

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

*Journal of the Korean Solar Energy Society*

Vol. 25, No. 1, 2005

# 공동주택의 하절기 자연환기 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 Opened -

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, globe temperature and thermal comfort index between the top floor unit and the middle floor unit by measuring them at the sample units on the condition that all the openings of the units are opened. 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 three brief results as follows. Indoor air temperature difference between the two sample units shifts a day. Indoor air temperature at the top floor unit is 0~1.8°C higher than that of the middle floor unit from 12:00 p.m. to 12:00 a.m. and 0~2.8°C lower from 12:00 a.m. to 12:00 p.m. The evaluation of the indoor thermal comfort index and the globe temperature shows similar results as the indoor air temperature measuring. Results of this experiment verified the actual existence of indoor air temperature difference between the top floor unit and the middle one and this difference comes from the heat storage of the roof.

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

---

## 1. 서 론

지붕면 일사수열은 구조체 온도상승에 따른 실내 관류열량 유입과 구조체 축열에 따른 열적지연 현상 수반 등 최상층 실내온열환경 형성에 영향을 미치는 하나의 중요 환경요소로 인식되고 있다. 특히 일사수열량이 많은 하절기에 있어서 지붕에 직접 면해 있는 최상층세대의 경우 지붕 구조체가 단일기준을 충족시켰음에도 불구하고 일사수열에 기인한 실내 환경악화의 우려가 말끔히 불식되지 않고 있다. 필자는 이와 같은 하절기 지붕면 일사수열이 최상층 실내온열환경에 미치는 영향을 파악하기 위한 실측 실험을 실시하여 냉방시를 가정한 개구 밀폐조건에 대한 실험결과를 이미 투고한 바 있다<sup>1)</sup>. 본 논문은 그 후속연구로서 하절기 실내의 모든 개구부를 개방하여 자연환기 시 지붕면 일사수열에 따른 최상층 실내온열환경을 중간층세대와의 비교실험을 통해 검토하였다. 지붕면 일사수열의 영향이 비교적 클 것으로 추정되는 평지붕 공동주택을 실험대상공간으로 선정하였으며, 하절기 비냉방시를 가정하여 자연환기시의 최상층과 중간층세대의 종합적인 실내 열환경을 비교 평가하였다. 지붕면 일사수열에 따른 최상층세대의 공기온도, 후쿠온도, 온열환경지표 산출을 통해 최상층 세대의 종합적인 실내 열환경을 평가하고 최상층과 중간층세대간의 온도차 발생여부의 확인과 온도차를 파악함으로써 공동주택의 지붕단열성능 적합성 여부를 평가할 수 있는 기초데이터를 제시하는데 본 연구의 목적이 있다.

## 2. 실험개요

### 2.1 실험대상공간

실험대상공간은 대구광역시 수성구에 소재한 총 12개동, 930세대 규모의 대단위 아파트 2개 세대를 선정하였으며, 1988년 준공한 지하1층, 지상15층, 옥탑1층 규모의 철근콘크리트구조 계단식 아파트이다. 지붕은 일사수열량이 상대적으로 많은 평지

붕 슬래브 형식을 취하고 있다. 실험대상공간은 동일단지 내에 위치한 평형과 동이 상이한 2개 세대로서, 33평형의 최상층(15층) 1개 세대와 43평형의 중간층(14층) 1개 세대를 선정하였다(그림 1). 실험대상공간의 향은 남향으로서 각 동(棟)의 서쪽에 면한 층세대이며, 중간층세대는 최상층세대와 가급적 유사한 외부환경조건이 유지될 수 있도록 15층 건물의 14층의 고층부로 배정하여 2세대 모두 유사한 높이가 되도록 하였다. 실험대상 세대의 평면구성을 살펴보면 최상층(15층) 세대인 33평형은 방 3개, 1개의 거실과 주방, 욕실로 구성되어 있으며, 중간층(14층) 세대인 43평형은 남측 방 1개와 안방부속욕실 1개가 추가된 것을 제외하면 기본적으로 33평형과 거의 유사한 평면형식을 취하고 있다(그림 2). 본 실험에서는 33평형을 기준으로 43평

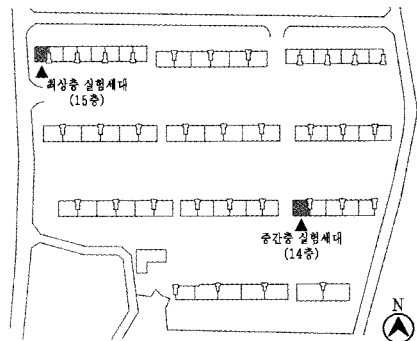
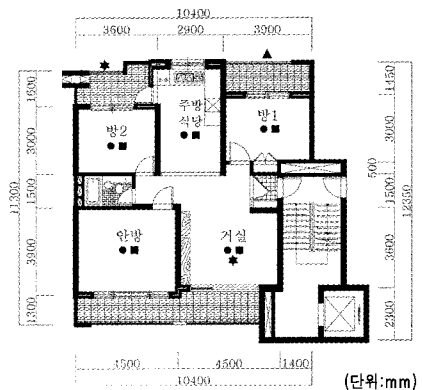
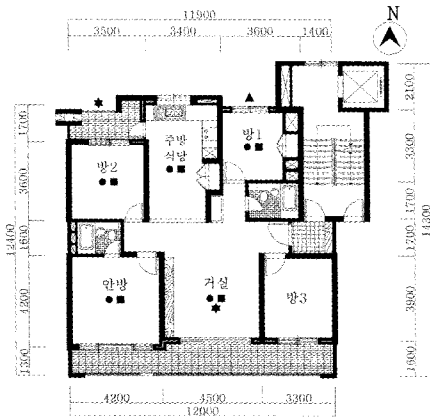


그림 1. 실험대상 공동주택 배치도



(a) 최상층 세대 (33평)



(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

형에 추가된 남측 방 하나(방3)는 측정대상공간에서 제외하였다. 실험대상공간은 가급적 2세대 모두 동일 동, 동일 평형으로 설정하는 것이 동일한 외부 환경조건 유지측면에서 이상적이라 사료되나, 기압주한 아파트이므로 동일시기, 동일조건의 아파트의 섭외가 어려워 불가피하게 상이한 동과 평형의 세대를 선정하였다.

## 2.2 지붕 단열조건

실험대상 공동주택의 지붕형식은 일사수열량이 상대적으로 많은 평지붕으로 되어 있으며, 지붕면 열관류율을 표 1에 나타내었다. 실험대상 공동주택은 1988년에 준공되었으나 지붕 열관류율은 0.298 Kcal/m<sup>2</sup>·h·°C로서 2001년에 새롭게 개정되어 강화된 단열기준으로 현재 사용되고 있는 0.30Kcal/m<sup>2</sup>·h·°C와 근사한 단열성능을 나타낸 것으로 조사되었다<sup>2)</sup>.

## 2.3 측정항목 및 측정방법

공기온도, 흑구온도, 주변벽체 표면온도, 외기온

도, 옥상표면온도 등 총 60여점을 열전대로 계측하였으며, 실내의 상대습도도 함께 측정하였다. 각 실의 공기온도 측정점의 위치와 높이는 실 중앙의 0.8m높이와 1.5m높이로 설정하였으며, 흑구온도는 각 실의 중앙 1.0m높이에 설치하여 실내복사환경을 계측하였다(그림2).

## 3. 실험조건

### 3.1 실험설정조건

실험설정조건(표 2)은 실험기간 중 최상층과 중간층세대내의 모든 개구부를 개방하여 비냉방조건으로 설정하였으며, 자연환기시 최상층과 중간층세대의 열환경을 비교할 수 있도록 하였다. 또한 실내 조명 및 인체발열로 인한 실온상승을 원천적으로 배제하기 위하여 실험대상공간 내의 전등과 각종 전열기기 등 모든 가전제품의 전원공급 및 사람의 실내 진입을 차단한 상태에서 실험을 실시하였다. 실험은 2003년 7월 하순부터 8월 중순 사이에 진행하였으며, 비교적 기상상태가 양호하고 기온이 높은 8월 8

표 1. 지붕의 열관류율

재료명	두께 [mm]	열전도율 [Kcal/m·h·°C]	열전도저항 [m <sup>2</sup> ·h·°C/Kcal]	열관류율 [Kcal/m <sup>2</sup> ·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	

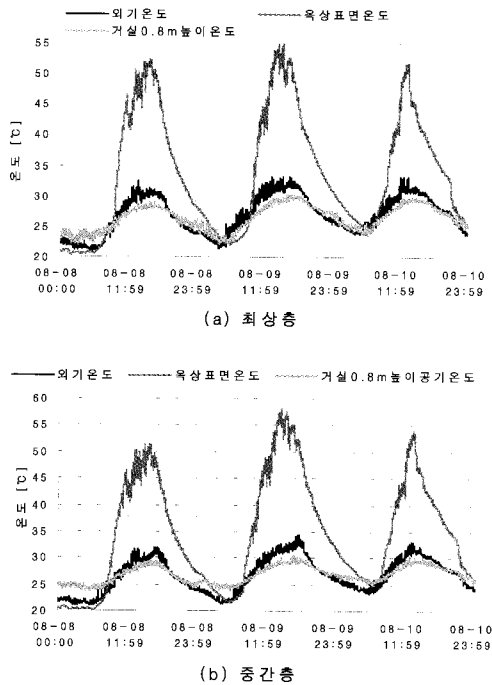


그림 3. 실내외 온도분포

일~10일에 계측한 데이터 중심으로 정리하였다. 본 논문에서는 실험결과에 대한 효율적인 고찰을 위하여 8월 9일을 대표일로 설정하고 대표일의 거실, 안방의 열환경에 대해 중점적으로 분석하였다.

### 3.2 실내온열환경지표 산출조건

본 논문에서는 최상층과 중간층세대의 온도분포 이외에 열적 쾌적성을 평가하기 위한 각종 온열환경지표를 산출하여 매시간단위로 나타내었다. 인체의 열적 중립온도를 예측하기 위한 PMV(Predicted Mean Vote), PMV값에 대한 불만족자의 비율을 나

타낸 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) 착의시의 기초 열저항치로 가정하여 0.54clo, 대사량은 착석휴식 시로 가정하여 1.0 met, 실내기류속도는 0.3m/s로 설정하였다. 온열환경지표 산출에 필요한 실내공기온도, MRT, 상대습도는 실험측정치를 각각 이용하였다.

## 4. 실험결과 분석 및 고찰

### 4.1 실내온도분포

대표일의 외기온도는 최고기온이 약 33~34.5℃, 최저기온이 약 22℃로서 비교적 높은 온도를 기록하였다(그림 3, 표 2). 대표일의 지붕상부 표면온도는 낮 최고온도가 55~58℃, 최저온도는 새벽녘에 22℃를 나타내어 35℃전후의 큰 폭의 일중 온도변화가 반복되는 것으로 조사되었다. 지붕상부 표면온도는 주간에는 강한 태양복사의 영향으로 14~15시 무렵에 최고치를 나타내었으나, 야간에는 야간복사의 영향으로 지붕상부 표면온도는 지속적으로 하강하여 새벽 6시를 전후하여 최저온도인 외기온도에 근사한 온도를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다(그림 3). 실내공기온도는 상대적으로 온도가 높은 주간시간대에는 외기보다 약 2~3℃ 낮은 온도를 나타내었으나, 일몰 후 야간시간대에는 외기온도에 근사한 온도를 나타내었다(그림 3).

표 2. 실험설정조건 및 대표일의 측정결과

항목	실험기간	대표일	외기온도(℃) <sup>주)</sup>		실내온도(℃) <sup>주)</sup>		실내상대습도(% <sup>주)</sup>		옥외상대습도(% <sup>주)</sup>	
			주간	야간	주간	야간	주간	야간	주간	야간
최상층(15층)	2003.	2003.	30.1	25.7	28.1	25.8	60.8	73.9	60.4	68.1
중간층(14층)	08.08~08.10	08.09	30.0	25.3	27.4	26.9	60.2	69.5		

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

거실과 안방의 공기온도와 흑구온도 분포를 그림 4, 5에, 그리고 대표일의 최상층과 중간층세대에서 매시간 단위로 측정된 온도와 양 세대간의 온도차를 표 3에 나타내었다. 창을 통해 실내로 유입되는 외기에 연동되어 실내공기온도는 시시각각 변화하는 양상을 보였으며, 이번 실험결과에서는 거실과 안방의 높이(0.8m, 1.5m높이)에 따른 온도차는 거의 발생되지 않은 것으로 나타났다(그림 4, 5(a), (b), 표 3). 실내복사환경을 평가한 흑구온도도 실내공기온도와 거의 유사한 분포특성을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다(그림 4, 5(a), (b)). 대표일의 거실 공기온도(0.8m높이)는 최상층에서 22~30℃, 중간층은 24~30℃ 범위 내에서 분포하였으며, 최저온도의 경우 최상층이 중간층보다 약 2℃정도 낮은 것으로 나타났다(그림 4, 5(c), 표 3). 이번 실험에서 대표일의 최상층과 중간층간의 온도차는 오전 11시~익일 밤 1시 사이의 시간대에서는 최상층이 중간층보다 거실이 최대 1℃, 안방은 1.8℃정도 높게 나타났으나, 그 나머지 시간대인 밤 1시~오전 11시 사이의 시간대에는 역전되어 중간층이 오히려 최상층보다 거실이 최대 2.5℃, 안방은 2.8℃정도 높은 것으로 조사되었다. 즉 야간시간동안 야간복사와 대류에 의해 냉각된 지붕 콘크리트 구조체는 일출 후 태양복사가 다량 유입됨에 따라 지붕 표면온도는 상승하게 되고 지붕을 통해 실내로 유입되는 관류열량 또한 증가함으로써 오전 11시 이후에는 최상층 실내온도가 중간층보다 높게 나타났다. 이러한 현상은 일몰 후 지붕 콘크리트 축열량이 현저히 줄어든 밤 1~2시 무렵까지 지속되는 것으로 나타났다. 그 이후 아침까지 야간복사와 대류에 의해 지붕 구조체에 내재된 열량을 외부로 방출함으로써 지붕 구조체는 냉각되어 지붕에 직접 면해있지 않은 중간층의 실내공기온도가 오히려 최상층세대보다 높은 값을 나타내었다. 이러한 현상은 오전 11시 무렵까지 지속되었으나 일출이후에는 최상층과 중간층 세대간의 온도차는 급격히 감소하였다.

이 같은 양상은 실내흑구온도 분포를 통해서도

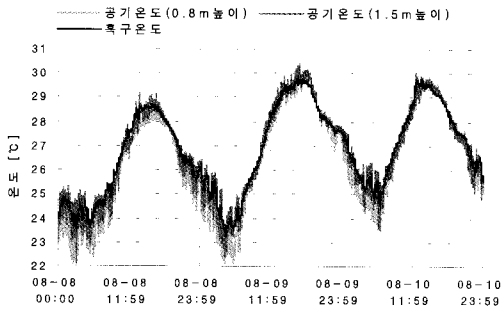
확인할 수 있었다. 대표일의 흑구온도는 15시 무렵부터 익일 새벽 1시 전후까지는 앞에서 검토한 실내 공기온도 경향과 동일하게 지붕의 태양복사 수열의 영향으로 최상층세대가 중간층보다 거실이 최대 0.7℃, 안방은 최대 1.2℃정도 높게 나타났으나, 그 후 밤 1시부터 정오 무렵까지는 이와는 반대로 최상층세대가 중간층보다 거실이 최대 1.9℃, 안방은 최대 2℃정도 낮은 온도를 나타내었다(그림 4, 5(d), 표 3). 하절기 세대내 모든 개구부를 개방함으로써 자연환기 도입조건으로 설정한 본 실험에서는 공동주택의 최상층과 중간층세대간의 온도차는 최상층세대의 실내온도가 주야간 모두 중간층보다 일중 높은 온도를 나타낸 개구부 밀폐조건시의 검토결과<sup>1)</sup>와는 달리 정오에서 자정 무렵까지의 고온시간대에는 최상층세대의 온도가 중간층보다 높게 나타났으나, 자정에서 정오사이의 상대적으로 기온이 낮은 시간대의 경우 오히려 중간층이 최상층보다 높은 온도를 나타낸 것으로 나타났다. 이와 같은 최상층과 중간층세대간의 실질적인 온도차는 외기 온도, 일사량, 풍속, 풍향 등의 외부기상조건과 실험대상 세대의 입지조건, 환기량에 영향을 미치는 평면구조, 개구부형식, 지붕형식, 지붕구성재료 및 지붕단열성능 등의 건축물에 관련된 여러 변수에 따라 결정될 것으로 추정된다.

#### 4.2 실내온열환경지표

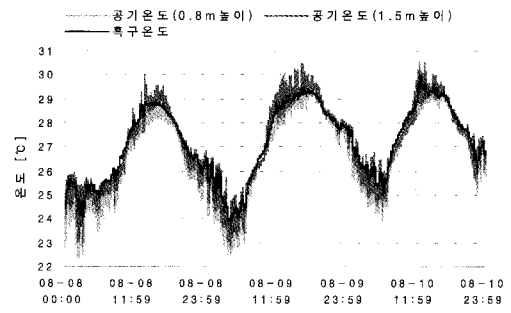
실험데이터와 환경조건을 바탕으로 산출한 온열환경지표 분포도를 그림 6~10에 나타내었으며, 대표일에 대한 최상층과 중간층세대의 온열환경지표와 양 세대간의 온열환경지표 차를 표 4, 5에 나타내었다.

##### (1) MRT분포

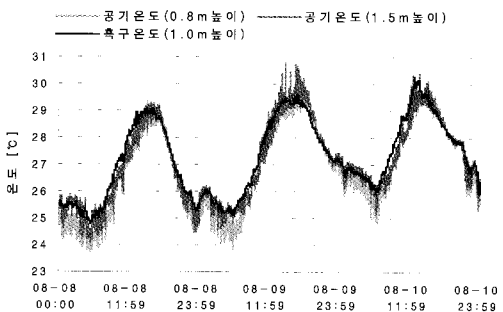
대표일의 최상층과 중간층세대의 MRT는 최상층이 23.7~29.7℃, 중간층이 25.3~29.4℃를 나타내어 최상층세대의 MRT 일변화폭이 중간층보다 다소 큰 것으로 나타났다(그림 6, 표 4, 5). 대표일



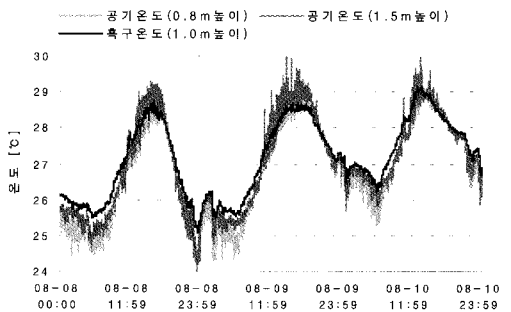
(a) 최상층



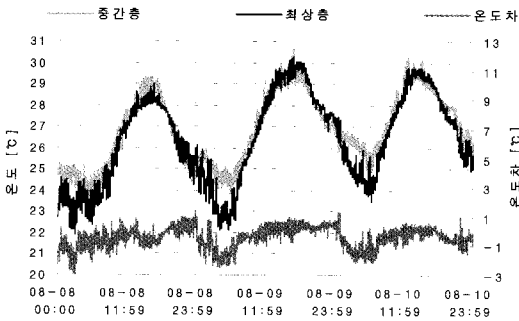
(a) 최상층



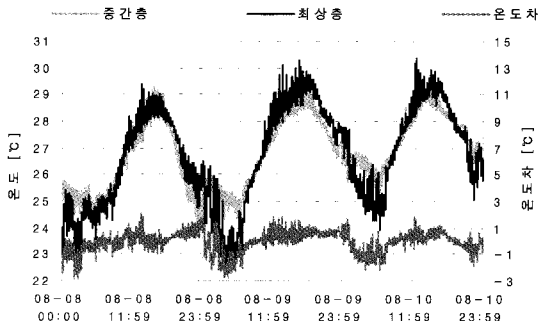
(b) 중간층



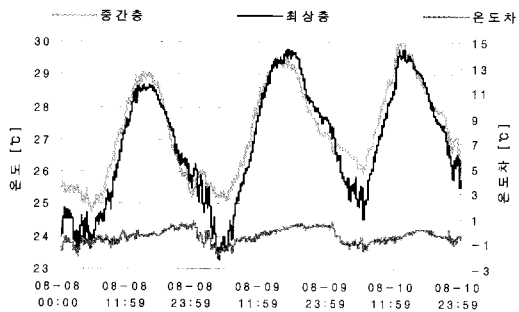
(b) 중간층



(c) 최상층과 중간층간 공기온도 비교

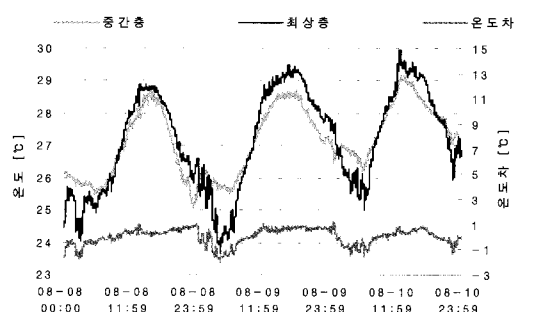


(c) 최상층과 중간층간 공기온도 비교



(d) 최상층과 중간층간 온도차 비교

그림 4. 거실의 온도분포



(d) 최상층과 중간층간 온도차 비교

그림 5. 안방의 온도분포

표 3. 대표일의 최상층과 중간층의 온도 비교

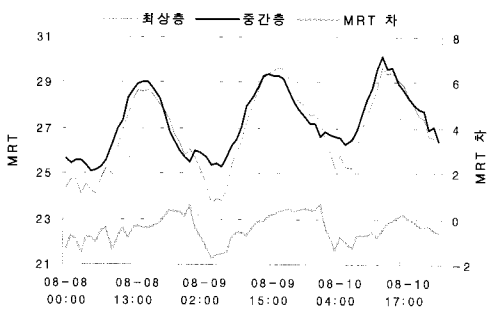
구분	공기온도						흑구온도					
	거실			안방			거실			안방		
	최상층	중간층	온도차	최상층	중간층	온도차	최상층	중간층	온도차	최상층	중간층	온도차
1시	25.3	24.7	0.6	25.7	24.8	0.9	25.6	26.0	-0.4	26.0	26.2	-0.2
2시	25.3	24.9	0.4	25.9	24.8	1.1	25.2	25.8	-0.6	25.7	26.0	-0.3
3시	23.4	25.4	-2.0	23.6	25.4	-1.8	24.4	25.7	-1.3	24.8	25.8	-1.0
4시	22.5	24.7	-2.2	23.0	25.3	-2.3	23.5	25.3	-1.8	23.9	25.8	-1.9
5시	23.0	24.6	-1.6	23.5	25.3	-1.8	23.8	25.4	-1.6	24.2	25.8	-1.6
6시	22.7	24.5	-1.8	23.5	24.8	-1.3	23.7	25.2	-1.5	24.3	25.6	-1.3
7시	23.6	24.7	-1.1	24.3	25.1	-0.8	24.2	25.6	-1.4	24.7	25.8	-1.1
8시	25.0	25.8	-0.8	25.6	25.8	-0.2	25.3	26.2	-0.9	25.8	26.2	-0.4
9시	25.8	26.1	-0.3	26.2	26.1	0.1	25.9	26.5	-0.6	26.4	26.4	0
10시	26.2	26.4	-0.2	26.5	26.4	0.1	26.4	27.0	-0.6	26.8	26.8	0
11시	27.0	27.2	-0.2	27.3	27.0	0.3	27.3	27.8	-0.5	27.6	27.5	0.1
12시	27.9	27.8	0.1	28.3	27.5	0.8	28.1	28.3	-0.2	28.5	27.8	0.7
13시	28.7	28.4	0.3	28.3	27.9	0.4	28.7	28.8	-0.1	28.6	28.0	0.6
14시	29.1	29.5	-0.4	28.7	28.8	-0.1	29.2	29.3	-0.1	28.9	28.4	0.5
15시	29.4	29.2	0.2	28.9	28.7	0.2	29.4	29.3	0.1	29.0	28.5	0.5
16시	29.2	29.0	0.2	28.9	28.5	0.4	29.5	29.2	0.3	29.1	28.5	0.6
17시	29.8	29.7	0.1	29.3	29.1	0.2	29.7	29.4	0.3	29.3	28.6	0.7
18시	29.9	29.4	0.5	29.4	28.7	0.7	29.6	29.2	0.4	29.3	28.6	0.7
19시	29.2	29.0	0.2	29.2	28.4	0.8	29.2	28.7	0.5	29.1	28.3	0.8
20시	28.6	28.5	0.1	28.8	28.4	0.4	28.5	28.2	0.3	28.7	28.1	0.6
21시	28.2	27.9	0.3	28.4	27.8	0.6	28.2	27.8	0.4	28.3	27.7	0.6
22시	27.9	27.4	0.5	28.0	27.3	0.7	28.0	27.5	0.5	28.1	27.5	0.6
23시	27.4	27.0	0.4	27.4	26.8	0.6	27.6	27.2	0.4	27.8	27.1	0.7
24시	27.3	26.8	0.5	27.6	26.5	1.1	27.6	27.2	0.4	27.8	27.2	0.6

의 거실과 안방에서의 MRT값은 일사수열에 따른 지붕 콘크리트 자체 축열량이 많은 시간대(15시~밤 1시 무렵)에는 최상층세대가 중간층 다 최대 1.0℃정도 높게 나타났으나, 그 후 심야 및 오전 시간대에는 야간복사와 외기온 저하에 따른 구조체 냉각의 영향으로 오히려 중간층이 최상층보다 최대 1.8℃정도 높게 나타나 최상층과 중간층간의 MRT 차는 주간보다 오히려 심야시간대가 크게 형성되는 것으로 나타났다(그림 6, 표 4, 5). 대표일의 MRT는 17~18시 무렵에 최고치를, 새벽 4시 무렵에 최저치를 나타내는 것으로 조사되었다. 대표일의 MRT분포는 앞에서 검토한 실내공기온도 분포특성과 유사한 경향을 나타내고 있음을 본 실험결과를

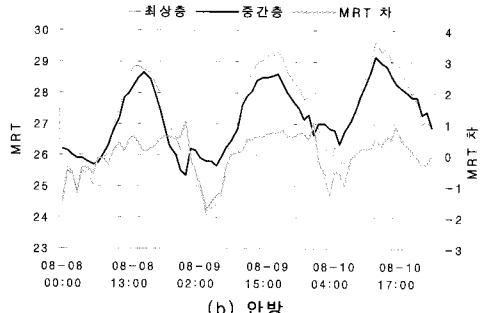
통해 확인할 수 있었다.

(2) PMV분포

대표일의 PMV는 최상층의 경우 -1.43~1.22, 중간층은 -0.7~1.1의 분포를 나타내어 22시~익일 정오 무렵의 비교적 실온이 낮은 시간대를 제외한 나머지 시간대에는 권장 쾌적범위인 -0.5~0.5의 범위를 벗어나는 것으로 나타났다(그림 7, 표 4, 5). 개구부를 모두 개방하여 자연환기 도입 입조건으로 설정한 본 실험에서는 최상층과 중간층 모두 기온이 낮은 밤 2시~8시 사이의 새벽시간대에는 열적중립온도 하한선인 -0.5보다 낮은 값을 나타내었으며, 이 같은 경향은 중간층보다 최상층세대에서

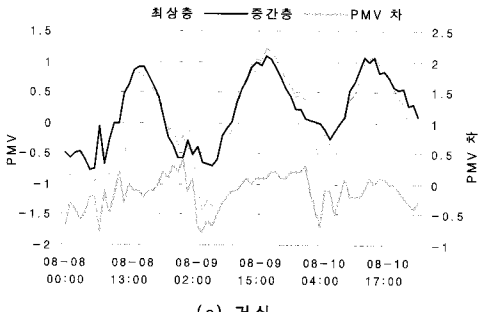


(a) 거실

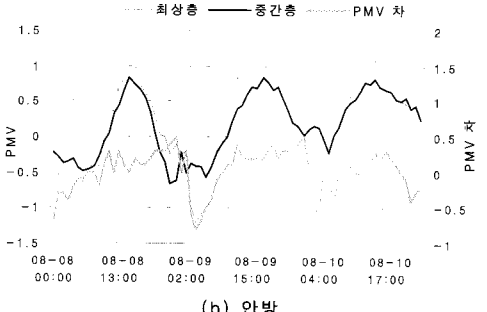


(b) 안방

그림 6. MRT분포



(a) 거실



(b) 안방

그림 7. PMV분포

보다 현저하게 나타났다. 또한 대표일의 최상층과 중간층 세대간의 PMV차는 정오~밤 2시 무렵까지는 최상층세대가 중간층보다 0~0.4 정도 높게 형성되었으나, 상대적으로 기온이 낮은 새벽 및 오전 시간대에는 오히려 중간층세대가 최상층보다 0~0.8정도 높게 나타나 최상층과 중간층세대간에는 시간대에 따라 엄연한 열적인 차가 상존하고 있음을 PMV분포를 통해서도 재차 확인할 수 있었다. 대표일의 PMV는 새벽 4시 무렵에 최저치를, 17시 무렵에 최고치를 각각 나타내었다.

(3) PPD분포

대표일의 PPD는 최상층과 중간층세대 모두 기온이 높은 17시 무렵과 일중 기온이 가장 낮은 새벽 4시~6시 무렵에 열적불만족자의 비율이 가장 높게 나타났다. 일출직전의 새벽시간대의 PPD가 일중 최고치를 나타낸 것은 인체 착의량이 0.54clo로 설정되어 의복의 열저항치가 낮고 실내온도가 일중 최저치를 나타내어 재실자가 추위를 느끼기 때문인 것으로 풀이된다. 새벽 시간을 제외한 22시~익일 정오사이에는 열적불만족자의 비율도 기온에 연동하여 가장 낮은 10% 이하의 권장 패적치를 나타낸 것으로 조사되었다(그림 8, 표 4, 5). 대표일 최상층세대의 PPD값은 새벽 4시~6시에는 중간층보다 최대 33%, 정오부터 자정까지는 중간층보다 최대 13%정도 높게 나타났으나, 그 이후에는 양세대간의 주목할 만한 PPD차는 발견되지 않았다.

(4) ET\*분포

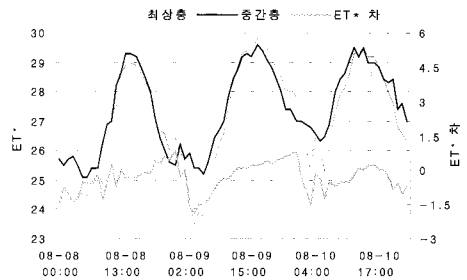
대표일의 ET\*는 최상층세대가 23.5~29.8℃, 중간층이 25.2~29.6℃로서 야간 및 오전시간대에는 최상층세대가 중간층보다 낮은 것으로 조사되었다(그림 9, 표 4, 5). 대표일의 ET\*는 정오에서 자정까지는 최상층세대가 중간층보다 0~1.1℃높게 나타났으나, 그 이후시간대(심야 및 오전시간대)에는 최상층세대가 오히려 중간층보다 0~1.9℃정도 낮게 나타났다. 대표일의 ET\*는 일출직전의 새벽 5



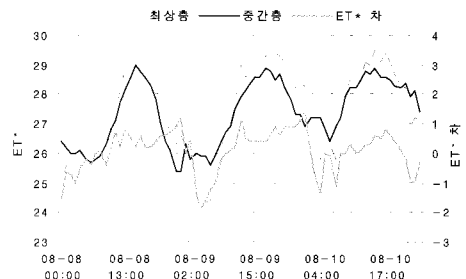
시~6시를 전후하여 최저치를, 17시를 전후하여 일 중 최고치를 나타내었다.

(5) SET\* 분포

대표일의 SET\*는 앞에서 검토한 여러 온열환경 지표와 유사한 분포특성을 나타내어 정오에서 자정 사이의 지붕 콘크리트 자체 온도가 상대적으로 높은 시간대에는 최상층세대가 중간층보다 0~1°C 높게, 지붕 콘크리트 자체온도가 상대적으로 낮은 심야 및 오전시간대에는 오히려 최상층세대가 중간층보다 0~2.1°C정도 낮은 값을 나타내었다(그림 10, 표 4, 5). SET\*는 일출전의 새벽4시~6시에 최저치를, 17시를 전후하여 최고치를 나타내었으며, 대표일의 거실과 안방의 SET\*는 최상층의 경우 21.3~27.9°C, 중간층은 23.2~27.6°C사이에서 분포하는 것으로 조사되었다.

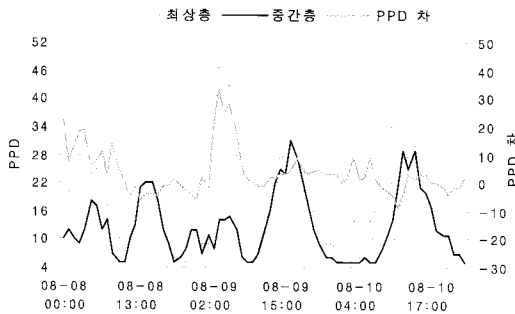


(a) 거실

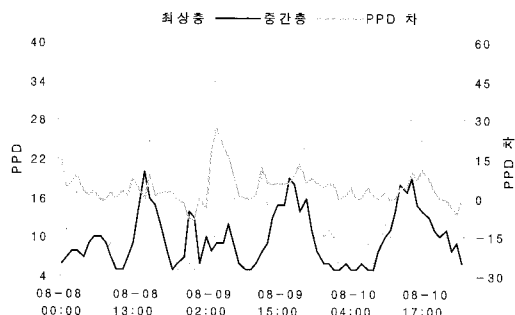


(b) 안방

그림 9. ET\*분포

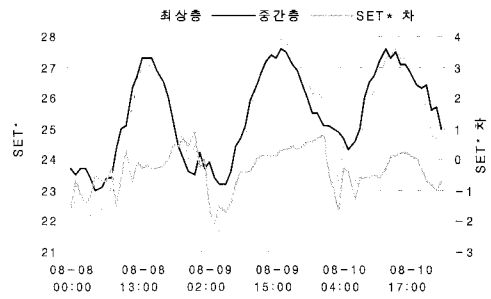


(a) 거실

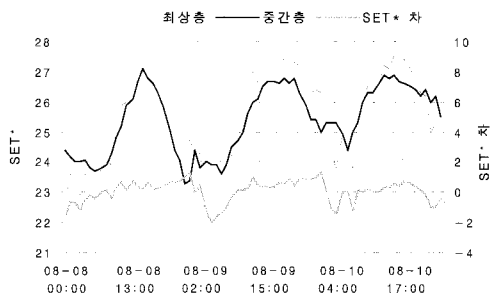


(b) 안방

그림 8. PPD분포



(a) 거실



(b) 안방

그림 10. SET\*분포

표 4. 대표일의 최상층과 중간층의 온열환경지표 비교(거실)

구분	MRT			PMV			PPD			ET			SET		
	최상층	중간층	차	최상층	중간층	차	최상층	중간층	차	최상층	중간층	차	최상층	중간층	차
1시	25.7	26.0	-0.3	-0.42	-0.28	-0.14	9	7	2	25.9	26.2	-0.3	23.9	24.2	-0.3
2시	25.2	25.9	-0.7	-0.45	-0.52	0.07	9	11	-2	25.7	25.7	0	23.7	23.7	0
3시	24.5	25.7	-1.2	-1.08	-0.40	-0.68	30	8	22	24.3	25.9	-1.6	22.3	23.9	-1.6
4시	23.7	25.4	-1.7	-1.43	-0.64	-0.79	47	14	33	23.5	25.4	-1.9	21.3	23.4	-2.1
5시	23.9	25.5	-1.6	-1.27	-0.67	-0.60	39	14	25	23.9	25.4	-1.5	21.7	23.2	-1.5
6시	23.8	25.3	-1.5	-1.36	-0.7	-0.66	43	15	28	23.7	25.2	-1.5	21.5	23.2	-1.7
7시	24.2	25.8	-1.6	-1.07	-0.59	-0.48	29	12	17	24.3	25.6	-1.3	22.2	23.6	-1.4
8시	25.4	26.2	-0.8	-0.52	-0.21	-0.31	11	6	5	25.6	26.4	-0.8	23.6	24.4	-0.8
9시	25.9	26.5	-0.6	-0.25	-0.09	-0.16	6	5	1	26.2	26.7	-0.5	24.3	24.7	-0.4
10시	26.4	27.0	-0.6	-0.11	0.02	-0.13	5	5	0	26.6	27.0	-0.4	24.7	25.1	-0.4
11시	27.3	28.0	-0.7	0.21	0.34	-0.13	6	5	1	27.4	27.8	-0.4	25.5	25.9	-0.4
12시	28.1	28.4	-0.3	0.55	0.56	-0.01	11	7	4	28.3	28.4	-0.1	26.4	26.4	0
13시	28.7	28.8	-0.1	0.77	0.72	0.05	18	16	2	28.8	28.7	0.1	26.9	26.8	0.1
14시	29.2	29.3	-0.1	0.96	0.91	0.05	24	22	2	29.3	29.2	0.1	27.3	27.2	0.1
15시	29.4	29.4	0	1.05	0.98	0.07	28	25	3	29.4	29.3	0.1	27.5	27.4	0.1
16시	29.5	29.3	0.2	1.01	0.94	0.07	27	24	3	29.4	29.2	0.2	27.4	27.3	0.1
17시	29.7	29.3	0.4	1.22	1.10	0.12	35	31	4	29.8	29.6	0.2	27.9	27.6	0.3
18시	29.6	29.2	0.4	1.18	1.03	0.15	36	27	9	29.7	29.4	0.3	27.8	27.5	0.3
19시	29.2	28.7	0.5	1.03	0.88	0.15	26	22	4	29.5	29.1	0.4	27.5	27.1	0.4
20시	28.5	28.2	0.3	0.85	0.74	0.11	20	17	3	29.1	28.8	0.3	27.2	26.9	0.3
21시	28.2	27.8	0.4	0.70	0.56	0.14	16	12	4	28.8	28.4	0.4	26.8	26.4	0.4
22시	28.0	27.5	0.5	0.61	0.42	0.19	13	9	4	28.5	28.0	0.5	26.6	26.0	0.6
23시	27.6	27.2	0.4	0.43	0.23	0.20	9	6	3	28.0	27.4	0.6	26.1	25.5	0.6
24시	27.6	27.2	0.4	0.46	0.23	0.23	9	6	3	28.1	27.4	0.7	26.2	25.5	0.7

표 5. 대표일의 최상층과 중간층의 온열환경지표 비교(안방)

구분	MRT			PMV			PPD			ET			SET		
	최상층	중간층	차	최상층	중간층	차	최상층	중간층	차	최상층	중간층	차	최상층	중간층	차
1시	26.1	26.2	-0.1	-0.25	-0.22	-0.03	6	6	0	26.3	26.3	0	24.3	24.4	-0.1
2시	25.7	26.2	-0.5	-0.21	-0.50	0.29	6	10	-4	26.3	25.8	0.5	24.3	23.8	0.5
3시	24.9	25.9	-1.0	-0.97	-0.37	-0.60	25	8	17	24.6	26.0	-1.4	22.6	24.0	-1.4
4시	24.0	25.8	-1.8	-1.22	-0.42	-0.80	36	9	27	24	25.9	-1.9	21.9	23.9	-2.0
5시	24.3	25.8	-1.5	-1.07	-0.42	-0.65	29	9	20	24.3	25.9	-1.6	22.2	23.9	-1.7
6시	24.4	25.7	-1.3	-1.05	-0.57	-0.48	28	12	16	24.4	25.6	-1.2	22.3	23.6	-1.3
7시	24.7	26.0	-1.3	-0.79	-0.44	-0.35	18	9	9	24.9	25.9	-1.0	22.9	23.9	-1.0
8시	25.9	26.3	-0.4	-0.27	-0.20	-0.07	7	6	1	26.2	26.4	-0.2	24.2	24.5	-0.3
9시	26.4	26.5	-0.1	-0.06	-0.09	0.03	5	5	0	26.7	26.7	0	24.8	24.7	0.1
10시	26.9	26.8	0.1	0.05	-0.01	0.06	5	5	0	27.0	26.9	0.1	25.1	25.0	0.1
11시	27.6	27.6	0	0.33	0.22	0.11	7	6	1	27.7	27.5	0.2	25.8	25.6	0.2
12시	28.4	27.9	0.5	0.84	0.40	0.44	20	8	12	29.0	27.9	1.1	27.0	26.0	1.0
13시	28.6	28.1	0.5	0.67	0.45	0.22	15	9	6	28.6	28.1	0.5	26.6	26.1	0.5
14시	28.9	28.4	0.5	0.77	0.60	0.17	18	13	5	28.8	28.4	0.4	26.9	26.5	0.4
15시	29.1	28.5	0.6	0.87	0.70	0.17	21	15	6	29.0	28.6	0.4	27.1	26.7	0.4
16시	29.2	28.5	0.7	0.85	0.68	0.17	20	15	5	29.0	28.6	0.4	27.1	26.7	0.4
17시	29.2	28.6	0.6	0.98	0.83	0.15	25	19	6	29.3	28.9	0.4	27.3	26.6	0.7
18시	29.3	28.6	0.7	1.02	0.77	0.25	27	18	9	29.4	28.8	0.6	27.4	26.8	0.6
19시	29.1	28.3	0.8	1.02	0.66	0.36	27	14	13	29.4	28.5	0.9	27.5	26.6	0.9
20시	28.6	28.0	0.6	0.89	0.71	0.18	22	16	6	29.3	28.7	0.6	27.3	26.8	0.5
21시	28.4	27.7	0.7	0.82	0.52	0.30	19	11	8	29.1	28.2	0.9	27.2	26.3	0.9
22시	28.2	27.5	0.7	0.67	0.37	0.30	14	8	6	28.7	27.8	0.9	26.8	25.9	0.9
23시	27.8	27.1	0.7	0.49	0.19	0.30	10	6	4	28.2	27.3	0.9	26.3	25.4	0.9
24시	27.8	27.3	0.5	0.55	0.16	0.39	11	6	5	28.4	27.3	1.1	26.4	25.4	1.0

## 5. 결 론

- 1) 하절기 실내의 모든 개구부를 개방하여 자연환기 도입조건에서 진행된 이번 실측실험 결과, 대표일의 최상층과 중간층 실내공기온도는 정오에서 자정까지의 고온시간대의 경우 최상층세대가 중간층보다 0~1.8℃ 정도 높게 나타났으나, 자정에서 정오 사이의 비교적 기온이 낮은 시간대에는 오히려 중간층세대가 최상층보다 0~2.8℃정도 높은 것으로 조사되었다.
- 2) 대표일의 흑구온도도 실내공기온도와 유사한 분포특성을 나타내어 지붕 구조체의 자체 축열량이 많은 15시부터 자정 무렵까지는 최상층세대가 중간층보다 0~1.2℃ 높게 나타났으나, 그 외 시간대에는 이와는 반대로 중간층세대가 최상층보다 0~2℃정도 높은 온도를 나타내어 최상층과 중간층의 실내복사환경은 시간대에 따라 상이한 양상을 나타내는 것으로 조사되었다.
- 3) 온열환경지표에 대한 분석결과 정오에서 자정까지는 최상층세대가 중간층보다 각각 높게 나타났으나, 그 나머지 시간대에는 이와는 정반대의 양상을 나타내었으며, 실제로 양 세대간

- 에는 열적 차가 상존하는 것으로 조사되었다.
- 4) 하절기 자연환기 도입 시의 공동주택의 최상층과 중간층간의 열환경 비교실험 결과, 최상층과 중간층간에는 실질적인 온도차가 발생하였으며, 지붕의 내재 축열량에 따라 최상층과 중간층간의 온도차는 반전되는 것으로 나타났다. 이러한 열적 분포특성은 공동주택의 건축 및 입지조건, 기상 등의 환경변수에 따라 상이할 것으로 추정되며, 패시브적 보완책을 포함한 기존 건축물 지붕의 관류열 저감방안에 대한 추가적인 검토가 필요한 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

1. 최동호, “공동주택의 하절기 개구부 밀폐 시 지붕면 일사수열이 최상층 실내온열환경에 미치는 영향 분석”, 태양에너지학회 논문집, Vol.24, No.4, pp.45-53, 2004
2. 에너지관리공단, “에너지절약 설계기준 해설서”, 2004
3. 다회化工株式會社, “熱と環境”, 1988.06
4. P. O. Fanger, “Thermal comfort”, Danish Technical Press., 1973