

겨울철 난방시 탑상형 아파트 구조체의 축·방열 특성에 대한 현장측정 연구

장 현 재[†], 조 근 제^{*}
홍익대학교 건축공학부, *홍익대학교 대학원

A Field Measurement Study on Heat Storage/Emission Characteristics of Tower Type Apartment Structures in Winter Season

Hyun-Jae Chang[†], Keun-Je Cho^{*}

School of Architectural Engineering, Hongik University, Chungnam 339-701, Korea
^{*}Graduate School, Hongik University, Chungnam 339-701, Korea

(Received December 2, 2011; revision received December 22, 2011)

ABSTRACT: In this study, as a complementary study of the former study on indoor thermal environment in a tower type apartment house at tropical nights, a field measurement was conducted in winter season. Mainly, characteristics of heat storage and heat emission in apartment structures, in this study, were investigated. As results, indoor air temperature was changed in the range of $22.5^{\circ}\text{C} \pm 1.0^{\circ}\text{C}$, and followed not the change of outdoor air temperature but the changed pattern of floor surface temperature. Wall surface temperature was unresponsive to the change of floor surface temperature compared with the change of indoor air temperature because wall structure was composed of concrete which has large heat capacity, and was changed in the range of $22.3^{\circ}\text{C} \pm 0.6^{\circ}\text{C}$. Heat was stored continuously into the structures of wall and ceiling through the measurement term. and this means that a large heat capacity of the apartment structure acts as a disadvantage in winter season, too. As a total review of the study with the former study, a large heat capacity of the apartment structure acts against indoor thermal comfort in winter season as well as in summer season.

Key words: Heat storage(축열), Heat emission(방열), Heat flux(열류)

1. 서 론

여름철 열대야 발생시 탑상형 아파트의 실내 온열 환경 개선을 위해 저자 등은 현장 측정을 수행하였으며,⁽¹⁾ 주간 시간대에 아파트 구조체에 축열된 열이 야간 시간대에 실내로 방열되면서 여름철 실내 온열

환경을 악화시키는 주요한 요인이 되며, 탑상형 아파트의 통풍률이 대부분 0.1이하로서 통풍에 의한 냉각효과를 기대하기 힘들다는 점을 확인하였다. 또한 아파트 구조체의 축·방열 특성의 개선을 위해서는 겨울철 난방시의 구조체 축·방열 특성에 대한 고찰이 함께 이루어져야 한다는 점을 지적하였다. 이는 열용량이 큰 구조체의 경우, 겨울철 주간 시간대에 일사열을 받아 온도가 상승한 구조체가 야간 시간대에는 실내로 방열함으로써 겨울철 난방 기에는 구조체의 열용량이 크다는 점이 유리하게

[†] Corresponding author

Tel.: +82-41-860-2614; fax: +82-41-865-2796

E-mail address: changhj@hongik.ac.kr

작용할 수 있기 때문이다(Fig. 1, Fig. 2 참조).⁽²⁾

본 연구는 여름철 열대야 발생시의 실내온열환경 개선에 대한 후속 연구로서(Fig. 3 참조), 겨울철 난방시의 탑상형 아파트 구조체의 축·방열 특성에 대한 현장측정 결과에 대해 보고한다.

2. 현장측정

측정 장소와 측정 기기의 사양을 각각 Table 1과 Table 2에 나타내며 측정점의 위치는 Fig. 2에 나타낸다. 측정장소는 여름철 측정을 수행하였던 아파트와 동일한 아파트의 동일한 세대이며, 측정 기간은 겨울철 난방기간인 2010년 12월 19일~12월 22일이다. 측정기간 중에는 겨울철의 통상적인 난방 패턴을 저녁시간부터 아침까지 난방하는 것으로 가정하여 18:00시부터 다음날 09:00까지 실내온도를 22℃로 설정하여 온수온도에 의한 난방을 가동하고, 나머지 시간은 난방을 정지하였다. 창문은 측정기간 동안 닫은 상태를 유지하였으며, 환기장

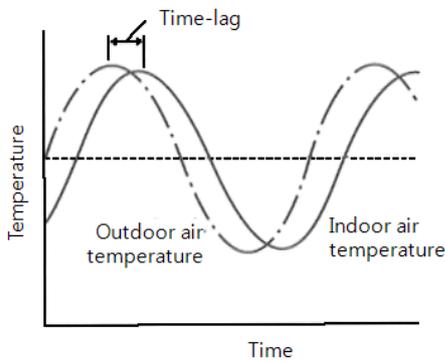


Fig. 1 Heat transfer in material of small heat capacity.

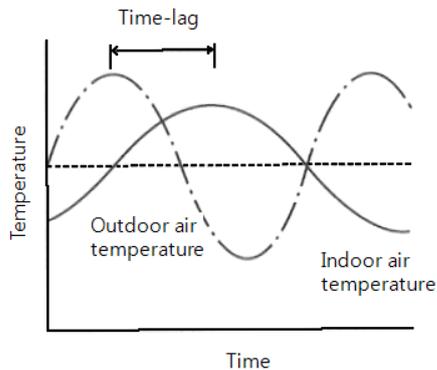


Fig. 2 Heat transfer in material of large heat capacity.

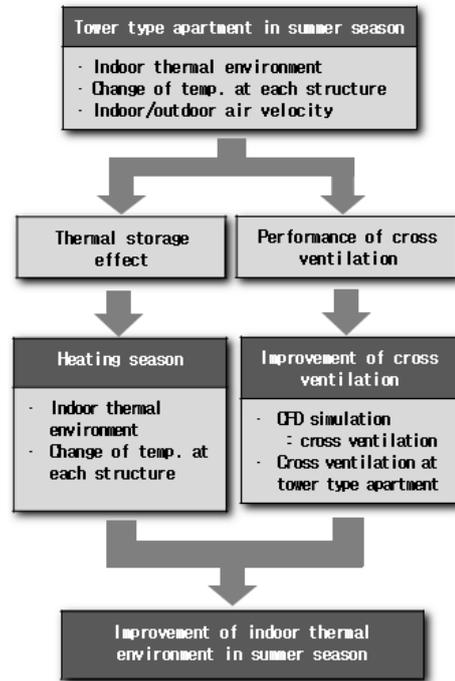


Fig. 3 Flow chart of the study.⁽¹⁾

Table 1 Measurement site and term

Categories	Contents
Site of apartment	Chungnam district A,
Floor	9th floor of 18 stories apartment building
Measurement term	2010. 12. 19. 16 : 00 ~ 12. 22. 10 : 00

Table 2 Specs of measurement instruments

Measuring items	Specs. of instruments
Temperature	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Model : 40 Squirrel ◦ Maker : Grant ◦ Sensor : thermo couple(C-C)
Humidity	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Model : TR-72U ◦ Maker : T and D Co. Jp
Air velocity	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Model : 4 channels anemomaster ◦ Maker : Kanomax
Heat flow	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Model : MF-180 ◦ Maker : EKO INSTRUMENTS

치는 설치되어 있지 않다.

겨울철 난방시의 측정에서는 여름철 측정과 달리, 열류센서를 바닥, 4벽면(창유리면 포함) 및 천장에 각각 설치하여 온도와 마찬가지로 10분 간격으로 연속해서 측정하였다.

3. 측정 결과

3.1 온도 변화

측정기간중의 외기온도 및 실내 각 부위에서의 온도변화를 Fig. 5에 나타낸다. 측정기간동안 외기온은 최저 -3.7°C , 최고 11.7°C 를 나타내었다. 실내 공기온도는 평균 22.5°C 를 중심으로 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 변화하였으며, 외기온의 변화가 실내 공기온도의 변화에는 거의 영향을 미치는 못하는 결과를 나타내었다. 바닥 표면온도는 온수온돌 배관과 배관 사이의 중앙지점에서의 표면온도이며, 야간의 난방시에는 최고 29.2°C , 최저 24.1°C 를 나타내었고, 주간 비난방시에는 최저 23.0°C 를 나타내었다. 유리창의 실내 표면온도는 외기온도와 일사량의 영향을 뚜렷하게 반영하는 특성을 나타내었으며, 최고 26.3°C , 최저 16.6°C 를 나타내었다. 벽체 표면온도는 $22.3^{\circ}\text{C} \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 변화하였다. 천장 표면온도는 평균 21.1°C 를 나타내어 벽체 표면온도보다 평균온도가 1.2°C 낮은 값을 나타내었다. 이는 윗 층의 세대가 아직 미입주 상태여서 측정기간동안 난방을 가동하지 않은 때문으로 사료된다.

Fig. 6~Fig. 7은 Fig. 5의 상세한 분석을 위하여 외기온이 최고에 달한 12월 21일 14시 전후와 저녁 시간대인 12월 21일 18시부터 22일 02:30까지의 실내 각부의 온도를 확대하여 나타낸 것이다. 온도변화의 크기를 알기 쉽게하기 위해 외기온도는 나타내지 않았다.

Fig. 6은 외기온이 최고에 달한 시간대 전후의 온도변화를 나타낸다. 이 시간대는 난방을 가동하지 않은 시간대로서 난방가동 시간대에 아파트 구조체 각부에 축열된 열량과 외기온도의 변화 및 일사에 의해 온도변화가 영향을 받은 결과이다. 유리창의 표면온도의 변화가 외기온도의 변화패턴을 잘 반영하고 있다. 방문이 설치된 벽면이 다른 벽면에 비해 약 1.5°C 높은 결과를 나타낸다. 이는 Fig. 4에서 방문이 설치된 벽면이 유리창으로부터 거리가 가장 먼, 세대의 안쪽에 설치된 때문으로 사료된다. 실 양쪽의 벽체 표면온도는 서로 거의 일치하는 온도변화를 나타낸다.

실내 공기온도는 유리창의 표면온도가 최고에 달한 시점에서 실 양쪽의 벽체 표면온도보다 약 3.5°C 높은 값을 나타낸다. 실내 공기온도가 벽체표면온도보다 높은 구간도 있고 낮은 구간도 있으나, 실내

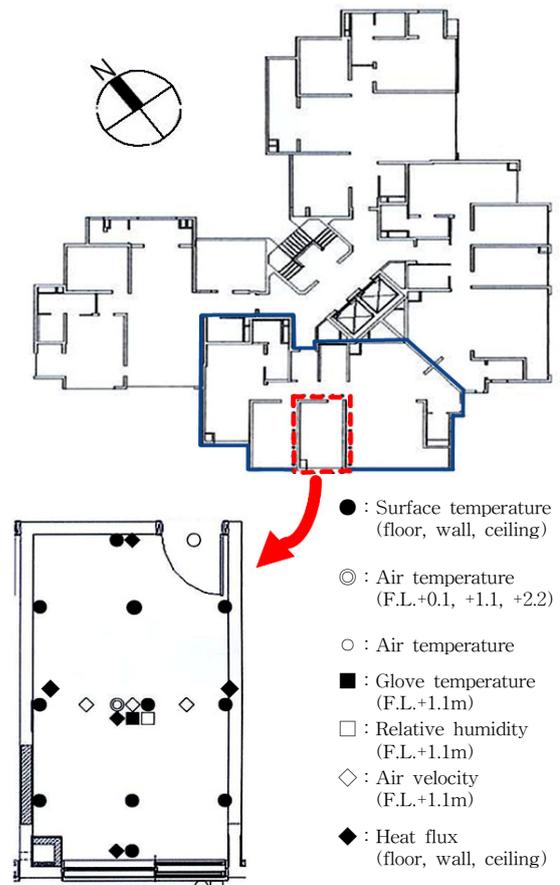


Fig. 4 Floor plan of apartment house. (1)

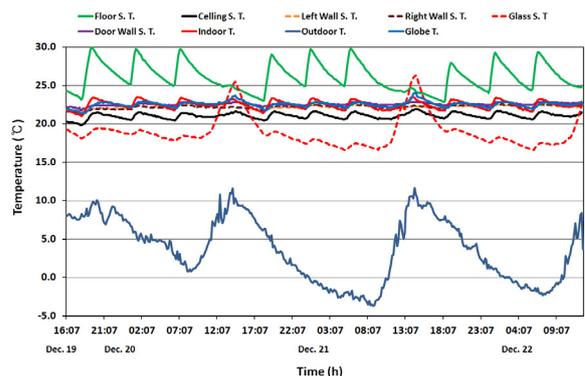


Fig. 5 Change of temperature for the measurement term.

온도가 벽체 표면온도보다 높다고 해서 벽 구조체로의 축열이 이루어지고 반대가 되면 벽 구조체로부터 실내공간으로 방열이 이루어진다고는 단정할 수 없다. 이는 바닥난방에 의해 난방이 이루어지고 있기 때문으로, 구조체의 축열과 방열에 대해서는 열류량의 측정결과로 판단하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

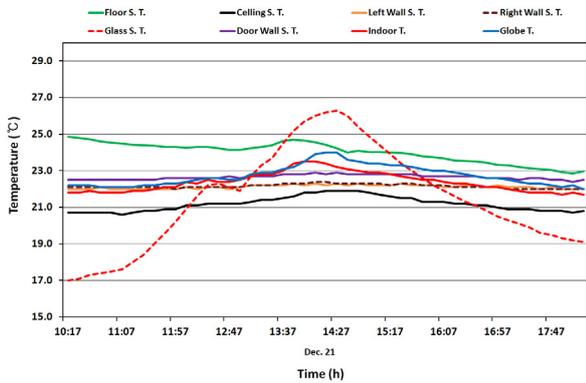


Fig. 6 Change of temperature around the highest point of outdoor temperature.

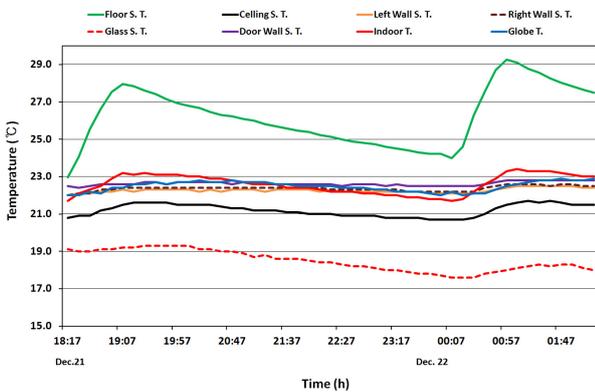


Fig. 7 Change of temperature for the night time.

Fig. 7은 난방을 개시한 저녁시간대인 12월 21일 18시부터 22일 02:30까지의 실내 각부의 온도변화를 확대하여 나타낸 것이다. 실내 공기 온도는 난방 중인 바닥 표면 온도의 변화 특성을 잘 반영하여 온도가 변화하는 것에 비해, 벽체 표면온도는 바닥 표면온도의 변화 특성을 반영하는 데에 둔감하여 온도변화의 폭이 상대적으로 작다. 천장의 표면온도는 실내 공기온도의 변화와 마찬가지로 바닥 표면온도 변화의 특성을 잘 반영하는 결과를 나타낸다. 이는 천장면이 석고보드 위에 벽지로 마감되어 있어 석고보드의 열용량이 철근콘크리트로 이루어진 벽체에 비해 작기 때문인 것으로 사료된다.

유리창의 표면온도는 저녁시간대에 일사가 비추지 않기 때문에 실내온도에 비해 약 4°C 낮은 온도 분포를 나타낸다. 난방시간대에도 실내공기 온도와 구조체 각부 온도의 차이만으로 구조체로의 축열과 방열을 판단하는 것은 바닥난방에 의한 복사열 전달을 고려할 때 무리가 있으며, 열류량의 측정결과

로써 판단하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

3.2 구조체의 축열과 방열 특성

본 연구에서는 아파트 구조체 각 부의 축·방열 특성을 보다 상세히 파악하기 위해 천장과 바닥 및 창 유리면을 포함한 4벽면에 열류센서를 설치하여 10분 간격으로 열류량 측정을 수행하였다. Fig. 8에 각 구조체의 열류 측정결과를 나타낸다. 바닥면적당 열류량이 “-”인 경우는 구조체로부터의 방열을 나타내며, “+”인 경우는 구조체로의 축열을 나타낸다. 열류센서에 의해 측정된 열류량은 대류와 복사 성분이 모두 포함된 종합적인 열류량이다.

창유리의 내표면은 측정 개시 후부터 난방시간대인 12월 20일 09:00까지는 최고 31.7 W/m²의 축열(창유리면으로의 축열은 유리로의 축열과 함께 창유리의 외표면으로부터 외부로 대류에 의한 열류의 방출이 포함된 결과임)을 보이나 이후로는 축열량이 급속히 감소하며, 11:00부터는 실내쪽에서의 방열로 열류의 흐름이 바뀐다. 측정 기간동안 외기온은 실내 공기온도보다 항상 낮은 값을 유지하였으나 실내로의 방열이 나타난 것은 일사에 의한 복사열이 실내로 유입되기 때문으로 사료된다. 실내 공간으로의 방열은 20일 13:00에 37.2 W/m²로 최대값을 나타내며, 이후에는 급속히 줄어들어 같은 날 16:00에는 다시 축열로 열류의 방향이 바뀌었다. 이후의 난방 시간대를 포함하여 축열이 이루어지며 최고 33.1 W/m²의 축열량을 나타내었다. 12월 21일 11:00에는 다시 축열이 실내쪽에서의 방열로 열류의 방향이 바뀌어 21일 13:30에 최고 56.6 W/m²의 방열량을 나타낸 후, 방열량이 감소하기 시작하여 같은 날 16:00에 축열로 열류의 흐름이 다시 바뀌었다.

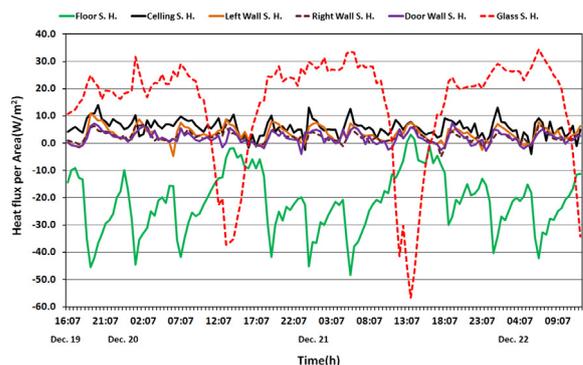


Fig. 8 Heat flux at each structure.

바닥표면은 측정 개시 후부터 난방 시간대인 12월 20일 09:00까지는 최저 9.8 W/m^2 , 최고 49.1 W/m^2 의 방열량을 나타내며, 비난방 시간대인 20일 09:00 이후에는 방열량이 감소하여 외기온이 최고점에 달한 같은 날의 14:00에는 방열량이 1.9 W/m^2 로서 실내로의 방열이 거의 이루어지지 않았다. 난방을 다시 시작한 12월 20일의 18:00까지는 10 W/m^2 이하의 방열량을 나타내었으며, 이후의 난방 시간대에는 12월 21일 05:30에 최고 48.4 W/m^2 의 방열량을 나타내었다. 이후, 점차 감소하기 시작한 방열량은 난방을 정지한 09:00 이후에 지속적으로 감소하며, 외기온이 최고점에 달한 12월 21일 14:00 경에는 열류의 흐름이 바뀌어 3.1 W/m^2 의 축열을 나타내기도 하였다. 이후, 난방을 다시 시작한 같은 날의 18:00까지는 10 W/m^2 이하의 방열량을 나타내었으며, 이후의 난방 시간대에는 최고 42.2 W/m^2 의 방열량을 나타내었다.

벽 구조체와 천장 구조체에서의 축·방열량의 변화에 대해서는 상세한 분석을 위해 Fig. 9에 확대하여 나타낸다. Fig. 9는 12월 21일 0시부터 22일 04시까지의 데이터로서 각 구조체의 열류량 차이를 파악하기 쉽도록 하기 위해 Fig. 8의 창유리와 바닥면의 열류량 데이터는 제외하고 나타내었다. 3벽면 및 천장에서의 열류량은 바닥면 및 창유리면의 변화폭에 비해 상대적으로 변화폭이 크지 않으며 외기온도 변화와 난방시 및 비난방시의 변화가 거의 반영되지 않는 결과를 나타낸다. 다만, 난방시간대에서 온수보일러의 ON-OFF에 따라 축열량이 약 10 W/m^2 내외의 범위에서 변동하는 정도로 완화된 열류량 변화를 나타낸다. 이는 3벽체와 천장 구조체의 열용량이 크기 때문으로 사료된다. 벽 구조체들 사이에서는 주목할만한 열류량의 차이가 나타나지

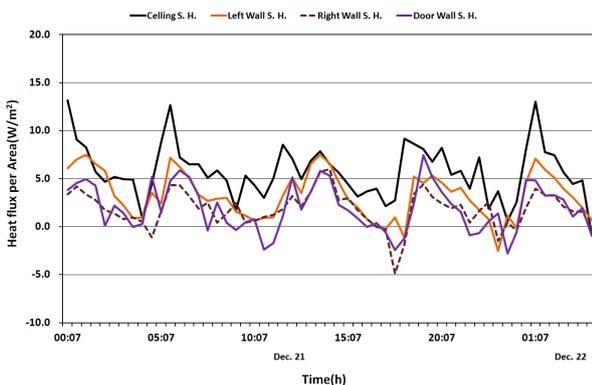


Fig. 9 Heat flux at walls and ceiling.

않고 있으며, 천장면으로의 축열량이 벽 구조체에 비해 4 W/m^2 내외의 약간 높은 값을 나타낸다. 이는 윗층의 세대가 난방을 가동하지 않아 윗층 슬랩으로의 열손실이 반영된 결과라 사료된다.

본 현장측정 결과에서 주목할 만한 내용은 일부의 짧은 시간을 제외하고는 구조체에서 열류의 흐름은 일관되게 축열이 이루어지고 있다는 점이다. 즉, 콘크리트와 같이 열용량이 큰 구조체의 경우, 겨울철 난방기의 주간 시간대에는 일사열 등에 의해 구조체 내부에 열이 축열되고 야간 시간대에는 열을 실내로 방출함으로써 난방에 유리할 것으로 생각되었으나 실제로는 난방 시간대와 비난방 시간대 모두에서 축열만 이루어짐으로써 구조체의 열용량이 크다는 점이 겨울철 난방기에도 불리하게 작용하는 것으로 나타났다. 이러한 결과가 나타난 원인으로서는, 콘크리트를 사용한 구조체는 주로 내벽에 사용되고 외기에 면하는 외벽 면적의 대부분을 창문 면적이 차지하게 되는 최근의 아파트 형태에 따라, 일사량 등 외부환경이 구조체의 축·방열에 미치는 영향의 크기가 상대적으로 줄어들게 되는 점이 하나의 요인이 될 것으로 사료된다.

이상의 결과와 이전의 연구 결과⁽¹⁾를 종합하면, 아파트에 콘크리트와 같이 열용량이 큰 구조체를 사용하는 것이 여름철 열대야 현상의 완화와 겨울철 난방시에도 불리하게 작용한다는 결론을 얻을 수 있다.

3.3 PMV(Predicted Mean Vote)

겨울철 난방시의 실내온열감 평가를 위하여 PMV⁽³⁾를 이용하여 검토하였다. PMV의 계산을 위한 조건으로서, 활동량은 앉아 있는 상태를 전체로 하여 1.0 [met], 착의량은 겨울철 실내 의복차림을 전체하여 0.92[clo]로 가정하여 계산하였다. PMV 계산 결과를 Fig. 10에 나타낸다. 온도, 습도, 기류속도는 현장 측정값을 이용하였으며, MRT는 글로브 온도의 측정결과로부터 식(1)⁽⁴⁾을 이용하여 환산하였다.

$$MRT = t_g + 2.35 \sqrt{v} (t_g - t) [^\circ\text{C}] \quad (1)$$

여기서, t_g : 글로브 온도 [$^\circ\text{C}$], t : 실내온도 [$^\circ\text{C}$],
 v : 기류속도 [m/s]

PMV는 측정 초기를 제외하고는 측정기간 동안

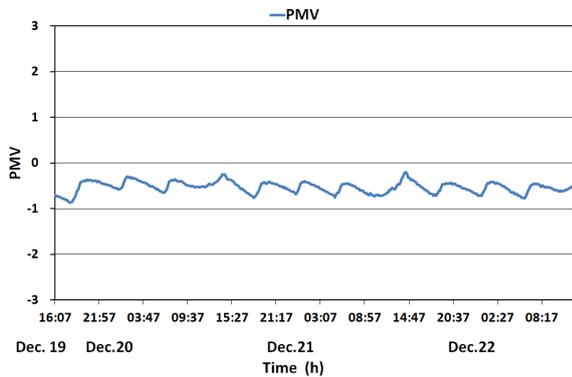


Fig. 10 PMV.

-0.6~-0.2의 값을 나타내어 쾌적한 상태가 유지되었다.

4. 결 론

탑상형 아파트를 대상으로 하여 겨울철 난방시 아파트 구조체의 축·방열 특성에 대해 현장측정을 통해 검토하였다. 검토결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 실내 공기온도는 평균 22.5℃를 중심으로 $\pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 변화하였으며, 외기온의 변화에 대해서는 거의 영향을 받지 않고 난방중인 바닥 표면온도의 변화 특성을 추종하는 패턴을 나타내었다.

(2) 벽체 표면온도는 벽 구조체가 열용량이 큰 콘크리트로 이루어져 있기 때문에 바닥 표면온도의 변화 특성을 반영하는 데에 둔감하며 $22.3^{\circ}\text{C} \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 변화하였다.

(3) 겨울철의 난방 시간대와 비난방 시간대 모두에서 콘크리트로 이루어진 실내 벽 구조체와 천장 구조체는 지속적으로 축열이 이루어져 구조체의 열용량이 크다는 점이 겨울철 난방기에도 불리하게 작

용하였다.

(4) 이전의 여름철 측정 결과와 본 연구의 겨울철 측정 결과를 종합하여 검토하면, 아파트에 콘크리트와 같이 열용량이 큰 구조체를 사용하는 것이 여름철 열대야 현상의 완화와 겨울철 난방시에도 불리하게 작용하는 것으로 파악되었다.

금후의 연구로서, 열용량이 작은 내부 구조체를 사용할 경우의 실내 열환경 개선 효과 등에 대해 검토할 필요가 있다.

후 기

이 논문은 2009학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

참고문헌

1. Chang, H. J. and Kim, H. J., 2010, A study on indoor thermal environment in an tower type apartment house at tropical nights, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No. 1, pp. 20-25.
2. Lim, M. T., 2011, Architectural Environmental Planning, Bomoondang, pp. 204-206.
3. ISO 7730, 1984, Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort, ISO.
4. Tanaka, S., Takeda, H., Tsuchiya, T., Iwata, T. and Terao, M., 2008, Architectural Environment Engineering, Inoueshoin, pp. 56-57.