碩士學位論文

深夜電力을 利用한 蓄熱式 電氣溫風器의 暖房特性에 관한 硏究

指導敎授 : 崔 棟 皓

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

梁 昌 男

1999

深夜電力을 利用한 蓄熱式 電氣溫風器의 暖房特性에 관한 硏究

指導敎授 崔 棟 皓

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

1999年 月 日

濟州大學校 産業大學院
建設環境工學科
建築工學專攻
梁 昌 男

梁昌男의 工學 碩士學位論文을 認准함.

1999年 月 日

委員長 _____ ㊞
委 員 _____ ㊞
委 員 _____ ㊞

목 차

List of Tables iii
List of Figures iv
List of Photos vii
Summary viii

Ⅰ. 서 론 1
1. 연구의 배경 및 목적 1
2. 연구방법 2
3. 연구범위 3

Ⅱ. 심야전력을 이용한 축열식 난방시스템의 개론적 고찰 5
1. 심야전력 요금제도의 개요 5
2. 축열시스템의 개발동기 및 필요성 8
3. 축열식 난방시스템의 고찰 8
4. 비축열식 난방기기의 고찰 11

Ⅲ. 실험개요 및 설정 조건 12
1. 실험대상 공간 12
2. 실험장치 12
3. 실험대상공간의 대칭성 검토 17
4. 실험종류 및 설정 조건 20

Ⅳ. 실험결과 및 고찰 21
1. 축열식 전기온풍 난방의 실내온열환경 특성(Case 1, 실험실A) 22
2. 축열식 전기온풍기의 설치위치가 실내온열환경에 미치는 영향 (Case 1, 실험실B) 25
3. 축열식 전기온풍기의 축열용량이 실내온열환경에 미치는 영향 (Case 2) 30

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

4. 축열식 전기온풍기의 축열용량 및 설치위치가 실내온열환경에 미치는 영향(Case 3) ····· 36
5. 비축열식 전기난방기의 실내온열환경 특성 비교(Case 4) ····· 41

V. 결 론 ····· 55

참고문헌 ····· 63

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

List of Tables

Table 1 Wall conditions experimental zone
Table 2 Specification of heating system)
Table 3 Check points idendity experimental space
Table 4 Experimental condition

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

List of Figures

Fig. 1 Variation of electric power demand according to time at the day of peak electric power demand
Fig. 2 Comparison of electric charge of housing, general and off-peak electricity
Fig. 3 Shapes and measuring points of experimental space
Fig. 4 Inner structure and surface distribution temp. of the human body model
Fig. 5 Comparison of the human body models' surface temps.
Fig. 6 Variation of the human body models' surface and indoor air temp.
Fig. 7 Comparison of loss amount of heat
Fig. 8 Comparison with vertical air temp.(1999. 1. 10 12:00)
Fig. 9 Correlation function of indoor air temp.(room B)
Fig. 10 Correlation function of the human body model(room B)
Fig. 11 Variation of air temp. and relative humaidity(case 1, room A)
Fig. 12 Local temp. distribution in supply jet of thermal storage heating system
Fig. 13 Variations of air temp. with time and height(case 1, room A)
Fig. 14 Variations of thermal storage heating system surface and indoor air temp.(room A)
Fig. 15 Variations of indoor air temp.(room B, 1999. 1. 12 09:00)
Fig. 16 Temp. variation of human body model(case 1)
Fig. 17 Globe temp. variation(case 1)
Fig. 18 Variation of air temp. and relative humaidity(case 1, room B)
Fig. 19 Comparison of air temp. of room A and correction temp. of room B(case 1)
Fig. 20 Comparison with vertical air temp.(1999. 1. 12. 15:00)
Fig. 21 Variations of air temp. with time and height(room B)
Fig. 22 Variations of indoor air temp.(1999. 1. 12. 09:00)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 23 The difference of human body model surface temp. between window and corridor side.(Case 1)
Fig. 24 The differenc between window and corridor side globe temp. (Case 1)
Fig. 25 Variation of air temp. and relative humaidity(case 2)
Fig. 26 Variations of thermal storage heating system surface and indoor air temp.(case 2)
Fig. 27 Comparison with vertical air temp.(1999. 1. 17 09:00)
Fig. 28 Variations of indoor air temp.(1999. 1. 17. 09:00)
Fig. 29 Air temp. difference of upper and lower at the middle of room(case 2)
Fig. 30 Variation of the human body models' surface temp. (case 2, room A)
Fig. 31 Variation of the human body models' surface temp. (case 2, room B)
Fig. 32 Variation of the human body models' surface temp.(side)
Fig. 33 Globe temp. variation(case 2, room A)
Fig. 34 Globe temp. variation(case 2, room B)
Fig. 35 Variation of air temp. and relative humaidity(case 3)
Fig. 36 Comparison of air temp. of room A and B(Case 3)
Fig. 37 Comparison with vertical air temp.(case 3, 1999. 1. 21. 09:00)
Fig. 38 Air temp. difference of upper and lower at the middle of room(case 3)
Fig. 39 Variations of indoor air temp.(1999. 1. 21. 09:00)
Fig. 40 The difference of human body model surface temp. between window and corridor side.(case 3)
Fig. 41 The differenc between window and corridor side globe temp.(case 3)
Fig. 42 Variation of air temp. and relative humaidity(case 4)
Fig. 43 Variations of supply jet and indoor air temp.(Case 4)
Fig. 44 Air temp. difference of upper and lower at the middle of room (case 4)
Fig. 45 Variations of air temp. with time and height(case 4, room A)
Fig. 46 Variations of air temp. with time and height(case 4, room B)
Fig. 47 Variations of indoor air temp.(room B)(1999. 1. 15. 09:00)

Fig. 48 The difference of human body model surface temp. between window and corridor side.(case 4)
Fig. 49 The differenc between window and corridor side globe temp (case 4)
Fig. 50 Variation of air temp. and relative humaidity(case 5)
Fig. 51 Variations of heater surface and indoor air temp.(case 5) (case 5)
Fig. 52 Variations of air temp. with time and height(case 5, room B)
Fig. 53 Variations of indoor air temp.(case 5, room B, 1999. 1. 28. 09:00)
Fig. 54 The difference of human body model surface temp. between window and corridor side.(case 5)
Fig. 55 The differenc between window and corridor side globe temp (case 5)
Fig. 56 Variations of air temp. and relative humaidity(case 6)
Fig. 57 Variations of heater surface and indoor air temp.(case 6)
Fig. 58 Air temp. difference of upper and lower at the middle of room (case 6)
Fig. 59 Variations of air temp. with time and height(case 6, room B)
Fig. 60 Variations of indoor air temp.(case 6, room B, 1999. 2. 4. 09:00)
Fig. 61 The difference of human body model surface temp. between window and corridor side.(case 6)
Fig. 62 The differenc between window and corridor side globe temp. (case 6)

List of Photos

Photo 1 View in room
Photo 2 View in measurement room
Photo 3 Heating experiment of thermal storage heating system
Photo 4. Heating experiment of electric with heating system
Photo 5. Heating experiment of electric radiator
Photo 6. Heating experiment of electric panel heater
Photo 7. Outdoor view of room
Photo 8. Electric with thermal storage heating system
Photo 9. Electric with heating system
Photo 10. Electric radiator
Photo 11. Electric power controller
Photo 12. Slidax(5KVA)
Photo 13. Electric power analyzer(Watt, pf V/Hz Ammeter)
Photo 14. Thermocouple(For measuring indoor air temp.)
Photo 15. Globe thermometer
Photo 16. Thermocouple(For measuring outdoor air temp.)
Photo 17. Relative humidity
Photo 18. Automatic votage regulator(10KVA)
Photo 19. Data logger module
Photo 20. Surface temp. of electric with thermal storage heating system (front)
Photo 21. Surface temp. of electric with thermal storage heating system (reverse)
Photo 22. Surface temp. of electric with heating system(front)
Photo 23. Surface temp. of electric with heating system(reverse)
Photo 24. Surface temp. of electric radiator(front)
Photo 25. Surface temp. of electric radiator(reverse)

A study on the Characteristics of Indoor Thermal Environment with Thermal Storage Heating System Using Off-Peak Electricity

Yang, Chang-Nam

Department of Construction and Environmental Engineering
Graduate School of Industry
Cheju National University
Supervised by Professor Choi, Dong-Ho

Summary

Recently, the number of thermal storage heating systems using off-peak electricity for office buildings has increased because of the advantages of cheap electric price, the keeping of clean indoor air and availability of partial heating, etc. Many researches concerning this system have been reported, but sufficient examinations on its performance are not made yet. In this study, we examined the effect of the location of a heater in a room and characteristics of indoor thermal distribution with the system. The results may be summarized as follows:

1. The thermal storage heating system contributed to maintain indoor air temperature due to emitting radiant flux continuously from the surface during off heating.
2. The heat from the perimeter side compensated down draft and radiant flux from the outer wall efficiently.
3. In case of setting heater at opposite side of perimeter zone, the human body model showed significant difference of surface temperature between the perimeter side and the opposite one.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅰ. 서 론

1. 연구배경 및 목적

심야전력은 전기사용이 적은 심야시간대의 잉여전력을 사용하여 축열 또는 축냉 하였다가 주간에 열원으로써 사용하는 기기에 대하여 값싼 전기요금을 적용하는 제도로써, 특정시간대에 집중되는 전력수요를 감소시키고, 심야시간대의 전력수요를 증대시켜 설비 이용율 향상 및 효율적인 에너지 소비를 유도하기 위해서 도입되었다. 심야전력 요금은 일반전력 요금의 1/4 수준으로 매우 저렴하여 사용자는 에너지 비용을 크게 절감할 수 있고, 전력공급회사는 설비 이용율 향상으로 전력 생산원가를 낮출 수 있으며, 국가적으로는 에너지 자원의 합리적 이용으로 국가경제에 기여할 수 있는 이점이 있다. 그러나, 초창기에는 이에 대한 인식부족 및 제도적인 뒷받침이 미비하여 사용율의 매우 저조하였으나, 지속적인 기술개발을 통한 축열식 냉·난방기기의 성능향상과 저렴한 유지비로 인해 점차적으로 그 보급이 증대되고 있다. 심야전력을 이용한 축열식 난방기기는 심야시간대(22시~08시)의 전력으로 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 있다. 그러나, 설치 및 시공이 용이하고 개별난방으로 유효한 축열식 전기온풍기를 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 전기온풍기의 실내 방열특성과 난방기 설치위치가 실내 온열환경에 미치는 영향을 검토함으로써, 난방설계 및 난방효

제주대학교 중앙도서관 JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

율 향상에 기여할 수 있는 기초 데이터로 제시하고자 한다. 특히, 본 연구에서는 실내 온열환경에 관한 분포특성 이외에, 재실자의 쾌적환경을 평가하기 위하여 인체를 모사한 인체발열모델을 실내에 설치하여 그 표면온도를 계측함으로서, 재실자의 체감온도를 포함한 축열식 전기온풍난방의 효과를 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 실시하였으며, 축열식 전기온풍기의 방열특성 및 일반난방기와의 실내온열환경 특성을 정량적으로 비교하였다.

2. 연구방법

본 실험은 공과대학건물 2층에 위치한 3.3m(폭)×7.2m(길이)×2.8m(높이) 크기의 실험실 2실을 실험대상공간으로 설정하고, 열전대(T-type)에 의한 실험대상공간의 위치별온도, 인체발열모델 표면온도, 실내 흑구온도, 외기온도 등 180여점을 측정점으로 하였으며, 계측된 데이터는 2대의 개인용 컴퓨터에 1분간격으로 자동 입력되도록 하였다. 인체의 쾌적도를 측정하기 위하여 인체 표준면적과 유사한 인체발열모델을 장방형의 상자형으로 제작하였으며, 표면온도의 균일성을 검토하여 4면의 상하 온도가 균일하도록 수 차례의 수정작업을 거쳐 제작하였다. 또한, 본 실험에 앞서 제작된 인체발열모델을 실험실 중앙에 각각 설치하고 두 실험실의 열적 대칭성 실험을 실시하였다. 본 실험은 1999. 1월 중순부터 2월말까지 실시하였으며, 실험 방법은 축열식 전기온풍기를 설치한 실험실A를 기준으로 하여 실험실B에는 축열식 전기온풍기의 설치위치, 설치용량을 다르게 하거나 비축열식 난방기를 각각 설치하면서 case별 온열환경 특성을 비교검토 하였다. case당 실험기간은 3~4일씩 16개 case의 실험을 실시하여 6개의 case를 선정하여 검토하였으며, case별 실험기간 중 가운데 날자를 대표일로 정의하여 대표일의 데이터를 분석하였다.

축열식 전기온풍기 및 비축열식 난방기기는 시판중인 제품 중 전기용량이 유사한 난방기기를 선택하였으며, 각종 계측장치는 건축공학과 보유장

비를 사용하였으며, 각 실험실 내부 벽체는 50mm 두께의 스치로폼을 부착하여 실험실간 손실 열량차를 최소화 하였다. 또한 심야전력은 24시간 타이머를 이용한 전력제어장치를 설치하여 심야전력 공급시간대인 22:00부터 익일 08:00까지 전력이 공급되도록 하였으며, 전력 공급계통에 자동전압조정기 및 슬라이덕스를 각각 설치하여 균일한 전력을 공급하였다. 실험실A와 B에 공급되는 난방용 전력은 1.5kW의 동일한 용량으로 공급되도록 슬라이닥스를 각각 설치하여 조정하였으며, 실험 기간중 실험실 출입문으로부터 손실되는 손실열량의 균일성을 확보하기 위하여 출입문은 폐쇄하고, 문틀과의 틈새는 테이프를 부착하여 열이 이동을 차단하였다.

3. 연구범위

실내환경의 쾌적함은 온도, 복사열, 습도, 기류, 먼지, 악취, 소음 등의 요소에 의해 좌우된다. 특히 온도, 복사열 및 습도와의 상관관계에 따라 인체가 느끼는 쾌적성은 크게 다르므로 쾌적성 평가에 중요한 지표가 되고있다. 본 논문에서는 인체의 쾌적도에 가장 영향을 주는 온도, 복사온도 및 상대습도의 측정에 한정하였다. 실내온열환경의 분석은 실내 각 위치별 온도와 복사온도의 데이터에 의하여 분석하였으며, 축열식 전기온풍기의 난방특성과 일반 난방기인 전기온풍기, 전기방열기, 전기바닥패널 난방시의 온열환경을 비교하였다. 그러나, 난방방식별 실내 온열환경 특성을 비교 분석하는 것은 난방방식별 실험일자가 서로 다르기 때문에 실내온열환경을 정량적으로 비교하는 것은 곤란하다. 따라서 그래프를 통해 난방방식별 실내온열환경 특성에 대한 경향분석을 하였다.

실험기간 중 본 실험실의 위치한 대상건물은 지하 보일러실에서 중기를 공급받아 각 실에 설치된 주철제 방열기에 의한 난방이 이루어지기 때문에, 실험실에 설치된 방열기는 철거하였으며, 인접한 강의실(계측실)의 방열기에는 중기공급을 차단하였다. 그러나, 건물 전체적인 난방으로 인하여 실험실 온열열환경에 경미한 영향이 고려될 수 있으나, 실험실의 바닥 및 천장 구조가 동일하고, 대상 실험실에 동일한 영향을 준 것이므로 연구결과 분석시 고려하지 않았다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅱ. 심야전력을 이용한 축열식 난방시스템의 개론적 고찰

1. 심야전력 요금제도의 개요

가. 도입 배경

우리나라 전력 부하현황은 1981년 이후 연간 최대부하(Peak Load) 시간대가 동절기 초저녁에서 하절기 낮 시간대로 이전되면서 선진국형 부하형태로 바뀌어 주간 및 야간, 동계와 하계의 계절부하 격차가 크게 나타났다. Fig.1은 1996, 1997년 여름철 최대전력수요 발생일의 시간대별 전력수요를 나타내고 있다. 전력수요 실적을 보면 1996년 8월 13일 15시에 최대부하가 발생하였는데 이 때의 최대전력은 3,228만kW로서 수요가 가장 적은 06시의 2,202만kW와는 1,026만kW의 수요 격차가 있었고, 1997년 8월 20일 12시에 최대부하가 발생하였을 때의 최대전력은 3,585만kW로서, 같은날자 06시의 전력수요 2,408만kW와 1,177만kW의 격차를 보이고 있으며, 그 격차는 매년 증대되어, 2010년에는 2,539만kW, 2015년에는 2,905만kW로 확대될 것으로 전망됨으로써, 계절간, 또는 주야간 전력수요 평준화 노력이 필요하다.[1] 이와 같이 연간 최대전력 수요가 여름철 낮 시간에 나타나고 있는 것은 냉방기기의 보급증가로 인하여 냉방용 전력비중이 그 만큼 커졌기 때문으로 풀이된다. 전력회사는 연중 전력소비가 가장 많은 여름철 낮 시간대의 최대전력수요를 기준으로 발전 및 송전설비를 건설해야 한다. 이와 같이 계절별, 시간대별 전력수요 불균형은 전력설비의 이용율 저하를 초래하여 결과적으로는 전력생산원가를 상승시키는 요인의 된다. 따라서, 심야전력 요금제도는 축열 또는 축냉하여 이용하는 냉난방기기에 저렴한 전력요금을 적용함으로써 심야전력의 수요를 증대시킴은 물론 낮 시간의 최대부하를 억제할 수 있는 효과를 기대할 수 있다.

1) 한국전력공사 수요관리실, 1999, "수요관리기술세미나", p66.

나. 심야전력 요금체계 및 보급현황

심야전력 요금은 심야시간(밤10시부터 익일 8시까지 10시간)에 전기를 이용하여 열 또는 온수를 만들어 저장후 사용하는 기기에 대하여 값싼 전기요금을 적용하는 전기요금제도이다. 에너지 공급측면에서 부하율 향상 및 전력설비의 이용율 제고를 통해 전력 공급원가를 낮출 수 있기 때문에 심야전력 요금은 99년 10월 현재 23.20원/kWh으로 일반전기 요금 93.18원/kWh에 비해 약 1/4정도에 해당하는 저렴한 수준이다(Fig.2).[2] 이러한 요금 수준은 보급 초기인 1985년도에 비해 약 50% 정도 인하된 수준이나 1995년도에 비해서는 약간 상승하였다. 한국전력에서는 심야전력 기기의 보급을 활성화하기 위하여 심야전력 요금을 저렴한 수준으로 유지하고, 심야전력 기기 설치시 전기공사비 지원 등 각종 금융지원을 하고 있다.

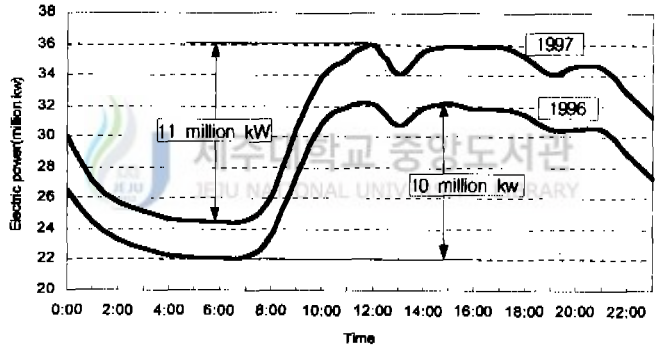


Fig. 1 Variation of electric power demand according to time at the day of peak electric power demand

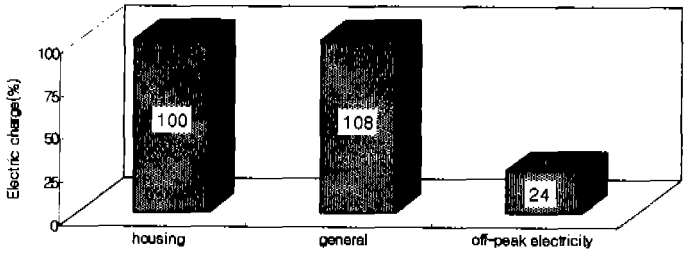


Fig. 2 Comparison of electric charge of housing, general, off-peak electricity.

2) 한국전력공사 수요관리실, 1999, "수요관리 기술세미나", p123.

한국전력 자료에 의하면 1998년 12월 현재 전체 전력 수용가 10,959천호 중에서 2.2%인 243천호가 심야전력을 이용하는 것으로 나타났으며, 매년 심야전력기기의 사용전력도 꾸준히 증가하여 1998년말 현재 3,566,000kW를 보이고 있다. 일본 동경전력의 경유 심야전력 보급율은 동경전력 수용가의 3.1%로서 우리나라 보다 높은 편이다.

다. 외국의 심야전력제도[3)]

1) 일본

계절 및 시간별 요금제도, 심야전력 요금제도 등 다양한 요금제도를 통하여 부하관리 위주의 요금제도를 시행하고 있으며, 다기능 축열조 및 전기온수기 등을 개발하여 보급하고 있고, 1985년부터 정부의 지원으로 설계보조금, 조사업무 위탁비, 보급장려금 지급 등 보급촉진책을 시행하고 있다. 또한, 다기능히트펌프 시스템, 탄산가스 축열, 콘크리트 축열공조 빌딩시스템, 패널 냉방시스템 등 다양한 축열식 냉·난방기기 개발을 위하여 지속적으로 추진하고 있다. 1998년도말 현재 심야전력 보급율은 일본 전체 전력수용가의 5.5%가 심야전력을 이용하는 것으로 조사되었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2) 프랑스

프랑스 또한 요금제도를 통하여 전력 부하관리를 시행하고 있다. 즉, 저부하시 요금은 첨두부하시 요금의 1/11 수준으로 매우 저렴하게 하여 저부하 시간대의 전력 소비를 확대하고 있다. 최근 국가적 차원에서 지역실정에 맞는 축열식 냉난방기기 개발계획을 수립하고 추진하는 것으로 알려졌다.

3) 대만

대만에서도 저부하 시간대의 전력사용을 유도하기 위하여 최고 1/8 정도의 싼 요금을 적용하고있으며, 축냉식 냉방시스템에 대한 개발을 강화하는 것으로 조사되었다.

---

3) 한국전력공사 수요관리실, 1999, "수요관리 기술세미나", p14~p18.

2. 축열시스템이 개발동기 및 필요성

축열시스템의 가장 큰 목적은 에너지의 효율적 이용이라는 측면에서 연구개발되어 왔다. 특히 태양에너지 이용에 관한 연구개발이 시작되면서 축열이 필요성이 대두되었고 축열재, 축열조, 축열방법, 제어 등이 연구되고 있다. 근래에는 전력부하 평준화 및 잉여전력의 효율적인 이용방법으로 심야전기를 이용한 축열시스템이 개발되어 보급되고 있다. 심야전력기기는 전력부하가 낮은 시간대에 전기에너지를 열에너지로 바꾸어 저장하였다가 사용하는 것으로써 ①주간의 전력부하 감소 ②부하상승의 완충 ③열원 고장시 대응 ④부분 부하시 열원효율저하를 방지 ⑤냉난방 설비용량의 축소 및 운전효율의 향상을 기대할 수 있고, 발전설비를 어느정도 줄일 수 있기 때문에 전력생산 원가를 절감할 수 있다.

3. 축열식 난방시스템의 고찰

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

전기난방시스템은 열류 이동에 따라 바닥온돌 복사난방과 온풍대류 난방방식이 있고, 축열상태에 따라 축열식과 비축열식으로 구분할 수 있다. 심야전력을 이용한 축열식 난방시스템은 전기 사용의 적은 밤 10부터 아침 8시까지 전력을 공급받아 물 또는 축열 성능이 우수한 축열재에 축열하였다가 나머지 시간대에 난방용으로 사용할 수 있도록 고안된 시스템으로써, 현재 보급되어 사용중인 난방기기는 축열식 전기보일러, 전기온돌, 전기온풍기가 있다. 이러한 전기난방기기는 연소에 의한 연기나 그을음이 발생하지 않고 실내공기를 오염시키지 않으므로 쾌적한 실내 환경을 조성할 수 있는 이점이 있다.

가. 전기난방 시스템의 일반적인 특성

1) 안전성 : 직접 열원을 이용함으로써 연소현상을 수반하는 타연료(석

유, 연탄, 가스)에 비해 안전하다.

2) 쾌적성 또는 위생성 : 전기는 청정에너지임으로 연소성이 없어 주변 환경, 배기가스대책, 산소결핍 등이 문제가 없다.
3) 편리성 : 에너지의 분배, 분할이 용이하고 제어성이 우수하며 열에너지로 전환이 용이하다.
4) 경제성 : 전기는 2차에너지이므로 1차에너지 가격에 영향을 받는다. 그러나, 근래에 원자력 발전 및 심야전력제도의 출현으로 가격이 안정되고 경제성이 있다.

나. 축열재의 구비조건

1) 단위체적당 축열량이 클 것
2) 열전도율이 높을 것.
3) 열이 출입이 가역적으로 일어나며 쉽게 열화되지 않을 것.
4) 화학적, 기계적으로 안전성이 높을 것.
5) 가연성, 부식성, 독성이 없고 안전할 것.
6) 취급이 간단하고 구입이 용이할 것.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

다. 축열체 열용량 계산

어떤 온도분포하에서 축열량은 비열, 밀도, 단위용량에 대한 질량으로 계산되며, 축열체 용적을 V, 비열을 c, 밀도를 d, 온도차를 Δt라 할 경우 총 축열량 Q는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q = V \cdot c \cdot d \cdot \Delta t$$

라. 축열식 전기난방시스템[4)]

1) 축열식 전기보일러

축열식 전기보일러는 일반 온수보일러의 연소장치인 버너대신 전기히터

4) 산업자원부, 1998, "98에너지절약 종합대책", p91~p93.

를 보일러 내부에 설치하고, 심야시간에 90℃의 온수를 만들어 보온효율이 높은 축열조에 저장하였다가, 필요한 시간에 온수를 순환시켜 난방(급탕도 가능)을 하는 장치로써, 가스, 기름보일러에 비하여 부피가 큰 단점이 있으나 연료보충이 필요없고, 화재 폭발 등으로부터 안전하며, 효율이 90~95%수준으로 에너지절약 효과가 우수하여 연료비가 저렴한 장점이 있다. 기기의 종류로는 축열방식에 따라 수축열식, 잠열축열식, 벽돌축열식 등으로 분류할 수 있는데 온수만을 축열조에 저장하는 수축열식이 가장 일반적이다. 잠축열식 보일러는 물 대신에 축열밀도가 큰 PCM(Phase Change Material)을 축열재료로 사용하는 것으로 물질이 상변화시 흡수 또는 방출되는 열(잠열)을 응용한 것이다.

2) 축열식 전기온돌

축열식 전기온돌은 재래식 온돌 난방방식을 전기식으로 개량하여 난방하는 방식으로 난방이 필요한 장소의 바닥면에 자갈, 잠열재 등의 축열재를 두껍게 시공하여 축열층을 설치하고 그 속에 전기히터를 매입하여 심야전력 공급시간동안 가열, 축열재에 열을 저장하였다가 서서히 방열하게 함으로써 난방효과를 얻는 시스템이다. 이 전기온돌 방식은 보일러 및 축열조가 필요없고 난방장소에서 직접 가열, 축열 및 방열이 이루어짐으로 열손실이 거의 없는 장점이 있는 반면, 축열층을 상당한 온도까지 가열하였다가 자연방열하기 때문에 열부하의 크기에 따라 방열량 조절이 어려운 단점이 있다.

3) 축열식 전기온풍기

축열식 전기온풍기는 축열성능이 우수한 고밀도 철화합물(High density magnetite brick)이나 산화마그네슘(MgO) 등을 포함한 세라믹 소재를 축열재로 하여 상자형의 케이스내에 충진되어 있으며, 축열재 사이에는 전기히터가 설치되어 있다. 심야전력을 사용하여 축열재에 600~800℃까지 가열, 축열하였다가 필요한 시간에 실내의 온도에 따라 자동으로 방열하는 구조로 되어있다. 열을 저장할 때는 외기온도 변화에 따라 익일 필요한 열량만큼 축열량을 조절할 수 있으며 방열시는 송풍기나 댐퍼를 통해 실내온도를 조절할 수 있다. 축열식 전기온풍기는 개별난방기로서 난방장소별로 각각 다른 온도로 조절이 가능하고, 별도의 제어장치를 부착하여

중앙감시제어도 가능하므로 설치장소의 제약을 받지 않는다. 이 기기는 온수축열 방식보다 축열온도가 높고, 한 대당 4~6평 정도의 공간을 난방할 수 있으며 좁은 공간에도 쉽게 설치할 수 있는 특성이 있다.

3. 비축열식 전기난방기기의 고찰

본 논문에서 축열식 전기온풍기의 난방특성과 비교하기 위하여 비축열식 난방기기인 전기온풍기, 전기방열기, 전기온돌 판넬을 사용한 실험을 실시하였다. 일반적으로 난방기들은 사용에너지 및 열전달 매체에 따라 여러 가지가 있으나, 축열식 전기온풍기와 비축열식 난방기기의 투입에너지의 양을 정량적으로 파악하기 위해서 전기를 사용하는 난방기기를 각 난방방식별 대표 난방기기로써 전기온풍기, 전기방열기, 전기온돌판넬을 선택하였다.

가. 전기온풍기

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

장방형의 사각상자 내부에 전기히터를 설치하고 소형팬을 통하여 가열된 공기를 외부로 방출하는 구조로 되어 있으며, 설정온도에 따라 자동으로 작동한다. 구조가 간단하고 설치가 용이하여 아무곳이나 사용할 수 있으나 일반전력을 사용하기 때문에 에너지 소비단가가 높다.

나. 전기방열기

방열기 내부에 전기히터를 내장하고 절연유를 충진한 후 봉인한 구조로 되어 있으며, 모든 기능이 자동으로 동작한다. 구조가 매우 간단하고 이동이 용이하여 일반주택 및 사무실 등에서 많이 사용한다.

다. 전기바닥패널

일정한 규격으로 제작된 강판패널에 전열선을 부착하고, 단열재를 덮어 일체화시킨 구조로써, 난방 면적에 따라 증설이 용이하도록 조립식으로 되어있다. 패널두께가 15mm이므로 기존 건물에 설치가 용이하며, 재래식 온돌과 같은 난방 효과가 있으므로 일반주택 및 소규모 사무실 등에 적합하다.

Ⅲ. 실험개요 및 설정 조건

1. 실험대상 공간

Fig.3에 나타낸 바와 같이, 공과대학 건물 2층에 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.3에서 알 수 있는 바와 같이, 실험실A의 좌측벽(벽체Ⅰ)은 내벽, 실험실B의 우측벽(벽체Ⅱ)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 50㎜ 두께의 스티로폼으로 단열하였다. 실험실A, B의 벽체조건 상세는 Table 1에 나타내었다

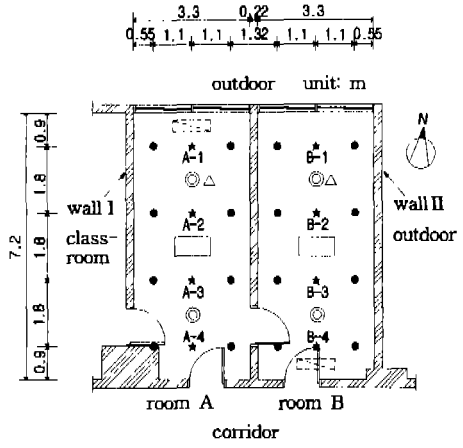
제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 실험장치

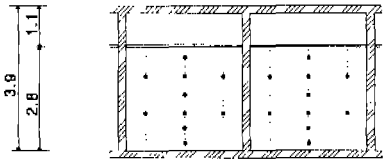
가. 실험대상 난방기

1) 축열식 전기온풍기

축열식 전기온풍기(GNA-2400, Green Way사)의 내부는 축열성능이 우수한 마그네시아 벽돌로 충진되어 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 자



a) Plan views



b) Elevation views

● : 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. 3 Shapes and measuring points of experimental space

Table 1 Wall conditions of experimental zone

Modelroom	Item	window	Outer wall		Inner wall		Corridor side wall
room A	Direction	N	N		W	E	S
	Area[m^2]	6.48	7.56		29.25	29.25	14.04
	Heat transmission coefficient [kcal/m^2h℃]	3.2	0.447		0.489	0.269	2.631
room B	Direction	N	N	E	W		S
	Area[m^2]	6.48	7.56	29.25	29.25		14.04
	Heat transmission coefficient [kcal/m^2h℃]	3.2	0.447	0.257	0.269		2.631

체 내장된 소형 팬을 가동시켜 실내를 난방한다. 취출구를 통한 난방 이외에 난방기 표면을 통한 복사난방 효과도 기대할 수 있다. Table 2에는 축열식 전기온풍기 및 본 실험에 사용한 난방기기의 제원을 나타내었다. 축열식 전기온풍기의 축열시간과 축열량은 난방시간대의 방열량에 따라 상이하며, 축열이 완료되면 전력공급이 차단되도록 설계되었다. 본 연구에서는 슬라이닥스에 의해 투입전압을 다소 낮추어 설정함으로서 심야시간대에 연속적으로 축열되도록 설정하였다.

2) 비축열식 난방기

사무소 건축물에서 일반적으로 사용하는 난방기는 보일러에서 가열된

Table 2 Specification of heating systems

Item	Power supply [Φ/V]	Power consumption [W]	Thermal storage capacity [kcal]	Outlet wind velocity [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	-	-

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

증기나 온수를 공급받아 사용하는 팬코일유니트, 방열기, 바닥온돌 등이 있으나, 본 연구에서는 투입 에너지량을 정량적으로 파악하기 위하여 전기를 에너지원으로 하는 전기 온풍기, 전기 방열기, 전기 바닥판넬을 사용했다. 난방기의 소비전력량은 축열식 전기온풍기와 비슷한 것으로 선정하였으며 1일 전력 투입량은 15kWh으로 동일하게 하였다.

나. 인체발열모델

1) 인체발열모델의 형상 및 구조

인체발열모델은 난방 설정조건에 따른 실내 쾌적성 등을 평가하기 위해 사용되며, 본 연구에서는 해석의 편의상 그 형상을 직육면체의 상자형으로 모델화 하였다. 크기 및 표면적은 각각 0.9m(높이)×0.44m(너비)×0.34m(깊이)와 1.55m^{2}으로써, 성인남녀 평균 표면적인 1.52m^2/인과 근사한

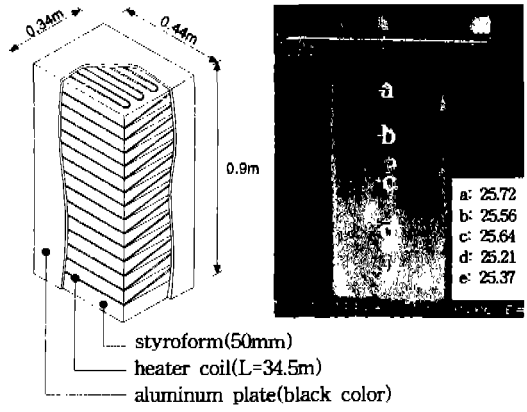


Fig. 4 Inner structure and surface distribution temperature of the human body model
(The photo of surface temp. is taken by thermo-camera)

크기로 설계하였다. 인체발열모델의 구조는 Fig.4에 나타난 바와 같이, 두께 50mm의 스티로폼을 직육면체의 형상으로 가공하여 그 표면에 히터선을 부착하였다. 히터선은 상부로 향할수록 그 간격을 넓게 배치하여 상하의 표면온도가 균일하게 유지될 수 있도록 배려하였으며, 히터선 외측에는 흑색 무광택으로 도장한 알루미늄 케이싱을 밀착시켰다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

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 착석 경작업시의 대사량에 근사한 값으로 설정하였다. Fig.4에

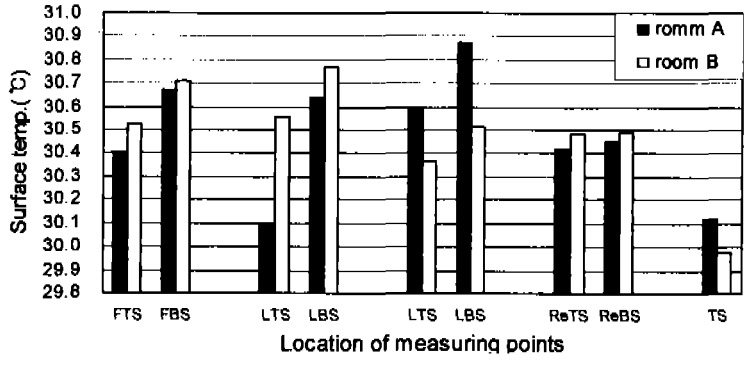


Fig. 5 Comparison of the human body models' surface temps.

제시한 표면온도는 열화상 장치(TVS-2000 Mk II, NIPPON AVIO-NICS사)를 이용하여 촬영한 온도로써, 극히 균일한 표면온도를 나타내었다. 2개의 인체발열모델 각각의 표면온도 측정결과(열전대에 의한 측정치)를 Fig.5에 나타내었다. 측정결과에 의하면, 각 모델간에는 최대 0.4℃이하의 온도차를 나타냄으로써 비교적 높은 대응성을 나타내었다.

다. 측정항목 및 방법

1) 온도

본 실험에서는 열전대(T-type)에 의한 실내 공기온도, 표면온도, 실내 흑구온도, 외기온도 등 총 180여점을 측정하였다. 실내 공기온도는 Fig.1에 나타낸 바와 같이, 각 실험실당 40여점을 측정하였으며 공기온도 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 온도측정점 중 인체발열모델 전후에 위치한 실 중앙의 2점의 온도를 실내기준온도로 설정하였다. 이 실내 기준온도는 각 실을 대표하는 온도로써, 난방방식 및 난방기 설치위치에 따른 효과를 분석하는 중요한 지표로 활용된다. 각 점의 온도데이터는 Data Logger(Datascan 7320, Datascan사)를 통해 매분마다 컴퓨터에 입력되도록 하였다.

2) 상대습도

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

3) 전력량

축열식 전기온풍기에 공급되는 전력량은 심야시간대(22시~08시)에 히터로 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 자동전압조절기(AVR)를 연결하여 안정된 전력을 공급할 수 있도록 하였으며, 출력측에는 축열식 전기온풍기와 인체발열모델에 슬라이닥스를 각각 연결하여 설정된 전력이 공급될 수 있도록 하였다. 또한, 출력측에 디지탈식 전력계(MACH30 & MACH-DAT/S, DUCATI energia사)를 설치하여 축열식 전기온풍기와 인체발열모델에 공급되는 전력을 매분마다 계측하였다. 축열식 전기온풍기에 공급되는 전력은 1.5kW로써, 수차례의 예비실험을 통해 1일동안 축열되는 전력량(15kWh)을 파악하여, 심야전력이 공급되는 10시간 동안 연속적으로 공급되도록 하였다.

3. 실험대상공간의 대칭성 검토

가. 실험 조건

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

실험대상 공간은 전술한 바와 같이, 공간적으로는 대칭적 구조를 갖고 있지만 벽체의 단열조건 등 열적 조건은 동일한 조건으로 형성되어 있지 않다. 이로 인해 실험실A, B에서 측정한 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 벽

Table 3 Check points identify experimental spaces

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

체를 통한 관류열량을 계산함으로써 시간대별 손실열량을 산출하였다. 실험은 1999년 1월 9일 12:30~10일 12:30에 실시되었다.

다. 실험 결과

대칭성 실험 결과(Fig.6)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℃의 차가 계측된 반면, 비난방 시간대에는 최대 1℃ 정도의 차가 계측되었다. 실내 기준온도 뿐만 아니라 인체발열모델의 표면온도도 실내 기준온도와 동일한

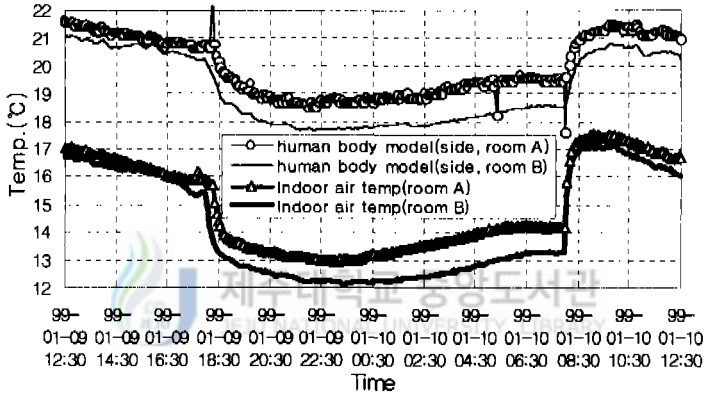


Fig. 6 Variation of the human body model's surface and indoor air temp.

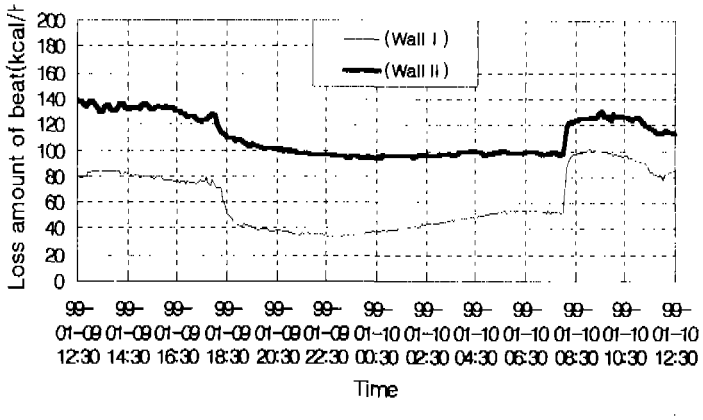


Fig. 7 Comparison of loss amount of heat

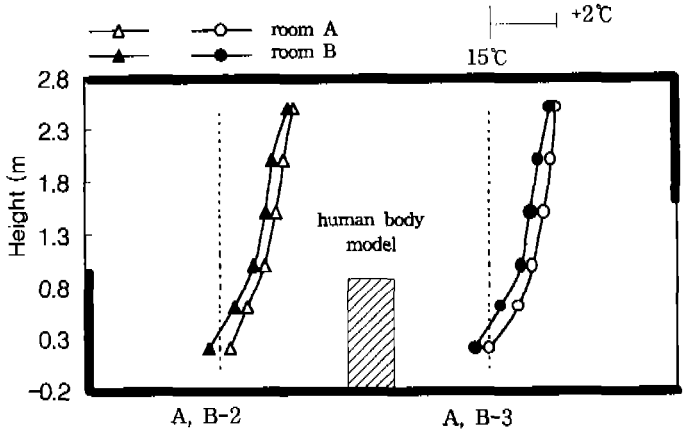


Fig. 8 Comparison with vertical air temp.
(1999. 1. 10. 12:00)

경향을 나타내고 있으며, 실험실B의 인체발열모델은 실험실A보다 주간에 0.5℃, 야간에 1℃ 가량 낮게 나타났다.

각 실험실의 손실열량에 있어서도 Fig.7에서 알 수 있는 바와 같이, 외벽(벽체Ⅱ)을 통한 손실열량이 내벽(벽체Ⅰ)보다 20~60kcal/h 정도 높게 나타났다. 그러나, Fig.8과 같이 실중앙 단면의 상하 온도구배를 살펴보면 양 실간의 온도는 거의 동일한 기울기를 나타내고 있으므로, 본 연구에서는 측정된 실험실A, B의 실내 기준온도, 인체발열모델 표면온도, 외기온도를 이용하여 Fig.9, 10과 같은 보정함수를 도출하였다. 이 보정함수는 실험실A, B간의 온도차를 보정해줌으로서 두 실간의 실내 기준온도, 인체발열모델 표면온도 비교시에 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

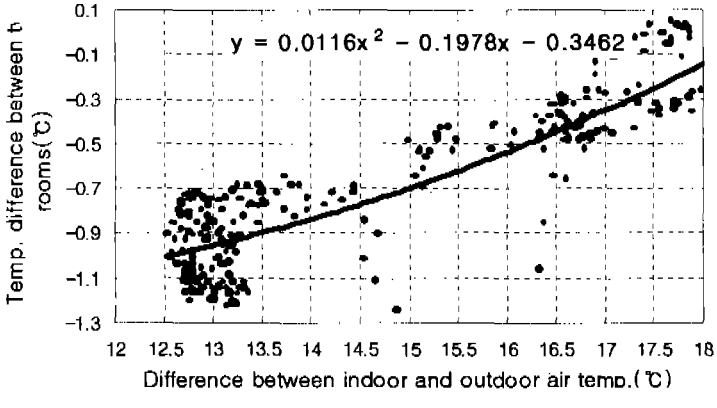


Fig. 9 Correlation function of indoor air temp.(room B)

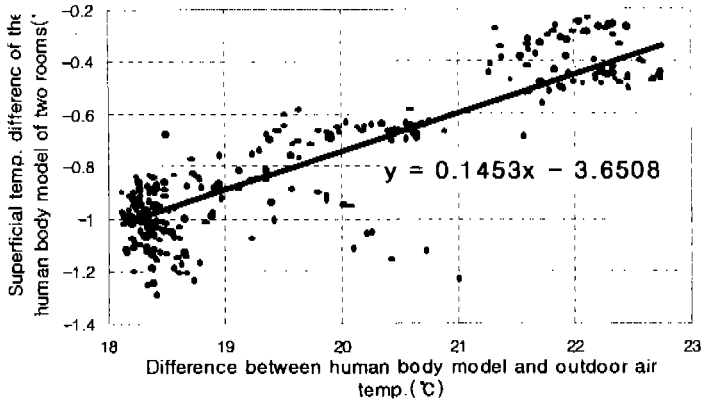


Fig. 10 Correlation function of the human body model(room B)

4. 실험종류 및 설정조건

본 논문에서는 Table 4에 보는바와 같이 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기를 주 실험대상 난방기기로 하여 6종류의 실험을 실시하였다. case1인 경우, 실험실A에서는 축열식 전기온풍기를 실 외주부(창측)에 설치한 경우로써 외주부 냉부하를 효율적으로 차단할 수 있는 이점 때문에, 일반적으로 널리 적용되고 있는 방식이다. 반면, 실험실B에서는 실 내주부(복도측)에 온풍기를 설치할 경우의 효과를 비교, 검토하기 위해 설정된 실험으로서 축열식 전기온풍기를 내주부(복도측)에 설치한 경우이다. case2, case3의 실험은 축열식 전기온풍기를 2대 또는 온풍기를 외주부(창측)와 내주부(복도측)에 분리 설치한 경우 난방특성을 검토하기 위한 실험이며, case3, case4, case5는 실험실A의 외주부(창측)에 축열식 전기온풍기를 설치하고 실험실B에는 일반 난방기인 전기온풍기, 전기방열기, 전기바닥판넬을 각각 설치하여 축열식 전기온풍기와의 난방특성을 비교하기 위한 실험이다. 실험은 case별로 약 3일 동안 A, B실험실에서 동시에 실시되었으며, 본 논문에서는 둘째날을 대표일로 설정하고 대표일의 실험결과를 고찰하였다. 또한, 실험이 실시되는 동안 출입문은 폐쇄하였고, 실험실 조명은 소등하므로써 조명부하는 고려하지 않았다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 4 Experimental condition

Case	Room	Condition	Location of heating system	Duration of experiment	Representive day	Input power capacity [kWh]	Mean outdoor temp. [℃]
case 1	A	Thermal storage heating system	window side(1)	1999 /01/10 15:00 ~ 01/13 10:00	1999/01/12	15	1.0
	B	Thermal storage heating system	corridor side(1)				
case 2	A	Thermal storage heating system	window side(1)	1999 /01/16 22:00 ~ 01/19 18:00	1999/01/17		1.8
	B	Thermal storage heating system	window side(2)				
case 3	A	Thermal storage heating system	window and corridor side	1999 /01/19 19:00 ~ 01/23 18:00	1999/01/21		1.6
	B	Thermal storage heating system	window side(2)				
case 4	A	Thermal storage heating system	window side(1)	1999 /01/13 23:00 ~ 01/16 18:00	1999/01/15		0.9
	B	Electric heating system	window side(1)				
case 5	A	Thermal storage heating system	window side(1)	1999 /01/26 20:00 ~ 01/29 19:00	1999/01/28		3.0
	B	Electric radiator	window side(1)				
case 6	A	Thermal storage heating system	window side(1)	1999 /02/02 00:00 ~ 02/05 18:00	1999/02/04		-0.05
	B	Electric pannel heating system	floor				

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅳ. 실험결과 및 고찰

1. 축열식 전기온풍난방의 실내온열환경 특성(case 1, 실험실A)

가. 실내공기 온도 및 상대습도

축열식 전기온풍기를 실험실A 외주부(창측)에 설치하여 측정한 실내외 온도 및 상대습도 분포를 Fig.11에 나타내었다. 대표일의 외기온도는 주야에 관계없이 거의 일정한 상태를 유지하였으며, 옥외의 상대습도 또한 외기온에 연동하여 일중 80% 내외의 극히 안정된 값을 나타내었다. 실내습도 또한 실내온도와 연동하여 난방시에는 45%, 비난방시에는 55% 정도를 나타내고 있다.축열식 전기온풍기의 취출온도는 취출구 우측에 편중되어 취출용 팬이 부착됨으로서 Fig.12에 나타낸 바와 같이, 취출구내의 위치에 따라 큰 온도차를 나타내었다. 또한, 난방개시(08시)와 동시에 고온의 온풍을 취출하기 시작하여 시간이 경과됨에 따라 서서히 하강하여, 팬이 정지하는 18시경에는 가장 낮은 취출온도를 나타내었다. 계측된 취출구내의 위치별 온도차도 난방 개시시에는 약 70℃의 큰 온도차를 나타내었으나, 난

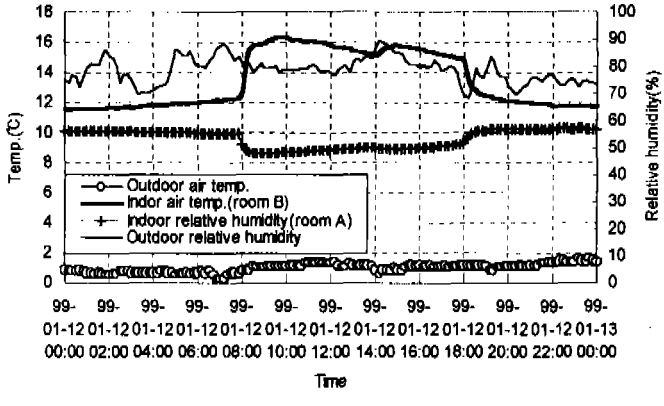


Fig. 11 Variations of air temp. and relative humidity (case 1, room A)

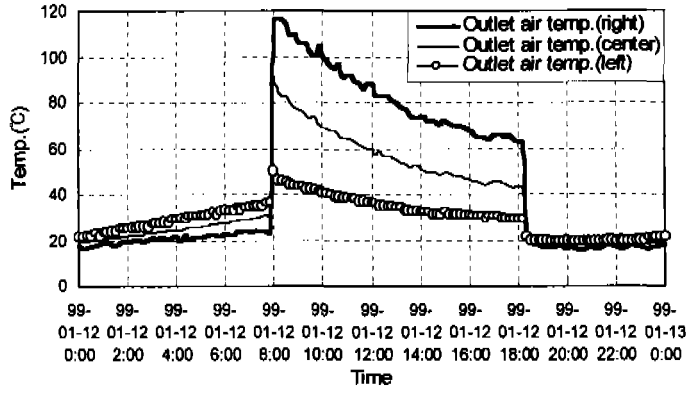


Fig. 12 Local temp. distribution in supply jet of thermal storage heating system

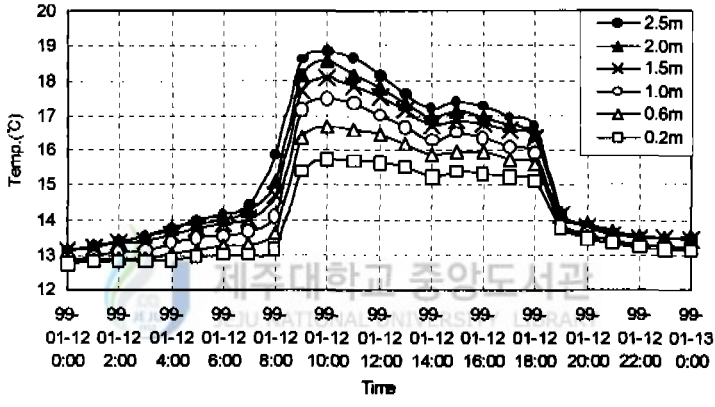


Fig. 13 Variations of air temp. with time and height (room A)

방 종료시에는 약 30℃정도로서 그 차가 크게 줄었음을 알 수 있다(Fig.12) 난방개시와 종료시의 취출온도차는 실내의 높이별 온도에 즉각 반영되어, 난방 개시시에는 약 3℃정도의 비교적 큰 상하온도차가 계측되었으나, 난방 종료시에는 약 2℃이하로 그 차가 줄어 들었음을 알 수 있다(Fig.13). 또한 축열식 전기온풍기는 취출온풍과는 별도로 축열이 진행됨과 동시에 난방기 표면을 통해 지속적으로 복사열을 방출한다. 이러한 난방기표면을 통한 방열은 난방개시시의 최고온도를 정점으로 하여 축열시작시간(22시)까지 서서히 하강곡선을 그리며 방열된 후, 축열시작시간대(22:00)에 다시 난방기 표면온도가 상승한다. 이러한 난방기 표면으로부터의 지속적인 복사열 방출은 난방시간대는 물론 비난방 시간대의 실온저하를 억제하는데

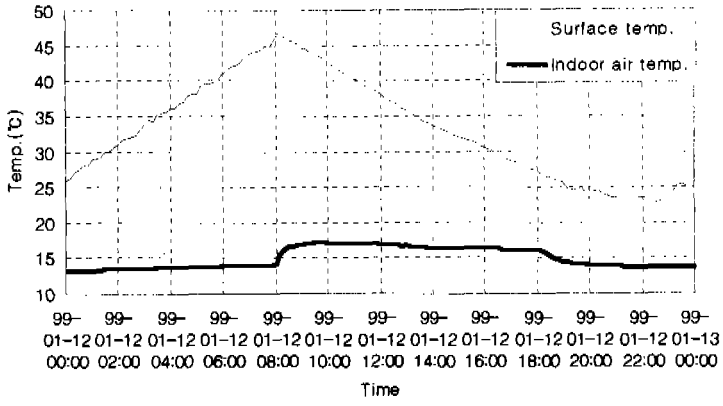
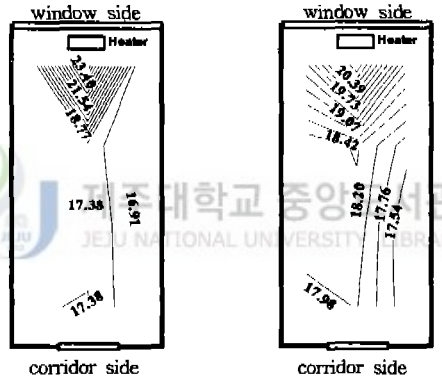
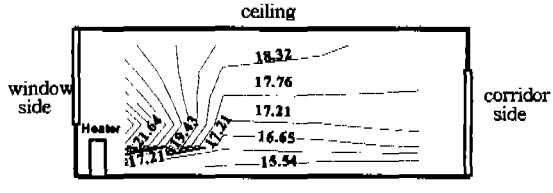


Fig. 14 Variation of heater surface and indoor air temp. (room A)



a) Variations of horizontal air temp. (1.0m above ground)

b) Variations of horizontal air temp. (2.0m above ground)



c) Variations of vertical air temp.

Fig. 15 Variations of indoor air temp. (room B, 1999. 1. 12. 09:00)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

기여하고 있음을 알 수 있다(Fig.14). 09시의 지상 1m와 2m높이의 수평온도분포는 온풍이 취출되는 방열기 주변을 제외하고는 극히 균일한 온도를 나타내고 있다. 반면, 연직온도분포(Fig.15 c)는 약 3℃ 정도의 비교적 큰 상하온도차를 나타내었다. 이것은, 창측 하부에 설치된 전기온풍기로부터 저속(0.16m/s)으로 취출된 온풍이 강한 부력에 편승하여 급속히 상승한 후 상부공간에 정체하는 반면, 하부공간에서는 창 및 외벽으로부터 유입되는 down draft가 바닥주변으로 하강, 정체함으로써 결국 실내에는 극히 안정된 온도성층을 형성하였기 때문으로 풀이된다. 축열식 전기온풍기의 취출구 부근에서는 급한 온도구배를 관찰할 수 있으나, 취출풍속이 0.16m/s의 저속이므로 이로 인한 인체에의 불쾌감은 발생되지 않을 것으로 판단된다.

나. 인체모델 온도

난방이 공급되는 주간시간대의 인체발열모델 각 표면온도는 창측에 면한 측이 복도측보다 최대 약 0.5℃ 정도 높게 나타났다(Fig.16). 이것은 창 및 외벽으로부터 강한 냉복사가 유입됨에도 불구하고, 창측 바닥에 설치된 축열식 전기온풍기로부터 취출되는 온풍 및 복사의 영향이 크게 작용되었기 때문이다. 반면, 야간시간대에는 난방이 공급되지 않으므로 향에 따른 온도차는 크게 축소되었다

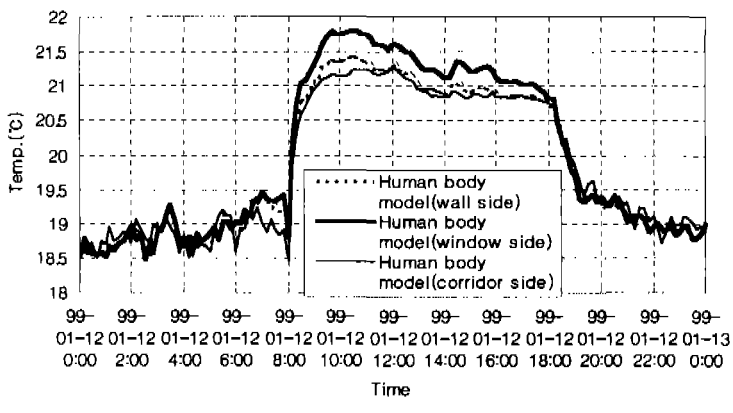


Fig. 16 Temp. variation of human body model(case 1)

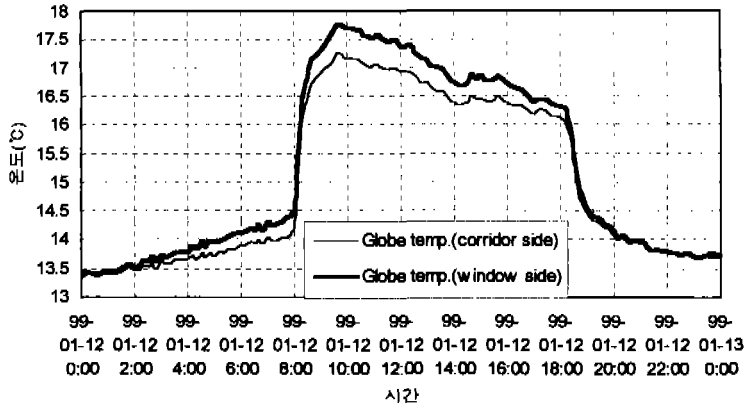


Fig. 17 Globe temp. variation(case 1)

다. 실내 흑구온도

실내 흑구온도 또한 전술한 인체발열모델의 표면온도와 동일한 양상을 나타내고 있다. 즉, 실내를 2등분하여 그 중앙에 각각 설치된 흑구온도 계측치에 의하면, 창측에 가까운 흑구온도가 복도측보다 최대 0.6℃ 높게 나타나고 있다(Fig.17). 이것은 전술한 바와 같이, 축열식 전기온풍기로부터의 온풍 및 복사의 영향이 크게 작용한 것에 기인한 결과로 추정된다.

2. 축열식 전기온풍기의 설치위치가 실내온열환경에 미치는 영향
(Case1, 실험실B)

가. 실내 공기온도 및 상대습도

실험실B는 축열식 전기온풍기를 내주부(복도측)에 설치한 경우로서, 실내외 온도 및 상대습도를 Fig.18에 나타내었다. Fig.18에서 알 수 있는 바

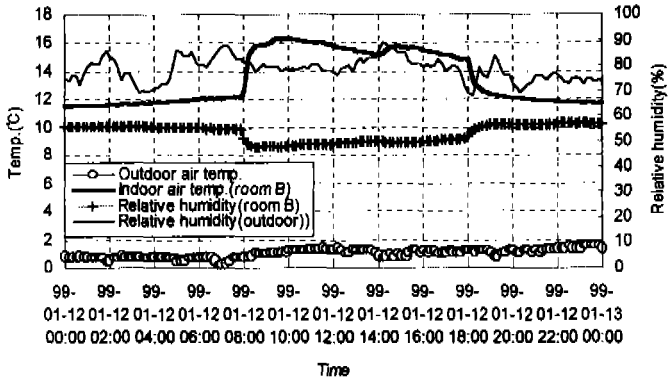


Fig. 18 Variation of air temp. and relative humidity (case 1, room B)

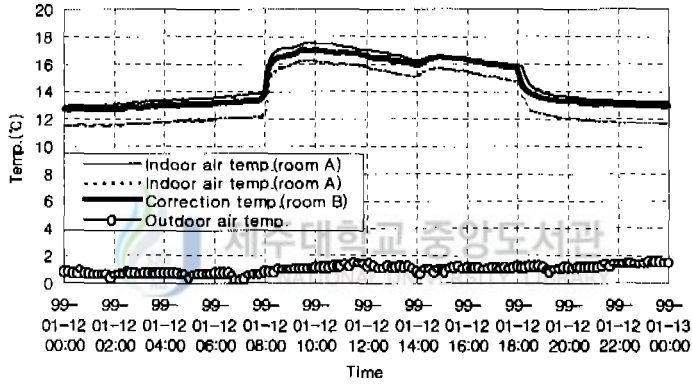
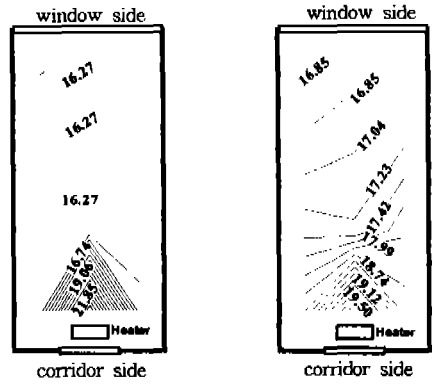


Fig. 19 Comparison of air temp. of room A and correction temp. of room B(case 1)

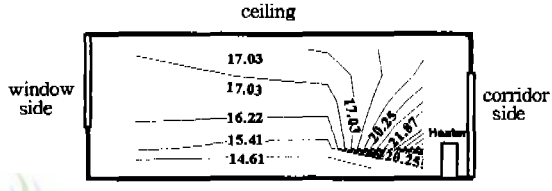
와 같이, 난방기 위치를 외주부(창측)에서 내부부(복도측)로 이동하더라도 이에 따른 주목할 만한 실내외 온습도의 영향은 관찰되지 않았다.

실험실B의 실내 기준온도를 보정함수에 의해 보정한 온도를 Fig.19에 나타내었다. Fig.19에 의하면, 실험실B의 보정함수에 의해 도출된 보정온도는 실험실A의 실내 기준온도와 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. 또한, Fig.21에 나타난 바와 같이 실험실A, B간에는 1℃ 이하의 온도차가 계측되었으나, 인체발열모델 주변의 공기온도는 거의 동일한 상하 온도구배를 유지하고 있음을 알 수 있다. 즉, 이번 실험에서 난방시간대의 실내 공기온도는 축열식 전기온풍기의 설치위치 변화에 따른 현저한 영향은 관찰되지 않



a) Variations of horizontal air temp. (1.0m above ground)

b) Variations of horizontal air temp. (2.0m above ground)



c) Variations of vertical air temp.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 20 Variations of indoor air temp. (room B, 1999. 1. 12. 09:00)

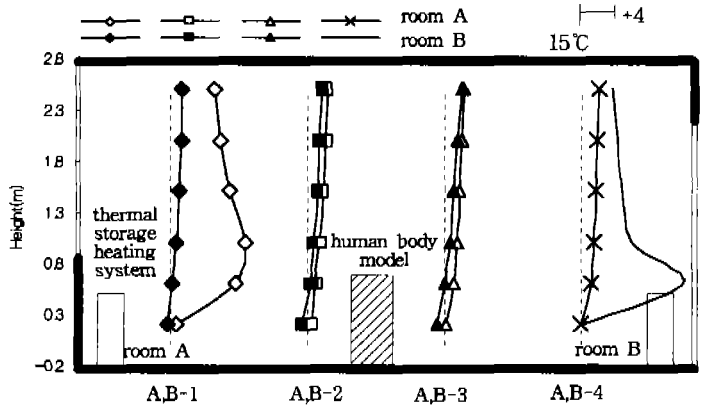


Fig. 21 Comparison with vertical air temp. (1999.1. 12. 09:00)

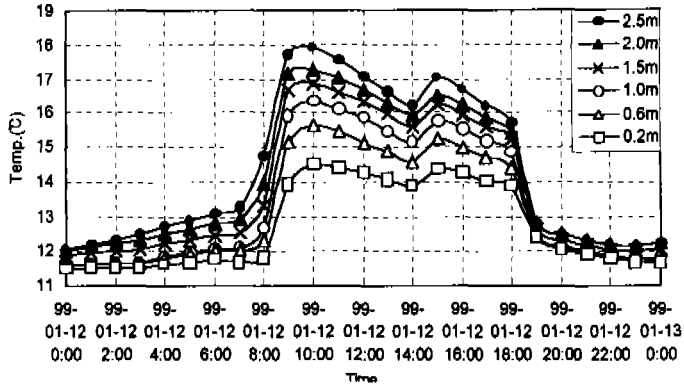


Fig. 22 Variations of air temp. with time and height(room B)

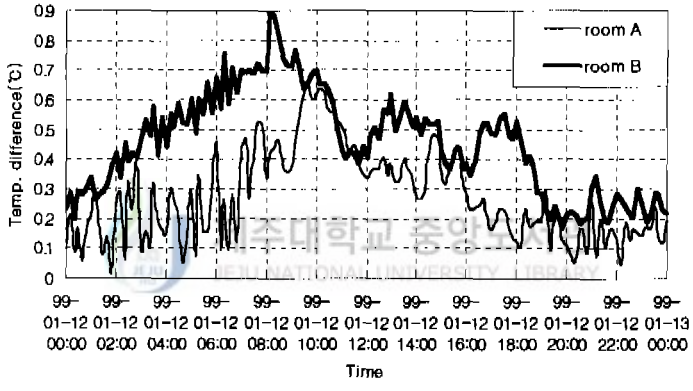


Fig. 23 The difference of human body model surface temp. between(case 1)

았다. 그리고 난방개시에서 종료시까지의 실내 높이별 온도분포는 실험실 A에서의 상하간 온도차와 거의 유사한 온도분포를 보였다(Fig.22). 수평온도분포 또한 지상 1.0m, 2.0m 높이 모두 온풍이 취출되는 온풍기 주변을 제외하고는 실험실A에서 검토한 결과와 같이 극히 균일한 온도를 나타내고 있다(Fig.20).

나. 인체발열모델 표면온도

실험실B의 인체발열모델 표면온도는 실험실A와는 반대로 복도측, 옆면,

창측 순으로 높게 나타났다. 여기서 주목해야 할 사항은 인체발열모델의 복도측과 창측의 표면온도차가 실험실A에 비해 실험실B가 현저히 크게 나타난 점이다(Fig.23). 이것은 축열식 전기온풍기를 외주부(창측)에서 내주부(복도측)로 이동함으로써 창 및 외벽으로부터 냉복사 및 down draft의 영향이 배가되어, 전술한 실험실A에서 검토된 결과보다 인체발열모델의 양방향 표면온도차가 상대적으로 크게 벌어진 것으로 풀이된다. 따라서, 실험실B와 같이 내주부에 난방기를 설치할 경우에는 외주부에 설치할 경우보다 외벽에서 실내로 향하는 강한 냉복사의 영향으로 인체가 느끼는 체감온도차가 증대된다는 것을 확인할 수 있었다. 그리고, 이러한 온도차는 난방개시 및 종료 무렵에 특히 크게 나타나고 있다.

다. 실내 흑구온도

실내에 설치된 흑구온도계 복도측과 창측간에 인접한 각각의 흑구온도계의 온도차를 Fig.24에 나타내었다. 두 지점간의 흑구온도도 전술한 인체발열모델 표면온도에서 실험실B에서의 양측 온도차가 실험실A보다 항상 크게 나타났으며, 이러한온도차의 격차는 난방시보다 비난방시간대가 더 큰 것으로 계측되었다. 이러한 결과는 축열식 전기온풍기가 야간시간대에도 많지는 않지만 난방기 표면을 통해 복사열을 방출하므로써, 외주부 부하를 효율적으로 차단한 것에서 기인한 결과로 풀이된다.

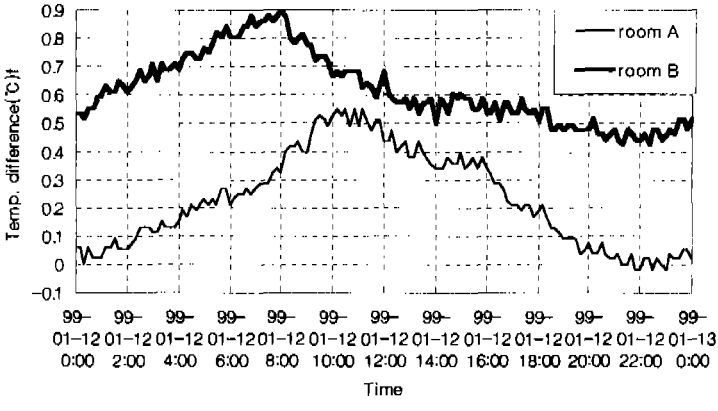


Fig. 24 The differenc between window and corridor side globe temp. (Case 1)

3. 축열식 전기온풍기의 축열용량이 실내온열환경에 미치는 영향 (case 2)

가. 실내 공기온도 및 상대습도

실험실A의 실내외 온도 및 상대습도를 Fig.25에 나타내었다. 대표일의 외기온도는 최저 -1.8℃, 최고 5.0℃의 비교적 저온을 나타내고 있으며, 옥외상대습도 또한 외기온에 연동하여 60~90%의 분포를 나타내었다. 각 실의 실내기준온도는 심야시간동안 축열된 온풍이 취출되기 시작하는 8시경에 급상승하여, 점차 오후로 접어들면서 완만한 하강곡선을 나타내었다. 그 후 온풍공급이 중단되는 18시를 경계로 실내기준온도는 하강하였으며, 야간시간대에는 외기온의 변화에도 불구하고 급속한 실온변화를 수반하지 않는 비교적 일정한 실온을 유지하였다(Fig.25). 실험실B의 경우, 난방기 설치대수가 증가됨에 따라 난방기의 축열용량에 비해 난방기 단위용적당 투입되는 전력량이 실험실A보다 상대적으로 감소하여 축열체에 충분한 열량이 축열되지 못하게 된다. 결국, 단위용적당 축열량의 감소가 곧바로 전기온풍기의 표면온도에 반영되어, Fig.26에서 알 수 있는 바와 같이 두 실간

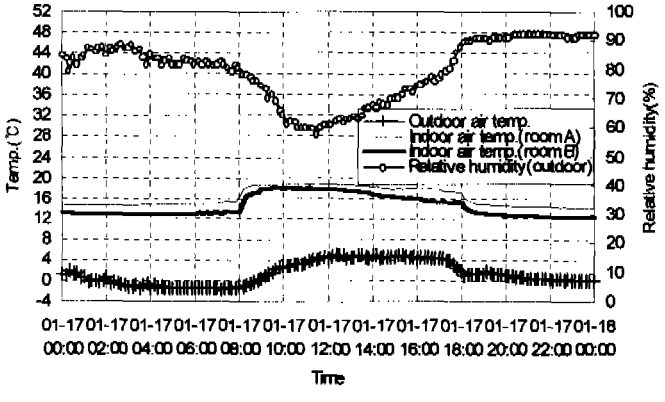


Fig. 25 Variation of air temp. and relative humaidity(case 2)

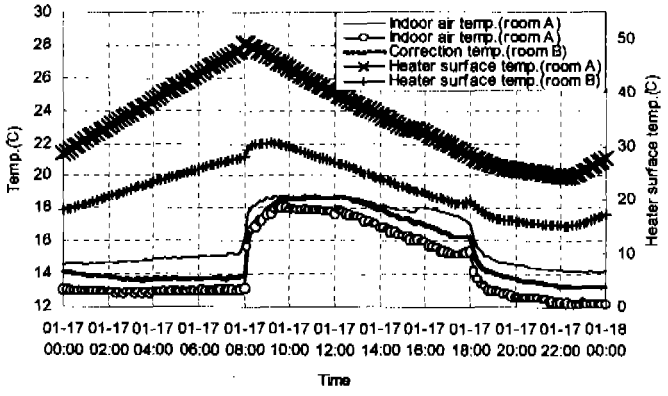


Fig. 26 Variations of thermal storage heating system surface and indoor air temp.(case 2)

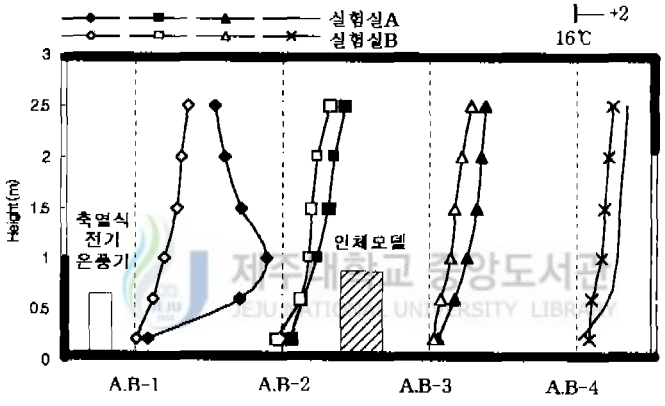
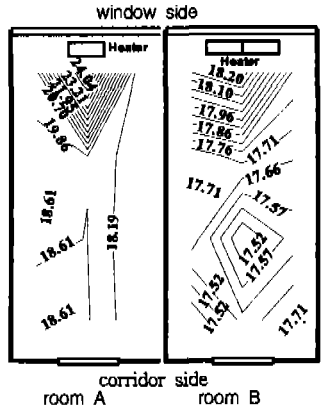
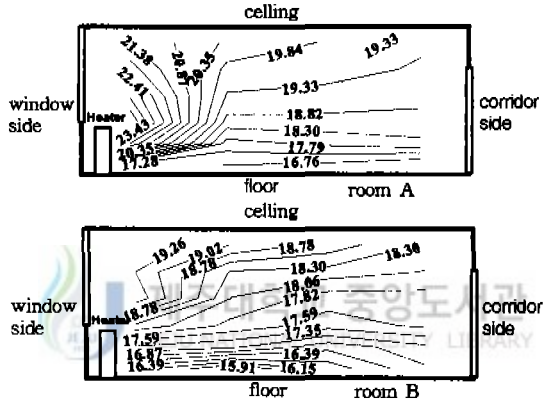


Fig. 27 Comparison with vertical air temp. (case 2, 1999. 1. 17. 09:00)

의 난방기표면 온도차는 약 9~20℃의 온도차를 나타내었으며, 이러한 온도차가 실내온도에 영향을 주었을 것으로 판단된다. 실험실A, B의 실내기준온도는 비난방 시간대에 평균 1.9℃, 난방시간대에는 평균 1.6℃의 실간 온도차를 나타내었다(Fig.26). 이것은 열관류 조건이 상이한 벽체Ⅰ,Ⅱ가 실내기준온도에 미친 영향도 포함된 결과이기 때문에, 두 실험실간의 실내기준온도를 정성적으로 비교하기 위해서는, 전술한 보정함수에 의한 실험실B의 보정온도와 실험실A의 실내기준온도를 비교하여야 한다(Fig.26). 그 결과, 실험실A의 실내기준온도와 실험실B의 보정온도는 난방개시 초기에는 거의 일치하는 결과를 나타내었으나, 비난방 시간대와 난방 종료시간대에



a) Variation of horizontal air temp.
(1.0m above ground)



b) Variation of vertical air temp.

Fig. 28 Variations of indoor air temp.
(case 2, 1999. 1. 17. 09:00)

근접할수록 두 실간의 온도차가 증대되고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 실험실B의 경우 단위용적당 축열된 열량이 상대적으로 적으므로 시간이 경과할수록 두 실간의 온도차는 증대된다(Fig.26). 비난방시간대 역시 실험실B의 난방기 표면온도가 낮으므로, 지속적인 복사열 방출을 기대할 수 없다. 본 실험에서 난방기표면 온도차는 축열식 전기온풍기를 충분히 축열시키지 않은 상태에서 측정된 온도차이다. 즉, 축열체가 완전히 축열되지 않은 상태에서도 전술한 바와 같은 난방기 표면온도차가 발생한 것으로 미루어 볼 때, 축열식 전기온풍기를 충분히 축열시켰을 경우, 앞서 기술한

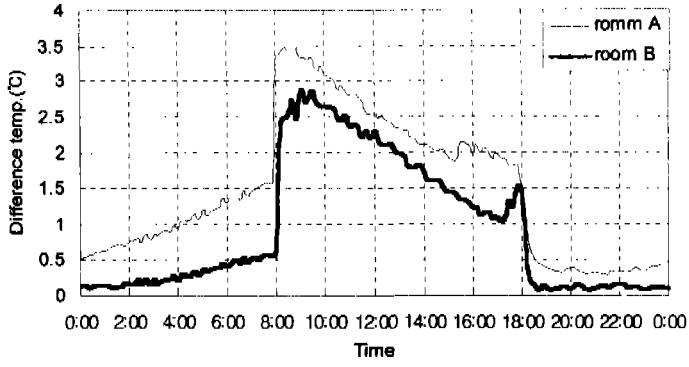


Fig. 29 Air temp. of difference upper lower at the middle of room(case 2)

난방기 표면온도차는 더욱 증대되어 두 실간의 실내공기온도간의 차가 더욱 커질 것으로 판단된다. 이상의 실험결과는, 난방기의 축열용량이 실내온열환경 형성에 영향을 미치는 중요한 변수로써, 난방계획시 신중히 검토되어야 할 사항임을 입증한 것으로 풀이된다. 또한, 축열식 전기온풍기는 취출온풍과는 별도로 난방기 표면을 통해 지속적으로 복사열을 방출하므로 난방시간대는 물론, 비난방 시간대의 실온저하를 억제하는데 크게 기여한 것으로 추정된다. 난방시작 무렵(9시)의 실내 상하온도 분포를 살펴보면, 두 실험실 모두 주목할 만한 차이점은 관찰되지 않고 있으며 실 중앙부(Fig.27의 A,B-2,3 측점)에서 실험실A가 3.4℃, 실험실B가 2.9℃의 상하온도차가 계측되었다. Fig.28 지상 1m 수평온도분포를 살펴보면 실험실A의 경우 온풍이 취출되는 방열기 주변을 제외하고는 균일한 온도분포를 나타내고 있다. 반면, 실험실B의 경우, 난방기 주변의 온도는 물론 실험실 전체가 비교적 균일한 온도분포를 나타내었는데, 이것을 통해 난방기 설치용량차에 의한 실내온도분포의 차이를 알 수 있다. 또한 연직온도 분포에서는 두 실험실간 난방기 주변의 온도분포를 제외하고는 유사한 온도분포 경향을 나타내고 있지만, 상하온도차는 실험실B보다 실험실A가 다소 크게 나타났다(Fig.29). 이와 같은 현상은 Fig.29에서와 같이 난방종료 시간대에 근접할수록, 비난방 시간대일수록 두 실간의 상하온도차의 차이는 크게 형성되고 있음을 알 수 있다. 이것은 비난방시간대 및 난방종료 무렵에는 실험실B의 난방기 표면온도가 실험실A보다 현저히 낮으므로, 실내 공간으로의

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

실질적인 방열량 감소가 실내 상하온도차를 경감시키는 방향으로 작용하였기 때문인 것으로 풀이된다.

나. 인체발열모델 표면온도

난방이 공급되는 주간시간대 인체발열모델의 각 표면온도는 창에 면한 측이 복도측보다 최대 1.2℃ 정도 높게 나타났다(Fig.30, 31). 이것은 창 및 외벽으로부터 냉복사 및 하강기류가 실내로 유입됨에도 불구하고, 창측의 축열식 전기온풍기로부터 취출되는 온풍 및 복사의 영향이 크게 작용되었

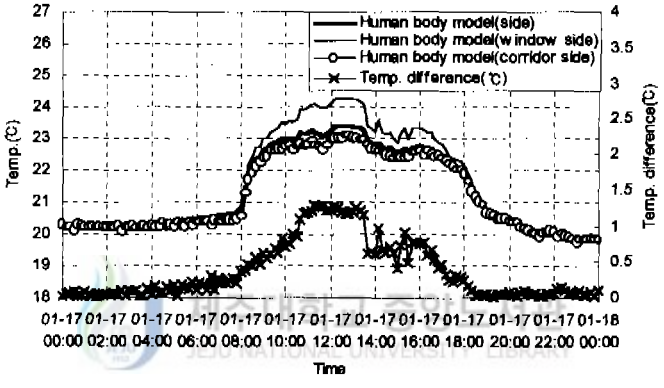


Fig. 30 Variation of the human body models' surface temp.(room A)

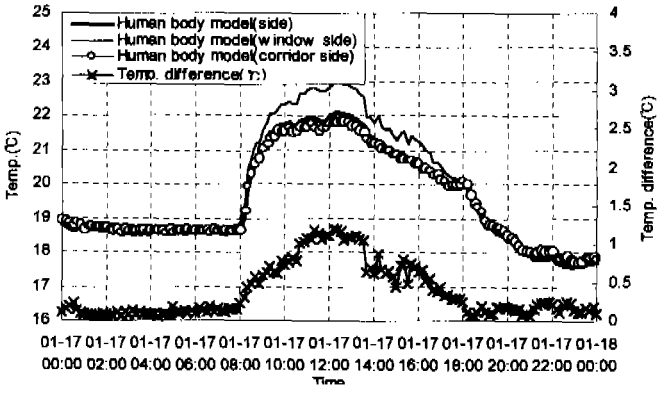


Fig. 31 Variation of the human body models' surface temp.(room B)

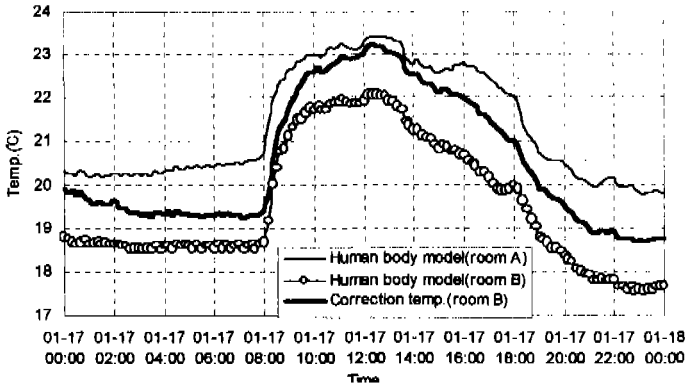


Fig. 32 Variation of the human body models' surface temp.(side)

기 때문으로 풀이된다. 반면, 난방이 중단된 야간시간대에는 인체발열모델의 각 표면 온도차는 크게 축소되어, 전방향 모두 거의 동일한 온도를 나타내었다. 또한, 각 실 인체발열모델의 창측과 복도측간의 온도차를 비교해 보면, 두실 모두 거의 일치함을 알 수 있다(Fig.30, 31). 그러나, 실험실B의 인체발열모델의 측면 온도를 보정함수를 이용하여 보정하면 Fig.32와 같이, 실험실B의 인체발열모델의 표면온도가 실험실A보다 난방시간대에는 약 0.6℃, 비난방 시간대에는 1.0℃정도 낮게 나타났음을 알 수 있다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

다. 실내 흑구온도

실내 흑구온도 또한 전술한 인체발열모델 표면온도와 동일한 양상을 나타내고 있다. 즉, 실내 를 창측과 복도측으로 2등분하여 각 중심부에서 측정한 흑구온도는 난방시간대의 경우 난방기로부터의 복사 및 취출온풍의 영향으로 실험실A, B모두 창측이 복도측보다 최대 1.0℃ 정도 높게 나타났으나, 비난방시간대에는 창측, 복도측 모두 거의 동일한 온도를 나타내었다(Fig.33, 34). 또한, 실험실A의 경우 난방시간 중 최고온도와 난방 종료시의 온도차는 비교적 작은 2.0℃정도이며, 전체적으로 완만한 하강 경향을 나타내었다. 그러나, 실험실B의 경우에는 난방시간 중 최고온도와 난방 종료시의 온도차가 3.0℃정도이며 온도구배 또한 비교적 급속한 하강경향을 나타내었다(Fig.34). 이것은 실험실B가 상대적으로 난방기의 단위용적당 축열된

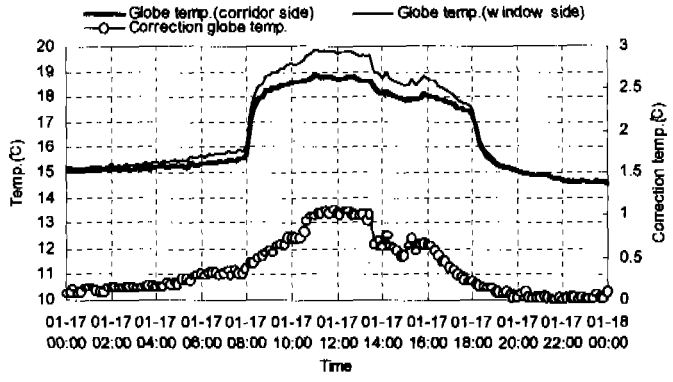


Fig. 33 Globe temp. variation(case 2, room A)

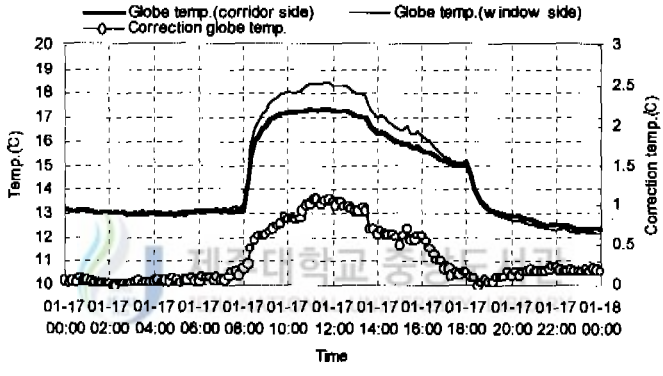


Fig. 34 Globe temp. variation(case 2, room A)

열량이 적기 때문에, 난방개시 후 시간이 경과함에 따라 축열량은 급속히 감소하여 오후 시간대로 접어들수록 하강폭이 증가되었다.

4. 축열식 전기온풍기의 용량 및 설치위치가 실내온열환경에 미치는 영향(Case 3)

가. 실내 공기온도 및 상대습도

본 실험은 난방기 설치위치에 따른 난방 효과를 정량적으로 파악함으로

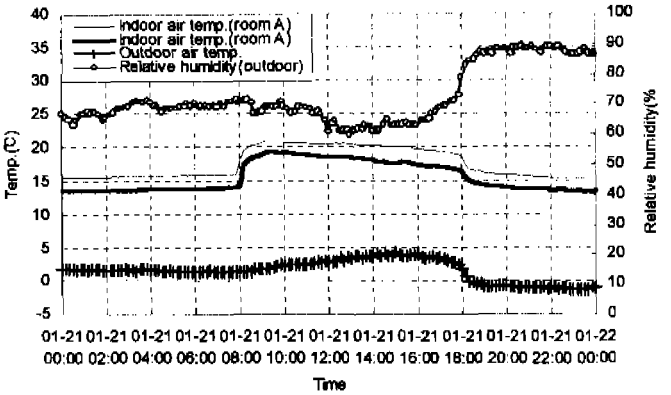


Fig. 35 Variation of air temp. and relative humaidity (case3)

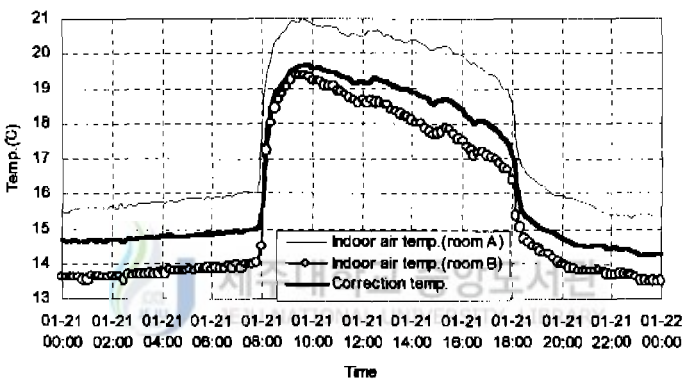


Fig. 36 Comparison of air temp. of room A and B (case3)

서, 난방설계 및 난방효율 향상에 기여할 수 있는 기초데이터를 얻기 위하여 설정된 실험이다. 실험실A는 동일용량의 축열식 전기온풍기를 실의 내주부(복도측)와 외주부(창측)에 각각 1대씩 설치한 경우이며, 실험실B는 2대 모두를 창측에 배치한 경우로써 외주부 부하를 효과적으로 차단할 수 있는 이점 때문에 일반적으로 널리 적용되고 있는 방식이다. 대표일의 외기온도 및 옥외 상대습도는 case 1과 유사한 -1.3~4.3℃, 60~90%의 분포를 나타내었다. 실험실A, B간의 실내기준온도차는 시간대에 관계없이 2.0℃정도의 온도차를 나타내었다(Fig.35). 이것은 열관류 조건이 상이한 벽체Ⅰ,Ⅱ의 영향 또한 포함된 것이므로, 실험실B의 온도를 보정함수에 의해 보정하여 그 영향을 배제하면 실험실B는 실험실A의 실내기준온도보다 난

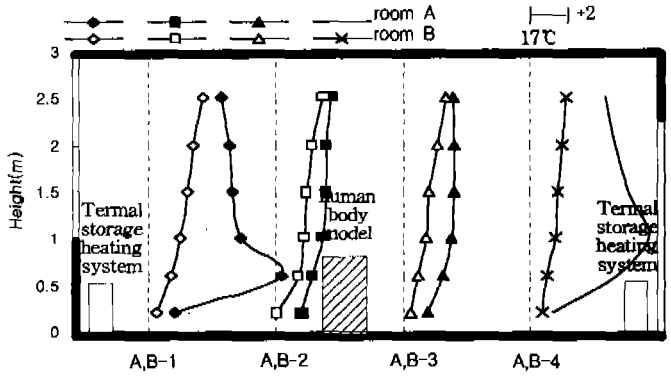


Fig. 37 Comparison with vertical air temp.
(1999. 1.21. 09:00)

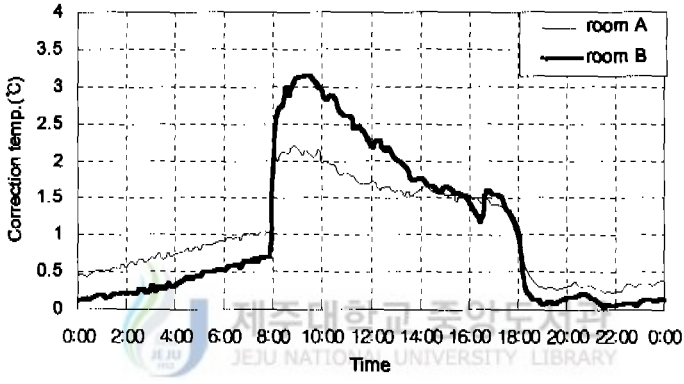
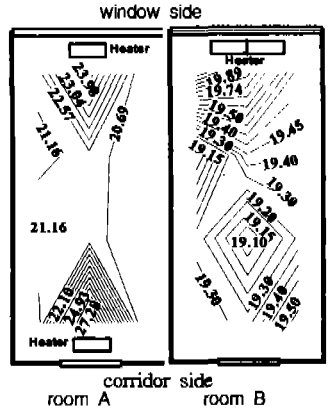
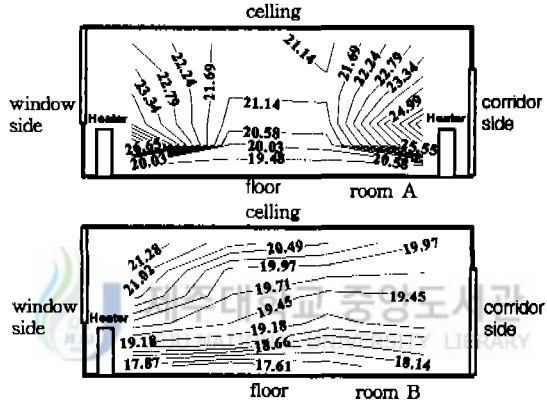


Fig. 38 Air temp. difference of upper and lower
at the middle of room(case 3)

방시간대에는 1.5℃, 비난방시간대에는 1.0℃정도 낮은 온도를 나타내었다(Fig.36). 난방시작 무렵(9시)의 상하온도차는 실험실별로 난방기 설치위치가 상이하므로 위치에 따라 큰 차이를 나타내고 있으나, 실중앙(Fig.37의 A,B-2,3 측점)의 경우 실험실A, B는 각각 2.2℃, 3.1℃의 상하온도차가 계측되었다. 2대의 축열식 전기온풍기를 창측에 설치한 실험실B의 경우, 온풍기 주변(Fig.37의 A,B-1 측점)의 상하 온도차가 실험실A보다 오히려 낮게 나타났다. 이것은 실험실A의 창측 전기온풍기의 취출구는 측정단면인 실중앙 단면에 위치된 반면, 실험실B의 경우 2대의 전기온풍기의 취출구가 실중심 단면 에서 다소 벗어난 양측에 위치되었기 때문으로 추정된다. 실중앙부의 상하 실내온도차를 살펴보면, 난방시간대에는 실험실B가 실험실A보다 상하온도차가 다소 크게 나타나는 반면, 비난방 시간대에는 반전되



a) Variation of horizontal air temp.
(1.0m above ground)



b) Variation of vertical air temp.

Fig. 39 Variations of indoor air temp.
(case 2. 1999. 1. 21. 09:00)

어 실험실A가 다소 크게 나타났음을 알 수 있다(Fig.38). 이러한 난방시간대에 두 실험실간 상하온도차의 결과는 전기온풍기를 외주부(창측)와 내주부(복도측)로 분산시킨 실험실A의 경우, 내주부와 외주부에서 각각 취출된 온풍이 각 온풍기 주변을 중심으로 비교적 골고루 확산되므로써 상하온도차가 비교적 작게 나타난다. 반면, 온풍기 2대를 외주부(창측)에 집중 배치한 실험실B에서는 이와는 반대로 취출온풍이 부력에 편승하여 상승한 후 상부공간에서 정체함으로서 미약하나마 온도성층이 형성되었기 때문인 것으로 풀이된다(Fig.39).

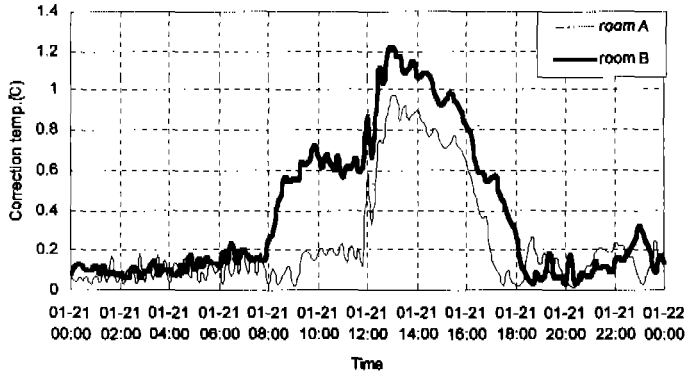


Fig. 40 The difference of human body model surface temp. between window and corridor side.(case 3)

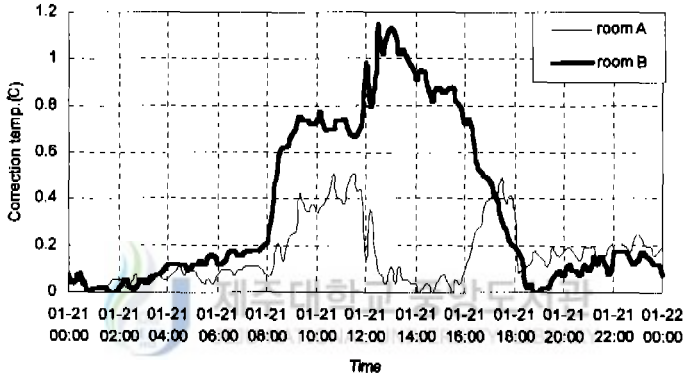


Fig. 41. The differenc between window and corridor side globe temp.(case 3)

나. 인체발열모델 표면온도

주간시간대 인체발열모델의 복도에 면한 측과 창에 면한 측의 표면온도 차는 분산배치된 실험실A가 창측에 설치된 실험실B보다 작게 나타났다 (Fig.40). 이것은 축열식 전기온풍기 1대를 외주부(창측)에서 내주부(복도측)로 분산시킴으로서, 전기온풍기로 부터의 복사 전열량이 비교적 균등히 주변으로 분포되기 때문인 것으로 추정된다. 따라서, 재실자가 체감하게 되는 복사환경으로서는 실험실A와 같이 가능한 한 방열기를 분산하여 배치하는 것이 보다 쾌적한 실내환경 조성에 기여하고 있음을 알 수 있다.

다. 실내 흑구온도

각 실험실에서 계측된 창측, 복도측 흑구온도차를 Fig.41에 나타내었다. 두 지점간의 흑구온도또한, 전술한 인체발열모델 표면온도에서 검토한바와 같이 실험실B에서의 양측 온도차가 난방기가 분산배치된 실험실A보다 항상 크게 나타났으며, 이러한 위치별 흑구온도차는 난방시간대에 보다 현저하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

5. 비축열식 전기난방기의 실내온열환경 특성

가. 축열식 전기온풍기와 전기온풍기를 사용한 경우(case 4)

(1) 실내공기온도 및 상대습도

실험실A 외주부(창측)에는 축열식 전기온풍기를 설치하고, 실험실B 외주부(창측)에는 전기온풍기를 설치하여 대표일(1999.1.15)에 계측한 실내외 공기온도 및 상대습도 변화를 Fig.42에 나타내었다. 외기온도는 -0.4℃~2.5℃로 주야간의 온도변화는 크게 나타나지 않았으며, 외기의 상대습도는 6

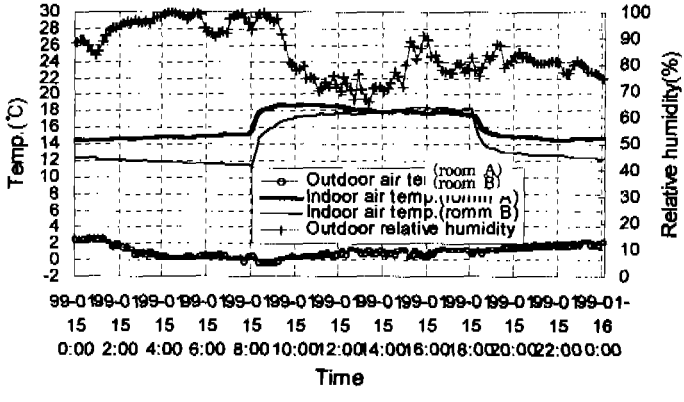


Fig. 42 Variations of air temp. and relative humidity(case 4)

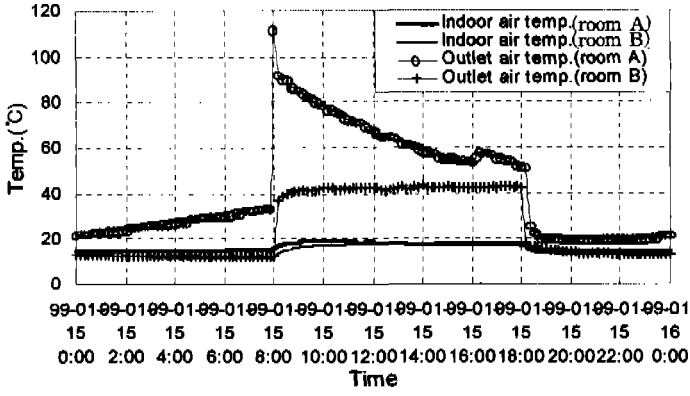


Fig. 43 Variations of supply jet and indoor air temp.(case 4)

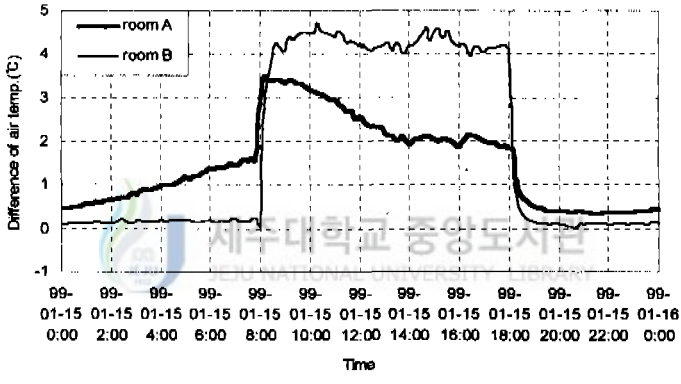


Fig. 44 Air temp. difference of upper and lower at the middle of room(case 4)

6%~99% 범위의 습도변화를 나타냈다. 비축열식 전기온풍기를 설치한 실험실B의 실내기준온도 변화는 난방개시 시간인 08시를 기점으로 10시까지 급상승한 후, 난방 종료시까지 완만한 실내온도 상승을 나타내었다. 또한 비난방 시간대에서 실내기준온도 변화는 난방 종료시부터 익일 난방개시 시간까지 완만한 하강의 관찰되었다. 이와 같이 비축열식 전기온풍 난방의 경우 실내기준온도 변화는 축열식 전기온풍난방의 경우와 상반되는 현상을 보여주고 있다. 난방기 취출구 온도와 실내기준온도 변화(Fig.43)에 있어서 양 실험실간의 경향 차이는 현저하게 나타났다. 축열식 전기온풍기를 사용한 실험실A의 경우 난방기 취출구 온도는 난방 개시와 더불어 고온의 온

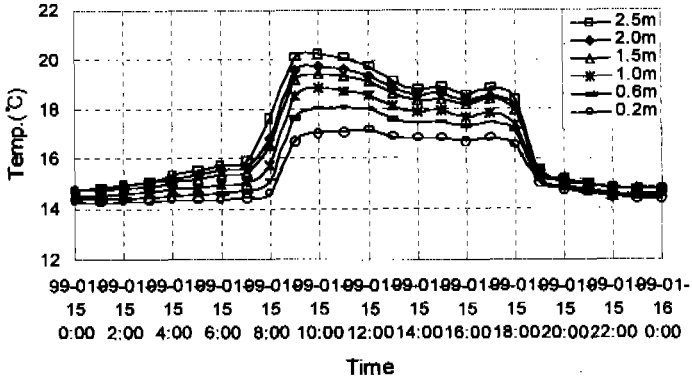


Fig. 45 Variations of air temp. with time and height(room A)

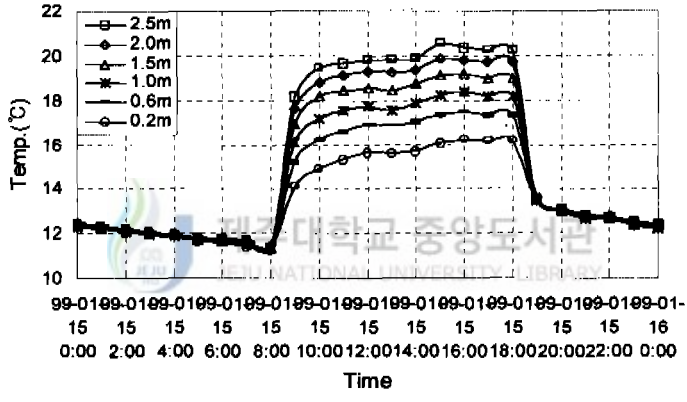
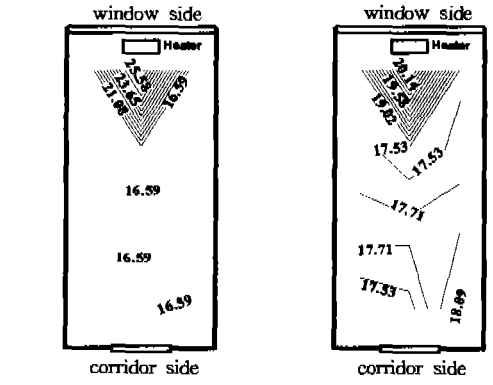


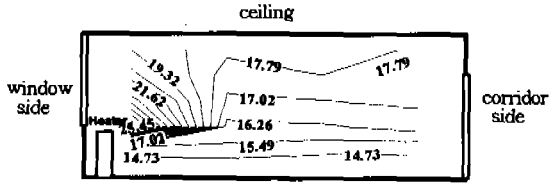
Fig. 46 Variations of air temp. with timeand height(room B)

풍을 취출하고 난방 종료시까지 서서히 취출온도가 하강하였으며, 실내기준온도 또한 온도하강 기울기는 작지만 동일한 경향을 나타내었다. 반면, 전기온풍기를 사용한 실험실B의 경우, 난방기 취출구 온도는 난방개시부터 종료시까지 일정한 취출온도를 나타냈다. 따라서, 난방 초기의 실내기준온도 상승시간은 실험실A 보다 완만하였으나, 일정시간(11시)부터 온도변화는 거의 거의 없거나 약간 상승하였다. 난방시간대에서 실 중앙부분의 상하온도차를 검토하여 보면 실험실A(축열식 전기온풍난방)는 약2.0~3.4℃인 반면, 실험실B(전기온풍기 난방)는 4.2℃ 내외로서 전기온풍기 난방인 경우 상하온도차가 높은 것으로 나타났다(Fig.44). 또한, 실험실A는 난방개시시가 난방 종료시보다 더 큰 상하온도차를 보이는 반면, 실험실B는 동일한



a) Variations of horizontal air temp. (1.0m above ground)

b) Variations of horizontal air temp. (2.0m above ground)



c) Variations of vertical air temp.

Fig. 47 Variations of indoor air temp. (room B, 1999. 1. 15. 09:00)

상하온도차를 보였다. 이러한 결과는 축열식 전기온풍기의 경우, 난방개시 시 취출구 온도가 가장 높을 때 실내 상하간 온도차 가장 크게 나타났고, 이후 난방 종료시까지 취출구 온도와 상하온도차는 서서히 낮아졌다. 반면, 전기온풍기는 취출구 온도변화가 거의 발생되지 않았기 때문에 실내 상하 온도도 일정하게 나타났다. 난방시간대(12시)의 위치별, 높이별 온도분포를 살펴보면, 실험실A에 비하여 실험실B의 상하온도차가 더 크게 나타났다 (Fig.45, 46). 그리고, 실험실B의 실내공기온도 분포를 살펴보면 지상 1.0m 높이의 수평온도 분포는 전기온풍기의 취출구 앞 부근을 제외하고는 균일한 온도 분포를 보이고 있다. 또한, 연직온도 분포에서도 취출구 부근에 심한 온도차를 보이고 있으며, 실 중앙부의 상하온도차도 약3℃의 큰 온도차를 나타내고 있다.

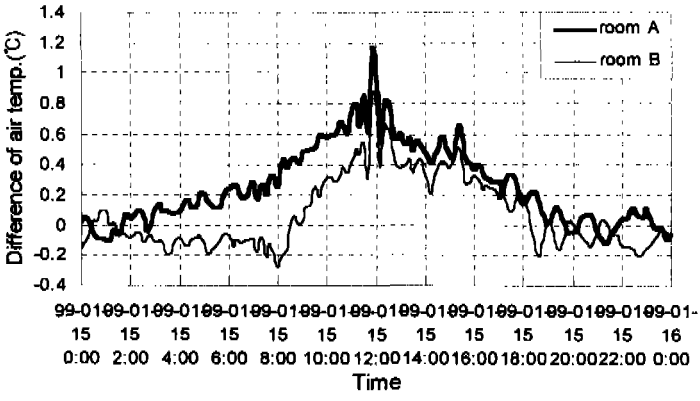


Fig. 48 The difference of human body model surface temp. between window and corridor side(case 4)

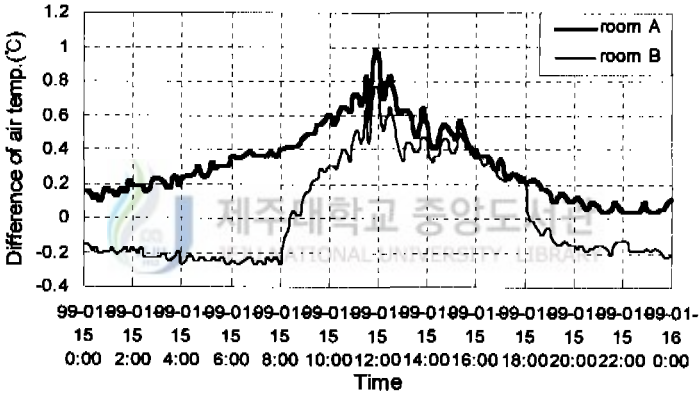


Fig. 49 The difference between window and corridor side globe temp. at each room(case 4)

(2) 인체발열모델 온도

실험실A(축열식 전기온풍난방)에서는 인체발열모델의 창측 표면온도가 복도측 표면온도보다 항상 높게 나타났고, 실험실B는 난방시간대에 한해서 북측표면 온도가 높게 나타났다. 이와같은 결과는 주간시간대의 경우, 창측에 설치된 난방기에 의해 창측 인체발열모델의 표면온도가 복도측보다 더 높게 나타났고, 비난방 시간대의 경우, 축열식 전기온풍기는 축열작용으로 인하여 복사난방효과가 나타나기 때문에 인체발열모델 창측 표면온도가 복도측보다 높게 나타났다. 반면, 전기온풍기는 비난방시 축열식 전기온풍기

와 달리 공급되는 열원이 없기 때문에 인체발열모델의 창측 표면온도가 창측으로부터 Cold-Draft의 영향으로 복도측보다 온도가 낮게 나타났다 (Fig.49).

(3) 흑구온도

각 실험실의 창측 흑구온도와 복도측 흑구온도차를 Fig.49에 나타내었다. 전술한 인체발열모델 표면온도에서 검토한 바와 같이 난방시간대의 두 지점간 흑구온도차는 모두 창측 흑구온도가 높게 나타났다. 또한 비난방 시간대의 경우도 인체발열모델의 표면온도와 같이 실험실A의 흑구온도는 창측이 높고, 실험실B는 복도측이 높게 나타났다(Fig.49).

나. 축열식 전기온풍기와 전기방열기를 사용한 경우(Case 5)

(1) 실내공기온도 및 상대습도

실험실A 외주부(창측)에는 축열식 전기온풍기를 설치하, 실험실B 외주부(창측)에는 전기방열기를 설치하여 실험한 실내외 공기온도 및 상대습도 변화를 Fig.50에 나타내었다. 대표일의 외기온도는 -1.0℃~7.5℃의 기온변화가 있었으며, 옥외 상대습도 또한 외기온도와 연동하여는 30%~100%의 습도변화가 계측되었다. 전기방열기를 설치한 실험실B에서의 실내기준온도는 전술한 전기온풍 난방시와 같이 난방개시 시간인 08시를 기점으로 서서

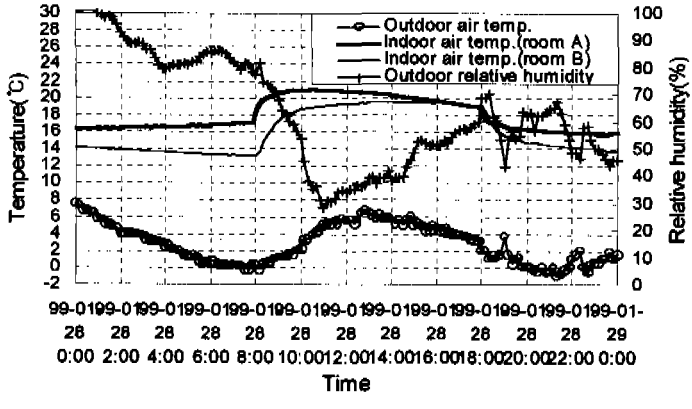


Fig. 50 Variations of air temp. and relative humidity(case 5)

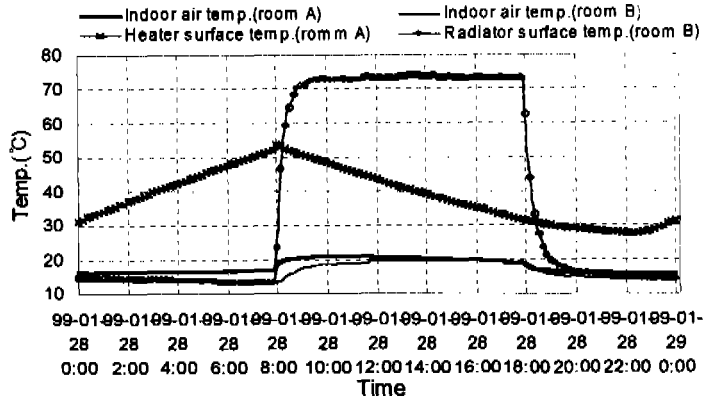


Fig. 51 Variations of heater surface and indoor air temp(case 5)

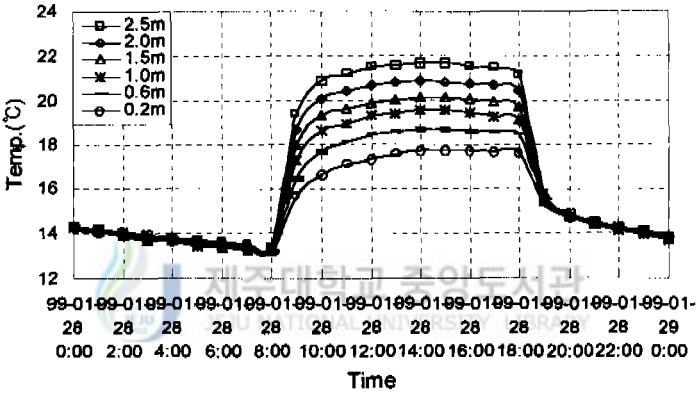
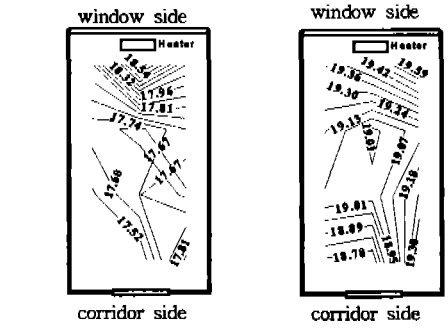


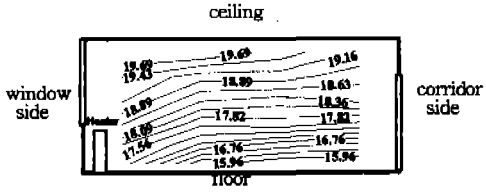
Fig. 52 Variations of air temp. with time and height(case 5, room B)

히 상승하여 16시 전후에 정점으로 하여 다시 완만한 온도 하강이 나타났다. 각 실험실의 난방기 표면온도를 살펴보면(Fig.51), 실험실A의 축열식 전기온풍기의 표면온도는 심야전력 투입시(22시)부터 난방개시시(심야전력 투입종료시, 08시)까지 지속적으로 온도가 상승하고, 이후 다음 심야전력 투입시까지 표면온도가 하강한다. 반면, 전기방열기는 난방개시와 더불어 방열되고 난방종료시까지 거의 동일한 표면온도로 방열되었다. 이와 같은 결과는 실내기준온도에 영향을 주어 실험실A인 경우 비난방 시간대에도 급격한 실온하강이 없이 일정한 온도를 유지하였으나, 실험실B의 경우는 난방개시시 실내기준온도는 급격히 온도상승이 이루어지지 못하고, 일정시간(16시)까지 서서히 온도가 상승한 후 다시 온도하강이 나타났다. 난방시



a) Variations of horizontal air temp. (1.0m above ground)

b) Variations of horizontal air temp. (2.0m above ground)



c) Variations of vertical air temp.

Fig. 53 Variations of indoor air temp. (case 5, room B, 1999. 1. 28. 09:00)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

간대에서 실 중앙부분의 상하온도차는 실험실A가 0.6~1.7℃인 반면, 실험실B는 4℃내외의 동일한 상하온도차를 보임으로써, 전기방열기 난방이 축열식 전기온풍난방보다 상하온도차가 높은 것으로 나타났다. 또한, 난방시간대(12시)의 위치별, 높이별 온도분포를 보면 실험실A에 비해 실험실B의 상하온도차가 더 크게 나타났다(Fig.52). 그리고, 실험실B의 실내공기온도분포를 살펴보면 지상1.0, 2.0m 높이의 수평 온도분포는 약 1℃내외의 비교적 균일한 온도분포를 보이고 있다. 연직 온도분포에 있어서는 창측의 전기방열기 부근과 복도측간의 온도차는 거의 발견되지 않고 있으며, 수평적으로 온도층이 형성되어 실 중앙부의 상하간 온도차는 약 3.7℃의 비교적 큰 온도차를 보이고 있다.

(2) 인체발열모델 온도

이미 전술한 바와 같이 축열식 전기온풍 난방기가 설치된 실험실A에서는 인체발열모델의 창측 표면온도가 복도측 표면온도보다 항상 높게 나타났다. 실험실B는 난방시간에 한해 북측 표면 온도가 최고 1.4℃ 높게 나타났고, 비난방 시간에는 북측 표면온도가 2.0℃ 정도 낮게 나타났다. 이와 같은 결과는 실험실A의 경우 축열식 전기온풍기의 야간 복사난방 효과와 실험실B의 난방기 방열 여부에 따른 결과로 풀이된다. 난방종료후 자정(0시)까지는 실험실 A,B 모두 온도차가 거의 없었으며, 0시부터 08시까지 인체모델 온도는 실험실B에서 복도측면 온도가 창측면 온도보다 약간 높게 계측 되었다(Fig.54).

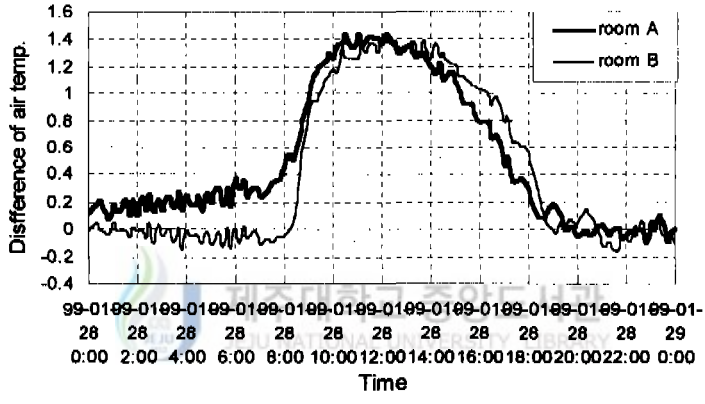


Fig. 54 The difference of human body model surface temp. between window and corridor side(case 5)

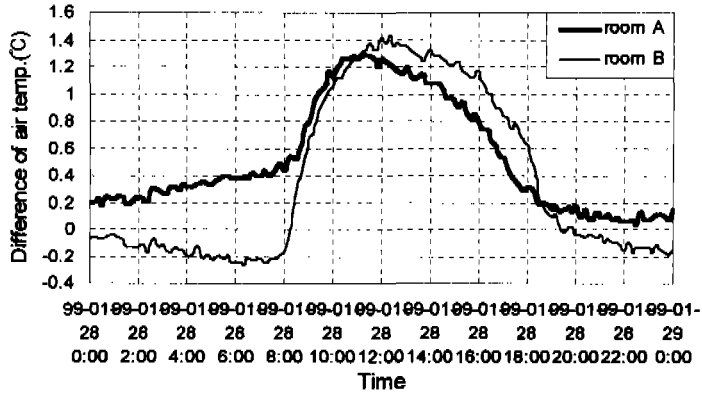


Fig. 55 The difference between window and corridor side globe temp. at each room(case 5)

(3) 흑구온도

각 실험실의 창측 흑구온도와 복도측 흑구온도차를 Fig.55에 나타내었다. 전술한 인체발열모델 표면온도에서 검토한 바와 같이 난방시간대의 두 지점간 흑구온도차는 모두 창측흑구온도가 복도측 흑구온도보다 높게 나타났으며, 실험실A에서 1.2℃, 실험실B에서 1.4℃로서 전기방열기 난방인 경우가 0.2℃정도 약간 높은 온도차 나타냈는데 이는 전기방열기의 복사열이 축열식 전기온풍기보다 높기 때문인 것으로 추측된다. 반면, 심야시간대에서 실험실B는 오히려 창측 흑구온도가 복도측 흑구온도보다 0.2℃ 정도 낮게 나타났는데, 이는 전기방열기에서 비난방시간대에 복사열을 방출하지 않아 창측의 cold draft의 영향으로 창측 흑구온도가 복도측보다 낮게 나타난 것이다(Fig.55).

다. 축열식 전기온풍기와 전기바닥패널을 사용한 경우(Case 6)

(1) 실내공기온도 및 상대습도

실험실A 외주부(창측)에는 축열식 전기온풍기를 설치하고, 실험실B의 바닥에는 전기바닥패널을 설치하여 실험한 실내외 공기온도 및 상대습도 변화를 Fig.56에 나타내었다. 대표일(1999.2.4)의 외기온도는 -1.1℃~1.8℃의 기온변화가 있었으며, 옥외 상대습도 또한 외기온도와 연동하여는 65%~

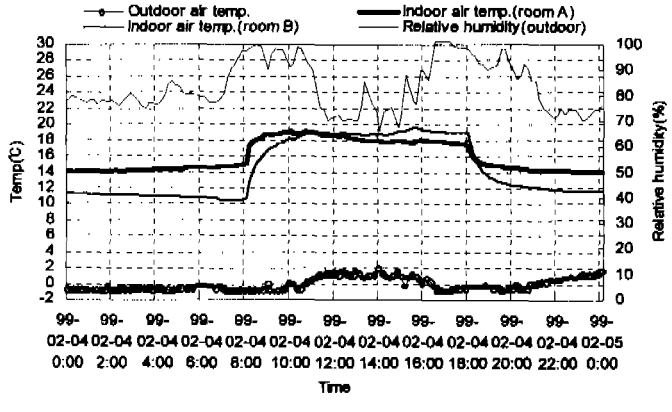


Fig. 56 variations of air temp. and relative humidity(case 6)

100%의 습도변화가 계측 되었다. 전기패널을 설치한 실험실B에서의 실내기준온도는 난방개시인 08시를 기점으로 서서히 상승하여 16시 전후를 정점으로 하여 다시 완만한 온도 강하를 나타내었다. 실험실B의 전기바닥패널 표면온도와 실내기준온도의 변화곡선 기울기는 전기온풍기, 전기방열기 난방시와 마찬가지로 난방개시후 일정시간까지 지속적으로 실내기준온도가 상승하며, 전기바닥패널의 표면온도 변화도 거의 발견되지 않았다(Fig.57). 난방시간대에서 실 중앙부분의 상하온도차는 실험실A가 2.0~3.6℃ 정도 상층부가 높은 반면, 실험실B는 오히려 상층부가 1℃정도 낮게 계측 되었다.(Fig.57) 실험실B에서 하층부의 온도가 높게 나타나 것은 발열

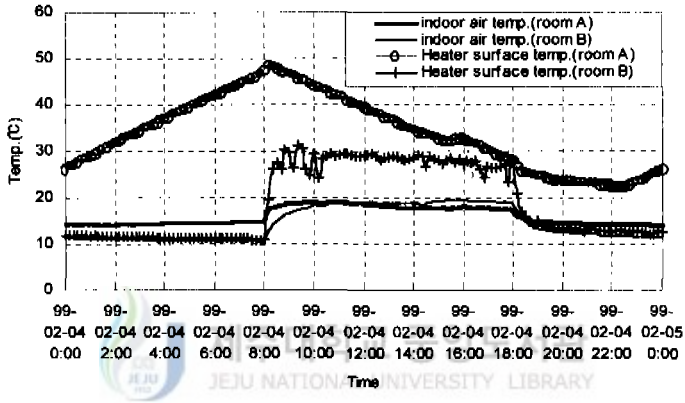


Fig. 57 Variations of heater surface and indoor air temp.(case 6)

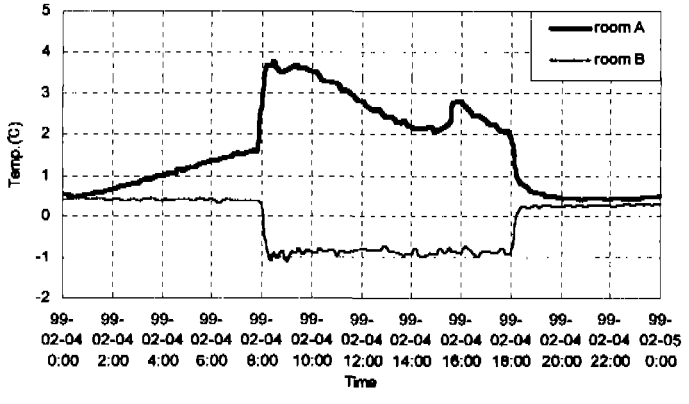


Fig. 58 Air temp. difference of upper and lower at the middle of room(case 6)

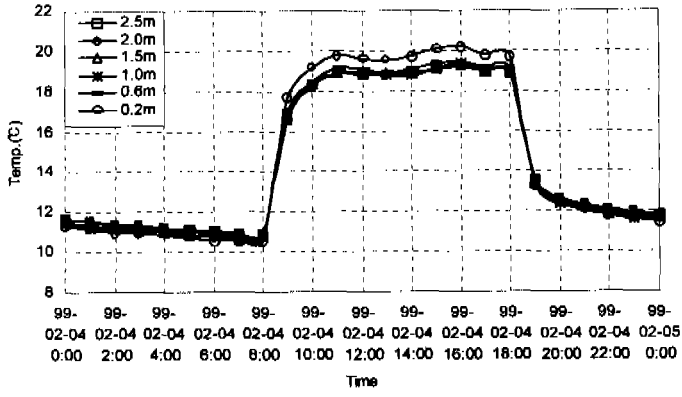
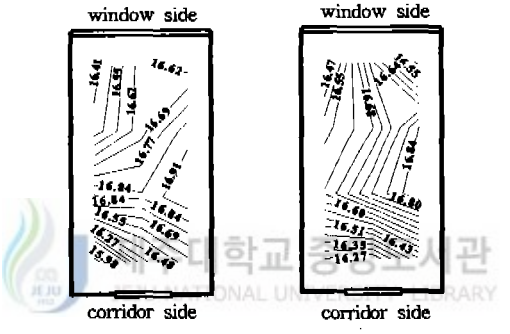
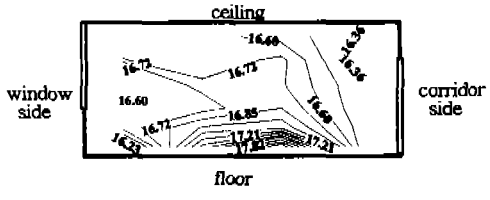


Fig. 59 Variations of air temp. with time and height



a) Variations of horizontal air temp. (1.0m above ground)

b) Variations of horizontal air temp. (2.0m above ground)



c) Variations of vertical air temp.

Fig. 60 Variations of indoor air temp.
(case 6, room B, 1999. 2. 4. 09:00)

부분이 바닥 하층부에 위치하고 있기 때문이며, 전기패널에서 발생한 열은 대류에 의하여 상층부로 이동하게 되므로 상하 온차가 낮게 나타난 것으로 보인다. 또한, 난방시간대(12시)의 위치별, 높이별 온도분포를 보면 하층부

온도는 실험실B가 실험실A보다 높았으나 상층부에서는 실험실B가 약간 낮게 나타났으며, 상하온도차가 어느 난방방식보다도 적음을 알 수 있다(Fig.59, 60). 이와 같이 전기바닥패널난방은 상하온도가 균일함에 따라 실내온열환경 및 열 이용 측면에서 가장 유리한 난방 방식으로 평가될 수 있다.

(2) 인체발열모델 온도

전기바닥패널 난방시 인체발열모델이 창측, 복도측간의 표면온도차는 1℃ 이내로서 축열식 전기온풍 난방시보다 대체로 낮게 나타났다. 또한, 난방시간대의 창측 표면온도가 복도측 표면온도보다 0℃~0.7℃ 높았으나, 비난방 시간에는 항상 창측면 온도가 0.3℃ 정도 낮게 계측되었다. 바닥패널 난방시 복사열은 인체모델의 창측면이나 복도측면에 모두 영향을 주기 때문에 복사에 의한 인체발열모델이 창측, 보고도측간 표면온도차는 거의 발견지 않았다. 다만, 실험실의 내벽, 외벽, 창 등 수평선상에 있는 구조체로부터의 복사 영향에 따라 인체발열모델 표면 온도가 변화될 것으로 풀이된다(Fig.61).

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

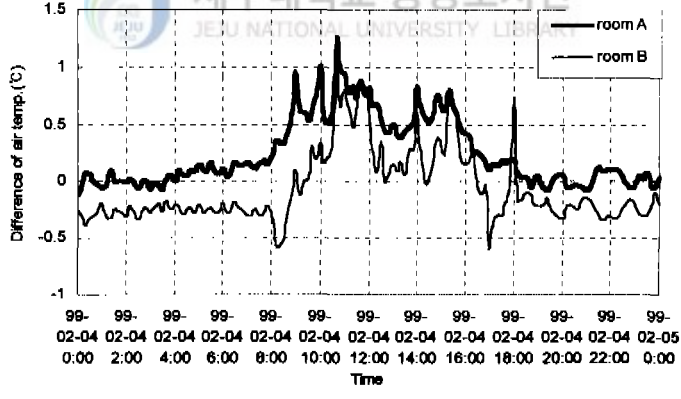


Fig. 61 The difference of human body model surface temp. between window and corridor side(case 6)

(3) 흑구온도

실험실B에서 창측 및 복도측 흑구온도차 또한 전술한 인체발열모델의 경우와 비슷한 양상을 나타내었다. 즉, 난방시간에는 창측 흑구온도가 다소

높았으나 비난방 시간에는 북도측 흑구온도가 0.4℃정도 높게 계측 되었다. 실험실B에서 위치별 흑구온도는 바닥패널의 복사 영향 보다는 수평 방향에 있는 벽 구조체로부터 복사 영향에 따라 달라 질 수 있을 것으로 판단된다(Fig.62).

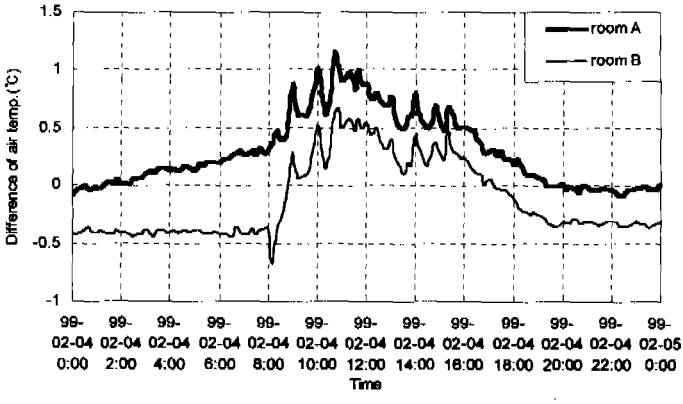


Fig. 62 The difference between window and corridor side globe temp.(case 6)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

V. 결 론

본 논문에서는 전술한 바와 같이 축열식 전기온풍기의 난방특성 및 축열용량변화와 설치위치에 따른 효과를 실내 온열환경과 연계하여 검토하였고, 또한, 비축열식 난방기인 전기온풍기, 전기방열기, 전기바닥패널 난방시 실내 온도분포와 각각 비교 검토하였다.

본 실험을 통해 수집된 데이터는 난방계획을 위한 기초자료로 활용될 것으로 기대되며, 이상의 실험결과들을 요약하면 다음과 같다.

1) 축열식 전기온풍기의 취출온도는 검토대상 난방기의 용량, 특성, 실의 난방부하에 따라 상이할 것으로 추측되나 난방이 개시되는 8시를 정점으로 난방종료시까지 완만한 기울기로 하강하였다. 또한, 축열식 전기온풍기는 취출온풍과는 별도로 축열이 진행됨과 동시에 난방기 표면을 통해 지속적으로 복사열을 방출함으로서 비난방 시간대의 실온저하를 억제하는 데도 기여하였다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

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

3) 축열식 전기온풍기를 실의 외주부(창측)에 설치한 경우, 창, 외벽으로부터의 down draft 및 냉복사를 축열식 전기온풍기가 효율적으로 차단함으로서, 인체발열모델 표면온도와 실내 흑구온도는 창측이 북도측보다 다소 높게 나타났다.

4) 축열식 전기온풍기를 내주부(북도측)에 설치할 경우 실내 기준온도 및 상하온도 구배는 외주부(창측) 설치시와 비교하여 큰 차이는 나타나지 않았으나, 인체발열모델 표면온도, 실내 흑구온도의 내외주부간 온도차는 전술한 외주부에 설치한 경우보다 한층 증폭되었다. 또한, 이같은 온도차는 비난방 시간대에 크게 나타난 점에 비추어 볼 때, 이러한 결과는 난방

기의 창측배치가 복도측보다 야간복사난방 및 예열 효과를 보다 향상시킬 수 있다는 것을 시사한 것이다.

5) 축열식 전기온풍기의 축열용량에 따른 방열특성과 실내온열환경을 검토한 결과, 실내평균온도에서는 축열용량의 변화에 따른 현저한 실온변화가 관찰되지 않았다. 그러나, 야간시간대 및 난방종료 시간대로 근접할수록 난방기 단위용적당 축열용량이 작은 실의 온도가 비교적 낮게 나타났다.

6) 축열식 전기온풍기의 설치대수를 변화시켜 축열체의 단위용적당 축열량을 감소시키더라도, 인체발열모델 및 흑구온도에서 창측과 복도측간의 온도차는 두 실 모두 거의 일치하였다. 반면, 난방종료 시간대에 근접할수록 실험실B의 인체열모델 및 흑구온도의 온도하강 구배는 실험실A에 비해 비교적 급속한 하강 구배를 나타내었다.

7) 축열식 전기온풍기를 실의 외주부와 내주부로 분산시킨 경우, 내주부와 외주부에서 각각 취출된 온풍은 각 온풍기 주변으로 확산되므로써 상하온도차가 작게 나타났다. 반면, 외주부에 집중 배치한 경우는 취출온풍이 부력에 편승하여 상승하므로써 미약하나마 온도성층이 형성되었다.

8) 축열식 전기온풍기를 실의 외주부와 내주부로 분산시킨 경우, 인체발열모델 각 표면으로의 복사전열량이 비교적 균등히 분포되므로서 쾌적한 실내환경조성에 기여하였다.

9) 전기온풍기, 전기방열기, 전기바닥패널 등 비축열식 난방기의 실내기준온도 변화는 축열식 전기온풍 난방시의 온도변화 곡선과 역방향으로 변화되었다, 즉, 난방개시 시간에 낮은 온도에서 서서히 상승하여 난방종료시점에 가장 높은 온도분포를 나타냈다.

10) 전기온풍기 및 전기방열기 난방시 실내공간 온도는 수평방향으로는 균일한 온도분포를 나타냈으나, 연직방향으로 약 4℃의 상하온도차를 나타내어 축열식 전기온풍난방시보다 상하온도차가 높은 것이 확인되었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

11) 난방시간대에 실내공간 최상층부의 온도는 축열식전기온풍기, 전기온풍기, 전기방열기 난방시 모두 비슷하나 하층부에서는 비축열식 난방인 전기온풍기, 전기방열기 난방이 축열식 전기온풍난방시보다 1~2℃ 정도 낮게 계측되어 거주공간에서의 쾌적도는 축열식 전기온풍난방이 우수한 것으로 나타났다.

12) 전기바닥패널 난방인 경우 난방시간대의 실내공간온도 분포는 수평, 수직방향 모두 균일한 온도분포를 나타내어 인체에 가장 쾌적감을 느낄 수 있는 난방방식으로 평가될 수 있다.

13) 이상의 실험결과들을 종합하면 일반전력 요금의 1/4수준인 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍난방의 실내온열환경은 비축열식 전기온풍기, 전기방열기, 바닥패널 난방시에 비하여 우수하거나 비슷한 것을 알 수 있었다. 따라서, 심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기는 경제성 및 쾌적성에서 우수한 난방방식임이 확인되었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

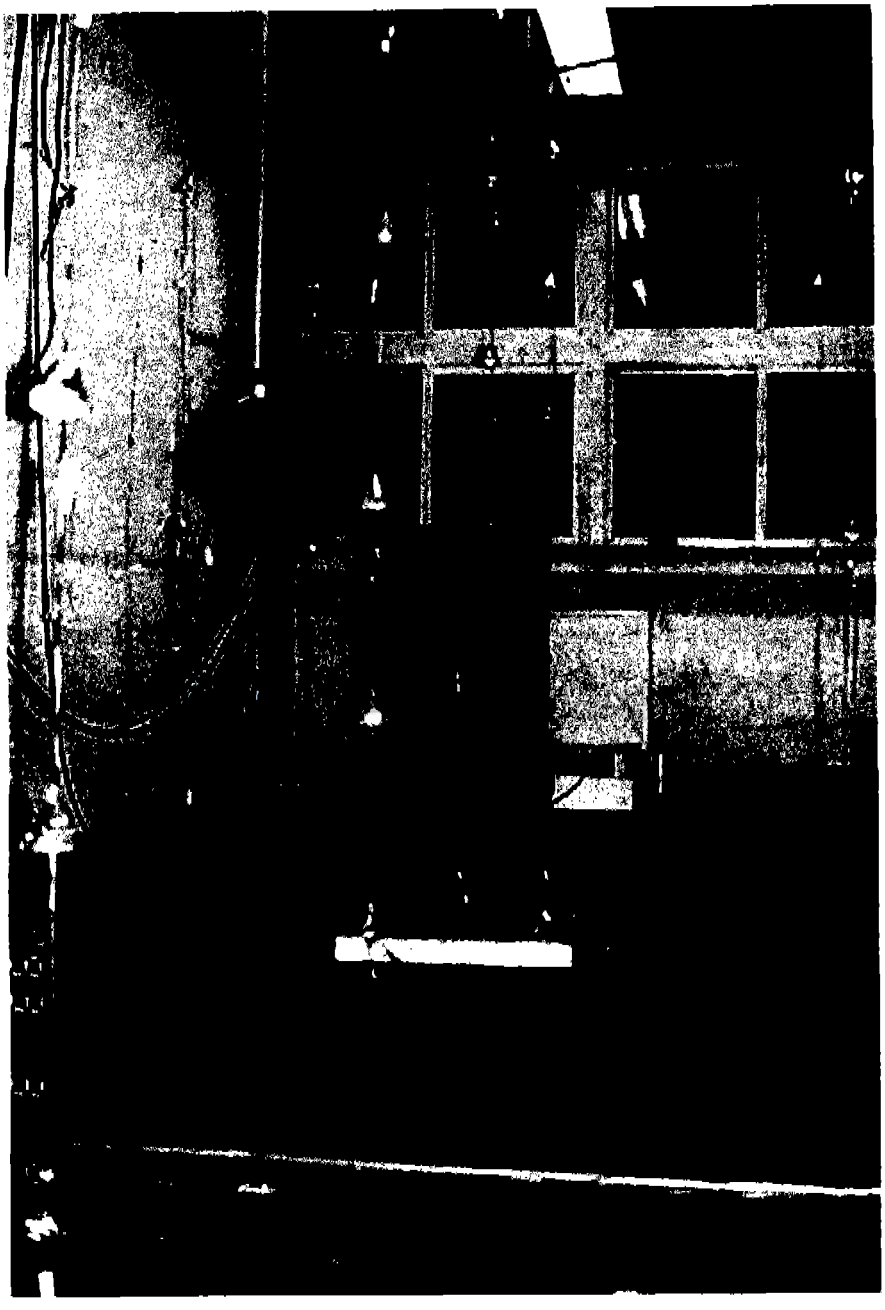


Photo 1 View in room

Photo 2 View inmeasurement room

Photo 3 Heating experiment of thermal storage heating system

Photo 4 Heating experiment of electric with heating system

Photo 5 Heating experiment of electric radiator

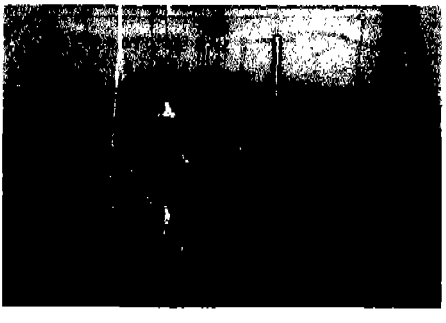


Photo 6 Heating experiment of electric panel heater

Photo 7 Outdoor view of room

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

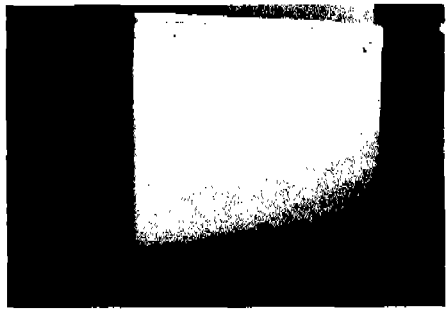


Photo 8 Electric with thermal storage heating system

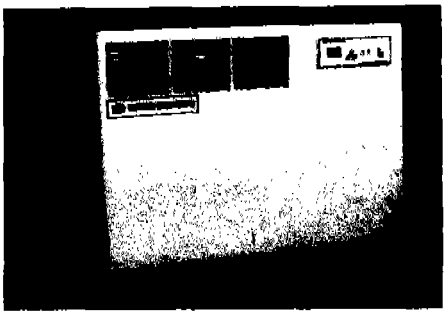


Photo 9 Electric with heating system

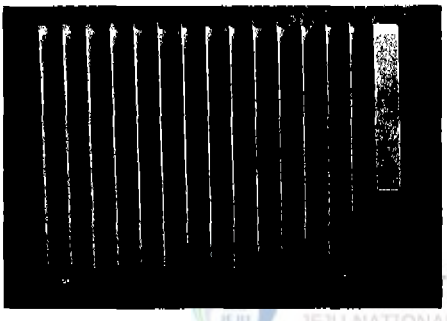


Photo 10 Electric radiator

Photo 11 Electric power controller

Photo 12 Slidax(5KVA)

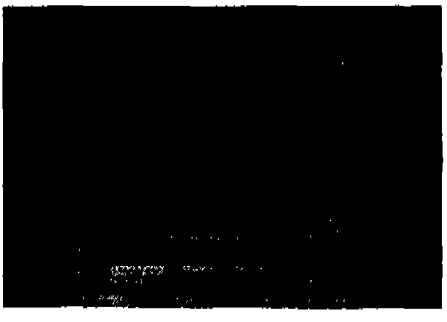


Photo 13 Electric power analyzer (Watt, pf V/Hz Ammeter)

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Photo 14 Thermocouple
(For measuring indoor air temp.)

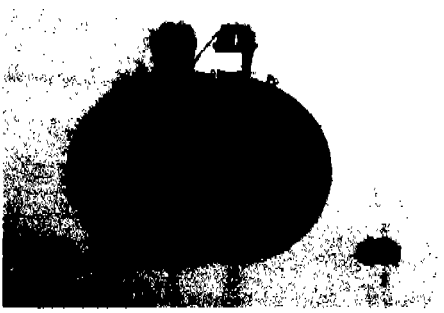


Photo 15 Globe thermometer

Photo 16 Ventilation thermometer
(For measuring outdoor air temp.)

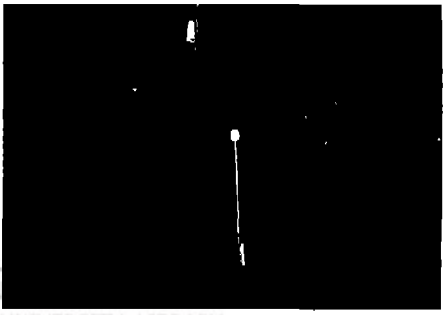


Photo 17 Relative humidity

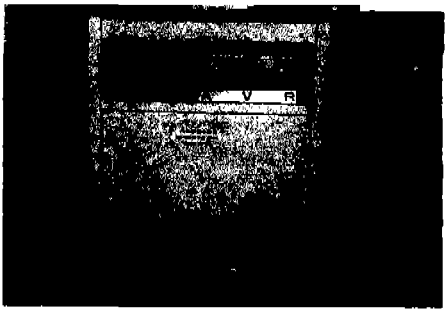


Photo 18 Automatic votage
regulator(10KVA)

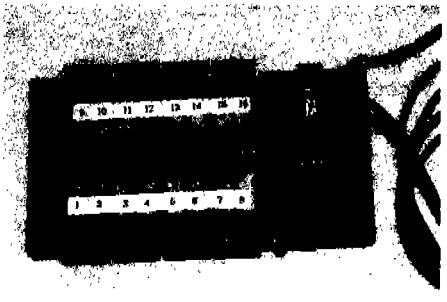


Photo 19 Data logger module

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

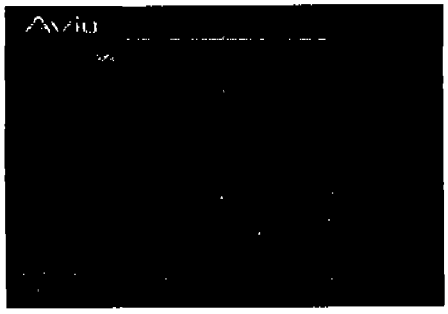


Photo 20 Surface temp. of electric with thermal storage heating system
(The photo of surface temp. is taken by thermo-camera) (front)

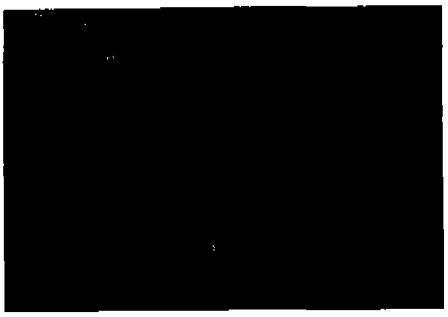


Photo 21 Surface temp. of electric with thermal storage heating system
(The photo of surface temp. is taken by thermo-camera) (reverse)

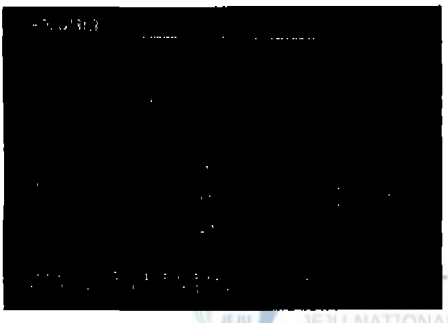


Photo 22 Surface temp. of electric with heating system
(The photo of surface temp. is taken by thermo-camera) (front)

Photo 23 Surface temp. of electric with heating system
(The photo of surface temp. is taken by thermo-camera) (reverse)

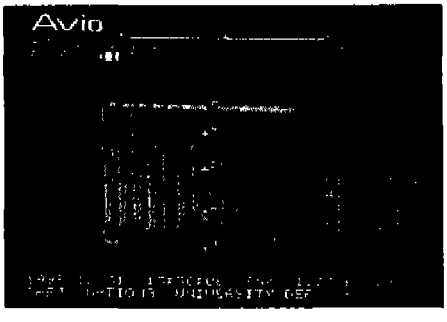


Photo 24 Surface temp. of electric radiator
(The photo of surface temp. is taken by thermo-camera) (front)

Photo 25 Surface temp. of electric radiator
(The photo of surface temp. is taken by thermo-camera) (reverse)

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

참고문헌

1. 최동호, 양창남, 양정훈, 1999, "심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기의 난방특성에 관한 연구", 대한건축학회논문집 제15권 제11호.
2. 최동호, 양창남, 양정훈, 1999, "심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기의 축열용량 및 설치위치가 실내온열환경 미치는 영향", 대한건축학회논문집 제15권 제12호.
3. 최동호, 양창남, 1999, "심야전력을 이용한 축열식 전기온풍기 및 비축열식 전기온풍기, 전기방열기의 난방특성 비교", 제주대학교 산업기술연구소논문집 투고중.
4. 윤용진, 박효순, 변운섭, 강호식, 1998, "초등학교건물의 심야전기이용 축열식 난방기기 적용성 검토", 대한건축학회발표논문집, 제18권 제2호, p.p.823~828.
5. 금종수, 김경철, 1993, "심야전력을 이용한 잠열축열식 바닥난방 시스템의 성능평가에 관한 연구", 대한건축학회논문집, 제9권 제3호, p.p.113~123.
6. 최동호, 1999, "저속급기 좌석취출 공조시스템을 채용한 대공간 거주역의 온열환경에 관한 연구" 대한건축학회논문집, 제15권 제5호, p.p.145~154.
7. 정현수, 1987, "심야전력의 효과적 활용을 위한 주택의 축열식 전기난방 계통에 관한 조사연구", 한양대 산업대학원, 석사논문.
8. 이무진, 1995, "村上周三, 이중우, 「바닥복사난방 거실의 온열환경에 관한 실험적 연구", 대한건축학회논문집, 제11권 제2호, p.p.107~115.
9. 대영공업주식회사 심야전기사업부, 1998, "심야전기 기술자료".
10. 한국전력공사 수요관리실, 1999, "수요관리 기술세미나".
11. 鳩野正和, 淺野良晴, 岩井一博, 渡辺芳宏 , 伊藤信夫, 1993, "学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価に関する研究", 日本建築学会大会学術講演梗概集 D 環境工学, p.p.1677~1678.
12. 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", 日本建築学会大会学術講演梗概集 D 環境工学, p.p. 1039~1040.
13. 伊藤直明, 須永修通, 鈴木寿一, 黒崎幸夫, 駒野清治, 山中普, 堀部朝広, 1993, "暖房方式による室内熱環境とエネルギー消費特性に関する研究", 日本建築学会学術講演梗概集 D 環境工学, p.p.1633~1634.
14. 伊藤直明, 須永修通, 須崎隆行, 山崎祐二, 1989, "東京都内における教室の暖房環境に関する実測調査", 日本建築学会大会学術講演梗概集 D 環境工学, p.p. 1193~11194.