電氣技術者가 알아야 할

空調設備의 知識

3

4. 空調 熱負荷

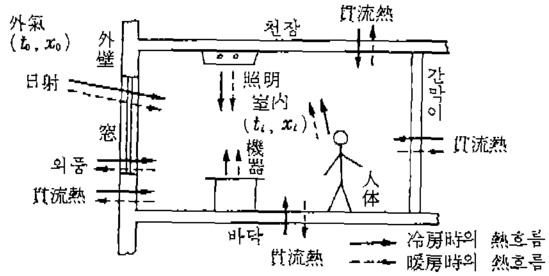
가. 熱負荷의 종류

공조를 하고 있는 방의 冷暖房負荷로는 그림 16처럼 室外에서 들어오거나 나가는 熱로서 外壁, 창, 천장, 바닥, 간막이의 貫流熱, 창에서 들어오는 日射熱, 외풍이나 도어의 개폐에 따라 침입하는 外氣의 熱이 있다. 또 실내에서 발생하는 熱로서는 照明, 人体, 기기류의 發熱이 있다.

이러한 열부하는 실온의 변화를 일으키는 顯熱負荷와 실내 수증기량의 增減에 따른 潛熱負荷로 구분된다. 또 이러한 부하 중에는 貫流熱이나 侵入外氣처럼, 여름에는 실온을 높이고 겨울에는 실온을 내리는 것과 日射나 室內發熱 처럼 항상 실온을 높이는 것이 있다.

따라서 여름의 냉방부하는 이러한 모든 것을 합계한 것이지만 겨울의 暖房負荷로는 貫流熱이나 侵入外氣의 부하로부터 일사나 실내 발열을 뺀 것이 실제의 난방부하가 된다. 이러한 것을 표시한 것이 표8이다.

이처럼 난방부하에는 (+)요소와 (−) 요소가 있는데, 겨울에도 난방부하가 (−)가 되어 냉방을 해야 하는 일도 있다. 이러한 방으로는 外壁



〈그림 16〉 室內의 冷暖房負荷

〈표 8〉 室內의 冷暖房負荷

負 荷 의 種 類	顯熱(S) 潛熱(L)	冷房負荷	暖房負荷
壁体貫流熱 (外壁, 窓, 간막이, 천장, 바닥)	S	+	+
窓에서 들어오는 日射熱	S	+	−
侵入空氣에 의한 熱[1] (틈새기바람, 도어에서 들어오는 空氣)	S, L	+	+
照明發熱	S	+	−
人体에서의 放熱	S, L	+	−
機器의 放熱[2]	S, (L)	+	−

1) 室內에 直接外氣도입하는 것은 이것도 포함.

2) 潛熱負荷가 發生하는 것.
또 低溫의 機器에서는 吸熱源이 되고 正負의 符號가 逆轉한다.

에 접하지 않은 방(인테리어 존)이나 南向의 창이 큰 방으로 창을 열지 못하는 것 등이 있다.

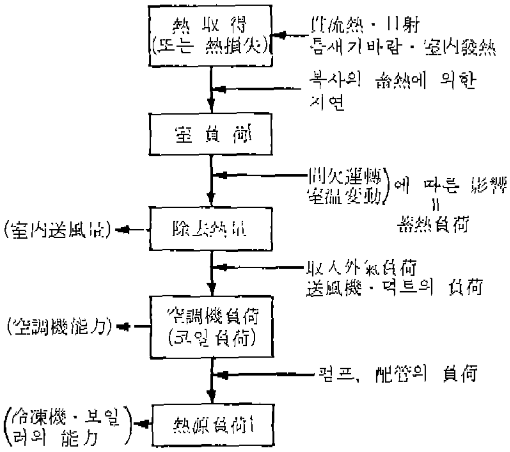
또 日射나 照明 등의 복사열은 실내의 벽체나 기물에 한번 흡수되어 그 物体의 표면온도가 上昇하여 실내의 온도를 따뜻하게 하기 때문에 室負荷로서는 熱容量에 따른 시간지연이 생긴다. 그래서 어떤 시각에 실내에 들어가거나 또는 발생하는 열량을 熱取得이라 부르며 室負荷와 구별하는 일이 있다. 단 일사는 브라인드를 사용할 때는 이 시간지연이 작아지고 조명도 점등시와 소등시 뿐이며 계산이 귀찮기도 해서 熱取得의 계산값으로 室負荷를 近似시키는 일이 많다.

또 室負荷의 계산은 실내온도를 일정하다고보고 하게 되지만, 사무실 빌딩처럼 夜間에 空調를 정지하는 간헐운전인 경우는 야간의 실온이 변하며 이 蓄熱效果로 공조시의 열부하가 바뀐다.

이 열부하와 1日中 계속 空調를 하여 실온이 항상 일정하게 유지되는 경우의 熱負荷와의 차이를 蓄熱負荷라고 하는데, 특히 겨울의 暖房시 동시에 큰 값을 나타낸다.

이 축열부하는 1日中 중 계속 공조하는 경우에도 시간에 따라서 室溫設定을 바꾸는 경우에도 생긴다(실온을 항시 일정한 것으로 계산). 室負荷에 이 蓄熱負荷를 더한 열부하는 실제로 방에서 제거(또는 供給)하여야 할 熱量으로서 除去熱量이라고 한다. 일반의 空氣調和機에서는, 예를 들면 그림 14(3월호)에 표시한 것처럼 공기조화기에 外氣를 도입하고 있으며 送風機의 발열이나 덕트 내에의 열 侵入이 있으므로 각 방의 제거열량의 合計에 이러한 열부하를 더한 것이 공기조화기에서 처리하는 熱量이 된다. 이것을 공조기 부하(또는 코일 부하 라고 한다.

또 이것에 공기조화기에 보내는 냉수 등의 펌프의 발열이나 배관의 熱損失을 더한 것이 熱源裝置에 필요한 熱源負荷가 된다. 또 공조기 부하나 열원부하는 장치 능력의 算定에 사용되므로 裝置負荷라고도 한다. 이러한 관계를 **그림17**에 든다.



〈그림 17〉 熱負荷의 種類

나. 熱負荷 計算

열부하 계산은 空調裝置의 설계나 年間 電力이나 연료 소비량의 推定에 사용된다.

장치설계에는 최대 냉방부하 및 최대 난방 부하가 계산된다. 이것에 사용하는 氣象條件은 일반 빌딩이나 주택의 空調에서는 여름의 가장 더운 날, 겨울의 가장 추운 날이 아니고 통계적으로 일정한 위험률(초과율, 예컨대 2.5%)을 취한 최고 또는 최저의 외기온도를 설계온도로 하는 方法이 사용된다.

〈표 9〉 여름의 冷房設計用 外氣溫度 및 絶對溫度

지역	外氣溫度(℃)*					絶對濕度
	9時	12時	15時	18時	日平均	kg/kg(DA)
A	30.9	32.8	33.5	30.7	29.5	0.0201
B	31.2	.8.4	34.3	32.2	30.3	0.0195
C	30.9	33.5	34.1	32.0	30.3	0.0209
D	29.3	31.2	30.8	28.6	27.4	0.0189
E	27.7	29.9	29.8	26.5	25.7	0.0169

* 夏季(6～9月)의 累積統計値보다 超過率 2.5%인 外氣溫度를 표시.

〈표 10〉 暖房設計用 外氣溫度 및 絶對濕度

지역	外氣溫度(℃)*			絶對濕度
	6時	9時	日平均	kg/kg(DA)
A	−3.4	0.4	−0.1	0.0015
B	−2.0	0.9	0.9	0.0020
C	−1.2	0.8	0.6	0.0022
D	−5.7	−2.6	−3.1	0.0017
E	−14.4	−10.6	−11.0	0.0011

* 冬季(12～3月)의 累積統計値보다 超過率 2.5%인 外氣溫度.

이것은 드물게 일어나는 기상조건을 사용하면 설비가 과대해지고 비경제적이고, 설계 외기온도를 초과하는 날에는 室溫度 설계값을 다소 초과하는 일이 있더라도 그다지 문제되지 않기 때문이다. 이러한 방식에 따른 설계 외기온습도를 표 9, 10에 든다. 이 표의 절대습도도 동일한 위험률에서 구한 것이지만 하루중 절대습도의 변화는 작기 때문에 이 설계값은 시간적으로 일정하다고 간주한다. 또 이 위험률은 설비에 필요한 信賴度나 등급에 따라서 변화시켜야 하는데 일반공조에서는 냉방, 난방 각 기간 4개월에 있어서의 위험률 2.5%의 값을 사용하는 일이 많다.

이것에 대응하는 실내 온습도의 설계값은 사무실 빌딩 등에서는 보통 여름에는 26℃, 50%, 겨울은 22℃, 40% 정도의 값이 사용되는데, 着衣상태 등에 따라서 약간 바뀌는 일이 있다.

또 設備나 熱負荷에 따라서는 예를 들면 복사난방을 하는 경우는 설계 실온을 약간 낮게 하거나 극장처럼 실내 부하의 顯熱化가 비교적 낮은 것에서는 冷房設計 상대습도를 55% 정도로 약간 높게 하는 일이 있다.

이와 같이 外氣溫度와 室內溫度의 설계값을 정하고 이것이 일정값으로 유지된다고 가정하고 정상적으로 열부하를 계산하는 방법이 종래부터 暖房負荷計算에서 사용되어 왔다. 그러나 실제로는 외기온도가 시간적으로 변동하고 夜間에 暖房을 정지하거나 설정온도를 바꾸면 실내온도도 변동하는데, 手計算으로는 비정상 계산이 어렵기 때문에 이것을 定常이라고 가정하고 근사적인 계산을 하고 있었다. 겨울의 추운 날, 최대난방부하의 계산은 日射가 없는 날을 想定하면 外氣溫度의 변동이 작고, 室溫과 外氣溫度의 차가 수도권 등에서는 20℃ 정도가 되므로 정상이라고 가정하더라도 그다지 誤差는 커지지 않는다.

그러나 최대냉방부하의 계산에 있어서는 日射가 많은 날에 냉방부하가 크며, 日射는 시간적으로 熱量 및 方向이 바뀌는데다가 외기 온도와 실온의 차가 작기 때문에 외기온도의 변동도 무시할 수 없다. 그래서 최대냉방부하는 定常으로 가정하여 계산할 수는 없다. 이것을 手計算으로 하기 위한 方法으로는 최대냉방부하가 발생한다고 생각되는 하루의 외기온도 및 日射의 時刻別 값을 設定하고, 室溫을 일정하다고 하고 非定常計算을 전자계산기로 하여 냉방부하를 구하고, 이것은 定常計算의 식으로 逆算하여 실제의 온도차 대신에 實效溫度差를 산출하여 數表를 작성해두고 手計算에서는 定常式의 溫度差에 이것을 사용하고 있다.

또 최근에는 마이크로 컴퓨터가 보급되고 있으므로 이것으로 비정상 계산을 할 수도 있으며 이를 위한 계산 프로그램도 나와 있다.

연간의 에너지 消費量 推定에는 변동하는 기상조건에 따라서 통상 1시간마다의 熱負荷를 계산하여 장치의 소비 에너지를 求하고 연간 집계를 하여야 한다.

또 시간마다의 熱負荷를 집계한 연간 열부하도 에너지 절약 설계 등에 이용된다. 이러한 계산은 非定常計算이 되고 計算量도 많으므로 전자계산기가 사용된다.

다. 冷房負荷計算

手計算에 의한 最大冷房負荷의 계산에서 室負荷는 표 8의 各項에 대해, 표 11에 표시한 계산식으로 계산한다. 또 이 표에는 공조기의 장

〈표 11〉 熱負荷計算式

熱負荷 (kcal/h)			計算式	註
裝置負荷	室負荷	外壁, 지붕의 貫流熱 (q_w)	$q_W = K_W \cdot S_W (\Delta t_e)$	
		간막이, 천장, 바닥의 貫流熱 (q_p)	$q_P = K_P \cdot S_P (t_n - t_i)$	1.
		유리窓의 貫流熱 (q_{GT})	$q_{GT} = K_G \cdot S_G (t_0 - t_i)$	2.
		유리窓에서의 日射熱 (q_{GS})	$q_{GS} = K \cdot S_G \cdot I_G$	
		侵入外氣의 顯熱負荷 (q_i)	$q_i = 0.29 V_i (t_0 - t_i)$	
		侵入外氣의 潛熱負荷 (q_i')	$q_i' = 720 V_i (x_0 - x_i)$	
		照明發熱 (q_L)	$q_L = C_L \cdot W_L$	3.
		人体의 顯熱負荷 (q_B)	$q_B = C_B N$	
		人体의 潛熱負荷 (q_B')	$q_B' = C_B' N$	
		機器發熱 (q_A)	$q_A = \eta_A \cdot q_{A0}$	4. 5
		도입外氣의 顯熱負荷 (q_0)	$q_0 = 0.29 V_0 (t_0 - t_i)$	
		도입外氣의 潛熱負荷 (q_0')	$q_0' = 720 V_0 (x_0 - x_i)$	
		送風機에 의한 熱負荷 (q_f)	$q_f = 860 W_f$	6.

記號 K_W, K_P, K_G : 熱貫流率(kcal/m²·h·℃)
S_W, S_P, S_G : 面積(m²)
Δt_e : 實效温度差 (℃)
t_n : 열방 또는 복도의 温度 (℃)
t_i : 温室 (℃)
t_0 : 外氣温 (℃)
K : 遮蔽係數
I_G : 유리窓의 標準日射熱取得(kcal/m³·h)
V_i : 侵入外氣量(m³/h)
x_0 : 外氣의 絶對濕度(kg/kg(DA))
x_i : 室内의 絶對濕度(kg/kg(DA))
C_L : 照明 1W당 放熱量(kcal/h·W)
W_L : 照明電力(W)
N : 人數
C_B : 1人당 顯熱量(kcal/h·人)
C_B' : 1人당 潛熱量(kcal/h·人)
η_A : 負荷率
q_{A0} : 機器의 發熱量(設備容量) (kcal/h)
V_0 : 도입外氣量(m³/h)
W_f : 送風機軸動力(kW)

註) 1. 바닥아래가 지면에 닿는 경우, 냉방부하는 생략하는 일이 많다. 이 난방부하는 $K_P S_P$ 대신에 CL(단 C는 페리미터계수, L은 周長)을, t_n 대신에 t_0을 사용.
2. 간막이 창에서는 t_0 대신에 t_n을 사용
3. 형광등에서는 $C_L = 1.0$, 백열등에서는 $C_L = 0.86$을 사용.
배기 등으로 조명기구를 냉각하고 있는 경우는 배열을 뺀다.
4. 수증기발생을 수반하는 것은 현열부하와 잠열부하로 나눈다.
5. 냉각수 등에서 열이 제거되는 것은 9月에 실내 放熱分만을 사용한다.
6. 전동기가 공조기 내부에 설치된 것은 W_f에 전동기소비전력을 사용.

치부하 계산을 위한 도입외기나 송풍기 부하의 계산식도 표시되어 있다.

貫流熱은 방의 각 부위마다 계산하지만 外壁(지붕도 포함)의 貫流熱의 式에는 앞에서 설명한 實效温度差가 사용된다. 이 값은 벽체의 구조(특히 熱容量), 외기온도나 日射의 시간적 변화에 따라서 다르기 때문에 각종 壁体에 대해方位別로 매시각의 값이 수표로 작성되어야 한다. 또 지역에 따른 補正法도 고려되어야 한다.

또한 남향으로 창이 큰 방에 있어서는 여름

외에 최대 냉각부하가 발생하는 경우가 있으므로 가을이나 겨울의 표도 작성되어야 한다.

햇볕이 닿는 벽체에 있어서는 벽면온도의 상승에 따라 실내에 관류하는 열량이 日射가 없는 경우에 비해 커진다. 이 日射의 영향은 다음 式에 의해 外氣溫度의 상승으로 대치하여 사용한다. 이 온도를 相當外氣溫度라고 한다.

$$t_e=\frac{a}{\alpha_1}I+t_1 \qquad (4\cdot 1)$$

여기서 t_e : 相當外氣溫度(℃)

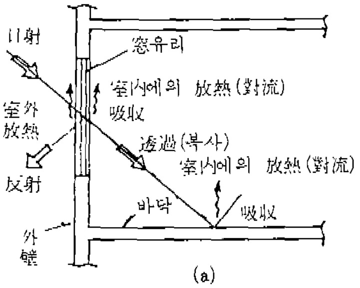
a : 외벽면의 일사 흡수율

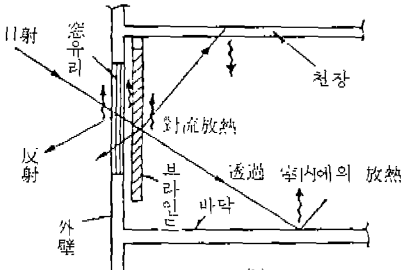
α_1 : 외벽의 표면열 전도율(Kcal/m²h℃)

I : 외벽면에 입사하는 일사량(Kcal/m²h)

t_1 : 외기온도(℃)

예를 들면 한여름 12시에 남향 벽에 $I=252$ [Kcal/m²h], $a=0.9$, $\alpha_1=20$[Kcal/m²h℃], $t_1=32.8$℃라고 하면 t_e는 44.1℃가 된다.





〈그림 18〉 窓에서 들어오는 日射

창면의 냉방부하는 日射가 없는 경우 貫流熱과 日射에 의한 열량으로 나누어 계산한다. 창에서 들어오는 日射熱은 그림 18처럼 투과 일사량과 유리에 吸收되는 일사의 室內 放熱分의 합계이다. 이것은 유리의 종류나 브라인드 등에 따라서도 다르므로 표준 유리(두께 3㎜의 단층보통 유리)로 차폐물이 없는 경우, 창에서 실내로 들어오는 일사열을 標準 日射熱取得이라 한다.

다음, 침입 외기의 부하는 침입하는 외기의 風量이 분할되면 표11의 식에 따라 顯熱과 潛熱으로 나누어 계산된다. 그러나 침입 외기량은 옥외의 바람이나 사람의 출입에 따라서 복잡하게 변하므로 設計에는 경험적인 환기회수의 값을 사용하는 일이 많다.

또 실내발열은 照明이나 사무기기 등 소비전력의 열량 환산값을 냉방부하로 하면 되지만 형광등처럼 定格電力과 消費電力이 다른 것에서는 定格電力에 補正係數를 곱해서 산출한다. 人体로부터의 방열은 顯熱과 潛熱으로 나누어 계산하지만 표 12처럼 이 配分比率은 실온에 따라서 변한다.

라. 暖房負荷計算

난방부하도 냉방부하와 동일한 方法으로 계산하면 되지만 표 8에서처럼 난방부하에서는 마이너스 부하, 즉 난방부하를 감소시키는 항목이

〈표 12〉 人体에서의 放熱量

狀態	放熱量 (kcal/h·人)						
	室溫	26℃		24℃		22℃	
	全放熱量	SH	LH	SH	LH	SH	LH
事務作業	102	47	55	54	48	61	41
레스토랑	125	51	74	59	66	66	59
工場의 輕作業	170	54	116	65	105	76	94
工場의 重作業	227	72	155	85	142	98	129

SH : 顯熱量
LH : 潛熱量

있으므로 여기에는 (−)부호를 붙여서 계산하여야 한다.

그러나 최대 난방부하가 발생하는 것은 日射가 없는 날이므로 日射의 부하는 계산에 넣지 않아도 된다. 또 이러한 날에는 외기온도의 변동이 작고 더구나 室温과 外氣温度의 差도 크므로 외벽의 貫流熱은 실효 온도차가 아닌 실제 온도차를 사용한 定常式으로 계산해도 된다. 그러나 추운 날이라 하더라도 매일 日射가 없는 것이 아니고 蓄熱效果 등도 고려하면 남향의 방과 북향의 방을 동일하게 계산한다면 실제로는 차이가 생긴다. 이러한 불균형의 補正을 위해 외벽의 貫流熱負荷에 대해 표13과 같은 방향부가계수를 사용하는 일이 있다.

또 실내의 照明이나 人体의 負荷는 (−)의 난방부하이며 최대 난방부하의 계산에는 안전측이 되므로 생략하는 일도 많다. 그러나 日射가 없을 때는 照明이 사용될 것이며 전혀 무시하는 것은 실제적이 못되고 과대한 계산이 되므로 최소한의 조명이나 인원을 想定하여 계산하는 것이 바람직하다.

마. 年間熱負荷

연간 열부하는 연간 에너지 소비량의 추정이나 건물 에너지 절약 특성의 비교 등에 사용된다. 이 계산에는 앞에서 설명한 것처럼 표준 기상 데이터를 사용하여 컴퓨터로 1시간 간격으로 계산하는 방법이 일반적으로 이용되고 있지만 手計算法으로 擴張 디그리티法 등도 사용된다.

〈표 13〉 方向附加係數

外壁(창, 문짝포함)의 方位	付加係數*
S	1.0
SE, SW	1.05
E, W	1.1
N, NE, NW	1.2

註) *暖房負荷計算用

디그리티란 日平均 外氣温이 t_2〔℃〕보다 낮은 날에 室温을 t_1〔℃〕까지 가열하는 온도차 (t_1-t_2)의 매일의 積算 값이고 Dt_1-t_2로 표시하며 그 토지의 추위의 바로미터로서 종래부터 사용되던 것이다.

연간 난방부하는 여기에 (최대 난방부하 설계값/설계 온도차) 및 補正係數를 곱해서 概算的으로 구해진다. 냉방도 하는 경우에는 외기온도뿐아니라 日射나 室内 發熱의 영향도 크기 때문에 이것을 포함한 熱負荷의 式에 있어서 디그리티의 수법을 사용하여 외기온도, 일사량, 실내 발열량에 日平均 값을 사용하여 냉방부하, 난방부하마다 매일의 積算값을 구한다. 이것을 擴張冷房 디그리티(ECD), 擴張暖房 디그리티(EHD)라고 하며 다음 식으로 연간 냉방부하 Q_C, 연간 난방부하 Q_H〔Kcal/연〕를 구한다.

$$\left.\begin{aligned} Q_C &= 24\cdot k_C\cdot K_T\,(\mathrm{ECD}) \\ Q_H &= 24\cdot k_H\cdot K_T\,(\mathrm{EHD}) \end{aligned}\right\} \qquad (4\cdot 2)$$

여기서 K_T는 총열관류율〔Kcal/h℃〕, k_C, k_H는 補正係數이다. 이 (Q_C+Q_H)가 연간 열부하계수 PAL의 연간 열부하 手計算法으로 사용된다.

그리고 각 지역의 확장 디그리티表가 작성된다. 또 PAL의 계산에서는 페리미터 존의 顯熱負荷뿐이므로 동일한 수법을 사용하여 인테리어 존의 顯熱負荷 및 전체의 潛熱負荷를 계산하여 부가시키면 건물 전체의 연간 열부하를 구할 수 있다.

CEC(공조 에너지 소비계수)는 연간 공조 에너지 소비량의 열량 환산값과 연간(가상) 공기조화부하의 比로 정의되지만 위의 연간 열부하가 이 계산에 사용된다. 단 假想 공기조화부하는 도입 외기량에 실제의 값이 아닌 기준값(설계인원 1명당 20m³/h)을 사용하여 全熱交換器 등에 의한 도입 외기부하의 감소를 고려하지 않는 경우의 열부하인데, 에너지 절약 특성의 비교를 위해 이러한 假想값이 사용된다.

〈계속〉