บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ภาระการทำความเย็น

ภาระการทำความเย็นคือ จำนวนความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นทั้งจากภายในห้องทำความเย็นและความร้อนจากภายนอกห้องที่ผ่านเข้ามาในห้องทำความเย็น ซึ่งเป็นภาระที่เครื่องทำความเย็นจะต้องนำออกไปเพื่อลดและ รักษาระดับอุณหภูมิในห้องให้ได้ตามที่ต้องการ

2.1.1 การแบ่งลักษณะความร้อน

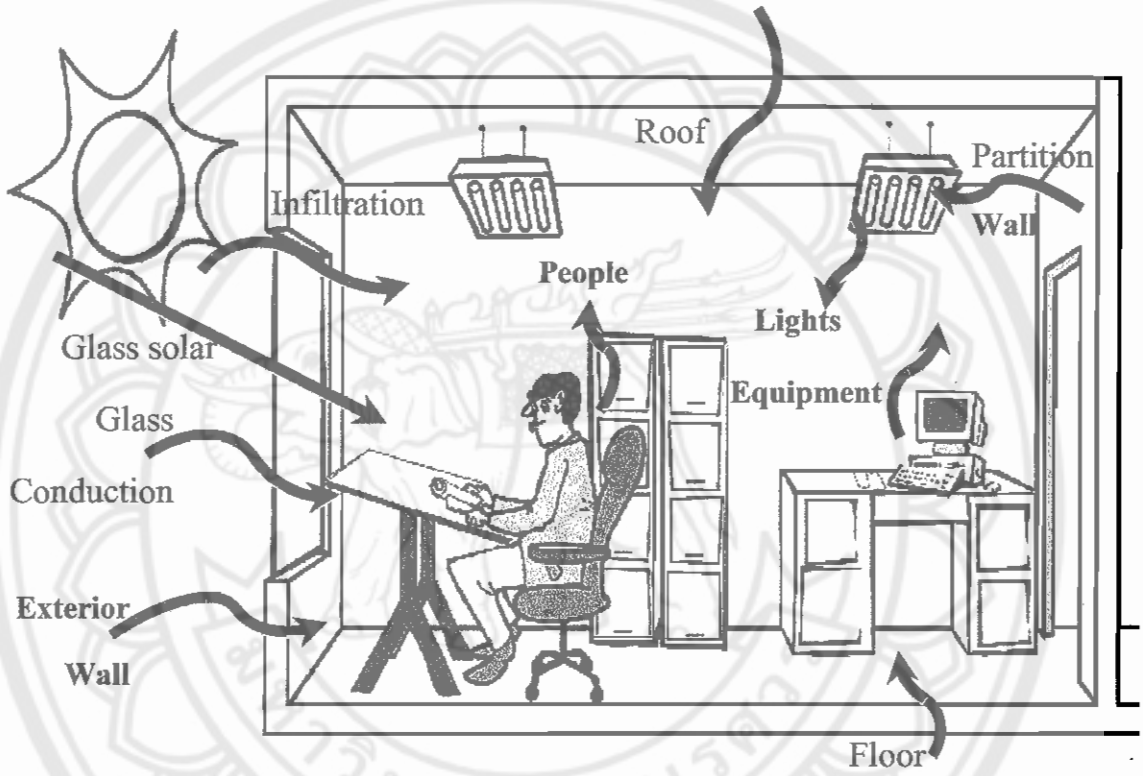
ความร้อนเราแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) และความร้อนแฝง (Latent Heat) ความร้อนสัมผัสนั้นแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ลักษณะแรกคือการนำและการพาซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องทันที ลักษณะที่สองคือการแผ่รังสี การแผ่รังสีนั้น เนื่องจากอากาศเป็นตัวกลางโปร่งใสจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศในห้องโดยตรงแต่จะมีผลต่ออุณหภูมิของพื้น ผนัง เพดาน จากนั้นก็จะเปลี่ยนเป็นการพาความร้อนเข้าสู่อากาศในห้องภายหลัง นั่นคือเวลาที่ความร้อนจากการแผ่รังสีเข้าสู่อากาศในห้องจะช้าลงซึ่งขึ้นอยู่กับความจุความร้อนของวัสดุที่ใช้ก่อสร้าง นั่นย่อมหมายถึงว่าความร้อนที่เข้าสู่ห้องปรับอากาศที่เวลาหนึ่ง (Instantaneous heat gain) ก็ย่อมที่จะไม่เท่ากับภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Cooling load) เพราะการทำความเย็นคือการเอาความร้อนออกจากอากาศ ความร้อนแฝง จะเข้าสู่อากาศในห้องโดยตรง

2.1.2 ภาระการทำความเย็นที่ห้องได้รับ

ห้องปรับอากาศได้รับความร้อนจากแหล่งต่าง ๆ หลายแหล่งด้วยกันดังแสดงในรูปที่ 1 คือ

1. ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังด้านนอก หลังคาและกระจก (Conduction through Exterior Structure)
2. ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังด้านใน เพดานและพื้นห้อง (Conduction through Interior Structure)
3. ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านกระจก (Solar Radiation through Glass)
4. ความร้อนจากไฟฟ้า (Lighting)

5. ความร้อนจากคน(People)
6. ความร้อนจากเครื่องมือและอุปกรณ์ (Equipment and Appliances)
7. ความร้อนจากอากาศภายนอกรั่วผ่านช่องเปิดต่าง ๆ และการระบายอากาศ (Infiltration)



รูปที่ 1 แสดงภาระการทำความเย็นที่ห้องได้รับจากแหล่งต่างๆ

(ที่มา : Trane Air Conditioning Clinic, Trane Company)

ความร้อนจากแหล่งที่ 1 ถึง 3 เป็นความร้อนที่ได้รับจากแหล่งภายนอกเป็นความร้อนสัมผัสที่ทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเพียงอย่างเดียว ความร้อนจากแหล่ง 4 ถึง 6 เป็นความร้อนที่ได้รับจากแหล่งภายใน ส่วนความร้อนจากแหล่งที่ 7 เป็นความร้อนอีกประเภทหนึ่งต่างหาก ความร้อนจากแหล่งที่ 5 และ 7 เป็นทั้งแหล่งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงซึ่งจะทำให้ทั้งอุณหภูมิและความชื้นสูงขึ้น ความร้อนจากแหล่งที่ 6 จะขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ ส่วนความร้อนจากแหล่งที่ 4 จะเป็นแหล่งความร้อนสัมผัสอย่างเดียว

ความร้อนที่ห้องได้รับทั้งหมด คืออัตราความร้อนที่ห้องได้รับจากทุกแหล่งดังกล่าว ที่เวลาใดๆ ส่วนหนึ่งของความร้อนเท่านั้นที่จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นทันทีเนื่องจากอิทธิพลการอม

ความร้อนที่ห้องได้รับทั้งหมด ซึ่งผลบวกความร้อนสุทธิที่ห้องได้รับจากแหล่งต่างๆก็คือโหลดความเย็นหรือภาระในการทำความเย็นของห้องนั้นเอง

การคำนวณหาภาระการทำความเย็นก็เพื่อที่จะสามารถเลือกเครื่องปรับอากาศ ที่สามารถรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องที่จะปรับอากาศตามที่ต้องการได้โหลดความเย็นสูงสุดจะเป็นตัวกำหนดขนาดของเครื่องปรับอากาศที่ต้องการซึ่งเราต้องคำนวณ ณ เวลาที่ห้องมีโหลดความเย็นสูงสุด

2.2 วิธีการคำนวณหาภาระการทำความเย็นโดยวิธี CLTD/SCL/CLF

วิธีการคำนวณภาระความเย็นแบบนี้ ถูกพัฒนามาให้สามารถทำการคำนวณด้วยมือได้ (Manual calculation) โดยนำผลจากการคำนวณค่าภาระความเย็นที่ผ่านผนังทึบและกระจกซึ่งอยู่ในรูปของการนำความร้อนที่ได้จากการคำนวณโดยวิธี Transfer function มาใช้ในสมการผลคูณของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของผนังทึบหรือกระจกกับพื้นที่ผนังหรือกระจก และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่เรียกว่าค่า CLTD (Cooling load temperature) ค่า CLTD ดังกล่าวนี้จะแทนผลของสภาพภูมิอากาศภายนอก Thermal delay effect ของผนังทึบ และผลการเปลี่ยนค่า Heat gain เป็นค่า Cooling load ที่แปรตามสภาพเฟอร์นิเจอร์ภายในห้อง ดังนั้นค่า CLTD จะขึ้นกับชนิดผนังทึบ เฟอร์นิเจอร์ภายในห้อง สภาพภูมิอากาศภายนอก และอุณหภูมิภายใน ส่วนค่า SCL (Solar cooling load) จะเป็นส่วนหนึ่งของการแปลงผลของภาระความเย็นที่เกิดจากการแผ่รังสีจากแสงอาทิตย์ผ่านกระจกที่คำนวณได้จากวิธี Transfer functionให้อยู่ในรูปของผลคูณของพื้นที่ของกระจกกับค่า SC (Shading coefficient) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของกระจกชนิดต่าง ๆ กับค่า SHGF(Solar Heat Gain Factor) คือค่าความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด และค่า CLF (Cooling load factor) จะเป็นตัวคูณลดภาระการทำความเย็นสำหรับการแปลงค่า Heat gain เป็นค่า Cooling load ASHRAE (American Society of Heating, Ventilating and Air Conditioning Engineers, Inc.) ได้ทำการพัฒนาชุดข้อมูลของค่า CLTD SCL และ CLF เหล่านี้แปรตามเวลา ชนิดของผนัง และสภาพภูมิอากาศตามตำแหน่งต่างๆในโลกโดยกำหนดจากเส้นรุ้ง วิธีดังกล่าวนี้จะทำให้สามารถคำนวณภาระความเย็นได้โดยง่ายโดยแปลงผลของการสะสม และคายความร้อนจากผนังต่าง ๆ ที่แปรตามเวลาและสภาพภายนอกและภายในให้อยู่ในรูปผลคูณโดยใช้ข้อมูล CLTD SCL และ CLF ที่กำหนดมาให้

2.3 ทฤษฎี

2.3.1 ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังด้านนอก หลังคา และกระจก (Conduction through Exterior Structure)

คำนวณความร้อนที่ถ่ายเทผ่านผนังด้านนอก หลังคาและกระจกได้จากสมการ

$$Q = U \times A \times (CLTD_C) \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

โดยที่ Q = ความร้อนสุทธิที่ไหลผ่านหลังคา ผนังหรือกระจก (หน่วยเป็น W)

U = สัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนผ่านหลังคา ผนังหรือกระจก (หน่วยเป็น $W/m^2.{}^\circ C$)

A = พื้นที่หลังคา ผนังหรือกระจก (หน่วยเป็น m^2)

$(CLTD_C)$ = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (CLTD) ที่ปรับแก้ค่าแล้ว (มีหน่วยเป็น $^\circ C$)

CLTD คือค่าความต่างอุณหภูมิโหลดความเย็น (มีหน่วยเป็น$^\circ C$)ซึ่งได้รวมอิทธิพลการอมความร้อนของส่วนประกอบของอาคารไว้ด้วย หาค่าCLTDได้จากตารางในสารบัญตารางสำหรับผนังทึบและหลังคาสีเข้มค่าในตารางจะแสดงรายละเอียดโครงสร้างผนังไว้ค่า CLTD ในตารางคำนวณจากอุณหภูมิภายในห้องปรับอากาศที่ 25.5 $^\circ C$ อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยที่ 29.4 $^\circ C$ สำหรับประเทศที่ตั้งอยู่ที่เส้นละติจูด40°เหนือ ส่วนสภาวะออกแบบที่ต่างไปจากนี้ต้องแก้ไขตามเส้นละติจูดและเดือน (LM) และสีของผนัง (K) ที่เป็นจริง รวมทั้งแก้ไขอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (t_0) และอุณหภูมิภายในห้อง(t_R) ตามที่เป็นจริงโดยแก้ไขจากสมการดังนี้

$$CLTD_C = \left[(CLTD + LM) \times K + (25.5 - t_R) + (t_0 - 29.4)\right] f \quad \text{.....} \quad (2.2)$$

โดยที่ $(CLTD_C)$ = ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (CLTD) ที่ปรับแก้ค่าแล้ว (มีหน่วยเป็น $^\circ C$)

CLTD = ค่าความต่างอุณหภูมิโหลดความเย็น (มีหน่วยเป็น $^\circ C$)

LM = ปรับค่าละติจูดและเดือน

K = ปรับค่าสีของพื้นผิว โดยที่ K มีค่าเท่ากับ 1.0 สำหรับผนังหรือหลังคาสีมืด 0.5 สำหรับหลังคาสีสว่าง และเท่ากับ 0.65 สำหรับผนังสีสว่าง

(t_0) = อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (มีหน่วยเป็น $^\circ C$)

(t_R) = อุณหภูมิภายในห้อง (มีหน่วยเป็น $^\circ C$)

f = ปรับค่าสำหรับการระบายอากาศในเพดาน (เฉพาะหลังคาเท่านั้น) โดยที่ f มีค่าเท่ากับ 0.75 สำหรับพัดลมใต้หลังคา และเท่ากับ 1.00 สำหรับกรณีอื่น ๆ

กรณีที่ผนังเป็นกระจก ความร้อนที่ผ่านเข้ามาทั้งหมดจะเกิดจากทั้งในรูปการนำความร้อนผ่านผนังโปร่งใสและการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ความร้อนจากการนำนั้นไม่ว่าจะมีแสงอาทิตย์หรือไม่ก็จะมีอยู่ถ้ามีความแตกต่างของอุณหภูมิภายนอกและภายใน และอาจจะมีทิศทางการไหลตรงข้ามกับแสงอาทิตย์ก็ได้ เนื่องจากการนำนั้นเมื่อนำความร้อนผ่านเนื้อกระจกเข้ามาข้างใน ต่อจากนั้นก็จะเป็นการพาและการแผ่รังสีเมื่อมีการแผ่รังสีก็จะคล้ายกับผนังทึบแต่เนื่องจากโดยทั่วไปเนื้อกระจกไม่หนาทึบเหมือนผนังทั่วไปทิศจึงมีผลน้อย การใช้ Transfer Function Method ทำให้สามารถหาออกมาเป็นอุณหภูมิแตกต่างสำหรับคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling Load Temperature Difference = CLTD) โดยขึ้นกับเวลาเท่านั้น ดังนั้นภาระการทำความเย็นเนื่องมาจากการนำความร้อนของกระจกก็จะหาได้จากสมการที่ 2.1 โดยที่ค่า $CLTD_C$ จะหาได้จากสมการ

$$CLTD_C = CLTD + (25.5 - t_R) + (t_o - 29.4) \quad ..... \quad (2.3)$$

โดยไม่ต้องคิดค่า LM ปรับค่าละติจูดและเดือน
K ปรับค่าสีของพื้นผิว

2.3.2 ความร้อนถ่ายเทผ่านผนังด้านใน เพดานและพื้นห้อง (Conduction through Interior Structure)

หาความร้อนที่ถ่ายเทจากห้องไม่ปรับอากาศผ่านผนังพื้นหรือเพดานเข้าห้องปรับอากาศได้จากสมการ

$$Q = U \times A \times (TD) \quad ..... \quad (2.4)$$

โดยที่ Q = ความร้อนสุทธิที่ไหลผ่านผนังด้านใน พื้นหรือเพดาน (หน่วยเป็น W)
U = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสำหรับผนังด้านใน พื้นหรือเพดาน (หน่วยเป็น $W/m^2.^\circ C$)
A = พื้นที่ผนังด้านใน พื้นหรือเพดาน (หน่วยเป็น m^2)
TD = ความต่างอุณหภูมิระหว่างห้องปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ (หน่วยเป็น°C)

ถ้าไม่ทราบอุณหภูมิของห้องไม่ปรับอากาศให้ประมาณว่าอุณหภูมิห้องไม่ปรับอากาศ ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก $5^\circ F$ ($2.78^\circ C$) ถ้าห้องไม่ปรับอากาศมีแหล่งความร้อนอยู่ภายใน เช่น บอยเลอร์อุณหภูมิอาจสูงกว่าภายนอกมาก ถ้าห้องไม่ปรับอากาศมีขนาดเล็กมากอาจตัดทิ้งได้

2.3.3 ความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านกระจก (Solar Radiation through Glass)

ความร้อนจากแสงอาทิตย์ผ่านกระจกอาจจะเขียนง่ายๆ ได้ว่าเท่ากับรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบทั้งหมดคูณด้วยค่า Factor ตัวหนึ่งที่น้อยกว่าหนึ่ง ซึ่งตัวคูณลดนี้จะขึ้นกับมุมตกกระทบที่กระจก ชนิดของกระจก ชนิดของอุปกรณ์ตัดแสง และอื่นๆ อีกมาก ASHRAE ได้พัฒนาวิธีง่าย ๆ โดยใช้ กระจกมาตรฐานหนา 3 mm (1/8″) แล้วหาค่าความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด (Solar Heat Gain Factor = SHGF) ทุกเดือนที่อยู่บนเส้นรุ้ง 0°N ถึง 64°N ทุกทิศทางสำหรับประเทศไทยได้แสดงดังในตารางที่ 2.4 ส่วนความร้อนที่เข้าในแต่ละทิศในแต่ละเวลาใช้ตัวคูณลดภาระการทำความเย็น (Cooling Load Factor = CLF) โดยแบ่งเป็นตารางที่มีม่านหรือมู่ลี่ข้างในและตารางที่ไม่มีอุปกรณ์ตัดหรือกันแสงใดๆ ม่านหรือมู่ลี่จะรับความร้อนได้ไว และโครงสร้างก็ไม่หนาแน่นเหมือนโครงสร้างอาคาร ดังนั้นการหน่วงรังสีความร้อนจึงน้อยกว่า ส่วนความแตกต่างของโครงสร้างอาคารก็ไม่มีผลต่อการหน่วงเวลามากนัก และกรณีที่ไม่มีม่านมู่ลี่นั้นความแตกต่างของโครงสร้างอาคารจะมีผลพอสมควร เพื่อไม่ให้เกิดความยุ่งยากในการคำนวณ จึงได้นำค่ามาเฉลี่ย

การคำนวณภาระการทำความเย็นจากรังสีแสงอาทิตย์ได้จากสมการ

$$Q = SHGF \times A \times SC \times CLF \quad ..... \quad (2.5)$$

โดยที่ Q = ความร้อนสุทธิที่ได้รับจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านกระจก (หน่วยเป็น W)

SHGF = ค่าแฟคเตอร์ความร้อนสูงสุดที่ได้รับจากรังสีแสงอาทิตย์ (มีหน่วยเป็น W/m^2)

SC = สัมประสิทธิ์การบังแสง (Shading Coefficient) สำหรับมู่ลี่ หรือ ม่านสีอ่อนจะประมาณ 0.64 การติดฟิล์มสะท้อนแสงหรือฉาบสารสะท้อนแสง หรือกระจกพิเศษจะอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.6 ค่าที่ ถูกต้องอาจหาได้จากผู้ผลิต

CLF = ตัวคูณลดภาระการทำความเย็น

A = พื้นที่กระจก (หน่วยเป็น m^2)

2.3.4 ความร้อนจากไฟฟ้า (Lighting)

ความร้อนจากไฟฟ้าแสงสว่างที่เข้าห้องปรับอากาศ ก็คือพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใส่ (Input) หลอดไฟฟ้าทั้งหมด แต่เนื่องจากหลอดไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ ซึ่งมักจะบอกเป็นวัตต์เช่นขนาด36 W จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าส่วนหนึ่งให้กับบัลลาสต์ซึ่งถ้าเป็นบัลลาสต์แบบเก่าก็ต้องใช้ถึง 10 W ถ้าแบบใหม่ใช้เพียง 5.5W ความร้อนที่เข้าสู่ห้องก็ต้องเป็นพลังงานทั้งหมดรวมกัน เพื่อความสะดวกมักจะให้คูณกำลังวัตต์ของหลอดไฟด้วยแฟกซ์เตอร์ 1.25 สำหรับบัลลาสต์แบบเก่า และ 1.15 สำหรับบัลลาสต์แบบใหม่

หาความร้อนที่ได้รับจากไฟแสงสว่างได้จากสมการ

$$Q = W \times F_B \times (CLF) \quad \text{.....} \quad (2.6)$$

โดยที่ Q = ความร้อนสุทธิที่ได้รับจากไฟแสงสว่าง (หน่วยเป็น W)

W = ขนาดของหลอดไฟ (หน่วยเป็น W)

F_B = แฟคเตอร์บัลลาสต์

CLF = แฟคเตอร์ตัวคูณลดโหลดความเย็น

ไฟฟ้าแสงสว่างนั้น โดยทั่วไปประมาณว่าครึ่งหนึ่งเป็นความร้อนแบบการนำและการพา ซึ่งจะเข้าสู่อากาศในห้องทันที ส่วนอีกครึ่งที่เหลือจะเป็นรังสีความร้อนซึ่งจะทะลุผ่านอากาศไปอยู่ที่พื้น ผนังเพดาน ยังไม่ออกมาทันที ต้องรอจนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศ คล้ายกับความร้อนที่ผ่านผนัง หลังคาหรือกระจกที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นก็ต้องมีการหน่วงเวลาคือต้องมีตัวคูณลดความร้อนส่วนที่มาจากการแผ่รังสีเพื่อเป็นภาระการทำความเย็น (Cooling Load Factor) ยกเว้นกรณีที่เราไม่ได้เปิดเครื่องปรับอากาศ 24 ชั่วโมง และเรามักจะปิดไฟฟ้าตามเครื่องปรับอากาศอยู่แล้วก็ไม่ต้องมีคูณลดนี้ เพราะรังสีความร้อนจากไฟฟ้าจะยังคงอยู่กับโครงสร้างอาคาร เมื่อเราเปิดเครื่องปรับอากาศในอีกวัน เปรียบเหมือนเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ใส่ทั้งหมด

กรณีที่เป็นอาคารที่สร้างใหม่เราจะต้องเผื่อค่าไว้ โดยยึดตามกฎกระทรวงพลังงานคือถ้าเป็นสถานที่ทำงานและทั่วๆ ไปจะอนุญาตให้ติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างไม่เกิน 16 W ต่อตารางเมตรของพื้นที่ห้อง เช่นถ้าใช้แฟคเตอร์ 1.25 ก็จะได้ 20 W/m^2 ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมนำค่านี้ไปใช้ในการคำนวณสำหรับบางสถานที่ที่มีการติดตั้งหลอดไฟมากเกินก็อาจมีการปิดบางส่วน เราก็ควรคูณแฟคเตอร์ตัวลดตามความเป็นจริง เช่นเชื่อว่าเปิดใช้ไม่เกิน 80% เราก็ใช้แฟคเตอร์ 0.80 คูณ

2.3.5 ความร้อนจากคน (People)

คนคายความร้อนออกมาทั้งในรูปความร้อนสัมผัส และความร้อนแฝงซึ่งสามารถดูค่าได้จากตารางที่แสดงค่าไว้ ความร้อนแฝงจะขึ้นอยู่กับอัตราการทำงานของแต่ละคนความร้อนจากคนนั้นส่วนที่เป็นความร้อนสัมผัสจะแบ่งเป็นการแผ่รังสีส่วนหนึ่ง ส่วนที่เหลือคือการพา ตัวอย่างเช่นคนนั่งชมภาพยนตร์ ความร้อนจากคนทั้งหมด 95 W จะแบ่งได้เป็นความร้อนสัมผัส 65 W ความร้อนแฝง 30 W ซึ่งความร้อนสัมผัส 65 W นี้จะมีส่วนที่เป็นการแผ่รังสี 60% ถ้าความเร็วลมในห้องไม่เกิน 0.2 m/s (40 ฟุต/นาที) นั่นคือการแผ่รังสี 65× 0.6 = 39 W แต่ถ้าความเร็วลมเกิน 0.2

m/s(40 ฟุต/นาที) การแผ่รังสีจะมีเพียง 27% นั่นคือการแผ่รังสี 65×0.27 = 18 W เป็นต้น รังสีความร้อนเช่นเดียวกับที่ผ่านมาซึ่งมันจะทะลุผ่านอากาศไปอยู่ที่พื้น ผนัง เพดาน ยังไม่ออกมาทันทีต้องรอจนมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศ คล้ายกับความร้อนที่ผ่านผนัง หลังคา หรือกระจกที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นก็จะต้องมีการหน่วงเวลา คือต้องมีตัวคูณลดความร้อนส่วนที่มาจากการแผ่รังสีนี้เพื่อเป็นภาระการทำความเย็น (Cooling Load Factor) ยกเว้นกรณีที่เราไม่ได้เปิดเครื่องปรับอากาศ 24 ชั่วโมง ก็ไม่ต้องมีตัวคูณลดนี้ เพราะรังสีความร้อนจากคนจะยังคงอยู่กับโครงสร้างอาคารกลายเป็นโหลดความเย็นเมื่อเราเปิดเครื่องปรับอากาศในอีกวัน

หาความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงจากคนได้จากสมการ

$$Q_S = q_S \times n \times (CLF1) \quad \text{.....} \quad (2.7)$$

$$Q_L = q_L \times n \quad \text{.....} \quad (2.8)$$

โดยที่ Q_S, Q_L = ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงทั้งหมดที่ได้รับตามลำดับ (หน่วยเป็น W)

q_S, q_L = ความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝงที่ได้รับต่อคน (หน่วยเป็น W)

n = จำนวนคน

CLF1 = แฟคเตอร์โหลดความเย็นสำหรับคน

สำหรับแฟคเตอร์ CLF1 ใช้กับความร้อนสัมผัสที่ได้รับเท่านั้น หาค่าได้จากตารางที่ให้ไว้ในภาคผนวก กรณีปิดเครื่องปรับอากาศตอนกลางคืน CLF1 จะเท่ากับ 1.0

2.3.6 ความร้อนจากเครื่องมือและอุปกรณ์ (Equipment and Appliances)

ความร้อนจากเครื่องมือ และอุปกรณ์อาจเป็นทั้งแหล่งความร้อนสัมผัสและความร้อนแฝง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของอุปกรณ์ อาจหาความร้อนที่ได้รับจากเครื่องมือและอุปกรณ์ได้จากผู้ผลิตหรือข้อมูลที่ระบุอยู่ที่ตัวเครื่อง ภาระความเย็นของอุปกรณ์บางชนิดอาจหาได้ดังนี้

1. ความร้อนจากมอเตอร์ไฟฟ้า

ความร้อนที่เข้าห้องต้องเป็นกำลังไฟฟ้าที่ให้กับมอเตอร์ทั้งหมด เนื่องจากการซื้อขายมอเตอร์นั้นจะบอกเป็นกิโลวัตต์หรือแรงม้า หมายถึงกำลังสูงสุดที่จะได้ออกมาที่เพลาดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ใส่ย่อมมากกว่าที่เพลาเพราะประสิทธิภาพมอเตอร์ต้องต่ำกว่า 100%

ให้ w_E = กำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ต้องใช้

w_B = กำลังที่เพลา

กรณีที่มอเตอร์ทำงานที่ภาระเต็มที่ (Full load) ก็คือขนาด kW ที่ระบุที่ตัวมอเตอร์ (Rated/Nominal kW) นั่นเอง ในทางปฏิบัติการเลือกกำลังมอเตอร์มักจะเผื่อความปลอดภัยไว้ 10 ถึง 20% ประกอบกับกำลังมาตรฐานก็เป็นช่วงๆโอกาสที่จะเลือกพอดีจึงมีน้อย จึงกลายเป็นต้องเพิ่มขึ้นอีกโดยปริยาย ดังเช่น จากการคำนวณต้องการกำลังที่เพลา 1.1 kW ถ้าเผื่อความปลอดภัยไว้ 10 % ขนาดกำลังมอเตอร์ที่ต้องการคือ $1.1 \times 1.1 = 1.21$ kW แต่มอเตอร์มาตรฐานที่มีขายคือ 1.1 และ 1.5 kW จะเห็นว่าเราต้องเลือกที่ขนาด 1.5 kW ซึ่งเปรียบเหมือนเผื่อความปลอดภัยเป็น (1.5-1.1)×100/1.1 = 36% ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่ามอเตอร์ที่ใช้งานจริงมักจะทำงานไม่เกิน80%ของขนาดกำลังที่ระบุที่ตัวมอเตอร์

Q_{LOSS} = ความร้อนที่ถ่ายออก

E_M = ประสิทธิภาพมอเตอร์

จะได้ว่า

$$E_M/100 = w_B/w_E \text{ หรือ } w_E = w_B/(E_M/100) \quad \ldots\ldots \quad (2.9)$$

$$Q_{LOSS} = w_E - w_B = w_B(100/E_M - 1) \quad \ldots\ldots \quad (2.10)$$

ในทางปฏิบัติ ถ้ามีข้อมูลเพียงแต่ขนาดกำลังมอเตอร์เป็น kW เราก็มักใช้ค่ากำลังที่เพลานี้เลย เพราะการทำงานจริงก็อาจจะประมาณ 80% ของกำลังที่เพลา แต่มอเตอร์ก็มีประสิทธิภาพ 80% ผลก็คือพลังงานที่เข้าใกล้เคียงกับกำลังที่เพลา

ความร้อนจากมอเตอร์ ถ้าแบ่งโดยประมาณแล้วส่วนที่แผ่รังสีก็จะใกล้เคียงกับส่วนที่เป็นการพาความร้อนของอากาศในห้อง

มอเตอร์ของเครื่องปรับอากาศเองก็เป็นภาระการทำความเย็นเช่นกัน เพียงแต่การคิดแบบละเอียดเพื่อหาอัตราส่งลมเย็นของเครื่องปรับอากาศนั้น มีความจำเป็นต้องรู้ว่าความร้อนนั้นเข้าที่ห้องปรับอากาศหรือเข้าที่เครื่องปรับอากาศ หลักการก็คือถ้าเป็นเครื่องปรับอากาศขนาดกลางและใหญ่มอเตอร์พัดลมมักจะอยู่หลังคอล์ยเย็น (Draw through) จะถือว่าความร้อนเข้าที่ห้องปรับอากาศ ส่วนเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กพัดลมมักอยู่หน้าคอล์ยเย็น (Blow through) ซึ่งจะถือว่าลมกลับเข้าที่ท่อลมกลับเครื่องปรับอากาศเลย ซึ่งจะไม่มีผลต่ออัตราส่งลมของเครื่องปรับอากาศแต่ยังเป็นภาระของเครื่องปรับอากาศเช่นกันต่างกันเพียงเล็กน้อย

2. ความร้อนจากอุปกรณ์อื่นๆ โดยประมาณ

คอมพิวเตอร์ขณะใช้งานตัวเครื่องจะให้ค่าความร้อนอยู่ที่ 55 W จอ 55 W ขณะพักตัวเครื่อง 20 W จอ 0 W เครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์ขนาดกลางขณะพิมพ์ 215 W ขณะหยุดพิมพ์ 35 W ในสหรัฐอเมริกาได้มีผู้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ จอเครื่องและพวกเครื่องแฟกซ์รวมกันในสำนักงานต่าง ๆ พบว่ามีค่าความร้อนเข้าห้องอยู่ในช่วงประมาณ 5 ถึง 12 W/m^2 เฉลี่ยประมาณ 8.5 ของพื้นที่ห้องสำหรับอุปกรณ์เหล่านี้ความร้อนส่วนใหญ่มักจะเป็นแบบการพาความร้อน ส่วนน้อยเท่านั้นที่เป็นแบบการแผ่รังสี

2.3.7 ความร้อนจากอากาศภายนอกรั่วผ่านช่องเปิดต่าง ๆ (Infiltration)

ความร้อนจากอากาศภายนอกรั่วไหลเข้านั้นจะเป็นภาระการทำความเย็นทันที ภาระการทำความเย็นในหน่วยวัตต์ทั้งหมดหาได้จาก

$$Q = m_{0a}(h_0 - h_R) = 1.23\ Vol_{OA}(h_0 - h_R) \quad \text{หรือ} \quad \ldots\ldots \quad (2.11)$$

$$Q = 1.2\ Vol_{OA}\left[1.0244(t_0 - t_R) + 2501(W_0 - W_R)\right] \quad \ldots\ldots \quad (2.12)$$

ซึ่งสามารถแบ่งเป็นความร้อนสัมผัส Q_S คือ

$$Q_S = 1.2\ Vol_{OA}\left[1.0244(t_0 - t_R)\right] = 1.23\ Vol_{OA}(t_0 - t_R) \quad \ldots\ldots \quad (2.13)$$

และแบ่งเป็นความร้อนแฝงคือ

$$Q_L = 1.2\ Vol_{OA}\left[2501(W_0 - W_R)\right] = 3010 Vol_{OA}(W_0 - W_R) \quad \ldots\ldots \quad (2.14)$$

โดยที่

Q_S = อัตราความร้อนสัมผัสเข้า (มีหน่วยเป็น kW)

Q_L = อัตราความร้อนแฝงเข้า (มีหน่วยเป็น kW)

m_{0a} = อัตรามวลอากาศภายนอกเข้า (มีหน่วยเป็น kg/s)

Vol_{OA} = อัตราปริมาตรอากาศภายนอกเข้า (มีหน่วยเป็น m^3/s) โดยใช้อากาศมาตรฐานคือ 1.2 kg/m^3

t_R = อุณหภูมิอากาศภายในห้องปรับอากาศ (มีหน่วยเป็น °C)

t_0 = อุณหภูมิอากาศภายนอกที่เข้าห้องปรับอากาศ (มีหน่วยเป็น °C)

W_R = อัตราส่วนความชื้นของอากาศภายในห้องปรับอากาศ (มีหน่วยเป็น kg/kg)

W_0 = อัตราส่วนความชื้นของอากาศภายนอกที่เข้าห้องปรับอากาศ (มีหน่วยเป็น kg/kg)

ความร้อนจากการรั่วผ่านช่องเปิดต่างๆหรือจากการระบายอากาศ

(ในหน่วย Btu/hr.)

$$Q_S = 1.085 \times (t_0 - t_R) \times cfm \quad ..... \quad (2.15)$$

$$Q_L = 0.7 \times (W_0 - W_R) \times cfm \quad ..... \quad (2.16)$$

ตามมาตรฐานของ ASHRAE ใช้อัตราการระบายอากาศที่ 10 L/s ต่อคน หรือ 20 cfm ต่อคน

ในทางปฏิบัตินิยมใช้อัตราปริมาตร Vol_{OA} ที่จะหาค่าการรั่วเข้าออกอาคารที่ถูกต้องค่อนข้างยุ่งยากมากที่ใช้กันอยู่จากประสบการณ์ถ้าห้องที่มีผนังติดอากาศภายนอกถึง 2 ถึง 4 ด้านมักจะใช้อย่างน้อย 1 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง ยกเว้นกรณีระบบปรับอากาศขนาดกลางและใหญ่ที่มักจะต้องมีการนำอากาศบริสุทธิ์เข้าที่เครื่องปรับอากาศ สามารถออกแบบให้ความดันภายในห้องสูงกว่าภายนอกได้ อากาศที่รั่วเข้ามาก็จะน้อยมากซึ่งไม่จำเป็นต้องคิดก็ได้

1. ความร้อนจากท่อส่งลม

ในระบบปรับอากาศขนาดกลาง และใหญ่มักจะมีการต่อท่อส่งลมเย็นท่อนี้เย็นมากมักจะมีความร้อนเข้าในรูปความร้อนสัมผัสผ่านท่อลมที่มีการหุ้มฉนวนหนาไม่เพียงพอ แต่ถ้าหุ้มฉนวนเพียงพอการรั่วก็จะน้อยมากความร้อนที่เป็นภาระการทำความเย็นอีกอย่าง คือมักจะมีการรั่วของลมเย็นออกจากท่อลมเพราะความดันภายในท่อส่งลมจะสูงกว่าภายนอกท่อ อัตราการรั่วค่อนข้างกำหนดยาก เพราะขึ้นกับความยาวท่อลมฝีมือและความชำนาญของช่าง อย่างไรก็ตามไม่ควรเกิน 3% การรั่วที่นี้ก็เทียบเท่ากับต้องนำอากาศภายนอกมาทำให้ได้ภาวะลมเย็นที่รั่วไป ยกเว้นการรั่วนั้นเข้าสู่บริเวณปรับอากาศซึ่งเปรียบเสมือนส่งลมเข้าไปทำความเย็น

อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการจะคำนวณได้ถูกต้องจริงๆ ยากมากจึงนิยมเผื่อไว้ในรูปค่าความปลอดภัย (Safety factor) ในส่วนการคำนวณสุดท้าย

2. ความร้อนที่เข้าที่เครื่องปรับอากาศ

ความร้อนที่กล่าวมาทั้งหมดอาจเรียกได้ว่า เป็นภาระการทำความเย็นที่เกิดขึ้นที่ห้องปรับอากาศ หรือเรียกว่าความร้อนทั้งหมดที่ห้อง (Room/Space Total Heat) ซึ่งแบ่งแยกเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งเป็นความร้อนสัมผัสที่ห้อง (Room/Space Sensible Heat) ส่วนที่สองคือความร้อนแฝงที่ห้อง (Room/Space Latent Heat)

ภาระการทำความเย็นกลุ่มที่สองคือ ภาระความร้อนที่เข้าที่ห้องปรับอากาศสำหรับเครื่องปรับอากาศขนาดกลาง และใหญ่ที่มักจะต้องนำอากาศบริสุทธิ์เข้าที่เครื่องปรับอากาศอย่างน้อยตามเทศบัญญัติ ซึ่งวิศวกรปรับอากาศส่วนใหญ่มักจะไม่นิยมใช้เพราะถือว่าค่อนข้างน้อยจึงมัก

ใช้ตามมาตรฐาน ASHRAE โดยกว้างๆ มักจะกำหนดเป็นอัตราปริมาตรต่อคน เช่น สำนักงานทั่วไป 0.01 m^3/s ต่อคน (10 ลิตร/วินาที ต่อคน) (20CFM/คน) เป็นต้น การคำนวณภาระการทำความเย็นก็ใช้หลักการเดียวกับอากาศรั่วเข้าห้อง

3. ความร้อนจากท่อลมกลับ

แบ่งได้เป็นความร้อนสัมผัสที่ผ่านที่ผนังท่อลมกลับ สามารถคำนวณได้ไม่ยากแต่ในทางปฏิบัติท่อลมกลับมักหุ้มฉนวนและอุณหภูมิลมกลับไม่ต่ำมากความร้อนนี้จึงมีค่าน้อย ความร้อนส่วนที่สองคืออากาศรั่วเข้าตามรอยรั่ว เนื่องจากความดันในท่อลมกลับส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่าภายนอก ส่วนนี้ก็คิดเหมือนอากาศบริสุทธิ์เข้าที่เครื่อง แต่ในทางปฏิบัติก็จะมีค่าไม่มากเช่นกันสรุปการคำนวณภาระการทำความเย็นและอัตราการส่งลมเย็นของเครื่องปรับอากาศการคำนวณภาระการทำความเย็นในทางปฏิบัติ จะต้องหาข้อมูลของอาคารที่จะคำนวณให้ละเอียด เช่น อาคารตั้งอยู่ที่ใด แต่ละด้านหันไปทางทิศใด กระจกชนิดใด มีพื้นที่เท่าไร ผนังทึบทำด้วยวัสดุอะไร หนาเท่าไร หลังคาบุฉนวนหรือไม่ถ้าไม่ได้บุฉนวนต้องแนะนำให้ทำ เพราะอาจจะไม่ผ่านกฎกระทรวงตามที่กฎกระทรวงกำหนดไว้ว่าค่า RTTV (Roof Thermal Transfer Value) ของหลังคาต้องไม่เกิน 25 W/m^2 และค่า OTTV (Overall Thermal Transfer Value) สำหรับผนังต้องไม่เกิน 45 W/m^2 ซึ่งค่าเหล่านี้จะแปรตามค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและ ความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์จะมีผลต่อค่าเหล่านี้มาก นอกจากนั้นอาคารที่ออกแบบต้องทราบว่าจะใช้ทำอะไร จำนวนคนที่ใช้ นั้นถ้าไม่ทราบจำนวนแต่ทราบกิจกรรมที่ทำก็จะใช้ค่าการประมาณเช่น ถ้าเป็นสำนักงานจะประมาณ 10 ตารางเมตรต่อคน ถ้าห้องประชุมใหญ่จะประมาณ 1 ตารางเมตรต่อคน ถ้าเป็นศูนย์การค้าประมาณ 3 ถึง 6 ตารางเมตรต่อคน ส่วนไฟฟ้าแสงสว่างตามที่กล่าวมาแล้วว่ามีกฎหมายบังคับ ใช้ค่าประมาณ 20 วัตต์ต่อตารางเมตร มักจะเผื่อค่าไว้สำหรับคอมพิวเตอร์ด้วย

2.4 การถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากส่วนหนึ่งของความร้อนสัมผัสที่ห้องได้รับจะถ่ายเทผ่าน โครงสร้างของอาคารให้กับสิ่งแวดล้อม ฉะนั้นความร้อนส่วนนี้จึงไม่ใช่โหลดความเย็นของห้อง เป็นความร้อนอีกส่วนหนึ่ง แยกต่างหากนอกเหนือไปจากการอมความร้อนของอาคารปกติจะคำนวณความร้อนส่วนนี้โดยปรับค่าความร้อนสัมผัสที่ห้องได้รับจากการนำความร้อน รังสีจากดวงอาทิตย์ ไฟแสงสว่าง คน และเครื่องมืออุปกรณ์ สมการสำหรับคำนวณตัวปรับค่าเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมได้แก่

$$F_C = 1 - 0.02K1 \quad \ldots\ldots \quad (2.17)$$

$$K1 = (U_w A_w + U_g A_g)/L \quad \ldots\ldots \quad (2.18)$$

โดยที่ F_C = ตัวคูณเพื่อปรับค่าความร้อนสัมผัสที่ห้องได้รับ

K1 = ค่าการนำความร้อน (Conductance) ต่อหน่วยความยาว (มีหน่วยเป็นW/m.°C)

L = ความยาวของผนังด้านนอก (มีหน่วยเป็น m)

U_w, U_g = สัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนของผนังและกระจกตามลำดับ (มีหน่วยเป็น $W/m^2.°C$)

A_w, A_g = พื้นที่ผนัง กระจก(มีหน่วยเป็น m^2)

เพื่อความสะดวกในการคำนวณจึงนิยมเผื่อไว้ในรูปค่าความปลอดภัย (Safety factor) โดยไม่คิดค่าในส่วนนี้

2.5 ขั้นตอนในการคำนวณภาระการทำความเย็น

1) เลือกภาวะออกแบบภายในและภาวะออกแบบภายนอกจากตารางแนะนำ
2) วัดขนาดพื้นผิวที่ได้รับความร้อนจากภายนอกของแต่ละห้องจากแบบแปลนของอาคาร
3) คำนวณหาพื้นที่ทั้งหมด
4) เลือกสัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อนของวัสดุแต่ละชนิด
5) หาเวลาของวันและเดือนที่เกิดโหลดสูงสุดจากอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม
6) คำนวณความร้อนที่ได้รับจากภายนอก และความร้อนที่ได้รับจากภายในคือคน ไฟฟ้าแสงสว่าง อุปกรณ์ และการระบายอากาศ
7) เผื่อความปลอดภัย (Safety factor) ในส่วนการคำนวณสุดท้าย