

공동주택 거실의 냉방방식에 따른 열환경 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristic of the Thermal Environment in the Cooling System at the Apartment

이 무 진
Lee, Moo Jin*

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the efficiency of the thermal environment created by the cooling system at the apartment that combines the forced convection cooling(the system reducing humidity from room) with the floor cooling radiation which uses the floor panel from floor heating system, a general residential heating system in Korea. In this study, the combined cooling system in which air supply, spurt temperature difference and interior draft are reduced, is compared with the existing forced convection cooling system. To identify the effect of the comparison concretely, a comparative experiment is carried out on four conditions, ie, convection cooling, floor radiation convection cooling and floor radiation cooling. Through it the characteristic thermal environment formed within the model room is analyzed, and the conveying system of compressed floor chill and condensation problem are reviewed.

I. 서 론

인체의 온열환경은 주로 대류(공기온도, 기류)와 복사에 의해 형성된다. 따라서 높은 레벨의 환경 조절은 종래의 주로 대류에 의한 환경조절에 의존했던 기류 중심의 공조시스템 단독으로는 불충분하며, 또한, 강제대류 냉방은 인체에 상당히 좋지 못한 냉방 환경 상태가 발생되는 경우도 예견된다. 그러므로, 병실의 환자나 노유자(老幼者)용 거주 공간 등은 건강한 자의 환경에 비하여 높은 레벨의 환경조절이 필요하다. 복사열환경이 온열 감각을 지배하는 중요한 요인의 하나인 것은 주지되어 왔으며, 복사냉난방은 공기식 냉난방 방식에 비교하여 쾌적 열환경 형성의 점에서 우수¹⁾하다고 알려져왔다. 특히 냉복사 패널을 이용한 공조 방식은 종래의 공조 방식에 비하여 공급풍량과 취출 온도차를 줄이고, 실내의 드래프트를 경감할 수 있으며, 또한 수송에너지의 경감 등에서 유리

한 공조 방식으로 평가되고 있다.

본 연구는 우리 나라 공동 주택의 일반적인 주거냉방 방식인 바닥 온수난방의 바닥 Panel을 이용한 냉복사와 강제대류냉방(FCU)을 조합한 병용 냉방시스템의 열 환경 및 바닥축열성을 실험을 통하여 분석 평가하고, 본 시스템에 의한 공급풍량과 취출 온도차의 감소 및 실내 드래프트(Draft)경감, 그리고 바닥냉축열에 의한 냉방지속성 등을 종래의 냉방방식(강제대류냉방)과 비교 검토하여 그 효과를 구체적으로 확인하는데 있다. 따라서, 병용냉방 시스템을 중심으로 냉방방식별로 복사와 대류가 불균일한 거실 공간의 열 환경 형성의 특성과 결로 여부를 비교 검토하므로써 공동주택 거실에서의 쾌적열환경 조성은 물론, 저비용 고효율의 바닥복사 및 대류 병용냉방시스템 설계를 위한 기초 자료를 얻고자 한다.

II. 실험 개요

1. 실험 대상 공간

* 정회원, 경일대 건축공학과 교수, 공학박사

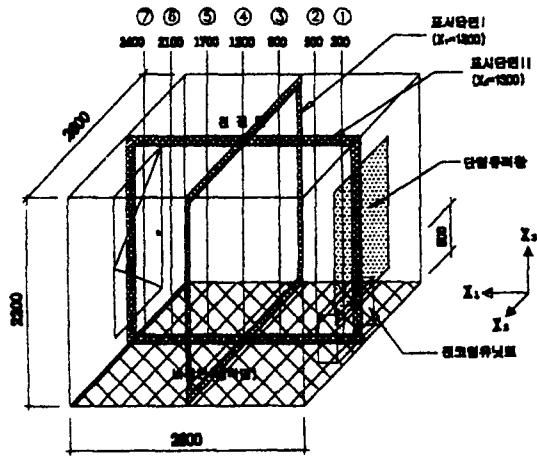


그림 1. 모델거실의 개략도

1) 모델거실

그림 1은 모델거실의 개략도로서 수직벽면 1면이 유리창인 공동주택의 거실을 상징하여 벽면 1면을 창면으로 하고, 하계 실내의 온도차에 의한 관류열침입을 재현하였다. 모델거실의 내부 치수는 X1(2.6 m) × X2(2.6 m) × X3(2.2 m), 외부 치수는 X1(2.9 m) × X2(2.9 m) × X3(2.55 m)으로 하고, 주벽은 열교가 생기지 않는, 두께 150 mm의 단열재로 구성하여, 단열성이 충분히 확보된 구조로 하였다. 바닥면은 기존 공동주택에서 일반적으로 사용하고있는 열량제어 가능한 온수파이프에 의한 바닥판넬 구조로 하였으며, 창면 아래에는 냉풍 분출이 가능한 팬코일유닛(FCU)을 설치하였다. 창은 1.2 m × 1.5 m 크기로 단일 유리창(3 mm 유리)이며, 바닥구조는 현행 공동주택의 바닥난방 구조체와 같이 시멘트 몰탈마감층(두께 30 mm)과 온 냉수 배관(XL-Pipe 20Φ, 배관간격 150 mm~200 mm)을 포함한 시멘트몰탈축열층(두께 50~55 mm)으로 하고 그 밑에 바닥면으로의 열 손실을 차단하기 위하여 단열층(두께 100 mm)으로 구성하였다.

2) 환경 실험실

그림 2는 환경실험실의 평면도로서 열환경 실험실내의 Package 형 온풍기에 의해, 모델 주위의 대부분의 영역에서 실온의 변동은 ±1.5°C의 범위로 제어하여 모델외부 표면열전달에 크게 영향을

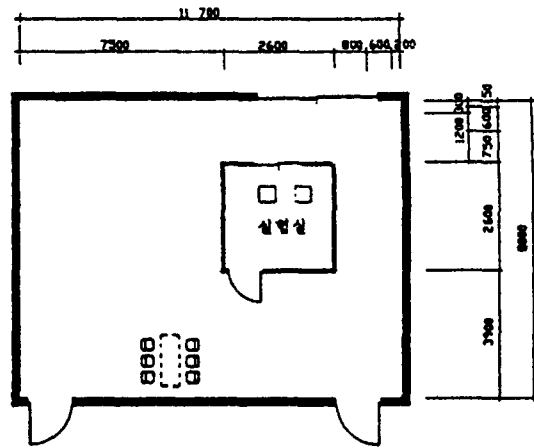


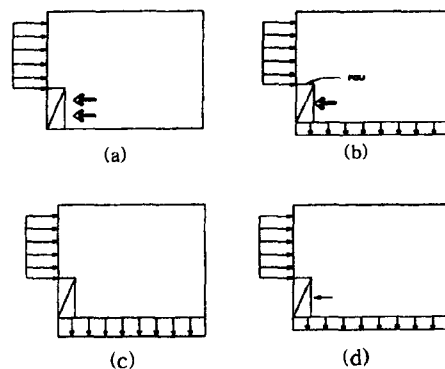
그림 2. 환경실험실 평면도

지 않도록 조절하였으며, 습도의 조절은 하지 않았다.

2. 실험종류 및 설정조건

실험종류는 그림3과 같이 병용냉방(바닥복사+강제대류(FCU: fan coil unit))을 기본Case로 하고 강제대류냉방(FCU의 Fan작동에 의한 냉풍취출)과 바닥복사대류냉방(바닥복사+FCU의 Fan비작동) 및 바닥복사냉방의 4Case로 하여 실험을 실시하였다

각 실험Case 모두 실내의 냉방부하는 동일로 하



(a) 병용냉방(바닥복사+강제대류) (b) 강제대류냉방
(c) 바닥복사대류냉방 (d) 바닥복사냉방

(f f)는 냉각 또는 투입열류의 위치, 크기를 표시)

그림 3. 각 냉방방식별 실내 유출입열류의 패턴

고, 실험종료후 모델거실의 작용온도(OT: Operative temperature)가 24°C가 되도록 측정데이터(각면의 표면온도 및 공기온도 등)를 수정 정리했다. <표 1 참조>

3. 측정항목

1) 온도: 모델 내. 외부에는 T형(Cu-Co) 열전대(φ 0.2 mm)에 의해 공기 및 벽면 온도를 128점 측정하였으며, 또한 모델거실 내에 글로브온도(Tg: globe temperature) 2점과, 자기록온습도계 각 1점으로 측정.

2) 풍속: 3차원 초음파풍속계(FA-600A형 :kaijo사)를 이용하여 <그림 1>(모델거실 개요)의 표시 단면 II의 ①에서 ⑦까지 각 냉방방식별로 풍속 분포를 측정.

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

4) 배관유량: 초음파 유량계를 이용. 배관내 공급수와 환수량을 측정.

III. 실험 결과 분석

1. 공기온도 분포

모델거실의 작용온도(OT)^{*1, 2}가 24°C³가 되도록 각 실험을 수정^{*2, 4}정리한 결과, 체적가중 평균공기 온도는 병용냉방(24.0°C)<강제대류냉방(24.2°C)<바닥복사냉방(24.3°C)<복사대류냉방(24.5°C)의 순서로, 복사대류냉방이 가장 높고, 병용냉방이 가장 낮았다. 거실모델 높이(바닥 위 0.1-2.1 m)의 전 Case 상하 평균온도차는 2.8°C로 냉각기류의 하강 영향 등으로 하부가 상부보다 비교적 낮은 온도 분포를 보였다. 각 Case별 수직 공기온도 분포는 바닥복사냉방(2.0°C)<복사대류냉방(2.4°C)<병용냉방(2.4°C)<강제대류냉방(4.2°C)의 순으로, 바닥복사냉방이 가장 온도구배가 적고, 강제대류냉방이 온도구배가 가장 크게 나타났다<그림 4>. 특히 강제대류냉방의 경우 FCU에서의 분출냉기류는 창부관류 상승열류의 하부에 잠입되어, 밀도차에 의해 실내 하부로 하강하므로써 상하 온도차가 크게 나타났으며, 특히 거주역(바닥 위 0.1-1.9 m)에서는 상하 온도차가 3.9°C로, 전 냉방방식 중에서 가장 큰 온도구배를 형성하였다. 이와 같이

표 1. 검토 종류와 실험조건

실험 종류	①	②		③		④		⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	a	b	c	d
	바닥면 관류열 (kcal/h)	창면 관류열 (kcal/h)	벽면 관류열 (kcal/h)	문 관류열 (kcal/h)	벽 관류열 (kcal/h)	동측 벽면 관류열 (kcal/h)	서측 벽면 관류열 (kcal/h)	천장면 관류열 (kcal/h)	흡수열 (냉수) (kcal/h(-))	자연 환기 침입열 (kcal/h)	모델 거실 평균 온도 (kcal/h)	환경 실내 평균 온도 (°C)	모델 거실 작용 온도 (°C)	열수지 오차 (%)			
병용 냉방	9.9	69.6	6.9	3.4	8.0	10.0	10.0	9.6	175.1	42.9	21.8	31	24	3			
강제 대류 냉방	.3	65.8	6.5	5.1	7.6	9.0	9.0	8.0	173.5	40.5	23.3	32	24	7			
복사 대류 냉방	17.8	59.7	5.9	4.6	6.9	9.0	9.0	9.0	171.2	36.9	23.9	31.8	24	7			
바닥 복사 냉방	17.5	52.9	5.2	4.1	6.1	8.0	8.0	7.0	160.4	32.7	24.1	31.1	24	12			

*1 표1의⑨c는 실험에서의 설정치. ①②③④⑤⑥⑦⑧⑩a⑥d는 실험에서의 측정치. 또한, 열량의 수치는 모델거실내 표면에 있어서 표면 온도를 상승시키는 熱流를 正, 하강시키는 熱流를 負로 표시

*2 熱收支오차 = (全흡수열량 + 全貫流열량 + 全침입열량) / 全흡수열량

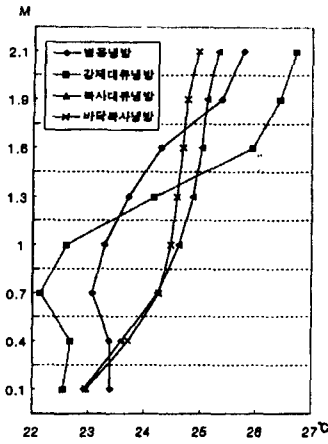


그림 4. 수직 공기온도 분포

기온의 상하 불균등이 심한 냉방공간에서는 인체가 열평형(열중성)상태에 있다하더라도 국부적 불편감을 유발하는 냉공기환경이 형성된다 하겠다. 이러한 온도분포는 ISO 7730에서 정하고 있는 하계 쾌적범위의 작용온도 23~26°C(1.2Met이하, 착의량 0.5Clo, 기류속도 0.25 m/s)에서 수직온도(바닥면 ±0.1~+1.1m) 3°C⁵⁾이하의 범위를 초과하고 있다. 바닥복사냉방과 복사대류냉방의 경우, 바닥면 냉복사의 영향으로 거실모델 높이의 상하 온도차가 가장 적은 온도구배를 형성함으로써, 거주역의 쾌적성 면에서는 매우 효과적인 실온분포를 형성하고 있음을 알 수 있다. 그러나 바닥복사냉방에서는 실험 기간중 배관 직상부에서 약간의 바닥표면 결로가 관찰되었다. 병용냉방의 경우 강제대류냉방과 바닥복사냉방의 혼합형 온도구배 특성을 반영하고 있으며, 바닥위 1.6m이하에서는 상하온도차 0.9°C로 전 실험 Case 중에서 가장 낮은 온도구배를 형성하였다. 따라서 병용냉방이 거주역에서 쾌적성 및 에너지 효율면에서 매우 효과적인 실온분포를 형성하고 있음을 알 수 있다 <그림 4>.

2. 벽면표면 온도분포

모델거실의 작용온도를 24°C로 일정하게 한 경우 각 벽표면 상, 하부 평균온도차(바닥위 1.6m-바닥위 0.5m)는 강제대류냉방<병용냉방<복사대

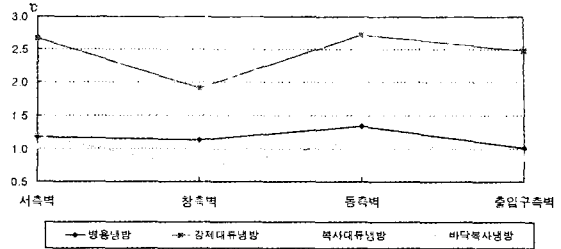


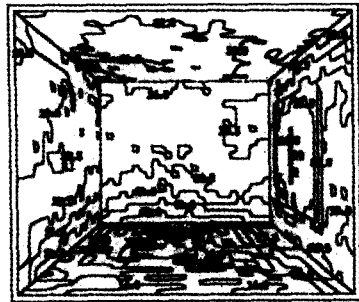
그림 5. 각 벽면의 상하온도차 (바닥위1.6m - 바닥위0.5m)

류냉방<바닥복사냉방의 순서이다.

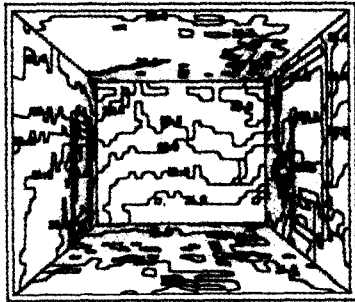
병용냉방, 복사대류냉방, 바닥복사냉방의 경우 바닥 냉복사의 영향에 의해 약 0.6°C 이내로 각 벽 표면의 상하온도차 분포를 보이는 반면, 강제대류냉방의 경우 대류의 영향을 크게 받아 평균 2.4°C의 표면 온도분포를 보였다. 특히 강제대류냉방의 경우 이러한 매우 불균일한 벽면의 상하복사장의 정상<그림 5 참조>과 실내공기온도의 불균형<그림 4 참조>은 재실자에게 드래프트현상을 야기하는 등 국부적인 불편감을 유발하는 요인이 된다 하겠다.

그림 6은 병용냉방, 강제대류냉방, 바닥복사냉방을 행하는 모델거실의 각 벽면의 온도분포이다. 병용냉방의 경우 서측 벽면의 표면온도는 상부가 하부보다 높은 온도분포를 보이나 실험 Case 중에서 가장 적은 온도차를 나타냈으며, 또한 창측벽에 가까울수록 점차 적은 상하 온도차 분포를 보였다. 천장면에서는 전반적으로 균등(약 0.4°C이내의 온도차)한 분포를 보이고 있으며, 창측에 가까울수록 약간씩 높은 온도분포를 형성하였다. 창측면(창면 제외)은 각 벽면 중에서 상하 온도차(약 3°C)가 가장 크게 나타났다. 강제대류냉방의 경우 서측벽면의 표면온도는 상부가 하부보다 높은 온도 분포를 보여 실험 Case중에서 가장 높은 온도차로 나타났으며, 또한 창측벽에 가까울수록 점차 적은 상하온도차 분포를 보였다. 창측벽면(창면 제외)은 각 벽면 중에서 상하온도차가 가장 크게 나타났다. 천장면에서는 전반적으로 균등한 분포를 보이고 있으며, 창측에 가까울수록 약간씩 높은 온도분포를 형성하였다.

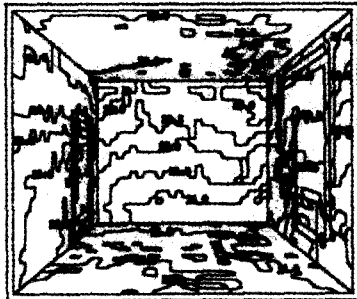
바닥복사냉방의 경우 서측면의 표면온도는 상



(a) 병용냉방



(b) 강제대류냉방



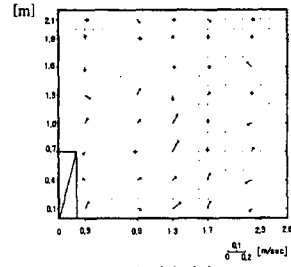
(c) 바닥복사냉방

그림 6. 각 면의 온도분포

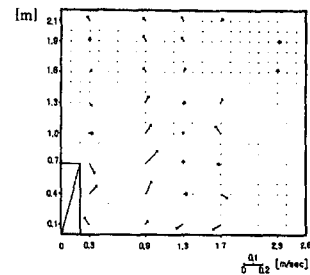
부가 하부보다 높은 온도분포이고, 창측면(창면제외)은 실험 Case중에서 상하온도차(0.71°C)가 가장 적게 나타났으며, 천장면은 전반적으로 균등한 분포로 나타났다.

3. 풍속 Vector

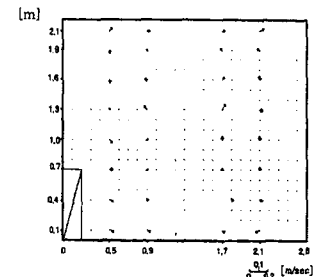
각 Case별 모델거실공간의 풍속 측정(측정위치: <그림 1> 표시단면II의 ②③④⑤⑥) 결과는 그림 7과 같다. 병용냉방, 강제대류냉방의 FCU에 의한 분출 공기온도는 병용냉방이 강제대류냉방보다



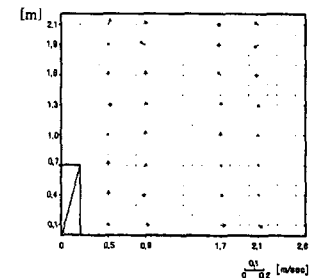
(a) 병용냉방



(b) 강제대류냉방



(c) 복사대류냉방



(d) 바닥복사냉방

그림 7. 풍속 Vector

높다.

따라서 병용냉방의 경우 FCU에서 분출된 냉기류는 창면부근에 형성된 온기류와 부력의 영향으로 출입벽측 방향으로 하향 냉기류를 형성하여, 다시 상하공기 밀도차에 의해 실내 중앙부 거주역 부근에서 출입벽측 천장 방향으로 상승기류(약

0.1 m/sec)가 형성된 것으로 보인다. 강제대류냉방의 경우 FCU에서 분출된 냉기류는 출입벽측 바닥 방향으로 급히 하강하여 실내 중앙부 바닥 부근에 도달하기 전에 출입벽측 천장 방향으로 상승기류(약0.17 m/sec)가 형성되었으며, 일부 기류는실내 중앙부 바닥 부근에서 FCU 흡입구 방향으로 향하는 기류가 관측되었다.

복사대류냉방, 바닥복사냉방 모두 창면, 바닥면에서 주로 복사에 의한 열환경 형성으로 인하여 모델거실 공간 전체에 걸쳐 약한 미기류(약0.05 m/sec미만)가 형성되었다. 또한 창면 부근에서 형성된 온기류는 부력의 영향으로 천장면으로 상승하여 천장면에 충돌 확산된 기류는 천장면을 따라 출입벽측으로 흐르면서 미세한 난기류를 형성하는 것으로 판단된다. 특히 복사대류냉방에서 FCU의 냉복사에 의한 미기류는 창면 부근에 온열복사 영향을 받아 출입벽측 바닥 방향으로 흐르는 미풍속을 형성하였다

4. 냉방 운전 시작후의 열환경 및 바닥온도 변화

냉방 운전 시작후 및 냉방 정지후의 모델 거실의 온도변화를 비교 검토하기 위하여 각 실험을 수정*3정리하였다.

1) 환경실 온도변화

그림 8은 냉방운전 직후의 실험Case별 환경실험실 온도변화로서 운전 시작 직후의 환경실험실 평균온도는 28.8°C에서 점차 증가하여 4시간후 31.4°C로 실험 4시간동안 2.6°C의 증가를 보였다.

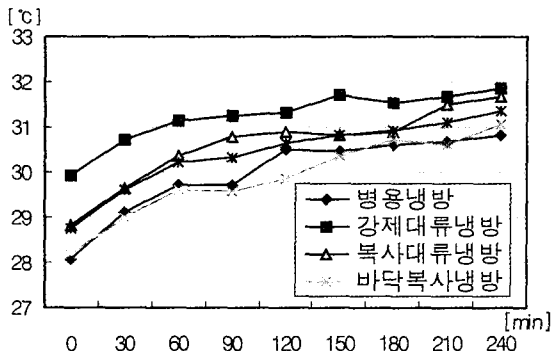


그림 8. 실험 Case별 환경 실험실 온도

이는 환경실이 외기온도의 점진적인 상승과 열원 설비의 방열 등의 영향이라 판단된다.

각 실험Case별 실험기간중 환경실험온도는 강제대류냉방>복사대류냉방>병용냉방>바닥복사냉방의 순으로 강제대류냉방이 가장높고 병용냉방이 가장낮았으며 온도차는 1.8°C 이내의 온도변화분포를 보였다. 따라서 환경실험실의 온도변화가 본실험에 대한 모델거실의 열환경 및 바닥온도 변화를 비교 검토하는 조건으로는 무리가 없을것으로 사료된다.

2) 모델거실의 공기온도 및 글로브온도 변화

그림 9는 냉방운전 시작후 모델거실의 공기온도와 글로브온도의 변화로서 강제대류냉방>병용냉방>복사대류냉방>바닥복사냉방의 순으로 강제대류냉방이 가장큰 하강을 보였고, 복사대류냉방과 바닥복사냉방은 비슷한 하강추세로 나타났다. 강제대류냉방의 경우 운전시작후 1시간까지는 급격한 하강세를 보이다가 그이후는 변화폭이 크게 둔화되어 운전시작후 4시간 경과까지 공기온도는 8.1°C, 글로브온도는 6.2°C로 공기온도가 글로브온도 보다 큰 폭으로 하강하였다.

병용냉방의 경우 운전시작후 4시간 경과까지 공기온도는 6.5°C, 글로브온도는 5.8°C로 공기온도가 글로브온도보다 약간 더 하강하였지만 강제대류냉방보다는 적은 폭의 하강을 보였다.

복사대류냉방과 바닥복사냉방의 경우 시간의 경과에 거의비례하여 완만한 하강을하여, 운전시작후 4시간 경과까지 공기온도는 약2.9°C, 글로브온도는 약3.8°C로 강제대류냉방, 병용냉방과는 반대로 글로브온도가 공기온도보다 더 크게 하강하

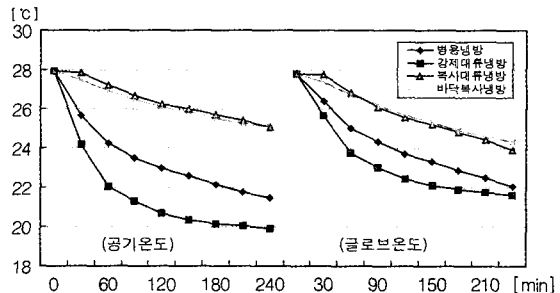


그림 9. 냉방시작후 공기온도 및 글로브온도의 변화

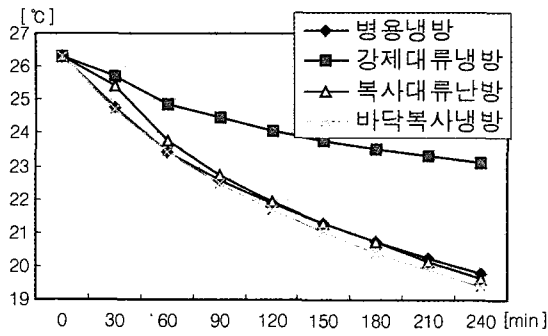


그림 10. 냉방 시작후 바닥표면 온도 변화

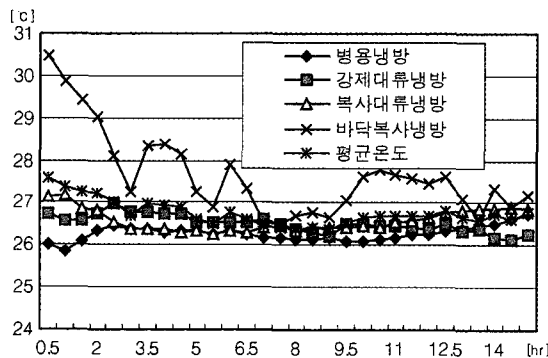


그림 11. 냉방정지후 환경실 공기온도 변화

였다. 복사대류냉방과 바닥복사냉방의 이러한 현상은 바닥복사가 주벽면에 미친 냉복사 영향으로 평균표면온도(MRT)가 낮아졌기 때문으로 판단된다.

3) 바닥표면온도 변화

그림 10은 냉방운전 시작후 각실험 Case별 평균 바닥표면온도의 변화로서 바닥복사냉방>복사대류냉방>병용냉방>강제대류냉방의 순으로 강제대류냉방의 바닥표면온도가 가장 적은 폭으로 완만한 하강을 보였으며, 4시간경과까지 3.1°C 하강하였다. 병용냉방, 복사대류냉방, 바닥복사냉방의 경우 모두 강제대류냉방에 비해 큰폭으로 하강했으나 시간의 경과에 따라 하강폭이 점차 둔화되어 4시간 경과까지 약 6.6~6.8°C 하강하였으며 3Case 모두 비슷한 바닥온도 분포를 보였다.

특히 병용냉방의 경우 바닥만으로 흡수가 이루어지는 바닥복사냉방과 비슷한 폭의 하강을 보이는 것은 병용냉방이 바닥으로의 열흡수와 FCU의 열흡수에 의한 실온의 하강<그림 9 참조>의 영향을 동시에 받아 바닥표면온도가 하강하였기 때문이라 생각된다.

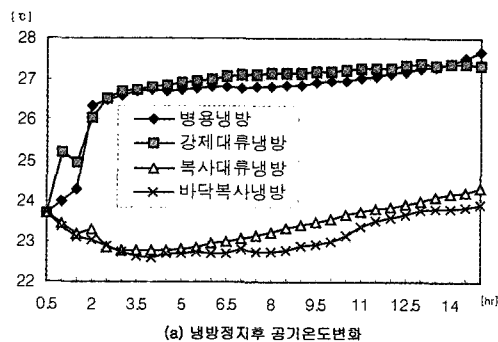
5. 냉방 운전 정지후의 열환경 및 바닥온도 변화

1) 환경실 온도변화

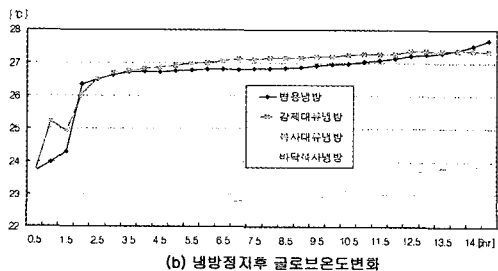
그림 11은 냉방 운전 정지후 실험 Case별 환경실 온도변화로서 운전정지후 15시간까지 평균온도는 26.7°C로 ±4°C 이내의 변화를 보였다. 바닥복사냉방의 경우 본 실험기간중 가장 큰 온도 변화를 보였으며 평균온도는 27.6°C였다.

병용냉방, 강제대류냉방, 복사대류냉방의 경우 환경실험실의 평균온도는 26.3~26.6°C의 변화로 3 Case 모두 비슷한 양상의 분포를 보였다. 따라서 환경실험실의 온도변화가 본 실험에 대한 모델 거실의 열환경을 비교 검토하는 조건으로는 무리가 없는 것으로 사료된다.

2) 모델거실의 공기온도 및 글로브온도 변화
그림12는 냉방운전 정지후 모델거실의 공기온도 및 글로브온도 분포를 나타낸다. 그림12(a)의 공기온도 경우 병용냉방 및 강제대류냉방은 운전정지



(a) 냉방정지후 공기온도변화



(b) 냉방정지후 글로브온도변화

그림 12. 냉방정지후 공기온도 및 글로브온도 변화

후 2시간까지 급격한 상승을 보이다가 이후는 상승폭이 매우 둔하게 나타났으며, 복사대류냉방, 바닥복사냉방은 바닥의 냉축열로 인하여 운전정지 후 약 4시간까지 완만한 하강이 계속되다가 이후 완만한 상승을 보였다.

그림 12(b)의 글로브온도 경우 병용냉방, 강제대류냉방은 운전정지 후 급격한 상승을 하다가 약 2시간 후에는 완만한 상승을 하였으며, 공기온도 보다는 비교적 적은 상승폭을 보였다. 복사대류냉방, 바닥복사냉방은 운전정지후 약간의 하강후 완만한 상승을 하였으며, 복사대류냉방이 바닥복사냉방보다 상승폭이 비교적 크게 나타났다.

병용냉방의 공기온도는 환경실 온도의 하강과 바닥냉축열의 영향으로 운전 정지후 1.5시간까지는 실온을 유지하였으나 이후 급격한 상승을 보였으며, 2시간 이후 15시간까지는 환경실 온도와 1.0~1.5°C의 온도차로 냉방효과가 지속되었다. 병용냉방의 글로브온도는 운전정지후 2시간까지 다소 높은 온도 상승을 보이다가 이후 완만한 상승을 보였으며 운전정지후 6시간 경과까지는 환경실 온도와 2°C이상의 온도차로 냉방효과가 지속되다가 이후는 완만한 상승을 보였다.

강제대류냉방의 공기온도는 운전 정지후 2시간까지 급격한 상승을 하다가 이후 완만한 상승을 하였고, 운전 정지후 7시간이후는 환경실 온도보다 같거나 높은 온도분포를 형성하였으며, 글로브 온도의 경우도 공기온도의 변화와 거의 같은 양상으로 나타났다.

복사대류냉방의 공기온도는 바닥냉축열의 영향으로 운전 정지후 3시간까지 지속적인 하강을 했으며, 이후 완만한 상승을 하여, 실험 종료시까지 모델거실과 환경실 온도차가 약 1.2°C 정도로 바닥 냉축열에 의한 냉방효과가 지속되었다. 복사대류냉방의 글로브온도는 4시간까지 공기온도보다 큰 폭으로 하강하다가 이후 상승하여 실험종료시에는 공기온도와 거의 같은 분포를 형성하였다.

바닥복사냉방에서는 공기온도와 글로브온도 모두 운전 정지후 4시간까지 완만한 하강을 하다가 이후 완만한 상승을 보여 실험종료시까지 모델거실과 환경실 온도차가 약 2°C로 냉방효과가 지속

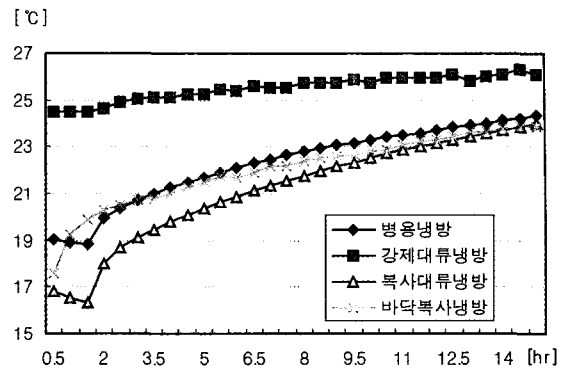


그림 13. 냉방운전 정지후 평균바닥표면온도변화

되었다. 또한 바닥냉축열의 영향을 받은 실내공기 온도는 운전정지후 12시간까지도 운전 정지시의 공기온도와 같게 형성되어 전 실험Case 중에서 가장 큰 바닥 냉축열에 의한 냉방 효과가 있는 것으로 나타났다.

3) 모델거실의 바닥표면온도변화

그림 13은 냉방운전 정지후 모델거실의 평균바닥 표면온도 변화를 나타낸다. 병용냉방의 경우 바닥 냉축열의 영향으로 냉방운전 정지후 1시간 30분까지 바닥 표면온도가 약간 하강하다가 이후 시간의 경과에 따라 점차 둔하게 상승하여 본 실험 종료시(15시간)까지 약 5.3°C정도 상승하였다. 강제대류냉방의 경우 냉방운전 정지후부터 15시간까지 약 1.5°C 상승으로 나타나 바닥에 의한 축열보다는 주로 모델거실 주변의 냉축열 영향이 나타난 것으로 판단된다.

복사대류냉방의 경우 병용냉방보다 많은 냉축열의 영향으로 냉방 정지후 1.5시간까지는 다소 하강하다가 이후 시간의 경과에 따라 점차 둔하게 상승하여 본 실험 종료시 까지 약 7.3°C 상승하였으며, 전 실험 Case 중 가장 큰 변화를 보였다.

바닥복사냉방의 경우 냉방운전 정지후 2시간까지 비교적 급격한 상승을 보이다가 이후 시간의 경과에 따라 둔한 상승을 하였으며, 본 실험 종료시 까지 약 6.4°C 상승하였다.

6. 냉방시작후 환경실, 모델거실의 습도변화 및 바닥표면 결로

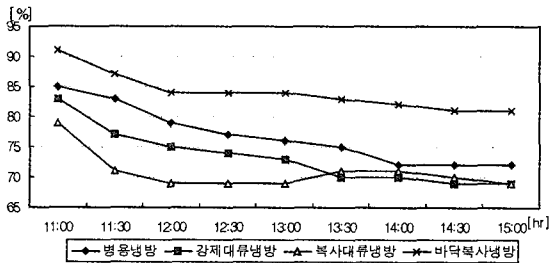


그림 14. 냉방시작후 환경실 습도변화

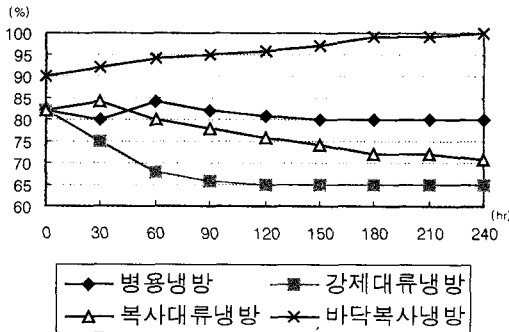


그림 15. 냉방시작후 모델 거실의 습도 변화

그림 14는 본 실험 시간동안 실험Case별 환경실 습도변화로서 바닥복사냉방 실험시 가장 높았고, 복사대류냉방 실험시 가장 낮았으며 전실험 Case의 평균 환경실 습도는 76.3%±10%이내의 분포로 형성되었다.

그림 15는 냉방시작후 각 실험 Case별 모델거실의 상대습도 변화를 나타낸다. 병용냉방의 경우 냉방 시작후 실내공기온도의 하강에도 불구하고 거의 일정한 습도를 유지하는 것은 FCU에 의한 상당한 제습 효과가 이루어진 결과라고 사료된다.

강제대류냉방의 경우 냉방 시작후 120분까지는 하강하다가 이후 일정 습도를 유지하는 것으로 나타나 전실험 Case중 FCU에 의해 가장 많은 제습이 이루어 졌다. 복사대류냉방의 경우 냉방 시작후 본 실험 종료시(5시간경과)까지 병용냉방 경우보다 더 큰 폭의 점차적인 하강을 보이고 있는 것은 외부 환경실<그림 15 참조>의 낮은 습도 영향이 다소 미쳤다고 생각되나, FCU(Fan운전중지)의 냉각 Fin에 의한 제습도 어느 정도 이루어 졌다고 판단된다.

바닥복사냉방의 경우 냉방 시작후 완만한 상승을 보여 5시간 경과후에는 상대습도가 포화상태에 달하는 것으로 보아 표면 결로의 해결방법이 선행되지 않고는 바닥복사냉방 단독의 냉방은 어려운 것으로 판단된다. 본 실험 기간중 바닥복사냉방의 경우 모델거실바닥표면에서 약간의 표면 결로가 관찰되었으나 그 외 실험Case에서는 표면 결로가 일어나지 않았다.

IV. 결 론

병용냉방(바닥복사냉방+강제대류냉방)을 중심으로 4Case의 냉방실험을 통하여, 작용온도 일정(등가 열환경: 각 냉방방식 모두 작용온도 24°C)조건에서 모델거실의 열환경 형성의 특성을 비교 분석하였다.

1) 모델거실의 상하 공기온도차는 바닥복사냉방(2°C)<복사대류냉방(2.4°C)<병용냉방(2.4°C)<강제대류냉방(4.2°C)의 순으로 강제대류냉방의 경우 상하 불균등이 가장 심한 냉방공간을 형성 하였으며, 반면에 병용냉방의 경우 거주역에서는 전실험 Case중 가장 낮은 수직온도 구배로 쾌적성 및 에너지 효율면에서 매우 효과적인 실온분포를 형성하였다.

2) 작용온도 24°C 일정 조건에서의 모델거실 공기온도(Ta)는 병용냉방<강제대류냉방<바닥복사냉방<복사대류냉방 순이나, 평균복사온도(MRT)는 역순으로 병용냉방이 가장 높게 나타났다. 또한 병용냉방의 경우 Ta, Tg, MRT와 OT의 온도차가 가장 적은 분포로 실험 Case중에서 가장 균일한 열환경을 형성하였다.

3) 냉방 시작후 시간의 경과에 따라 주로 냉복사 영향을 받는 바닥복사냉방, 복사대류냉방의 경우 공기온도 보다 글로브온도의 하강폭이 크고, 주로 대류의 영향을 받은 강제대류냉방, 병용냉방의 경우 글로브온도 보다 공기온도의 하강폭이 크게 나타났다

4) 운전 정지후 모델거실의 냉방효과 지속시간은 강제대류냉방이 가장 짧고, 바닥복사냉방이 가장 길게 나타났다.

5) 병용냉방의 운전정지후 바닥표면온도는 바닥 냉축열의 영향으로 운전정지후 1.5시간까지 다소 하강하다가 이후 점차 둔하게 상승하여 실험 종료시(15시간)까지 약 5.3°C 상승하여 비교적 바닥복사냉방과 비슷한 분포를 보였다.

6) 4Case의 실험에서 바닥복사냉방에서는 모델 거실의 바닥표면에 표면결로가 관찰되었으나 그 외 실험Case에서는 표면결로가 일어나지 않았다.

주

- 1) 대한건축학회편 [건축설비] 기문당, 1997.6, 207~210면.
- 2) A.P.Gagge [standard operative temperature, generalised temperature scale applicable to direct and partitional calorimetry] American journal of physiology, Vol131, 93면, 1940.
- 3) ASHRAE. ASHRAE Standard 55-1981. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. New York : ASRAE, 1981.
- 4) 李戊鎭, 村上周三, 李重雨. [바닥복사냉방의 온열 환경에 관한 실험적 연구]. [논문집], [대한건축학회 논문집] 제11권 제2호(1995.2). 108-109면.
- 5) P. O.Fanger, et "Comfort limits for asymmetric thermal radiation." *Energy* 17. ISO. *Moderate thermal environment- Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.* International Standard ISO 7730.(1983)
- *1 作用온도 T_o 는, $T_o = (\alpha_c T_r + \alpha_r T_a) / (\alpha_c + \alpha_r)$. (1) 式(α_c : 對流열전달율, α_r : 輻射 열전달율)으로定義되지만 공간內的 풍속이 0.2 m/sec의 靜穩기류의 경우, 편의적으로 대류열전달율과 복사열전달

율은 거의 같으므로 $T_o = (T_r + T_a) / 2$. (2)式에서 산출한다. 따라서, 본 연구에서는 全 냉방방식에서 풍속이 적으므로 (2)式을 사용하여 T_o 를 산출.

- *2 전체의 係가 線形이라고 가정하여 모든 온도(壁 표면온도, 분출공기온도 등)를 각 냉방방식마다 같이 平行 이동시켜 수정한다.
- *3 전체의 係가 線形이라고 가정하여 온도(공기온도, 글로브온도, 바닥온도)를 각 냉방방식마다 같이 平行 이동시켜 수정한다.

참고문헌

1. 孔聖勳, 孫章烈, 李玉卿, [공동주택의 溫熱環境要素分布와 人體의 姿勢別 溫熱 快適 條件에 關한 研究]. "大韓建築學會論文集" Vol. 4(3)(1988), 185-192면
2. 延濟振 譯. "건축설계자료집성1, 環境". 서울: 태림문화사, 1990.
3. 李敬熙, 韓允昊. [低溫床面輻射暖房에서 快適 Draft 溫度 條件에 關한 研究]. "大韓建築學會論文集" (1995. 12), 171-178면.
4. 이무진, 공성훈, 이중우. [바닥輻射暖房 空間과 人體의 表面熱傳達 特性에 關한 研究]. "대한건축학회 논문집", 제11권 제5호(1995.5)
5. 中山昭雄 編. "溫熱生理學". 日本理工學社. 1981.
6. 傳熱工學資料 出版分科議員會. "傳熱工學資料改訂 第4版" 日本機械學會, 1991.
7. 李戊鎭. 『바닥輻射暖房의 熱環境 評價에 關한 實驗的 研究』 「啓明大學校 大學院博士學位論文」 (1996.12)
8. ASHRAE. ASHRAE Standard 55-1974. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.* New York: ASHREA, 1974.
9. Fanger, P. O. "Radiation data for the human body." ASHRAE Trans. Vol, 76.Pt. 2, 1970.

(接受 : 1999. 12. 29)