

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 24, No. 4, 2004

공동주택의 하절기 개구부 밀폐 시 지붕면 일사수열이 최상층 실내온열환경에 미치는 영향 분석

최동호*

* 대구가톨릭대학교 건축학과 부교수(dhchoi2@cu.ac.kr)

Analysis of the Irradiated Solar Heat Effect on Indoor Thermal Environment of the Top Floor Units of Apartment Houses in the Summer - On Condition that All Openings of the Units are Closed -

Choi, Dong-Ho*

* Associate Professor, Dept. of Architecture, Catholic University of Daegu(dhchoi2@cu.ac.kr)

Abstract

In the summer, the irradiated solar heat gain through the roof has an effect on the thermal environment of the top floor units of apartment houses. This paper investigated the differences of the indoor air temperature and thermal comfort index between the top floor unit and the middle floor unit by measuring them at the sample houses. The purpose of this paper is to provide quantitative data about the irradiated solar heat gain during the summertime through the roof of an apartment house and these data to be the source to reevaluate the appropriate roof insulation efficiency. From this study, we obtained the brief results as follows. Indoor air temperature at the top floor unit is 1.2~2.2°C higher than that of middle floor unit. The evaluation of the indoor thermal comfort index at each sample rooms reveals notable thermal differences between the two units. Top floor units need more cooling load during the summertime compared to middle floor units. Therefore, solutions to reduce solar heat gain at top floor units to be considered.

Keywords : 공동주택(Apartment house), 일사수열(Irradiated solar heat), 온열환경지표(Thermal comfort index), 지붕단열(Roof insulation), 열관류(Heat transfer through solid conductors)

1. 서론

일반적으로 건축물의 최상층 실내온열환경은 하절기에는 지붕을 통한 일사수열의 영향으로 실온이 상승하고, 반대로 동절기에는 실내로 투입된 난방 열량 중의 상당량이 지붕을 통해 옥외로 유출될 우려가 있는 것으로 인식됨으로서, 특히 공동주택에서는 이러한 열적 취약성에 대한 우려 때문에 최상층 세대를 선호하지 않는 경향이 있었다. 그러나 최근 들어 상대적으로 일사유입과 조망권 확보가 유리하고 고층화에 따른 도로 교통소음 경감 등의 장점이 부각되면서 고층과 최상층 세대를 오히려 선호하는 경향이 가시적으로 나타나고 있다. 최상층의 열환경은 중간층과는 달리 지붕형식과 단열성에 크게 영향을 받을 것으로 추정된다. 지붕형식에 관계없이 모든 지붕 구조체는 관련법에서 규정하는 최소한의 단열기준요건을 충족시켜 최상층에서는 우려할 만큼의 실내환경 악화가 초래되지 않도록 설계되고 있으나, 통념적으로는 이러한 우려가 말끔히 불식되지 않고 있음을 부정할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 이러한 우려를 확인하기 위하여 하절기 일사수열에 따른 최상층과 중간층의 실내 열환경을 실측실험을 통해 평가하였다. 실험은 지붕 일사수열의 영향이 비교적 클 것으로 추정되는 기 건축된 평슬라브 공동주택을 대상으로 실시하였으며, 최상층과 중간층의 열환경을 정량적으로 비교, 분석하였다. 이번 비교 실측실험은 공동주택의 각 실의 기온뿐 아니라 실내온열환경지표들을 함께 산출함으로서, 지붕면 일사수열에 따른 종합적인 실내 열환경을 평가하였다. 본 논문에서 설정한 실험조건은 실내 냉방 시의 개구조건으로 가정하여, 실내외 모든 개구부를 닫아 개구부를 통한 자연환기를 배제한 상태로 설정하였다. 즉, 개구부를 닫아 개구부를 통한 외기의 실내유입을 차단하고 실간의 열·공기유동을 단절시킴으로서 지붕을 통해 최상층 실내로 유입되는 일사수열에 따른 열적 효과를 정량적으로 평가할 수 있도록 하였다. 기존

평슬라브 공동주택의 하절기 일사수열에 따른 지붕 단열성능을 현장 실측실험을 통해 확인함으로써, 궁극적으로는 지붕의 단열성능 적정성 평가를 위한 기초 데이터를 제시하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 실험개요

2.1 실험대상공간

대구광역시 수성구에 소재한 총 12개동, 930세대 규모의 대단위 아파트단지 내 2개 세대를 실험대상공간으로 선정하였다. 실험대상 아파트는 1988년에 준공한 지하1층, 지상15층, 옥탑1층 규모의 철근콘크리트구조 계단식 아파트이며, 지붕은 일사수열량이 상대적으로 많은 평지붕 슬라브 형식을 취하고 있다. 그림 1의 건물배치도에 나타난 바와 같이 실험대상공간은 동일단지 내에 위치한 평형과동이 상이한 2개 세대로서, 33평형의 최상층(15층) 1개 세대와 43평형의 중간층(14층) 1개 세대를 선정하였다. 실험대상공간으로 선정한 2세대 모두 정남향의 동(棟)의 서쪽에 면한 층세대이며, 최상층 세대와 가급적 유사한 외부환경조건이 형성되도록 하기 위하여 중간층 세대는 15층 건물의 14층의 고층부로 배정하여 2세대 모두 유사한 높이조건이 유지되도록 하였다. 그림 2의 평면도에서 알 수 있는 바와 같이 최상층(15층) 세대인 33평형은 방 3개, 1개의거실과 주방, 욕실로 구성되어 있으며,

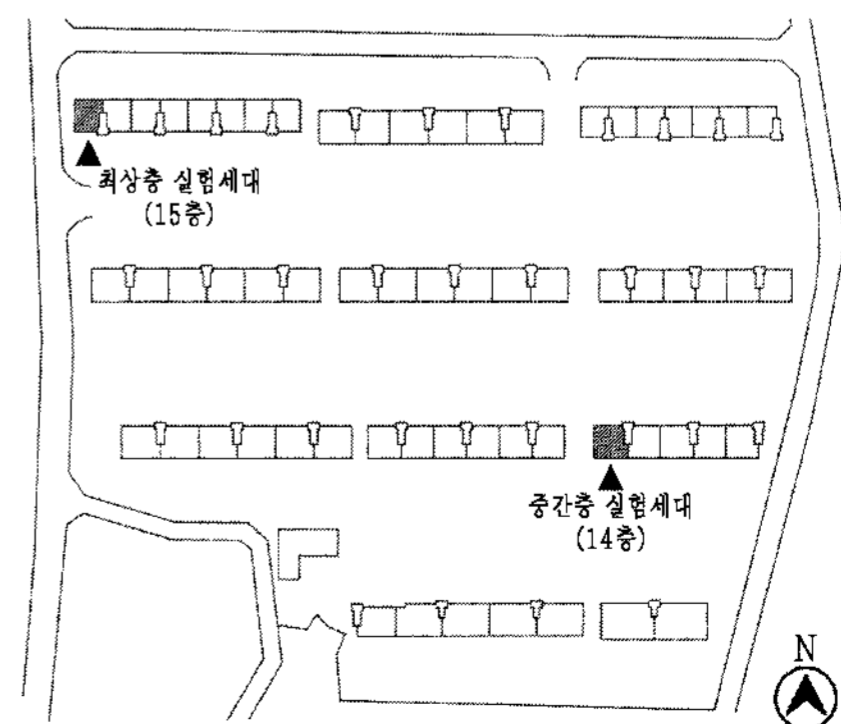
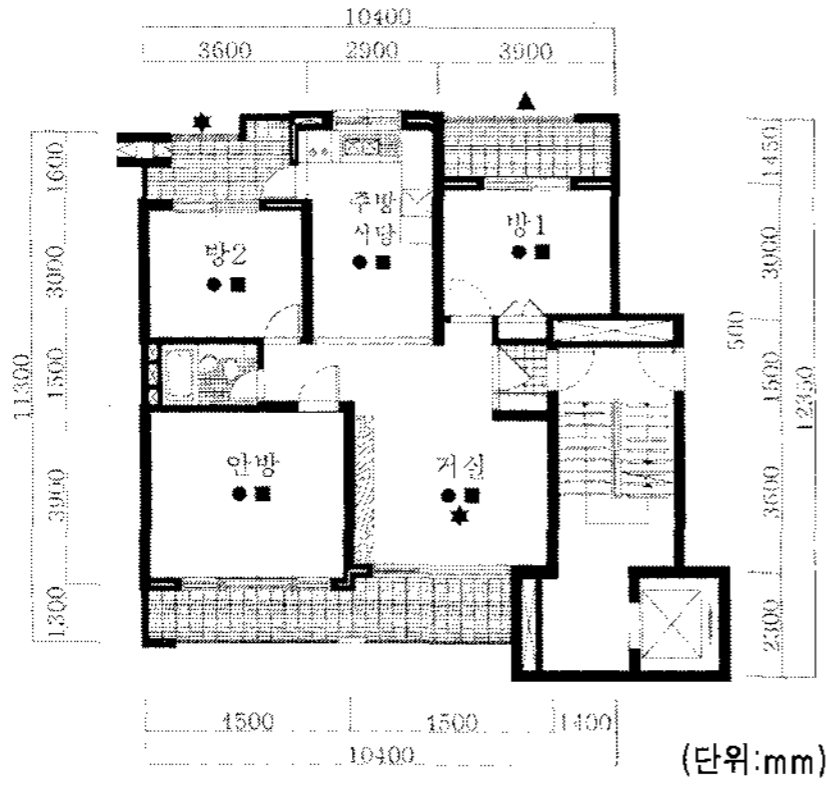
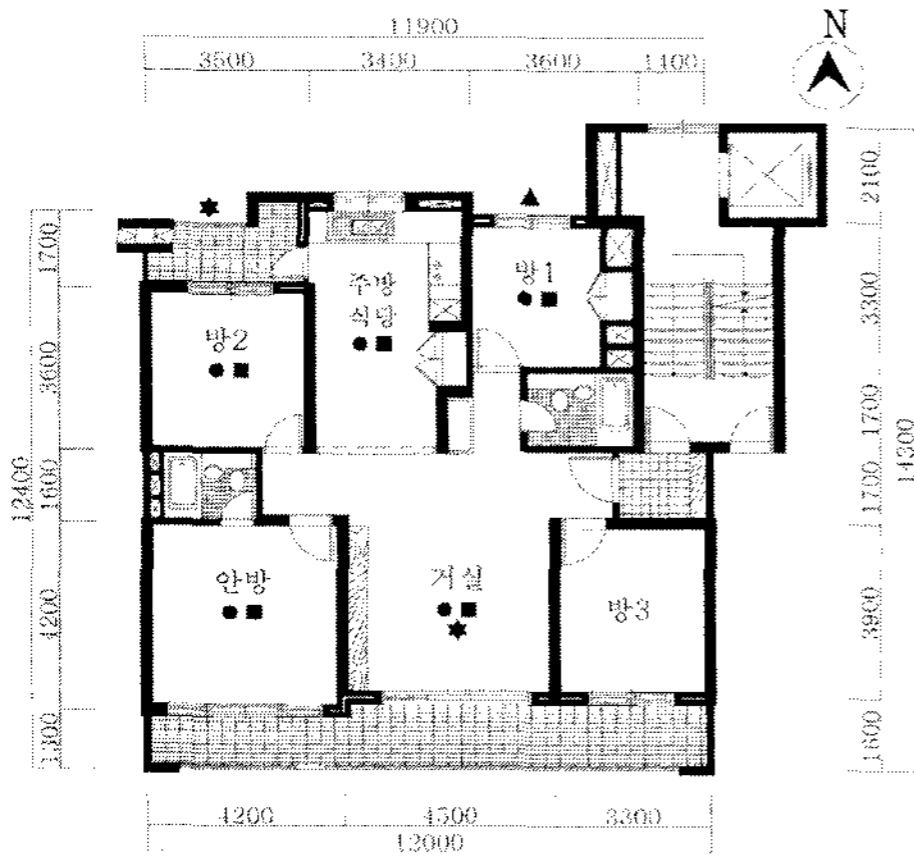


그림 1. 실험대상 공동주택 배치도



(a) 최상층 세대 (33평형)



(b) 중간층 세대 (43평형)

- [범례] ● : 온도측정점(0.8m, 1.5m높이)
 ■ : 흑구온도 측정점(1.0m높이)
 ▲ : 외기온도 측정점
 ★ : 상대습도 측정점

그림 2. 실험대상 공동주택의 평면도 및 측정점 위치

중간층(14층) 세대인 43평형은 남측 방과 안방부속 욕실 1개가 추가된 것을 제외하면 기본적으로 33평형과 거의 유사한 평면구조를 나타내고 있다. 본 실험에서는 33평형을 기준으로 43평형에 추가된 남측 방 하나(방3)는 측정대상공간에서 제외하였다. 최상층과 중간층의 실험대상공간은 가급적 동일 동, 동일 평형의 2개세대로 선정하는 것이 동

일한 외부환경조건 유지측면에서 가장 이상적이라 사료되나, 기입주한 아파트이므로 동일시기, 동일조건의 아파트의 섭외가 어려워 불가피하게 상이한 동과 평형의 세대를 실험대상공간으로 선정하였다.

2.2 지붕 단열조건

실험대상 공동주택의 지붕은 일사수열량이 상대적으로 많은 평지붕이며, 지붕면 열관류율표와 단면상세도를 표 1과 그림 3에 각각 나타내었다. 실험대상 공동주택의 지붕 열관류율은 0.298 Kcal/m²·h·°C로서 1992년 제정된 남부지역의 최상층 지붕 단열기준인 0.45Kcal/m²·h·°C보다 높은 단열성능을 나타내었으며, 2001년 개정되어 강화된 단열기준으로 현재 사용되고 있는 0.30Kcal/m²·h·°C와 근사한 단열성능을 나타낸 것으로 조사되었다¹⁾.

2.3 측정항목 및 측정방법

최상층과 중간층 세대의 실내 열환경을 평가하기 위하여 공기온도, 흑구온도, 주변벽체의 표면온도, 외기온도, 옥상표면온도 등 총 60여점의 온도를 열전대로 계측하였으며, 이 밖에도 실내외 상대습도를 함께 측정하였다. 측정점의 상세 위치를 그림 2

표 1. 지붕의 열관류율

재료명	두께 [mm]	열전도율 [Kcal/m·h·°C]	열전도저항 [m ² ·h·°C/Kcal]	열관류율 [Kcal/m ² ·h·°C]
실외측 표면	-	-	0.050	0.298
보호 모르터	18	1.300	0.014	
누름 콘크리트	60	1.600	0.038	
스티로폼	60	0.037	1.622	
시트방수	6	0.220	0.027	
고름 모르터	15	1.400	0.011	
콘크리트 슬라브	150	1.600	0.094	
스티로폼	50	0.037	1.351	
공기층	-	-	0.050	
석고보드	9	0.180	0.050	
실내측 표면	-	-	0.050	

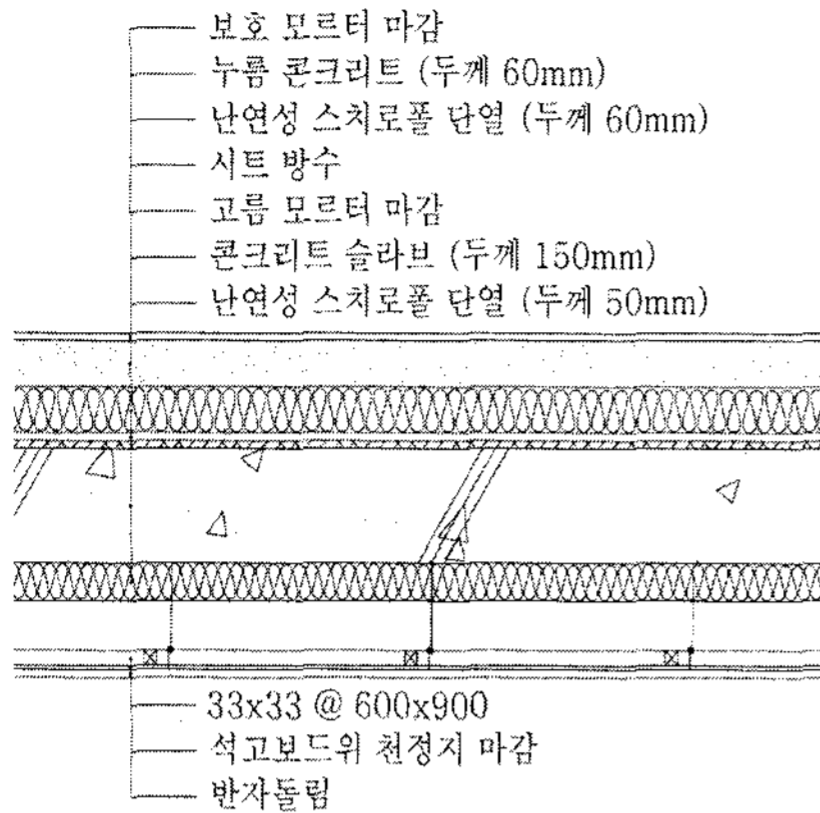


그림 3. 지붕면 단면상세도

의 평면도에 나타내었다. 각 실의 공기온도는 실 중앙의 0.8m높이와 1.5m높이를 측정점으로 설정하였으며, 각 실의 중앙 1.0m높이에 흑구온도계를 설치하여 실내복사환경을 동시에 측정하였다. 상대습도는 자기온습도계(Sato사)로 측정하였으며, 각 측정점의 온도데이터는 Data Logger(Datascan 7320, 7020, Datascan사)를 통해 매 20초마다 컴퓨터에 자동적으로 저장되도록 하였다.

3. 실험조건

3.1 실험설정조건

실험설정조건을 표 2에 나타내었다. 앞에서도 이미 언급한 바와 같이 실험은 하절기 냉방 시의 개구조건으로 설정하여 실내의 모든 개구부(창과 문)를 닫아 외기유입을 차단한 상태로 설정하였으며, 이러한 실험조건은 지붕면 일사수열에 따른 최상층 실내온도 상승효과를 보다 객관적으로 평가할 수

있는 조건이라 사료된다. 또한 실내조명 및 인체발열로 인한 실온상승을 원천적으로 배제하기 위하여 실험대상공간 내에는 전등과 각종 전열기기 등 모든 가전제품의 전원을 끈 상태에서 실험을 실시하였으며, 실험기간 중에는 사람의 실내진입을 차단하였다. 본 실험은 2003년 7월 하순부터 8월 중순까지 진행하였으나, 기간 중 비교적 기상상태가 양호하고 기온이 높은 8월 4일~6일에 측정한 데이터 중심으로 정리하였다. 본 논문에서는 8월 5일을 대표일로 설정하여 대표일의 거실, 안방에 대한 열적 특성에 대해 중점적으로 비교 분석하였다.

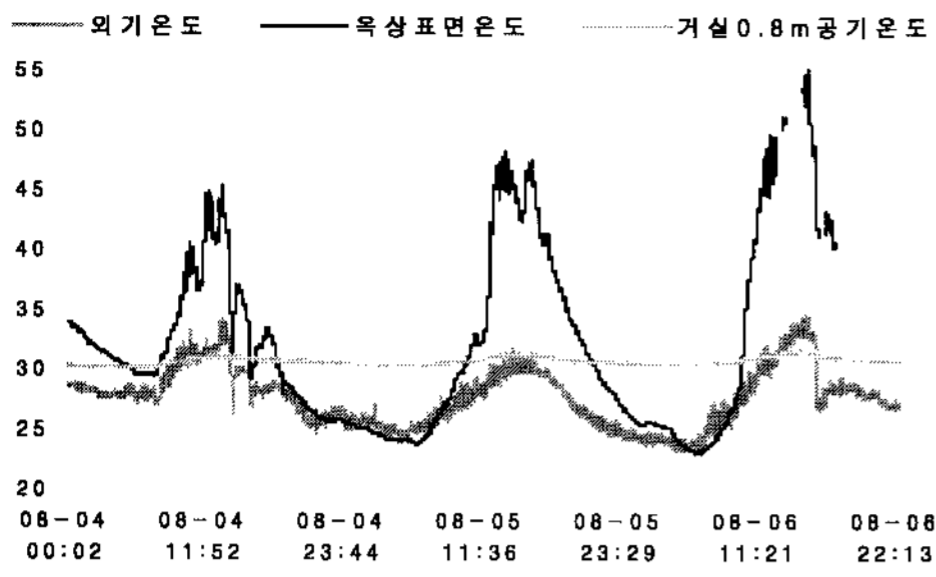
3.2 실내온열환경지표 산출조건

본 논문에서는 최상층과 중간층의 실내온도분포 이외에 실내의 열적 쾌적성을 평가하기 위하여 각종 온열환경지표를 산출하였다. 인체의 열적 중립 온도를 예측하기 위한 지표인 PMV, PMV값에 대한 불만족자의 비율을 나타낸 PPD(Predicted Percent of Dissatisfied), 평균복사온도 MRT (Mean Radiant Temperature), 신유효온도 ET^* , 신표준유효온도 SET^* 를 각각 산출하였다. 이들 온열환경지표들을 산출하기 위한 환경조건으로 인체 착의량은 얇은 여름옷(가벼운 반바지·반소매 오픈셔츠·얇은 하의) 착용시의 기초열저항치인 0.54clo, 대사량은 착석휴식 시를 가정하여 1.0met, 실내 기류속도는 0.1m/s로 가정하였다. 실내 각 위치의 공기온도, MRT, 상대습도는 실험측정치틀을 이용하여 산출하였으며, 본 논문에서는 산출한 온열환경지표를 매시간단위로 정리한 결과를 나타내었다.

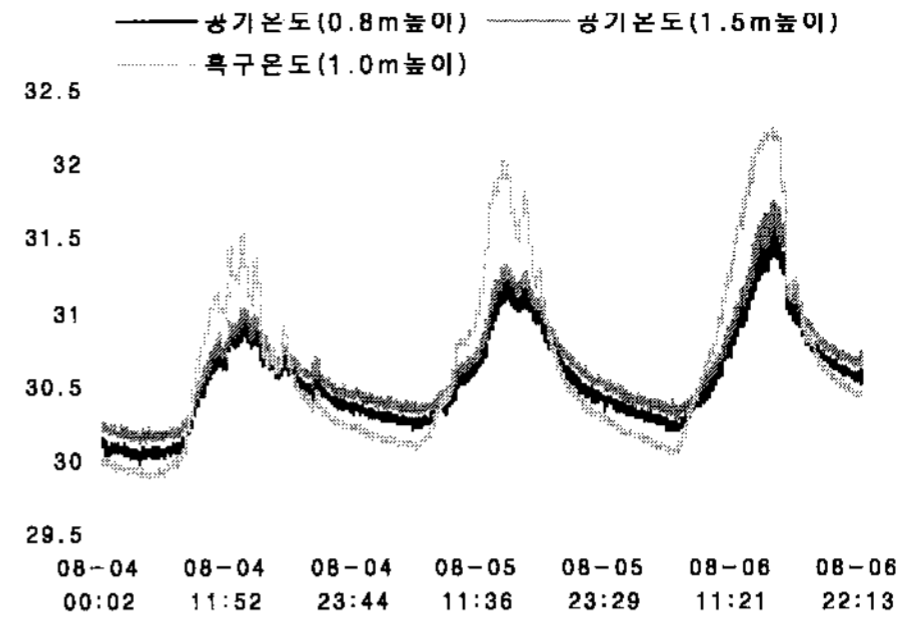
표 2. 실험설정조건 및 측정결과(대표일)

항목	실험기간	대표일	외기온도[°C] ^{주)}		실내온도[°C] ^{주)}		실내상대습도[%] ^{주)}		옥외상대습도[%] ^{주)}	
			주간	야간	주간	야간	주간	야간	주간	야간
최상층(15층)	2003. 08.04~08.06	2003. 08.05	28.7	25.5	30.8	30.4	71.2	72.0	71.3	74.2
중간층(14층)		08.05	28.5	25.5	29.5	29.1	70.3	70.2		

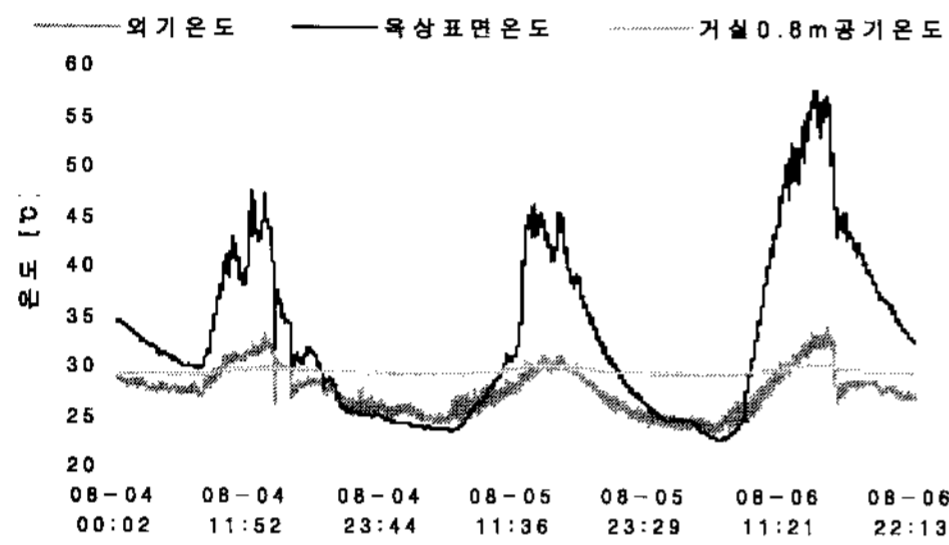
주) 본 논문에서는 주간시간대를 08:00~18:00시, 야간시간대를 당일 18:00~익일 08:00시로 정의하고 있음.



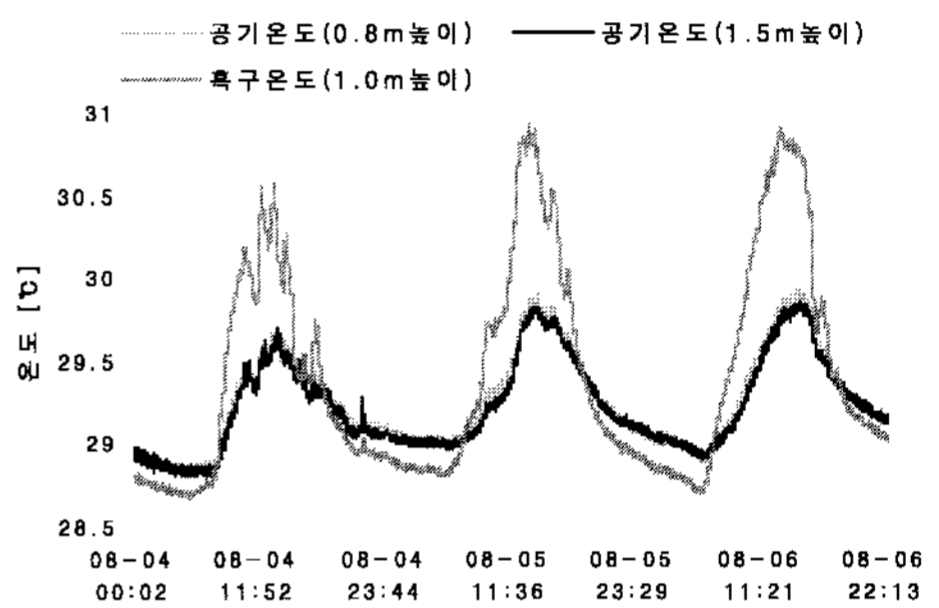
(a) 최상층



(a) 최상층



(b) 중간층



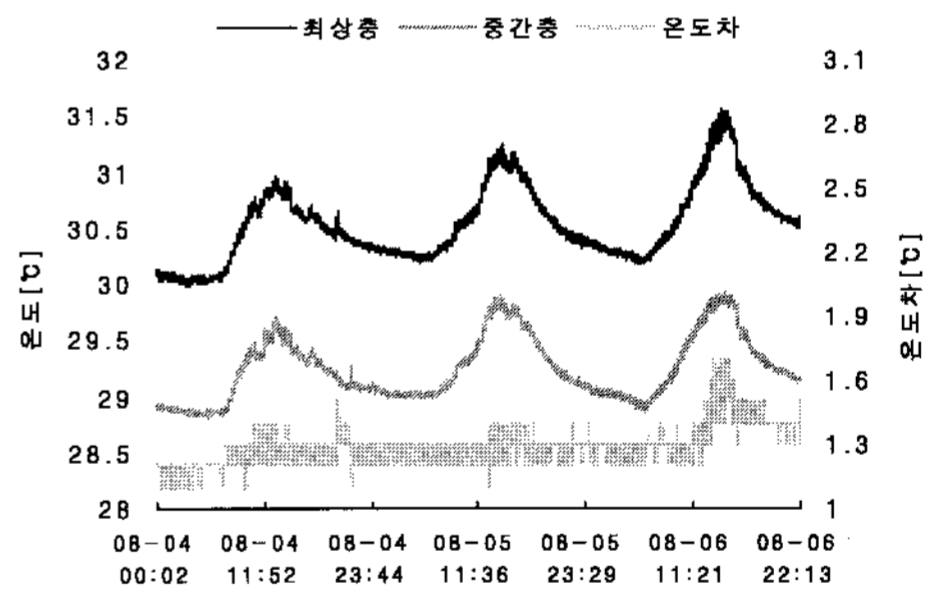
(b) 중간층

그림 4. 실내의 온도분포

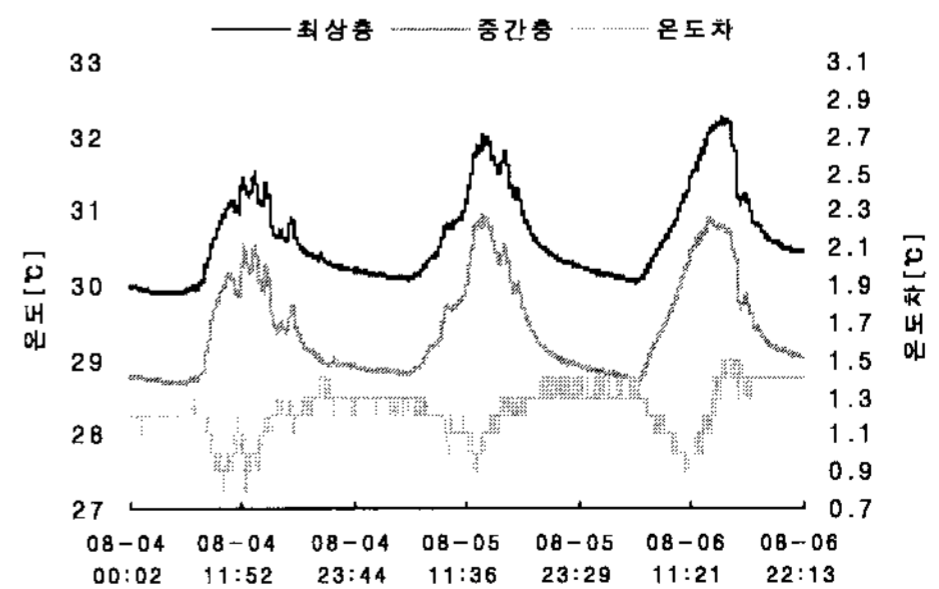
4. 실험결과 분석 및 고찰

4.1 실내온도분포

대표일의 외기온도는 주간 최고기온이 31°C, 최저기온은 새벽 무렵에 약 24°C를 나타내었으며, 주간 및 야간시간대의 평균 외기온도는 각각 28.7°C, 25.5°C를 나타내었다(표 2, 그림 4). 한편 지붕상부 표면온도는 일출과 동시에 상승하기 시작하여 정오를 넘어서면서 강한 태양복사의 영향으로 45°C를 상회하였으며, 16시 이후의 표면온도는 시간이 경과함에 따라 급속한 하강경향을 나타내었다. 지붕 콘크리트 구조체의 축열 영향으로 지붕상부 표면온도는 자정 무렵에도 외기온도를 상회하고 있음을 확인할 수 있었다. 개구부를 닫아 외기의 실내유입을 차단한 상태로 설정된 실험조건과 열용량이 큰 지붕구조체로부터의 지속적인 실내방열의 영향으로 외기온도가 현저히 낮은 야간시간대에도 거실 내 공기온도는 30°C이상의 고온을 나타내었으며, 일중 실내온도변화 또한 최상층과 중간층 세대

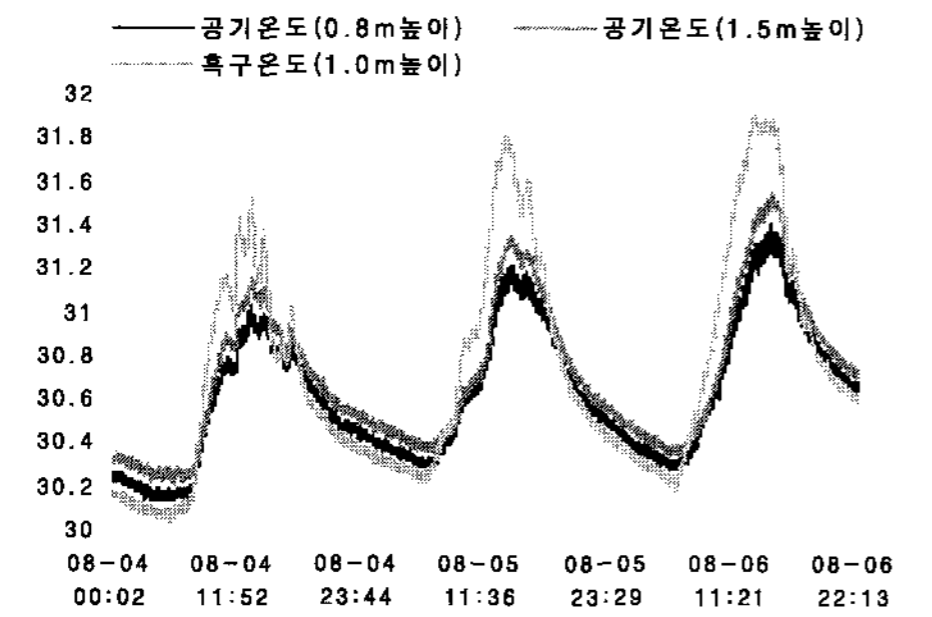


(c) 최상층과 중간층간의 거실공기온도차

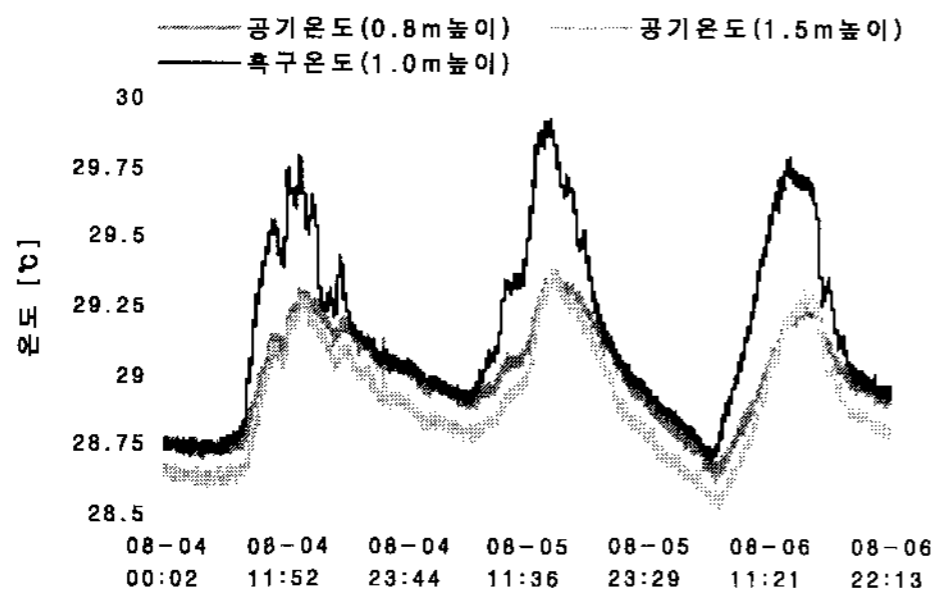


(d) 최상층과 중간층간의 욕구온도차 비교

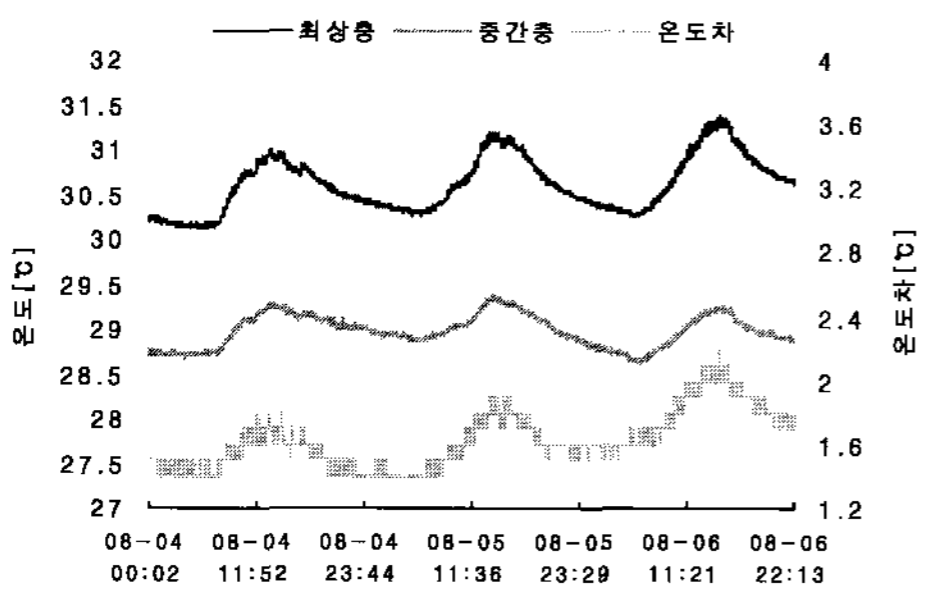
그림 5. 거실의 온도분포



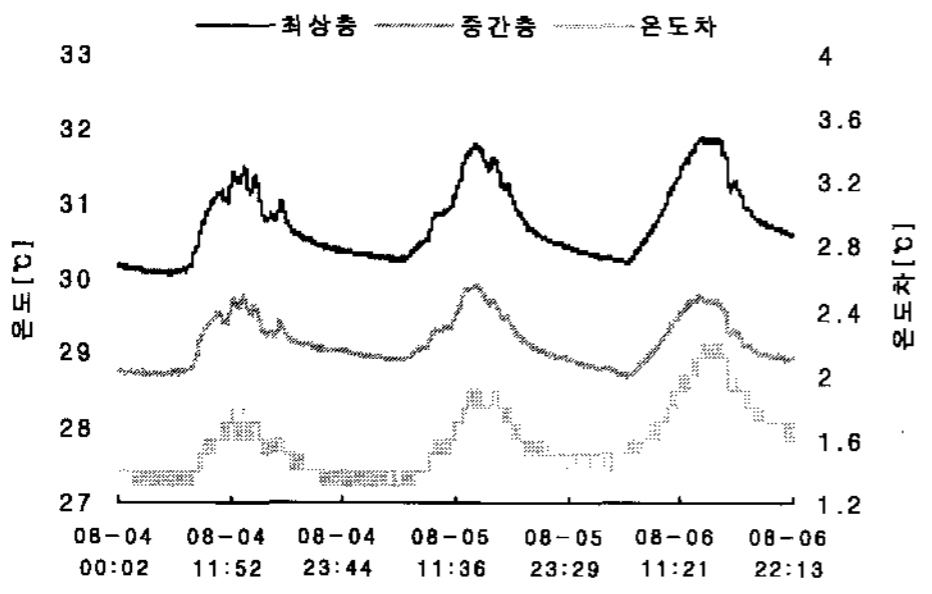
(a) 최상층



(b) 중간층



(c) 최상층과 중간층간의 안방 공기온도차



(d) 최상층과 중간층간의 흑구온도차 비교

그림 6. 안방의 온도분포

모두 각각 1°C이내의 극히 작은 온도변화폭만이 관측되었다(그림 5). 거실의 높이별 공기온도분포는 최상층과 중간층 세대 모두 0.8m, 1.5m높이에서 각각 계측한 결과를 비교하면 2지점간의 높이별 온도차는 0.2°C이내의 극히 작은 온도차만이 계측됨으로써, 높이에 따른 공기온도차는 사실상 거의 존재하지 않는 것으로 나타났다. 거실과 안방에서 계측한 흑구온도는 최상층과 중간층 세대 모두 주간의 경우 공기온도보다 최고 1°C정도 높게 나타났으나, 야간의 경우에는 역전되어 오히려 흑구온도가 공기온도보다 최대 0.3°C정도 낮은 온도를 나타내었다(그림5, 6).

최상층과 중간층 세대간의 실내공기온도차는 그림 5, 6 (c)에서 알 수 있는 바와 같이 거실과 안방 모두 비교적 일정한 온도차를 유지하였다. 대표일(8월 5일)과 그 익일(8월 6일)의 최상층과 중간층 세대간의 공기온도차는 거실의 경우 최상층 세대가 중간층 세대보다 1.2~1.7°C, 안방의 경우 1.3~2.2°C 정도 각각 높은 온도를 나타내는 것으로 조사되었다(그림 5, 6(c)). 대표일의 최상층과 중간층간의 시간대별 공기온도차는 주간의 오후시간대가 미미하나 새벽 및 오전시간대보다 다소 높게 형성되고 있음을 실험결과를 통해 확인할 수 있었다. 또한 대표일(8월 5일)과 그 익일(8월 6일)의 최상층과 중간층 세대간의 흑구온도차도 거실의 경우 최상층 세대가 중간층보다 0.9~1.5°C, 그리고 안방의 경우 1.3~2.2°C 높게 나타났다(그림 5, 6(d)). 이상의 실험결과는 최상층과 중간층 세대간의 온도차가 엄연히 상존하고 있음을 입증한 것이며, 이번 실험대상 공동주택에서는 하절기 냉방 시 최상층 세대는 중간층보다 실내공기온도 기준 1.2~2.2°C에 상당하는 고정적인 냉방부하가 추가적으로 부가되고 있음을 입증한 것이다. 향후 건물지붕에 대한 추가적인 단열보강계획의 수립 등 최상층 세대의 실온상승 억제를 위한 보다 구체적인 방안의 강구와 적절한 대책마련이 필요한 것으로 사료된다.

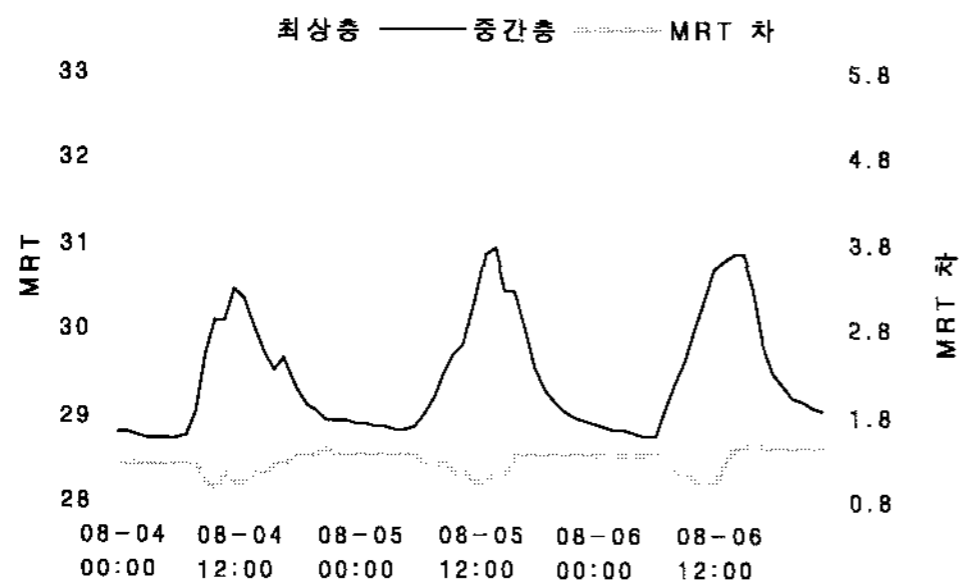
4.2 실내온열환경지표

(1) MRT분포

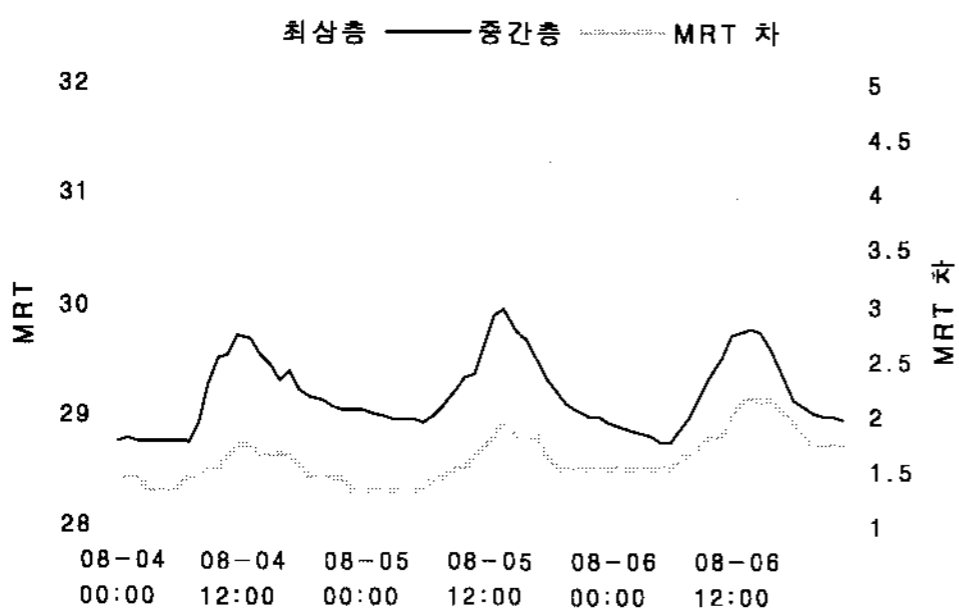
대표일의 거실과 안방의 MRT는 최상층 세대가 30.2~32°C의 값을 나타내었으나, 중간층 세대는 최상층보다 1.0~1.9°C 낮은 28.8~30.9°C의 값을 나타냄으로서 최상층과 중간층간의 실내복사환경에도 확연한 차이가 존재하고 있음을 확인할 수 있었다(그림 7). 대표일의 시각대별 MRT분포 추이는 22시 무렵부터 익일 일출직전의 심야시간대에 최저치를 나타내었으며, 이 시간대의 MRT값 또한 비교적 일정한 값을 유지하는 것으로 나타났다. 주간시간대의 MRT는 실내공기 온도분포와 유사한 분포특성을 나타내어, 일출과 동시에 급속히 상승하기 시작하여 14시 무렵을 정점으로 그 이후 시간이 경과함에 따라 지속적인 하강곡선을 나타내었다.

(2) PMV분포

인체의 열적중립온도 평가지표인 PMV는 실험

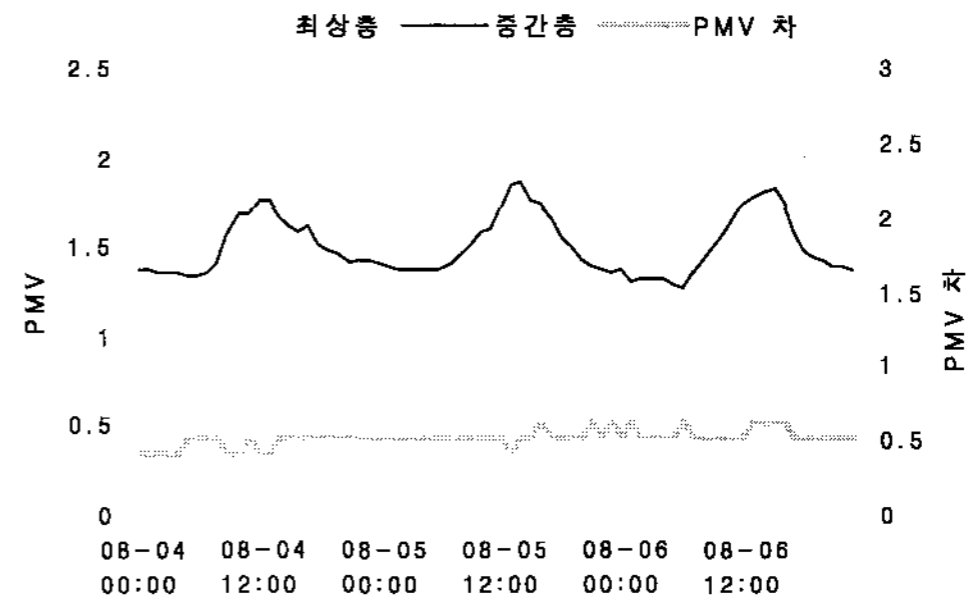


(a) 거실

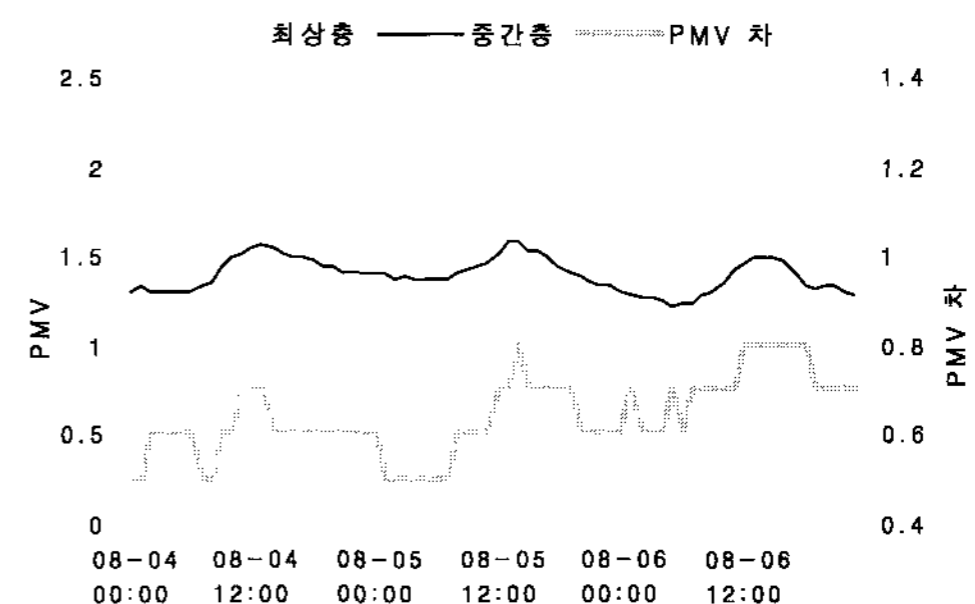


(b) 안방

그림 7. MRT분포

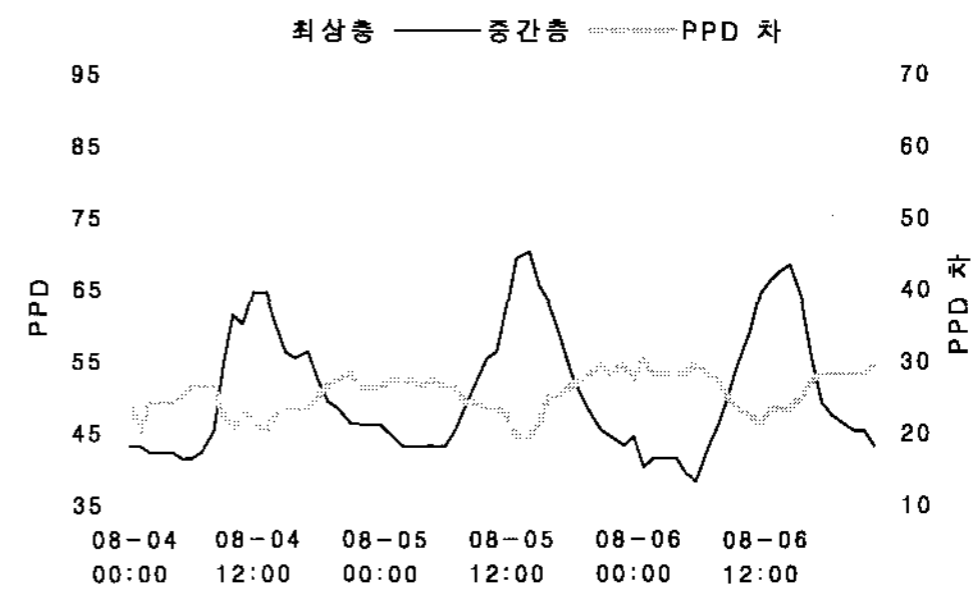


(a) 거실

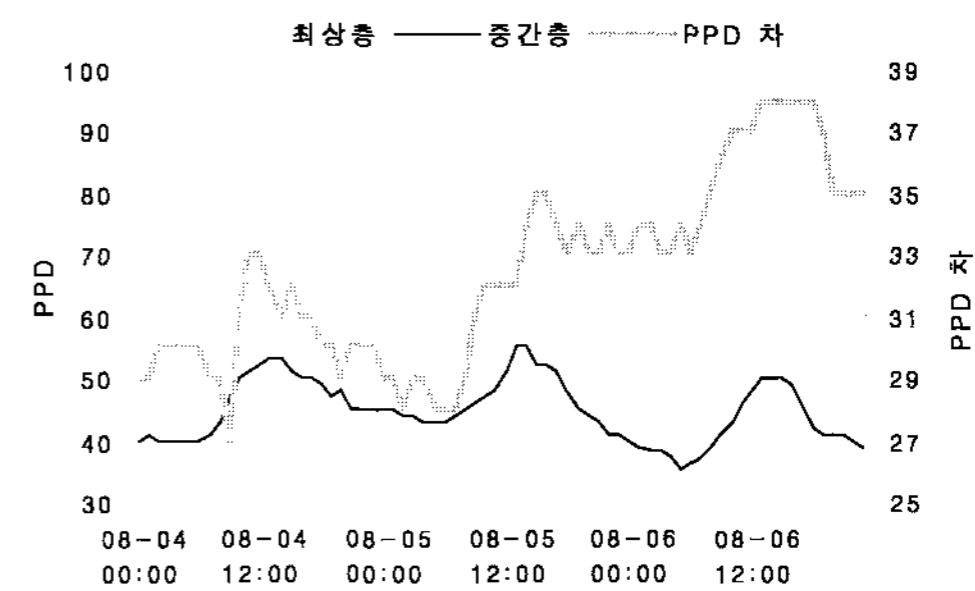


(b) 안방

그림 8. PMV분포

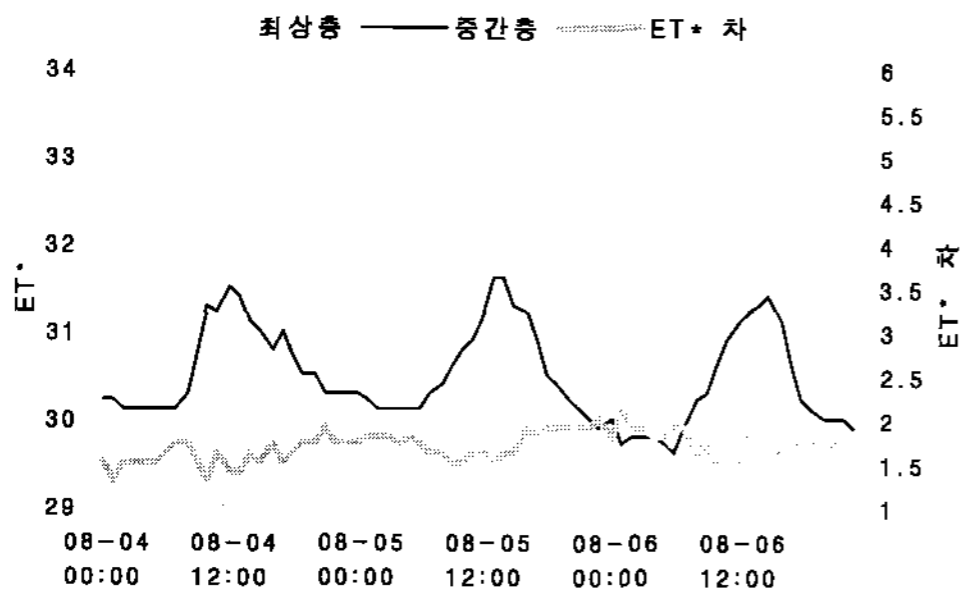


(a) 거실

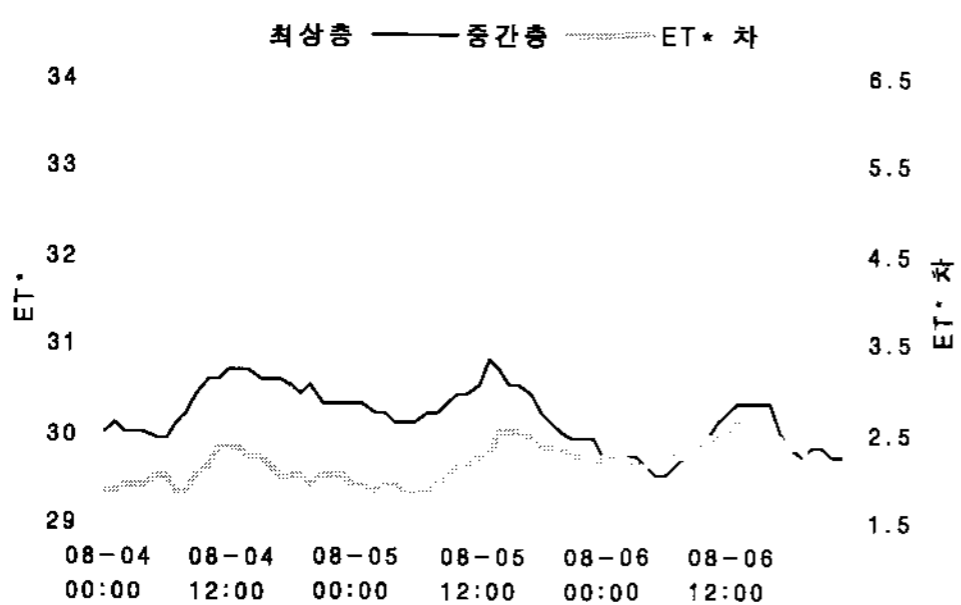


(b) 안방

그림 9. PPD분포

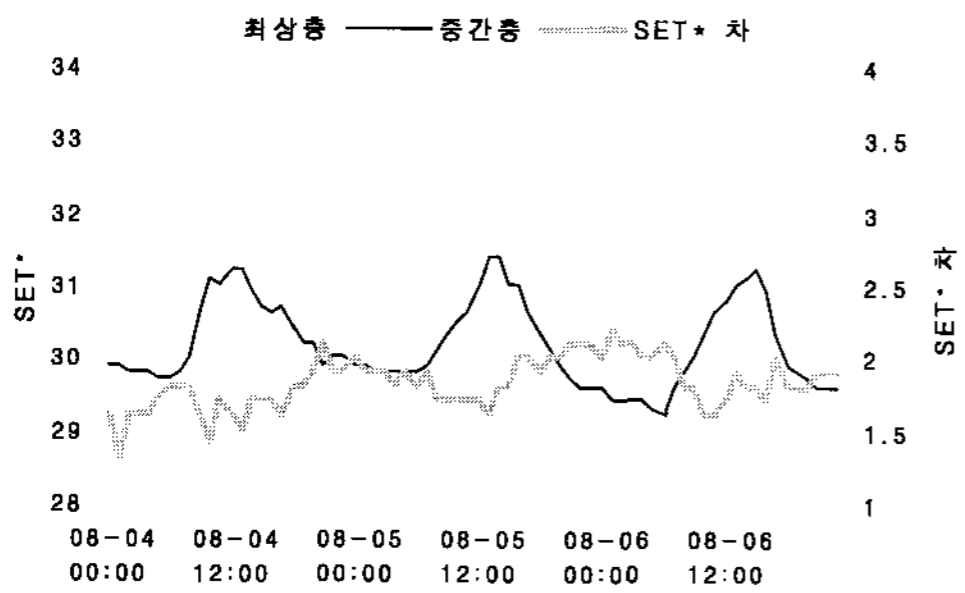


(a) 거실

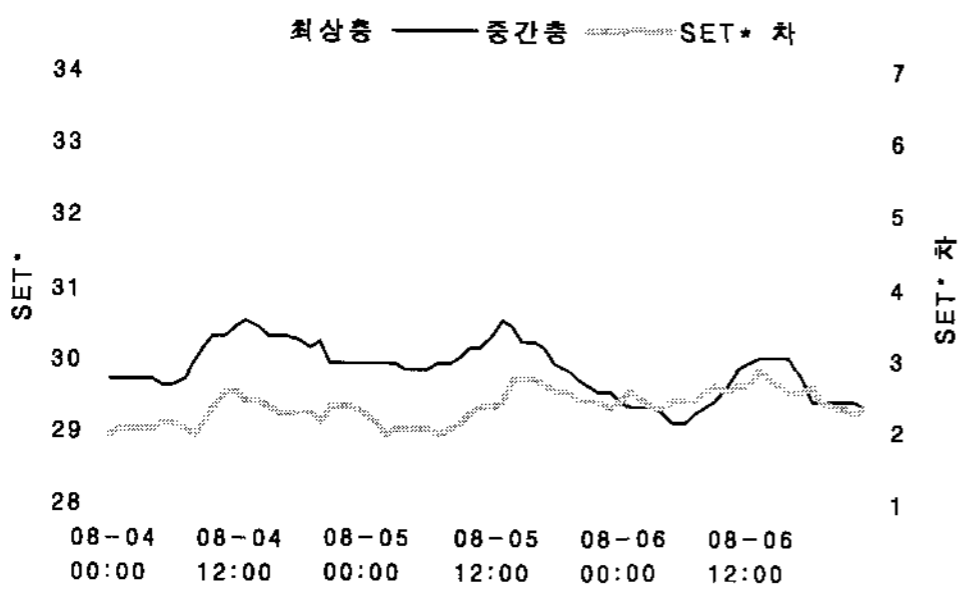


(b) 안방

그림 10. ET*분포



(a) 거실



(b) 안방

그림 11. SET*분포

설정조건이 하절기 모든 개구부를 닫은 상태로 설정되어 최상층과 중간층 세대 모두 인체의 중립온도를 크게 상회하는 것으로 나타났다(그림 8). 대표일의 거실과 안방의 PMV분포는 최상층 세대의 경우 약 1.8~2.3으로서 중립온도보다 훨씬 높은 값을 나타내었으나, 중간층 세대에서는 최상층보다 낮은 1.3~1.8을 나타내어 전반적으로 최상층보다는 중간층이 0.5~0.8정도 낮은 값을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 앞의 실내공기온도 분석결과에서도 이미 확인된 바와 같이, PMV분포를 통해서도 최상층과 중간층 세대간에는 확연한 열적차가 상존하고 있음을 재차 확인할 수 있었다.

(3) PPD분포

실내환경에 대한 열적 불만족자의 비율을 나타낸 PPD분포는 최상층의 거실과 안방의 경우 약 69~89%를 나타내었으나, 중간층에서는 거실과 안방이 각각 43~70%, 40~55%으로써 중간층 세대가 최상층보다 열적 불만족자 비율이 20~35% 가량 낮은 것으로 조사되었다(그림9). 그러나, 양 세대 모두 권장 쾌적범위(PPD 10%이하)를 크게 상회하는 결과를 나타냄으로서 주야간에 관계없이 실내환경은 열적으로 크게 불쾌적인 상태가 지속되는 것으로 나타났다.

(4) ET*분포

대표일의 거실과 안방의 ET*는 최상층 세대가 31.8~33.2°C, 중간층 세대가 30.1~31.6°C 범위 내에 분포함으로써, 앞에서 검토한 온열환경지표들과 동일하게 최상층이 중간층보다 1.5~2.5°C 정도 높은 것으로 조사되었다(그림 10). 시각대별 ET*분포는 일출전의 새벽시간대에 최저치를, 14시를 전후하여 하루 중 최고치를 나타내었다.

(5) SET*분포

그림 11의 분석결과에서 알 수 있는 바와 같이 대표일의 SET*는 최상층 세대가 31.6~33.2°C, 중간층 세대가 29.8~31.4°C를 나타내어 최상층 세대가 중간층보다 1.6~2.7°C 정도 높게 나타났

다. SET*분포를 통해서도 최상층과 중간층 세대간에는 확연한 온도차가 실제로 상존하고 있음을 재차 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 공동주택의 하절기 개구부 밀폐 시 지붕면 일사수열이 최상층의 실내 열환경에 미치는 영향을 파악하기 위한 실측실험을 실시하여 검토대상공간에 대한 실내온도 및 온열환경지표를 산출하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- 1) 평지붕 공동주택에 대한 대표일과 익일의 양일간의 실측실험 결과, 최상층 세대는 중간층보다 실내공기온도는 1.2~2.2°C, 실내흑구온도는 0.9~2.2°C 높게 나타났으며, 이러한 온도차는 일사조건, 기온 등의 기상상태에 따라 다소 변화될 수 있을 것으로 사료된다.
- 2) 최상층과 중간층 세대의 실내온열환경지표에 대한 평가에 있어서도 양 세대간에는 확연한 열적 차가 상존하고 있음을 확인할 수 있었다. 대표일과 익일의 양일간의 실측실험결과 최상층이 중간층 세대보다 MRT는 1.0~1.9°C, PMV는 0.5~0.8, PPD는 20~35%, ET*

는 1.5~2.5°C, SET*는 1.6~2.7°C 정도 높게 평가되었다.

- 3) 하절기 공동주택의 최상층과 중간층 세대간에는 주목할 만한 온도차가 상존하고 있음을 본 실험을 통해 확인할 수 있었으며, 이러한 온도차는 결국 냉방 시 추가적인 열부하 요인으로 작용하므로, 지붕 일사차폐장치의 설치, 지붕 구조체에 대한 단열보강 등 최상층 실온상승 억제를 위한 대책마련이 필요한 것으로 조사되었다.

후 기

본 연구는 2004학년도 대구가톨릭대학교 일반연구비 지원에 의한 것임.

참 고 문 헌

1. <http://www.moleg.go.kr/>, “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제21조”, 법제처
2. 다투化工株式會社, “熱と環境”, 1988.06
3. P. O. Fanger, “Thermal comfort”, Danish Technical Press., 1973