

# 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기 및 비축열식 전기온풍기, 전기방열기의 난방특성 비교

최 동 호\* · 양 창 남\*\*

## Comparison of the Heating Characteristics of Electric Heating System with or without Thermal Storage, and Electric Radiant Heating System Using Off-peak Electricity

Dong-Ho Choi\* and Chang-Nam Yang\*\*

### ABSTRACT

This paper examines the characteristics of electric heating system using off-peak electricity and compares the heating characteristics of electric heating and radiant systems. And we examined the comfort of occupants according to the heating systems by measuring the superficial temperature of human body models which is located in experimental space. From this study, we obtained the brief results as follows. The electric heating system with thermal storage have several advantages, one of which is to be able to maintain the optimal indoor temperature in a very short time at the beginning of heating due to the radiant heat and the control of indoor temperature deterioration. We confirmed that the electric heating system with thermal storage of heating systems considered in this experiment might improve the comfort of occupants by comparing the temperature difference between the upper and lower space.

**Key Words** : Off-peak electricity, Thermal storage, Indoor thermal environment, Heating system design

### 1. 서 론

심야전력은 전기사용이 적은 심야시간대의 잉여전력을 사용하여 축열 또는 축냉 하였다가 주간에 열원으로 사용하는 기기에 대하여 값싼 전기요금을 적

용하는 제도로서, 특정시간대에 집중되는 전력수요를 분산하고, 심야시간대의 전력수요를 증대시켜 설비 이용률 향상 및 효율적인 에너지 소비를 유도하기 위해 도입되었다. 심야전력 요금은 일반전력 요금의 25% 수준으로 매우 저렴하여 사용자는 에너지 비용을 크게 절감할 수 있고, 전력 공급회사는 설비 이용률을 향상시켜 전력 생산원가를 낮출 수 있으며, 국가적으로는 에너지 자원의 합리적 이용으로 국가경제에 기여할 수 있는 이점이 있다. 그러나, 초창기에는

\* 제주대 건축공학과  
Dept. of Architectural Eng., Cheju Nat'l Univ.  
\*\* 제주대 산업대학원  
Graduate School of Industry, Cheju Nat'l Univ.

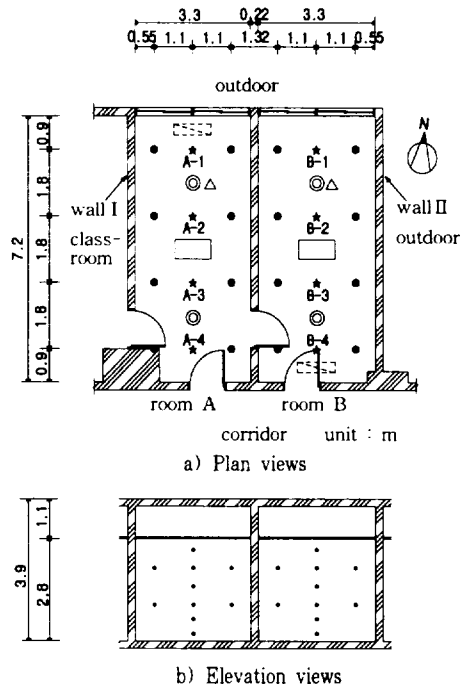
이에 대한 인식부족 및 제도적인 뒷받침이 미비하여 보급에 적지 않은 제약이 있었으나, 지속적인 기술개발을 통한 심야전력 난방기기의 성능향상과 저렴한 유지비로 인해 점차적으로 그 보급이 증대되고 있다. 심야전력을 이용한 난방기기는 심야시간대의 전력을 축열재 혹은 축열조에 축열하여 주간시간대에 방열하는 구조로 설계되어 있으며, 축열재의 축열특성이 난방기기의 성능을 결정짓는 중요한 역할을 한다. 이 같은 중요도에 편승하여 이미 축열재의 축열특성에 관련된 연구 사례는 다수 발표되었으나, 그 대다수가 축열식 바닥난방에 편중되어 있으며 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍난방을 실내 온열환경과 연동시켜 해석한 사례는 극히 한정되어 있는 실정이다. 특히, 비정상상태 하에서 축열식 전기온풍난방을 업무시설에 적용하여 실내 온열환경을 상세히 검토한 사례는 거의 보고되지 않고 있다.

본 연구에서는 학교, 사무소, 병원 등의 업무시설 난방설비로서 유효한 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기와 일반적으로 널리 이용되고있는 비축열식 전기온풍기, 전기방열기의 방열특성 및 실내 온열환경을 비교 검토함으로써, 최적의 난방방식 선정 및 난방설계에 필요한 기초 데이터로 제시하고자 한다. 특히, 본 연구에서는 실내 온열환경에 관한 분포특성 이외에, 재실자의 쾌적환경을 평가하기 위하여 인체를 모사한 인체발열모델을 실내에 설치하여 그 표면온도를 계측함으로써, 재실자의 체감온도를 포함한 축열식 전기온풍난방의 우수성을 다각적으로 검토하였다. 또한, 본 연구의 성격상 비정상 상태에서 단일 실험실에서 각기 다른 조건별로 실험을 실시할 경우 난방 설정조건에 따른 분포특성의 정량적인 파악이 불가능하다. 따라서, 본 연구에서는 동일한 크기의 인접한 두 실에서 동시에 실험을 실시함으로써, 축열식 전기온풍기와 일반 난방기의 실내 온열환경특성을 정량적으로 비교하였다.<sup>1-3)</sup>

## II. 실험 개요

### 2.1 실험대상 공간

Fig. 1에 나타난 바와 같이, 대학 구내 건물 2층에



- : Two measuring points(1.0 and 2.0 above ground)
- ★ : Six measuring points(0.2, 0.6, 1.0, 1.5, 2.0 and 2.5m above ground)
- ◎ : Measurement of globe temp.(1.0m above ground)
- △ : Relative humidity(1.0m above ground)
- ⋯ : Location of the thermal storage heating system
- : Location of the human body model

Fig. 1 Shapes and measuring points of experimental space

위치한 3.3m(폭)×7.2m(길이)×2.8m(높이) 크기의 2개의 실을 실험대상 공간으로 설정하였다. 실험대상 건물은 RC조 3층 중복도형 건물로써, 복도를 기준으로 북향의 인접한 2개의 실을 실험대상 공간으로 선정하였다. Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이, 실험실A의 좌측벽(벽체 I)은 내벽, 실험실B의 우측벽(벽체 II)은 외벽으로써 이들 벽체의 단열상태가 또한 상이하므로 양측 벽체를 통한 관류열량은 동일하지 않다. 따라서, 실험에서 양실간의 환경조건을 최대한 동일하게 설정하기 위하여, 각 실의 좌우측벽의 내측을 각각 50mm 두께의 스티로폼으로 단열하였다. 실험실

Table 1 Specification of heating systems

Item	Power supply [∅/V]	Power consumption [W]	TSC [kcal]	OWV [m/s]
Thermal storage heating system	1/220	2,400	18,650	0.16
Electric heating system	1/220	2,500	-	0.25
Electric radiator	1/220	2,500	-	-

TSC : thermal storage capacity OWV : outlet wind velocity

Table 2 Wall conditions of experimental zone

Model room	Item	win-dow	Outer wall	Inner wall		Corridor side wall
room A	Direction	N	N	W	E	S
	Area[m <sup>2</sup> ]	6.48	7.56	29.25	29.25	14.04
	Heat transmission coefficient [kcal/m <sup>2</sup> h°C]	3.2	0.447	0.489	0.269	2.631
room B	Direction	N	N	E	W	S
	Area[m <sup>2</sup> ]	6.48	7.56	29.25	29.25	14.04
	Heat transmission coefficient [kcal/m <sup>2</sup> h°C]	3.2	0.447	0.257	0.269	2.631

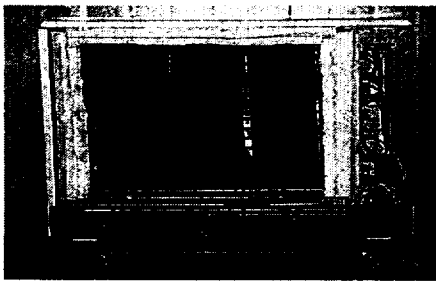


Fig. 2 Inner view of the electric with thermal storage heating system

A, B의 벽체조건의 상세는 Table 1에 나타내었다<sup>7)</sup>.

## 2.2 실험 장치

### 2.2.1. 실험대상 난방기

실험대상 난방기의 재원은 Table 2에 나타내었다. 축열식 전기온풍기(GNA-2400, Green Way사)의 내

부는 Fig. 2와 같이 축열성능이 우수한 마그네시아 벽돌로 충전되어 있으며, 벽돌과 케이싱 사이에는 초고온 내열성 세라믹 화이버 등 특수 제작된 보온재로 단열되어 있다. 축열식 전기온풍기의 특징은 심야시간대(22시~08시)에 전력을 공급받아 내장된 히터를 가열시킴으로써 인접한 마그네시아 벽돌에 축열시키는 원리를 이용한 것이다. 심야시간대에 축열된 열량은 난방시간대(08시~18시)에 자체 내장된 소형 팬을 가동시켜 실내를 난방한다. 취출구를 통한 난방 이외에 난방기 표면을 통한 복사난방 효과도 기대할 수 있다. 축열식 전기온풍기의 축열시간과 축열량은 난방시간대의 방열량에 따라 상이하며, 축열이 완료되면 전력공급이 차단되도록 설계되었다. 본 연구에서는 슬라이드스에 의해 투입전압을 다소 낮추어 설정함으로써, 심야시간대에 연속적으로 축열되도록 하였다. 전기온풍기(DSF-4 DongSin Eng.사)는 온풍기 내부에 전기히터 및 송풍팬이 내장되어 있고, 전력의 투입과 동시에 설정온도에 따라 자동으로 작동되는 구조로 제작되었으며, 전기방열기(ATZL2515, DBK Germany GmbH사) 또한, 방열기 형태의 구조체 내부에 전기히터 및 절연유가 충전되어 있는 것으로써 전기온풍기와 마찬가지로 설정온도에 따라 자동으로 작동되도록 되어 있다. 그러나, 본 실험에서는 축열식 전기온풍기에 투입한 전력량과 동일하게 하기 위하여 자체 내장된 제어기능을 제거하고, 전력제어장치에 의하여 난방시간대에 1.5kW의 전력이 연속적으로 투입되도록 하였다<sup>8)</sup>.

### 2.2.2. 인체발열모델

#### 2.2.2.1. 인체발열모델의 형상 및 구조

인체발열모델은 난방 설정조건에 따른 실내 쾌적성 등을 평가하기 위해 사용되며, 본 연구에서는 해석의 편의상 그 형상을 직육면체의 상자형으로 모델화하였다. 크기 및 표면적은 각각 0.9m(높이)×0.44m(너비)×0.34m(깊이)와 1.55m<sup>2</sup>으로써, 성인남녀 평균 표면적인 1.52m<sup>2</sup>/인과 근사한 크기로 설계하였다. 인체발열모델의 구조는 Fig. 3에 나타난 바와 같이, 두께 50mm의 스티로폼을 직육면체의 형상으로 가공하여 그 표면에 히터선을 부착하였다. 히터선은 상부로 향할 수록 그 간격을 넓게 배치하여 상하의

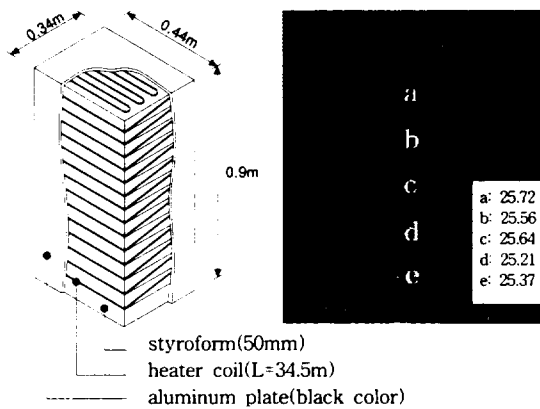


Fig. 3 Inner structure and surface distribution temperature of the human body model (The photo of surface temp. is taken by thermo-camera)

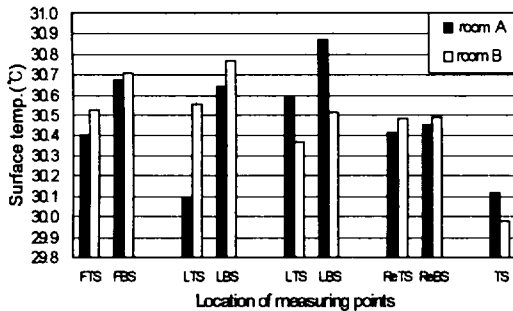


Fig. 4 Comparison of the human body model's surface temps

FTS : front and top side      RTS : Right and top side  
 FBS : front and bottom side      RBS : Right and bottom side  
 LTS : Left and top side      ReTS : Rear and top side  
 LBS : Left and bottom side      ReBS : Rear and bottom side  
 TS : Top side

표면온도가 균일하게 유지될 수 있도록 배려하였으며, 히터선 외측에는 무광택 흑색페인트로 도장한 알루미늄 케이스를 밀착시켰다<sup>8,9)</sup>.

#### 2.2.2.2. 인체발열모델 표면온도의 균일성 검토

앞서 설명한 형상과 구조로 인체발열모델(2세트)을 제작하여 실험실A, B에 각각 설치하였다. 각 인체발열모델에 투입되는 열량은 62.2kcal/h(75W)로서 착

석 경작업시의 대사량에 근사한 값으로 설정하였다. Fig. 3에 제시한 표면온도는 열화상 장치(TVS- 2000 Mk II, NIPPON AVIO-NICS사)를 이용하여 촬영한 온도로서, 극히 균일한 표면온도를 나타내었다. 2개의 인체발열모델 각각의 표면온도 측정결과(열전대에 의한 측정치)를 Fig. 4에 나타내었다. 측정결과에 의하면, 각 모델간에는 최대 0.4°C이하의 온도차를 나타냄으로써 비교적 높은 대응성을 나타내었다.

### 2.3. 측정항목 및 방법

#### 2.3.1. 온도

본 실험에서는 열전대(T-type)에 의한 실내 공기 온도, 표면온도, 실내 흑구온도, 외기온도 등 총 180여점을 측정하였다. 실내 공기온도는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이, 각 실험실당 40여점을 측정하였으며 공기 온도 이외에 주벽면(12점) 및 인체발열모델의 표면온도(9점)를 측정하였다. 또한, 각 실험실을 2등분하여 그 중앙에 흑구온도계를 각각 설치하여 실내 복사환경을 계측하였다.

본 연구에서는 지상 1m 높이를 기준높이로 가정하고, 기준높이의 온도 측정점 중 인체발열모델 전후에 위치한 실 중앙의 2점의 평균 온도를 실내기준온도로 설정하였다. 이 실내 기준온도는 각 실을 대표하는 온도로서, 난방방식 및 난방기 설치위치에 따른 효과를 분석하는 중요한 지표로 활용된다. 각 점의 온도데이터는 Data Logger (Data-scan 7320, Datascan사)를 통해 매분마다 컴퓨터에 입력되도록 하였다<sup>7,9,10)</sup>.

#### 2.3.2. 상대습도

상대습도는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이, 각 실 중앙의 지상 1m 높이에 1개소씩 설치하였다. 설치된 상대 습도계는 전기저항식 습도계(HD 8608TC/150, Delta OHM사)로써, Data Logger를 통해 매분마다 컴퓨터에 입력된다.

#### 2.3.3. 전력량

측열식 전기온풍기에 공급되는 전력량은 심야시간대(22시~08시)에 전기히터로 공급되는 전력과 난방시간대(08시~18시)에 내장된 팬을 구동시키는데 필요한 전력으로 구분된다. 타이머, 마그네틱 스위치,

릴레이 등으로 구성된 제어회로를 제작하여 각 실험실마다 독립적인 제어를 할 수 있도록 설계하였다. 전력 입력측에는 자동전압조정기(AVR)를 연결하여 안정된 전력을 공급할 수 있도록 하였으며, 출력측에는 축열식 전기온풍기와 인체발열모델에 슬라이다스를 각각 연결하여, 설정한 전력이 공급될 수 있도록 하였다. 또한, 출력측에 디지털식 전력계(MACH30 & MACH-DAT/S, DUCATI energia사)를 설치하여 축열식 전기온풍기와 인체발열모델에 공급되는 전력을 매분마다 계측하였다. 실험실 A, B에 공급하는 전력량(15kWh)을 각각 동일하게 설정하여 각 실의 온열환경을 검토하고 있으며, 축열식 전기온풍기에 공급되는 전력은 심아전력이 공급되는 10시간 동안 연속적으로 공급되도록 하였다<sup>7)</sup>.

### III. 실험대상 공간의 대칭성 검토

#### 3.1 실험 조건

실험대상 공간은 전술한 바와 같이, 공간적으로는 대칭적 구조를 갖고 있지만 벽체의 단열조건 등 열적 조건은 동일한 조건으로 형성되어 있지 않다. 이로 인해 실험실A, B에서 측정된 실험결과는 상호 객관적인 비교가 곤란할 것으로 사료된다. 따라서, 본 장에서는 본 실험에 앞서 두 실간의 대칭성을 검토하기 위해 Table 3에 제시한 조건과 같이 동일한 축열식 전기온풍기를 각 실의 동일 위치에 설치하여 실내 온열환경을 분석하였다. 대칭성 검토에는 각 실의 실내 기준온도와 인체발열모델의 표면온도를 계측하여, 양 실간의 온도차 발생정도 및 상관관계 뿐만 아니라 벽체를 통한 관류열량을 계산함으로써 시간대별 손실열

Table 3 check points identify experimental spaces

Model	Heating system	Location of heater	Input time of power	Input power capacity
room A	Thermal storage heating system	Window side	10 hour	15 kWh
room B				

량을 산출하였다. 실험은 1999년 1월 9일 12:30~10일 12:30에 실시되었다.

#### 3.2 실험 결과

대칭성 실험 결과(Fig. 5)에 의하면, 두 실간에는 다소의 온도차가 계측되었으며, 실험실B가 실험실A 보다 항상 낮은 온도를 나타내었다. 난방이 공급되는 주간시간대의 두 실간 실내 기준온도차는 0.2~0.6°C의 차가 계측된 반면, 비난방 시간대에는 최대 1°C 정도의 차가 계측되었다. 실내 기준온도 뿐만 아니라 인체발열모델의 표면온도도 실내 기준온도와 동일한 경향을 나타내고 있으며, 실험실B의 인체발열모델은 실험실A보다 주간에 0.5°C, 야간에 1°C 가량 낮게 나타났다.

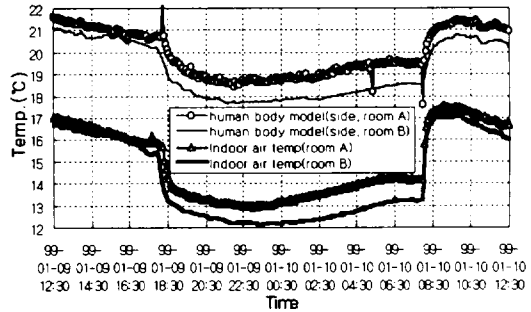


Fig. 5 Variation of the human body model's surface and indoor air temp.

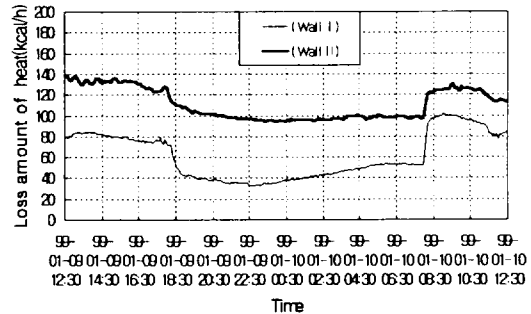


Fig. 6 Comparison of loss amount of heat

각 실험실의 손실열량에 있어서도 Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이, 외벽(벽체 II)을 통한 손실열량이 내벽(벽체 I)보다 20~60kcal/h 정도 높게 나타났다.

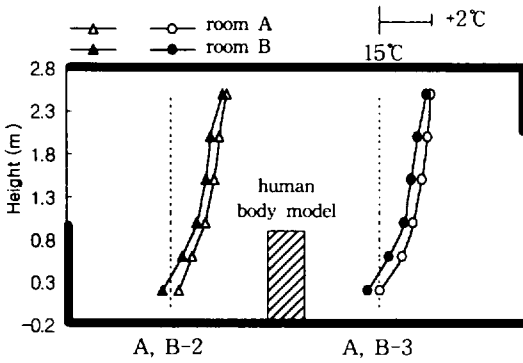


Fig. 7 Comparison with vertical air temp

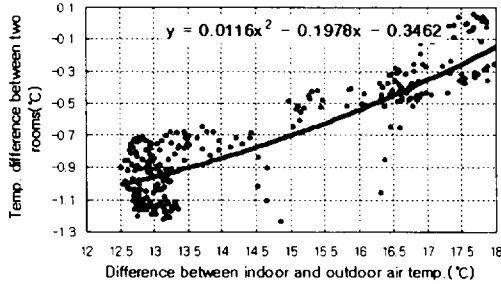


Fig. 8 Correlation function of indoor air temp(room B)

그러나, Fig. 7과 같이 실증양 단면의 상하 온도구배를 살펴보면 양 실간의 온도는 거의 동일한 기울기를 나타내고 있으므로, 본 연구에서는 측정된 실험실 A, B의 실내 기준온도, 인체발열모델 표면온도, 외기온도를 이용하여 Fig. 8, 9과 같은 보정함수를 도출하였다. 이 보정함수는 실험실 A, B간의 온도차를 보정해

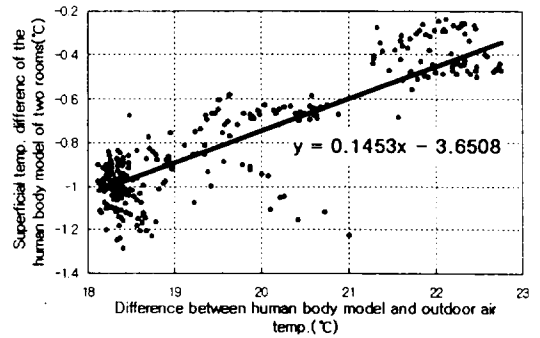


Fig. 9 Correlation function of the human body model(room B)

춤으로서 두 실간의 실내 기준온도, 인체발열모델 표면온도 비교시에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

#### IV. 실험종류 및 설정조건

Table 4를 통해 알 수 있는 바와 같이, 본 연구에서는 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기와 일반난방기의 난방특성을 비교하기 위한 실험으로써, 실험실 A에는 축열식 전기온풍기를 고정 설치하고, 실험실 B에는 전기난방기, 전기방열기를 각각 설치한 경우의 2개의 실험 Case에 대하여 검토하였다. 난방기는 실외주부(창측)에 설치하였으며, 본 실험을 통하여 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기와 비축열식 전기난방기의 실내 방열특성 및 실내 온도변화 등 난방효과를 정량적으로 파악하였다. 두 실험 Case모두 각 실로 투입되는 1일 전력량을 15kWh로 통일하였으며,

Table 4 Experimental condition

Case	Room	Condition	Duration of experiment	Representive day	Mean outdoor temp. [°C]	Location of heating system	Input power capacity [kWh]	Measuring items
case 1	A	Thermal storage heating system	1999 /01/13 23:00 ~ 01/16 18:00	1999/01/12	0.9	window side	15	Air temp/ Relative humidity/ Human body - model's surface temp./ Indoor of globe temp./ Electric capacity/
	B	Electric heating system						
case 2	A	Thermal storage heating system	1999 /01/26 20:00 ~ 01/29 19:00	1999/01/28	3.0			
	B	Electric radiator						

심야전력난방기의 경우에는 심야전력시간대(22시~08시)에 전력이 공급되는데 반하여, 비축열식 전기온풍기는 주간시간대에 전력이 투입되었다. 실험은 Case별로 약 3일간 각 실험실에서 동시에 실시되었으며, 본 논문에서는 그 가운데 날인 둘째날을 대표일로 설정하여 실험결과를 정리, 고찰하였다. 또한, 실내 조명 발열로 인한 실내온상을 배제하기 위하여, 실험기간 중에는 실내조명을 소등하였다.

### V. 실험결과 및 고찰

#### 5.1. 축열식 전기온풍기와 비축열식 전기온풍기의 실내온열환경 비교(case 1)

##### 5.1.1. 실내공기온도 및 상대습도

실험실A에는 축열식 전기온풍기를 설치하고, 실험실B에는 비축열식 전기온풍기를 설치하여 3일간 실험한 후에 대표일의 실내외 공기온도 및 상대습도 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 외기온도는 최저  $-0.4^{\circ}\text{C}$ , 최고  $2.5^{\circ}\text{C}$ 로 주야간의 온도변화는 크게 나타나지 않았으며, 외기의 상대습도는 66~99%의 습도변화를 나타냈다. 실험실A에 설치된 축열식 전기온풍기는 난방개시와 동시에 고온의 온풍을 취출하기 시작하여 시간이 경과함에 따라 서서히 하강하는 경향을 보이는 반면, 실험실B의 일반 전기온풍기는 난방개시 후 종료시간대까지  $40^{\circ}\text{C}$ 내외의 균일한 온풍을 취출하였다(Fig. 11). 이것은 축열식 전기온풍기의 경우 심야시간대에 축열한 열량을 난방개시와 동시에 취출용

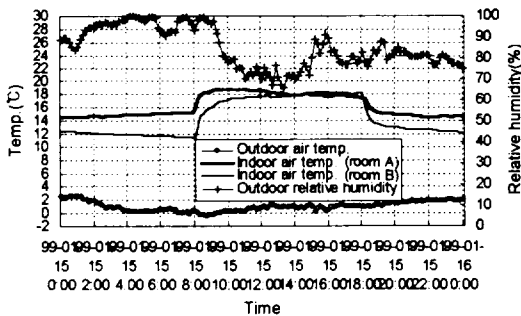


Fig. 10 Variations of air temp. and relative humidity

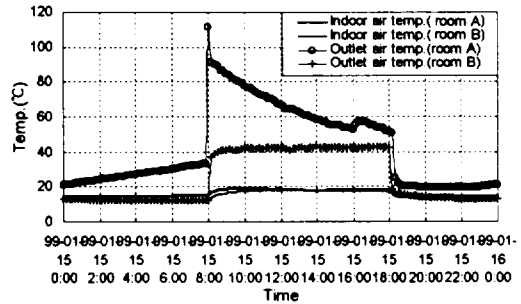


Fig. 11 Variations of supply jet and indoor air temp

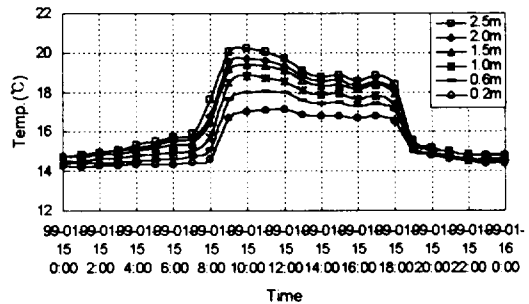


Fig. 12 Variations of air temp. with time and height(room A)

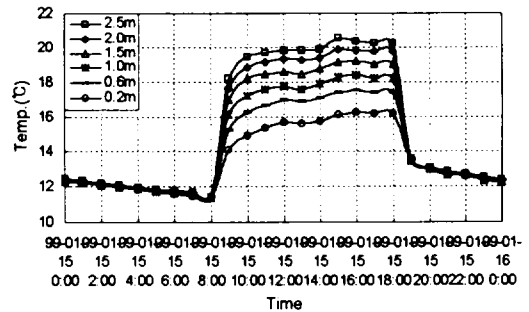


Fig. 13 Variations of air temp. with time and height(room B)

팬을 통해 방열하기 때문에 난방 초기에는 고온의 취출온풍이 방출되는 것으로 풀이된다. 이러한 취출온풍에 연동하여 실내 기준온도를 보면 실험실A의 경우 난방개시 시간대에 급상승한 후 난방종료 시간대까지 완만하게 하강하는 온도구배를 보이는 반면, 실

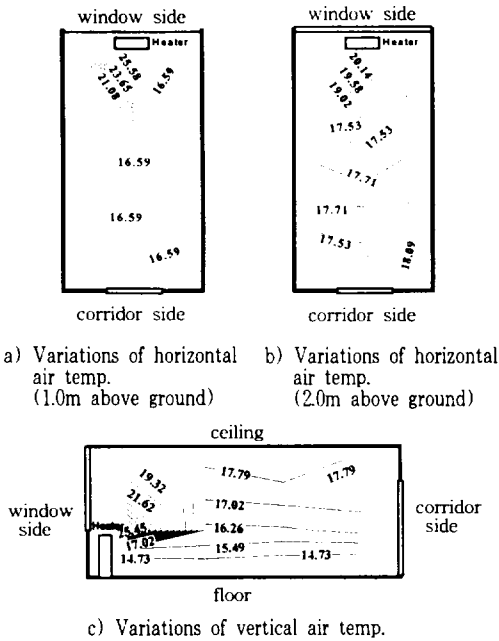


Fig. 14 Variations of indoor air temp (room B, 1999. 1. 15. 09:00)

험실B의 경우에는 난방개시 시간대의 온도상승폭이 느리지만 오후시간대에는 일정한 실내온도를 나타내었다. 그러나, 심야시간대의 실험실A의 축열식 전기온풍기는 축열이 진행됨과 동시에 난방기 표면을 통하여 지속적으로 복사열을 방출하기 때문에 축열이 시작되는 22시부터 실내공기 온도가 상승하게 된다. 반면, 실험실B의 일반 전기온풍기는 익일 난방개시 시간대까지 계속 온도가 하강하고 있음을 알 수 있다 (Fig. 12, 13). 이러한 난방기 표면으로부터의 지속적인 복사열 방출은 비난방 시간대의 실온저하를 억제하는데 기여하고 있음을 알 수 있다. 난방시간대에 실 중앙부의 상하온도차를 검토해보면 실험실A는 난방개시 시간대에 3.4°C의 온도차이를 보인 후 종료시까지 온도차가 줄어들어 종료시간대에는 2°C의 온도차를 보이는 반면 실험실B는 난방개시 후 종료시간대까지 4.2°C내외의 큰 상하온도차를 보이고 있다. 특히, 심야시간대에 실험실A에서는 축열이 진행됨과 동시에 난방기 표면에서 복사열이 방출되기 때문에 22시를 변곡점으로 하여 온도차가 상승하는 분포를 보

이지만, 실험실B는 거의 0°C에 가까운 상하온도차를 보이고 있다. Fig. 14를 보면, 실험실B의 일반 전기온풍기는 수평온도 분포의 경우 난방기 주변을 제외하고는 거의 균일한 온도분포를 보이지만, 연직온도 분포에서는 취출온풍이 강한 부력에 편승하여 상승한 후 상부공간에 정체하는 반면에 하부공간에는 창·외벽으로부터 유입되는 Down draft가 하강, 정체함으로써 약 3°C의 온도차를 나타내고 있다.

### 5.1.2. 인체발열모델 표면온도

실험실A에서는 인체발열모델의 창측 표면온도가 복도측보다 항상 높게 나타났지만, 실험실B는 난방시간대에만 창측 표면온도가 높게 나타났다. 이같은 결과는 실험실A, B 모두 난방시간대에는 창측에 설치된 난방기의 영향 때문에 창측 인체발열모델의 표면온도가 복도측보다 더 높게 나타났다. 그러나, 비난방 시간대의 경우, 실험실A는 향에 따른 온도차는 크게 축소되었지만 축열이 진행되면서 방출되는 난방기 표면을 통한 복사열의 영향으로 창 및 외벽으로부터의 강한 냉복사를 효과적으로 차단시켜 주었기 때문에 여전히 창측의 표면온도가 복도측 표면온도보다 높게 나타났다. 반면, 실험실B에서는 비난방 시간대의 경우 난방기를 통한 복사열이 방출되지 않으므로 창 및 외벽으로부터의 냉복사 및 Cold draft영향으로 인해 창측 표면온도가 복도측보다 낮게 나타났다(Fig. 15).

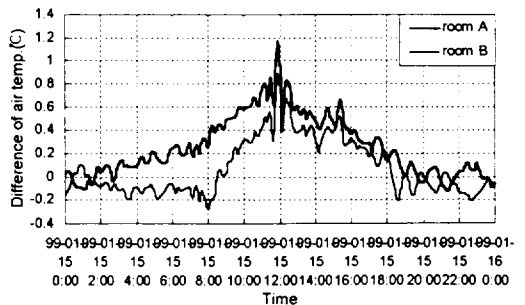


Fig. 15 The difference of human body model surface temp. between window and corridor side

### 5.1.3. 흑구온도

각 실험실의 창측과 복도측의 흑구온도차를 Fig.



16에 나타내었다. 실내 흑구온도 또한 전술한 인체발열모델 표면온도와 비슷한 양상을 나타내고 있다. 즉, 실내를 2등분하여 각각의 층상에 설치된 흑구온도계의 온도차를 보면, 실험실A, B 모두 난방시간대의 경우 최고 약 1°C정도 창측 흑구온도가 복도측보다 높게 나타났다. 그러나, 심야시간대에는 전술한 바와 같이 실험실A의 축열식 전기온풍기로부터 지속적으로 방출되는 복사의 영향으로 창측의 흑구온도가 높게 나타난데 반해, 실험실B에서는 창 및 외벽으로부터의 냉복사 영향으로 복도측 흑구온도가 오히려 창측보다 0.2°C정도 높게 나타났다.

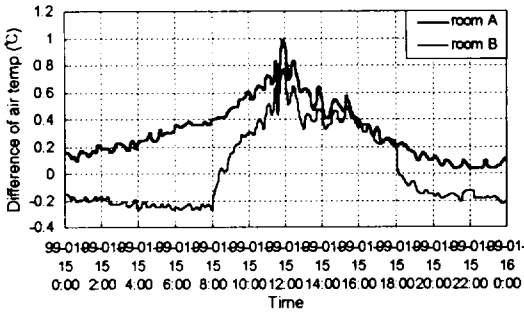


Fig. 16 The difference between window and corridor side globe temp. at each room

## 5.2 축열식 전기온풍기와 비축열식 전기방열기의 비교(case 2)

### 5.2.1. 실내공기온도 및 상대습도

실험실A에는 축열식 전기온풍기를, 실험실B에는 전기방열기를 각각 설치하여 실내 공기온도 및 상대습도를 측정하였다(Fig. 17). 대표일의 외기온도는 최저 -1.0°C, 최고 7.5°C의 기온변화가 있었으며, 옥외 상대습도 또한 외기온도와 연동하여 30~100%의 습도변화가 계측되었다. 실험실A의 실내 기준온도는 전술한 바와 같이 난방개시 시간대에 급상승 후 난방종료 시간대까지 완만하게 하강하는 온도구배를 보이는 반면, 실험실B에서의 실내 기준온도는 난방개시 시간대에 비교적 완만하게 온도상승을 하다가 16시경을 정점으로 하여 난방종료 시간대까지 완만한 온도 하강구배를 나타내었다. 심야시간대를 보면 실험실A의 축열식 전기온풍기는 난방기 표면으로부터 지속적인

로 복사열이 방출되어 온도하강을 억제하고 있지만, 실험실B의 전기방열기는 난방개시와 동시에 급격히 표면온도가 상승하여 종료시까지 거의 일정하게 온도를 유지하지만, 난방종료와 동시에 급속히 표면온도가 하강한 후, 익일 난방개시 시간대까지 계속 하강하고 있음을 알 수 있다(Fig 18).

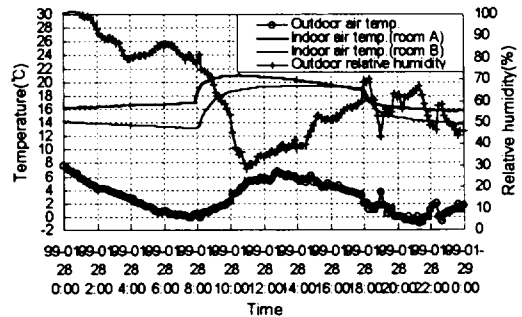


Fig. 17 Variations of air temp. and relative humidity

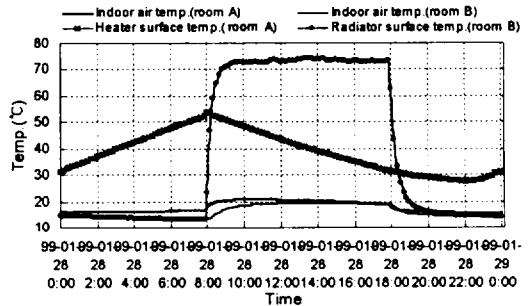


Fig. 18 Variations of heater surface and indoor air temp

실 층상부분의 상하온도차를 보면 실험실A가 0.6~1.7°C인 반면, 실험실B는 4°C내외의 큰 상하온도차를 보임으로써, 전기방열기 난방이 축열식 전기온풍난방보다 상하온도차가 높은 것으로 나타났다(Fig. 19). 그리고 실험실B의 경우, 열원이 공급되지 않으므로 심야시간대에는 상하 실내온도는 위치에 관계없이 극히 균일한 온도를 나타내었다. 또한, 난방시간대(12시 시점)의 위치별, 높이별 온도분포를 보면 난방기로부터 취출온풍을 직접적으로 받는 창측 부근을 제외하고는 실험실A에 비해 실험실B의 상하온도차가

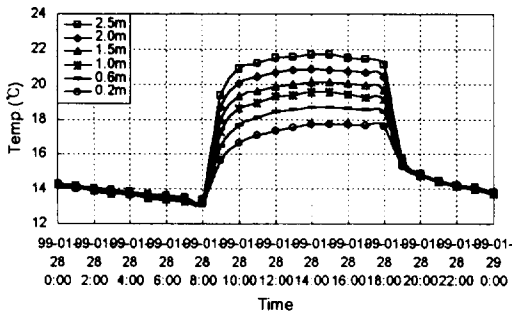


Fig. 19 Variations of air temp. with time and height(room B)

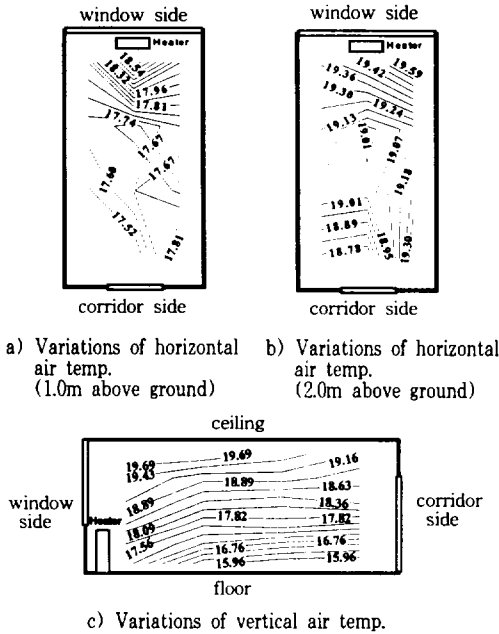


Fig. 20 Variations of indoor air temp. (room B, 1999. 1. 28. 09:00)

크게 나타났다(Fig. 19). 즉, Fig. 20에서, 실험실A의 축열식 전기온풍기는 난방기 주변을 제외하고는 균일한 온도를 나타내지만, 실험실B에서는 수평 및 연직 방향 모두 상대적으로 큰 온도차가 발생되고 있음을 알 수 있다. 특히 연직온도 분포의 경우, 약 3.7°C의 큰 상하온도차를 나타내었다. 이것은 방열기에서 방출된 복사열에 의해 덩어려진 공기가 부력의 영향으로 상부공간에, 상대적으로 저온의 공기가 하부에 정체

하기 때문으로서, 별도로 상하 공기의 대류를 유도하지 않는 한 상하간에 형성된 온도차는 개선되기 어려울 것으로 추정된다.

### 5.2.2. 인체발열모델 표면온도

이미 전술한 바와 같이 축열식 전기온풍기가 설치된 실험실A에서는 인체발열모델의 창측방향 표면온도가 복도측보다 항상 높게 나타났다. 실험실B의 경우는 난방시간에만 창측 표면온도가 최고 1.4°C 높게 나타났고, 심야시간대에는 창측 표면온도가 복도측 표면온도보다 2.0°C 정도 낮게 나타났다(Fig. 21). 이와 같은 결과는 실험실A의 경우 미약하나마 축열식 전기온풍기로부터의 복사열이 지속적으로 방출되기 때문에 풀이된다.

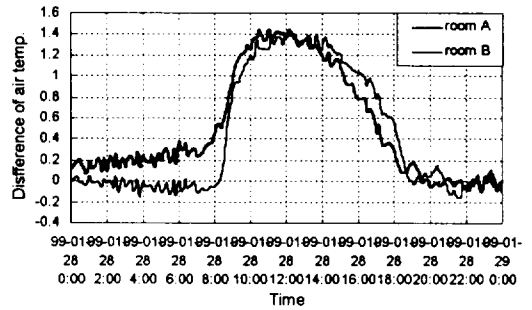


Fig. 21 The difference of human body model surface temp. between window and corridor side

### 5.2.3. 흑구온도

각 실험실의 창측 흑구온도와 복도측 흑구온도차를 Fig. 22에 나타내었다. 전술한 인체발열모델 표면온도에서 검토한 바와 같이, 난방시간대의 창측과 복도측의 흑구온도차는 양 실험실 모두 창측 흑구온도가 복도측보다 높게 나타났으며, 실험실A에서 1.2°C, 실험실B에서 1.4°C로서 전기방열기 난방인 경우가 0.2°C정도 높은 온도차를 나타내었다. 그러나, 심야시간대에 실험실B는 창측 흑구온도가 복도측보다 0.2°C 정도 낮게 나타났는데, 이것은 전기방열기에서 심야시간대에 복사열이 방출되지 않기 때문에 창측 및 외벽의 냉복사 영향으로 창측 흑구온도가 복도측보다 낮게 나타난 것으로 풀이된다.

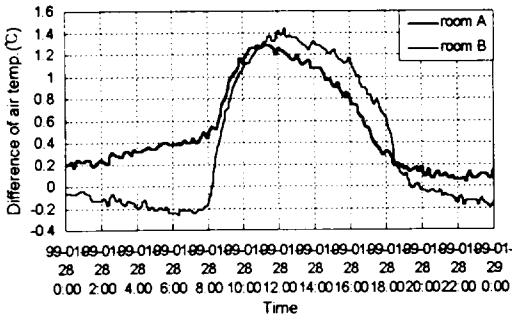


Fig. 22 The difference between window and corridor side globe temp. at each room

## VI. 결 론

이상의 실험결과들을 요약하면 다음과 같다.

1) 축열식 전기온풍기의 취출온도는 검토대상 난방기의 용량, 특성, 실의 난방부하에 따라 상이할 것으로 추정되나, 난방이 개시되는 8시를 정점으로 난방 종료시까지 일정한 기울기로 하강하였다. 실내기준온도 또한, 취출온도와 연동하여 난방이 개시되는 시간대를 정점으로 난방 종료시까지 완만하게 하강하였다. 축열식 전기온풍기는 취출온풍과는 별도로 축열이 진행되는 시간에도 난방기 표면을 통해 지속적으로 복사열을 방출함으로써 비난방 시간대의 실온저하를 억제하는데 기여하였다.

2) 본 실험결과에 의하면, 축열식 전기온풍난방시 실내공기온도는 수평방향으로는 극히 균일한 분포를 나타내었으나, 연직방향으로는 약 3°C의 상하온도차를 나타내었다.

3) 비축열식 전기온풍기 및 전기방열기 난방시 실내 기준온도 변화는 축열식 전기온풍 난방시의 온도 변화 곡선과 상반되는 분포를 나타내었다. 즉, 난방개시시의 저온상태에서 서서히 실온이 상승하기 시작하여 난방종료시점에서 가장 높은 온도를 나타내었다.

4) 비축열식 전기온풍기 및 전기방열기 난방시 실내온도는 수평방향으로는 균일한 온도분포를 나타내었으나, 연직방향으로 약 4°C의 상하온도차를 나타내어 축열식 전기온풍난방시보다 1°C 이상 높은 것으로 확

인되었다.

5) 난방시간대에 실내 최상부의 공기온도는 축열식 전기온풍기, 전기온풍기, 전기방열기 난방시 모두 비슷한 값을 나타내었으나, 하부의 공기온도는 축열식 전기온풍난방이 1~2°C 정도 높게 측정되어 거주공간(바닥에서 1m내외)에서의 쾌적도는 높은 것으로 평가되었다.

6) 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기의 난방특성은 심야시간대에서도 난방기 표면으로부터 복사열이 지속적으로 방출되어 실온저하를 억제하는 효과가 있으며, 실내온도가 가장 낮은 시간 즉, 난방개시 무렵에 비교적 신속하게 실온을 상승시킴으로써 재실자의 쾌적성 향상에 기여하고 있음이 확인되었다.

7) 축열식 전기온풍난방기는 난방종료시간대에 실온저하가 우려되므로 축열식 전기온풍기 설계 제작시 개선되어야 문제점으로서, 이 부분에 대해서는 향후 적절한 개선책이 마련되어야 할 것으로 생각된다.

8) 이상의 실험결과를 종합하면 일반전력요금의 1/4수준인 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍난방의 실내 온열환경은, 비축열식 전기온풍기 및 전기방열기 난방시에 비하여 우수하거나 비슷한 것을 알 수 있었다. 따라서, 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기는 경제성 및 쾌적성에서 우수한 난방방식임이 확인되었다.

## 참고문헌

- 1) 최동호, 양창남, 양정훈, 1999, 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기의 난방특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 제15권 제11호.
- 2) 최동호, 양창남, 양정훈, 1999, 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기의 축열용량 및 설치위치가 실내온열환경에 미치는 영향, 대한건축학회논문집(계획계), 제15권 제12호.
- 3) 윤용진, 박효순, 변운섭, 강호석, 1998, 초등학교건물의 심야전기이용 축열식 난방기기 적용성 검토, 대한건축학회논문집, 제18권 제2호, pp.823-828.
- 4) 금중수, 김경철, 1993, 심야전력을 이용한 잠열축열식 바닥난방 시스템의 성능평가에 관한 연구,

- 대한건축학회논문집, 제9권 제3호, pp.113-123.
- 5) 최동호, 1999, 저속급기 좌석취출 공조시스템을 채용한 대공간 거주역의 온열환경에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 제15권 제5호, pp.145-154.
  - 6) 정현수, 1987, 심야전력의 효과적 활용을 위한 주택의 축열식 전기난방 계통에 관한 조사연구, 한양대 산업대학원 석사논문.
  - 7) 이무진, 村上周三, 이증우, 1995, 바닥복사난방 거실의 온열환경에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 제11권 제2호, pp.107-115.
  - 8) 한국전력공사 수요관리실, 1999, 수요관리 기술세미나, pp.137-139.
  - 9) 鳩野正和, 淺野良晴, 岩井一博, 渡辺芳宏, 伊藤信夫, 1993, 學校建築における深夜電力利用潜熱蓄熱式床暖房の性能評價に関する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集 D 環境工學, pp.1677-1678
  - 10) 城田修司, 射場本忠彦, 松尾陽, 樋口誠六, 琴洙, 井上隆, 1989, 蓄熱床暖房システムに関する研究, 日本建築學會大會學術講演梗概集 D 環境工學, pp.1039-1040