

난방방식에 따른 거실의 열환경 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristic of the Thermal Environment in the Heating System at a Living Room

이 무 진* · 이 승 수** · 진 영 언***
Lee, Moo Jin Lee, Sung Su Jin, Young Eon

Abstract

The purpose of this study is to investigate the characteristic of the thermal environment at a living room by the heating system(floor radiation heating, forced convection heating, combined heating, radiation convection heating), and to compares the change of the thermal environment after operating the heating with after the operation stopped based on the floor radiation heating.

This study proposes the basic data for the design and the development of the thermal storage structure heating system which not only utilizes fully the characteristic of the comfortable thermal environment but also reduces the preheating period and be able to use the off-peak electricity.

I. 서 론

인체의 온열환경은 주로 대류와 복사에 의해 형성된다. 기류 중심의 난방 시스템은 매우 불균일한 공기온도 및 주벽면 복사장으로 인하여 재실자에게 콜드 드래프트 현상을 야기하는 등 국부적인 불편감을 유발하는 요인이 된다. 특히 병실의 환자나 노유자용(老幼者用) 거주 공간 등은 높은 레벨의 온열환경이 요구되므로 기류 중심의 난방 시스템 단독으로는 쾌적한 온열환경 조성이 어렵다.

복사열환경은 온열감각을 지배하는 중요한 요인의 하나로 주지되어 왔다. 복사난방은 공기식 대류난방에 비교하여 쾌적 열환경 형성의 점에서 우수한 난방방식으로 평가되고 있으며 최근 이에 관한 물리적 열특성과 난방공간의 온열환경에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나, 복사난

방방식은 난방예열 시간이 길어서 대부분 간헐 난방을 하는 거주공간에서 필요한 시간에 적절한 열환경을 얻을 수 없고 또한 축열체의 축열 및 방열 특성을 효과적으로 난방에 활용하지 못하고 있는 실정이다.

본 연구는 각 Case별(바닥복사난방, 강제대류난방, 병용난방, 복사대류난방) 난방이 행하여지는 거실모델을 대상으로 난방 방식의 차가 거실내 공간의 온열환경 형성(불균일 복사 대류장)에 미치는 영향을 파악함과 아울러 난방 운전 시작 후와 난방운전 정지후의 열환경 변화를 바닥복사난방을 중심으로 비교 검토한다. 그리고 바닥복사난방의 쾌적한 열환경 특성을 충분히 살리면서 예열시간을 단축함과 아울러 바닥축열에 의한 심야전력의 이용이 가능한 난방시스템의 개발 및 설계를 위한 실험적 기초 자료의 정립을 목적으로 한다.

* 정회원, 경일대 건축공학과 교수, 공학박사

** 경일대 건축공학과 석사과정

*** 경일대 건축공학과 석사과정

II. 실험 개요

1. 실험 대상 공간

1) 거실모델

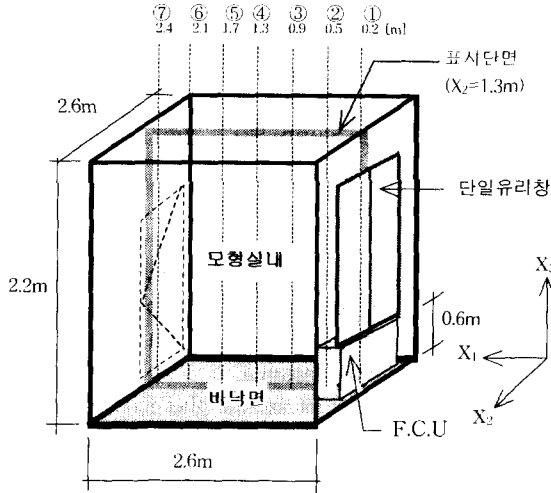


그림 1. 거실모델의 개략도

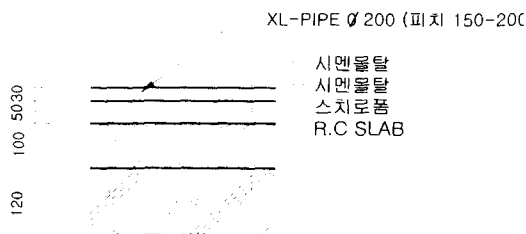


그림 2. 거실모델의 바닥구조

그림 1은 거실모델의 개략도로서 수직벽면 1면에 유리창이 있는 주택 거실을 상징하여 거실내외의 온도차에 의한 관류열 손실을 재현하였다. 거실모델의 내부 치수는 $X_1(2.6m) \times X_2(2.6m) \times X_3(2.2m)$, 외부 치수는 $X_1(2.9m) \times X_2(2.9m) \times X_3(2.55m)$ 으로 하고, 주벽은 두께 150mm의 샌드위치 판넬로 구성하여, 단열성이 충분히 확보된 구조로 하였다. 그리고, 창측 아래에는 온풍 분출이 가능한 상치형 팬코일유니트(FCU)를 설치하였다. 창은 1.2m x 1.5m 크기의 단일 유리창(3mm투명 유리)이다. 바닥구조는 <그림 2>와 같이 현행 공

동주택의 바닥난방 구조체와같이 온냉수 배관(XL-Pipe 20 ϕ , 배관간격 150mm~200mm)을 포함한 시멘트 몰탈 마감층(두께 30mm)과 시멘트몰탈 축열층(두께 50~55mm)으로 하고 그 밑에 바닥면으로의 열 손실을 차단하기 위하여 단열층(스티로폼 두께 100mm)으로 구성하였다.

2) 환경 실험실

그림 3은 환경실험실의 평면도로서 외기에 의한 거실모델 주위의 열환경 변화를 최소화하기 위하여 환경 실험실 주벽을 단열처리(스티로폼 두께 100mm) 하였다. 그리고, 대부분의 영역에서 실온 변동을 $\pm 1.0^\circ C$ 의 범위로 제어하여 모델외부 표면 열전달에 크게 영향받지 않도록 하였으며, 습도의 조절은 하지 않았다.

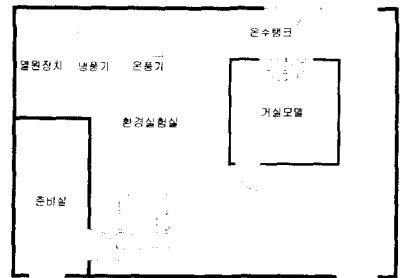


그림 3. 환경실험실 평면도

2. 실험종류 및 설정조건

실험종류는 그림 4와 같이 바닥복사난방을 기본 Case로 하고 강제대류난방(FCU의 온풍분출)과 병용난방(바닥복사 + 강제대류(FCU)) 및 복사대류난방(바닥복사+FCU의 Fan정지상태로 온수만 순환)의 4Case로 하여 실험을 실시하였다.

<표 1>은 거실모델이 열평형 상태에서의 실험조건으로 각 실험 Case 모두 난방 공급수 온도는 $55^\circ C$ 로 일정하게 하였으며, 거실모델 공기온도를 일정한 온도($28.3^\circ C \pm 0.2^\circ C$)로 유지되도록 바닥과 F.C.U에 공

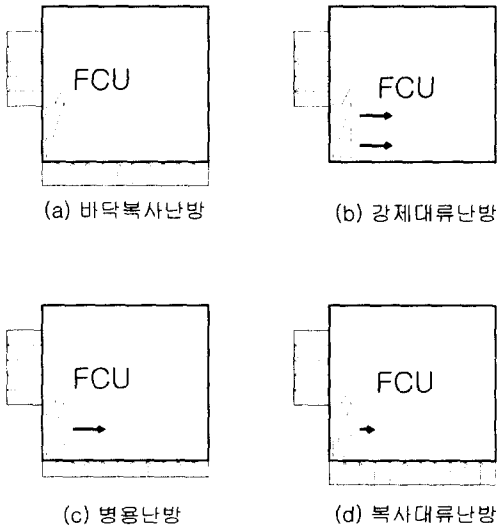
표 1. 검토 종류와 실험조건

실험 종류	바닥면 관류열 (kcal/h)	창측벽면		문측벽면		동측 벽면 관류열 (kcal/h)	서측 벽면 관류열 (kcal/h)	천장면 관류열 (kcal/h)	온수 공급열 (kcal/h)	자연 환기 손실열 (kcal/h)	F.C.U			거실모델 평균온도 (kcal/h)	환경실내 평균온도(℃)	*열수지 오차 (%)
		창면 관류열 (kcal/h)	벽면 관류열 (kcal/h)	문 관류열 (kcal/h)	벽 관류열 (kcal/h)						분출 온풍 온도 (℃)	분출 풍속 (m/sec)	분출 온풍량 (m ³ /h)			
바닥복사 난방	37.1	153.8	15.1	11.8	17.7	22.1	21.0	26.1	425.5	87.7	0	0	0	28.4	8.1	8
강제대류 난방	36.2	150.1	14.8	11.5	17.3	21.5	20.4	25.5	324.5	85.6	49.1	1.5	189.0	28.5	8.6	-18
병용 난방	35.6	147.4	14.5	11.3	17.0	21.2	20.0	25.1	330.0	84.1	42.1	0.7	88.2	28.2	8.7	-14
복사대류 난방	37.2	153.9	15.2	11.8	17.8	22.1	21.0	26.1	431.9	87.4	43.3	0	0	28.2	7.8	9

* 열수지오차(순공급열량 + 순관류열량 + 자연환기 손실열량) / 순공급열량 × 100
 (거실모델내 온도를 상승시키는 열류를 +, 하강시키는 열류를 -로하여 산출)

급되는 난방 온수량을 조절하여 열평형상태로 하였다.

F.C.U 분출구의 풍속은 강제대류난방에서는 1.5m/sec, 병용난방에서는 0.7m/sec, 복사대류난방에서는 0.0m/sec(FCU의 Fan 정지 상태로 온수만 순환)로 일정 풍속을 유지시켰다.



(f)는 냉각 또는 투입열류의 위치, 크기를 표시)

그림 4. 각 난방방식별 실내 유출입열류의 패턴

3. 측정항목

1) 온도 : 거실모델 내외부에는 T형(Cu-Co) 열전대(φ0.2mm)에 의해 공기 및 벽면 온도를 128점 측정하였으며, 또한 거실모델 내에 글로브온도 2점과 자기록온습도계 각 1점으로 측정.

2) 풍속 : 열선 풍속계에 의해 FCU 분출구 풍속 측정.

3) 표면온도 : 적외선 열화상 장치(TH3100 : NEC san-ei Instruments;LTD) 및 열전대를 이용하여 각 실험 Case별로 주변 표면온도를 촬영 및 측정.

4) 배관유량 : 초음파 유량계를 이용. FCU배관과 바닥 배관내 공급수량과 환수량을 측정.

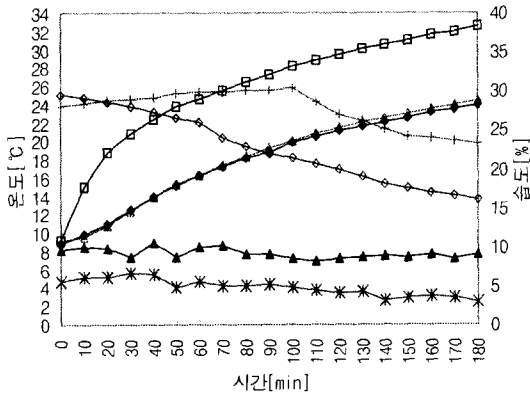
Ⅲ. 실험 결과 분석

1. 난방 운전 시작후 거실모델의 열환경 변화

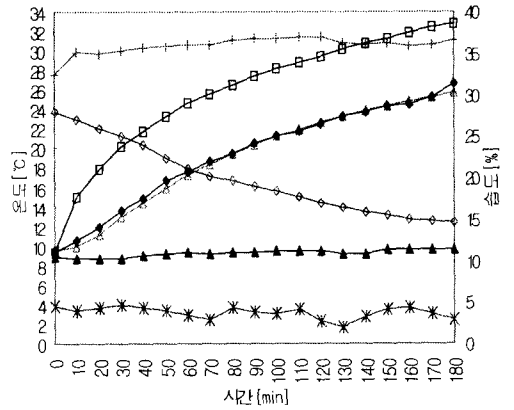
1) 환경실험실 온도변화

<그림 5>에서 난방 운전 시작후 180분 경과 시까지 환경 실험실의 온도는 6.8℃~9.6℃이며, 각 Case별 온도변화는 ±1℃ 범위 내에 있었다.

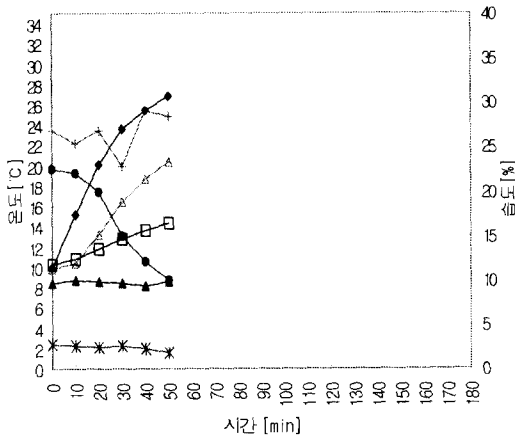
따라서 환경실험실의 온도는 거실모델의 열환경 변화를 비교검토 하는 조건으로 무리가 없다고 판단된다.



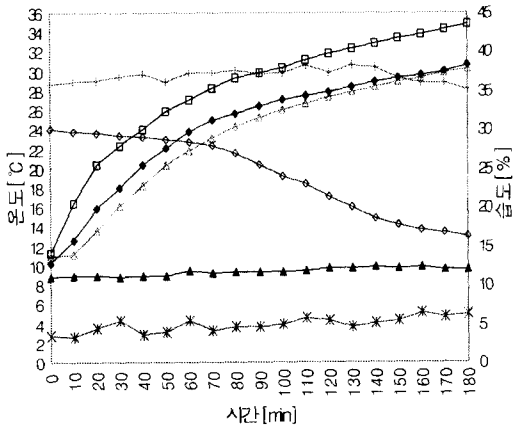
(a) 바닥복사난방



(d) 복사대류난방



(b) 강제대류난방



(c) 병용난방

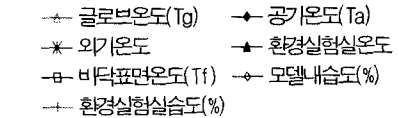
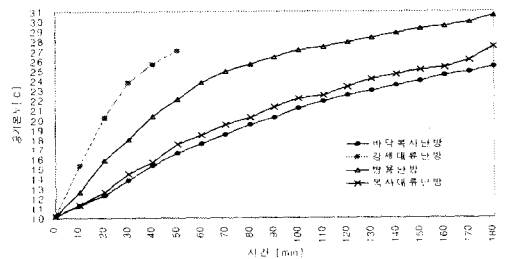


그림 5. 난방 운전 시작후 열환경 변화

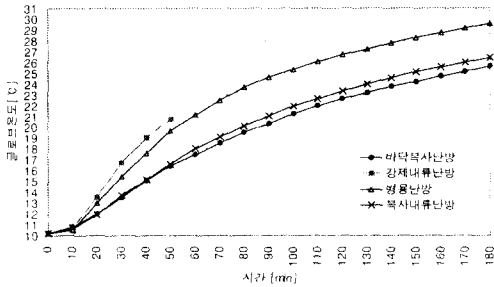
2) 환경실험실과 거실모델의 습도변화
 <그림 5>에서 난방운전 시작후 180분 경과시 까지 상대습도는 환경실험실이 23%~36% 범위 이고, 거실모델은 16%~30% 범위였다.

거실모델의 상대습도는 난방운전 시작후 각 실험Case 모두 하강하였으며, 하강폭은 강제대류난방>병용난방>복사대류난방>바닥복사난방 순으로 난방예열시간이 짧은 난방 방식일수록 습도의 하강폭이 크게 나타났다.

3) 거실모델의 공기온도(Ta)와 글로브온도(Tg) 변화



(a) 공기온도(Ta) 변화



(b) 글로브온도(Tg) 변화

그림 6. 난방운전 시작후 공기온도 및 글로브온도 경시 변화

<그림 5>의 난방방식별 Ta와 Tg의 변화를 비교검토 하기 위하여 <그림 6>에 난방 방식별 온도(Ta,Tg)를 평행 이동시켜 수정¹⁾하였다.

<그림 6>에서 난방운전 시작후 난방방식별 거실모델의 Ta와 Tg의 변화로서 Ta,Tg 모두 강제대류난방>병용난방>복사대류난방>복사난방의 순으로 강제대류 난방이 가장 큰 폭의 온도상승을 보였다. 거실모델의 공기온도(Ta)가 약 15℃상승(10℃~25℃)하는데 난방운전 소요시간은 강제대류난방이 40분, 병용난방이 70분, 복사대류난방이 160분, 바닥복사난방이 180분으로 나타났다. 따라서, 바닥복사난방은 강제대류난방에 비하여 난방 예열시간이 4.5배 더 소요된다고 판단된다.

난방운전 시작후 50분 경과시 거실모델의 Ta와 Tg의 온도차는 강제대류난방 6.2℃(Ta 27℃, Tg 20.8℃)>병용난방 2.2℃(Ta 22℃, Tg 19.8℃)>복사대류난방 0.8℃(Ta 17.5℃, Tg 16.7℃)>복사난방 0.1℃(Ta 16.6℃, Tg 16.5℃)의 순이다. 따라서 거실모델의 난방예열시간이 짧은 난방방식(강제대류난방)이 Ta와 Tg의 온도차가 크고 난방예열시간이 긴 난방방식(바닥복사난방)은 온도차가 거의 없는 것으로 나타났다. 바닥복사난방의 이러한 현상은 바닥복사열이 주변면에 많은 영향을 미쳐 평균복사온도(MRT)가 높아졌기 때문으로 판단된다.

2. 열평형 상태의 온열환경

열평형 상태에서 거실모델의 공기온도분포, 벽 표면 온도분포를 측정하였다. 열평형 상태의 거실모델의 체적가중 평균 공기온도는 복사난방 28.5℃, 강제대류난방 28.5℃, 병용난방 28.2℃, 복사대류난방 28.2℃로 각 실험 Case 모두 일정 온도(28.3℃±0.2℃)로 유지되도록 바닥과 F.C.U에 공급 온수량을 조절하였다.

1) 공기 온도분포

<그림 7>에서 거실모델의 상하 공기온도차(바닥위 2.1m와 0.1m의 평균 수직공기온도차)는 강제대류난방(9.0℃) > 병용난방(2.7℃) > 복사대류난방(0.1℃) > 복사난방(-0.4℃)의 순으로 나타났다. 바닥복사난방과 복사대류난방은 상하온도차가 거의 없으며 특히 바닥복사난방은 상부에서 오히려 낮아지는 역구배 온도분포를 형성하여 두 한쪽열의 온열공기 환경을 형성하고 있다. 그러나, 강제대류난방은 가장 큰 구배의 온도분포를 형성하여 ISO 7730의 불균등복사에 대한 수직온도 범위 5℃이내의 기준을 크게 초과하고 있다. 이와 같은 기온의 상하 불균등은 인체가 열평형(열중성) 상태에 있다 하더라도 두열족한의 국부적 불쾌감을 유발하는 열환경을 형성하고 있다 하겠다.

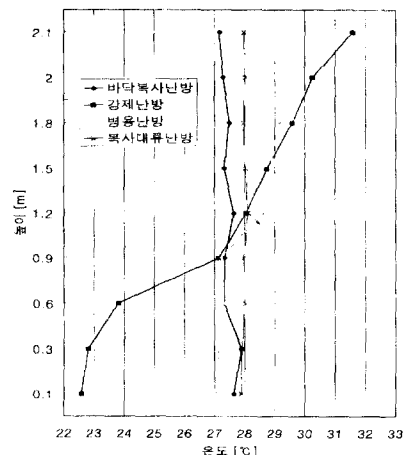


그림 7. 수직공기온도분포

2) 주벽 표면 온도분포

<그림 8>에서 거실모델의 주벽표면 상하온도차(바닥위 21m 평균벽 표면온도 - 바닥위 0.1m 평균벽 표면온도)는 강제대류난방 > 병용난방 > 바닥복사난방 > 복사대류난방의 순으로 나타났다. 강제대류 난방의 경우 상하 공기온도차(9.0℃)가 큰 공기의 대류열전달의 영향을 받아 주벽면의 상하 온도차도 8.8℃로 상하 공기온도 분포와 비슷하게 심한 불균일 벽 표면온도 분포를 보였다. 이러한 매우 불균일한 벽면 복사장과 실내 공기온도<그림 7참조>의 성상은 재실자에게 드래프트 현상을 야기하는 등 국부적인 불쾌감을 유발하는 요인이 된다 하겠다. 바닥복사난방과 복사대류난방의 경우 주벽면의 상하 온도차가 작은 분포를 보이는 것은 바닥열의 복사와 대류에 의한 열전달 영향을 받은 것으로 판단된다.

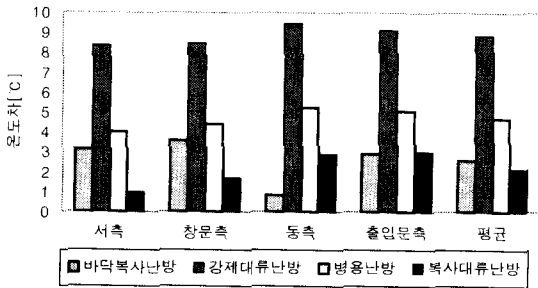


그림 8. 각 벽면의 상하 온도차 (바닥위 21m 표면온도 - 바닥위 0.1m 표면온도)

창문측 벽면의 상하 온도차가 바닥복사난방이 복사대류난방보다 크게 나타난 것은 복사대류난방(F.C.U의 온수순환)에서는 창문측 하부에 설치한 F.C.U에 의한 열전달을 창측 하부벽이 받았기 때문으로 판단된다

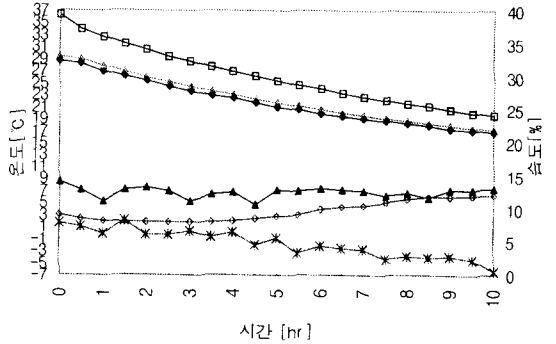
3. 난방 운전 정지후의 거실모델의 열환경 변화

1) 환경 실험실 온도변화

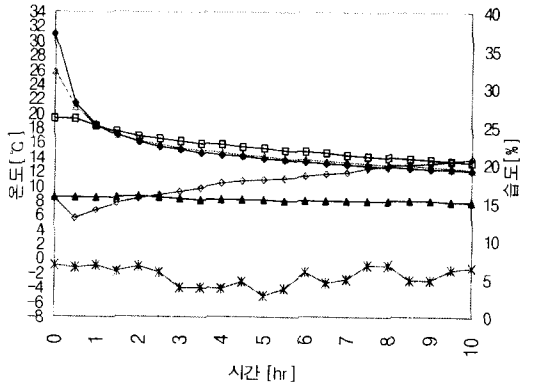
<그림 9>에서 난방 운전 정지후 10시간 경과 시까지 환경실험실의 온도는 6.8℃~9.2℃이며,

각 case별 온도변화는 ±1℃이내의 변화를 보였다. 따라서 환경 실험실의 온도변화는 거실모델의 열환경 변화를 비교 검토하는 조건으로는 무리가 없다고 판단된다.

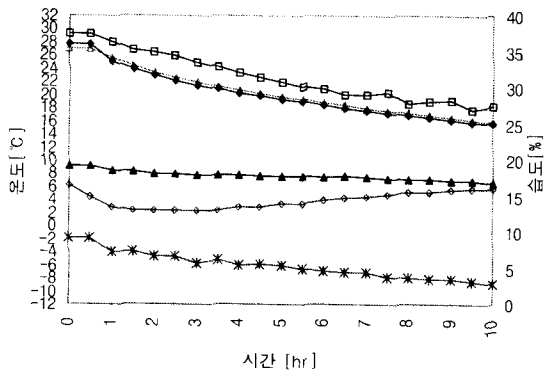
2) 거실모델의 습도변화



(a) 바닥복사난방



(b) 강제대류난방



(c) 병용난방

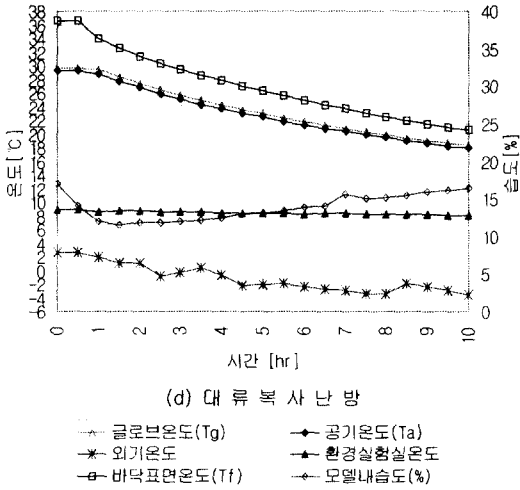


그림 9. 운전 정지후 열환경 변화

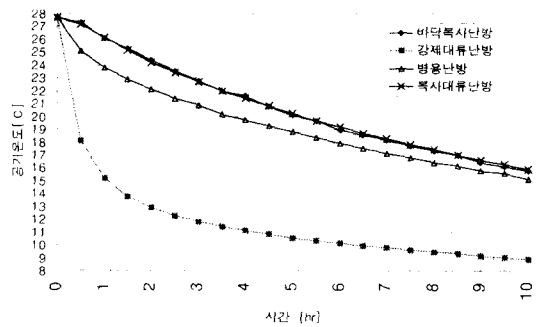
<그림 9>에서 난방 운전 정지후 10시간 경과 시까지 거실모델의 상대습도는 9%~21% 범위였다. 각 난방 방식 모두 거실모델의 상대 습도는 난방 운전 정지후 30분 전후까지 약간 하강하다가 이후 거실모델의 온도 하강과 함께 완만한 상승을 보였다.

3) 거실모델의 공기온도(Ta)와 글로벌 온도(Tg) 변화

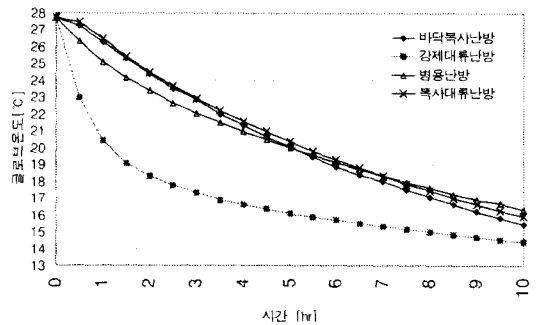
<그림 9>의 난방 방식별 Ta와 Tg의 변화를 비교 검토하기 위하여 <그림 10>에 난방 방식마다 온도(Ta, Tg)를 평행이동 시켜 수정하였다. <그림 10>에서 난방 운전 정지후의 난방 방식별 거실모델의 Ta 변화로서 강제대류난방>병용난방>복사대류난방, 복사난방의 순으로 강제대류 난방이 가장 큰 폭의 온도 하강을 보였다. 난방 운전 정지후 거실모델의 공기온도(Ta)가 약 12℃ 하강(28℃~16℃) 하는 시간은 강제대류난방 45분, 병용난방 8시간, 바닥복사난방과 복사대류난방이 각각 10시간 소요되었다. 따라서 바닥복사난방의 난방 지속 효과는 강제대류난방에 비하여 약 13 배로 나타났다.

난방 운전 정지후 2시간 경과시 거실모델의 Tg와 Ta의 온도차는 강제대류난방 5.3℃(Tg 18.3℃,

Ta13℃) > 병용난방 1.3℃(Tg 23.4℃, Ta 22.1℃) > 복사대류난방 0.3℃(Tg 24.5℃, Ta 24.2℃) > 복사난방 0.1℃(Tg 24.4℃, Ta 24.3℃)의 순이다. 따라서 난방운전 정지후 거실모델의 축열에 의한 난방 지속 시간이 짧은 난방 방식(강제대류난방)이 Tg와 Ta의 온도차가 가장 크고 난방 지속시간이 긴 난방 방식(바닥복사난방)은 온도차가 거의 없는 것으로 나타났다.



(a) 공기온도(Ta) 변화



(b) 글로벌온도(Tg) 변화

그림 10. 난방운전 정지후 공기온도 및 글로벌온도 경시 변화

바닥 복사 난방의 이러한 현상은 축열된 바닥 복사열이 장시간 동안 방열하면서 주변면에 영향을 미쳐 평균복사 온도(MRT)와 공기온도가 비슷한 온도를 유지하였기 때문이며, 이로 인하여 난방효과가 지속된 것으로 판단된다.

4) 바닥 표면온도(Tf)

<그림 9>에서 난방 운전정지후 10시간 경과시

까지 거실모델의 평균바닥표면온도(Tf) 변화를 비교 검토한다. 바닥복사난방과 복사대류난방의 경우 공급 온수에 의한 바닥 축열의 영향으로 하강온도는 16.7°C(36.2°C~19.5°C)로 점차적으로 완만하게 하강하였다. 병용난방의 경우 하강온도는 10.9°C(29.1°C~18.2°C)로 처음 2시간까지 약간 급한 하강을 하다가 이후 완만한 하강을 보였다. 강제대류난방의 경우 하강온도는 5.9°C(19.2°C~13.3°C)로 난방운전 정지후 약 2시간 경과까지 거실모델 공기온도의 급한 하강과 함께 약간 급한 하강을 하다가 이후 거실모델 공기온도와 거의 같은 온도로 완만한 하강을 보였다.

IV. 결 론

이상에서와 같이 바닥복사난방을 중심으로 난방방식에 따른 거실의 열환경 특성을 평가하고 아울러 바닥 축열체에 의한 난방 예열시간과 난방 지속효과를 비교 분석하였다.

① 난방 운전 시작후 거실모델의 난방 예열시간(공기온도 15°C 상승하는데 난방 예열 소요시간)은 바닥복사난방<복사대류난방<병용난방<강제대류난방의 순으로 바닥복사난방은 강제대류난방보다 4.5배의 시간소요를 보였다.

② 열평형 상태에서 거실모델의 상하 공기온도차는 바닥복사난방(-0.4°C)<복사대류난방(0.1°C)<병용난방(2.7°C)<강제대류난방(9.0°C)의 순으로 나타났다. 따라서 거실의 공기온도가 상승하면 복사난방은 상하 균일 온도분포를 유지하나 대류난방은 상하 공기온도구배가 크게 나타났다.

③ 열평형 상태에서 거실모델 주벽 표면의 상하 온도차는 주위 공기온도에 크게 영향을 받아 강제대류난방은 바닥복사난방에 비하여 약 4.2배의 상하 불균일 표면온도 분포로 나타났다.

④ 바닥복사난방의 난방운전 정지후 바닥축열에 의한 난방효과(Ta 28°C~16°C)의 지속시간이 10시간이나 되므로 심야전력의 바닥축열 난방 활용이 매우 높은 것으로 확인되었다.

이상은 각 난방 방식별 열특성을 실험적으로 검토한 결과이다. 향후에는 본 실험 결과에 의한 실험치와 수치해석 기법을 이용한 계산치를 비교하는 시뮬레이션 연구를 수행하고, 아울러 바닥복사난방의 예열시간 단축과 심야전력 이용이 가능한 난방시스템을 개발할 예정이다.

주

- 1) 전체의 계가 線形이라고 가정하여 공기온도 및 글로브온도를 각 난방방식마다 같이 평행 이동시켜 수정한다.

참 고 문 헌

1. 이무진, 「공동주택 거실의 냉방방식에 따른 열환경 특성에 관한 연구」, 한국주거학회지 Vol. 10(4), 1999.11
2. 延濟振 譯. 『건축설계자료집성1, 環境』. 서울 : 태림문화사, 1990.
3. 이무진, 공성훈, 이중우. 「바닥輻射暖房 空間과 人體의 表面熱傳達 特性에 관한 연구」. 『대한건축학회 논문집』, 제11권 제5호(1995.5)
4. 한윤호, 이중우. 「低溫 바닥면 복사난방의 열환경 지표에 관한 연구」, 건축학회 논문집, Vol.4 (3), 1988.
5. 中山昭雄 編. 『溫熱生理學』. 日本理工學社. 1981.
6. ASHRAE. *ASHRAE Standard 55-1974. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. New York : ASHREA, 1974.
7. Fanger, P.O. "Radiation data for the human body." *ASHRAE Trans. Vol. 76.Pt. 2*, 1970.