บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 การปรับอากาศและระบบปรับอากาศ

การปรับอากาศ[4] คือ การทำให้ภาวะอากาศมีความเหมาะสมกับวัสดุหรือกิจกรรมภายในสถานที่ใดสถานที่หนึ่ง โดยจำเป็นต้องมีระบบปรับอากาศซึ่งในการเลือกระบบปรับอากาศมีตัวประกอบดังนี้

2.1.1 ตัวประกอบความสบาย

1. อุณหภูมิของกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ
2. อุณหภูมิการกระจายรังสีเฉลี่ย
3. การเคลื่อนไหวของอากาศ
4. ความสะอาดของอากาศ
5. กลิ่น
6. คุณภาพการถ่ายเท
7. ระดับเสียง

2.1.2 ตัวประกอบทางเศรษฐกิจ

1. ราคาต้นทุน
2. ราคาค่าดำเนินการและบำรุงรักษา

2.1.3 ตัวประกอบของลักษณะการดำเนินการและการบำรุงรักษา

1. ส่วนประกอบมีโครงสร้างง่าย ๆ
2. อายุการใช้งานยาวนาน
3. ง่ายในการซ่อมในเมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้น
4. ง่ายในการติดตั้ง
5. ง่ายในการควบคุม บำรุงรักษา
6. พร้อมที่จะเปลี่ยนไปตามภาระการทำงาน
7. ประสิทธิภาพในการทำงานสูง

2.2 การจำแนกระบบปรับอากาศ

ในปัจจุบันมีระบบปรับอากาศที่ใช้กันอยู่ทั่วไปแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.2.1 ประเภทของระบบปรับอากาศจำแนกตามลักษณะการส่งของไหลที่ร้อน/เย็น

2.2.1.1 ระบบอากาศทั้งหมด (All - air system)

2.2.1.2 ระบบน้ำและอากาศ (Water - air system)

2.2.1.3 ระบบน้ำทั้งหมด (All - water system)

2.2.2 ประเภทของระบบปรับอากาศจำแนกตามลักษณะการประกอบอุปกรณ์

2.2.2.1 ระบบปรับอากาศแบบรวมชุด (Unitary system)

ระบบเครื่องปรับอากาศแบบนี้ประกอบด้วย พัดลม ขดท่อทำให้อากาศเย็น และเครื่องทำความเย็น อยู่ในเปลือกหุ้มเดียวกัน และมีท่อน้ำ และสายไฟฟ้าพร้อมที่จะต่อเข้าใช้งานได้ทันที โดยทั่วไปเครื่องปรับอากาศแบบหน่วยเดียวจะประกอบอุปกรณ์ทุกชิ้นเข้าเป็นชุดเดียวกัน ปกติระบบรวมชุดมักจะเป็นระบบอากาศทั้งหมด

2.2.2.2 ระบบส่วนกลาง (Central system)

อาจจะเป็นระบบอากาศทั้งหมด ระบบน้ำทั้งหมด หรือระบบน้ำ – อากาศ ระบบใดระบบหนึ่งก็ได้

2.3 การตรวจสอบ วิเคราะห์พลังงาน (Energy audit)

การตรวจสอบวิเคราะห์พลังงาน[12] หมายถึง การวิเคราะห์ ตรวจสอบและรวบรวมข้อมูล เพื่อที่จะทำให้ทราบว่าระบบที่มีการใช้พลังงานภายในอาคารหรือ โรงงานนั้นๆ มีการใช้พลังงานในรูปแบบใด เท่าใด และ อย่างไร เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงให้ดีขึ้น

การตรวจสอบ วิเคราะห์พลังงานแบ่งได้ 3 ประเภท ดังนี้

1. Walk Through – เป็นการตรวจสอบขั้นพื้นฐาน ใช้ค่าใช้จ่ายน้อย ลักษณะการตรวจสอบจะเป็นการเดินสำรวจธรรมดา เพื่อดูการทำงานของอุปกรณ์ในระบบที่ตรวจสอบโดยไม่ได้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการวัด

2. Mini Audit – เป็นการทดสอบและตรวจวัดเพื่อหาปริมาณการใช้พลังงานและการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ พร้อมทั้งแนะแนวทางในการปรับปรุงโดยใช้หลักทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งมีความละเอียดมากกว่าแบบที่ 1

3. Maxi Audit – เป็นการตรวจสอบและวิเคราะห์ซึ่งมีรายละเอียดมากขึ้นกว่าแบบที่ 2 จะประกอบด้วยการหาปริมาณการใช้พลังงานของระบบต่างๆ โดยจะรวมไปถึงการวิเคราะห์แบบจำลองของระบบที่สร้างจากคอมพิวเตอร์ เพื่อหารูปแบบการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

2.4 ค่าการถ่ายเทความร้อนรวม

ปัจจุบันการศึกษาการใช้พลังงานและเทคนิคการประหยัดพลังงานเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับผู้ออกแบบ สำหรับการวิเคราะห์ใช้พลังงานของระบบ HVAC ได้มีการพัฒนาปัจจัยที่เรียกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนรวม(overall thermal transfer value ;OTTV) [2] ขึ้นมาและนำไปใช้ในบทบัญญัติต่างๆ หลายบทบัญญัติ

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร ตามมาตรฐานข้อบังคับจะต้องมีค่าดังต่อไปนี้

1) สำหรับอาคารใหม่ ไม่เกินกว่า 45 วัตต์ต่อตารางเมตรของผนังด้านนอก

2) สำหรับอาคารเก่า ไม่เกินกว่า 55 วัตต์ต่อตารางเมตรของผนังด้านนอก

อาคารเก่า หมายความว่า อาคารที่ได้ก่อสร้างหรือกำลังก่อสร้างหรือยังไม่ได้ก่อสร้างแต่ได้ยื่นขออนุญาตก่อสร้างแล้วเสร็จไว้ก่อนวันที่พระราชกฤษฎีกากำหนดให้อาคารนั้นเป็นอาคารควบคุมตามมาตรา 18 (ก่อนวันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ.2538) มีผลบังคับใช้

อาคารใหม่ หมายความว่า อาคารที่ยื่นขออนุญาตก่อสร้างหลังวันที่พระราชกฤษฎีกากำหนดให้อาคารนั้นเป็นอาคารควบคุมตามมาตรา 18 (หลังวันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ.2538) มีผลบังคับใช้

ค่าคำนวณค่าความร้อนของอาคารให้ใช้วิธีการดังต่อไปนี้

$$OTTV_i = (U_w)(1-WWR)(TD_{eq}) + (Uf)(WWR)(\Delta T) + (SC)(WWR)(SF) \qquad (2.1)$$

$OTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านที่พิจารณา โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

U_w = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของผนังทึบ โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

WWR = อัตราส่วนพื้นที่ของหน้าต่างโปร่งแสง หรือของผนังโปร่งแสงต่อพื้นที่ทั้งหมดของผนังด้านที่พิจารณา

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคารซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของผนังทึบ โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ประกาศกำหนด

U_f = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของกระจกหรือผนังโปร่งแสง โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกอาคาร ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ประกาศกำหนด

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของหน้าต่าง ซึ่งการคำนวณให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมจะได้ประกาศกำหนด

SF = ค่าตัวประกอบรังสีแสงอาทิตย์(solar factor) ที่ผ่านหน้าต่างโปร่งแสงและหรือผนังโปร่งแสง โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ให้เป็นไปตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ประกาศกำหนด

2.4.1 การคิดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกของอาคาร

ส่วนของอาคารที่มีการปรับอากาศ ให้คำนวณจากค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามขนาดของพื้นที่ด้านนอกแต่ละด้านรวมกัน(Weight everage)หรือส่วนของผนังด้านนอกแต่ละด้านรวมกันของส่วนอาคารที่มีการปรับอากาศ

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกทั้งหมดของอาคาร คือค่าเฉลี่ยที่ถ่วงน้ำหนักแล้วของค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน ให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$OTTV = (A_{o1})(OTTV_1)+(A_{o2})(OTTV_2)+\ldots+(A_{oi})(OTTV_i)/(A_{o1}+A_{o2}+\ldots+A_{oi}) \quad (2.2)$$

A_{oi} = พื้นที่ของผนังด้านที่พิจารณา ซึ่งรวมพื้นที่ด้านทึบและพื้นที่หน้าต่าง หรือผนังโปร่งแสง โดยมีหน่วยเป็นตารางเมตร

$OTTV_i$ = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน

2.4.2 การคิดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร

ทั้งอาคารใหม่และอาคารเก่าจะต้องไม่เกิน 25 วัตต์ต่อตารางเมตร

ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาให้คำนวณจากสมการดังต่อไปนี้

$$RTTV = (U_r)(1-RSR)(TD_{eq})+(U_{rf})(RSR)(\Delta T)+(SC)(RSR)(SF) \quad (2.3)$$

RTTV = ค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคารที่พิจารณา โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร

U_r = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของหลังคาส่วนทึบโดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

RSR = อัตราส่วนของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคาต่อพื้นที่ทั้งหมดของหลังคาส่วนที่พิจารณา

TD_{eq} = ค่าความแตกต่างอุณหภูมิเทียบเท่า (temperature different equivalent) ระหว่างภายนอกและภายในอาคาร ซึ่งรวมถึงผลการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของหลังคาส่วนทึบ โดยมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ให้เป็นตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ประกาศกำหนด

U_{rf} = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของส่วนผนังโปร่งแสงที่ช่องรับแสง โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร-องศาเซลเซียส

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่าง ภายนอกกับภายในอาคาร ให้เป็นตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ประกาศกำหนด

SC = สัมประสิทธิ์การบังแดดของส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา ซึ่งการคำนวณ ให้เป็นตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ประกาศกำหนด

SF = ค่าตัวประกอบรังสีแสงอาทิตย์ (solar factor) ที่ผ่านส่วนโปร่งแสงที่ช่องรับแสงบริเวณหลังคา โดยมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ให้เป็นตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้ประกาศกำหนด

2.5 เครื่องทำน้ำเย็น (Water chiller)

เครื่องทำน้ำเย็น [1] เป็นประเภทหนึ่งของระบบปรับอากาศแบบส่วนกลาง เป็นตัวทำให้น้ำเย็นก่อน แล้วจึงใช้น้ำเย็นนี้เป็นตัวกลางในการส่งผ่านความเย็นต่อให้กับ แฟนคอยล์ยูนิท (FCU) อีกทอดหนึ่ง

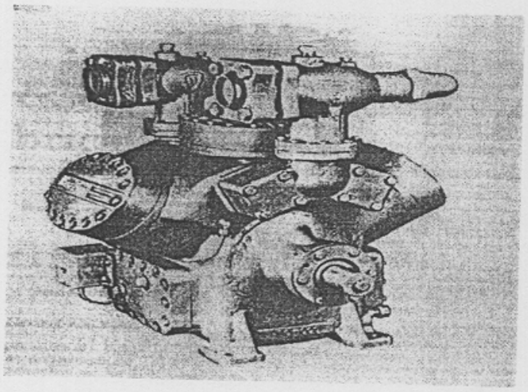
2.5.1 ประเภทของเครื่องทำน้ำเย็นแบ่งตามการระบายความร้อน

2.5.1.1 Air Cooled Chiller คือ เครื่องทำน้ำเย็นที่อาศัยการระบายความร้อนด้วยอากาศ ลักษณะของงานที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็นแบบนี้ จะเป็นลักษณะของงานที่มีความต้องการการทำความเย็นไม่มากนัก (มักจะไม่เกิน 500 ตันความเย็น) ซึ่งต้องการความสะดวกในการติดตั้ง และต้องการลดภาระในการดูแลรักษา จะใช้ในโครงการที่ขาดน้ำ หรือไม่มีน้ำที่มีคุณภาพพอจะมาใช้ระบายความร้อนของเครื่องได้ อย่างไรก็ตามเครื่องที่ระบายความร้อนด้วยอากาศ ก็ย่อมที่จะกินไฟมากกว่าเครื่องที่ระบายความร้อนด้วยน้ำ (โดยทั่วไป เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศกินไฟประมาณ 1.4 – 1.6 กิโลวัตต์/ตันความเย็น)

2.5.1.2 Water Cooled Water Chiller ในกรณีที่โครงการมีขนาดใหญ่ และมีความต้องการความเย็นมาก มักจะนิยมใช้เครื่องทำน้ำเย็นชนิดนี้ เพราะจะมีเครื่องทำน้ำเย็นที่มีประสิทธิภาพสูงให้เลือกใช้ (0.62 - 0.75 กิโลวัตต์/ตันความเย็น) ทำให้ได้ระบบปรับอากาศที่กินไฟน้อยกว่าเครื่องแบบอื่นๆ อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ระบบนี้ จะต้องมีหอระบายความร้อน และจะต้องมั่นใจว่ามีน้ำเพียงพอ มีคุณภาพเหมาะสมกับการนำน้ำมาเติมที่หอระบายความร้อน ลักษณะโครงสร้างของเครื่องทำความเย็นก็ยังคงเหมือนกับเครื่องแบบระบายความร้อนด้วยอากาศเพียงแต่แทนที่จะระบายความร้อนด้วยอากาศก็กลายเป็นการระบายความร้อนด้วยน้ำเท่านั้น

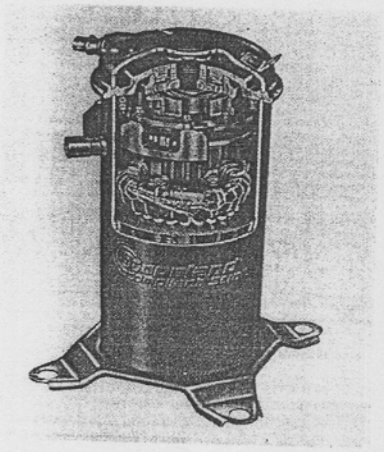
2.5.2 ประเภทเครื่องทำน้ำเย็นแบ่งตามคอมเพรสเซอร์

2.5.2.1 Reciprocating Chiller ใช้คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ มีขนาดตั้งแต่ประมาณ 3 – 200 ตันความเย็น



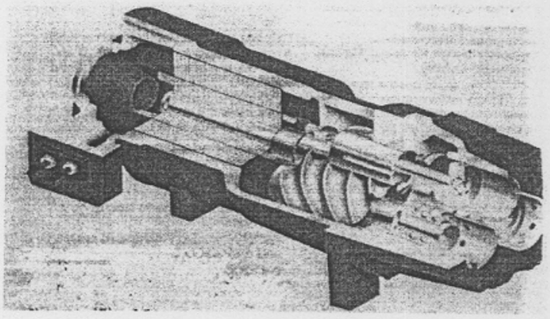
รูป 2.1 คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบ[11]

2.5.2.2 Scroll Chiller ใช้คอมเพรสเซอร์แบบ Scroll โดยใช้หลักการขังไอสารทำความเย็นไว้ในช่องว่างภายในคอมเพรสเซอร์แล้วบีบอัดไอน้ำให้มีปริมาตรเล็กลง แต่มีความดันสูงขึ้นเพื่อส่งเข้าไปในคอนแดนเซอร์ เช่นเดียวกับคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบแต่การทำงานมีประสิทธิภาพสูงกว่า มีขนาดตั้งแต่ประมาณ 15 – 60 ตันความเย็น



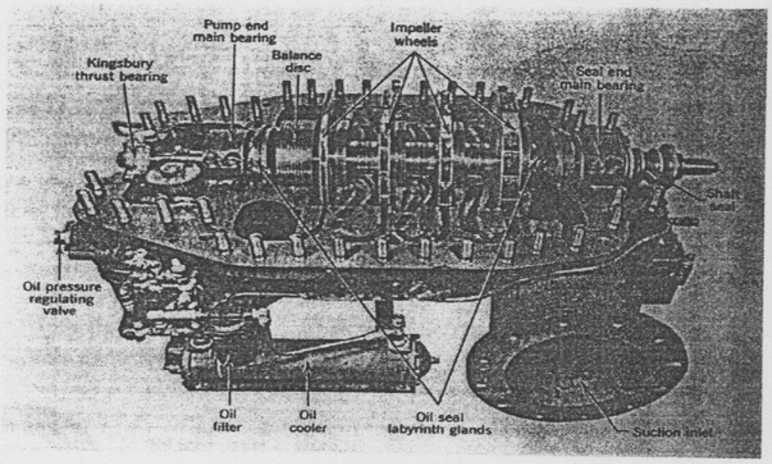
รูป 2.2 คอมเพรสเซอร์แบบ scroll[11]

2.5.2.3 Helical Rotary Chiller ใช้คอมเพรสเซอร์แบบสกรูและมีการทำงานคล้ายกับ Scroll Chiller มีขนาดตั้งแต่ 50 – 1,300 ตันความเย็น



รูปที่ 2.3 คอมเพรสเซอร์แบบสกรู [11]

2.5.2.4 Centrifugal Chillerใช้คอมเพรสเซอร์แบบใช้แรงเหวี่ยงเป็นคอมเพรสเซอร์ที่ขับเคลื่อนปริมาณสารทำความเย็นได้มาก เพราะเป็นเครื่องทำน้ำเย็นที่มีขนาดใหญ่และมีประสิทธิภาพสูง มีขนาดตั้งแต่ประมาณ 150 – 2,000 ตันความเย็น



รูปที่ 2.4 คอมเพรสเซอร์แบบใช้แรงเหวี่ยง[11]

2.5.3 ส่วนประกอบหลักของเครื่องทำน้ำเย็น

2.5.3.1.คอมเพรสเซอร์ (Refrigerant compressor) ทำหน้าที่สูบฉีดสารทำความเย็นให้ไหลเวียนภายในระบบ และทำให้สารทำความเย็นมีความดันสูงพอที่จะขับถ่ายความร้อนออกไปจากคอนแดนเซอร์ได้

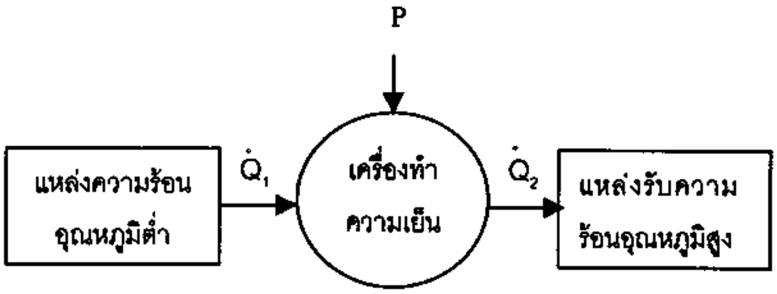
2.5.3.2. อีแวปพอเรเตอร์ (Evaporator) ทำหน้าที่รับสารทำความเย็นที่อุณหภูมิต่ำและความดันต่ำแล้วผ่านเข้าไปในคอยล์อีแวปพอเรเตอร์ สารทำความเย็นเหลวก็จะรับความร้อนจากน้ำที่ผ่านคอยล์ ทำให้น้ำผ่านคอยล์มีอุณหภูมิลดลง

2.5.3.3. อุปกรณ์ขยายตัว (Metering device) อาจจะเป็น Thermostatic Expantion Valve, Orifice หรือ Float Valve แล้วแต่ชนิดของเครื่องทำน้ำเย็นทำหน้าที่ป้อนสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำและความดันต่ำเข้าไปสู่อีแวปพอเรเตอร์ ในปริมาณที่พอเหมาะกับภาระความร้อนที่ตัวเครื่องรับได้

2.5.3.4. คอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพไอของสารทำความเย็นที่อุณหภูมิและความดันสูงที่ออกมาจากคอมเพรสเซอร์ ให้เป็นสารทำความเย็นเหลวที่มีอุณหภูมิและความดันสูงเพื่อระบายความร้อนให้ลดลง แล้วส่งให้ไหลกลับเข้าสู่อุปกรณ์ขยายตัวอีกครั้งหนึ่ง

2.5.4 การวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น

ปกติจะวัดและเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องทำความเย็นด้วยสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะที่สูงจะแสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นที่ดี[7]



รูปที่ 2.5 แสดงการไหลของพลังงานในเครื่องทำความเย็น [7]

จากรูปจะแสดงให้เห็นว่าเครื่องทำความเย็นต้องใช้กำลังงาน P ในการทำให้ความร้อน $\dot{Q}_1$ ไหลจากแหล่งความร้อนอุณหภูมิต่ำเข้าเครื่องทำความเย็นและความร้อน $\dot{Q}_2$ ไหลจากเครื่องทำความเย็นไปยังแหล่งรับความร้อน ความร้อน $\dot{Q}_1$ คือผลความเย็นที่เป็นประโยชน์ซึ่งจะทำให้แหล่งความร้อนเย็น จากสมการพลังงานจะทราบความสัมพันธ์ระหว่าง $\dot{Q}_1$, $\dot{Q}_2$ และ P คือ

$$\dot{Q}_2 = \dot{Q}_1 + P \tag{2.4}$$

นิยามสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น คือ

$$COP = \dot{Q}_1/P \qquad (2.5)$$

โดยที่ $\dot{Q}_1$ = ค่าความร้อนที่ดึงออกจากพื้นที่ทำความเย็น

$\dot{Q}_2$ = ค่าความร้อนที่ถ่ายเทสู่อากาศภายนอก

P = กำลังงานที่ป้อนเข้าเครื่องทำความเย็น

ค่า $\dot{Q}_1$ สามารถหาได้จากสมการ

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_w \rho_w C_{pw} \Delta T \qquad (2.6)$$

โดยที่ $\dot{Q}_1$ = ค่าความร้อนที่ดึงออกจากพื้นที่ทำความเย็น, kW

$\dot{m}_w$ = อัตราการไหลของน้ำ, m^3/s

ρ_w = ความหนาแน่นของน้ำ, kg/m^3

C_{pw} = ค่าความจุความร้อนของน้ำ, J/(kg.K)

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำในท่อ CHS และ CHR,°C

ค่าพลังงานไฟฟ้า (P) สามารถหาได้จากสมการ [1]

$$P = IV\cos\theta \qquad (2.7)$$

โดยที่ P = พลังงานไฟฟ้า, kW

I = กระแสไฟฟ้า, Amps

V = แรงดันไฟฟ้า, Volts

$\cos\theta$ = ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

$\dot{Q}_1$, $\dot{Q}_2$ และ P ต้องมีหน่วยเหมือนกัน ซึ่งเราสามารถใช้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะเป็นตัววัดการประหยัดพลังงานได้ โดยที่ถ้าอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนที่ดึงออกต่อกำลังงานที่ป้อนเข้ามีค่ามาก แสดงว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะมาก ทำให้ทราบได้ว่ามีการใช้พลังงานที่คุ้มค่า ซึ่งถือว่าเป็นการประหยัดพลังงาน

2.5.6 แฟนคอยล์ยูนิท (FAN COIL UNIT;FCU)

แฟนคอยล์ยูนิท[4] เรียกว่าเครื่องปลายทาง (Terminal Unit) จะติดตั้งภายในห้อง ภายในเครื่องมีขดท่ออยู่ภายในกล่องเล็กๆ น้ำเย็นหรือน้ำร้อนจะไหลภายในขดท่อนี้ อากาศในห้องจะถูกดูดเข้าไปในเครื่องและจะถูกทำให้เย็นหรือร้อนโดยขดท่อ แล้วหมุนเวียนเข้าไปในห้องปรับอากาศอีกครั้ง

2.5.6.1 ส่วนประกอบหลักของแฟนคอยล์ยูนิท

1. คอยล์เย็น (Cooling coil) ปกติคอยล์ทำความเย็นมักทำด้วยท่อทองแดง ติดครีบอะลูมิเนียมแต่บางครั้งอาจติดครีบทองแดงก็ได้ คอยล์ชนิดนี้มักขดทบไปมา ครีบจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้มากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถถ่ายเทความร้อนต่อความยาวท่อได้มากขึ้น การต่อท่อในคอยล์อาจต่อแบบลำดับหรือแบบขนาน เพื่อลดความดันตกของน้ำก็ได้ ในกรณีที่คอยล์ทำความเย็นมีจำนวนแถวหลายแถว มักจัดให้อากาศและน้ำไหลสวนทางกัน

2. กรองอากาศ (Air filter) แผ่นกรองอากาศเป็นตาข่ายที่ประกอบด้วยเส้นใยหยาบๆ ที่สามารถป้องกันไม่ให้ขดท่ออากาศสกปรก มีความต้านทานต่อการไหลของอากาศน้อยและสามารถทำความสะอาดได้ง่าย

3. พัดลม(Fan) ในระบบปรับอากาศมักจะใช้พัดลมเซนตริฟูกอล (Centrifugal fan) สำหรับส่งลมและดูดลมกลับ พัดลมจะป้อนพลังงานให้กับอากาศ โดยการทำให้ใบพัดของพัดลมหมุนซึ่งจะเกิดแรงกระทำต่ออากาศ ทำให้อากาศไหลและมีความดันเพิ่มขึ้น

4. มอเตอร์ (Motor) เป็นต้นกำลังสำหรับพัดลมให้สามารถส่งลมและดูดลมกลับได้

2.5.7 เครื่องสูบน้ำ (Water pump)[7]

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สร้างความดันให้กับของเหลว เพื่อเอาชนะความต้านทานการไหลในระบบท่อ สำหรับเครื่องสูบน้ำในระบบปรับอากาศ จะใช้เครื่องสูบน้ำแบบเซนตริฟูกอล (Centrifugal pump)เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเครื่องสูบน้ำชนิดนี้เป็นแบบที่สร้างแรงดันโดยวิธีแรงหนีศูนย์กลาง มีความแข็งแรง ทนทาน มีประสิทธิภาพสูง ถึงแม้ว่าจะไม่เกิดข้อขัดข้องเกี่ยวกับการทำงานในขณะที่เครื่องสูบน้ำทำงานอยู่ แต่ก็อาจจะประสบปัญหาทางด้านประสิทธิภาพได้ ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเกิดกับเครื่องสูบน้ำที่ใช้งานมานานแล้ว ดังนั้นจึงเห็นว่าควรมีการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องสูบน้ำ เพื่อหาแนวทางปรับปรุงให้เครื่องสูบน้ำทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะมีผลโดยตรงในด้านการประหยัดพลังงาน ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องได้

การหาประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำสามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1. การกำหนดจุดสภาวะการทำงานแล้วอ่านค่าจากกราฟสมรรถนะของเครื่องสูบน้ำรุ่นนั้น

2. การคำนวณโดยใช้สูตรดังนี้

$$\eta_p = \frac{whp \times 100}{bhp} \qquad (2.8)$$

ซึ่ง

$$whp = \frac{(gpm) \times SG \times H}{3960} \quad (2.9)$$

$$bhp = \frac{IV\cos\theta}{745.7} \quad (2.10)$$

โดยที่ whp = กำลังงานส่งออก, hp

bhp = กำลังงานป้อนเข้า, hp

gpm = อัตราการไหลของของไหล, gpm

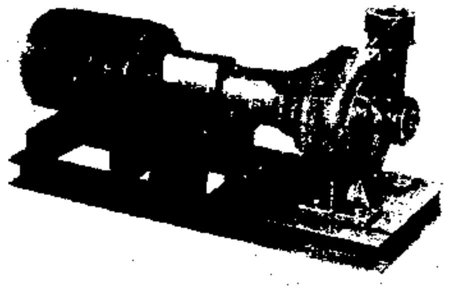
SG = ความถ่วงจำเพาะของของไหล

H = แรงดันรวมของเครื่องสูบน้ำ, ft

I = กระแสไฟฟ้า, Amps

V = แรงดันไฟฟ้า, Volts

cos θ = ค่าตัวประกอบกำลัง



รูป 2.6 เครื่องสูบน้ำแบบเซนตริฟูกอล [7]

2.5.8 ระบบท่อน้ำเย็น (Chiller water pipe)

ระบบท่อน้ำเย็น[15] คือ ระบบท่อน้ำที่นำน้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็น ไปยังแฟนคอยล์ยูนิท เมื่อน้ำร้อนขึ้นก็นำกลับมาทำให้เย็นที่เครื่องทำน้ำเย็นใหม่ จัดว่าเป็นระบบปิด (Close system) เพราะน้ำเย็นจะหมุนเวียนอยู่อย่างนี้ภายในระบบท่อไปเรื่อยๆ เมื่อน้ำพร่องลงเนื่องจากรั่วหรือมีการระบายน้ำทิ้งบ้าง จึงจะเติมน้ำเข้าไปชดเชย การหมุนเวียนของน้ำเย็น อาศัยแรงขับเคลื่อนจากเครื่องสูบน้ำเย็น ท่อน้ำเย็นที่ส่งน้ำเย็นเรียกว่า Chiller Water Supply ท่อน้ำเย็นหลังจากออกจากแฟนคอยล์ยูนิทเรียกว่า Chiller Water Return

2.5.9 ฉนวนท่อน้ำ (Insulation of piping)

ฉนวนที่ใช้หุ้มท่อน้ำส่วนใหญ่จะเป็นฉนวนที่หล่อมาเป็นรูปท่อ[4] เช่น แมกนีเซียมคาไบด์ แคลเซียมซิลิเคท โฟมโพลิสไตลีนและโพลียูรีเทน สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวนเหล่านี้มีค่าประมาณ 0.03 – 0.05 kcal/m.h°C ความหนาของฉนวนที่ใช้หุ้มท่อประมาณ 20 – 50 mm. ยิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อโตขึ้น ความหนาของฉนวนก็จะต้องมากขึ้นเช่นกัน

เหตุผลที่ใช้ฉนวนหุ้มท่อในระบบปรับอากาศก็คือ

1. ลดพลังงานที่จะสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งมีแนวโน้มที่ทำให้ต้องเลือกใช้อุปกรณ์ทำความเย็นใหญ่กว่าที่ควร

2. ลดการกระจายความร้อนที่ไม่ถูกต้อง เพราะถ้าไม่หุ้มฉนวน น้ำที่ไหลเข้าห้องปรับอากาศจะมีอุณหภูมิไม่ถูกต้องตามที่ต้องการได้

3. ป้องกันความชื้นจากอากาศกลั่นตัวที่ผิวด้านนอกของท่อ ซึ่งอาจทำความเสียหายต่อฉนวน ผิวท่อและพื้นที่รอบข้างได้

ดังนั้นฉนวนที่ใช้จะต้องมีค่านำความร้อนและค่าการดูดซับความชื้นที่ต่ำ ฉนวนที่นำมาใช้หุ้มท่อน้ำเย็นส่วนใหญ่แล้วจะเป็นโฟมประเภท โพลียูรีเทน

ภายหลังการติดตั้งระบบเรียบร้อยแล้ว เมื่อใช้งานไปฉนวนหุ้มท่ออาจเกิดการฉีกขาด เสียหายได้ ซึ่งในส่วนที่ฉีกขาดจะมีการถ่ายเทความร้อนจากอากาศให้กับท่อ ทำให้มีภาระการทำความเย็นในระบบเพิ่มโดยไม่จำเป็น ภาระที่เพิ่มขึ้นสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้ [๗]

$$\dot{Q} = hA(T_w - T_\infty) \tag{2.11}$$

โดยที่ $\dot{Q}$ = ค่าความร้อนที่ได้รับเนื่องจากฉนวนที่ขาด, kW

h = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนโดยการพา, $W/m^2 \cdot {}^\circ C$

A = พื้นที่ผิวของท่อที่ไม่ได้หุ้มฉนวน, m^2

T_w = อุณหภูมิที่ผิวท่อ, K

T_∞ = อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม, K

ดังนั้นจึงควรมีการสำรวจหาจุดที่ฉนวนมีการฉีกขาดเสียหาย เพื่อหาทางแก้ไขต่อไป

2.5.10 ระบบท่อลม (Air distribution system)

โครงสร้างของท่อลมประกอบจากแผ่นสังกะสีพับขึ้นเป็นรูปท่อ[15] ซึ่งมักจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมแล้วหุ้มทับภายนอกด้วยฉนวนใยแก้ว ที่มีอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นเปลือกนอกอีกชั้นหนึ่ง (Jacket) เพื่อป้องกันไม่ให้ฉนวนใยแก้วหลุดลุ่ย ความหนาของแผ่นสังกะสี และลักษณะการพับขึ้นรูปของท่อลมจะมีมาตรฐานกำหนดให้เหมาะสมกับขนาดของท่อ ท่อลมส่งเรียกว่า Supply Air ทำหน้าที่จ่ายลมเย็นที่ออกจากเครื่องปรับอากาศ ไปยังบริเวณปรับอากาศที่ต้องการ

ท่อลมกลับ เรียกว่า Return Air ทำหน้าที่นำลมจากภายในห้องปรับอากาศ กลับมาเข้ายังเครื่องปรับอากาศวิธีการนำลมกลับนี้ อาจจะไม่จำเป็นต้องเดินท่อลม เพื่อไปรับตามจุดต่างๆ เสมอไป หากพื้นที่ห้องไม่ใหญ่นักก็อาจจะเดินท่อลมกลับสั้นๆ แล้วดูดลมจากห้องปรับอากาศในบริเวณใกล้เครื่องได้เลย หรือจะใช้พื้นที่ในฝ้าเพดานเป็นทางลมกลับก็ได้

2.5.11 ฉนวนท่อลม (Insulation of air duct)

โดยปกติแล้วลมเย็นที่ไหลในท่อลมมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายนอก เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนและการควบแน่นที่ท่อส่งลมเย็นให้หุ้มท่อด้วยฉนวน[4]อาทิ ใยแก้วหรือใยแอสเบสทอส และมีอะลูมิเนียมฟอยล์เป็นเปลือกนอกอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันฉนวนใยแก้วหลุดลุ่ย สำหรับท่อลมกลับก็ควรหุ้มด้วยฉนวน ถ้าหากว่ามีโอกาสที่จะควบแน่นของไอน้ำได้ ส่วนท่อดูดอากาศจากภายนอกเข้ามามักจะไม่จำเป็นต้องหุ้มฉนวน

<u>2.6 ภาระทำความเย็นของห้อง</u>

อาจแบ่งภาระทำความเย็น[7] ของห้องปรับอากาศ ($\dot{q}_t$) ออกได้เป็น 2 ประเภท คือ ภาระทำความเย็นเนื่องจากความร้อนสัมผัส ($\dot{q}_s$) และภาระทำความเย็นเนื่องจากความร้อนแฝง ($\dot{q}_l$) ภาระเนื่องจากความร้อนสัมผัสจะทำให้อุณหภูมิห้องสูงขึ้น ส่วนภาระทำความเย็นเนื่องจากความร้อนแฝงจะทำให้ความชื้นของอากาศภายในห้องสูงขึ้น เรียกผลรวมของภาระทำความเย็นทั้งสองนี้ว่าภาระทำความเย็นรวม หรือภาระทำความเย็นทำความเย็นของห้องปรับอากาศ ฉะนั้น อากาศที่ส่งเข้าห้องปรับอากาศจะต้องมีความสามารถที่จะรับภาระทำความเย็นรวมของห้องได้หรือมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นต่ำพอ ซึ่งเมื่อเข้าไปรับความร้อนและความชื้นภายในห้องปรับอากาศแล้ว มีอุณหภูมิกระเปาะแห้งและปริมาณความชื้นเท่ากับสภาวะอากาศภายในห้องตามที่ได้ออกแบบไว้ นอกจากอากาศส่งเข้าห้องจะต้องมีภาวะเหมาะสมแล้ว ยังต้องมีปริมาณพอดีด้วยคือไม่มากเกินไปจนกระทั่งความเร็วลมในห้องปรับอากาศสูงเกินขีดความสบาย หรือน้อยจนเกินไปจนกระทั่งเกิดการอับลมในห้องปรับอากาศ เราสามารถคำนวณปริมาณอากาศส่งเข้าห้องปรับอากาศ[10] ได้จากสมการความร้อนสัมผัสคือ

$$\dot{q}_s = \dot{m}_a \rho_a C_{pa} \Delta t \qquad (2.12)$$

โดยที่ $\dot{q}_s$ = ความร้อนสัมผัส, W

$\dot{m}_a$ = อัตราการไหลของอากาศ, m^3/s

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศประมาณ 1.2 kg/m^3

C_{pa} = คาความร้อนจำเพาะของอากาศประมาณ 1,000 J/(kg.K)

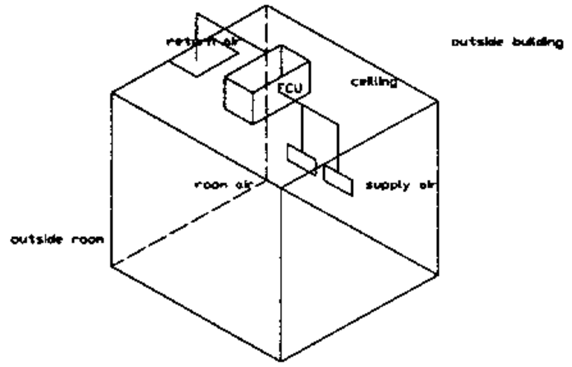
Δt = ความต่างระหว่างอุณหภูมิ, °C

สำหรับความร้อนแฝง[10] หาได้จาก

$$\dot{q}_l = \dot{m}_a \rho_a h_{fg} \Delta W \qquad (2.13)$$

h_{fg} = ค่าความร้อนแฝงของไอน้ำประมาณ 2.34x10^6 J/kg.

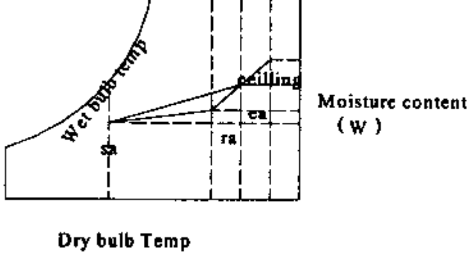
ΔW = ความต่างระหว่างความชื้นจำเพาะของอากาศ, kg/kg $_{da}$



รูปที่ 2.7 ภาพแสดงสภาวะอากาศที่ส่งเข้าห้องปรับอากาศ

โดยปริมาณอากาศส่งเข้าห้องปรับอากาศ $\dot{m}_a$ นั้นเป็นปริมาณอากาศที่จะรับทั้งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงของห้องปรับอากาศไปทิ้งยังเครื่องปรับอากาศ

ปกติเราต้องการส่งอากาศเข้าห้องปรับอากาศในปริมาณน้อย เพราะพัดลมใช้กำลังงานน้อยลงและขนาดท่อส่งลมเล็กลง แต่ส่วนมากไม่สามารถส่งลมเข้าห้องในปริมาณน้อยมากๆได้เพราะถ้าส่งลมถ้าเข้าห้องในปริมาณน้อยมากเท่าใด (อุณหภูมิหัวจ่ายลม temperature Supply air; t_{sa}) จะต้องต่ำมากเท่านั้น แต่ t_{sa} มีขีดจำกัดเนื่องจากถ้า t_{sa} ต่ำมากอาจทำให้ผู้อาศัยในห้องปรับอากาศบางบริเวณ เช่นบริเวณใกล้หัวจ่ายลมรู้สึกหนาวหรือรู้สึกไม่สบาย



รูปที่ 2.8 ภาพแสดงเส้นกระบวนการต่างๆของระบบปรับอากาศ

โดยที่ t_{sa} = อุณหภูมิที่หัวจ่ายลม

t_{ra} = อุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศ

t_{ea} = อุณหภูมิที่ทางเข้าพัดลม

จากแผนภาพเส้นกระบวนการต่างๆของระบบปรับอากาศเส้น sa - ra เรียกว่าเส้นสภาวะอากาศภายในห้อง (condition line) ซึ่งจะแสดงถึงค่าความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัสภายในบริเวณพื้นที่ปรับอากาศ ส่วนเส้น sa - ea เรียกว่าเส้นกระบวนการคอยล์ซึ่งจะแสดงการเปลี่ยนภาวะอากาศเมื่ออากาศไหลผ่านคอยล์

2.7 อากาศรั่วเข้าห้อง

อากาศรั่วเข้าห้อง คือ อากาศจากภายนอกที่ไหลผ่านช่องเปิด ซึ่งความร้อนจากอากาศรั่วเข้าห้องขึ้นอยู่กับความเร็วลมภายนอกอาคาร ความต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกห้องปรับอากาศและความดันตามความสูงของอาคาร นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและตำแหน่งของช่องเปิดด้วย โดยที่หาความร้อนรวม[10] ที่ห้องได้รับจากอากาศรั่วเข้าห้องได้จาก

$$\mathring{q}_t = \mathring{q}_s + \mathring{q}_l \tag{2.14}$$

$$\mathring{q}_s = \mathring{m}_a \rho_a C_{pa} \Delta t \tag{2.15}$$

โดยที่ $\mathring{q}_s$ = ความร้อนสัมผัสที่ได้รับจากอากาศรั่วเข้าห้อง, W

$\dot{m}_a$ = อัตราการไหลของอากาศรั่วเข้าห้อง, m^3/s

ρ_a = ความหนาแน่นของอากาศประมาณ 1.2 kg/m^3

C_{pa} = คาความร้อนจำเพาะของอากาศประมาณ 1,000 J/(kg.K)

Δt = ความต่างระหว่างอุณหภูมิภายในและภายนอกห้องปรับอากาศ, °C

สำหรับความร้อนแฝงที่ห้องได้รับจากอากาศรั่วเข้าหาได้จาก

$$\mathring{q}_l = \dot{m}_a \rho_a h_{fg} \Delta W \tag{2.16}$$

โดยที่ $\mathring{q}_l$ = ความร้อนแฝงที่ได้รับจากอากาศรั่วเข้าห้อง, W

h_{fg} = ค่าความร้อนแฝงของไอน้ำประมาณ 2.34×10^6 J/kg.

ΔW = ความต่างระหว่างความชื้นจำเพาะของอากาศภายในและนอก, kg/kg_{da}

การหาอัตราการไหลของอากาศโดยวิธี Thermal Force

อัตราการไหลของอากาศ [10] สามารถหาได้จาก

$$\dot{m}_a = KA[2g\Delta h_{NPL}(T_o - T_i)/T_o]^{0.5} \qquad (2.17)$$

โดยที่ $\dot{m}_a$ = อัตราการไหลของอากาศ, m^3/s

K = ค่าคงที่สำหรับช่องเปิด

Δh_{NPL} = ความสูงจากจุดต่ำสุดถึงกึ่งกลางช่องเปิดไปถึง NPL, m (NPL,Neutral Pressure level คือจุดกึ่งกลางของอาคารซึ่งเป็นจุดที่ความดันภายนอกเท่ากับความดันภายในอาคาร)

T_i = อุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศ, K

T_o = อุณหภูมิภายนอก, K

การประมาณค่า Δh_{NPL} เป็นเรื่องยาก ดังนั้นถ้ามีช่องเปิดที่มีสัดส่วนพื้นที่ต่อพื้นที่ช่องเปิดรวมมาก(ประมาณ 90%ของพื้นที่ช่องเปิดรวม) สามารถหาจุด NPLที่จุดกึ่งกลางของช่องเปิด ดังนั้น Δh_{NPL} หาได้จากครึ่งหนึ่งของความสูงของช่องเปิด

สำหรับสภาวะที่มีการไหลของอากาศผ่านช่องเปิด 2 ทิศทาง คือ อากาศด้านที่มีอุณหภูมิสูงไหลเข้าด้านบนช่องเปิดและอากาศด้านที่มีอุณหภูมิต่ำไหลออกด้านล่างช่องเปิด ทำให้เกิดการไหลของอากาศแบบสวนทางกัน ค่าคงที่ของช่องเปิดสามารถคำนวณได้จาก

$$K = 0.40 + 0.0045\,|Ti - To| \qquad (2.18)$$

แต่ถ้าการไหลของอากาศผ่านช่องเปิดเป็นแบบทิศทางเดียว จะใช้ค่า $K = 0.65$

2.8 วิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุน

ในการวิเคราะห์การลงทุนการเงิน [5] มีจุดประสงค์ด้านการเงิน เพื่อต้องการหาว่าโครงการนี้มีความเหมาะสมหรือไม่ โดยพิจารณาจากผลตอบแทนการลงทุน และผลตอบแทนการดำเนินโครงงานนี้สามารถคืนทุนได้ภายในระยะเวลาเท่าใด โดยใช้ระยะเวลาคืนทุนเป็นเกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) คือระยะเวลาผลตอบแทนสุทธิสะสมจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับ เงินลงทุนผลที่ได้รับจากการประเมินการลงทุนโดยวิธีนี้ คือ จะทำให้ทราบว่าจะได้รับคืนทุนช้าหรือเร็วเท่าใด ถ้าคืนทุนได้เร็วเท่าใดก็จะเป็นการดีเท่านั้น เพราะโอกาสเสี่ยงต่อการลงทุนในอนาคตมีน้อยลงและสามารถนำเงินที่คืนทุนไปใช้ในกิจการอื่นได้

สำหรับในกรณีที่ผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายในแต่ละปีมีค่าเท่ากันทุกปี ระยะเวลาคืนทุนหาได้ดังนี้

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิ}}$$

โดยที่ กระแสเงินสดสุทธิต่อไป = ค่าไฟฟ้าที่ลดได้ต่อปี

กรณีที่ผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับต่อปีไม่เท่ากัน จะรวมผลตอบแทนสุทธิที่ได้รับแต่ละปีจนกระทั่งถึงปีที่ผลสะสมของผลตอบแทนสุทธิเท่ากับจำนวนเงินที่ลงทุน จำนวนปีนี้คือระยะเวลาคืนทุน