

# 應答係數法을 이용한 온돌바닥구조체의 熱解析 方法에 관한 研究

## The Thermal Analysis Method of Hydronic Floor Panel Heating System by Response Factor Method

안 병 옥  
B. W. Ahn  
충청전문대학 건축설비과



• 1958년생

### 1. 서 론

온돌은 복사난방 방식의 일종으로 쾌적한 실내환경을 조성할 뿐 아니라 에너지 절약적인 난방방식으로 잘 알려져 있으며, 현재에도 우리의 주거용 건물에 널리 이용되고 있다. 외국에서도 복사난방공간의 열적 우수성을 인정하고 있어 온돌난방시스템의 보급이 점차 확대되고 있는 추세이다.

그러나, 전통적으로 온돌을 주거용 난방수단으로 이용하여 온 우리의 실정에 비하면, 온돌의 열성능 향상이나 효과적인 시스템 개발, 시공기술의 개선 등 온돌에 관한 우리의 기술 수준은 아직도 초보적인 단계에 머물러 있다고 할 수 있으며, 최근의 인력난, 자재구득난 등을 감안할 때 온돌에 관한 신기술 축적은 대단히 시급한 실정이다.

현시대에 적합한 온돌난방 시스템을 구축하기 위하여서는 다양한 시스템의 개발도 중요하지만 그 열적 특성을 분석·평가할 수 있는 이론해석기법의 개발이 선행되어야 한다.

온돌난방 시스템에 있어서 바닥면으로 부터의 방열량은 바닥 구조체의 특성, 배관재의 종류, 피치 및 길이, 난방공간의 형태, 외벽 구조체의

열성능, 벽표면 복사율 등에 따라서 달라지며, 바닥구조체의 축열성능과 난방시스템의 운전방식(간헐난방, 연속난방) 등에 따라서는 커다란 차이가 있기 때문에 이와같은 제요인을 종합적으로 해석할 수 있는 유용한 방법이 요구되고 있다.

온돌바닥구조체의 열적특성을 해석하는 방법으로는 여러가지를 고려할 수 있지만, 응답계수법은 바닥구조체와 난방공간을 구성하고 있는 구조체를 동시에 해석할 수 있는 유용한 방법이다.

본 연구에서는 응답계수법을 이용하여 온수온돌난방공간의 열적특성을 평가할 수 있는 비정상 해석기법의 개발을 목적으로 하였으며, 개발된 프로그램을 이용하여 바닥구조체의 구성과 난방시스템의 운전방식에 따른 열환경을 분석 평가하였다.

### 2. 해석방법 정립

#### 2.1 응답계수에 의한 열류계산

응답계수를 이용하면 그림 1에 표시한 열류는 다음 식으로 나타낼 수 있다.\*<sup>12)</sup>

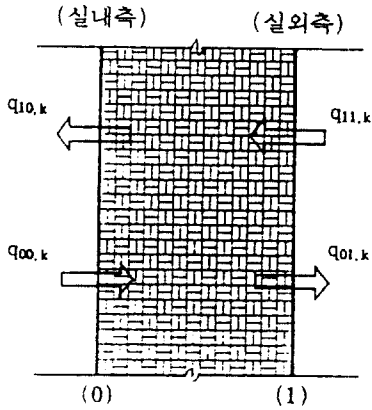


그림 1 應答係數에 의한 熱流計算

$$q_{11, \kappa} = \sum_{j=0}^{\infty} X_j t_{a(1)\kappa-j} \dots\dots\dots (1)$$

$$q_{10, \kappa} = \sum_{j=0}^{\infty} Y_j t_{a(1)\kappa-j} \dots\dots\dots (2)$$

$$q_{00, \kappa} = \sum_{j=0}^{\infty} Z_j t_{a(0)\kappa-j} \dots\dots\dots (3)$$

$$q_{01, \kappa} = \sum_{j=0}^{\infty} Y_j t_{a(0)\kappa-j} \dots\dots\dots (4)$$

실내측 및 실외측 표면에서의 열류  $q_{0\kappa}$ ,  $q_{1\kappa}$ 는 실외에서 실내로 흐르는 열류를 正(+)으로 하여 각각 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} q_{0\kappa} &= q_{01, \kappa} - q_{00, \kappa} \\ &= \sum_{j=0}^{\infty} Y_j t_{a(1)\kappa-j} - \sum_{j=0}^{\infty} Z_j t_{a(0)\kappa-j} \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{1\kappa} &= q_{11, \kappa} - q_{01, \kappa} \\ &= \sum_{j=0}^{\infty} X_j t_{a(1)\kappa-j} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j t_{a(0)\kappa-j} \dots\dots\dots (6) \end{aligned}$$

식 (1)~(6)은 실내측을 (0)으로 하여 열취득

(또는 열손실)을 나타낸 것이지만, 무한히 적분하는 것은 불가능하므로 50항 정도까지 계산하기도 하며\*3), 연산시간을 절약하기 위해서는 응답계수의 변화를 등비수열로 고려한 공통비 C를 이용하기도 한다. 공통비 C를 이용하여 각 표면에서의 열류를 표현하면 각각 다음 식과 같다.\*2)

$$\begin{aligned} q_{0\kappa} &= \sum_{j=0}^N Y_j M_j t_{a(1)\kappa-j} + C \cdot q_{10, \kappa-1} - \sum_{j=0}^N Z_j M_j t_{a(0)\kappa-j} \\ &\quad - C \cdot q_{00, \kappa-1} = \sum_{j=0}^N Y_j M_j t_{a(1)\kappa-j} - \sum_{j=0}^N Z_j M_j t_{a(0)\kappa-j} \\ &\quad - C \cdot q_{0\kappa-1} \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{1\kappa} &= \sum_{j=0}^N X_j M_j t_{a(1)\kappa-j} - \sum_{j=0}^N Y_j M_j t_{a(0)\kappa-j} \\ &\quad - C \cdot q_{1\kappa-1} \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

2.2 바닥구조체의 열류해석

그림 2와 같은 바닥구조체에서 상부, 하부로의 열류를 응답계수법에 의하여 나타내면 다음 식과 같다.

(상부방출 열류)

$$q_{up(\kappa)\rho} = \sum_{j=0}^{\infty} X_{1j} t_{m(\kappa-j)} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_{1j} t_{c(\kappa-j)} \dots\dots\dots (9)$$

(하부방출 열류)

$$q_{dn(\kappa)\rho} = \sum_{j=0}^{\infty} X_{2j} t_{m(\kappa-j)} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_{2j} t_{c(\kappa-j)} \dots\dots\dots (10)$$

(온수공급 열류)

$$q_{w(\kappa)} = q_{up(\kappa)} + q_{dn(\kappa)} \dots\dots\dots (11)$$

식 (9)와 식 (10)에서  $t_m$ 은 발열면 평균온도이며, 공급온수온도와 열량과의 관계는 다음식과 같다.\*2)

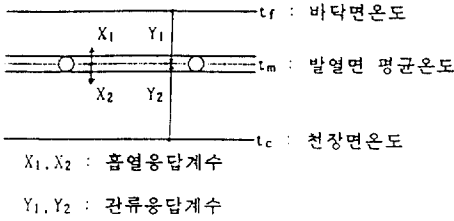


그림 2 바닥구조체로 부터의 열류

$$q_w = \frac{\epsilon_{px} \cdot (C_w \cdot G_w)}{A_f} (t_{wi} - t_m) \dots\dots\dots (12)$$

$$\epsilon_{px} = \frac{\epsilon_{px}}{1 + (\epsilon_{px} \cdot C_w \cdot G_w / A \cdot C_f)(1/\eta_p - 1)} \dots\dots\dots (13)$$

$$\epsilon_{px} = 1 - \exp\left(-\frac{K_p \cdot A_f}{C_w \cdot G_w}\right) \dots\dots\dots (14)$$

$$C_f = 1/R_m + 1/R_{m+1} \dots\dots\dots (15)$$

$$\eta_p = D/h + (h-D) \cdot \tanh Z/Z \dots\dots\dots (16)$$

$$Z = 1/2 \cdot (h-D) \cdot (C_f/(\lambda \cdot D))^{1/2} \dots\dots\dots (17)$$

$$1/K_p = (A_f/L) \cdot (1/\pi D \alpha_w + R_b) \dots\dots\dots (18)$$

$$R_b = t/(\lambda \pi D) \dots\dots\dots (19)$$

$$L = A_f/h \dots\dots\dots (20)$$

2.3 온돌난방공간의 열평형

그림 3과 같이 n면으로 구성된 폐공간에 있어서 면i의 표면에서의 열평형을 고려하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_n + q_a + q_{ii} = 0 \dots\dots\dots (21)$$

여기서,  $q_n, q_a, q_{ii}$ : 각각 복사, 대류, 관류에 의한 열류[kcal/m<sup>2</sup>h]

복사에 의한 열류는 실내상호복사를 고려하여 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.\*4)

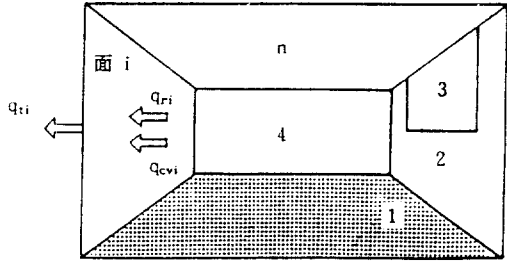


그림 3 난방공간의 열平衡

$$q_{ri} = \epsilon_j \cdot \sigma \cdot T_i^4 - \epsilon_i \cdot \sigma \sum_{j=1}^n B_{ij} \cdot T_j^4 \dots\dots\dots (22)$$

이를 각각의 면에 대하여 고려하고 Matrix로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} q_{r1} \\ q_{r2} \\ q_{r3} \\ \vdots \\ q_{rn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1-B_{11} & -B_{12} & -B_{13} & \dots & -B_{1n} \\ -B_{21} & 1-B_{22} & -B_{23} & \dots & -B_{2n} \\ -B_{31} & -B_{32} & 1-B_{33} & \dots & -B_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -B_{n1} & -B_{n2} & -B_{n3} & \dots & 1-B_{nn} \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_1^4 \\ \epsilon_2 \cdot \sigma \cdot T_2^4 \\ \epsilon_3 \cdot \sigma \cdot T_3^4 \\ \vdots \\ \epsilon_n \cdot \sigma \cdot T_n^4 \end{bmatrix} = [M] \{T\} \dots\dots\dots (23)$$

또, 대류에 의한 열류  $q_a$ 는 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_w = a(t_a - t_R)^b \text{ [kcal/m}^2\text{h]} \dots\dots\dots (24)$$

위 식에서 a와 b는 조건에 따라서 달라지는 계수이며, 본 연구에서 적용한 바닥면, 천장면, 벽면의 a와 b값은 표 1과 같다.\*5)

표 1 대류열전달용 계수

부 위	a	b
바 닥	2.14	1.242
천 장	2.04	1.267
벽 체	1.79	1.255

실내측 표면에서의 대류열류  $q_{ci}$ 와 관류열류  $q_{ci}$ 를 식 (21)에 대입하여 Matrix로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} q_{r1} \\ q_{r2} \\ q_{r3} \\ \vdots \\ q_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_1(t_R - t_1)^{b1} - q_r + q_{con} - q_R \\ a_2(t_R - t_2)^{b2} - \sum_{j=0}^N ZM_j^{(2)} t_{2(k-j)} \\ + \sum_{j=0}^N YM_j^{(2)} t_{2(0)(k-j)} + C_2 q_2 (k-1) \\ a_3(t_R - t_3)^{b3} - \sum_{j=0}^N ZM_j^{(3)} t_{3(k-j)} \\ + \sum_{j=0}^N YM_j^{(3)} t_{3(0)(k-j)} + C_3 q_2 (k-1) \\ \vdots \\ a_n(t_R - t_n)^{bn} - \sum_{j=0}^N ZM_j^{(n)} t_{n(k-j)} \\ + \sum_{j=0}^N YM_j^{(n)} t_{n(0)(k-j)} + C_n q_n (k-1) \end{bmatrix} = \{Z\} \dots\dots\dots (25)$$

식 (25)에서  $q_r$ 는 바닥면으로 부터의 열류,  $q_{con}$ 은 틈새바람량에 의한 손실열량,  $q_R$ 는 유리창을 통한 투과일사열량을 나타낸다.

식 (23)과 식 (25)로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$[M] \cdot [I] = [Z] \dots\dots\dots (26)$$

$$[I] = [M]^{-1} [Z] \dots\dots\dots (27)$$

2.4 프로그램 작성

온돌난방은 熱輻射에 의하여 약 62%, 熱對流에 의하여 약 38% 정도가 방열되는 저온 복사난방 방식으로 방열면이 넓게 분포되어 있는 것이 특징이다. 그러므로, 온돌난방공간에서는 공간을 구성하고 있는 실내 각 벽체의 상호간 뿐만이 아니라 在室하고 있는 人體에 대해서도 열복사의 영향이 크기 때문에 실내 열환경을 해석하고자 할 경우에는 이에 대한 충분한 고려가 필요하다.

본 연구에서는 앞에서 기술한 바와 같이 열복사의 영향을 충분히 반영할 수 있도록 실내 각 벽면 간의 相互輻射를 고려하고, 방열량 및 난방부하, 각 내표면 온도, 바닥면 온도, 發熱面 溫度 등을 동시에 해석할 수 있도록 프로그램을 작성하였다.

그림 4는 본 연구에서 작성한 熱環境解析 프로그램의 흐름도를 나타낸다.

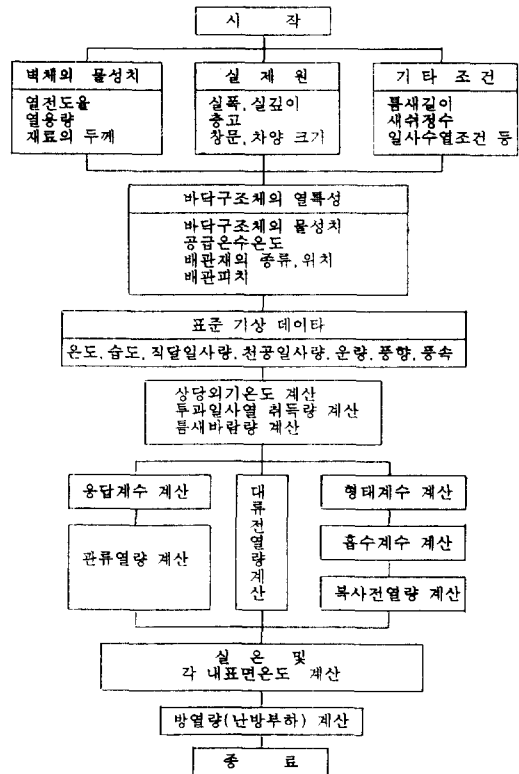


그림 4 열환경 해석프로그램의 흐름도

### 3. 실험실측 및 비교분석

#### 3.1 실험실측 방법

본 연구에서 작성한 열해석 방법의 유효성을 검증하기 위하여 그림 5와 같은 모델실을 이용하여 실험·실측하고 검증하였다. 모델실은 실내에 설치하여 외부변수를 가급적 줄일 수 있도록 고려하였다. 표 2는 측정항목 및 방법을 나타내며, 그림 6은 바닥구조체의 상세 및 온도 측정점을 나타낸다. 그림 중 p모델은 자갈을, m모델은 시멘트모탈을 각각 축열재로 이용한 것이다.

실험은 溫水供給溫度를 각각 40°C, 50°C, 60°C로 유지하고, 연속운전과 간헐운전 두가지 경우에 대하여 실시하였다. 연속운전 스케줄은 24시간 가열, 24시간 냉각으로 하였으며, 간헐 운전 스케줄은 3시간 가열, 5시간 냉각을 3회 반복하였다.

#### 3.2 결과 분석 및 고찰

응답계수법에 의한 열해석 방법의 타당성을 검토하기 위하여 계산결과와 실험결과를 비교·검토하였다.

그림 7은 溫水供給溫度 60°C일 때 連續暖房時 바닥표면온도와 실온을 비교하여 나타낸 것이다. 온수공급시에는 m-모델이 p-모델에 비하여 바닥 표면온도와 실온이 약간씩 높게 나타났지만, 온수공급 중단 후에는 반대로 m-모델이 약간 낮은 온도분포를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 그림

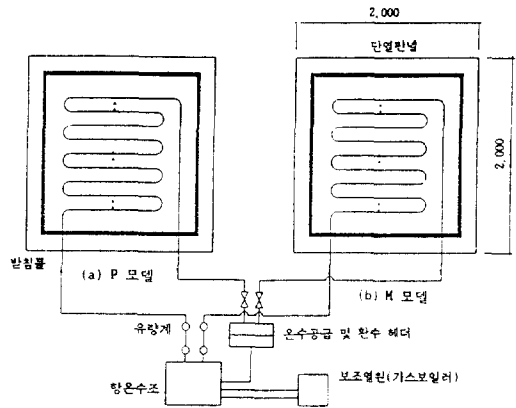


그림 5 모델실험실 평면도

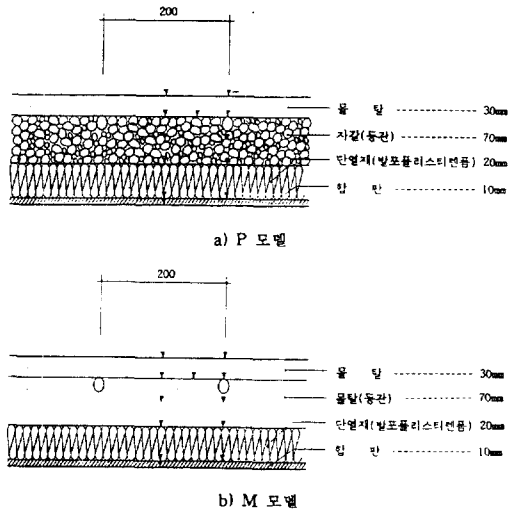


그림 6 바닥단면상세 및 측정점

표 2 측정항목 및 방법

측 정 항 목	측정점수	측정기기 및 기록
실내기온	2	
내벽표면온도	12	· 온도센서-CC Thermocouple
외벽표면온도	12	· 기록-Data Logger(YODAC 85S)
바닥표면온도	12	
바닥구조체 내부온도	16	
바닥구조체 하부표면온도	2	
외부기온	4	
온수온도(공급, 환수)	4	
공급유량	2	· F-450 Flowmeter(적산유량계)

8은 溫水供給溫度 60°C일 때 間歇暖房時 바닥 표면온도와 실온을 비교하여 나타낸 것으로 連續暖房時와 유사한 경향을 보이고 있다.

그림 9~그림 11은 각각 溫水供給溫度 40°C, 50°C, 60°C일때 間歇난방의 실험결과와 계산결과를 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 각 경우 모두 부분적으로는 약간의 차이를 나타내고 있지만, 전체적으로 실험치와 계산치가 비교적 잘 일치하고 있는 것을 알 수 있다.

그림 11의 온수온도 60°C일 때를 보면 바닥 표면온도와 실내온도의 계산결과는 실험결과 보다 각각 평균 0.07°C, 0.17°C 높게 나타난 반면, 내벽 표면온도는 평균 0.5°C 낮게 나타났다. 특히,

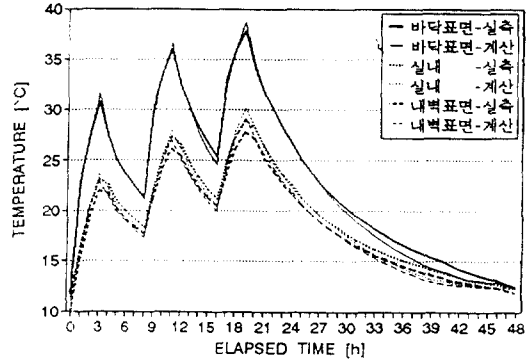


그림 9 실험결과와 계산결과 비교(溫水供給溫度 60°C)

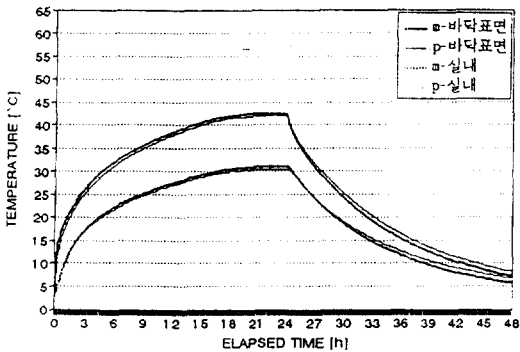


그림 7 連續暖房時 바닥온도와 室溫 分布(溫水供給溫度 60°C)

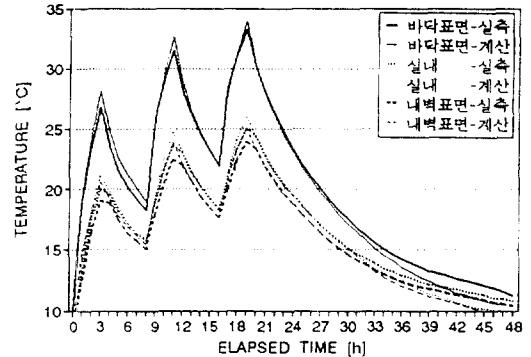


그림 10 실험결과와 계산결과 비교(溫水供給溫度 50°C)

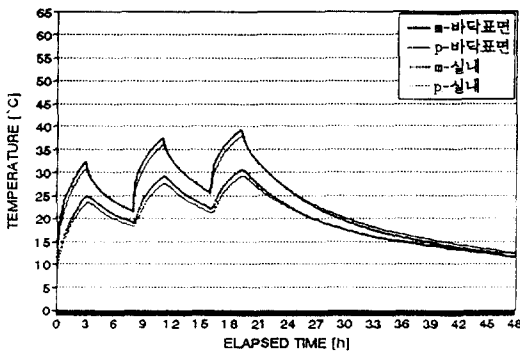


그림 8 間歇暖房時 바닥온도와 실온분포(溫水供給溫度 60°C)

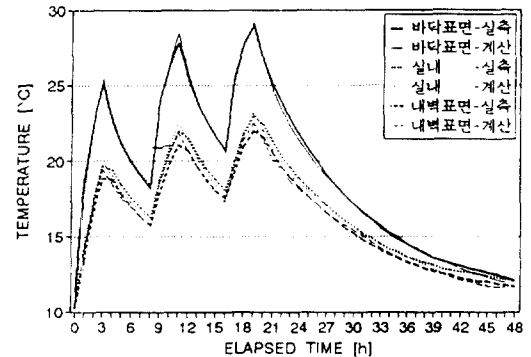


그림 11 실험결과와 계산결과 비교(溫水供給溫度 40°C)

가열시와 난방 정지시의 온도 변화 패턴이 거의 일치하고 있는 것을 알 수 있다.

이상에서와 같이 응답계수법을 이용한 온수는 돌난방 시스템의 열해석 방법은 실제의 경우와 매우 유사한 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

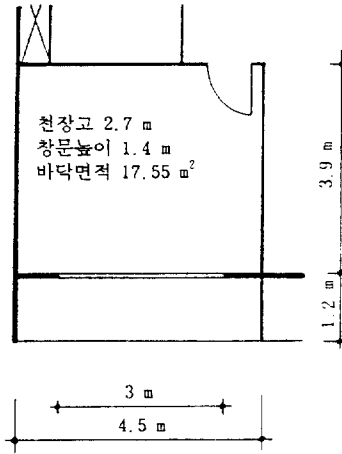


그림 12 모델공간의 평면도

#### 4. 열환경 시뮬레이션

##### 4.1 시뮬레이션 조건

###### 4.1.1 모델공간

온돌난방 시스템에 있어서 蓄熱層 두께와 난방방식이 실내열환경에 미치는 영향을 분석·검토한다. 본 연구에서 개발한 프로그램의 실행을 위하여 그림 12와 같은 모델공간을 가정하였다. 모델공간은 남쪽과 서쪽의 2개 벽체와 지붕면이

표 3 모델공간의 구조상세 및 물성치

명칭	단 면 상 세 도	번호	구성재료의 명 칭	두께 [M]	열 전 도 율 [kcal/mh°C]	용 적 비 열 [kcal/mh°C]
외벽		①	물 탈	0.02	1.3	380
		②	시멘트벽돌	0.09	1.3	380
		③	단 열 재	0.05	0.032	15
		④	콘 크 리 트	0.14	1.4	450
내벽		①	물 탈	0.03	1.3	380
		②	시멘트벽돌	0.09	1.3	380
		③	물 탈	0.03	1.3	380
지붕		①	석 고 보 드	0.012	0.15	230
		②	콘 크 리 트	0.12	1.4	450
		③	단 열 재	0.05	0.032	15
		④	방 수 층	0.01	0.24	230
		⑤	누 림 Conc.	0.1	1.4	460
바닥		①	마 감 물 탈	0.03	1.3	380
		②	시멘트물탈	0.00794	1.3	380
		③	시멘트물탈	0.00794	1.3	380
		④	시멘트물탈 (축열층)	0.00 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10	1.3	380
		⑤	단 열 재	0.03	0.032	15
		⑥	콘 크 리 트	0.12	1.4	460

외기에 접해 있고 남측면에 3m×1.4m의 창문이 설치되어 있다. 표 3은 벽체와 지붕, 바닥구조의 상세도를 나타낸다. 창문은 2중창으로 열관류율은 3.83[kcal/m<sup>2</sup>h°C]로 하였다.

4.1.2 기상자료

시뮬레이션용 기상자료는 1971년 부터 1980년의 10년간 기상데이터를 이용하여 작성한 서울 지방의 표준기상데이터\*<sup>6)</sup>를 이용하였으며, 계산 기간은 1월 22일~1월 31일의 10일간으로 설정하였다. 이 기간 중의 외기온 및 일사량 변화를 그림 13에 나타낸다. 1월 23일의 일평균 기온은 -11.3°C로 년중 일평균기온이 최저인 날이며, 1월 24일의 최저기온은 -15.2°C로 년중 최저 기온을 나타내고 있다.

4.1.3 계산조건

온돌난방시스템에 있어서 난방방식과 蓄熱層 두께가 실내열환경에 미치는 영향을 검토하기 위하여 蓄熱層 두께를 0, 20, 40, 60, 80, 100mm로 구분하고 溫水供給溫度를 40, 50, 60, 70, 80°C로 구분하였을 때의 열환경 및 온수공급열량을 검토하였다. 그림 14는 계산조건을 나타낸다. 그림에서 連續暖房은 24시간 연속하여 난방하는 경우를, 간헐난방은 매일 03:00시~09:00시 까지 6시간 난방하고, 난방 중지 후 17:00시~23:00시 까지 재차 6시간 난방하는 것으로 하였다. 또한, 배관 피치는 모두 20cm일 경우이다.

4.2 계산결과

4.2.1 蓄熱層 두께에 따른 난방효과

그림 15는 連續暖房時(供給溫水溫度 60°C) 蓄熱層 두께에 따른 실내온도 변화를 비교하여 나타낸 것이며, 그림 16은 이 때 공급되는 열량을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 連續暖房時에는 蓄熱層 두께에 따른 차이는 거의 나타나지 않았다. 따라서, 구조적인 면 등을 고려하면 連續暖房時에는 蓄熱層이 적을 수록 유리한 것으로 생각할 수 있다.

그림 17은 連續暖房時 供給溫水溫度에 따른 실내온도 변화를, 그림 18은 바닥온도 변화를 나타낸 것이다. 시뮬레이션 기간은 일년 중 가장 추운 날이 포함되어 있기 때문에 최대부하시로

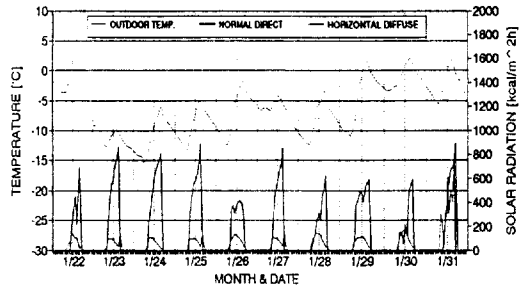


그림 13 외기온 및 일사량 변화

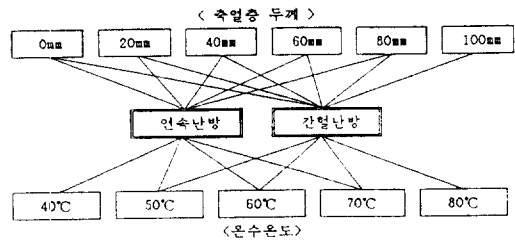


그림 14 계산 조건

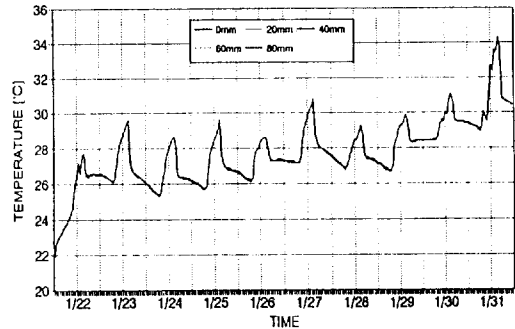


그림 15 蓄熱層 두께에 따른 실내온도변화(連續暖房, 온수온도 60°C)

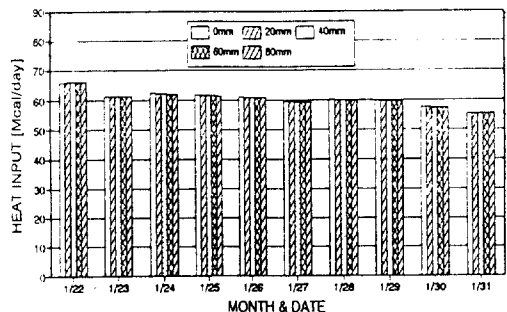


그림 16 蓄熱層 두께에 따른 공급열량비교(連續暖房, 온수온도 60°C)



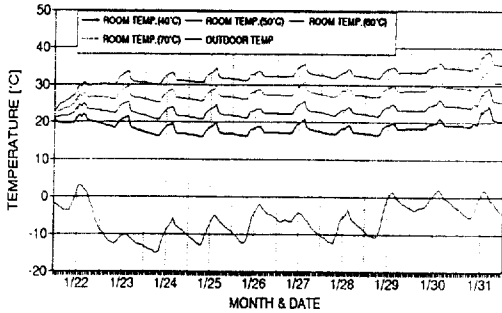


그림 17 供給溫水溫度에 따른 실내온도변화 (連續暖房, 蓄熱層 두께 0mm)

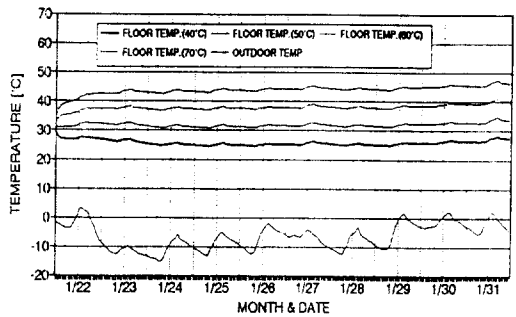


그림 18 供給溫水溫度에 따른 바닥온도변화 (連續暖房, 蓄熱層 두께 0mm)

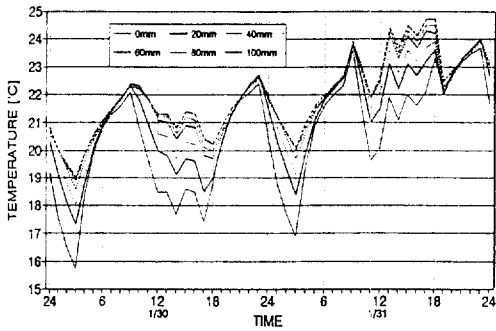


그림 19 蓄熱層 두께에 따른 실내온도변화(간헐난방, 온수온도 60°C)

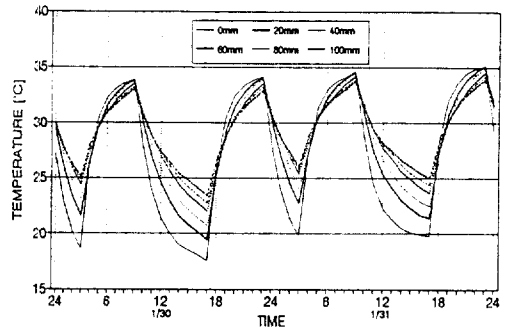


그림 20 蓄熱層 두께에 따른 바닥온도변화(간헐난방, 온수온도 60°C)

고려할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 供給溫水溫度가 높을 수록 실온은 당연히 높게 나타났으며, 1월 23일~1월 31일의 평균실온은 溫水供給溫度 40°C, 50°C, 60°C, 70°C일 때 각각 18.3°C, 23.1°C, 28°C, 32.8°C로 나타나 溫水供給溫度 10°C 증가할 때 마다 실온은 약 4.8°C씩 상승하였다. 또, 바닥표면온도는 溫水供給溫度 40°C, 50°C, 60°C, 70°C일 때 각각 25.6°C, 31.9°C, 38.1°C, 44.3°C로 溫水供給溫度가 10°C 증가할 때 약 6.2°C씩 상승하였다.

그림 19는 間歇暖房時(溫水供給溫度 60°C) 蓄熱層 두께에 따른 실내온도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 난방이 완료되는 시점에서의 실온은 蓄熱層 두께에 관계없이 거의 비슷한 값을 나타내지만, 난방정지시에 하강하는 온도 폭은 蓄熱層이 두꺼울 수록 적게 나타났다. 즉, 蓄熱層이 0mm인 경우 실온은 난방이 시작되

면서 급격히 상승하고 난방 중지시에는 반대로 급격히 하강하여 그 온도차가 상당히 크게 나타나지만, 蓄熱層 두께가 증가할 수록 온도 편차가 적어지는 것을 알 수 있다.

間歇暖房時에 있어서는 난방시와 비난방시의 온도 편차가 커지면 실내 열환경은 열악해 지기 때문에 蓄熱層의 적정 두께를 설정하여 그 편차를 조정할 필요가 있다. 그러나, 일반적으로 공간을 구성하고 있는 구조체의 열성능이 다양하고 기상조건도 다양하게 변화하기 때문에 蓄熱層의 適定 두께를 결정하는 것은 그렇게 단순하지 만은 않다. 또, 1일 난방시간 및 그 스케줄에 따라서도 실내온도 변화패턴은 달라지기 때문에 間歇暖房時의 適定 蓄熱層 두께를 결정하기 위하여서는 난방공간을 구성하고 있는 구조체의 열성능, 1일 난방시간 및 그 스케줄, 난방시와 비난방시의 온도편차 등을 종합적으로 고려하여야 할 것으로

판단된다.

한편, 1월 23일~1월 31일의 평균 실온은蓄熱層 두께에 따라 0mm, 20mm, 40mm, 60mm, 80mm, 100mm일 때 각각 18.7°C, 19.4°C, 19.7°C, 20.0°C, 20.2°C, 20.3°C였으며,蓄熱層 두께가 증가할 수록 그 차는 근소한 것으로 나타났다. 즉,蓄熱層 두께가 60mm에서 80mm로 변화하였을 때 0.2°C, 80mm에서 100mm로 증가하였을 때 0.1°C의 차이를 보였다.

그림 20은 間歇暖房時(溫水供給溫度 60°C)蓄熱層 두께에 따른 바닥온도 변화를 나타낸 것이다. 실온의 변화에 비하여 그 변화는 적으나蓄熱層 두께에 의한 영향이 잘 나타나 있는 것을 알 수 있다.蓄熱層 두께 0m, 20mm, 40mm, 60mm, 80mm, 100mm일 때 1월 23일~1월 31일의 평균 바닥표면온도는 각각 25.8°C, 26.9°C, 27.4°C, 27.8°C, 27.9°C, 28.1°C로 점차 높아졌으나, 실온의 경우와 마찬가지로蓄熱層 두께가 증가할 수록 그 차는 근소하여蓄熱層 두께 60mm에서 80mm로 변화하였을 때 0.1°C, 80mm에서 100mm로 증가하였을 때 0.2°C로 나타났다.

그림 21은 間歇暖房時(溫水供給溫度 60°C)의蓄熱層 두께에 따른 온수공급열량을 비교하여 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 間歇暖房時에는 連續暖房時와는 달리 배관피치와供給溫水溫度가 동일할 지라도蓄熱層 두께가 두꺼워질 수록 소요되는 온수공급열량이 증가하는 것으로 나타났다. 즉,蓄熱層 두께 0mm, 20mm, 40mm, 60mm, 80mm, 100mm일 때 1월 23일~1월 31일에 공급되는 열량은 일평균 28.9Mcal/day, 29.9Mcal/day, 30.4Mcal/day, 30.8Mcal/day, 31.0Mcal/day, 31.1Mcal/day로 증가하였다. 그러나,蓄熱層 두께가 80mm에서 100mm로 증가하였을 때의 차이는 1일 동안 1000Kcal로 매우 작았으며, 상대적으로蓄熱層 두께 증가에 대한 효과를 기대하기 어려운 것으로 나타났다.

이상에서와 같이 실온과 바닥표면온도, 난방공급열량 등을 검토한 결과 간헐난방시의蓄熱層 두께는 60~80mm 정도가 적합할 것으로 판단된다.

그림 22은蓄熱層 두께 60mm의 경우 間歇暖

房時供給溫水溫度에 따른 실내온도 변화를,그림 23은 바닥표면온도 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 유지되는 실온과 바닥표면온도는 溫水供給溫度에 따라서 다르지만 그 변화패턴은 거의 유사한 것을 알 수 있다. 실온은 溫水供給溫度 10°C 증가시킬때 마다 약 3.4°C

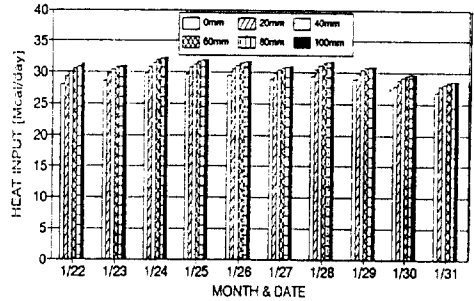


그림 21 蓄熱層 두께에 따른 공급열량비교(간헐난방, 온수온도 60°C)

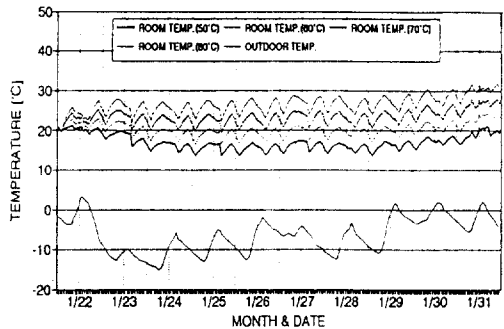


그림 22 供給溫水溫度에 따른 실내온도변화(간헐난방,蓄熱層 두께 60mm)

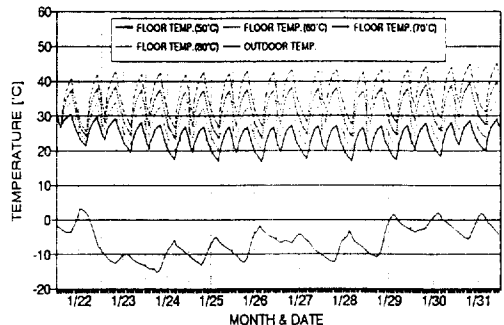


그림 23 供給溫水溫度에 따른 바닥표면온도변화(간헐난방,蓄熱層 두께 60mm)

상승하였으며, 바닥표면온도는 약 4.4°C 상승하는 것으로 나타났다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 應答係數法을 이용하여 온수온 들난방공간의 熱的 特性을 評價할 수 있는 非定常 解析技法의 개발을 目的으로 하였으며, 개발된 프로그램을 이용하여 바닥구조체의 構成과 난방 시스템의 運轉方式에 따른 熱環境 特性을 分析 評價하였다. 研究結果를 要約하면 다음과 같다.

- 1) 應答係數法에 의한 바닥구조체의 熱特性 評價方法을 定立하고, 컴퓨터 프로그램을 작성하여 實測値와 比較·檢證한 결과 상당히 근접한 결과를 얻을 수 있었다.
- 2) 暖房方式과 바닥구조체의 蓄熱層 두께에 따른 熱環境을 시뮬레이션 하고 비교·검토한 결과 다음과 같다.
  - 가) 連續暖房時 室內熱環境은 蓄熱層 두께에 따라 차이가 없는 것으로 나타났으며, 시뮬레이션에 이용한 모델 공간의 경우 供給溫水溫度 10°C 증가마다 실온은 약 4.8°C씩, 바닥온도는 약 6.2°C 상승하였다.
  - 나) 시뮬레이션으로 부터 얻은 間歇暖房時 室溫과 바닥표면온도, 暖房供給熱量 등을 검토한 결과 蓄熱層 두께는 60~80mm 정도가 적합할 것으로 판단된다. 그러나, 間歇暖房時 適定 蓄熱層의 두께는 最大負荷時에 있어서의 暖房 可動時間과 그 스케줄, 供給溫水溫度를 設定하고 이에 따른 室內 熱環境 水準

을 고려하여 決定되어야 할 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서 설정한 난방스케 들인 하루 12시간 난방하는 경우 供給溫水溫度가 10°C 증가함에 따라 室溫은 평균 3.4°C, 바닥온도는 평균 4.4°C 상승하는 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

- 1) D.G.Stephenson and G.P.Mitalas : Cooling Load Calculation by Thermal Response Factor Method, ASHRAE Transactions, Vol.73, 1967
- 2) 宇田川光弘 : パソコンによる空氣調和計算法, オーム社, 1986
- 3) 松尾陽 : 空調設備の動的熱負荷計算入門, 日本建築設備士協會, 1980
- 4) B.Gebhart : A New Method for Calculating Radiant Exchanges, ASHRAE Transactions, Vol.65, 1959
- 5) 孫章烈, 安炳旭 : 溫突暖房空間의 內表面 對流熱傳達特性에 관한 研究, 空氣調和·冷凍工學會論文集, 제3권, 제5호, 1991년 11월
- 6) 孫章烈 : 서울地域의 標準氣象資料에 관한 研究, 大韓建築學會誌, 제29권, 제125호, 1985년 7월
- 7) 孫章烈, 安炳旭 : 溫突暖房空間의 室溫 豫測에 관한 研究, 大韓建築學會 學術發表論文集, 제10권, 제1호, 1990년 4월
- 8) 孫章烈, 鄭光燮, 安炳旭 : 蓄熱層 두께에 따른 溫水溫突暖房의 바닥溫度 變化特性에 관한 實驗研究, 大韓建築學論文集, 제6권, 제5호, 1990년 10월