

## 열응답계수를 이용한 TFM 부하계산법의 제안

### Development of a TFM load calculation program based on thermal response factor

최 우 영<sup>\*</sup>, 고 철 균<sup>\*\*</sup>, 이 제 현<sup>\*\*\*</sup>, 류 해 성<sup>\*\*\*\*</sup>  
 W. Y. Choi, C. K. Ko, Jae-Heon Lee, H. S. Ryu

**Key words:** Transfer function method(전달함수법), Load calculation(부하계산), Thermal response factor(열응답계수)

#### ABSTRACT

A load calculation program based on TFM(Transfer function method) has been proposed in this study. The validity of the current method has been verified by comparing heat gain calculation by TRF(Thermal response factor) with that by CTF(Conduction transfer function) adopted in ASHRAE. In addition, it seems that the CTF coefficients given in ASHRAE tables have somewhat ambiguity. The load calculation program developed in the current study has been employed to calculate cooling load from the exterior walls and roof of example 6 in the ASHRAE. The results are found in good agreement.

#### 기 호 설 명

$A$  : 면적 [ $m^2$ ]  
 $T_{\theta-j,e}$  : j시간전의 상당외기온도 [ $^{\circ}C$ ]  
 $T_r$  : 실내 설계온도 [ $^{\circ}C$ ]  
 $T_e$  : 상당외기온도 [ $^{\circ}C$ ]  
 $U_a$  : 실제벽체의 열관류율 [ $W/(m \cdot K)$ ]  
 $U_t$  : CTF계수산정에 사용된 벽체의 열관류율 [ $W/(m \cdot K)$ ]

$U_r$  :  $=U_a/U_t$  [-]  
 $b, c$  : CTF 계수 [ $W/(m^2K)$ ]  
 $d$  : CTF 계수 [-]  
 $H$  : 열유속 [ $W/m^2$ ]  
 $X, Z$  : 흡열응답계수 [ $W/(m^2K)$ ]  
 $Y$  : 관류응답계수 [ $W/(m^2K)$ ]  
 $q$  : 열취득 [W]  
 $q'$  : 냉방부하 [W]  
 $v_{0,w}, v_{1,w}, w_1$  : RTF 계수

\* (주)대우엔지니어링  
 \*\* 한양대학교 대학원  
 \*\*\* 정회원, 한양대학교 공과대학  
 \*\*\*\* 정회원, (주)장한기술

#### 하첨자

w : 벽체  
 $\theta$  : 현재시각

1. 서론

전달함수법(Transfer Function Method, TFM)에서 외벽을 통한 냉방부하(cooling load)를 계산하기 위해서는 우선적으로 외벽의 동적 열취득(transient heat gain)을 계산하여야 한다. 이를 위하여 ASHRAE<sup>(1)</sup>에서 제공하는 표를 이용하여 열취득을 계산할 경우, 벽체선택에 제한이 따르게 되므로 부하계산의 전산화에는 어려움이 따른다.

따라서 본 연구에서는 ASHRAE Table 사용시의 문제점을 구체적으로 지적함과 동시에 임의 벽체의 동적 열취득을 정확히 계산할 수 있는 열응답계수(Thermal Response Factor, TRF)를 이용한 TFM 부하계산법을 제안하고자 한다.

2. ASHRAE Table 사용시의 문제점

2.1 ASHRAE Table에 의한 동적열취득 계산법

ASHRAE에서는 시간  $\theta$  때의 동적 열취득( $q_{\theta,w}$ )을 계산하기 위해 CTF(Conduction Transfer Function)계수를 이용하며, 열취득은 아래의 식(1)을 통해 구해진다. 식에서 우변 첫째 항은 외부에서 벽체를 통해 실내로 유입된 열량이며 둘째 항은 실내에서 벽체를 통해 외부로 유출된 열량을 의미한다. 그리고 셋째 항은 축열효과를 나타낸다.

$$q_{\theta,w} = A_w U_r \left[ \sum_{j=0}^{\infty} b_j T_{\theta-j,e} - T_r \sum_{j=0}^{\infty} c_j \right] - \sum_{j=1}^{\infty} d_j q_{\theta-j,w} \quad (1)$$

벽체의 실제 열관류율과 CTF계수 산정에 이용된 벽체의 열관류율비인  $U_r$ 의 값이 1인 벽체에 대해 정상상태에서 식(1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U_t A_w (T_e - T_r) = A_w \left( T_e \sum_{j=0}^{\infty} b_j - T_r \sum_{j=0}^{\infty} c_j \right) - U_t A_w (T_e - T_r) \sum_{j=1}^{\infty} d_j \quad (2)$$

여기서  $T_e$ 는 정상상태의 상당외기온도로서 일정한 값이다.

한편 CTF계수는 벽체의 물성치에만 관련되므로 상당외기온도  $T_e$ 와 실내온도  $T_r$ 에 무관한 값이어야 한다. 따라서 식(2)로부터  $T_e$ 와  $T_r$ 에 대해 항등식을 적용하면  $U_t$ ,  $b_j$ ,  $c_j$  및  $d_j$ 사이에는 다음관계가 성립한다.<sup>(2)</sup>

$$U_t = \frac{\sum_{j=0}^{\infty} b_j}{1 + \sum_{j=1}^{\infty} d_j} = \frac{\sum_{j=0}^{\infty} c_j}{1 + \sum_{j=1}^{\infty} d_j} \quad (3)$$

식(3)으로부터  $b_j$ 와  $c_j$ 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\sum_{j=0}^{\infty} b_j = \sum_{j=0}^{\infty} c_j \quad (4)$$

상기 식(3)과 (4)는 CTF계수간의 충분조건으로서 특정 벽체에 관한 CTF계수의 정확성 검토 도구로 이용될 수 있다.

2.2 CTF계수 선정의 한계

ASHRAE에는 41개 외벽에 대해  $\sum_{j=0}^{\infty} c_j$  와  $U_t$  값과 아울러  $b_j$ 와  $d_j$ 에 관한  $j=0\sim6$ 까지의 7개 계수값이 제시되어 있다. 본 연구에서는 이를 근거로 하여 각 외벽에 대하여 식(3)과 (4)의 충분조건을 검토한 후 오차 크기에 따라 여섯 Set로 구분하여 Table 1에 나타내었다. Set 6의 Wall group 34를 제외한 모든 벽체가 2% 오차이내에서 식(3)을 만족하였다. Set 1~3은 3% 오차이내에서 식(4)를 만족하였으며 Set 4와 5는 식(4)에 대해 각각 13%, 25% 정도의 오차를 보였다. 그러나 Set 6의 Wall group 34는 식(3)과 (4)에서 모두 큰 오차를 보이고 있다.

식(3)과 (4)를 만족하지 않는 Set 6의 Wall Group 34에서는  $b_j$ 나  $c_j$ 의 선정이 잘못된 것으로 판단되며 이 계수를 이용한 열취득 계산에는 오류가 있을 것으로 사료된다. 식(3)은 만족하나 식(4)에서 오차가 큰 Set 3, 4 그리고 5의 벽체들은 열용량이 큰 벽체들로서 축열효과를 나타내는  $d_j$ 의 유효항수를 7개만 고려하는 것이 부족한 것으

Table 1 Checking of sufficient condition of Eqs. (3) and (4) with seventh summation, [%]

Set	ASHRAE Wall Group	$U_t - \frac{\sum_{j=0}^6 b_j}{1 + \sum_{j=1}^6 d_j}$ $U_t$	$\frac{\sum_{j=0}^6 b_j - \sum_{j=0}^{\infty} c_j}{\sum_{j=0}^6 b_j}$
1	1~22,28 24~26,33	$\approx \pm 0.1$	$\approx \pm 0.01$
2	23,27, 29,36	$\approx \pm 1$	$\approx \pm 0.1$
3	30~32	$\approx 3$	$\approx -0.5$
4	39~41	$\approx 13$	$\approx \pm 1.5$
5	35,37,38	$\approx 25$	$\approx \pm 2$
6	34	$\approx 82.5$	$\approx -469$

로 판단된다. 즉 음의 값을 가지는 제8항을 고려하지 않았기 때문에 식(1)에서의 열취득이 실제보다 작게 산정될 것으로 사료된다.

2.3 벽체선택의 한계

ASHRAE에는 41개의 외벽과 42개의 지붕에 대한 CTF계수가 표로 주어져 있으며, 그 외의 벽체에 대해서는 실제 벽체와 가장 유사한 벽체의 CTF계수를 선정한 후 열관류율비  $U_r$ (식(1)참조)을 이용하여 열취득을 계산한다. 따라서 표에 나열되지 않은 벽체의 경우 정확한 열취득을 산정하기는 어려울 것으로 사료된다.

3. 열응답계수에 의한 열취득

부하계산의 전산화를 위해서는 임의의 벽체로부터의 열취득을 구할 수 있는 방법이 필요하다. 따라서 벽체의 선택에 제한이 따르는 ASHRAE Table참조법보다는 벽체의 물성치, 즉 열전도율, 밀도, 비열 그리고 두께만으로 열취득을 계산할 수 있는 열응답계수법의 사용이 부하계산의 전산화에 더욱 적합할 것으로 판단된다.

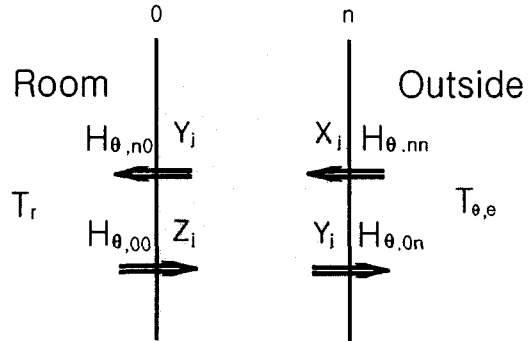


Fig. 1 Thermal response factors and heat flux of wall.

3.1 열응답계수법

열응답계수법은 열전달해석방법의 하나이며, 임의의 시점에서 어떤 물체에 단위온도파 여진 (unit thermal excitation)이 작용할 때 그 반응으로 나타나는 열유속을 열응답계수<sup>(3)</sup>로부터 계산하는 방법이다. 이 방법은 HASP/ACLD<sup>(4)</sup> (Heating, Air-Conditioning and Sanitary Program/Air Conditioning Load calculation)에서 채택하고 있는 방법이기도 하다.

실내와 실외사이의 벽체에 대한 열응답계수와 열유속 흐름을 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서  $Z_j$ 와  $X_j$ 는 각각 실내와 실외측표면 흡열응답계수 그리고  $Y_j$ 는 관류응답계수를 나타낸다. 또한 열유속  $H$ 의 첫 번째 하첨자  $\theta$ 는 시간, 두 번째 하첨자의 첫 번째 숫자는 열유속의 원천이 되는 표면번호 그리고 둘째 숫자는 열유속이 위치한 표면번호를 나타낸다. 여기서 표면번호 0은 실내측 벽 표면, n은 실외측 벽표면을 뜻한다.

실내설계온도  $T_r$ 를 0°C로 가정하고 시간에 따른 상당외기온도가  $T_{\theta,e}$ 일 때, 실외측 흡열응답계수  $X_j$ 를 이용하여 실외측에서 벽체로 유입되는 열유속  $H_{\theta,nn}$ 을 나타내고, 관류응답계수  $Y_j$ 를 이용하여 벽체를 통과하여 실내로 유입되는 열유속  $H_{\theta,n0}$ 을 나타내면 각각 다음과 같다.

$$H_{\theta,nn} = \sum_{j=0}^{\infty} X_j T_{\theta-j,e} \tag{5}$$

$$H_{\theta,n0} = \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_{\theta-j,e} \tag{6}$$

한편 상당외기온도  $T_{\theta,e}$ 를 0℃로 가정하고 실내설계온도가  $T_r$ 일 때, 실내측 흡열응답계수  $Z_j$ 를 이용하여 실내측에서 벽체로 유입되는 열유속  $H_{\theta,00}$ 를 나타내고, 관류응답계수  $Y_j$ 를 이용하여 벽체를 통과하여 실외로 유출되는 열유속  $H_{\theta,0n}$ 를 나타내면 각각 다음과 같다.

$$H_{\theta,00} = \sum_{j=0}^{\infty} Z_j T_r \quad (7)$$

$$H_{\theta,0n} = \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_r \quad (8)$$

한편 Fig. 1에서 실내측 벽면의 열평형을 고려하면 면적  $A_w$ 를 통과하여 실내로 유입되는 열량  $q_{\theta,w}$ 는 다음과식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} q_{\theta,w} &= A_w (H_{\theta,00} - H_{\theta,0n}) \\ &= A_w \left( \sum_{j=0}^{\infty} Z_j T_r - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j T_r \right) \quad (9) \end{aligned}$$

임의의 벽체에 대한 응답계수  $X_j$ ,  $Y_j$  및  $Z_j$ 를 구하는 방법은 참고문헌<sup>(3)</sup>에 자세히 나타나 있다.

### 3.2 타당성 검토

ASHRAE Table참조법과 열응답계수법으로부터의 동적열취득을 비교하기 위하여, ASHRAE에 제시된 41개의 외벽에 대해 북위 40° 미국 동부의 7월 21일 수평면 상당외기온도와 냉방실 내설계온도 26℃에서의 열취득을 계산하였다.

#### 3.2.1 24시간 동안의 총열취득

24시간 동안의 총열취득을 6개 Set로 정리하여 Table 2에 나타내었다. 표에서 ASHRAE Table과 열응답계수를 이용하여 구한 24시간 동안의 총열취득을 각각 CTFgain24와 TRFgain24로 나타내었으며, 오차  $\epsilon_1$ 은 다음과 같이 정의한다.

$$\epsilon_1 = \frac{CTFgain24 - TRFgain24}{CTFgain24} \quad (10)$$

Set A에 속한 벽체들의 CTFgain24와 TRFgain24는 ±1% 오차이내로 거의 일치하였으며, Set B, C, D, E 그리고 F로 갈수록 오차가

Table 2 Differences of heat gain during 24 hours by ASHRAE table and thermal response factor, [%]

Set	ASHRAE Wall Group	$\epsilon_1$ (%)
A	1~3, 5~22, 24~26, 28, 33, 36	$\approx \pm 1$
B	23, 27, 29~32, 41	$\approx \pm 8$
C	35, 37, 39, 40	$\approx -30$
D	38	$\approx -60$
E	34	$\approx 131$
F	4	$\approx -164$

8~164%로 증가하였다. 오차의 원인을 파악하기 위해서는 각 Set에 속하는 벽체의 시간별 열취득에 대한 검토가 요구된다

#### 3.2.2 시간별 열취득

이후 논의의 편의를 위하여 ASHRAE Table과 응답계수를 이용하여 구한 시간별 열취득을 각각 CTFgain과 TRFgain으로 나타내기로 한다.

Set A에 속하는 벽체들을 대표하여 Wall group 5의 시간별 열취득을 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 CTFgain과 TRFgain이 시간별로 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

Set B, C, 그리고 D에 속한 벽체들 중 CTFgain24와 TRFgain24의 오차가 가장 큰 Set D의 Wall group 38에 대한 시간별 열취득을 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 보면 CTFgain과 TRFgain의 시간적 변동경향은 유사하나 전체적으로 CTFgain이 작게 나타나 있다. 이는 2.2절에서 추정했던 바와같이 식(1)의 CTF계수  $b_j$ 와  $d_j$

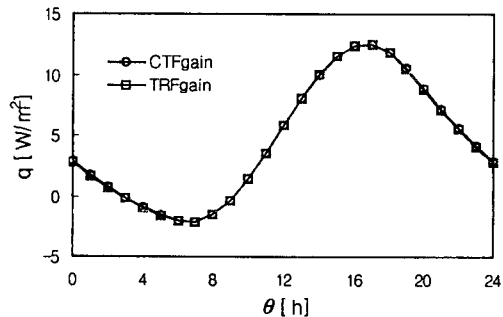


Fig. 2 Heat gain from wall group 5 of Set A.

의 산정시 제8항을 고려하지 않았기 때문에 사료된다. 따라서 식(3)과 (4)의 조건에 근거하여 제 8항  $b_7$ 을 0.000007로, 그리고  $d_7$ 을 -0.000848로 추가하여 재산정한 열취득을 Fig. 3에 AddCTFgain으로 나타내었으며, 그 결과가 TRFgain과 정량적으로 거의 일치하는 것을 알

Table 3 Additional CTF coefficients  $b_7$  and  $d_7$  of walls in Set B and C

Set	Wall Group	$b_7$	$d_7$
B	23	0	-0.000087
	27	0.000006	-0.000020
	29	0.000002	-0.000044
	30	0.000001	-0.000185
	31	0.000004	-0.000264
	32	0.000015	-0.000078
C	41	0	-0.000155
	35	0.000010	-0.000308
	37	0	-0.000878
	39	0.000006	-0.000240
	40	0.000010	-0.000229

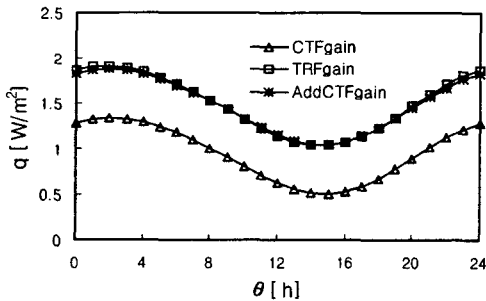


Fig. 3 Heat gain from wall group 38 of Set D.

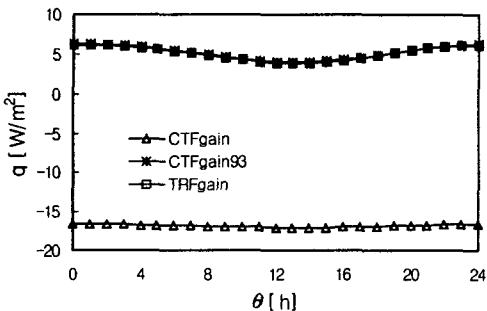


Fig. 4 Heat gain from wall group 34 of Set E.

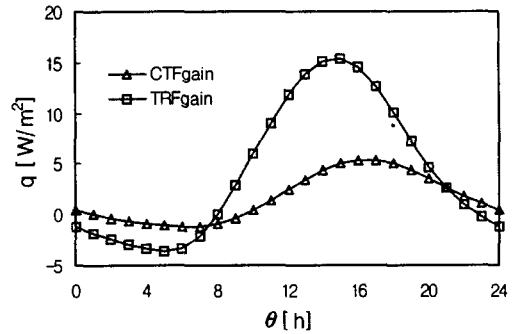


Fig. 5 Heat gain from wall group 4 of Set F.

수 있다. 또한 나머지 Set B와 C에 속하는 벽체들도 Table 3에 나타낸 제 8항  $b_7$ 와  $d_7$ 을 추가한 결과 CTFgain과 TRFgain이 잘 일치함을 확인할 수 있었다. 따라서 Set B, C 그리고 D에 속하는 벽체들에서 나타난 24시간 동안의 총열취득의 계산오차는  $b_7$ 와  $d_7$ 의 유효항수를 부족하게 선정했기 때문임을 확인할 수 있었다.

이상과 같이 ASHRAE Table에 제시된 벽체의 대부분에 대하여 본 연구에서 제안한 방법에 의한 열취득량 산정값이 CTF방법에서의 산정값과 거의 일치하므로 본 연구에서 제안한 열응답계수법의 타당함을 확인할 수 있다.

Set E의 Wall group 34에 대한 시간별 열취득량을 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 CTFgain93은 “ASHRAE 1993 Fundamentals” 자료를 이용하여 ASHRAE Table참조법으로 구한 열취득을 나타낸다. 그림에서 보면 CTFgain이 24시간 동안 음의 열취득을 가지므로 정성적으로 타당하지 못함을 알 수 있다. 그러나 CTFgain93은 TRFgain과 거의 일치하므로 1997년판 ASHRAE 개정작업에서 오류가 있었던 것으로 사료된다.

Set F의 Wall group 4에 대한 시간별 열취득량을 Fig. 5에 나타내었다. 이 벽체의 CTF계수는 식(3)과 (4)의 충분조건을 만족하고 있으나 CTFgain과 TRFgain이 정성적으로 다르게 나타난다. 이는 Wall group 4를 구성하는 재료의 물성치로부터 계산한 실제 열관류율(=0.71 W/(m²K))과 ASHRAE에 표기된 열관류율(=0.266 W/(m²K))이 다른 것으로 보아 벽체의 특성에 맞는 CTF 계수가 선정되지 않았기 때문으로 사료된다.

4. 벽체 냉방부하 산정치 비교

본 연구에서 제안한 열응답계수를 이용한 TFM 부하계산법의 타당성 검토를 위하여 CTF를 이용한 TFM 부하계산결과가 수록되어 있는 ASHRAE<sup>(1)</sup> 예제 6의 외벽과 지붕을 비교대상으로 선정하였다.

4.1 냉방부하 산정법

TFM 부하계산법에서 벽체를 통한 열취득은 RTF(Room Transfer Function)<sup>(2)</sup>를 이용하여 냉방부하로 변환된다. RTF는 외벽의 RTF계수( $v_{0,w}$ ,  $v_{1,w}$  그리고  $w_1$ )를 이용하여 현재시간의 열취득과 이전 시간의 냉방부하와의 조합으로 표시되며,  $\theta$ 시의 외벽으로부터의 열취득( $q_{\theta,w}$ )에 대한 냉방부하( $q'_{\theta,w}$ )는 다음과 같이 기술된다.

$$q'_{\theta,w} = v_{0,w}q_{\theta,w} + v_{1,w}q_{\theta-1,w} - w_1q'_{\theta-1,w} \quad (11)$$

여기서  $v_{0,w}$ ,  $v_{1,w}$  및  $w_1$ 은 바닥 면적당 벽체중량과 실내공기의 순환율에 따라 결정되며, 몇가지 경우에 대한 RTF 계수값이 ASHRAE에 제시되어 있다.

4.2 비교대상 모델

ASHRAE<sup>(1)</sup>에서 예제로 제시한 건물모델인 북위 40°의 미국 동부에 위치한 가로 25 m, 세로 15 m 그리고 층고 3 m인 단층 건물의 벽체평면을 Fig. 6에 나타내었다. 모델 건물의 세 외벽과

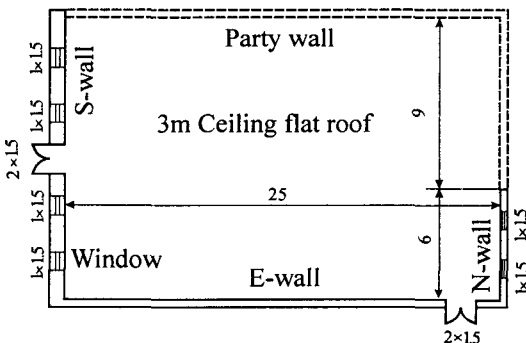


Fig. 6 Model building for comparison, [m].

Table 4 Materials for walls and roof in the ASHRAE<sup>(1)</sup> example

Component	Area (m <sup>2</sup> )	Materials (mm)
roof	375	steel siding(2)+low density concrete(100)+insulation(51)+felt(10)+slag(12)
S-wall	36	face brick(100)+common brick(200)+ plaster(16)+plywood(6)
N-&E-wall	15 & 72	heavy concrete block(200)+plaster(16)

지붕을 구성하는 재료는 Table 4에 나타내었으며, 실내냉방 설계온도는 24°C이다.

4.3 계산결과 비교

4.3.1 벽체의 열취득

지붕과 남측, 북측 그리고 동측 벽을 통한 열취득을 각각 Fig. 7, 8, 9 그리고 10에 나타내었다. 이 벽체들은 ASHRAE Table에서 지정되지 않는 벽체들이므로 각 벽체의 CTFgain은 유사 벽체들(지붕은 Roof group 5, 남측 벽은 Wall group 24 그리고 북측과 동측 벽은 Wall group 5)의 CTF계수와  $U_r$ 값을 이용하여 계산된 값이다.

지붕의 CTFgain과 TRFgain이 Fig. 7에 보이는 바와같이 거의 일치하는 것으로 보아 실제 지붕에 대한 유사벽체선정이 잘 되었음을 알 수 있다.

남측벽에서는 Fig. 8에 보이는 바와같이 CTFgain이 TRFgain보다 작게 나타난다. Fig. 9

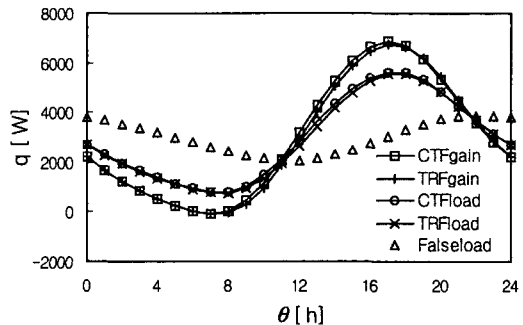


Fig. 7 Heat gain and cooling load from the roof.

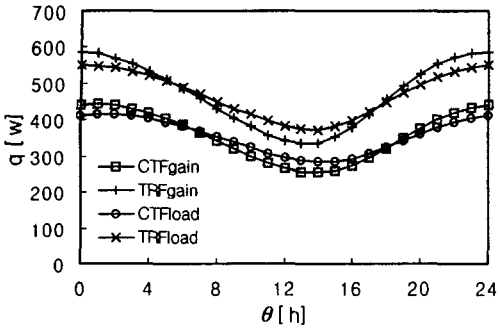


Fig. 8 Heat gain and cooling load from the S-wall.

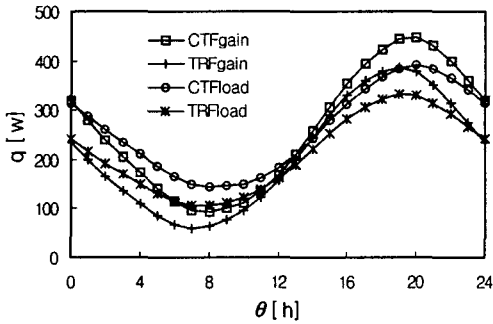


Fig. 9 Heat gain and cooling load from the N-wall.

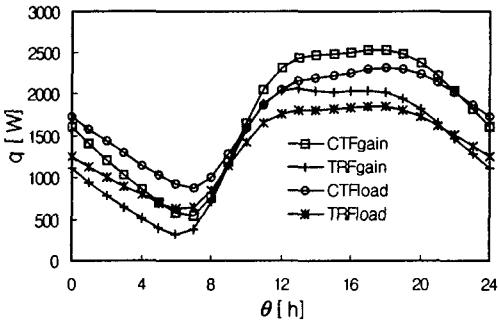


Fig. 10 Heat gain and cooling load from the E-wall.

와 Fig. 10에서보면 북측 벽과 동측 벽의 CTFgain은 TRFgain보다 크게 나타나 있다. 각 외벽에 대한 유사벽체는 Table 2의 Set A에 속하는 벽체로서 열취득 계산의 정확성이 이미 확인되었다. 그러므로 이들 그림에서 CTFgain과 TRFgain이 차이를 보이는 것은 실제 벽체에 적

합한 유사벽체가 선정되지 못했기 때문으로 사료된다.

CTFgain과 TRFgain의 정량적인 비교를 위하여 각 벽체의 24시간 동안의 총열취득을 Table 5에 나타내었다. 표에서 CTFgain과 TRFgain의 24시간의 합을 각각 CTFgain24와 TRFgain24로 나타내었으며 오차  $\epsilon_2$ 는 다음과 같이 정의한다.

$$\epsilon_2 = \frac{CTFgain24 - TRFgain24}{TRFgain24} \quad (12)$$

표에서 보면 CTFgain24는 TRFgain24보다 지붕에서 2.3% 크게, 남측 벽에서 24.2% 작게, 북측 벽에서 22.3% 크게, 그리고 동측 벽에서 27.6% 크게 산정되었다. 그리고 4개 벽체에서의 총열취득의 합은 7.6%의 오차를 보였다. 이로부터 유사벽체를 이용하여 ASHRAE Table에 없는 벽체의 열취득을 산정할 경우  $\pm 30\%$  정도의 오차가 발생할 수 있음을 알 수 있었다.

#### 4.3.2 벽체의 냉방부하

지붕, 남측 벽, 북측 벽 그리고 동측 벽에 대한 시간별 냉방부하 계산결과를 Fig 7, 8, 9 그리고 10에 함께 나타내었다. 그림에서 CTFgain과 TRFgain으로부터의 냉방부하를 각각 CTFLoad와 TRFLoad로 나타내었다. Fig. 7의 Falseload는 ASHRAE에서 잘못 산정한 지붕의 냉방부하를 나타낸다. 외벽을 통한 시간별 냉방부하는 약간의 시간지연(time delay)을 가지면서 시간별 열취득 분포와 거의 유사한 경향을 보이는 것이 일반적이다. 그러나 Fig. 7에서 Falseload는 CTFgain과 완전히 다른 경향을 보이고 있다. 이러한 불일치는 지붕의 냉방부하가 식(11)를 만족시키지 않기 때문으로 사료된다. 예를들어 식(11)을 이용

Table 5 Heat gain during 24 hours of each component, [W/m<sup>2</sup>]

Component	CTFgain24	TRFgain24	$\epsilon_2$ (%)
roof	71750	70131	2.3
S-wall	8482	11192	-24.2
N-wall	6203	5073	22.3
E-wall	41754	32727	27.6
total	128189	119123	7.6

Table 6 Cooling load during 24 hours of each component, [W/m<sup>2</sup>]

Component	CTFload24	TRFload24	$\epsilon_3$ (%)
roof	71751	70133	2.3
S-wall	8482	11193	-24.2
N-wall	6203	5072	22.3
E-wall	41734	32729	27.5
total	128170	119127	7.6

하여 산정된 04시의 지붕을 통한 냉방부하  $q'_{4,w}$ 는 식(13)과 같이 2973 W로 산정되어 Fig. 7 Falseload에서의 3185 W와는 차이가 있음을 알 수 있다.

$$q'_{4,w} = v_{0,w}q_{4,w} + v_{1,w}q_{3,w} - w_1q'_{3,w} = 2973 \quad (13)$$

상기계산에서 사용된 지붕의 RTF계수로는  $v_{0,w}$ 가 0.681,  $v_{1,w}$ 가 -0.611 그리고  $w_1$ 이 -0.93이다. 그리고  $q_{3,w}$ 와  $q_{4,w}$ 는 각각 Fig. 7의 CTFgain으로부터 각각 836 W, 524 W가 사용되었으며  $q'_{3,w}$ 는 Fig. 7의 Falseload로부터 3362 W가 사용되었다.

이러한 냉방부하 산정의 오류는 나머지 세 의 벽에서도 확인되었다. 이로 인해 본 연구에서는 각 벽체의 CTFgain으로부터 냉방부하 CTFload를 직접 산정하였으며 Fig. 7~10의 CTFload는 이와 같이하여 산정된 값이다. 각 그림에서 알 수 있듯이 CTFload와 TRFload의 차이는 CTFgain과 TRFgain의 차이와 거의 유사함을 알 수 있다.

CTFload와 TRFload의 정량적인 비교를 위하여 각 벽체의 24시간 동안의 총냉방부하량을 Table 6에 나타내었다. 표에서 CTFload와 TRFload의 24시간의 합을 각각 CTFload24와 TRFload24로 나타내었으며 오차  $\epsilon_3$ 은 다음과 같이 정의한다.

$$\epsilon_3 = \frac{CTFload24 - TRFload24}{TRFload24} \quad (14)$$

24시간 동안의 총열취득의 오차  $\epsilon_2$ 와 총냉방부하량의 오차  $\epsilon_3$ 이 거의 동일하게 나타난 것으

로 보아 냉방부하산정에서 발생한 오차는 열취득계산에서 발생한 오차에 기인된 것으로 판단된다. 그러므로 열취득량으로부터 냉방부하 산정하는 과정에 대해서는 본 연구의 방법이 ASHRAE 방법을 정확히 따르고 있음을 입증할 수 있다.

### 5. 결론

본 연구에서는 ASHRAE Table 사용에 의한 TFM 부하계산시의 문제점을 제시하고, 열응답계수를 이용한 TFM 부하계산 프로그램을 제안하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) ASHRAE Wall group 38을 포함한 13개 벽체는 CTF계수의 유효항수를 7항에서 8항으로 증가시켰을 때 더욱 정확한 열취득을 계산할 수 있다.

(2) ASHRAE 1997 Fundamentals에서는 Wall group 4와 34의 경우, CTF계수가 잘못 표기되었음을 확인하였으며, Wall group 34에 대해서는 ASHRAE 1993 Fundamentals에 표기된 값이 정확하다.

(3) 유사벽체를 이용하여 ASHRAE Table에 없는 벽체의 열취득을 산정할 경우 최대  $\pm 30\%$  정도의 오차가 발생할 수 있을 것이다.

(4) 본 연구에서 제안한 프로그램으로써 ASHRAE Table에 제시된 벽체의 대부분에 대한 열취득량을 산정한 결과 그 값이 ASHRAE에서 산정한 값과 일치하였다.

### 후 기

이 연구의 일부는 한국과학재단 지정 터보동력 기계연구센터의 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

- ASHRAE Handbook 1997 Fundamentals, Chap. 28.
- Davies. Mo, 1996, A time-domain estimation of wall conduction transfer function coefficients, ASHRAE Transactions, Vol. 102, No. 1.
- 宇田川 光弘, 김성완, 금종수 편저, 1993, PC를 이용한 공기조화계산법, 기문당, pp.197-219.
- 松尾陽, 1985, HASP/ACLD/85의 해설, 일본건축설비사협회.