



สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ระบบทำความเย็น และปรับอากาศ

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 3 แก้ไขเพิ่มเติม

ดร.ไชยณรงค์ จักรธรานนท์

สารบัญ

	หน้า
คำนิยม	(11)
คำนำ	(13)
บทที่ 1	
บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของระบบทำความเย็นและปรับอากาศ	1
1.2 วิวัฒนาการของระบบทำความเย็น	2
1.3 ระบบทำความเย็นและปรับอากาศในปัจจุบัน	5
1.4 ระบบทำความเย็นประเภทต่างๆ	7
1.5 คุณสมบัติทางพลศาสตร์ด้านความร้อน	12
1.6 การถ่ายเทความร้อน	18
1.7 หน่วยสากล	25
คำถามท้ายบท	26
บรรณานุกรม	29
บทที่ 2	
วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ	31
2.1 บทนำ	31
2.2 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ	31
2.3 ค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะ	34
2.4 สารทำความเย็น	35
2.5 เงื่อนไขสำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของสมรรถนะที่สูงสุด	35
2.6 ปิดจํากัดอุณหภูมิ	36
2.7 ป้อนความร้อนแบบคาร์โนต์	37
2.8 สถานะของสารทำความเย็น	39
2.9 การปรับปรุงวัฏจักรคาร์โนต์	40

2.10	การอัดตัวแบบเปียกเทียบกับการอัดตัวแบบแห้ง	40
2.11	กระบวนการขยายตัว	42
2.12	วัฏจักรอัดไอมาตรฐาน	42
2.13	คุณสมบัติของสารทำความเย็น	43
2.14	สมรรถนะของวัฏจักรอัดไอแบบมาตรฐาน	45
2.15	อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	49
2.16	วัฏจักรอัดไอจริง	50
2.17	ระบบทำความเย็นแบบลำดับขั้น	51
2.18	ระบบทำความเย็นแบบอัดหลายชั้น	55
	คำถามท้ายบท	58
	บรรณานุกรม	60

บทที่ 3

	สภาวะอากาศ	61
3.1	บทนำ	61
3.2	แผนภูมิอากาศ	63
3.3	การถ่ายเทความร้อนและมวลในขณะเดียวกัน: กฎของเส้นตรง	72
3.4	การอัดตัวแบบอะเดียแบติกและอุณหภูมิกระเปาะเปียก	74
3.5	ความเปียกเบนระหว่างเส้นเอนทัลปีและเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียก	75
3.6	เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก	76
3.7	กระบวนการ	78
3.8	การถ่ายเทความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงกับพื้นที่ผิวเปียก	81
3.9	ศักย์ของเอนทัลปี	82
3.10	การวิเคราะห์โดยใช้ศักย์ของเอนทัลปี	83
	คำถามท้ายบท	86
	บรรณานุกรม	88

	หน้า
บทที่ 4 คอยล์เย็นและการลดความชื้น	89
4.1 บทนำ	89
4.2 สภาวะของอากาศเมื่อพัดผ่านคอยล์ (อุดมคติ)	90
4.3 การถ่ายเทมวลและความร้อน	91
4.4 การคำนวณหาพื้นที่ผิวของคอยล์	94
4.5 การกำจัดความชื้น	97
4.6 เส้นสภาวะที่แท้จริงของคอยล์	98
4.7 การหาสภาวะที่ตำแหน่งทางออก	99
4.8 คอยล์ที่มีส่วนแห้งบางส่วน	100
4.9 สมรรถนะของคอยล์จากข้อมูลของผู้ผลิต	102
คำถามท้ายบท	105
บรรณานุกรม	106
บทที่ 5 อุปกรณ์	107
5.1 บทนำ	107
5.2 เครื่องอัด	108
5.3 เครื่องควบแน่น	129
5.4 เครื่องระเหย	158
5.5 วาล์วขยายตัวหรือวาล์วลดความดัน	168
5.6 อุปกรณ์อื่นๆ	172
คำถามท้ายบท	175
บรรณานุกรม	176
บทที่ 6 สารทำความเย็น	177
6.1 สารทำความเย็นปฐมภูมิและทุติยภูมิ	177
6.2 คุณสมบัติของสารทำความเย็น	178
6.3 การเลือกสารทำความเย็น	186

	หน้า
6.4 ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม	192
คำถามท้ายบท	197
บรรณานุกรม	198
บทที่ 7 การคำนวณภาระการทำความเย็นในระบบทำความเย็น	199
7.1 บทนำ	199
7.2 ภาระการทำความเย็น	201
7.3 ชั่วโมงการทำงานของอุปกรณ์	201
7.4 การคำนวณภาระการทำความเย็น	202
คำถามท้ายบท	217
บรรณานุกรม	219
บทที่ 8 การปรับอากาศ	221
8.1 บทนำ	221
8.2 ประเภทของระบบปรับอากาศ	222
8.3 อุปกรณ์หลักในระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน	232
8.4 ลักษณะของการปรับอากาศ	233
8.5 การปรับอากาศเพื่อความสบายของมนุษย์	237
คำถามท้ายบท	245
บรรณานุกรม	246
บทที่ 9 การคำนวณภาระการทำความเย็นในระบบปรับอากาศ	247
9.1 บทนำ	247
9.2 ความร้อนที่ห้องได้รับ	252
9.3 การนำความร้อนผ่านโครงสร้างภายนอกอาคาร	253
9.4 การนำความร้อนผ่านโครงสร้างภายในอาคาร	256
9.5 การแผ่รังสีความร้อนผ่านกระจก	256

	หน้า
9.6 สภาวะการออกแบบ	259
9.7 ความร้อนจากแสงสว่าง	260
9.8 ความร้อนจากคน	261
9.9 ความร้อนจากอุปกรณ์และเครื่องใช้ต่างๆ	262
9.10 การรั่วของอากาศ	263
9.11 ภาระการทำความเย็นของห้องสูงสุด	264
9.12 ภาระที่คอยล์เย็น	266
9.13 การหมุนเวียนอากาศ	267
9.14 ความร้อนที่ท่อลม	267
9.15 ความร้อนจากพัดลมและปั๊ม	268
9.16 การรั่วของอากาศจากท่อส่งลมเย็น	268
คำถามท้ายบท	269
บรรณานุกรม	272
บทที่ 10 การออกแบบท่อส่งลมเย็น	273
10.1 บทนำ	273
10.2 สมการพื้นฐานของการไหล	274
10.3 สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบท่อลม	277
10.4 ประเภทของท่อลม	283
10.5 การคำนวณขนาดของท่อลม	284
คำถามท้ายบท	298
บรรณานุกรม	300
บทที่ 11 การกระจายลม	301
11.1 บทนำ	301
11.2 หลักของการกระจายลม	305
11.3 ความสำคัญของลักษณะการเป่าลม	309
11.4 ตำแหน่งของหัวจ่ายลม	310

	หน้า
11.5 ประเภทของหัวจ่ายลม	314
11.6 การเลือกหัวจ่ายลม	318
คำถามท้ายบท	322
บรรณานุกรม	323
ภาคผนวก	
ผนวก ก	325
ผนวก ข	353
ผนวก ค	379
ผนวก ง	417
ดัชนี	421

คำนิยม

ผมได้อ่านตำราเรียน “ระบบทำความเย็นและปรับอากาศ (Refrigeration and Air Conditioning Systems)” ของรองศาสตราจารย์ ดร.ไชยณรงค์ จักรรณนันทน์ แล้วพบว่า เป็นตำราเรียนที่มีคุณภาพสูงเหมาะสำหรับนักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกลหรือสาขาอื่นที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนวิศวกรเครื่องกลและผู้สนใจด้านระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศ โดยตำราเรียนเล่มนี้ยังได้ผนวกความรู้ที่สำคัญและจำเป็นต้องรู้ทั้งส่วนที่เป็นระบบทำความเย็นและส่วนที่เป็นระบบปรับอากาศเข้าด้วยกัน และผมคิดว่าตำราเรียนเล่มนี้เป็นตำราที่นักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกลและวิศวกรควรอ่านเป็นอย่างยิ่ง เพราะได้นำเสนอความรู้พื้นฐานอย่างเป็นระบบและเป็นขั้นเป็นตอนตั้งแต่ความรู้พื้นฐานของระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ที่สำคัญ การวิเคราะห์เชิงลึกในระบบทำความเย็นและปรับอากาศ ตลอดจนถึงการออกแบบที่สามารถนำไปใช้ในงานวิศวกรรมเครื่องกลจริงซึ่งได้รวบรวมตัวอย่างการใช้ตารางต่าง ๆ เพื่อออกแบบที่อ้างอิงถึงมาตรฐานการออกแบบสากล เช่น มาตรฐานวิศวกรรมปรับอากาศแห่งอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Standard, ASHRAE Standard) และมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ดังนั้นตำราเล่มนี้สามารถนำไปใช้ทั้งในภาคปฏิบัติและภาคทฤษฎีต่อไปได้


(ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช)

คำนำ

การทำความเข้าใจและการปรับอากาศมีความสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรมและภาคอาคารเป็นอย่างมาก ในภาคอุตสาหกรรม ระดับของอุณหภูมิและความชื้นของอากาศจะมีผลต่อคุณภาพการผลิตและการรักษาสินค้าบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมการพิมพ์ อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ อุตสาหกรรมอาหารและยา เป็นต้น ส่วนในภาคอาคาร สภาพอากาศจะมีผลต่อความสบายของผู้ใช้อาคาร โดยแต่ละกิจกรรมมีความต้องการการออกแบบเพื่อให้เกิดความสบายที่แตกต่างกัน

ตำราเล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อให้นักศึกษาวิศวกรรมเครื่องกลระดับปริญญาตรี และผู้สนใจใช้เรียนรู้เกี่ยวกับระบบทำความเย็นและการปรับอากาศ เนื่องจากเป็นวิชาประยุกต์ของหลายสาขาวิชา ดังนั้นผู้อ่านควรมีความรู้พื้นฐานของวิชาอื่นๆ มาก่อน เช่น กลศาสตร์ของไหล พลศาสตร์ความร้อน และการถ่ายเทความร้อน เป็นต้น

วัตถุประสงค์ของหนังสือนี้มุ่งเน้นให้ผู้อ่านเข้าใจหลักการทำงานและพื้นฐานของระบบทำความเย็นและการปรับอากาศ สามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ รู้จักเลือกใช้อุปกรณ์ให้เหมาะสมกับสภาวะการใช้งาน และคิดคำนวณหาภาระการทำความเย็นและการปรับอากาศได้เพื่อเลือกอุปกรณ์ได้เหมาะสม นอกจากนี้ผู้เขียนยังหวังว่าผู้อ่านสามารถนำความรู้ความเข้าใจที่ได้จากตำราเล่มนี้ไปใช้เป็นพื้นฐานของการอนุรักษ์พลังงานทั้งภายในอาคารและในโรงงานอุตสาหกรรมในอนาคตได้

ในบทที่ 1 ถึง 6 กล่าวถึงพื้นฐานและการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ทั้งในระบบทำความเย็นและปรับอากาศ และสารทำความเย็นที่ใช้ในงานการทำความเย็น และในบทที่ 7 จะอธิบายวิธีการคำนวณภาระการทำความเย็นสำหรับระบบทำความเย็น ส่วนในบทที่ 8 ถึง 11 จะกล่าวถึงระบบการปรับอากาศในหัวเรื่องต่างๆ เช่น ประเภทของระบบการปรับอากาศ การคำนวณภาระการทำความเย็น รวมถึงวิธีการออกแบบท่อลมและหลักการกระจายลมที่เหมาะสม

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ รศ.ดร. วิโรจน์ ลิ่มตระกูล และ รศ.ดร. ดุลยโชติ ชลสิทธิ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ได้แลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ต่างๆ ทั้งในด้านทฤษฎีและกรณีศึกษาจริง รวมถึงคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่ผู้เขียนเพื่อใช้ในการเขียนตำราเล่มนี้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

บทที่ 10

การออกแบบท่อลม

10.1 บทนำ

หน้าที่ของท่อลมในระบบปรับอากาศ คือ การนำอากาศจากบริเวณหนึ่งไปยังอีกบริเวณหนึ่ง เช่น นำอากาศเย็นจากเครื่องเป่าลม (air handling apparatus) ไปยังบริเวณที่ปรับอากาศ หรือการนำลมจากพื้นที่ปรับอากาศกลับไปเครื่องเป่าลม รวมถึงการนำอากาศที่ต้องการระบายทิ้งไปอีกพื้นที่หนึ่ง เช่น การระบายอากาศในบริเวณที่จอดรถ หรือการระบายอากาศจากในครัว (รูปที่ 10.1) เป็นต้น

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของการออกแบบท่อส่งลมเย็น และปัจจัยที่ต้องคำนึงสำหรับการติดตั้งท่อลม

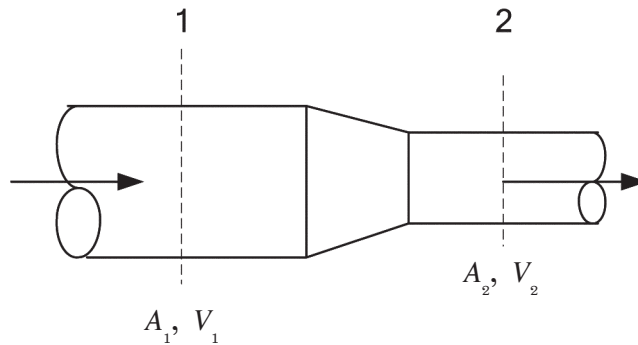


รูปที่ 10.1 การใช้ทอลมในสถานที่ต่างๆ

10.2 สมการพื้นฐานของการไหล

การไหลของอากาศผ่านทอลมในระบบปรับอากาศโดยปกติจะพิจารณาที่สภาวะการไหลเป็นแบบคงตัว (steady flow) ซึ่งหมายถึงอัตราการไหลของของไหลไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และนอกจากนี้ยังสมมติให้เป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ (incompressible flow) ซึ่งหมายถึงค่าความหนาแน่นของของไหลมีค่าคงที่ตลอดการไหล ดังนั้นในแต่ละหน้าตัดของไหลจะมีอัตราการไหลโดยปริมาตรเท่ากันทุกๆ ตำแหน่งโดยไม่คำนึงถึงรูปร่างของท่อ

จากสภาวะข้างต้น ความเร็วของของไหล ในรูปที่ 10.2 สามารถคำนวณได้จากสมการอนุรักษ์มวล (conservation of mass) หรือสมการของความต่อเนื่อง (continuity equation) คือ



รูปที่ 10.2 การพิจารณาการไหลของของไหลในท่อ

$$Q = V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad (10.1)$$

โดยที่ V_1, V_2 คือ ความเร็วของของไหล ตำแหน่งที่ 1 และ 2 [CFM]

A_1, A_2 คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ ตำแหน่งที่ 1 และ 2 [ft²]

เนื่องจากการขับเคลื่อนลมในท่อลมตามสภาวะที่ต้องการ พัดลมหรือเครื่องเป่าลมจะต้องมีกำลังเพียงพอที่สามารถเอาชนะความดันต่างๆ ภายในท่อลม เช่น ความดันเนื่องจากความสูง ความเสียดทาน เป็นต้น ความดันต่างๆ ในรูปที่ 10.3 สามารถคำนวณได้จากสมการพลังงาน คือ

$$H_{s1} + \frac{V_1^2}{2g} + H_{e1} + H_p = H_{s2} + \frac{V_2^2}{2g} + H_{e2} + H_f \quad (10.2)$$

โดยที่ H_{s1}, H_{s2} คือ ความดันสถิตที่ตำแหน่งที่ 1 และ 2

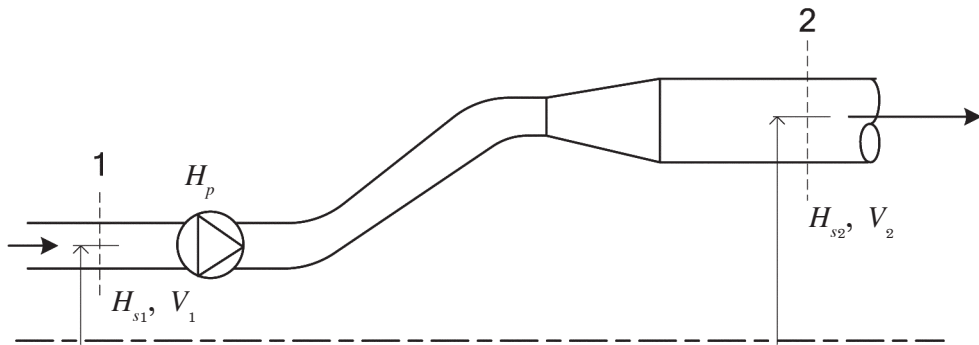
V_1, V_2 คือ ความเร็วที่ตำแหน่งที่ 1 และ 2

H_{e1}, H_{e2} คือ ความดันเนื่องจากความสูง ตำแหน่งที่ 1 และ 2

H_p คือ ความดันของพัดลมหรือเครื่องเป่าลม

H_f คือ ความดันสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานระหว่างตำแหน่งที่ 1 และ 2

g คือ ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง มีค่าเท่ากับ 32.3 ft/s²



รูปที่ 10.3 การพิจารณาสมการพลังงานของของไหลในท่อ

ตัวอย่างที่ 10.1

ลมปริมาณ 8000 CFM ผ่านท่อลมที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดแตกต่างกัน และติดตั้งในแนวนอน ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานจากตำแหน่งที่ 1 ไปยังตำแหน่งที่ 2 มีค่า 0.43 in.w. ถ้าความดันสถิตตำแหน่งที่ 1 มีค่า 1.10 in.w. จงหาความดันสถิตตำแหน่งที่ 2 กำหนดให้พื้นที่หน้าตัดของท่อตำแหน่งที่ 1 และ 2 เท่ากับ 4 ft^2 และ 16 ft^2 ตามลำดับ

วิธีทำ พิจารณาสมการ (10.2)

$$H_{s1} + \frac{V_1^2}{2g} + H_{e1} + H_p = H_{s2} + \frac{V_2^2}{2g} + H_{e2} + H_f$$

เนื่องจากไม่มีความดันจากพัดลมมาเกี่ยวข้อง ดังนั้น $H_p = 0$

ความสูงของตำแหน่งที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากัน ดังนั้น $H_{e1} - H_{e2} = 0$

เนื่องจากท่อถูกติดตั้งในแนวนอน

ความเร็วของของไหลตำแหน่ง 1 และ 2 หาได้จาก

$$V_1 = \frac{8000 \text{ ft}^3/\text{min}}{4 \text{ ft}^2} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sec}} = 33.33 \text{ ft/sec}$$

$$V_2 = \frac{8000 \text{ ft}^3/\text{min}}{16 \text{ ft}^2} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ sec}} = 8.33 \text{ ft/sec}$$

ดังนั้นความดันแตกต่างเนื่องจากความเร็วตำแหน่งที่ 1 และ 2 มีค่า

$$\frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} = \frac{(33.33)^2 - (8.33)^2}{2(32.3)} = 16.1 \text{ ft air}$$

หรือ

$$16.1 \text{ ft air} \times \frac{1 \text{ in.w.}}{69.6 \text{ ft air}} = 0.23 \text{ in.w.}$$

ดังนั้นความดันสถิตตำแหน่งที่ 2 มีค่า

$$H_{s2} = H_{s1} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} - H_f$$

$$H_{s2} = 1.10 + 0.23 - 0.43 = 0.9 \text{ in.w.g}$$

ความดันของการไหล

ความดันของของไหลหรือความดันรวม (total pressure) ประกอบด้วย ความดันสถิต (static pressure) และความดันเนื่องจากความเร็วของการไหล (velocity pressure)

$$H_t = H_s + H_v \quad (10.3)$$

โดยที่ H_s คือ ความดันสถิต

H_v คือ ความดันเนื่องจากความเร็ว

ความดันสถิตคือความดันที่ของไหลอยู่นิ่งและความดันเนื่องจากความเร็วของไหลเคลื่อนที่ หาได้จาก

$$H_v = \frac{V^2}{2g} \quad (10.4)$$

ปกติความเร็วของของไหลถูกวัดในหน่วยลูกบาศก์ฟุตต่ออนาที (CFM) แต่ความดันถูกวัดในหน่วยของความสูงน้ำ ดังนั้นเพื่อใช้หน่วยดังกล่าวสมการ (10.4) เขียนได้เป็น

$$H_v = \left(\frac{V}{4000} \right)^2 \quad (10.5)$$

10.3 สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบท่อลม

ท่อลมเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ขนส่งลมจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เช่น ลมเย็นจากคอยล์เย็นไปยังหัวจ่ายลมเย็นภายในห้องที่ต้องการปรับอากาศ หรือในบางครั้งก็ยังทำหน้าที่นำลมจากห้องที่ปรับอากาศกลับมายังคอยล์เย็นเพื่อปรับอากาศให้มีสภาวะที่เหมาะสม หรือนำลมจากห้องที่ปรับอากาศไปทิ้งภายนอก (exhaust duct) นอกจากนี้ท่อลมยังใช้สำหรับระบายควันในระบบอัดก๊าซสำหรับอาคารสูงได้ด้วย แต่เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะท่อลมที่ใช้สำหรับขนส่งลมเย็นเพื่อการปรับอากาศเท่านั้น

ระบบทำความเย็นและปรับอากาศ

ตำราเล่มนี้ได้อธิบายถึงความรู้พื้นฐานที่สำคัญในการออกแบบระบบทำความเย็นและปรับอากาศซึ่งมีการนำไปประยุกต์ใช้ทั่วไปทั้งในภาคอาคารและภาคอุตสาหกรรม รวมถึงการนำทฤษฎีต่างๆ ไปวิเคราะห์การใช้พลังงานเพื่อการอนุรักษ์พลังงานต่อไป โดยเริ่มจากการทบทวนความรู้พื้นฐานที่สำคัญด้านกลศาสตร์ของไหล อุณหพลศาสตร์ด้านความร้อน และการถ่ายเทความร้อน ซึ่งจำเป็นต้องทราบเพื่อใช้อธิบายและเข้าใจการทำงานของวัฏจักรของการทำความเย็น ต่อจากนั้นได้กล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบและอุปกรณ์ การใช้แผนภูมิอากาศ การเลือกใช้วัสดุหรืออุปกรณ์ การออกแบบคอยล์เย็น ประเภทของสารทำความเย็น รายละเอียดการคำนวณหาภาระการทำความเย็นสำหรับระบบทำความเย็นและปรับอากาศ ประเภทของระบบปรับอากาศ การคำนวณหาขนาดท่อส่งลม และการเลือกหัวจ่ายลมที่เหมาะสม

ดังนั้นหนังสือเล่มนี้จึงเหมาะอย่างยิ่งเพื่อใช้เป็นตำราเรียนสำหรับนิสิต นักศึกษา หรือผู้สนใจ ตั้งแต่ระดับ ปวส. จนถึงระดับบัณฑิตศึกษาในสาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเคมี และวิศวกรรมด้านพลังงาน

ดร.ไชยณรงค์ จักรธรรณท์

ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี

ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมเครื่องกล University of Tokyo ประเทศญี่ปุ่น

รับราชการที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เมื่อปี พ.ศ. 2541 ได้รับตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ ในปี พ.ศ. 2551

และดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ในปี พ.ศ. 2554

ISBN 978-616-602-199-8



9 786166 021998

ราคา 460 บาท

หมวดวิศวกรรมศาสตร์

<http://thammasatpress.tu.ac.th>