooled และ Superheated ได้อย่างสอดคล้องกัน

การหาค่า h_c , h_f และ h_b หาได้โดยใช้ตารางคุณสมบัติสารน้ำยาที่สภาวะของเหลวและไออิ่มตัว สำหรับ h_D จะใช้ตารางหรือกราฟของ Superheated Vapor ดังรายละเอียดดังนี้

- h_c เปิดตารางสารน้ำยาที่ความดันด้านต่ำ และใช้ช่อง h_g เนื่องจากเป็นสภาวะไออิ่มตัว

- h_f เปิดตารางสารน้ำยาที่ความดันด้านสูง และใช้ช่อง h_f เนื่องจากเป็นสภาวะของเหลวอิ่มตัว และ $h_f = h_b$ เนื่องจากเป็นกระบวนการลดความดันโดยค่าเอนทาลปีคงที่

- h_D สามารถพิจารณาโดยใช้แผนภูมิหรือตารางของ Superheated Vapor ของสารทำความเย็นซึ่งจากตารางจะใช้หลักเอนโทรปีที่จุด C เท่ากับเอนโทรปีที่จุด D และเปิดที่ความดันด้านสูงจะได้ h_D หรือถ้าใช้กราฟให้กำหนดจุด C ก่อน จากนั้นลากเส้นเอนโทรปีที่ C ไปตัดกับเส้นความดันด้านสูง FE จะได้จุด D ซึ่งสามารถอ่านค่า h_D ได้

ตัวอย่างข้อมูลการตรวจวัดและหาค่า COP

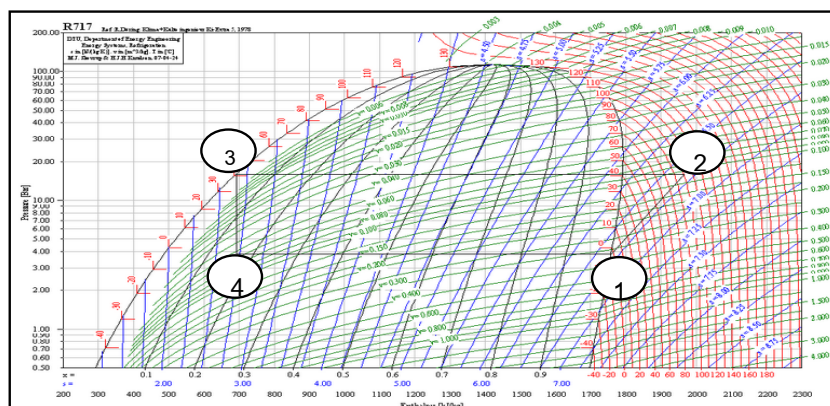
ชนิดสารน้ำยา = R-717 (แอมโมเนีย)

ความดันเฉลี่ยด้านดูด = 2.8 Bar (g)

(ความดันสัมบูรณ์ = $P_g + P_{atm}$: เมื่อ $P_{atm} = 1.013$ บาร์) = 3.813 Bar (abs)

ความดันเฉลี่ยด้านจ่าย = 15 Bar (g) = 16.013 Bar (abs)

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์ = 114 kW



รูปที่ 2-8.15 แผนภูมิความดัน-เอนทาลปีสารทำความเย็น R-717 (แอมโมเนีย)

การคำนวณ

จากข้อมูลการตรวจวัด สามารถนำไปหาค่าเอนทาลปี h ของน้ำยาแอมโมเนียที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

- ตำแหน่ง 1 เป็นตำแหน่งไออีเอ็มตัว หาจก h_g ที่ความดัน 3.813 บาร์ จะได้ $h_1 = 1,758$ kJ/kg
- ตำแหน่ง 2 เป็นตำแหน่งของไอยิ่งยวด จึงหา h โดยลากเส้นเอนโทรปีที่ตำแหน่ง 1 ไปตัดเส้นความดันที่ 16.013 บาร์จะได้ $h_2 = 1,967$ kJ/kg

- ตำแหน่ง 3 เป็นตำแหน่งของเหลวอีเอ็มตัว หาจก h_f ที่ความดัน 16.013 บาร์ จะได้ $h_3 = 692$ kJ/kg
- ตำแหน่ง 4 เป็นกระบวนการเอนทาลปีคงที่ จึงได้ $h_4 = h_5 = 692$ kJ/kg

$$\text{COP} = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1) = (1,758 - 692) / (1,967 - 1,758) = 5.10$$

หรือ พิจารณาได้ในรูปของดัชนีการใช้พลังงาน kW/TR

$$\text{kW} / \text{TR} = [\text{COP} \times 3.14 \times (1,000 / 12,000)]^{-1} = 0.75$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ความเย็นที่ระบบทำได้} &= \text{COP} \times \text{กำลังไฟฟ้าที่คอมเพรสเซอร์ใช้งาน} = 5.10 \times 114 \\ &= 581.4 \text{ kW}_{\text{th}} = 165.31 \text{ ตันความเย็น} \end{aligned}$$

(หน่วยความเย็น 1 ตันความเย็น = 12,000 Btu / hr = 3.517 kW_{th})

เราสามารถจะวิเคราะห์ระบบได้แม่นยำมากยิ่งขึ้นถ้าเราสามารถทราบถึงอุณหภูมิที่จุดต่างๆ เพื่อกำหนดเข้าไปในแผนภูมิความดัน-เอนทาลปีจะได้วัฏจักรของระบบที่ทำงานเป็นจริงมากยิ่งขึ้น

เครื่องทำความเย็นที่ประหยัดพลังงานจะต้องมีค่า COP สูง แปรเปลี่ยนตามสภาวะการออกแบบ สภาวะการทำงาน และสภาวะการใช้งานของเครื่อง ผู้ออกแบบเครื่อง สร้างเครื่อง ทำการบำรุงรักษาและใช้เครื่องจึงเกี่ยวข้องกับค่า COP ปัจจัยทางปฏิบัติ ที่มีผลต่อ COP มีดังนี้

ตารางที่ 2-8.4 การออกแบบและการใช้งานเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน

ผู้ออกแบบระบบ	ผู้ใช้งานและบำรุงรักษาระบบ
1) ออกแบบเครื่องให้มีอุณหภูมิทำความเย็นสูงที่สุดเท่าที่ทำได้ แต่อุณหภูมิยังคงต่ำพอที่จะใช้งานนั้นๆ ได้ดี 2) เพิ่มความสามารถถ่ายเทความร้อนของอีวาโปเรเตอร์ - เพิ่มพื้นที่ถ่ายเทความร้อน - เพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน - เพิ่มอุณหภูมิทำความเย็น 3) เพิ่มความสามารถของคอนเดนเซอร์ - เพิ่มพื้นที่ระบายความร้อน - เพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน - ใช้สารระบายความร้อนคอนเดนเซอร์ที่มีอุณหภูมิต่ำ(น้ำมีอุณหภูมิต่ำกว่าอากาศ) 4) ลดแรงเสียดทานการไหลของสารทำความเย็นในอีวาโปเรเตอร์ และในระบบท่อความดันต่ำ 5) ลดแรงเสียดทานการไหลของสารทำความเย็นในคอนเดนเซอร์ และในระบบท่อความดันสูง 6) ออกแบบให้สารทำความเย็นไหลในระบบให้มีปริมาณที่เหมาะสม	1) ปรับตั้งอุณหภูมิทำความเย็นให้สูงเท่าที่ทำได้ แต่อุณหภูมิยังคงต่ำพอที่จะใช้งานนั้นๆ ได้และไม่มีผลเสียต่อเครื่อง 2) คงระดับความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของอีวาโปเรเตอร์ให้สูงตลอดเวลาโดย - ล้างทำความสะอาด - หวีครีป (Fin) ที่ลัมให้เป็ระเบียบ - ป้องกันลมรั่วหรือลัดวงจร - ถายน้ำมันหล่อลื่นที่สะสมในอีวาโปเรเตอร์ 3) คงระดับสภาพการระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ให้สูงตลอดเวลาโดย - ล้างทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ - หวีครีป (Fin) ระบายความร้อนที่ลัมให้เป็นระเบียบ(กรณีระบายความร้อนด้วยอากาศ) - ป้องกันลมรั่วหรือลัดวงจร - บำรุงรักษาหอน้ำเข้าเย็นให้มีความสามารถในการระบายความร้อนสูง 4) ตรวจสอบปริมาณของสารทำความเย็นในระบบ 5) ถ่ายอากาศในระบบออก (Air Bleed)

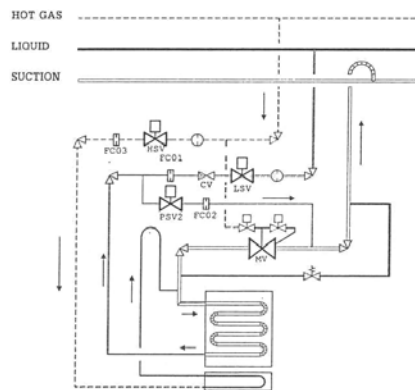
(4) ระบบการละลายน้ำแข็ง (Defrost) ในอุตสาหกรรมมีแบบใดบ้าง ?

หากต้องการใช้งานอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C ที่ความดันบรรยากาศ ซึ่งที่อุณหภูมินี้จะมีสถานะเป็นน้ำแข็ง เมื่อน้ำ วัตถุติดหรือผลิตภัณฑ์เข้ามารักษารักษาอุณหภูมิ ก็จะมีน้ำแข็งขึ้นระเหยจากผิวสู่บรรยากาศ นอกจากนี้ยังมีความชื้นจากบรรยากาศภายนอกอันเนื่องมาจากการเปิด-ปิดประตูบ่อย ความชื้นเหล่านี้เมื่อได้รับความเย็นจากส่วนทำความเย็นก็จะกลายเป็นน้ำแข็ง เกาะส่วนทำความเย็น ซึ่งจะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนภายในห้องเย็นลดลง ส่งผลให้ไม่สามารถทำอุณหภูมิในห้องทำความเย็นได้ตามค่าที่ต้องการ จึงต้องมีการละลายน้ำแข็งที่เกาะส่วนทำความเย็นนี้ทิ้ง วิธีการละลายน้ำแข็งที่ง่ายที่สุดคือ การปิดระบบทำความเย็น แต่ในทางปฏิบัติเราไม่สามารถปิดระบบทำความเย็นได้ จึงต้องดำเนินวิธีการต่างๆ ดังนี้

1. การละลายน้ำแข็งด้วยน้ำ (Water Defrost) โดยการฉีดน้ำอุ่นเข้าไปภายในห้องเย็นอย่างรวดเร็ว และฉีดหลายๆ จุดโดยก่อนฉีดจะต้องปิดเครื่อง และต้องคำนึงถึงท่อระบายทิ้งต้องเหมาะสมกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการละลายน้ำแข็งรวมกับน้ำแข็งที่ละลายออกจากส่วนทำความเย็น ใช้เวลา 5-10 นาที การทำงานสามารถควบคุมได้โดยผู้ใช้งานหรือแบบอัตโนมัติโดยใช้อุปกรณ์ตั้งเวลา (Timer)

2. การละลายน้ำแข็งไฟฟ้า (Heater Defrost) วิธีนี้มักใช้ในการละลายน้ำแข็งสำหรับการทำความเย็นแบบครบโดยใช้ชุดลดความร้อน(Heater) การทำงานสามารถควบคุมได้โดยผู้ใช้งานหรือแบบอัตโนมัติโดยใช้อุปกรณ์ตั้งเวลาปรับตั้งให้ระบบทำงานได้เอง

3. การละลายน้ำแข็งด้วยก๊าซร้อน (Hot Gas Defrost) วิธีนี้จะนำความร้อนจากสารทำความเย็นที่ผ่านเครื่องอัดเข้าไปยังส่วนทำความเย็นแทนที่สารทำความเย็นเหลวที่ผ่านการระบายความร้อนมาแล้ว เป็นวิธีที่เหมาะสม ประสิทธิภาพในการละลายดี รวดเร็วและสิ้นเปลืองพลังงานต่ำที่สุด ดังรูปที่ 2-8.16



รูปที่ 2-8.16 ระบบละลายน้ำแข็งด้วยก๊าซร้อน

ถึงแม้ว่าการละลายน้ำแข็งโดยวิธีที่กล่าวข้างต้นเป็นการเพิ่มภาระการทำงานของระบบการทำความเย็น แต่ก็มี ความจำเป็นเพราะถ้าไม่มีการละลายน้ำแข็งก็จะทำให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของส่วนทำความเย็นลดลง ส่งผลให้ไม่สามารถรักษารักษาอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ อันจะส่งผลต่อผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังทำให้เครื่องอัดสารทำความเย็น และใช้พลังงานสิ้นเปลืองมากขึ้นด้วย และที่สำคัญในการใช้ระบบละลายน้ำแข็งแบบต่างๆ คือ ความเหมาะสมของเวลาในการละลายน้ำแข็ง ซึ่งหากมากเกินไปจะเป็นการเพิ่มภาระความร้อนกับห้องเย็นได้ แต่ถ้าเวลาน้อยเกินไปน้ำแข็งที่เกาะติดอยู่อาจละลายไม่หมดเช่นกัน

2-8.3 เราจะเลือกระบบทำความเย็นให้เหมาะสมได้อย่างไร?

(1) ระบบทำความเย็นแต่ละแบบเหมาะกับงานในอุตสาหกรรมประเภทใด?

ตารางที่ 2-8.5 การใช้ระบบทำความเย็นแต่ละแบบในอุตสาหกรรม

ระบบทำความเย็น	ลักษณะ / อุตสาหกรรมในการใช้งาน
Direct Expansion	<ul style="list-style-type: none"> - นิยมใช้กับระบบทำความเย็นที่มีขนาดการทำความเย็นไม่มากนัก - ส่วนใหญ่มักเป็นระบบแบบ Individual Unit - การใช้งานได้แก่ ห้องเย็นขนาดเล็ก ตู้แช่โชว์สินค้าตามห้างสรรพสินค้า
Flood Coil	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้กับระบบทำความเย็นที่มีขนาดการทำความเย็นสูง - การใช้งานเป็นแบบรวมศูนย์ ซึ่งมีช่วงอุณหภูมิในการทำงานไม่กว้างมาก - การใช้งานได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตน้ำแข็งของ น้ำแข็งหลอด
Pump Recirculation	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้กับระบบทำความเย็นที่มีขนาดการทำความเย็นสูง - การใช้งานเป็นแบบรวมศูนย์ ซึ่งมีระดับอุณหภูมิในการทำงานกว้างมากหลายระดับอุณหภูมิ เช่น ห้องเย็น 0, -18, -30 °C เป็นต้น - ใช้งานกับระบบที่มีเครื่องระเหยหลายๆ ชุด - การใช้งานได้แก่ อุตสาหกรรมอาหาร ห้องเย็น แช่แข็ง

(2) การพิจารณาเลือกใช้สารทำความเย็นอย่างไรให้เหมาะสม?

ในการเลือกใช้ต้องเลือกให้เหมาะสมสำหรับงานแต่ละประเภทและมีความปลอดภัย ควรพิจารณาดังนี้

- ไม่เป็นพิษ ไม่เป็นอันตรายต่อระบบหายใจและผิวหนังของมนุษย์
- ไม่ติดไฟ และไม่กัดกร่อน ความดันทำงานไม่สูงเกินไป
- หากมีการรั่วไหลสามารถทราบได้ทันทีหรือตรวจสอบได้ง่ายและไม่ปนเปื้อนกับสิ่งบริโภคน
- ขณะอยู่ในสภาพแก๊สต้องมีเสถียรภาพคงที่ และขณะอยู่ในสภาพของเหลวต้องไหลง่าย
- ค่าความร้อนแฝงต่อหน่วยน้ำหนักสูง

สารทำความเย็นมีหลายชนิด สารในกลุ่ม CFCs (Chlorofluorocarbons) มีผลทำลายบรรยากาศชั้นโอโซน จึงมีการพัฒนาสารทำความเย็นที่ทำลายสิ่งแวดล้อมน้อยหรือ HCFCs (Hydrochlorofluorocarbons) ในปัจจุบันสารทำความเย็นทั้งสองกลุ่มถูกให้ลดปริมาณการใช้และจะถูกยกเลิกการใช้ในอนาคต

ตารางที่ 2-8.6 แสดงชนิด คุณสมบัติ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารทำความเย็น

สารทำความเย็น	ชื่อทางเคมี	สูตรทางเคมี	ODP ¹	GWP ²
R-11	Trichloromonofluoromethane	CCl ₃ F	1.0	1.0
R-12	Dichlorodifluoromethane	CCl ₂ F ₂		
R-22	Monochlorodifluoromethane	CHClF ₂	0.05	0.34
R-134a			0	0.34
R-290	Propane	CH ₃ CH ₂ CH ₃	0	0
R-500	Azeotropic Mixture Refrigerant R-12/R-152a 78.3/26.2 wt%	CCl ₂ F ₂ /CH ₃ CHF ₂		
R-502	Azeotropic Mixture Refrigerant R-22/R-115 48.8/51.2 wt%	CHClF ₂ /CClF ₂ CF ₃		
R-717	Ammonia	NH ₃	0	0

หมายเหตุ

¹ ODP: Ozone Depression Potential คือ ศักยภาพการทำลายโอโซนเทียบกับ R-11 เมื่อ R-11 มีค่า ODP = 1

² GWP: Global Warming Potential คือ ศักยภาพการทำให้เกิดสภาวะเรือนกระจกเทียบกับ R-11 (R-11 มีค่า GWP =1)

การพิจารณาเลือกใช้สารทำความเย็นจะต้องสอดคล้องกับรุ่นของเครื่องอัด ดังนั้นในปัจจุบันซึ่งกำลังลดปริมาณการใช้และยกเลิกการใช้สารทำความเย็นในกลุ่ม CFCs และ HCFCs ตามข้อตกลงนานาชาติเกี่ยวกับสารที่ทำลายโอโซนที่จะต้องเลิกใช้งานสาร CFCs ในวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2539 ที่ผ่านมา และจะยกเลิกการใช้งานสาร HCFCs ในปี พ.ศ.2573 ซึ่งสาร HCFCs เช่น R-22 กำลังอยู่ในช่วงเปลี่ยนแปลงและยกเลิกการใช้อย่างถาวรในอนาคต ที่ผ่านมามีการพัฒนาสารทำความเย็นตัวใหม่เพื่อทดแทน เช่น R-123 ปัจจุบันได้นำมาใช้แทน R-11, R-143a ได้นำมาใช้แทน R-12, R-407c ได้พัฒนาเพื่อนำมาใช้แทน R-22

โดยในแง่ของการประหยัดพลังงาน คุณสมบัติที่สำคัญซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพและความสามารถ คือ

- 1) ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent Heat)
- 2) อัตราส่วนการอัด (Compression Ratio)
- 3) ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume)
- 4) ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat)

ระบบทำความเย็นทั่วไปจะต้องการค่าความร้อนแฝงสูง เพื่อให้มีอัตราการไหลเชิงมวลต่อหน่วยความสามารถในการทำควมเย็นมีค่าต่ำๆ ประกอบกับค่าปริมาตรจำเพาะต่ำจะยิ่งช่วยให้ประสิทธิภาพและค่าความสามารถในการทำควมเย็นเพิ่มสูงขึ้น ประสิทธิภาพและความประหยัดในการใช้งานไม่ได้เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจในการเลือก เนื่องจากพลังงานที่ต้องการต่อหน่วยความสามารถทำความเย็นนั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก สิ่งที่สำคัญคือ คุณสมบัติซึ่งช่วยลดขนาดน้ำหนัก ราคาของระบบทำความเย็น ราคาและสารทำความเย็นที่หาได้ง่าย เหล่านี้เป็นเหตุในการเลือกใช้มากกว่า

(3) ภาระการทำความเย็น(Load of Refrigeration) มีอะไรบ้าง?

ภาระการทำความเย็น คือ ปริมาณความร้อนรวมทั้งหมดที่เครื่องทำความเย็นจะต้องเอาออกจากพื้นที่ควบคุมหรือผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ 1) ความร้อนที่ผ่านผนังโดยการนำความร้อนผ่านฉนวนกันความร้อน 2) ความร้อนจากการแผ่รังสีโดยตรงจากผนังโปร่งแสงที่สามารถผ่านได้ 3) ความร้อนจากอากาศภายนอกที่เข้าสู่พื้นที่ควบคุมผ่านทางช่องเปิด 4) ความร้อนจากผลิตภัณฑ์ที่มีอุณหภูมิสูงเข้ามาภายในบริเวณทำความเย็น 5) ความร้อนจากคนและอุปกรณ์ในบริเวณทำความเย็น เช่น แสงสว่าง มอเตอร์

2-8.4 ระบบทำความเย็นสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างไรบ้าง?

แนวทางในการลดการใช้พลังงาน จะต้องทำการตรวจวินิจฉัยและวิเคราะห์ในแต่ละปัจจัย

$$\begin{aligned}
 \text{Electric Power Consumption of Refrigeration (kWh)} &= \left[\frac{\text{Cooling Load (kW) } \textcircled{1}}{\text{C.O.P. of System } \textcircled{2} \times \text{Motor Eff } \eta_m \textcircled{3} \times \text{Trans Eff } \eta_t \textcircled{4}} \right] \times \text{Operating Time (hr) } \textcircled{5} \\
 &+ \left[\text{Power of Auxiliary (kW) } \textcircled{6} \times \text{Operating Time (hr) } \textcircled{7} \right] \text{ Pump, Cooling fan, FCU}
 \end{aligned}$$

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นมีดังนี้

แนวทางการประหยัดพลังงาน	มาตรการที่ดำเนินการ
1. ลดภาระการทำความเย็นจากภายนอกให้เหลือน้อยที่สุด	<ul style="list-style-type: none"> - เลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนความร้อนที่ดีสำหรับผนังและมีการตรวจสอบสม่ำเสมอ - ลดการรั่วไหลอากาศภายนอกเข้าสู่ภายในระบบห้องเย็น
2. ลดภาระการทำความเย็นภายในให้น้อยที่สุด	<ul style="list-style-type: none"> - ป้องกันมิให้แสงแดดกระทบผนังโดยตรง - สอบเทียบเครื่องวัดและปรับตั้งอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการใช้งาน - ปรับปรุงระบบแสงสว่างภายในห้องให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น - เลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในห้องเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง - เลือกใช้ระบบการละลายและปรับตั้งเวลาการละลายน้ำแข็งให้เหมาะสม
3. เพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ให้สูงที่สุด	<ul style="list-style-type: none"> - ควบคุมปริมาณสารทำความเย็นในระบบให้เหมาะสม - ทำความสะอาดพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับน้ำหรืออากาศ - ควบคุมปริมาณน้ำหรืออากาศให้ไหลผ่านขดท่อแลกเปลี่ยนความร้อนในอัตราที่เหมาะสม - เพิ่มขนาดพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อน - ปรับตั้งหรือเลือกใช้ลิ้นลดความดันที่มีขนาดเหมาะสม
4. เพิ่มสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ให้สูงที่สุด	<ul style="list-style-type: none"> - ปรับตั้งอุณหภูมิการทำความเย็นให้เหมาะสม - ใช้น้ำหรืออากาศที่มีอุณหภูมิต่ำเข้าระบายความร้อน - ใช้ระบบระบายความร้อนด้วยน้ำแทนอากาศ - เลือกใช้เครื่องอัดที่มีประสิทธิภาพสูง
5. เพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์ (η _m ; Motor Efficiency) ที่ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ให้สูงที่สุด	<ul style="list-style-type: none"> - เมื่อมอเตอร์ใหม่หรือมีอายุการใช้งานมากกว่า 5 ปี ควรเปลี่ยนใหม่โดยเลือกใช้คอมเพรสเซอร์ประสิทธิภาพสูง - คอมเพรสเซอร์ขนาดใหญ่ควรซ่อมมอเตอร์ไม่เกิน 3 ครั้ง เพราะมอเตอร์ใหม่แต่ละครั้งประสิทธิภาพจะลดลง 4% - อัดจารบีหรือสารหล่อลื่นเป็นประจำ - เปลี่ยนลูกปืนเมื่อหมดอายุการใช้งาน - เปลี่ยนไปใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
6. เพิ่มประสิทธิภาพระบบส่งกำลัง (η _t) ระหว่างเครื่องอัดสารทำความเย็นกับมอเตอร์ให้สูงที่สุด	<ul style="list-style-type: none"> - ปรับความตึงสายพานให้เหมาะสม - เปลี่ยนสายพานเมื่อหมดอายุการใช้งาน - ใส่สายพานให้ครบตามจำนวนที่ออกแบบ - เลือกใช้สายพานที่มีประสิทธิภาพสูง

แนวทางการประหยัดพลังงาน	มาตรการที่ดำเนินการ
7. ลดชั่วโมงการใช้งาน (Operating Time)	<ul style="list-style-type: none"> - เปิดใช้งานให้ช้าที่สุด (Optimum Start) - ปิดก่อนเลิกใช้งานเร็วที่สุด (Optimum Stop) - ลดจำนวนเดินเครื่องทำความเย็นเมื่อภาระการของระบบต่ำ
8. ลดพลังไฟฟ้าที่ใช้กับอุปกรณ์ประกอบของระบบ เช่น ป้อนน้ำ หอผึ้งเย็น เครื่องส่งหรือจ่ายลมเย็น	<ul style="list-style-type: none"> - เปิดใช้งานในจำนวนที่เหมาะสม - เลือกใช้งานอุปกรณ์ชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก - ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น - ใช้งานอุปกรณ์ในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด
9. ลดชั่วโมงการใช้งาน (Operating Time) อุปกรณ์ประกอบ	<ul style="list-style-type: none"> - ควบคุมชุดระบายความร้อนให้ทำงานตามการทำงานของเครื่องอัด (ระบบทำงานเป็นชุด ๆ) - เดินอุปกรณ์ประกอบให้เหมาะสมกับภาระ - ควบคุมเวลาการเปิดโดยไม่เปิดก่อนเวลาทำงานนานเกินไป และปิดทันทีเมื่อเลิกงาน

แนวทางการประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นมีดังนี้

- (1) จัดการเดินเครื่องอย่างไรให้เหมาะสมและประหยัดพลังงาน?
- (2) การลดความดันสารทำความเย็นด้านคอนเดนเซอร์ช่วยประหยัดพลังงานอย่างไร?
- (3) การเพิ่มความดันด้านอีวาโปเรเตอร์ให้สูงขึ้นช่วยประหยัดพลังงานอย่างไร?
- (4) เลือกใช้ระบบละลายน้ำแข็ง (Defrost System) อย่างไรให้เหมาะสมและประหยัดพลังงาน?
- (5) การลดภาระการทำความเย็นที่ไม่จำเป็นหรือปรับปรุงได้เพื่อประหยัดพลังงานมีอะไรบ้าง?

(1) จัดการเดินเครื่องอย่างไรให้เหมาะสมและประหยัดพลังงาน?

โรงงานส่วนใหญ่จะติดตั้งเครื่องทำความเย็นหลายชุดและใช้งานสลับหรือพร้อมกันในบางชุดตอนช่วงภาระระบบสูง โดยไม่คำนึงถึงประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นแต่ละชุด ดังนั้นในช่วงเวลาที่ภาระระบบต่ำหรือเดินเครื่องเพียงบางชุดแต่ชุดที่เลือกเดินเป็นชุดที่มีประสิทธิภาพต่ำจะส่งผลต่อการใช้พลังงานที่สูงตามไปด้วย อีกทั้งอาจเกิดปัญหาอัตราการทำความเย็นอาจไม่เพียงพอกับภาระระบบทำให้ต้องเดินเครื่องทำความเย็นเพิ่มซึ่งมากเกินจำเป็นได้เช่นกัน โรงงานควรตรวจวัดและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นอย่างน้อยทุก 2 เดือน โดยใช้ค่า COP เป็นตัวชี้วัดถึงประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นแต่ละชุด เพื่อจัดทำเป็นแผนการเดินเครื่องที่เหมาะสมและประหยัดพลังงาน โดยทำการเลือกเดินชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก ทั้งนี้ก่อนจัดการเดินใหม่ต้องปรับปรุงเครื่องแต่ละชุดให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ที่สุดก่อน

สมการที่ใช้ในการคำนวณ ใช้สมการ (2-8.1) $COP = (hC - hB) / (hD - hC)$

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งระบบทำความเย็นขนาดพิกัดมอเตอร์ขับเคลื่อน 450 กิโลวัตต์ จำนวน 2 ชุด โดยปกติจะเดินสลับกันในสัดส่วนชั่วโมงการทำงานเท่ากัน หลังจากปรับปรุงสภาพของเครื่องทั้ง 2 ชุดดังกล่าวแล้ว ได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพเพื่อนำมาจัดการเดินเพื่อประหยัดพลังงานโดยการเลือกเดินเครื่องชุดที่มีค่า COP สูงสุดเป็นหลัก จาก 50% เป็น 75% โดยมีผลการตรวจวัดดังนี้ (ระบบทำงาน 24 ชั่วโมง 350 วัน ตลอดปีระบบมีภาระจากการใช้พื้นที่ห้องเย็นเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยมีภาระ 80% โดยโรงงานมีค่าไฟฟ้า 3 บาทต่อหน่วย) [วิธีคำนวณ 1) กรอกข้อมูลลงในตารางในส่วนข้อมูลเบื้องต้นให้ครบถ้วน 2) ทำการคำนวณตามหัวข้อ 2 การวิเคราะห์ข้อมูล]

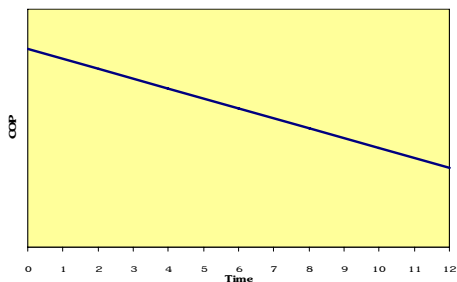
รายละเอียด	ความดันสารทำความเย็น ด้านสูง (Bar _g)	ความดันสารทำความเย็น ด้านต่ำ(Bar _g)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะ เดินเครื่อง(kW)
เครื่องทำความเย็นชุดที่ 1	15.5	2.0	400
เครื่องทำความเย็นชุดที่ 2	14.0	2.0	360

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ปริมาณ	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
-พลังไฟฟ้าทั้งระบบเมื่อเดินเครื่องอัดชุดที่มีสมรรถนะต่ำ No.1	W _{CL}	kW	400	ตรวจวัด
-พลังไฟฟ้าทั้งระบบเมื่อเดินเครื่องอัดชุดที่มีสมรรถนะสูง No.2	W _{CH}	kW	360	ตรวจวัด
-สารทำความเย็นที่ใช้ R-717				
-เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัดชุดที่มีสมรรถนะต่ำที่ความดัน เฉลี่ย 3.0 Bar	h ₁	kJ/kg	1,751	คุณสมบัติสารทำความเย็น
-เอนทาลปีออกจากเครื่องอัดชุดที่มีสมรรถนะต่ำที่ความดัน เฉลี่ย 16.5 Bar	h ₂	kJ/kg	2,005	คุณสมบัติสารทำความเย็น
-เอนทาลปีก่อนเข้าอีแวพอเรเตอร์ชุดที่มีสมรรถนะต่ำที่ความ ดันเฉลี่ย 16.5 Bar	h ₄	kJ/kg	696	คุณสมบัติสารทำความเย็น
-เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัดชุดที่มีสมรรถนะสูงที่ความดัน เฉลี่ย 3.0 Bar	h _{1N}	kJ/kg	1,751	คุณสมบัติสารทำความเย็น
-เอนทาลปีออกจากเครื่องอัดชุดที่มีสมรรถนะสูงที่ความดัน เฉลี่ย 15.0 Bar	h _{2N}	kJ/kg	1,989	คุณสมบัติสารทำความเย็น
-เอนทาลปีก่อนเข้าอีแวพอเรเตอร์ชุดที่มีสมรรถนะสูงที่ความ ดันเฉลี่ย 15.0 Bar	h _{4N}	kJ/kg	682	คุณสมบัติสารทำความเย็น
-แฟกเตอร์ภาระ (Load) ที่เปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี	LF	%	80	สอบถามโรงงาน
-ชั่วโมงการใช้งานของระบบทำความเย็นตลอดทั้งปี	h _s	hr/y	8,400	สอบถามโรงงาน
-ชั่วโมงการใช้งานของเครื่องอัดที่มีสมรรถนะต่ำเดิม	h ₁₀	hr/y	4,200	สอบถามโรงงาน
-ชั่วโมงการใช้งานของเครื่องอัดที่มีสมรรถนะสูงเดิม	h ₂₀	hr/y	4,200	สอบถามโรงงาน
-ชั่วโมงการใช้งานของเครื่องอัดที่มีสมรรถนะต่ำใหม่	h _{1N}	hr/y	2,100	สอบถามโรงงาน
-ชั่วโมงการใช้งานของเครื่องอัดที่มีสมรรถนะสูงใหม่	h _{2N}	hr/y	6,300	สอบถามโรงงาน
-ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C _E	B/kWh	3.00	ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
-สัมประสิทธิ์สมรรถนะรวมทั้งระบบเมื่อเดินชุดที่มีสมรรถนะต่ำ No.1 $COPL = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1)$	COP _L		4.15	
-อัตราการไหลของสารทำความเย็นทั้งระบบ	m	kg/s	1.57	
- $m = (COPL \times WCL) / (h_1 - h_4)$				
-สัมประสิทธิ์สมรรถนะรวมทั้งระบบเมื่อเดินชุดที่มีสมรรถนะสูง No. 2 $COP_H = (h_{1N} - h_{4N}) / (h_{2N} - h_{1N})$	COP _H		4.49	
-ร้อยละของสัมประสิทธิ์สมรรถนะที่เพิ่มขึ้น $\%COP = ((COP_H - COPL) / COPL) \times 100$	%COP	%	8.19	
-พลังไฟฟ้าที่ไช้ลดลง $W_S = WCL - WCH$	W _s	kW	40.00	
-พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับระบบเดิมก่อนปรับปรุงระบบการเดิน ตลอดปี $EO = (WCL \times h_{10}) + (WCH \times h_{20}) \times LF/100$	E _o	kWh/y	2,553,600	
-พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับระบบใหม่หลังปรับปรุงระบบการเดิน ตลอดปี $EN = (WCL \times h_{1N}) + (WCH \times h_{2N}) \times LF/100$	E _N	kWh/y	2,486,400	

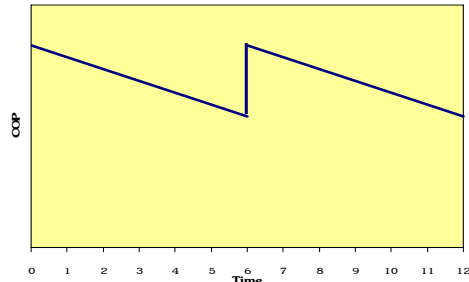
รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ปริมาณ	แหล่งที่มาของข้อมูล
-พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ลดลงของระบบ ES = (EO - EN)	E _s	kWh/y	67,200	
-ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง CSS = ES x CE	C _{SS}	B/y	201,600	

(2) การลดความดันสารทำความเย็นด้านคอนเดนเซอร์ช่วยประหยัดพลังงานอย่างไร?

โรงงานส่วนใหญ่มักละเลยและไม่ค่อยให้ความสำคัญต่อเรื่องความสะอาดของเครื่องควบแน่นหรือคอนเดนเซอร์มากนัก มีเพียงการกำหนดเวลาในการดูแลไว้เท่านั้น ซึ่งส่วนใหญ่กำหนดเวลาในการทำความสะอาดและตรวจเช็คไว้เพียงปีละ 1 ครั้งเท่านั้น ในบางลักษณะงานที่มีการใช้งานระบบตลอดเวลาและขึ้นอยู่กับคุณภาพของอากาศหรือน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อน ควรต้องให้ความสำคัญมากขึ้นโดยปีละ 1 ครั้งที่เคยดำเนินการอยู่จะไม่เพียงพอกับการรักษาระดับประสิทธิภาพของเครื่องควบแน่นเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานสูงได้ดีพอ ความถี่ในการทำความสะอาดจะมากน้อยเพียงใดสามารถใช้ข้อมูลที่วัดได้จากระบบนั้นคือ ผลต่างของอุณหภูมิสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่นกับอุณหภูมิของอากาศหรือน้ำระบายความร้อนที่ออกเครื่องควบแน่น (Condenser Approach Temperature) เป็นตัวกำหนดความถี่ในการทำความสะอาดดังกล่าว ซึ่งอุณหภูมิควรแตกต่างกันไม่เกิน 2-3 °C หรือ 4-6 °F หรืออาจใช้การเก็บข้อมูลผลต่างดังกล่าวหลังการล้างทำความสะอาดแล้วเป็นค่าตั้งต้นก็ได้เช่นกัน



ก) ทำความสะอาดปีละ 1 ครั้ง



ข) ทำความสะอาดปีละ 2 ครั้ง

รูปที่ 2-8.17 ผลของค่า COP ของเครื่องทำความเย็นกับเวลาการทำงาน

จากรูปที่ 2-8.17 จะเห็นว่าเมื่อใช้งานระบบทำความเย็นไปเรื่อยๆ ค่า COP จะค่อยๆ ลดลงเช่นกัน และเมื่อดำเนินการล้างทำความสะอาดค่า COP ก็จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งค่า COP จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น ดังนั้นหากเพิ่มความถี่จากปีละ 1 ครั้ง เป็น 2 ครั้ง จะสามารถประหยัดพลังงานลงจากเดิมได้อีกครึ่งหนึ่ง

สมการที่ใช้ในการคำนวณ ใช้สมการ (2-8.1) COP = (h_c - h_b) / (h_d - h_c)

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ก่อนล้าง = พลังไฟฟ้าที่ใช้เดิม x ชั่วโมงทำงานในช่วงทำความสะอาดเดิม x ตัวประกอบการทำงาน

พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเดิม = [(COP_{ก่อนทำความสะอาด} - COP_{หลังทำความสะอาด}) / COP_{ก่อนทำความสะอาด}] x พลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนล้าง x 0.5

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = 1 - 1 / (จำนวนชั่วโมงในรอบความถี่เดิม / จำนวนชั่วโมงในรอบความถี่ใหม่) x พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียเดิม

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งระบบทำความเย็นขนาดพิกัดมอเตอร์ขับเคลื่อน 450 กิโลวัตต์ เดิมมีแผนในการทำความสะอาดปีละ 1 ครั้ง พบว่า Condenser Approach Temperature มีค่าสูงกว่ามาตรฐานมากแสดงว่าความถี่ในการทำความสะอาดน้อยเกินไป จึงได้กำหนดให้มีการทำความสะอาดถี่ขึ้นเป็นปีละ 2 ครั้ง และได้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพก่อนและหลังเพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ โดยมีผลการตรวจวัดดังนี้ (ระบบทำงาน 24 ชั่วโมง 350

วัน ระบบมีการะจากการใช้พื้นที่ห้องเย็นเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ย 80% ค่าไฟฟ้า 3 บาทต่อหน่วย) (วิธีคำนวณ 1) กรอกข้อมูลลงไป ในตารางในส่วนของข้อมูลเบื้องต้น 2) ทำการคำนวณตามหัวข้อ 2 การวิเคราะห์ข้อมูล

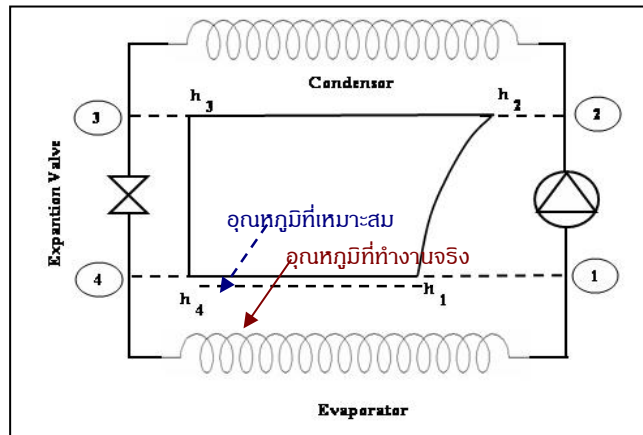
รายละเอียด	ความดันด้านต่ำ (Bar _g)	สารทำความเย็นด้านสูง		น้ำระบายความร้อน		พลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะเดินเครื่อง (kW)
		ความดัน(Bar _g)	อุณหภูมิ (°C)	เข้า (°C)	ออก (°C)	
ก่อนทำความสะอาด	2.0	15.5	40	32	35.5	400
หลังทำความสะอาด	2.0	14.0	38	32	37	360

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ปริมาณ	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
- พลังไฟฟ้าทั้งระบบเมื่อเดินเครื่องอัด ก่อนล้างทำความสะอาด	W_{CO}	kW	400	ตรวจวัด
- สารทำความเย็นที่ใช้ R-717				
- เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัดก่อนล้างทำความสะอาดที่ความดันเฉลี่ย 3.0 Bar	h_1	kJ/kg	1,751	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทาลปีออกจากเครื่องอัดก่อนล้างทำความสะอาดที่ความดันเฉลี่ย 16.5 Bar	h_2	kJ/kg	2,005	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทาลปีก่อนเข้าอีแวปอเรเตอร์ก่อนล้างที่ความดันเฉลี่ย 16.5 Bar	h_4	kJ/kg	696	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัดหลังล้างทำความสะอาดที่ความดันเฉลี่ย 3.0 Bar	h_{1N}	kJ/kg	1,751	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทาลปีออกจากเครื่องอัดหลังล้างทำความสะอาดที่ความดันเฉลี่ย 15.0 Bar	h_{2N}	kJ/kg	1,989	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทาลปีก่อนเข้าอีแวปอเรเตอร์หลังล้างที่ความดันเฉลี่ย 15.0 Bar	h_{4N}	kJ/kg	682	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- แฟกเตอร์ภาระ (Load) ที่เปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี	LF	%	80	สอบถามโรงงาน
- ชั่วโมงการใช้งานของระบบทำความเย็นตลอดทั้งปี	h_s	h/y	8,400	สอบถามโรงงาน
- จำนวนครั้งในการล้างทำความสะอาดเดิมต่อปี	n_o		1	สอบถามโรงงาน
- จำนวนชั่วโมงการล้างทำความสะอาดเดิมต่อปี	h_n		8,400	
- จำนวนครั้งในการล้างทำความสะอาดใหม่ต่อปี	n_n		2	สอบถามโรงงาน
- จำนวนชั่วโมงการล้างทำความสะอาดใหม่ต่อปี	h_n		4,200	
- ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C_E	B/kWh	3.00	ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
- สัมประสิทธิ์สมรรถนะก่อนล้างทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ $COPO = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1)$	COP_o		4.15	
- สัมประสิทธิ์สมรรถนะหลังล้างทำความสะอาดคอนเดนเซอร์ $COPN = (h_{1N} - h_{4N}) / (h_{2N} - h_{1N})$	COP_N		4.49	
- ร้อยละของสัมประสิทธิ์สมรรถนะที่เพิ่มขึ้น $COP = ((COPH - COPL) / COPL) \times 100$	%COP	%	8.19	
- พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในช่วงเวลาที่การทำความสะอาดเดิม $EO = 0.5 \times (\%COP/100) \times WCO \times h_s \times LF/100$	E_o	kWh/y	110,074	
- พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากการเพิ่มความถี่ในการทำความสะอาด $ES = 1 - [1 / (h_o - h_n)] \times EO$	E_s	kWh/y	55,037	
- ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง CSS = $ES \times CE$	C_{SS}	B/y	165,110	

(3) การเพิ่มความดันด้านอีวาโปเรเตอร์ให้สูงขึ้นช่วยประหยัดพลังงานอย่างไร?

การที่โรงงานปรับตั้งอุณหภูมิการทำงานเป็นต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งานมากจะส่งผลให้เครื่องอัดสารทำความเย็นใช้พลังงานมากขึ้นและประสิทธิภาพของระบบจะลดต่ำลง เนื่องจากเครื่องอัดจะต้องใช้กำลังมากในการดูดสารทำความเย็น ดังนั้นการเพิ่มความดันสารทำความเย็นด้านต่ำให้สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่า COP ของระบบสูงขึ้น ซึ่งอาจทำได้โดยวิธีการดังต่อไปนี้

- 1) การทำความสะอาดพื้นที่ผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของ Evaporator
- 2) การเพิ่มความเร็วมให้กับ Evaporator
- 3) การลดการเกาะของน้ำแข็งที่พื้นผิว Evaporator
- 4) การเพิ่มขนาดของ Evaporator
- 5) การปรับตั้งอุณหภูมิใช้งานให้สูงขึ้นหรือให้เหมาะสมกับการใช้งาน



จากภาพจะเห็นว่าเมื่อเราปรับเพิ่มให้เครื่องทำความเย็นทำงานที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นจะช่วยให้กำลังที่เครื่องอัด (ความยาวเส้น h_1-h_2 สั้นลง) ใช้มีค่าลดต่ำลง ส่งผลให้ค่า COP ของเครื่องทำความเย็นสูงขึ้น

สมการที่ใช้ในการคำนวณ ใช้สมการ (2-8.1) $COP = (h_c - h_b) / (h_D - h_c)$

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งระบบทำความเย็นขนาดฟัดมเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัด 150 กิโลวัตต์ เพื่อใช้งานกับห้องเย็นที่มีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ -5°C แต่จากการตรวจวัดอุณหภูมิจริงโดยใช้เครื่องวัดที่ได้ผ่านการสอบเทียบแล้ว พบว่าอุณหภูมิที่วัดได้คือ -10°C ซึ่งต่ำกว่าที่กำหนดไว้ จึงได้สอบเทียบเครื่องวัดอุณหภูมิของระบบที่ติดตั้งภายในห้องเย็นใหม่และดำเนินการปรับตั้งให้ระดับอุณหภูมิจริงสูงขึ้นเท่ากับที่มาตรฐานกำหนด ในขณะเดียวกันได้ตรวจวัดและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพก่อนและหลังเพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ โดยมีผลการตรวจวัดดังนี้ (ระบบทำงาน 24 ชั่วโมง 350 วัน ระบบมีการะจากการใช้พื้นที่ห้องเย็นเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ย 80% ค่าไฟฟ้า 3 บาทต่อหน่วย) [วิธีคำนวณ 1) กรอกข้อมูลลงในตารางในส่วนข้อมูลเบื้องต้น 2) ทำการคำนวณตามหัวข้อ 2 การวิเคราะห์ข้อมูล]

รายละเอียด	ความดันด้านสูง(Bar _g)	ความดันด้านต่ำ(Bar _g)	อุณหภูมิ(°C)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะเดินเครื่อง(kW)
ก่อนดำเนินการ	14.0	2.0	-10	147
หลังดำเนินการ	14.0	2.5	-5	-

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ปริมาณ	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
- พลังไฟฟ้าทั้งระบบเมื่อเดินเครื่องอัดก่อนล้างทำความสะอาด	W_{CO}	kW	147.0	ตรวจวัด
- สารทำความเย็นที่ใช้ R-717				
- เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัดก่อนดำเนินการที่ความดันเฉลี่ย 3.0 Bar	h_1	kJ/kg	1,751.0	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทาลปีออกจากเครื่องอัดก่อนดำเนินการที่ความดันเฉลี่ย 15.0 Bar	h_2	kJ/kg	1,989.0	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทาลปีก่อนเข้าอีแวปอเรเตอร์ก่อนดำเนินการที่ความดันเฉลี่ย 15.0 Bar	h_4	kJ/kg	682.0	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัดหลังดำเนินการที่ความดันเฉลี่ย 3.5 Bar	h_{1N}	kJ/kg	1,757.0	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทาลปีออกจากเครื่องอัดหลังดำเนินการที่ความดันเฉลี่ย 15.0 Bar	h_{2N}	kJ/kg	1,963.0	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทาลปีก่อนเข้าอีแวปอเรเตอร์หลังดำเนินการที่ความดันเฉลี่ย 15.0 Bar	h_{4N}	kJ/kg	682.0	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- แฟกเตอร์ภาระ (Load) ที่เปลี่ยนแปลงตลอดทั้งปี	LF	%	80.0	สอบถามโรงงาน
- ชั่วโมงการใช้งานของระบบทำความเย็นตลอดทั้งปี	h_s	hr/y	8,400.0	สอบถามโรงงาน
- ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C_E	B/kWh	3.0	ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
- สัมประสิทธิ์สมรรถนะก่อนดำเนินการ $COPO = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1)$	COP_o		4.5	
- สัมประสิทธิ์สมรรถนะหลังดำเนินการ $COPN = (h_{1N} - h_{4N}) / (h_{2N} - h_{1N})$	COP_N		5.2	
- ร้อยละของสัมประสิทธิ์สมรรถนะที่เพิ่มขึ้น $\%COP = ((COPH - COPL) / COPL) \times 100$	$\%COP$	%	16.3	
- พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้หลังดำเนินการ $ES = (\%COP/100) \times WCO \times h_s \times LF/100$	E_s	kWh/y	80,311.4	
- ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง $CSS = ES \times CE$	C_{SS}	B/y	240,934.2	

(4) เลือกใช้ระบบละลายน้ำแข็งอย่างไรให้เหมาะสมและประหยัดพลังงาน?

โรงงานหลายแห่งใช้ขดลวดความร้อนในการละลายน้ำแข็งในห้องเย็น ซึ่งขดลวดจะเพิ่มภาระความร้อนของห้องเย็นด้วยเช่นกัน ดังนั้นควรใช้เวลาในการละลายให้เพียงพอต่อการละลายน้ำแข็งได้หมดเท่านั้น และควรเลือกใช้ระบบละลายที่ใช้พลังงานน้อยที่สุด ซึ่งสามารถใช้แก๊สร้อนของระบบทำความเย็นเองมาใช้ละลายน้ำแข็งแทน จะประหยัดค่าใช้จ่ายและประหยัดพลังงานต่อระบบทำความเย็นได้อีกด้วย ซึ่งเรียกระบบนี้ว่า Hot Gas Defrost

สมการที่ใช้ในการคำนวณ ใช้สมการ (2-8.1) $COP = (h_c - h_b) / (h_D - h_c)$

$$\begin{aligned} & \text{พลังงานความร้อนที่ใช้ในการละลายน้ำแข็งด้วยไฟฟ้าต่อครั้ง (Btu/hr)} \\ & = [3,412 \times \text{พลังไฟฟ้าของ heater (kW)} \times \text{เวลาที่ละลายน้ำแข็ง (min)}] / 60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{พลังงานความร้อนที่ใช้ในการละลายน้ำแข็งด้วย Hot Gas (Btu/hr)} \\ & = [(3,412 \times COP \times \text{พลังไฟฟ้าของเครื่องอัด (kW)}) / (\text{เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัด (kJ/kg)} - \text{เอนทาลปีก่อนเข้าอีวาโปเรเตอร์ (kJ/kg)}) \times (\text{เอนทาลปีออกจากเครื่องอัด} - \text{เอนทาลปีก่อนเข้าอีวาโปเรเตอร์})] \end{aligned}$$

คู่มือตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งระบบทำความเย็นขนาดพิกัดมอเตอร์ขับเคลื่อน 22 กิโลวัตต์ เพื่อใช้งานกับห้องเย็นที่กำหนดให้มีการควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 0°C ซึ่งได้ติดตั้งระบบละลายน้ำแข็งแบบใช้ขดลวดความร้อน จึงมีแนวคิดปรับปรุงระบบละลายน้ำแข็งจากการใช้ขดลวดความร้อน มาใช้แก๊สร้อนจากระบบทำความเย็นที่มีอยู่แล้ว ซึ่งได้ตรวจวัดและวิเคราะห์หาพลังงานที่ใช้ก่อนและหลังเพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ โดยมีผลการตรวจวัดดังนี้ (ระบบทำงาน 24 ชั่วโมง 350 วัน ระบบมีการระจากการใช้พื้นที่ห้องเย็นเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ย 80% ค่าไฟฟ้า 3 บาทต่อหน่วย) (วิธีคำนวณ 1) กรอกข้อมูลลงไปในตารางในส่วนของข้อมูลเบื้องต้น 2) ทำการคำนวณตามหัวข้อ 2 การวิเคราะห์ข้อมูล

รายละเอียด	ความดันด้านสูง (Bar _g)	ความดันด้านต่ำ (Bar _g)	เวลาที่ใช้ละลาย (min)	พลังไฟฟ้าที่ใช้กับ Heater (kW)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะเดินเครื่อง (kW)
ละลายด้วย heater	19	2.7	20	11.5	22.4
ละลายด้วย Hot Gas	19	2.7	-	-	-

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ปริมาณ	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
- พลังไฟฟ้าที่ Heater ใช้ละลายน้ำแข็ง	W_H	kW	11.5	ตรวจวัด
- เวลาที่ใช้ละลายน้ำแข็ง	T_1	min	20.0	ตรวจวัด
- พลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดสารทำความเย็นใช้	W_{CO}	kW	22.4	ตรวจวัด
- สารทำความเย็นที่ใช้ R-717				
- เอนทัลปีก่อนเข้าเครื่องอัดก่อนดำเนินการที่ความดันเฉลี่ย 3.7 Bar	h_1	kJ/kg	1,218.0	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทัลปีออกจากเครื่องอัดก่อนดำเนินการที่ความดันเฉลี่ย 20.0 Bar	h_2	kJ/kg	1,245.0	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทัลปีก่อนเข้าอีแวปอเรเตอร์ก่อนดำเนินการที่ความดันเฉลี่ย 20.0 Bar	h_4	kJ/kg	1,066.0	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- อุณหภูมิของสารทำความเย็นออกจากเครื่องอัด	t	°C	83.0	ตรวจวัด
- เวลาที่เครื่องทำความเย็นเดินจนได้อุณหภูมิที่ปรับตั้งไว้ในการใช้งาน	T_2	min	40.0	ตรวจวัด
- ชั่วโมงการทำงานของระบบทำความเย็นตลอดทั้งปี	h_s	hr/y	8,400.0	สอบถามโรงงาน
- ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C_E	B/kWh	3.0	ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
- สัมประสิทธิ์สมรรถนะก่อนดำเนินการ $COPO = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1)$	$COPO$		5.6	
- พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ระบบ Heater ละลายน้ำแข็งทั้งปี $EH = WH \times h_s \times (T_1 / (T_1 + T_2))$	E_H	kWh/y	32,200.0	
- พลังงานความร้อนที่ใช้ในการละลายน้ำแข็งด้วย Heater ต่อครั้ง $EH1 = (3,412 \times WH \times T_1) / 60$	E_{H1}	Btu/hr	13,079.3	
- พลังงานความร้อนที่ใช้ในการละลายน้ำแข็งโดย Hot Gas ต่อครั้ง $ECO1 = (3,412 \times WCO \times COPO) / (h_1 - h_4) \times (h_2 - h_4)$	E_{CO1}	Btu	506,728.0	
- เวลาที่ใช้ในการละลายน้ำแข็งต่อครั้งเมื่อใช้ Hot Gas $T_3 = (EH1 / ECO) \times 60$	T_3	min	1.5	
- พลังงานไฟฟ้าที่เครื่องทำความเย็นใช้ในการละลายทั้งปี $ECO = WCO \times h_s \times (T_3 / (T_3 + T_2))$	E_{CO}	kWh/y	7,013.5	
- พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ทั้งสิ้นเมื่อเปลี่ยนระบบการละลายน้ำแข็ง $ES = EH - ECO$	E_s	kWh/y	25,186.5	
- ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง $CSS = ES \times CE$	C_{SS}	B/y	75,559.6	

(5) การลดภาระการทำความเย็นที่ไม่จำเป็นหรือที่ปรับปรุงได้เพื่อประหยัดพลังงานมีอะไรบ้าง?

- ลดจำนวนหลอดแสงสว่างที่ติดตั้งเกินจำเป็น
- แยกสวิทช์แสงสว่างเพื่อให้เปิดใช้งานเฉพาะบริเวณพื้นที่ที่ใช้งานเท่านั้น
- ใช้หลอดและอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงเพื่อลดความร้อนภายในห้องเย็น
- ซ่อมแซมม่านพลาสติกหรือประตูที่ชำรุดป้องกันอากาศร้อนเข้าสู่ห้องเย็น
- ตั้งเวลาการละลายน้ำแข็งให้เหมาะสม
- ตรวจสอบฉนวนห้องเย็นและฉนวนหุ้มต่างๆ ให้อยู่ในสภาพดีเสมอ

ในที่นี้เสนอกรณีตัวอย่างที่เป็นการลดการใช้งานหลอดแสงสว่างในส่วนที่เกินจำเป็นเพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์

สมการที่ใช้ในการคำนวณ ใช้สมการ (2-8.1) $COP = (h_c - h_b) / (h_D - h_c)$

อัตราการไหลของสารทำความเย็น (kg/s)

$$= (COP \times \text{พลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดใช้ (kW)}) / (\text{เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัด (kJ)} - \text{เอนทาลปีก่อนเข้าอีวาโปเรเตอร์ (kJ)})$$

ความสามารถในการทำความเย็น (kW_{in})

$$= \text{อัตราไหลของสารทำความเย็น (kg/s)} \times (\text{เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัด (kJ)} - \text{เอนทาลปีก่อนเข้าอีวาโปเรเตอร์ (kJ)})$$

ดูตัวอย่างเพื่อให้เกิดความเข้าใจ

โรงงาน ECON ติดตั้งระบบทำความเย็นขนาดพิกัดมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องอัด 22 กิโลวัตต์ เพื่อใช้งานกับห้องเย็นที่อุณหภูมิ 0°C ซึ่งใช้เก็บวัตถุดิบโดยภายในมีการใช้การให้แสงสว่างจากหลอดแสงจันทร์ขนาด 250 วัตต์ จำนวน 15 หลอด ซึ่งจากการวัดค่าความสว่างพบว่ามากเกินความจำเป็น จึงมีแนวคิดปรับปรุงโดยการแยกสวิทช์ควบคุมแสงสว่างเพื่อเลือกเปิดใช้งานทำให้สามารถลดการใช้หลอดไฟฟ้าลงได้ 6 หลอด ซึ่งหากต้องการใช้แสงสว่างมากเฉพาะจุดสามารถเลือกเปิดใช้งานได้เช่นกัน ซึ่งได้เก็บข้อมูลตรวจวัดก่อน-หลังเพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ โดยมีรายละเอียดการตรวจวัด ดังนี้ (ระบบทำงาน 24 ชั่วโมง 350 วัน ค่าไฟฟ้า 3 บาทต่อหน่วย) [วิธีคำนวณ 1) กรอกข้อมูลลงในตารางในส่วนของข้อมูลเบื้องต้น 2) ทำการคำนวณตามหัวข้อ 2 การวิเคราะห์ข้อมูล]

รายละเอียด	ความดันด้านสูง (Bar _g)	ความดันด้านต่ำ (Bar _g)	ขนาดหลอด (W)	จำนวนหลอด (Unit)	พลังไฟฟ้าที่ใช้ขณะ เดินเครื่อง(kW)
ก่อนปรับปรุง	19	3.5	250	15	22.4
หลังปรับปรุง	19	3.5	-	9	-

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ปริมาณ	แหล่งที่มาของข้อมูล
1. ข้อมูลเบื้องต้น				
- พลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดสารทำความเย็นใช้	W _{CO}	kW	22.4	ตรวจวัด
- สารทำความเย็นที่ใช้ R-717				
- เอนทาลปีก่อนเข้าเครื่องอัดก่อนดำเนินการที่ความดันเฉลี่ย 4.5 Bar	h ₁	kJ/kg	1,204	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทาลปีออกจากเครื่องอัดก่อนดำเนินการที่ความดันเฉลี่ย 20.0 Bar	h ₂	kJ/kg	1,243	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- เอนทาลปีก่อนเข้าอีวาโปเรเตอร์ก่อนดำเนินการที่ความดันเฉลี่ย 20.0 Bar	h ₄	kJ/kg	1,066	คุณสมบัติสารทำความเย็น
- ขนาดหลอดไฟฟ้าที่ติดตั้งใช้งาน	W _L	Watt	250	สำรวจ/ตรวจวัด
- จำนวนหลอดไฟฟ้าที่ใช้งานเดิม	n _O	unit	15	สำรวจ
- จำนวนหลอดไฟฟ้าที่ใช้งานใหม่หลังปรับลดจำนวนการเปิดใช้งาน	n _N	unit	9	สำรวจ

รายการ	สัญลักษณ์	หน่วย	ปริมาณ	แหล่งที่มาของข้อมูล
- ตัวคูณกรณีโหลดไฟฟ้าที่มีบัลลาสต์	F _C		1.25	หนังสือระบบทำความเย็น
- ชั่วโมงการใช้งานของระบบทำความเย็นเป็นตลอดทั้งปี	h _s	h/y	8,400	สอบถามโรงงาน
- ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย	C _E	B/kWh	3.00	ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า
2. การวิเคราะห์ข้อมูล				
- สัมประสิทธิ์สมรรถนะก่อนดำเนินการ COPO = (h1 - h4) / (h2 - h1)	COP _O		3.54	
อัตราการไหลของสารทำความเย็นในระบบ				
$m_R = (COP \times W_{CO}) / (h_1 - h_4)$	m _R	kg/s	0.57	
ความสามารถในการทำความเย็น Q ₁ = m _R × (h ₁ - h ₄)	Q ₁	kW _{th}	79.30	
ค่า kW/TR ของเครื่องทำความเย็น ReP = W _{CO} / (Q ₁ / 3.517)	ReP	kW/TR	0.99	
พลังงานความร้อนลดลงจากการลดโหลดไฟฟ้าแสงสว่าง				
$Q_{S1} = 3.412 \times WL \times (n_o - n_N) \times F_C$	Q _{S1}	Btu/hr	6,397.50	
พลังงานความร้อนลดลงจากการลดโหลดไฟฟ้าแสงสว่างทั้งปี				
$Q_S = Q_{S1} \times h_s$	Q _S	Btuh/y	3,739,000	
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ทั้งสิ้น E _S = ReP × (Q _S / 12,000)	E _S	kWh/y	4,449.15	
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง C _{SS} = E _S × C _E	C _{SS}	B/y	13,347.46	

2-8.5 การตรวจวินิจฉัย และบำรุงรักษาระบบทำความเย็นเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอย่างไร?

(1) การตรวจวินิจฉัย ระบบทำความเย็นเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอย่างไร?

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
1. เครื่องอัดสารทำความเย็น		
1.1 เครื่องอัดแบบแรงเหวี่ยงปรับตั้ง load ที่เท่าไร	<input type="checkbox"/> สูงกว่า 90% <input type="checkbox"/> ต่ำกว่า 80 %	เครื่องอัดแบบแรงเหวี่ยงมีประสิทธิภาพสูงสุดที่ Load ประมาณ 80-90%
1.2 เลือกเดินเครื่องอัดชุดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นหลัก	<input type="checkbox"/> เลือกเดิน <input type="checkbox"/> สลับไปมา	ควรเดินเครื่องอัดชุดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดให้มากกว่าชุดอื่น ๆ โดยโรงงานจะต้องตรวจวัดประสิทธิภาพอย่างสม่ำเสมอ
1.3 ผลต่างความดันของสารทำความเย็นด้านสูง (High pressure) และด้านต่ำ (Low pressure) ของเครื่องอัดแต่ละชุดแตกต่างกันหรือไม่	<input type="checkbox"/> แตกต่างกัน <input type="checkbox"/> ไม่แตกต่างกัน	เครื่องอัดชุดที่มีผลต่างของความดันมากจะมีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นควรทำการตรวจสอบและเดินใช้งานน้อยลง
1.4 มีเครื่องอัดชุดใดผ่านการบำรุงรักษามาหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	เครื่องอัดที่ผ่านการบำรุงรักษาใหญ่มาใหม่จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเครื่องที่ไม่ผ่านการบำรุงรักษา ดังนั้นควรเดินใช้งานมากกว่าเครื่องอื่น
1.5 อุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องอัดเครื่องใดสูงกว่าอุณหภูมิอิมตัวของสารทำความเย็นเกิน 10°C หรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	อุณหภูมิสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องอัดจะมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอิมตัวที่ความดันด้านต่ำ (Low pressure) เกินกว่า 10 °C เพราะจะทำให้พลังงานที่ใช้ในการอัดสารทำความเย็นเพิ่มขึ้น ปัญหานี้อาจเกิดจาก

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
		ปริมาณสารทำความเย็นรับภาระความร้อนน้อยเกินไป หรืออุปกรณ์ลดความดันเล็กเกินไปหรือมีปัญหา
1.6 เคยมีมอเตอร์เครื่องอัดชุดใดเคยไหมมาแล้ว	<input type="checkbox"/> เคยไหม <input type="checkbox"/> ไม่เคยไหม	มอเตอร์ใหม่แต่ละเครื่องจะส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลงประมาณ 4 % ดังนั้นควรนำมาใช้งานให้น้อยที่สุด แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้งานมากควรพิจารณาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
1.7 เครื่องอัดแบบลูกสูบมีการเดินปลดภาระ (Unload) มากหรือไม่	<input type="checkbox"/> มาก <input type="checkbox"/> ไม่มาก	ขณะเครื่องอัดเดิน Unload จะใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 40-50% ดังนั้นอาจแก้ไขโดยการลดขนาดเครื่องไม่ได้ผลสิ้น โดยใช้ความดันน้ำมัน (Oil free)
1.8 ในบางช่วงเวลามีปัญหาเรื่องอุณหภูมิจนต้องเดินเครื่องอัดเพิ่มมีหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	บางช่วงเวลาระบบทำความเย็นสูงเป็นระยะเวลานานๆ ส่งผลให้ปริมาณสารทำความเย็นไม่เพียงพอในการรับภาระ ดังนั้นควรแก้ไขโดยการเพิ่มขนาดถึงกับสารทำความเย็นให้ใหญ่ขึ้นแทนการเดินเครื่องอัดเพิ่ม
1.9 เครื่องอัดหมดอายุการใช้งานแล้วหรือยัง	<input type="checkbox"/> หมดอายุ <input type="checkbox"/> ยังไม่หมดอายุ	เครื่องอัดที่ผ่านการใช้งานมากจะมีประสิทธิภาพลดลง ดังนั้น เมื่อหมดอายุการใช้งานควรพิจารณาเปลี่ยนใหม่โดยเลือกชนิดและขนาดที่เหมาะสม
1.10 มีการจัดการเดินใช้งานตามภาระในแต่ละช่วงเวลาและค่าไฟหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ควรจัดการเดินเครื่องอัดและอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ตามภาระจริงในแต่ละเวลา และควรบริหารจัดการใช้ตามอัตราค่าไฟ โดยช่วงเวลาที่ค่าไฟถูกให้เดินใช้งานเต็มที่ นอกจากนั้นถ้าเป็นห้องเย็นเก็บสินค้าควรลดอุณหภูมิให้ต่ำลงในช่วงเวลาที่ค่าไฟถูกส่งผลให้ลดค่าใช้จ่าย
1.11 กรณีเครื่องอัดแบบสองชั้นความดันสารทำความเย็นก่อนเข้าขั้นที่สองเท่ากับครึ่งหนึ่งของความดันสูงสุดหรือต่ำสุดหรือไม่	<input type="checkbox"/> มากกว่าครึ่ง <input type="checkbox"/> น้อยกว่าครึ่ง	เครื่องอัดแบบอัดสองชั้นจะมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อความดันสารทำความเย็นก่อนเข้าเครื่องอัดขั้นที่สองเท่ากับครึ่งหนึ่งของความดันสูงสุดและต่ำสุด ดังนั้น โรงงานควรปรับจูนความดันใหม่
2. บั๊มน้ำระบายความร้อนและบั๊มสารทำความเย็น		
2.1 มีการหรีวาล์วเข้า/ออกบั๊มหรือไม่	<input type="checkbox"/> หรีวาล์วด้าน..... <input type="checkbox"/> ไม่หรีวาล์ว	การหรีวาล์วทางด้านเข้าจะประหยัดพลังงานได้มากกว่าการหรีวาล์วทางด้านออก แต่ให้พิจารณาลดขนาดบั๊มหรือเจ็บบัดหรือเปลี่ยนใบพัดหรือรอรอบการหมุนของมอเตอร์
2.2 ทำความสะอาดสเตนเนอร์หรือไม่	<input type="checkbox"/> ทำทุกๆ <input type="checkbox"/> ไม่เคยทำ	สเตนเนอร์ตันจะส่งผลให้บั๊มดูดของเหลวใช้พลังงานมากขึ้นและอัตราการไหลที่ให้

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
		ลดลง ประสิทธิภาพของปั๊มลดลง
2.3 ปั๊มมีเสียงดังผิดปกติหรือไม่	<input type="checkbox"/> ดังผิดปกติ <input type="checkbox"/> ไม่ดัง	เสียงดังผิดปกติแสดงถึงปัญหาที่เกิดขึ้น เช่น ไบพัดเกิดการแตกหัก ลูกปืนชำรุด สเตนเนอร์ตัน ปริมาณน้ำที่ดูดน้อยเกินไป หรือเกิดอากาศในตัวปั๊ม
2.4 การเชื่อมต่อระบบท่อของปั๊ม	<input type="checkbox"/> ถูกต้อง <input type="checkbox"/> ไม่ถูกต้อง	กรณีปั๊มต่อขนานกับท่อที่ต่อรวมกันที่ท่อร่วม (Header) ควรมีขนาดใหญ่พอ เพื่อไม่ให้เกิดการอันขณะทำงานพร้อมกัน และปั๊มที่อยู่ในตำแหน่งดูดจาก Header ก่อน ปั๊มชุดอื่นเพื่อให้ความดันตกคร่อมที่ตัวปั๊มแต่ละชุดเท่ากัน
2.5 มีการเดินกลุ่มปั๊มมากกว่า 1 ชุด พร้อมกันโดยสลับกันไปมาหรือไม่	<input type="checkbox"/> มีพร้อมกัน.....ชุด <input type="checkbox"/> เดินครั้งละ 1 ชุด	การต่อปั๊มแบบขนานกันเมื่อเดินปั๊มน้ำมากกว่า 1 ชุดจะส่งผลให้อัตราการไหลของน้ำโดยรวมลดลงเรื่อยๆ ตามจำนวนปั๊มที่เดิน เนื่องจากการไม่สมดุลกันในการติดตั้งและประสิทธิภาพของปั๊มแต่ละชุดไม่เท่ากัน ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงและถ้าจำเป็นต้องเดินควรทำการวัดประสิทธิภาพของกลุ่มปั๊มแต่ละกลุ่ม โดยวัดอัตราการไหลรวมและพลังไฟฟ้าที่ใช้รวม เพื่อนำไปหาค่า GPM/kW โดยถ้ากลุ่มใดมีค่าดังกล่าวมีค่าสูงสุดควรทำการเดินให้มาก
2.6 มีการเดินปั๊มสลับกันไปมาหรือไม่	<input type="checkbox"/> สลับกันไปมา <input type="checkbox"/> ไม่มีการสลับ	ปั๊มแต่ละชุดมีประสิทธิภาพไม่เท่ากันเพราะมีการสึกหรอและการเชื่อมต่อที่แตกต่างกัน ดังนั้น ควรตรวจวัดประสิทธิภาพแล้วเดินใช้งานชุดที่มีค่า GPM/kW ที่สูงที่สุดให้มากขึ้น
2.7 มีปั๊มชุดใดที่ผ่านการซ่อมบำรุงมาใหม่หรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ปั๊มที่ผ่านการซ่อมบำรุงจะอยู่ในสภาพที่ดีกว่าปั๊มชุดอื่นดังนั้นจึงควรนำมาเดินมากกว่าชุดอื่น
2.8 มอเตอร์เคยไหม้หรือไม่	<input type="checkbox"/> เคย.....ครั้ง <input type="checkbox"/> ไม่เคย	มอเตอร์ไหม้แต่ละครั้งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพลดลงประมาณ 4 % ดังนั้น มอเตอร์ขนาดเล็กควรเปลี่ยนใหม่และถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดใหญ่ไม่ควรไหม้เกิน 3 ครั้งหรือควรนำมอเตอร์ที่ไหม้สลับไปใช้ในจุดที่มีการใช้งานน้อย
2.9 มีมอเตอร์ปั๊มชุดใดใช้กระแสไฟฟ้สูงกว่าชุดอื่นหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> เท่ากัน	ที่สภาวะที่เท่ากันถ้ามอเตอร์ชุดใดใช้กระแสไฟฟ้สูงกว่าชุดอื่นแสดงว่าผิดปกติ ควรลดการใช้งานและตรวจสอบแก้ไข
2.10 มีปั๊มน้ำชุดใดที่ความดันตกคร่อม	<input type="checkbox"/> มี	ปั๊มน้ำความดันตกคร่อมสูงกว่าชุดอื่นแสดง

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
สูงกว่าชุดอื่น	<input type="checkbox"/> เท่ากัน	ว่าสามารถส่งน้ำได้น้อยกว่าชุดอื่นดังนั้นควรทำการตรวจสอบแก้ไข
2.11 ใช้อุปกรณ์ปรับลรอบมอเตอร์ได้หรือไม่	<input type="checkbox"/> ได้ <input type="checkbox"/> ไม่ได้เพราะ.....	การลรอบมอเตอร์จะส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าที่มอเตอร์เป็นกำลังสามของรอบมอเตอร์ที่ลดลงสำหรับปั๊มแบบแรงเหวี่ยงแต่ไม่ควรลดต่ำกว่า 40% เพราะจะทำให้ประสิทธิภาพของมอเตอร์ลดต่ำลงมากและมอเตอร์จะระบายความร้อนได้น้อย
2.12 ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงได้หรือไม่	<input type="checkbox"/> ได้ <input type="checkbox"/> ไม่ได้เพราะ.....	เมื่อต้องการเปลี่ยนมอเตอร์ควรพิจารณาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง
2.13 อุณหภูมิผิวมอเตอร์สูงหรือไม่	<input type="checkbox"/> สูง <input type="checkbox"/> ไม่สูง	มอเตอร์ชุดใดที่อุณหภูมิสูงแสดงว่าประสิทธิภาพต่ำโดยเฉพาะมอเตอร์ที่เคยใหม่จะมีอุณหภูมิสูงกว่ามอเตอร์ที่ไม่เคยใหม่ ดังนั้นควรนำมาใช้งานให้น้อย
3. หอฝึ่งเย็น		
3.1 หอฝึ่งเย็นเป็นแบบใด	<input type="checkbox"/> เหลี่ยม <input type="checkbox"/> กลม	หอฝึ่งเย็นแบบเหลี่ยมจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบกลม โดยทั่วไปประมาณ 2 °F ดังนั้นหากต้องการติดตั้งหรือเปลี่ยนใหม่ควรเลือกใช้แบบเหลี่ยม
3.2 ขนาดพิกัดของหอฝึ่งเย็น (CT) เทียบกับพิกัดของเครื่องทำน้ำเย็น	<input type="checkbox"/> มากกว่า 10-20% <input type="checkbox"/> มากกว่า 20-30%	ขนาดพิกัดของหอฝึ่งเย็นควรมีขนาดมากกว่าขนาดพิกัดของ Chiller 20-30% เพื่อให้เกิดการระบายความร้อนได้เพียงพอ
3.3 ระดับน้ำในถาดหอฝึ่งเย็นแบบเหลี่ยม	<input type="checkbox"/> ต่ำกว่า 1/3 ของความสูงถาด <input type="checkbox"/> สูงกว่า 1/3 ของความสูงถาด	ควรสูงกว่า 1/3 ของความสูงเพื่อจะทำให้อัตราการไหลของน้ำเหมาะสม
3.4 รูน้ำในถาดของหอฝึ่งเย็นแบบเหลี่ยมหรือรูน้ำของ Sprinkle Pipe ตันหรือไม่	<input type="checkbox"/> ตันบางส่วน <input type="checkbox"/> ไม่ตัน	รูทุกรูไม่ควรตันเพื่อจะทำให้เกิดการกระจายน้ำได้ดี ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนจะสูงขึ้น
3.5 รอบการหมุนของ Sprinkle Pipe ตันหรือไม่	<input type="checkbox"/> ต่ำกว่ามาตรฐาน <input type="checkbox"/> สูงกว่ามาตรฐาน	รอบเร็วกว่ามาตรฐานแสดงว่าปริมาณน้ำมากเกินไปส่งผลให้ประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศลดลง ถ้าช้าเกินไปเกิดจากน้ำน้อยเกินไป
3.6 อากาศออกด้านบนมีเม็ดน้ำหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	มีเม็ดน้ำอาจเกิดจากความเร็วลมสูงเกินไปหรือที่ Sprinkle Pipe ไม่มีแผ่นกันน้ำหรือปริมาณน้ำมากเกินไป
3.7 น้ำกระเด็นออกด้านข้าง	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	อาจเกิดจากระดับน้ำในอ่างสูงเกินไป หรือปริมาณน้ำที่ตกมากเกินไป หรือไม่มี Louver
3.8 มีอากาศร้อนชื้นที่พ่นออกย้อนกลับเข้า CT หรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	อากาศที่พ่นทั้งมีอุณหภูมิและความชื้นสูงเมื่อย้อนกลับเข้าระบายความร้อนจะทำให้

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
		ประสิทธิภาพของ CT ลดลง อาจแก้ไขโดยการต่อปากทางออกให้สูงขึ้น (Hood)
3.9 มีการปล่อยน้ำผ่าน CT โดยไม่เปิดพัดลมหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ไม่ควรปล่อยน้ำผ่าน CT ที่ไม่ได้เปิดพัดลม เพราะจะทำให้อุณหภูมิน้ำที่ได้อ่อนเข้า chiller มีอุณหภูมิสูง ส่งผลให้ค่า kW/TR สูงขึ้น
3.10 แผ่น filler สกปรกและลัมหรือไม่	<input type="checkbox"/> สภาพดี <input type="checkbox"/> สกปรกและลัม	ควรทำความสะอาด filling เป็นประจำ และเปลี่ยนเมื่อหมดอายุการใช้งาน อีกทั้งควรใส่ให้เต็มและไม่มีลัมจะส่งผลให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนความร้อนดี อุณหภูมิน้ำที่ได้จะลดลง
3.11 อุณหภูมิน้ำที่ได้สูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศเข้าระบาย	<input type="checkbox"/> เกิน 4 ⁰ F <input type="checkbox"/> ต่ำกว่า 4 ⁰ F	อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าระบายเกิน 4 ⁰ F อาจเกิดจากปริมาณน้ำมาก ปริมาณอากาศน้อย รู Spinkle pipe ตัน Spinkle head รั่ว หรือ filling ตัน
3.12 มีการตรวจวัดอุณหภูมิที่ได้จากหอผึ่งเย็นแต่ละชุดหรือไม่	<input type="checkbox"/> ไม่เคย <input type="checkbox"/> ตรวจวัดประจำ	หอผึ่งเย็นที่ทำอุณหภูมิน้ำได้ต่ำจะมีประสิทธิภาพดี ดังนั้นควรนำมาใช้ให้มากขึ้น (ที่น้ำไหลเท่ากัน)
3.13 แต่ละชุดกระแสไฟฟ้าต่างกันหรือไม่	<input type="checkbox"/> ไม่ต่างกัน <input type="checkbox"/> ต่างกัน	ชุดที่ใช้กระแสไฟฟ้าน้อยที่สุด ควรนำมาใช้งานให้มากขึ้น และควรตรวจสอบว่า filling ตันหรือไม่ และใบพัดลมกินลมต่างกันหรือไม่
3.14 ใช้งานหอผึ่งเย็นมากกว่าจำนวนการเดิน chiller 1 ชุด หรือไม่	<input type="checkbox"/> มากกว่า 1 ชุด <input type="checkbox"/> เท่ากัน	เพื่อให้อุณหภูมิน้ำระบายความร้อนลดลง ควรเดินหอผึ่งเย็นให้มากกว่าการเดินเครื่องทำน้ำเย็น 1 ชุด หรือทดลองเปิดเพิ่ม แล้วตรวจวัดอุณหภูมิน้ำที่ได้ว่าลดลงหรือไม่
3.15 บันทึกรายการใช้น้ำที่เข้ากับหอผึ่งเย็นทุกวันหรือไม่	<input type="checkbox"/> บันทึก <input type="checkbox"/> ไม่บันทึก	หอผึ่งเย็นที่มีการใช้น้ำมากหรือน้อยเกินไป จะบอกถึงสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นของหอผึ่งเย็น โดยทั่วไปไม่ควรเกิน 3% ของอัตราการใช้ของน้ำ
3.16 บันทึกกระแสไฟฟ้าหรือพลังไฟฟ้าที่หอผึ่งเย็นใช้เป็นประจำหรือไม่	<input type="checkbox"/> บันทึก <input type="checkbox"/> ไม่บันทึก	กระแสไฟฟ้าของพลังไฟฟ้า ถ้ามีการใช้สูงหรือต่ำกว่าเดิม จะบอกถึงสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้น
4. อีวาโปรที่พคอนเดนเซอร์		
4.1 การสเปรย์น้ำออกจากหัวฉีดเป็นฝอยดีหรือไม่	<input type="checkbox"/> ดี <input type="checkbox"/> ไม่ดี	การสเปรย์น้ำไม่ดีหรือหัวฉีดเกิดการอุดตันจะส่งผลให้ขาดต่อความร้อนบริเวณนั้น ไม่ได้รับการระบายความร้อน ทำให้ความดันสารทำเย็นด้านสูง (High pressure) เพิ่มมากขึ้น ดังนั้น ควรทำแผนการตรวจสอบและทำความสะอาด

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
4.2 ผลต่างอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่ออกและอุณหภูมิสารทำความเย็นใน condenser ที่ภาระสูงสุด	<input type="checkbox"/> สูงกว่า 6°F <input type="checkbox"/> ต่ำกว่า 6°F	ผลต่างอุณหภูมิสูงกว่า 6°F แสดงว่าประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนต่ำ อาจเกิดจากตะกอนบนผิวท่อหรืออัตราการไหลของน้ำมากเกินไป หรือปริมาณอากาศที่เข้าระบายน้อยเกินไป
4.3 อุณหภูมิน้ำที่ได้สูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่เข้าระบบ	<input type="checkbox"/> เกิน 4°F <input type="checkbox"/> ไม่เกิน 4°F	อุณหภูมิแตกต่างกันสูงกว่า 4°F อาจเกิดจากปริมาณน้ำมากเกินไป หรือปริมาณอากาศน้อยเกินไป หรือหัวฉีดสเปรย์น้ำไม่ดี
4.4 อากาศที่ออกมีเม็ดน้ำติดออกมาหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	อากาศที่ออกควรเป็นละอองความชื้นเท่านั้น การที่เม็ดน้ำออกมาด้วยอาจเกิดจากพัดลมแรงเกินไปหรือการสเปรย์ไม่เป็นฝอยที่ดี หรือไม่มีแผ่นกันน้ำ (Eliminator)
4.5 อุณหภูมิที่สารทำความเย็นที่ได้หลังจากระบายความร้อนในแต่ละท่อใกล้เคียงกันหรือไม่	<input type="checkbox"/> ต่างกันมาก <input type="checkbox"/> ใกล้เคียงกัน	อุณหภูมิสารทำความเย็นที่ออกจาก EV ในแต่ละท่อควรจะใกล้เคียงกัน ดังนั้นถ้าต่างกันมาก อาจเกิดจากการระบายความร้อนบริเวณท่อน้ำผิดปกติ เช่น อากาศน้อยหรือน้ำน้อยหรือตะกอนมาก
4.6 อากาศที่เข้าระบายมีอุณหภูมิและความชื้นสูงกว่าอากาศแวดล้อมหรือไม่	<input type="checkbox"/> สูงกว่า <input type="checkbox"/> เท่ากัน	อากาศที่เข้าระบายควรมีอุณหภูมิและความชื้นเท่ากับอากาศแวดล้อมอื่นๆ ดังนั้น ถ้าสูงกว่าควรหาสาเหตุซึ่งอาจเกิดจากอากาศร้อนที่ระบายออกเกิดลัดวงจรหรือความร้อนจากบริเวณรอบข้าง
4.7 ผิวท่อคอนเดนเซอร์สะอาดหรือไม่	<input type="checkbox"/> สะอาด <input type="checkbox"/> มีตะกอน	แต่ละชุดจะมีประสิทธิภาพไม่เท่ากัน โดยชุดที่สามารถทำอุณหภูมิสารที่ออกอุณหภูมิต่ำสุด เป็นชุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นควรนำมาใช้งานให้มาก
4.8 มีการสเปรย์น้ำโดยไม่เปิดพัดลมหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	การสเปรย์น้ำโดยไม่เปิดพัดลมจะส่งผลให้อุณหภูมิน้ำสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้การระบายความร้อนให้กับสารทำความเย็นน้อยลง
4.9 น้ำหมุนวนเข้าระบายความร้อนที่สูบล้อมีอุณหภูมิสูงหรือไม่	<input type="checkbox"/> สูง <input type="checkbox"/> ไม่สูง	น้ำเข้าระบายความร้อนมีอุณหภูมิสูงอาจแก้ไขโดยการเพิ่มปริมาณอากาศเข้าระบายหรืออาจติดตั้งหอฝุ้งเย็น เมื่อดูตุน้ำไประบายความร้อนอีกครั้งก่อนนำไปใช้สเปรย์
4.10 มี EV หลายชุดแล้วสลับกันเดินใช้งานหรือไม่	<input type="checkbox"/> สลับกันเดิน <input type="checkbox"/> ใช้สลับ	ผิวท่อด้านสัมผัสน้ำควรทำความสะอาดเป็นประจำ เพราะตะกอนที่เกาะจะเป็นฉนวนความร้อนส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง
4.11 มีมอเตอร์ที่เคยไหม้หรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	มอเตอร์ไหม้แต่ละครั้งประสิทธิภาพจะลดลงประมาณ 4% ดังนั้น ควรลดการใช้งานหรือทำงานเปลี่ยนใหม่

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
5. อีวาโปเรเตอร์		
5.1 กรองอากาศตันหรือไม่	<input type="checkbox"/> ตัน <input type="checkbox"/> ไม่ตัน	กรองอากาศตันจะทำให้ปริมาณลมไหลผ่านขอต่ความเย็นน้อยลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนลดลง และอาจเกิดน้ำแข็งเกาะได้
5.2 ทำความสะอาดขดท่อและพัดลมเป็นประจำหรือไม่	<input type="checkbox"/> ทำเป็นประจำ <input type="checkbox"/> ไม่เคยทำ	การทำความสะอาดเป็นประจำในกรณีที่เหมาะสม จะส่งผลให้ประสิทธิภาพแลกเปลี่ยนความร้อนสูง
5.3 การละลายน้ำแข็งบ่อยหรือไม่	<input type="checkbox"/> เหมาะสม <input type="checkbox"/> ไม่เหมาะสม	มีภาระน้อย อัตราการเกิดน้ำแข็งจะน้อยกว่าที่ภาระมาก ดังนั้นควรละลายน้ำแข็งให้เหมาะสม เพราะการละลายน้ำแข็งจะเป็นการเพิ่มภาระในการทำความเย็น
5.4 การละลายน้ำแข็งนานไปหรือไม่	<input type="checkbox"/> เหมาะสม <input type="checkbox"/> ไม่เหมาะสม	เมื่อน้ำแข็งละลายหมด ควรหยุดให้ความร้อนทันที เมื่อลดภาระการทำความเย็น
5.5 อุณหภูมิใช้งานในพื้นที่ต่ำกว่ามาตรฐานหรือไม่	<input type="checkbox"/> ต่ำกว่า <input type="checkbox"/> สูงกว่า <input type="checkbox"/> มาตรฐาน	อุณหภูมิในพื้นที่ควรเป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด ถ้าต่ำเกินไปจะส่งผลให้มีการใช้พลังงานมากขึ้น เนื่องจากการสูญเสียในทางต่างๆ จะมากขึ้น รวมทั้งระบบจะมีประสิทธิภาพลดลง
5.6 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิเหมาะสมหรือไม่	<input type="checkbox"/> เหมาะสม <input type="checkbox"/> ไม่เหมาะสม	อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญมาก ดังนั้นนอกจากอุปกรณ์จะต้องมีความเที่ยงตรงแล้ว ยังจะต้องติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสมที่จะบอกได้ว่าอุณหภูมิน้ำหยดของพื้นที่ไม่ได้สูงเกินมาตรฐานที่กำหนด
5.7 การติดตั้งพัดลมทำให้เกิดการกระจายลมดีหรือไม่	<input type="checkbox"/> ดี <input type="checkbox"/> ไม่ดี	การกระจายลมภายในห้องเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากบางครั้งการกระจายลมไม่ดี ส่งผลให้บางจุดอุณหภูมิสูง และบางจุดอุณหภูมิต่ำกว่ามาตรฐาน
5.8 มีปัญหาเมื่อภาระมากไม่สามารถทำอุณหภูมิได้ตามต้องการหรือใช้เวลานานหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ผู้ใช้แก้ไขได้โดยการลดอุณหภูมิควบคุมให้ต่ำลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพของระบบโดยรวมลดลง
5.9 พัดลมใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงหรือไม่	<input type="checkbox"/> ใช่ <input type="checkbox"/> ไม่ใช่ เพราะ	ปัญหาอาจเกิดจากประสิทธิภาพของอีวาโปเรเตอร์ลดลง การกระจายลมไม่ดี ปริมาณการทำความเย็นน้อยกว่าภาระ ความเร็วลมต่ำเกินไป ขนาดของอีวาโปเรเตอร์เล็กเกินไป การจัดวางผลิตภัณฑ์ไม่ดี อุปกรณ์ลดความดันมีปัญหา หรือมีอากาศอยู่ภายในระบบ
6. อื่น ๆ		
6.1 สภาพฉนวนหุ้มท่อและอุปกรณ์ดีหรือไม่	<input type="checkbox"/> ดี	ระบบทำความเย็นจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมาก ดังนั้นเมื่อ

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
	<input type="checkbox"/> ชำรุด <input type="checkbox"/> เสื่อมสภาพ	ฉนวนสภาพจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียความเย็นมาก
6.2 จัดการเดินอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบตามภาระมากหรือไม่	<input type="checkbox"/> จัดการเดินตามภาระ <input type="checkbox"/> เดินคงที่ตลอดเวลา	ที่ภาวะต่างๆ โรงงานควรมีมาตรฐานการเดินเพื่อให้ผู้ควบคุมทุกคนเดินให้เหมาะสมกับภาระตลอดเวลา ถ้าเดินมากเกินไปจะสิ้นเปลืองพลังงาน
6.3 มีการรั่วของสารทำความเย็นในระบบมากหรือไม่	<input type="checkbox"/> รั่ว <input type="checkbox"/> ไม่รั่ว	ควรทำแผนตรวจสอบและซ่อมแซมรูรั่วอย่างสม่ำเสมอ เพราะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบและสิ้นเปลืองสารทำความเย็น
6.4 มีอากาศรั่วเข้าไปในระบบมากหรือไม่	<input type="checkbox"/> รั่ว <input type="checkbox"/> ไม่รั่ว	สารทำความเย็นที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ มักจะมีการรั่วของอากาศเข้าไปในระบบเสมอ ซึ่งอากาศจะเป็นฉนวนความร้อน ส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมลดลง ดังนั้น ควรตรวจสอบและซ่อมแซมอย่างสม่ำเสมอ
6.5 ห้องเย็นใช้ประตู 2 ชั้นหรือไม่	<input type="checkbox"/> ใช้ <input type="checkbox"/> ไม่ใช้	ห้องเย็นโดยทั่วไปจะมีอุณหภูมิต่างจากอุณหภูมิแวดล้อมมาก ดังนั้นเพื่อป้องกันความร้อน ควรติดตั้งประตู 2 ชั้น
6.6 ประตูห้องเย็นมีม่านพลาสติกหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	เมื่อเปิดประตูห้องเย็น ความร้อนจะผ่านเข้ามาอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเพื่อชะลอการผ่านความร้อน ควรติดม่านพลาสติกหรือม่านลม
6.7 มีการเปิดประตูห้องเย็นบ่อยหรือเปิดประตูทิ้งไว้หรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	การเปิดประตูแต่ละครั้งจะมีความร้อนเข้าสู่ห้องเย็น ดังนั้นควรลดการเข้า/ออกให้น้อยลง และอาจติดสัญญาณเตือนเมื่อประตูเปิดทิ้งไว้เป็นเวลานาน
6.8 มีการติดตั้งอุปกรณ์ลดความชื้นภายในห้องเย็นหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	อุปกรณ์ลดความชื้นจะช่วยลดการเกิดน้ำแข็งภายในห้องและที่ขดท่อความเย็น ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของห้องเย็นสูงขึ้น
6.9 มีการติดตั้งสวิทช์ปิดไฟฟ้าแสงสว่างอัตโนมัติหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	การเปิดไฟฟ้าแสงสว่างทิ้งไว้จะเป็นการเพิ่มภาระการทำความเย็น ดังนั้นควรติดตั้งสวิทช์ไฟฟ้าอัตโนมัติเพื่อปิดเมื่อไม่มีการใช้งาน
6.10 ใช้หลอดไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงในห้องเย็นหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	หลอดไฟฟ้าแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงจะลดภาระการทำความเย็นได้
6.11 มีระบบการจัดวางสิ่งของในห้องเย็นที่เป็นมาตรฐานหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ห้องเย็นจำเป็นที่จะต้องมีความมาตรฐานการจัดวาง เพื่อให้เกิดการกระจายลมที่ดี ส่งผลถึงอุณหภูมิและระยะเวลาที่ใช้
6.12 การใช้ห้องเย็นหรืออุปกรณ์ทำความเย็นต่างๆ มีการบริหารการใช้ที่เต็มพิกัดทุกครั้งหรือไม่	<input type="checkbox"/> เต็มพิกัดทุกครั้ง <input type="checkbox"/> บางครั้งไม่เต็มพิกัด	ห้องเย็นและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ความเย็นจะมีการสูญเสียที่คงที่ ดังนั้นเมื่อใช้งานที่ภาระต่ำกว่า พิกัดต้นทุนจะสูงขึ้น

แนวทางการตรวจ		แนวทางการวินิจฉัย
รายการตรวจ	ผลการตรวจ	
6.13 แยกระบบตามระดับอุณหภูมิที่ใช้ งานหรือไม่	<input type="checkbox"/> แยก <input type="checkbox"/> ไม่แยก	ถ้าอุปกรณ์ส่วนน้อยใช้อุณหภูมิต่ำและ อุปกรณ์ส่วนใหญ่ใช้อุณหภูมิสูง ควรทำการ แยกระบบทำความเย็นเป็นระบบที่ใช้ อุณหภูมิสูงและระบบทำความเย็นเป็น ระบบที่ใช้อุณหภูมิต่ำเพื่อไปใช้กับอุปกรณ์ ส่วนน้อยเพราะต้นทุนต่างกัน
6.14 มีการใช้อุปกรณ์กำจัดหรือป้องกันการ เกิดตะกรันในฮีวาโปรเทคท คอนเดนเซอร์และห่อผึ้งเย็นหรือไม่	<input type="checkbox"/> มี <input type="checkbox"/> ไม่มี	ปัจจุบันมีการใช้ไอโซนและอุปกรณ์เปลี่ยน ประจุมาใช้ในการป้องกันการเกิดตะกรันใน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ

(2) การบำรุงรักษาระบบทำความเย็นเพื่อการประหยัดพลังงานมีอะไรบ้าง ?

รายละเอียดการดำเนินการ	ระยะเวลาที่เหมาะสม
1. เครื่องอัดสารทำความเย็น 1.1 ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ต่อไปนี้ <ul style="list-style-type: none"> - เทอร์โมมิเตอร์ - เกจวัดความดัน 1.2 ทำความสะอาดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้านคอนเดนเซอร์ ตรวจสอบสภาพ สี และปริมาณ ของสารทำความเย็นและน้ำมันหล่อลื่น 1.3 เปลี่ยนสารและอุปกรณ์ <ul style="list-style-type: none"> - Refrigerant dryer - น้ำมันหล่อลื่น - ไลเกอร์ 	ทุกวัน ทุก 6 เดือน เมื่อหมดอายุการใช้งาน
1.4 ตรวจสอบและบันทึกค่าตัวแปรต่างๆ ต่อไปนี้ เพื่อใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง <ul style="list-style-type: none"> - กระแสแรงดัน และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ - ความดัน และอุณหภูมิของสารทำความเย็น - อุณหภูมิและความดันของน้ำเย็น/ น้ำหล่อเย็น ทั้งด้านเข้าและออก - อัตราการไหลของน้ำเย็น/ น้ำหล่อเย็น 	ทุกวัน
2. เครื่องสูบน้ำและเครื่องสูบน้ำหล่อเย็น 2.1 ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ต่อไปนี้ <ul style="list-style-type: none"> - เกจวัดความดัน - วาล์วปรับอัตราการไหล - Automatic air vent 2.2 ทำความสะอาดตัวกรองสารแขวนลอย (Strainer) 2.3 ตรวจสอบและบันทึกค่าตัวแปรต่างๆ ต่อไปนี้ <ul style="list-style-type: none"> - กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ - ความดันของน้ำเย็นและน้ำหล่อเย็น ทั้งด้านดูดและด้านจ่าย 2.4 ตรวจสอบความร้อนที่ตัวมอเตอร์	ทุกวัน ทุก 6 เดือน ทุกวัน ทุกเดือน

รายละเอียดการดำเนินการ	ระยะเวลาที่เหมาะสม
<p>3. หอฝึ่งเย็น</p> <p>3.1 ล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆ ต่อไปนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> - PVC Filling - ถาดรับน้ำ - ชุดจ่ายน้ำ <p>3.2 ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ต่อไปนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> - วาล์วลูกกลอย - ชุดจ่ายน้ำ-พัดลม - วาล์วปีกผีเสื้อ (butterfly valve) ต่างๆ เช่น วาล์วน้ำเข้า วาล์วน้ำออก วาล์วปรับสมดุล เป็นต้น <p>3.3 ตรวจสอบสภาพและปรับแต่งความตึงของสายพาน (ถ้ามี) หรือชุดเกียร์ส่งกำลัง (ถ้ามี)</p>	<p>ทุกวัน</p> <p>ทุกวัน</p> <p>ทุกเดือน</p>
<p>4. เครื่องส่งลมเย็น</p> <p>4.1 ล้างทำความสะอาดอุปกรณ์ต่างๆ ต่อไปนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> - แผงกรองอากาศ (Air filter) - ขดท่อความเย็น (Cooling coil) 	<p>ทุกเดือน</p> <p>ทุก 6 เดือน</p>
<p>4.2 ตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ต่อไปนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> - เทอร์โมมิเตอร์ - พัดลม - เกจวัดความดัน - เทอร์โมสตัท <p>4.3 ตรวจสอบวัดและบันทึกค่าตัวแปรต่างๆ ต่อไปนี้</p> <ul style="list-style-type: none"> - อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ - กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 	<p>ทุกวัน</p> <p>ทุก 6 เดือน</p>