



외단열 건물의 열부하계산법

본 원고는 일본 공기조화·위생공학회의 열부하계산법을 소개하는 내용이다.

조민관

강남대학교 도시·건축공학부(cho803@kangnam.ac.kr)

1998년 4월 일본 공기조화·위생공학회 북해도지부 설비기술연구회에서는 실무레벨의 “외단열건물의 열부하계산법”을 위한 소위원회가 발족되었으며, 1999년 11월에 연구보고서가 완성되었다. 이에, 일본 학회에서는 건축설비기술자협회 북해도 지부와 공동으로 실무자를 대상으로 세미나를 2000년 8월에 개최하였다. 본 내용은 위원회보고서와 세미나에서 거론된 “외단열건물의 열부하특성과 계산법의 요점”을 제시하고 이에 근거한 최대부하의 합리적인 설계와 불가분의 관계가 있는 “외단열건물을 위한 난방과 냉방을 통일한 열부하계산법의 개념”을 소개함과 동시에 “실무자의 과제와 금후의 전망”에 대하여 언급하고자 한다.

머릿글

건물에 외단열 공법을 적용하면 실내 열환경의 개선은 물론 에너지절약 효과의 상승과 함께 건물의 내구성도 크게 향상된다. 그러나 외단열공법에 의해 변화하는 실내 열환경이 동절기뿐만 아니라 하절기에도 환경개선과 저부하설비의 계획에 이르기까지 연계시킨 설계법의 제안은 아직 확립되지 않은 실정이다.

본 보고서는 외단열공법으로 건물을 시공하였을 경우 실온변동이 큰 폭으로 작아지는 것에 주목하여 적합한 열부하계산법과 저부하 냉난방시스템의 전망에 대하여 기술하고자 한다.

일상적인 근무시간대에 필요한 외기부하(잠열량·현열량)를 순간 정상으로서 별도로 산정하면, 외벽으로의 관류열, 창을 통한 투과일사취득열, 대상공간에서의 인체·조명·기기발열 등에 의한 실내 현열의 총량은 실온변동의 범위 내에서 주기적으로 변화하는

일주기적(日周期的) 정상에 근거한 일적산값의 수치(收支)로부터 산정할 수 있다. 이와 같은 정상열계산법에 의거한 일적산값의 수치는 종전의 최대부하 산정방법보다도 건물(대상공간)의 열수치가 명확하며 냉난방에 대하여 각기 다른 변수를 적용시켜 조작하여야 하는 불합리성도 없으며 건축설비기술자·설계자에게 연속냉난방과 간헐냉난방의 열적 성질의 이해를 구하기도 용이하다.

외단열건물의 열부하특성과 계산법의 요점

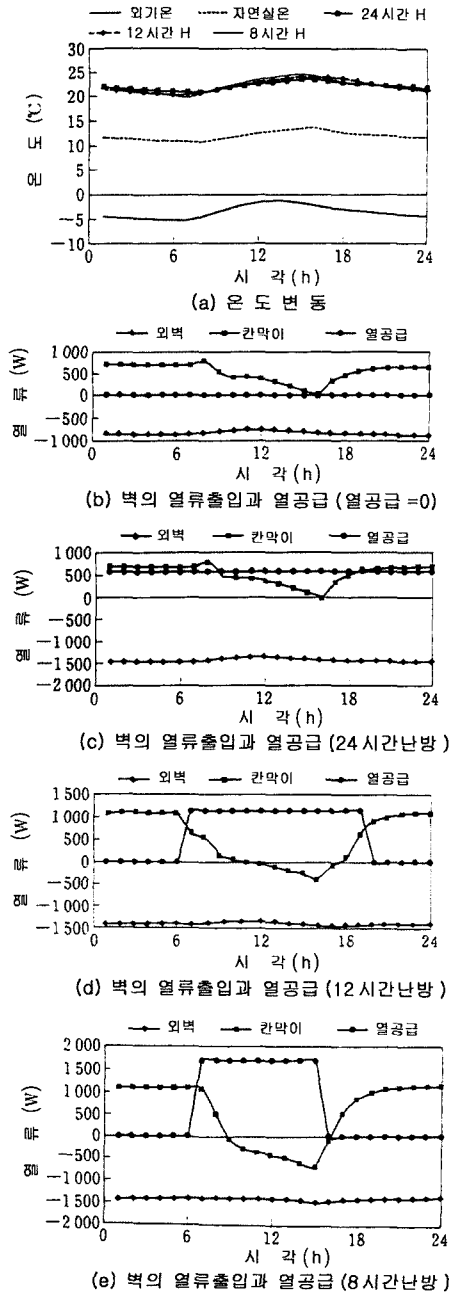
외단열의 공법의 장점은, 내단열에 비하여 두꺼운 단열재의 시공이 가능하다는 것이다. 즉, 건물로부터의 유출입 열량은 감소하고 간헐냉난방의 필요성은 낮아지며 실온변동을 허용한 실내환경과 냉난방설비의 계획이 가능해진다. 동일한 규모·마감재의 건물이라면 외벽의 단열재 위치가 외기측 또는 실내측인가에 따라 건물의 물리적인 열용량의 총량이 현저하게 변하지는 않는다. 그러나, 단열재의 두께가 동일하여도 외측단열 공법을 적용하면 단열의 단점은 해소되어 건물로부터의 열류출입량은 큰 폭으로 감소하기 때문에 바닥, 칸막이벽, 기둥, 보, 가구 등의 열적 용량은 상대적으로 증가하고 실온변동은 큰 폭으로 축소된다. 설비기술자의 의지와 관계없이 고단열건물의 열용량은 실온을 안정시키며 열변동을 흡수하는 거대한 축열조의 역할을 하게 된다.

이와 같은 축열조는, “건물의 열용량이 동일하여도 건물의 열류 출입량이 적으면 적을수록 실온변동은 안정된다”와 같은 움직임을 한다. 야간에 냉난방을 중지하여도 실온의 변동이 그다지 크지 않을 경우에는 냉난방시의 주간실온과 1일의 평균실온을 명확히

구분할 필요없이 설계용 실온으로서 사용할 수 있다.

외단열 건물의 열특성

외단열 건물에 있어서 실온제어없이 일정량의 열을 연속난방으로 공급하면 창면투과일사가 있어도 실온



[그림 1] 고단열 사무공간의 실온변동 추이(난방)

변동폭은 허용값 내에서 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 정도에 변화하는 경우가 많다.

외벽의 열류 출입량이 큰 건물을 간헐난방할 경우, 야간에는 냉각된 구조체가 열을 흡수하기 때문에 주간에 일사열 취득이 있어도 난방을 중지시키지 않는다. 건물의 열용량은 야간에는 온도유지(실온의 냉각저하 저감)를 위하여 작용하며, 주간 근무시간대에는 야간에 냉각된 구조체로 열이 유입하기 때문에 외벽뿐만 아니라 내벽의 표면온도를 실온보다도 항상 낮은 온도로 움직이는 작용을 한다. 저단열 건물일수록 실내의 방사환경은 열악하기 때문에 결과적으로는 높은 설정온도의 난방실온을 선호하게 된다.

에너지의 절약을 고려한 시스템이라 하여도 간헐난방에 의한 실온강하는 발생하며 비난방시에도 지속적으로 발생하는 열유출은 다음 날 난방시간대의 열공급으로 해소된다. 그림 1의 수치해석결과에 의하면, 외벽면적에 대한 열손실계수가 $1.1\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ 정도의 고단열 건물이라면, 환기부하를 제외한 1일의 필요 열량은 연속 또는 간헐의 구분에 관계없이 근무시간대의 실온변동의 추이에 커다란 차이는 나타나지 않는다.

계산법의 요점

계산법의 요점은, 1일에 필요한 열량산출로서 냉방시의 필요열량은 다음과 같다.

- 1) 비냉방시에 내부온도가 상승한 가구·칸막이벽을 주간에 냉각시켜도 1일을 대상으로 생각하면 냉방부하에 산입시킬 필요는 없다.
- 2) 기계환기(외기도입)를 동반한 열부하 $V[\text{W}/\text{h}]$ 는 별도로 취급하며, 재실자 $M[\text{인}]$ 은, 1인에 대하여 $30\text{ m}^2/\text{h}$ 로 하고 기기운전시간 $T[\text{h}]$ 를 대상으로 순차, 순간 정상(설계용 일평균 외기온 $\theta_{od}[^{\circ}\text{C}]$ 와 설계용 실온 $\theta_{is}[^{\circ}\text{C}]$ 에 의한) 산정이 가능하다.

$$V = 0.34 \times 30M(\theta_{od} - \theta_{is})T \quad (1)$$

- 3) 일사열을 받는 외표면의 온도상승을 더한 각 외벽으로부터의 유출입열 $H_{wa}[\text{W} \cdot \text{h}]$ (방위별 설계용 상당외기온도 $\theta_s[^{\circ}\text{C}]$ 와 설계용 실온에 의한 일적산값은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$H_{wa} = \Sigma A \times K(\theta_s - \theta_{is})24 \quad (2)$$

- 4) 각 창면을 경유하는 유출입열 $H_w[\text{W} \cdot \text{h}]$ 및 건물

틈새로부터의 자연환기량 v_n [m³/h]에 의한 유출입 열 H_v [W · h] (설계용 일평균 외기온도 θ_o [°C]와 설계용 실온에 의한)의 일적산값은 다음과 같다.

$$H_{wv} = \Sigma A \times K (\theta_o - \theta_{is}) 24 \quad (3)$$

$$H_v = 0.34 \times v_n (\theta_o - \theta_{is}) 24 \quad (4)$$

5) 실내취득열 H_i [W · h]는, 방위별 창면투과일사량 I 의 일적산값 [w · h] 및 조명 · OA기기발열과 인체발열 등 G [W]의 일적산값의 합계로 구할 수 있다.

$$H_i = \Sigma I \times \Sigma GT \quad (5)$$

실온유지에 필요한 일평균 냉방열량 \dot{H} [W]는, 상기의 항 3)~5)의 각 요소를 더한 열수지로부터 구할 수 있다.

$$H_{wa} + H_{wv} + H_v + H_i + \dot{H} \cdot 24 = 0 \quad (6)$$

외기부하를 제외한 설비용량 [W]는, 설비기기의 운전시간 T 에 의해서 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$\dot{H}_{max} = \dot{H} \cdot 24/T \quad (7)$$

여기서, A : 외벽 및 창 면적 [m²] K : 외벽 및 창의 열관류율 [W/(m² · °C)]이다.

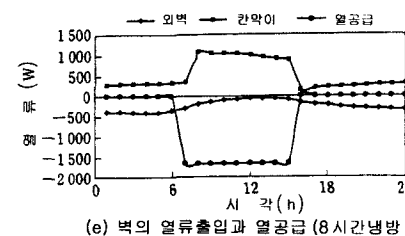
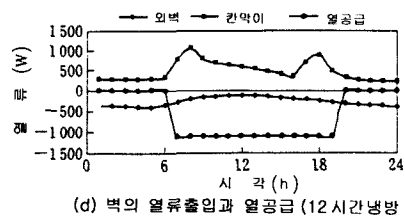
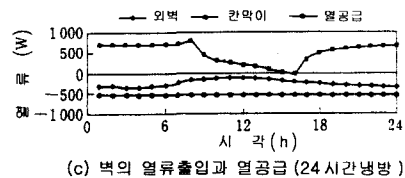
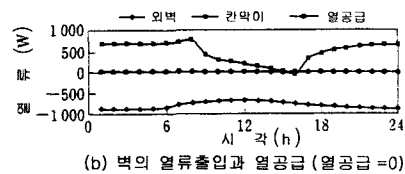
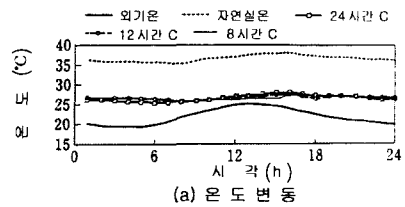
설계용 상당외기온도는 외벽에 대한 상당외기온도의 일평균값이며 조명 · OA기기발열과 급탕용 발열, 재실자의 인체발열에 의한 실내취득열은 평균발생열량에 기기사용시간 또는 재실시간을 곱한 일적산값으로 한다.

중요한 것은 시간이 경과함에 따라 변화하는 여러 종류의 열류출입도 주기적인 정상상태를 상정한 1일 총열유출입량의 적산값으로 산정하면 열부하가 비교적 근사치로 추정되며 나아가 작업이 상당히 간편하게 된다.

실온변동의 허용정도는 고단열건물의 실측결과로부터 주간 근무시간대의 $\pm 1^\circ\text{C}$ 로부터 크게 보아도 $\pm 2^\circ\text{C}$ 이내 일 것이다. 이 정도의 실온변동의 허용을 전제로 상술한 내용으로부터 구한 일적산 열량의 합계값을 1일 24시간의 기기운전으로 대응하는 것이 외단열 건물을 대상으로 한 열부하계산법의 요점이며, 저부하 건물의 설비계획을 위한 새로운 전개와 방법론이라 할 수 있다. 1일의 필요열량을 알 수 있다면, 1일 12시간의 기기운전을 할 경우 이에 대한

가동출력을 1일 24시간 운전출력의 2배로 하여 1일의 필요열량을 제공하고, 1일 8시간의 설비기기를 운전하고자 할 경우에는 가동출력을 1일 24시간 운전시 출력의 3배로 한다. 짧은 시간에 필요열량을 공급하고자 할 경우의 실온변동은 건물 열용량의 총합계로 한다. 이와 같은 개념은 그림 1의 난방의 경우와 그림 2의 냉방의 경우에도 같다.

고단열의 건물에서는 기기의 운전시간에 다소 차이가 있어도 실온변동의 추이에 커다란 차는 보이지 않는다. 이는, 일반 설비기술자 · 설계자에 있어서 1일



[그림 2] 고단열 사무공간의 실온변동 추이(냉방)



의 냉난방에 필요한 총열량의 일평균치, 운전시간, 설비기기용량과의 사이에 인과관계의 이해가 용이할 뿐만 아니라 나아가서는, 종전의 최대부하산정법이 갖고 있는 단점과 이의 해결에 도움이 될 것이다.

일적산값 혹은 평균값에 의한 열부하계산법

냉난방 부하계산법의 문제

일체식 콘크리트구조의 집합주택에 있어서 단열방법이 문제시되고 있으나, 단열의 목적이 건물의 결로 방지에 있기 때문에 적극적인 열환경 개선을 위한 계획은 어려울 것이다. 또한, 종래의 냉난방부하계산법에서는 외단열에 의한 설비용량과 연간 에너지소비량의 쇄감 효과를 명확히 제시할 수 없었기 때문이다. 즉, 외단열에서는 단열재의 외기측에 외장재를 부착시키므로 외벽공사비의 증가는 피할 수 없으나, 이에 대응한 설비공사비와 냉난방비의 저감효과는 언급하지 않았었다.

종래의 난방부하계산에서는 실내외 온도차가 크고 외기온 변동의 영향이 비교적 적으며, 추운 날에는 일사가 없는 것으로 가정하고, 이를 안전율에 포함시켜 보상계산한 것으로, 열류출입의 시간적 변화를 무시하고 난방시간대의 최저 외기온을 이용하여 정상계산을 행하였다. 그러나 실제로는 난방정지 중에 강하한 구조체 온도를 상승시키기 위한 축열부하와 열손실분을 난방개시 시각으로부터 공급하기 위해서는 커다란 예열부하가 된다. 따라서 이를 위한 열원장치의 능력에 어느 정도의 여유를 배려하고 있으나 실부하에는 축열을 포함시키지 않은 계산을 하고 있다. 최근에는 조명부하의 1/2 정도를 상정하는 경우도 있으나 일사열취득에 포함시켜 조명과 인체로부터의 방열을 무시하거나 건물의 단열성능을 향상시켜도 실내취득열을 상정하지 않을 뿐만 아니라 방위계수 등의 할증을 하고 있기 때문에 설비용량에 여유가 있는 경우가 많다.

열부하의 과대한 예측은 고단열화에 의한 환경개선과 에너지 절약에 직결된 냉난방 계획의 제안을 소홀히하여 설비투자가 큰 지역냉난방과 축열난방 설비에 대한 운영예측의 잘못을 갖고 올수 있다. 또한, 연속난방과 간헐난방의 구별없이 1~24시간의 TAC온도가 8~17시의 TAC온도보다 낮은 현재의 상황에서는 연속난방의 부하가 간헐난방의 값보다도 반대로 커지는 모순도 발생한다.

앞의 요점에서도 기술하였으나, 1일 필요열량의 평

균값을 이용하면, 정상계산에 의해 외단열건물의 열부하를 합리적으로 얻을 수 있다.

일적산값에 의한 최대실 부하의 계산법

식(6)에 나타 낸 것과 같이 1일의 실온유지에 필요한 열량은 대상건물외벽의 유출입열 일적산값에 실내취득열의 일적산값을 더하여 얻을 수 있다. 공조운전시간을 T시간이라 하면, 난방설비는 가장 추운 날 하루의 유출열량으로부터 실내취득열량을 뺀 열량을 운전시간 T로 나눈 능력이 값이 되며, 냉방설비에 있어서는 가장 더운 날의 유출입열의 적산값에 하루에 대한 취득열량을 더하여 운전시간 T로 나눈 능력이 최소한으로 필요하게 된다. 중요한 것은, 식(6), (7)의 내용이 일필요열량과 운전시간의 관계를 포함하면 난방, 냉방 관계없이 성립한다는 것이다(그림 3).

일본의 아라다니(荒谷 俊)는 오래 전부터 난방시간대의 평균부하를 이용하여 예열시의 최대부하를 추정하는 계산식을 다음과 같이 제안하고 있다.

$$\bar{H}_T = \frac{24\bar{H}}{T} = \frac{24}{T} \bar{H}_{24}P \quad (8)$$

$$\bar{H}_{T(max)} = n \frac{24}{T} q(\theta_{is} - \bar{\theta}_o - \Delta\bar{\theta}_o)P \quad (9)$$

여기서,

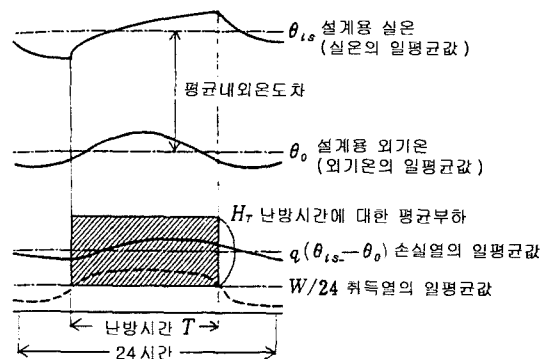
$\theta_{is}, \bar{\theta}_o, \Delta\bar{\theta}_o$: 설정실온, 평균외기온, 평균실온 온도차 [°C]

T: 난방시간 [h]

\bar{H} : 난방부하의 일평균값 [W]

\bar{H}_T : 시간 난방시의 난방시간 중의 평균부하 [W]

q: 단위시간 온도에 대한 열손실계수 [W/°C]



[그림 3] 실온변동과 난방부하 개념도

$$n = \frac{\bar{H}_{T(max)}}{\bar{H}_T} : \text{최대부하 변동계수}$$

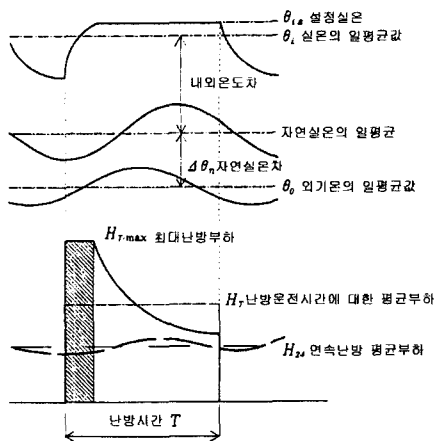
$$n = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_{24}} = \frac{(\bar{\theta}_{is} - \bar{\theta}_o - \Delta\theta_n)}{(\theta_{is} - \theta_o - \Delta\theta_n)} : \text{간헐난방보정계수}$$

그림 4와 식(9)에서는, 간헐난방과 연속난방의 차이를 명확히 하기 위하여 P와 n이라는 2개의 상반된 계수를 제안하고 있다. 또한, 실내취득열의 영향을 자연실온 차로 환산하여 내외 온도차로 빼는 방법을 취하고 있다. 여기서 자연실온 차는 건물의 열적 지표의 하나이나, 공조설비 기술자에게는 익숙하지 않다는 것을 감안하여 본 내용에서는 실내취득열에 의한 실용계산법을 제안하였다.

종전에는 “위험을 회피”를 위하여 많은 부분을 설비 측에 분담시켰다. 그러나, 본 고에서 제안한 실용계산법에서는 외단열을 적용함으로써 얻어지는 열용량의 증가로 실온의 변동완화를 기대하고 있다.

고단열 공법을 적용하면, 냉난방을 정지하여도 실온은 거의 변하지 않으며 난방에서는 P=1이라고 가정을 하여도 불합리한 경우는 일어나지 않는다. 이는, 상술한 아라디니가 제안한 P·n의 합을 1.0으로 간략화하여 취급하고 있는 것을 의미하며 식(7)과(9)의 내용은 일치한다.

종래의 외벽 관류열 계산은 여러 이유에서 비정상 전열에 의한 계산이 불가피하였으나 외단열 공법을 적용하면 정상계산으로 취급하여 간단히 할 수 있다. 그림 5는 서향의 벽면을 대상으로 일사흡수율을 0.8

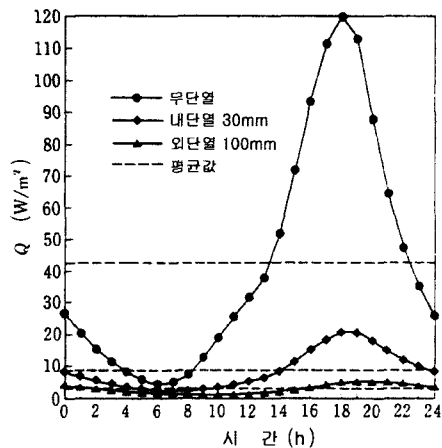


[그림 4] 아라디니식의 실온과 열부하 개념도

로 하고 실온을 일평균 외기온과 같은 일정한 값을 가정으로 하였을 경우에 실내로의 유입열의 변동을 나타낸 것이다. 단열재가 없는 120 mm의 콘크리트 벽체 유입열의 최대값이 가장 크며, 상당외기온의 피크로부터의 시간지연은 2시간 정도이나, 내단열 30 mm의 벽체일 경우 최대값은 급격히 감소하며 시간지연은 3시간 정도이다. 그러나, 외단열 100 mm 벽체일 경우에는 유입열의 진폭은 더욱 작아져 일평균치(정상전열)에 근접함과 동시에 시간지연은 4시간을 경과하고 있다. 남측벽면에 대해서는 5시간 이상의 지연을 보이고 있기 때문에 상당외기온도의 일평균값을 이용하여 열유입을 추정하는 정상전열 계산값은 냉방대상실의 최대부하의 예측값은 오히려 안전측에 작용한다.

또한, 창면투과일사와 조명의 단과장에 의한 열방사와 OA기기 및 인체의 장과장의 열방사성분을 포함하면, 실내취득열을 차지하는 방사취득열의 비율은 상당히 높다. 간단한 냉방계산에서는 창면투과일사와 조명용의 소비전력을 순시의 실내열 취득열로 가정하기도 하나 실제의 방사열은 실내공기를 직접적으로 상승시키는 것이 아니라 일단, 실내에 면한 벽표면에 흡수되어 벽표면 온도를 상승시킨 후에 대류열 성분으로서 실내공기에 전달되어 냉방부하가 된다.

그림 6은 서향의 창면투과일사가 바닥면에 흡수될 때, 실온을 일정으로 유지시킨 대상공간과 그 아래 층에 전달되는 열량을 나타낸 것이다(열류는 일사가 통과하는 창면적 1 m²으로 산출). 바닥 마감재의 열저항 값에 따라 상하층으로의 열류배분과 변동성상은



[그림 5] 서향 벽체 1 m²의 열관류율



다르나, 그림 6의 사례에서 실내로의 방열은 다음 날 까지 지속되고 있다. 이를 평균값+변동성분으로 취급하면 변동성분의 피크값 QA' 는 QA 에 비하여 현저하게 작아지며, 아래층으로의 방열은 평균치에 근접할 뿐만 아니라 피크의 지연도 크게 나타났다. 그러나, 실내 가구의 영향 및 재실자의 이동과 작업의 시각변동을 고려하면, 상술한 것과 같이 실내취득열의 비정상해석을 행하기에는 어렵다. 종래의 비정상계산법에서도 상당부분을 간략화한 가정의 계산 항목이 많으며, 일사 및 방사열이 직접적으로 실내공기에 흡수되어 순간정상으로 취급하는 예도 있다. 어느 경우나 건물의 열적인 성질에 대하여 설비기술자는 간과하기 쉬운 항목과 함께 최대부하의 과대평가를 초래하는 요인이 된다.

일반적으로 열용량이 상대적으로 크며 효율적으로 작용하는 외단열 건물에 대해서, 최대부하를 구할 때에는 외벽관류열의 동적인 처리는 불필요하며 설비기술자 및 설계자의 이해는 상당히 편하게 된다. 먼저 그림 1, 2는 상술한 조건에서의 수치해석 결과이다. 또한, 일적산값 혹은 평균값을 이용하면 난방과 냉방의 계산법은 통일되어 공조운전시간에 의한 장치용량의 차이도 명확하게 된다. 실측에 의하면, 예열시간 내에서 소정의 실온에 도달하는 경우는 드물다. 그 이유는, 실온이 이른 아침에서부터 저녁을 향하여 서서히 상승(하강)하는 경향이 있으며, 기동이 늦을 경우에는 예열(예냉)시간이 빨라지므로 아침시간대의 대응이 용이하게 된다.

단, 도입외기량이 많은 건물에서는 외벽의 관류열에 비하여 외기부하가 차지하는 비율이 상당히 증가한다. 그러나 이는 시간지연에 따른 실내부하가 아니라

순간정상으로서 예측 가능한 외기조화기의 부하로서 시각별 외기온도의 데이터를 이용하면 간단히 추정할 수 있다.

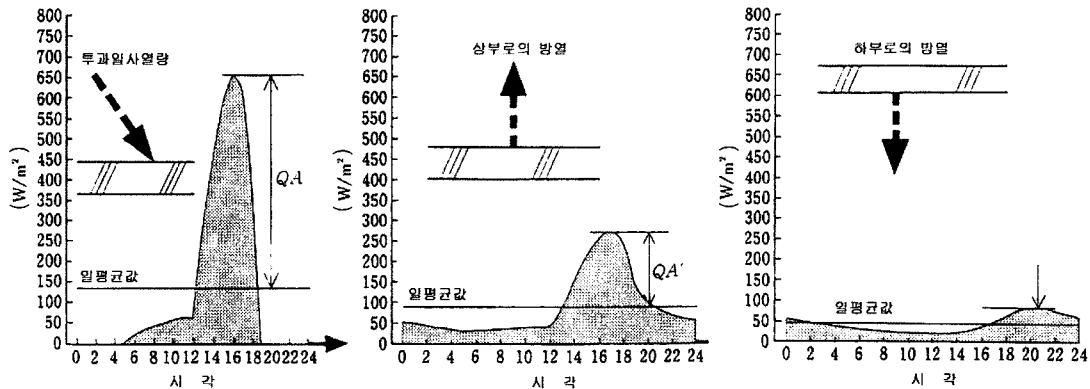
월평균값에 의한 연간 에너지소비량의 계산법

년간 에너지소비량의 계산법에는 전부하 상당시간에 의한 방법이 일반적으로 이용되나 단열방법과 설비기기의 특성 및 사용상황이 유사한 건물의 실측값이 없을 경우에는 신뢰성이 떨어져 외단열공법의 적용은 어렵게 된다. “에너지 사용 합리화에 관한 법률”에 의한 사무소 건물 등에서는 “년간 열부하 계수”와 “공조에너지 소비계수”가 정해져 있으며 일정 규모 이상의 건물에서는 이를 이용하여 평가토록 되어 있다.

그러나 이것들은 어디까지나 지켜야할 에너지 절약 기준으로서 장치용량과 연간 에너지소비량의 산정을 행하는 계획의 도구로서 이용하기에는 거리가 있다.

본 제안법에서는, 최대부하계산과 동일한 순서로 건물에 출입하는 열의 월별 적산값을 계산하고, 계산값의 열수지로부터 월별 에너지소비량을 산출한다. 외벽 및 지붕의 월적산 관류열은 월별평균 상당외기온과 설계실온과의 차에 열관류율×면적×월일수로 계산한다. 월적산 실내발생열은 최대부하에서 구한 일적산 실내발생열량에 월근무일수를 곱하여 계산한다. 창으로부터의 투과일사량은 표준 기상데이터를 이용하여 방위별·월별 데이터는 계산을 통하여 구한다.

난방용과 냉방용의 설계용 실온에 대하여 각각 월별로 열수지를 계산하고 난방용 실온으로서 난방이 필요한 월에는 난방월, 냉방용 실온으로서 냉방이 필요한 월에는 냉방월, 난방용 실온으로서 냉방 또는 난방이 필요한 경우에는 중간기로서 판단한다.



[그림 6] 바닥의 실사 열취득 실내도의 방열

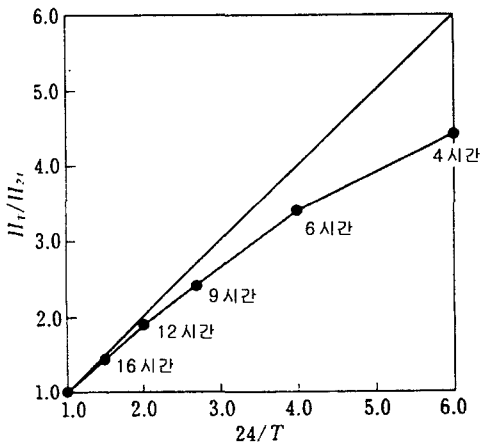
실무 계산용 외기온습도·방위별 일사량

기상관청으로부터 10년간의 데이터를 제공받아 설계용 외기온도, 절대습도, 방위별 상당온도, 방위별 창유리투과일사량 데이터를 작성한다.

난방설계용으로서 “추우면서 일사량이 적은 날”, 냉방설계용으로는 “더우면서 일사량이 많은 날”을 다음과 같은 순서로 선정하였다. 기간 냉난방 부하계산용으로는 1985년부터 1994년까지의 10년간을 월별 평균값을 계산하고 기초데이터로서 재편집하였다.

• 외기온습도

난방용은 1월1일부터 2월28일까지, 냉방용으로는 7월21일부터 8월20일까지의 매일의 전일평균기온,



[그림 7] 난방시간비율과 설비용량의 합증율

8~17시의 주간평균기온, 18~7시의 야간평균기온을 계산하여 낮은 순서로 정렬하여 초과율 2.5%의 값을 구하였다. 표 1은 샘플지역의 일평균값과 일반적으로 이용되는 동절기 4개월, 하절기 4개월에 있어서 8~17시의 TAC온도를 나타낸 것으로 양자의 값은 거의 일치하여 제안법을 사용할 경우에는 종래의 설계용 외기온과 습도를 사용하여도 무방하리라 사료된다.

• 일사량과 상당외기온

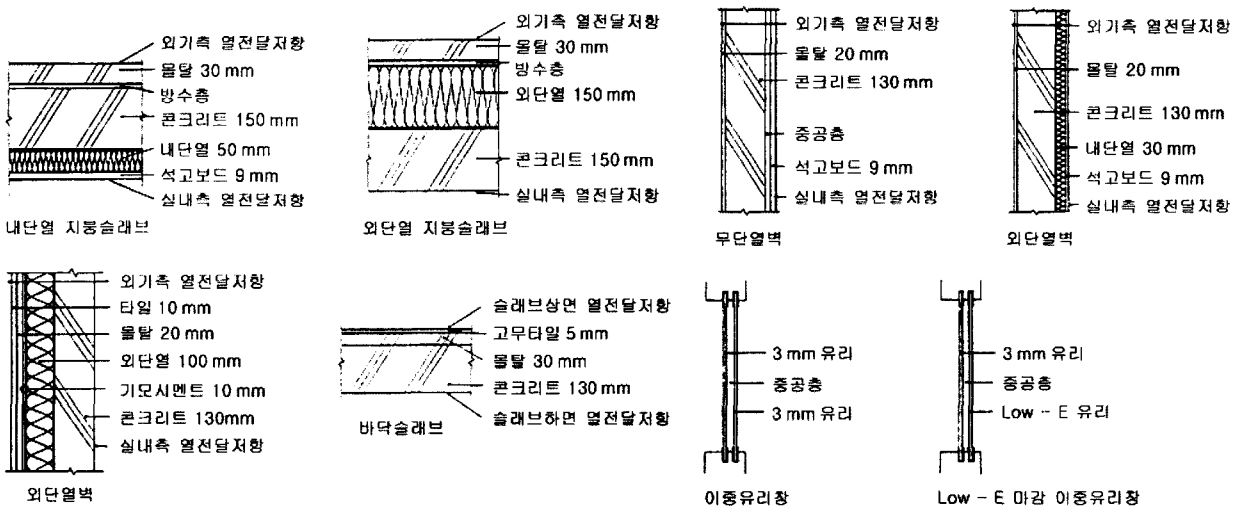
설계용 외기온을 구한 초과확률 5% 이내의 일에 대해서 수평면일사량이 많은 순서로 정렬하고, 난방용은 일사량의 하위 1/3의 평균값, 냉방용은 일사량의 상위 1/3의 평균값을 구하였다. 이 값에 3 mm 보통 투명창유리의 일사취득율을 곱하여 창유리 투과일사량으로 하였다. 또한, 외벽의 일사흡수율 0.8, 외기측 열전달율 $23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ 을 이용하여 상당외기온도차를 계산하고 설계용 외기온도에 더하여 일평균 상당외기온도를 구하였다.

계산법 이용상의 유의점

일적산값 혹은 평균값을 이용하여 계산하는 실무용

<표 1> 일평균값과 TAC온도

	난방설계용		냉방설계용	
	일평균	TAC온도	일평균	TAC온도
지역 A	-10.7	-10.8	24.4	24.3
지역 B	-9.3	-9.4	28.1	29.0
지역 C	-10.7	-9.3	23.0	23.2
지역 D	-8.5	-8.4	27.2	27.4



[그림 8] 외벽마감상세



외단열 건물의 열부하계산법

부하계산법은, 종래의 정상계산법에 비하여 극단적으로 열부하 값이 작아지지 않는다. 예를 들면, 본 계산법에 있어서 24/T는 연속난방에 대한 간헐난방의 비율을 표시한 것으로, 난방시간이 짧을 경우에는 값이 커지게 된다. 이 원인은 실온의 평균값을 설계용 실온으로 사용하고 있기 때문이며 실제로 난방시간(주간)의 평균실온이 설계용 실온에 도달하면 충분하다고 생각된다.

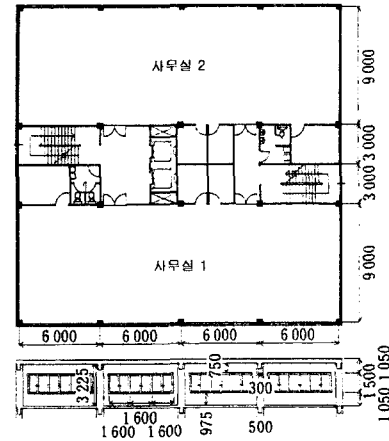
외단열 100 mm 두께의 사무소건물에 있어서 난방시간 중의 평균실온이 21℃가 되도록 시뮬레이션을 행한 결과를 근거로 24시간 일정공급열량에 대한 각각의 열량 비(H_T/H_{24})와 난방시간 길이의 비(24/T)의 관계를 그림 7에 나타 내었다.

난방시간이 짧으면 짧을수록, 일평균실온(설계용 실온)의 저하는 커지며, 간헐난방의 할증율(H_T/H_{24})은 (24/T)보다도 작아진다. 즉, 난방시간이 6시간보다 짧을 경우에는 간헐난방의 할증을 4배 이하로 제한하는 것이 중요하다.

계산시뮬레이션에 의한 검증

계산모델과 조건

건물의 설정조건을 표 2에 나타내었다. 무단열의 외벽, 내단열외벽과 외단열외벽의 마감, 내벽과 유리창

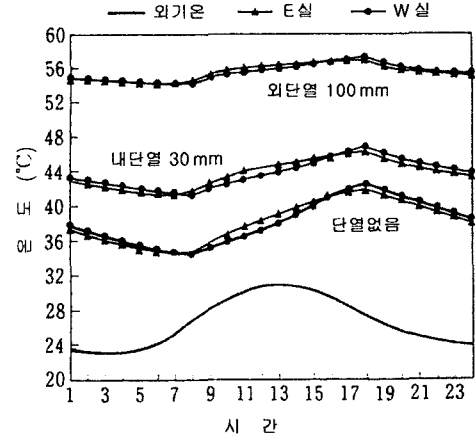


[그림 9] 계산 대상보의 평면도와 단면도

<표 2> 설정조건과 열손실계수

건물외상층	외벽 열관류율				외벽 열손실계수		
	면적 [W/(m ² ·℃)]	무단열 [W/(m ² ·℃)]	내단열 [W/(m ² ·℃)]	외단열 [W/(m ² ·℃)]	무단열 [W/℃]	내단열 [W/℃]	외단열 [W/℃]
지붕	576.00	2.63	0.55	0.22	1513.7	314.8	127.3
외벽(동)	57.60	2.63	0.86	0.31	151.4	49.6	18.1
외벽(남)	84.96	2.63	0.86	0.31	223.3	73.1	26.7
외벽(서)	57.60	2.63	0.86	0.31	151.4	49.6	18.1
외벽(북)	84.96	2.63	0.86	0.31	223.3	73.1	26.7
바닥	576.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0
창(동)	28.80	6.48	4.41	2.09	186.6	126.9	60.3
창(남)	1.44	6.48	4.41	2.09	9.3	6.3	3.0
창(서)	28.80	6.48	4.41	2.09	186.6	126.9	60.3
창(북)	1.44	6.48	4.41	2.09	9.3	6.3	3.0
틈새바람	용량[m ³]	비열	비열	비열			
	1900.80	0.33	0.33	0.33	61.9	61.9	61.9
총열손실계수 [W/℃]					2717	889	405
열손실계수 [W/(m ² ·℃)]					4.7	1.5	0.7

사무실 수 용인수	교통공간	20m ² /s
	서비스공간	20m ² /s
	업무공간	6m ² /s
사무실 조명	교통공간	5W/m ²
	서비스공간	5W/m ²
	업무공간	10W/m ²
사무실 OA기기	교통공간	5W/m ²
	서비스공간	5W/m ²
	업무공간	12W/m ²
근무시간	8-18시	10시간
	사무실 업무공간 면적	216m ²
	각층 서비스 공간과 교통공간	144m ²
	사무실의 칸막이 면적	78m ²
	층 고	3.60m
	천정고	3.25m
	자연환기	h



단열없음	외기온	E실	W실
8-18시 평균온도 [°C]	29.3	38.8	38.3
일평균온도 [°C]	26.5	38.1	38.1
일변동폭 [±°C]	3.9	3.6	4.0
내단열 30mm			
8-18시 평균온도 [°C]	29.3	44.4	44.0
일평균온도 [°C]	26.5	43.7	43.7
일변동폭 [±°C]	3.9	2.4	2.7
외단열 100mm			
8-18시 평균온도 [°C]	29.3	56.0	55.8
일평균온도 [°C]	26.5	55.4	55.4
일변동폭 [±°C]	3.9	1.3	1.5

[그림 10] 단열에 의한 하절기 자연실온 변동차



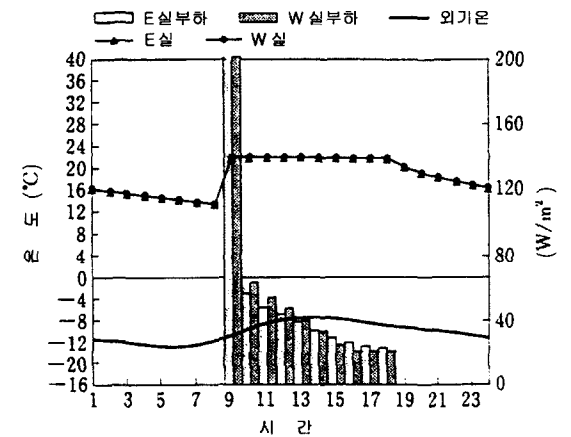
일반원고

의 상세마감 및 기준층의 평면과 단면을 그림 8, 9에 나타 내었다. 대상 건물은 중앙에 계단실·엘리베이터 홀(2개소)의 유틸리티 공간을 갖고 있으며, 축형태의 중앙코아형식의 철근콘크리트조 사무소건물로서, 외계의 영향을 강하게 받는 경우의 냉난방부하의 산정을 상정하여 최상층의 사무실을 수치해석의 대상 공간으로 하였다.

각층의 바닥면적은 576 m²이며, 창면적은 60.48 m², 지붕면적은 576 m²이다. 무단열건물에서는 실내측의 마감은 석고보드를 사용하였으며, 외단열 건물에서는 실내측에 콘크리트를 타설하고 외벽단열 100 mm, 지붕단열 150 mm로 하였다. 또한, 내단열건물에서는 실내측에 석고보드 마감, 외벽단열 30 mm, 지붕단열 50 mm로 하였다. 건물의 창은 무단열건물은 단일창, 내단열은 이중창, 외단열에서는 Low-E 페어유리창이다. 창유리의 유효면적율은 무단열·내단열·외단열 모두 85%로 하였으며, 유리창의 일사투과율은 각각 0.88, 0.80, 0.65로 하였다. 자연환기량은 0.1회/h로 가정하였으며 기타 상세 내용은 표 2와 같다.

자연실온의 변동

하절기의 자연실온 변동을 그림 10에 나타내었다. 무단열 건물에서는 일평균실온이 38℃, 일변동 폭은 ±3.6~4.0℃, 일평균 자연실온도차는 11.5℃이다. 내단열 건물에서는 일평균 실온이 44.5℃, 일변동폭은



[그림 11] 내단열 건물의 실온일정 난방

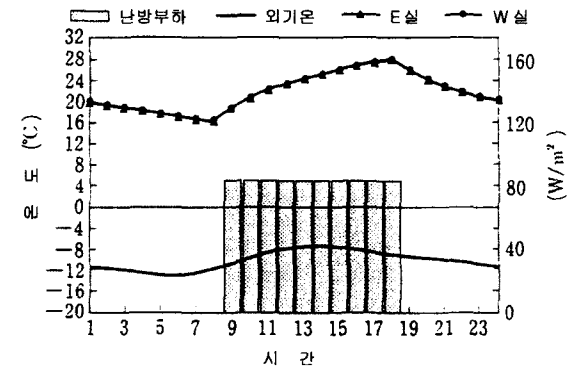
외벽 내단열 30 mm	외기온	E실	W실
8~18시 평균온도[℃]	-8.8	22.0	22.0
일평균온도 [℃]	-10.2	18.6	18.6
일변동폭 [±℃]	2.8	4.4	4.3

[그림 11] 내단열 건물의 실온일정 난방

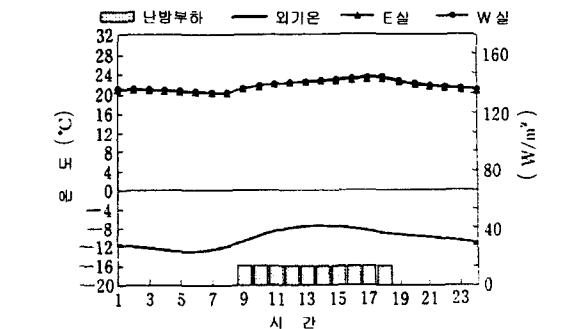
±2.4~2.7℃, 일평균 자연실온도차는 17.2℃이다. 외단열 건물에서는 일평균 실온이 56℃에 달하며, 일변동폭은 ±1.3~1.5℃, 일평균 자연실온 차는 28.9℃이다. 냉방이 불가결한 사무소건물에서 단열이 문제시 되는 것은 자연실온의 상승이다. 그러나 여기서는 고단열일수록 실온의 변동 폭이 작아지는 것에 주목할 필요가 있다. 그 이유는 자연실온의 일변동 폭이 작아질수록 24시간 일정냉방이 가능하기 때문이다.

간헐냉난방과 실온변동

1시간의 예열로 9~18시까지의 업무시간 내에 실온을 22℃로 일정하게 제어한 내단열 건물의 결과를 그림 11에 나타 내었다. 최대난방부하는 예열시간에 발



[그림 12] 내단열 건물의 부하일정 난방



[그림 13] 외단열건물의 부하일정 난방

외벽 외단열 100 mm	외기온	E실	W실
8~18시 평균온도[℃]	-8.8	22.0	22.4
일평균온도 [℃]	-10.2	21.6	21.8
일변동폭 [±℃]	2.8	1.6	1.7



생하였으며 바닥면적에 대하여 200 W/m^2 이상 이었다. 그림 12는 내단열건물, 그림 13은 외단열건물에 있어서 일평균실온이 22°C 가 되도록 8~18시까지 일 정량의 열을 공급하였을 경우의 결과를 나타낸 것이다. 내단열의 일변동 폭은 $\pm 6^\circ\text{C}$ 이나 외단열일 경우에는 $\pm 1.7^\circ\text{C}$ 정도였다.

그림 14는 외단열건물로서, 8~18시까지 업무시간 내에 부하량이 일정한 냉방을 행하였을 경우의 결과를 나타낸 것이다. 무단열의 경우에는 냉방부하가 바닥면적에 대하여 약 128 W/m^2 , 일변동폭은 $\pm 1.8\sim 2.6^\circ\text{C}$ 이다. 내단열에서는 냉방부하가 바닥면적에 대하여 70 W/m^2 , 일변동폭은 $\pm 0.9\sim 1.2^\circ\text{C}$ 이다. 외단열에서는 냉방부하가 바닥면적에 대하여 약 56 W/m^2 , 일변동폭은 $\pm 0.5\sim 0.4^\circ\text{C}$ 이다.

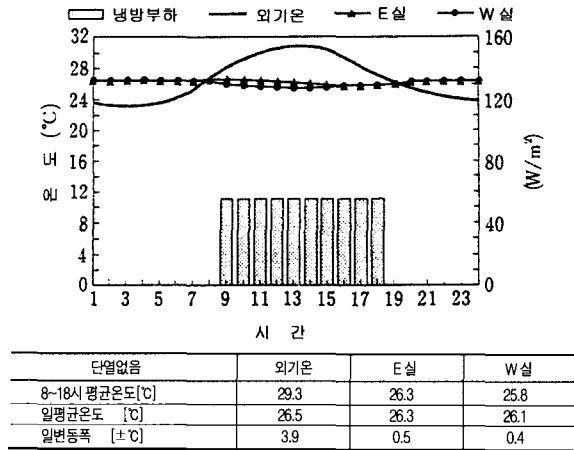
단열이 열악한 간헐 냉난방의 건물에서는 공조 정지 후의 실온 변동이 크고, 예열·예냉부하는 증가한다. 그러나 외단열 건물에서는 간헐운전이라 하여도 주야의 실온변동은 매우 작으며 실온변동을 허용한 저부하 냉난방이 가능하다. 허용범위에 따라서는 정상계산에서 구한 일적산 열량을 운전시간 로 빼면, 간단히 간헐냉난방 실내부하를 추정할 수 있다. 또한, 공조운전이 실내취득열이 큰 주간에 집중하기 때문에 주간의 실온은 일평균 실온보다 난방에서는 높은 경향이 냉방에서는 낮게 유지되며 실온 변동이 허용 가능한 범위를 크게 벗어나는 위험성은 극히 적어 실용적인 계산법임을 알 수 있다.

실무자의 과제와 금후의 전망

간헐 냉난방시의 실내기기와 열원기기의 용량결정

본 계산법은 50 mm 이상의 외단열을 채용하고, 건물 구조체에 유효한 열용량을 “어느 정도 보유하고 있다”라는 것을 전제로 하고 있다. 반복하면, 종래의 예열 할증은 운전시간에 따라 애매하게 취급하고 있기 때문에 연속난방에서는 용량이 과대하게 평가되며, 운전시간이 짧은 학교 등에서는 간헐난방용량이 과소하게 평가되는 경향이 있다.

기존의 방법에 의한 냉방시 열원기기용량은 운전시간 내에서 최대값을 구하기 위해서 방위별로 수시간에 걸쳐서 검토하였으나, 본 제안법은 일필요부하를 냉방운전시간으로 뺀 후에 용량을 간단히 산출토록 개선하였다. 그러나 실내기기 및 열원기기의 용량을 산출할 경우에는 다음의 내용을 주의하여야 한다.



[그림 14] 외단열건물의 부하일정 난방

• 열원의 용량

토·일요일(2일 정도의 연속휴일) 다음의 월요일 대응은 운전개시를 1시간 정도 일찍 시작한다. 극단적으로 짧은 운전(8시간 이하의 경우)일 경우에는 최소 8시간으로 기기의 운전을 결정하는 것이 경제적이다. 왜냐하면, 외단열으로서 8시간 이하의 짧은 시간의 운전을 행하면 기기가 과대하게 설계되어 고단열 건물의 열특성을 실내환경에 반영시킬 수 없기 때문이다.

• 실내기기의 용량

난방에 있어서 실내 취득열(조명·인체·일사량)의 산정이 불명확할 경우에는 안전을 고려한 다소의 가감과 토·일요일의 취급은 상술한 열원용량의 내용에 준하여 대응하면 된다. 냉방시 장치용량 산정에 있어서는 외벽(외창)의 열관류성분의 비율이 상대적으로 커지는 작은 공간의 실내기기 용량 결정과 페리메타 부하에 대해서는 기존의 최대부하계산에서 구한 수치를 인용하는 것도 무방하다. 그 이유는 제안법에서는 페리메타 존을 대상으로 한 설비시스템 용량산정 전용의 계산법이 아닌 점과 운전시간 평균열 공급에서는, 일사부하가 돌출하는 동서향의 작은 공간의 실온 변동이 과대하게 계산되는 경우도 있기 때문이다.

부분냉난방에 의한 비냉난방실의 계산

부분 냉난방에 의한 비냉난방실의 계산에 있어서 주의할 점은 다음과 같다.



- 집합주택의 계단실과 편복도에 있어서 세대측 내벽에 단열을 하고 있을 경우, 냉난방의 최대부하 및 기간부하의 산정은 모두 외부로 취급한다. 한편, 계단실과 편복도의 외벽을 외단열로 하였을 경우 난방시에는 난방실로 취급한다. 냉방시에 비냉방실을 상정할 경우, 최대부하 및 기간부하를 실내외 온도차의 10~20% 정도를 기준으로 칸막이 벽 경유의 유출입열을 산정한다.

- 외단열 건물의 창고, 서고 및 계단실은 비냉난방실로 할 경우가 많다. 이에 인접한 냉난방실의 최대 부하를 산출할 경우, 실내외온도차의 10~20% 정도를 기준으로 칸막이 벽 경유의 유출입열을 산정하거나, 냉난방실로 간주하여 계산하는 것이 바람직하다. 왜냐하면, 기간부하를 산출할 경우 냉난방실로 간주하면 계산이 간단할 뿐만 아니라 건물전체 또는 층별로 계산하는 것이 안전율의 측면으로 포함되기 때문이다.

기속사 등의 중복도는, 난방시에 비냉방실로 취급하면 난방실의 난방기기용량이 증가하는 경우가 있기 때문에 난방실로의 계산을 권장한다.

기간부하산출시의 냉난방주기의 교체시기

사무소 건물에서는 OA기기 및 PC 등으로부터의 발열량이 많고 상업시설 등에서는 조명 등에 의한 내부 발열이 증가하고 있다. 이들은 일반 건물보다도 냉방 부하가 크나, 난방부하는 작아지고 있다. 지금까지의 기간냉난방부하의 산출은 상당운전시간법으로, 난방 부하에 대해서는 디글리 데이법을 이용하고 있으나 실내취득열에 대한 계산을 엄밀히 취급한 예는 그다지 많지 않다. 본 제안법에서는 건물의 용도에 관계없이 어떠한 내부발열의 상황에서도 대응 가능토록 개선하였으며 자연실온 차에 의한 계산을 행할 필요없이 처리할 수 있도록 하였다.

단, 제안수법을 이용하여 기간냉난방부하를 구할 경우에는 냉난방이 혼재되어 있는 월을 구할 필요가 있다. 교체월의 상정은 내부발열의 다소를 감안하여 3~4월, 10~11월의 2개월 정도를 계산하고, 냉난방이 혼재되어 있는 월을 중간기로 한다. 교체월의 계산은 난방실온을 22℃, 냉방실온을 26℃로 월단위 계산을 행하고 혼재하는 월의 산정값은 중간기로서 생각하여 기간냉난방부하에 포함시키지 않는다.

외기냉방에 의한 에너지절약량은 각월의 주간 외기

온과 실온의 차에 의한 외기도입량을 곱하여 산출한다. 그러나 야간환기에 의한 에너지절약량은 각월의 야간외기온과 실온의 차에 야간 환기량을 곱하여도 실온이 경시적으로 변동하므로 단순히 산출할 수 없다. 그러므로 배기팬 운전의 실시간이 아니라 내외온도차가 안정된 2~3시간으로 한정된 환기시간을 기준으로 야간환기에 의한 에너지 절약량을 산정한다.

금후의 전망

외단열 건물에서는 고단열에 의한 저부하 뿐만 아니라, 지역의 자연에너지를 활용한 새로운 설비시스템의 구축을 목표로 한다. 이를 위해서는, 연속운전을 전제로 한 설비기기용량을 설계하여 단위시간에 대한 열부하를 가능한 작게 하여야 한다. 예를 들어, 35 W/m² 정도면 한랭지에서는 하절기의 서늘한 냉기를 이용한 연속냉방 설비시스템으로서 20℃ 정도의 바닥 냉방의 이용(지하수의 가스켓 이용과 냉각탑의 냉각수 직접이용)이 가능하다. 25 W/m² 정도일 경우에는 난방에서 창면투과 일사와 실내취득열이 재이용열로서 주된 난방열원이 된다.

일상적인 건물의 방위계획과 창 의 단열성능의 제언 뿐만 아니라 저부하 건물에 의해 가능해진 배열(저엔트로피열·재이용열)의 이용과 새로운 설비시스템의 구축을 설비설계자 자신이 제안하고 연속운전의 의의를 건축측면에서 알릴 필요가 있다.

결어로

본 기고의 주요 내용은 다음의 3가지로 요약할 수 있다.

- 외벽에 외단열을 채용하면 외벽의 열용량이 증가할 뿐만 아니라 두꺼운 단열이 가능하며 열교의 영향이 감소한다. 따라서, 건물전체의 열손실은 감소하여 바닥, 칸막이 벽, 기둥, 보, 가구 등 건물전체의 열용량이 상대적으로 증가한다. 결과적으로 창면투과일사 등의 실내취득열과 다소의 냉난방이 정지하여도 열부하의 정상부하계산이 가능하며 실온변동은 작아진다.
- 두꺼운 단열이 설치된 외단열 건물에서는 외벽 관류열의 비정상계산은 할 필요가 없으며 실온변동을 허용한 열부하산정이 가능하다. 그 결과, 난방과 냉방의 계산법이 통일되어 방위별의 상당외기온의 일평균값과 일평균실온(설계용 실온)과의



차에 의거한 정상계산 만으로 안전율을 고려한 최대냉난방 부하를 추정할 수 있다.

- 주기적 정상을 전제로 한 열부하 계산이나, 냉난방의 실온유지에 필요한 1일의 열량을 정확히 구할 수 있을 뿐만 아니라 간단한 정상계산이므로 일반의 건축설비기술자·설계자는 외단열 건물을 위한 열부하(열수지)의 경로를 쉽게 이해할 수 있으며, 새로운 설비시스템의 구축과 의장담당자를 포함한 실무자에 의한 건축환경계획의 참가가 가능할 것이다.

참고문헌

- 1) 實用レベルの外断熱建物の熱負荷計算法：空気が調和・登衛生工學會 北海島支部・設備技術研究會刊行(2000-8)
- 2) 荒谷 箆・繪内 正道：間けつ暖房の經濟性について, 日本建築學會大會學術講演概要集(1970-9), pp151,152
- 3) 荒谷 箆・鈴木 憲三：熱環境解析入門, 北海島大學圖書刊行會(1993)
- 4) 石野 久彌：シミュレーション技術の過去・現在・未來, 日本建築學會環境工學委員會, 第29回熱シンポジウム(1999-11), pp95~102.
- 5) T.Sadeghian, N.Aratani, M.Enai : A Simplified Cooling Load Calculation Method and Air Conditioning System for Well-Insulated Buildings, PLEA 1997 (KUSHIRO) (1997-1), pp.51-56