

# Mock-up실험에 의한 바닥복사 냉방시스템의 온도특성에 관한 연구

유호천\*, 이영아\*\*,

\*울산대학교 건축대학 교수, 공학박사(hcyoo@mail.ulsan.ac.kr)  
\*\*울산대학교 건축대학 박사과정(leeya428@naver.com),

## A Study on the Temperature Characteristics of the Floor Cooling System of Mock-up Experimentent

Yoo, Ho-Chun\* Lee, Young-A\*\*

\*School of Architecture, University of Ulsan (hcyoo@mail.ulsan.ac.kr)  
\*\*School of Architecture, Graduate School, University of Ulsan (leeya428@naver.com)

### Abstract

The research analyzed the distribution of the indoor temperatures of a radiant floor cooling system through mock-up experiments. It investigated the temperature difference of feed water, the vertical temperature difference of indoor air, the temperature difference of floor surface, and so on. The following is the results of the research. First, the research shows that the difference between indoor temperature and outside temperature was the smallest when the temperature of feed water was set at 16°C. In addition, the temperature changes according to indoor positions (wall, room, floor, and ceiling) were the most uniform. Thus, the research found that the cold water temperature of 16°C is the most proper. In addition, it confirmed that the feed water temperature of 18°C is effective because the temperature can lower the temperature of a room to 13.55°C, which is lower than the temperature of a non-cooling mode. Second, an investigation on the temperature distribution of vertical air in indoor space shows that the temperature distribution had a difference of 0.2 to 1.9°C on the average, which satisfies the range of 3.0°C in the standard of ISO.

Keywords : 바닥냉방시스템(Floor cooling system), 열성능(Thermal Performance), 인조목재(Artificial Wood), 단열재(Insulation Materials)

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

지구의 온난화와 더불어 더워지는 대기의 온도를 피해 쾌적한 환경에서 생활하려는 사람들이 늘어남에 따라 냉방기기 보급 및 냉방에 대한 요구가 증가 되었다.1) 산업화로 인한 도시의 발전은 소비전력 증가와 더불어 하절기 전력 피크부하로 에너지 수급에 많은 불균형을 초래하고 있다. 따라서 효율적인 에너지 활용면에서 전력 피크부하를 발생시키는 냉방시스템에 대한 다양한 연구가 필요하며 바닥복사 냉방시스템은 기존 난방구조를 활용할 수 있다는 점과 복사전열의 쾌적성으로 적극적으로 고려할만하다. 하절기 뜨거운 태양복사열은 외피인 구조체를 과열하여 냉방부하를 가중시키므로 구조체의 우선 냉각은 냉방 부하량 절감에 도움이 될 것이다. 실제로 바닥복사 냉방시스템의 운영 방안에 대해 많은 연구가 진행되어 왔고 앞으로도 활발히 연구되어야 한다.2)

바닥 복사냉방의 최대 이점은 난방을 위해 설치된 바닥배관을 그대로 활용할 수 있다는 점이다. 난방배관 내 냉수순환으로 인한 결로 발생의 문제점과 냉열원의 순환 및 운전에 대한 효율성이 정립된다면 건물에서의 실용화를 앞당길 수 있을 것이다. 이미 바닥 복사 냉방시스템에 대한 많은 연구가 이를 뒷받침하고 있으며 시스템 적용에 있어 냉열보존과 열전도에 의한 전열효과 및 에너지 분석에 대한 세부적인 연구가 필요한 단계이다. 따라서 본 연구에서는 Mock-up 실험을 통해 실내 냉열 분포현상을 알아보고 운전과 효율성에 관한 바닥 복사냉방시스템의 바람직한 방안을 찾고자 한다.

- 1) 임제한, 김용이, 여명석, 김광우, 계습시스템이 통합된 바닥복사냉방의 바닥표면 결로제어에 관한 연구, 대한설비공학회 동계발표논문집, 2002, p561~566.
- 2) 조영홍, 임제한, 석호태, 여명석, 김광우, 공동주택 현장 실험을 통한 바닥복사냉방의 성능평가, 대한건축학회논문집 제20권 제11호, 2004.11. pp319~326.

### 1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구는 mock-up 실험을 통하여 바닥복사 냉방시스템의 실내 온도 분포를 분석하는 것이며, 구체적인 내용으로는 수직높이에 따른 실내공기 온도, 공급수 온도에 따른 실내 온도, 바닥표면의 온도, 실내 부위별 온도, 바닥단열재 구성에 따른 냉방효과 등을 측정하여 각각의 데이터를 비교 분석하는 것이다.

표 1. 분석내용

구분	항 목
내용	실내 수직공기 온도
	공급수 온도에 따른 실내 온도
	바닥표면 온도
	실내 위치별 온도
	바닥 단열구조에 의한 냉방효과

### 1.3 연구동향

국내에서는 1992년부터 천장복사냉방시스템의 연구를 시작으로 1990년 말부터 현재까지 지속적으로 바닥 복사냉방에 대한 연구가 진행되고 있으며 바닥복사냉방, 온돌(Ondol), 복사난방(Radiant Floor Heating), 바닥 온돌시스템(Floor Ondol System), 온돌패널(Ondol-Panel), 쾌적성(Thermal Comfort) 등과 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 바닥온도, 온돌시스템, 복사냉방 등 크게 세부분으로 나누어 2000년도 기준으로 2년 단위로 문헌을 분석해 보면 아래표와 같다.

표 2. 연구문헌 조사

구 분	바닥온도	온 돌	복사냉방
2000년 이전	10 ( 7 )	24 (14)	5 (12)
2001~2002년	3 ( 2 )	3 ( 3 )	8 ( 5 )
2003~2004년	3 ( 2 )	4 ( 2 )	9 ( 3 )
2005~2006년	4 ( 4 )	3 ( 4 )	4 ( 5 )
2007 ~ 현재	2 ( 4 )	3 ( 2 )	4 ( 2 )
합 계	21 (19)	37 (25)	26 (27)

숫자는 학회논문을 뜻하며 ( )는 석·박사 논문을 뜻함.

냉방방식 측면에서는 팬코일 유닛, 천장복사냉방, 바닥 복사냉방 시스템을 적용하기 위한 연구가 진행되었으며 특히 기존 온돌패널을 활용한 바닥 복사냉방에 관한 연구에서는 기존 주택에서의 적용 가능성 평가 등 구체적인 연구가 진행되어 왔다. 바닥 복사냉방의 제습시스템을 제어함에 있어 냉각코일의 냉수유량과 냉수온도를 조절하는 방식과 냉각코일을 통과하는 공기의 양을 제어함으로써 제습량을 제어 할 수 있다고 하였으며<sup>3)</sup> 다양한 시뮬레이션 분석을 통해 바닥 복사냉방과 제습, 보조냉방에 의한 제어방식을 연구하였다. 2007년에는 거주자 운영상황에 대한 분석을 통해 제습시스템이 통합된 바닥 복사냉방의 운영방안을 도출하였으며<sup>4)</sup> 실제 주거건물을 대상으로 실온-바닥온도 연동 운영방안, 바닥온도 Set-back 운영방안, 예약운전 운영방안, 제습 및 보조냉방 운영방안을 적용하여 거주자가 요구하는 실질실온 범위로 제어가 가능하고 결로 발생의 위험없이 안전하게 적용할 수 있다고 밝힌 바 있다.

그 외 국외의 연구에서 Corina는 미국의 여러 기후 조건을 대상으로 복사 냉방시스템의 적용성을 평가해 본 결과 결로 발생없이 운전 가능하며 전공기 방식의 냉방시스템에 비해 평균 30%의 에너지 절감이 가능하며 27%의 전기 피크부하를 줄일 수 있다고 하였다.<sup>5)</sup> 복사쾌적감과 관련하여 Olesen의 연구에서는 시스템 운영을 위하여 바닥표면온도와 수직 공기온도차, 기류속도, 습도 등을 고려해야 하는데 수직 공기 온도차는 앉은 사람에 대하여 발목과 머리 사이의 온도차가 3°C 이하일 것을 권장하였다.<sup>6)</sup>

3) 임재한, 김용이, 여명석, 김광우, 제습시스템이 통합된 바닥복사냉방의 바닥표면 결로제어에 관한 연구, 대한설비공학회 동계발표논문집, 2002, p561~563.  
 4) 임재한, 주거건물에서 제습시스템이 통합된 바닥복사냉방의 운영방안 평가, 대한건축학회 논문집 제23권 제10호, 2007. 10, p213~222  
 5) Corina Steiu, Energy and peak power saving potential of radiant cooling systems in US commercial buildings Energy and Buildings 30, pp 127~138, 1999  
 6) B. W. Olesen, Possibilities And Limitations of Radiant Floor Cooling,

그 외 복사냉방 시스템의 적용에 관한 국내 외 많은 연구에서는 복사냉방의 쾌적 특성과 냉방능력, 에너지 절감 및 경제성 평가에 대한 내용들이 있다. 더불어 바닥 복사냉방 시스템의 적용을 위해서는 다양한 운전상황에 대한 제어 및 운영방안의 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 2. 바닥 단열재의 특성

본 실험에서 비교하고자 하는 바닥단열재는 경량 기포콘크리트와 인조목재이다. 인조목재는 발포성 우레탄에 폐재료(화력발전소 석탄재, 연탄재, 제지회사 슬러지 등)를 혼합하여 만든 제품으로 내수성이 뛰어나고 비중이 낮아 목재의 대체품으로 활용도가 높으며 난연재를 전혀 사용하지 않아도 인체에 무해하고 단열 및 방음성이 우수한 재료이다.

바닥 냉방성능 실험을 위해 mock-up 실험실에 설치된 인조목재의 크기는 600mm × 1,200mm × 30mm의 규격으로 기존 건축자재의 크기와 동일하게 가공하여 실험에 사용하였다.

표 3. 인조 목재의 물리적 성능

시 험 항 목	단 위	인조목재
열전도율 (평균온도 20°C±5°C)	W/m·K	0.071
흡수율	%	0.2
내열시험(40°C, 24h) 후 길이변화율	%	0.08
침지시험(상온, 증류수, 24h) 후 길이변화율	%	0.04
밀도	g/cm <sup>3</sup>	0.779
굴곡강도	MPa	11.3
포름알데히드 방산량	mg/L	0.01
휨강도	N/mm <sup>2</sup>	13.2
흡수두께 팽창율	%	0.32
함수율	%	1
습윤시 험 강도	N/mm <sup>2</sup>	14.2

주) 한국화학시험연구원, 한국건축자재 시험연구원의 시험성적서

ASHRAE Transactions, pp 42~48, 1997.



그림 1. 인조목재 입면      그림 2. 인조목재 단면

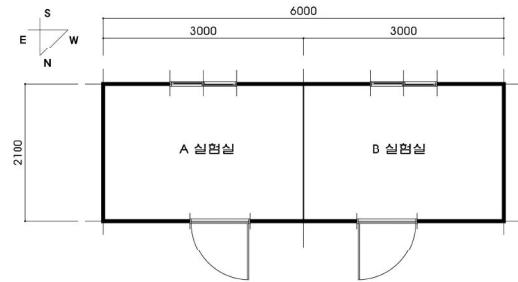


그림 3. 실험실 평면도

### 3. 열환경 실험 내용

#### 3.1 실험개요

1~2차 예비 시험을 하였으며, 본 시험은 1~3차로 나눠 3~4일간 측정하였다. 밝고 청명한 날씨를 적용하여 측정하였으며, 측정 시간 간격은 10분 단위로 하여 분석하였다.

실험실은 남향을 전면으로 하고 있으며 각 실은 모든 조건이 동일하며 반자높이는 2.4m이다. 측정은 표 4에 나타난 온습도 측정장비와 데이터 저장을 위한 Data acquisition 및 냉동기와 관련 부속기기로 구성된다. 실험실 규모는 6.0m × 2.1m × 2.65m를 A실과 B실로 구분하여 측정을 실시하였으며, 바닥 냉수 배관은 난방에 사용되는 관과 동일한 XL 관을 사용하였으며 관경은 20mm이며 길이는 약 50m 사용 되었다. 배관간격은 200mm로 회오리식 배관 연결법을 적용하였다. 또한 온도측정 내용은 실내 각 지점 온도, 공급수 및 환수 온도, 전력량, 유량 등으로 분류하였으며 총 26개의 지점으로 창이나 문을 통한 침기나 누기는 무시하였다.

표 4. 실험장치

측정장치	Model	Spec.
Datalogger	testo-177HI	-20.,+70℃(int)
Data acquisition	34970A	60 CH
냉동기	CU-502D	0℃ ~ +50℃
온도센서	TEF-0.254-K	K- type

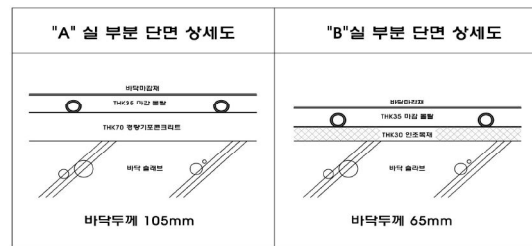


그림 4. 실험실 바닥 상세도



그림 5. Mock-up 실험실      그림 6. 바닥공사 중

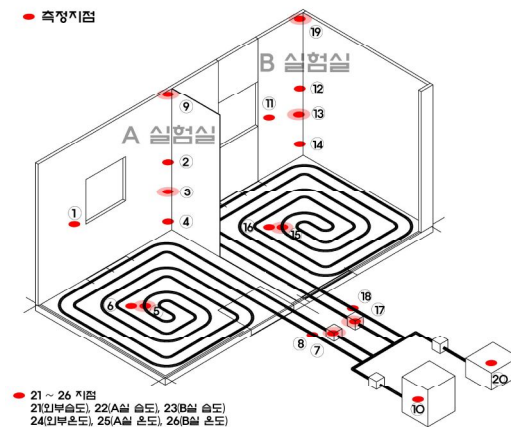


그림 7. 실험실 26개 측정점 위치

표 5. 26개 측정 지점

구분	A 실험실	구분	B 실험실
01	벽체표면(1.2m)	11	벽체표면(1.2m)
02	실내공기(1.6m)	12	실내공기(1.6m)
03	실내공기(1.1m)	13	실내공기(1.1m)
04	실내공기(0.7m)	14	실내공기(0.7m)
05	바닥(pipe직상부)	15	바닥(pipe직상부)
06	바닥(pipe중심부)	16	바닥(pipe중심부)
07	공급수온도	17	공급수온도
08	환수온도	18	환수온도
09	천정 온도	19	천정온도
10	보일러(수온)	20	냉동기(전력)
21	외부 습도	24	외부 온도
22	A실 습도	25	A실 온도
23	B실 습도	26	B실 온도



그림 8. 실험실 측정 사진

표 6. 측정 날짜 [단위:℃]

차수	측정날짜	공급수온	외부 온도	실내온도	
				A 실	B 실
1차	7월24일	15	30.10	26.40	26.90
2차	7월29일	16	30.95	28.19	28.35
3차	7월27일	18	24.90	25.40	

### 3.2 인조목재에 대한 예비 단열실험

바닥 복사냉방실험을 위해 실험실내 공기 온도와 공급수 및 벽체 바닥표면의 온도분포를 알아보기 위해 총 26개 지점을 설정하여 온도변화를 알아보았다. 각 실은 모든 조건이 동일하며 위치상 A 실은 동남쪽이 외기에 면하며 B 실은 남서쪽이 외기에 면하고 있다. 또한 그림 4에서 보여주는 단면과 같이 기포콘크리트와 인조목재를 각각 단열층

으로 하고 있다. 바닥냉열의 외부손실을 줄이기 위해 단열층을 구분하여 각 실의 온도분포를 분석함으로써 단열재 성능을 비교하였다. 참고로 외벽 재료로 사용된 인조목재의 단열성능 결과는 아래 그림 9,10과 같다.

그림의 내용에서와 같이 인조목재는 외벽재로서 단열성능이 우수하며 높은 단열성으로 오후 일사열에 대한 실내 과열현상이 있음을 알 수 있다. 외벽에 부착하여 단열성 실험을 진행한 후 같은 재료를 사용하여 바닥 복사냉방실험을 실시하였다. 바닥 복사냉방의 조건으로 구조체는 단열성 및 축열성이 필요함을 본 단열재를 기포콘크리트와 비교하여 그 성능을 알아보았다.

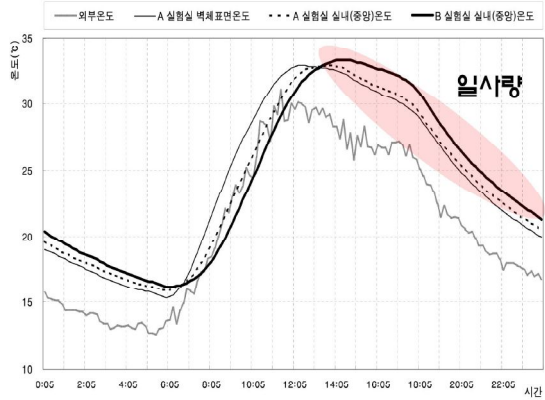


그림 9. 인조목재 외벽 부착전 온도변화

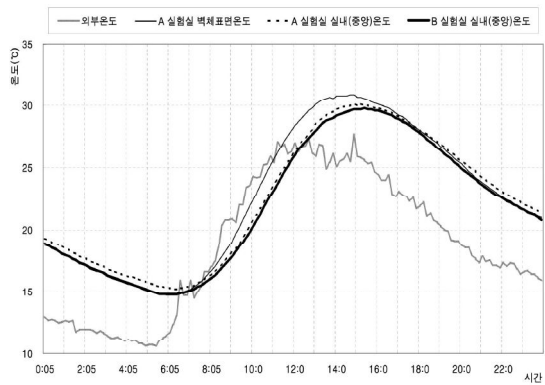


그림 10. 인조목재 외벽 부착 후 온도변화

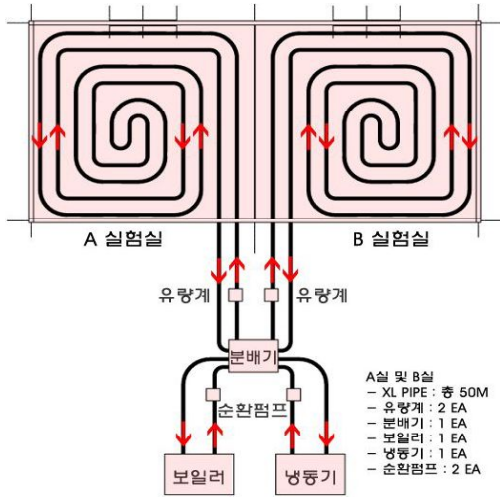


그림 11. 냉난방 계통도

### 3.3 실험결과 분석

#### (1) 외부 기온에 따른 온도 변화

외부 기온비교는 냉방실험 시 외부기온만을 보여주는 것으로 오전 6시부터 일사열이 발생하여 오전 12시를 기점으로 급격하게 떨어져 18시 이후 일사가 사라짐을 알 수 있다.

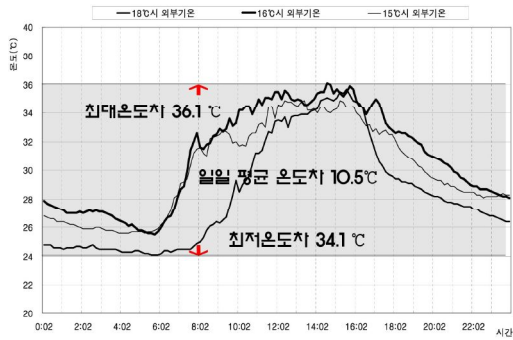


그림 12. 외부기온 온도변화

측정당시 공급수는 18°C로 측정한 3차의 외기온이 두드러지게 하강하였는데 이때 냉방효과도 낮게 측정되었다. 측정당시 일일평균 기온이 낮게는 24.1~25.6°C이며 높게는 34.9~36.1°C로 나타났다.

3차에 걸친 실험으로 외기온이 서로 상이하야 냉방결과 오차발생을 우려하여 기온 1°C의 차이를 두고 온도분포별 변화를 알아본 결과 외기온은 상이하야도 온도범위별로 유사한 냉열분포 현상을 보임을 알 수 있었다.

#### (2) 공급수 온도에 따른 실내온도변화

공급수 온도를 15°C, 16°C, 18°C로 구분하여 측정하였으며, 여러 차례 예비실험을 통하여 적정 온도를 설정하였다. 운전방식은 개폐식<sup>7)</sup> 뱅뱅(bang-bang)제어 시스템을 적용하였으며 공급수 온도의 평균값은 추세선을 통해 알아보면 그림13~14와 같이 측정되어 정상적으로 작동되고 있음을 알 수 있다.

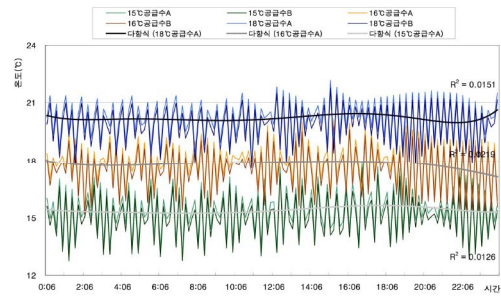


그림 13. 공급수(15°C, 16°C, 18°C) 온도 변화

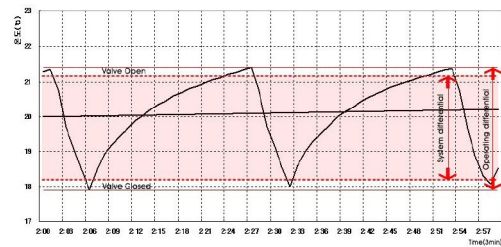


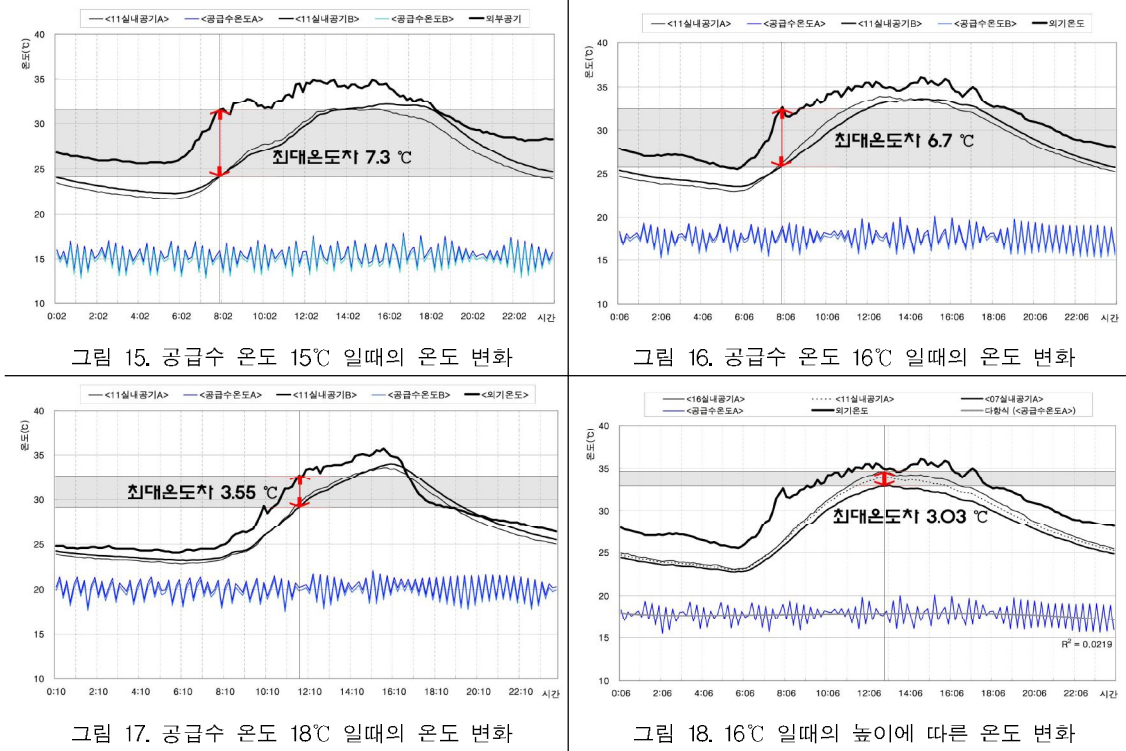
그림 14. on/off bang-bang control

ASHRAE와 ISO에서 제안한 바닥복사냉방의 인체접촉 바닥표면온도는 19~26°C이다.<sup>8)</sup>

7) 개폐식 제어 : 일정한 냉수온도 조건 아래에서 대상 공간의 설정 온도와 실제 온도와의 차에 따라 개폐식 밸브를 사용하여 유량을 단속적으로 공급하거나 공급을 중단하는 방법이다.

8) ASHRAE Standard 55-1992, ISO 7730, 최저바닥온도기준

표 7. 공급수 온도에 따른 실험 결과



공급수 온도 설정이 낮을수록 냉방효과는 커지므로 낮은 공급수 공급에 의한 냉방효과를 유도해야 하나 외기온 대비 낮은 공급수 온은 높은 전력비와 결로발생의 문제가 있으므로 적정 냉수온 설정으로 구조체 냉각을 달성해야 한다. 그림에서 보여주는 바와 같이 공급수 15°C, 16°C, 18°C의 경우 15°C일 경우가 외기온과의 차이가 최대 7.3°C이므로 높은 냉각효과를 보여주며 공급수 18°C일 경우는 3.55°C에 불과하다. 또한 일부 구간에서는 과열현상으로 냉방에도 불구하고 실내기온이 상승하는 결과를 보여준다. 그러나 공급수 18°C의 설정이 냉방의 효율은 낮으나 비냉방시 실내가 10°C이상 과열되는 점을 감안하면 실제로는 13.55°C를 낮추는 효과가 있다. 즉 공급수온 15°C설정시는 비 냉방보다 17.3°C 외기보다 낮게 유지 할 수 있으며

공급수 18°C일 경우 13.55°C를 낮게 할 수 있어 공급수를 18°C로 설정하여도 하절기 냉방 효과가 있음을 확인 할 수 있다.

### (3) 실내 높이에 따른 온도 변화

수직공기 온도분포는 좌식생활의 호흡고인 0.7m, 착석시 1.1m, 입식생활시 1.6m로 분류하였다.<sup>9)</sup> 냉방운전 시 바닥에서 0.7m, 1.1m, 1.6m로 멀어질수록 내부공기온도가 높아짐을 알 수 있으며, 공급수온도 15°C일 때 내부공기는 1.0~1.9°C의 온도차를 보였으며, 16°C의 경우 0.9~1.8°C의 온도차를 보였고, 18°C의 경우 0.2~0.6°C의 온도 변화를 보였다. 이것으로 볼 때 실내공기의 수직온도차는 최대 1.9°C이며 인체 부위별 쾌적감 범위에서 일부 불쾌감을

9) 김난행, 손장열, 건식이중바닥온돌시스템 개발을 위한 실험적 연구, 한국주거학회논문집 제17권 제3호, 2006. 06. pl~7.



유발할 수 있으나 ISO 기준<sup>10)</sup> 실내공기 수직 온도 분포차는 3.0℃ 이내 이므로 허용범위에 해당되며 수직 공기 온도차이는 창을 통한 환기 및 소규모 Fan 등을 통한 기류의 순환으로 온도차를 줄일 수 있을 것으로 사료된다.

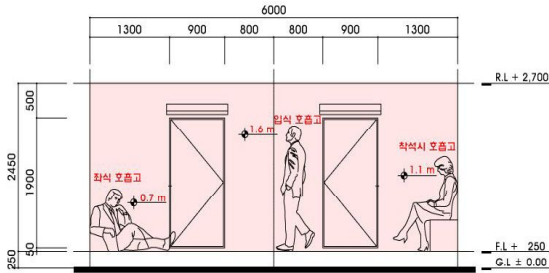


그림 19. 실내 수직높이

표 8. 실내 높이에 따른 온도 변화 (단위:℃)

냉수	내용	A 실			B 실		
		1.6m	1.1m	0.7m	1.6m	1.1m	0.7m
15℃	평균	26.8	26.4	25.8	27.6	26.9	25.7
	최대	32.4	31.6	30.6	33.3	32.2	30.3
	최소	21.9	21.7	21.4	22.7	22.3	21.6
16℃	평균	28.8	28.2	27.6	29.0	28.4	27.2
	최대	34.6	33.9	32.9	34.7	33.6	31.7
	최소	23.1	23.0	22.7	23.8	23.6	23.0
18℃	평균	23.3	23.2	23.1	23.8	23.6	23.2
	최대	25.5	25.3	25.0	26.1	25.7	25.1
	최소	21.9	21.8	21.9	22.2	22.0	21.8

(4) 실내 위치별 온도 분석

공급수 온도의 영향을 많이 받는 바닥표면, 개구부의 영향을 받는 벽체표면, 일사량을 많이 받는 천정공기, 실내공기, 실외기로 구분하여 총 26개 지점을 측정하였으며, 그 중 벽체, 실내, 바닥, 천정으로 구분하여 분석하였다.

외부기온에 비해 내부공기온도는 앞에서 언급한 것처럼 평균 6~7℃ 냉방효과가 있다. 즉, 실내의 평균 공기온도는 26~28℃로

10) ISO 1984 수직온도차이는 앉은 사람의 발목(0.1m)과 머리(1.1m)의 온도차를 3℃ 이하로 제한범위를 추천하고 있다.

분포한다. 이때 실내 벽체표면의 온도는 내부공기온도와 같거나 거의 유사하다. 일사열의 영향이 벽체에 미친다고 볼 때 내벽의 마감재는 외기를 차단하는 단열재임을 알 수 있다. 내부 공기와 바닥 표면과의 온도차이는 평균 5℃ 정도로 공급수 온도와는 크게 상관없이 없다. 공급수온 설정온도에 따라 바닥 온도는 낮아지며 실내 냉방온도는 바닥온도보다 5℃ 정도 높은 결과를 얻는다.

표 9. 실내 위치별 온도 변화 (단위:℃)

냉수	내용	A 실				B 실			
		벽체	실내	바닥	천정	벽체	실내	바닥	천정
15℃	평균	26.4	26.4	21.1	27.2	27.0	26.9	21.4	27.4
	최대	31.7	31.6	23.3	32.9	32.1	32.2	23.9	33.2
	최소	21.8	21.7	19.0	22.3	22.4	22.3	19.2	22.3
16℃	평균	28.2	28.2	23.1	29.0	28.5	28.4	23.2	28.8
	최대	34.0	33.9	25.5	35.2	33.9	33.6	25.7	34.6
	최소	23.0	23.0	20.8	23.4	23.6	23.6	21.0	23.5
18℃	평균	24.8	24.9	22.7	25.3	25.3	25.4	22.8	25.4
	최대	28.3	28.6	24.3	29.3	29.0	29.2	24.5	29.6
	최소	21.8	21.9	21.4	22.2	22.3	22.3	21.3	22.0

즉, 공급수 15℃일때 바닥표면의 온도는 21.1℃이며 실내공기는 26.2℃ 천정온도는 27.2℃의 수직온도분포를 갖게 되며, 공급수 16℃ 일때 바닥표면온도는 23.1℃이며 실내공기온도는 28.2℃이며 천정온도는 29.0℃이며 벽체는 28.2℃의 분포를 보인다. 또한 바닥 단열층이 상이한 A,B실의 온도분포는 0.3~0.8℃로 거의 유사하며 오후 2시 이후 B실이 0.5℃ 정도 높게 나타나 일사열의 영향으로 보여지며 냉방에 대한 단열성능 차이는 나타나지 않았다.

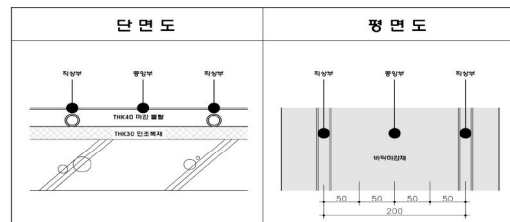


그림 20. 냉수배관 직상·중상부 위치 상세도



(5) 바닥 표면온도 분석(공급수관 위치)

A실은 일반구조(THK70 경량기포콘크리트 + THK35 몰탈)로 B실은 인조목재(THK30 인조목재 + THK35 몰탈)로 시공하였고 냉수배관 간격은 200mm로 하였으며 배관위치에 따라 배관직상부와 중앙부로 구분하였다.

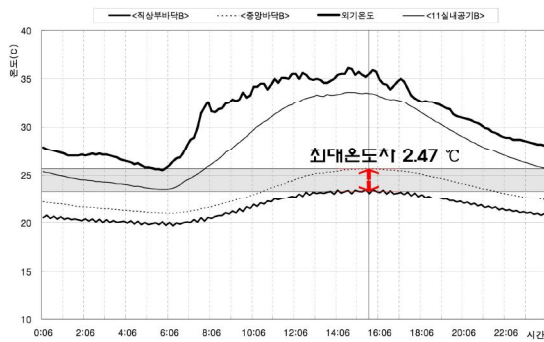


그림 21. 16°C B실 바닥 냉수배관 온도 변화

표 10. 실내 바닥표면 (단위 : °C)

냉수	내용	A 실		B 실	
		직상부	중앙부	직상부	중앙부
15°C	평균	18.8	21.1	19.7	21.4
	최대	20.6	23.3	21.8	23.9
	최소	17.2	19.0	17.8	19.2
18°C	평균	21.6	22.7	22.0	22.8
	최대	22.8	24.3	23.4	24.5
	최소	20.5	21.4	20.8	21.3
미설정	평균	32.61	32.80	32.90	32.80
	최대	35.18	35.40	35.39	35.35
	최소	30.63	30.80	30.90	30.77

\* 직상·중앙부는 냉수배관의 위치를 나타냄.

바닥표면 직상부와 중앙부의 온도변화는 A실(일반구조)인 경우 1.6~3.2°C로 나타났으며 B실(인조목재)은 1.4~2.3°C의 분포를 보였다. 난방배관은 온열의 전달력이 신속하나 냉방시 냉수는 열전달력이 온열에 비해 떨어지므로 코일간격이 좁을수록 냉방 효과가 우수 할 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구는 외기조건에 따른 바닥복사냉방의 효율성과 바닥단열층이 서로 다른 두실의 냉방효율을 검증하기 위하여 Mock-up 실험실 (2.1m×3.0m×2.4m) 실험을 통한 실내냉방 성능을 평가하기 위하여 공급수온도차, 실내 공기수직온도차, 바닥표면 온도차이를 분석하였다.

- (1) Mock-up 실험실의 공급수 온도(15°C, 16°C, 18°C)에 따른 실내 공기의 변화를 측정된 결과 높이(0.7m, 1.1m, 1.6m)에 따른 온도 변화는 0.2~1.9°C의 온도 차이를 보였으며, 16°C의 공급수 사용시 외부온도에 대한 실내 온도변화가 가장 적은 것으로 나타났고, 실내 위치별(벽체, 실내, 바닥, 천정) 온도변화도 가장 균등한 온도 분포를 보여 냉수온도 16°C가 실내온도에 가장 효율적인 성능을 보이는 것으로 판단할 수 있다. 그러나 18°C 공급수온 설정에도 비냉방보다 외기온의 온도를 13.55°C 낮출 수 있어 냉방의 효과가 있음을 알 수 있다.
- (2) 실내 공간의 수직공기 온도분포를 통한 쾌적감 여부를 알아보기 위해 바닥에서 0.7m, 1.1m, 1.6m 의 온도분포는 평균 0.2~1.9°C의 차이를 보여 일부 불쾌감을 유발할 수 있으나 ISO 기준의 3.0°C범위를 만족한다.
- (3) 바닥 단열층을 기포 콘크리로 타설한 A실과 인조 목재로 구성된 B실의 온도분포는 0.3~0.8°C 차이가 났으며 B실이 더 높게 나타났다. 이는 예비실험에서 보여준 인조목재의 단열성능과 같은 결과로서 남서쪽에 위치한 B 실이 외부 일사열을 받아 과열하여 냉방효과가 떨어짐을 알 수 있고 바닥으로 인한 냉열손실여부는 미미한 것으로 판단된다. 즉 인조목재의 단열성능은 우수하나 본 실험에서 바

다냉방 단열의 효과는 크지 않음을 알 수 있다.

- (4) 바닥표면 직상부와 중앙부의 온도차이는 A실(일반구조)인 경우 1.6~3.2°C로 나타났으며 B실(인조복재)은 1.4~2.3°C의 분포를 보였다. 바닥표면온도의 차이로 일부 인체접촉부위에서 불쾌감이 유발될 수 있으며 냉방 배관은 난방배관보다 배관간격을 좁게 하여 냉열분포를 고르게 해야 함을 알 수 있다.

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (No. R01-2007-000-10231-0)

#### 참 고 문 헌

1. 유호천 외 건축환경계획, 태림문화사, 2006.
2. 유호천 외 건축설비계획, 태림문화사, 2005.
3. 임재한, 주거건물에서 제습시스템이 통합된 바닥 복사냉방의 운영방안 평가, 대한건축학회논문집 제23권 제10호, 2007. 10.
4. 김난행, 손장열, 건식이중바닥온돌시스템 개발을 위한 실험적 연구, 한국주거학회논문집 제17권 제3호, 2006. 06.
5. 이승복, 원종서, 바닥복사 냉·난방시스템의 유형별 에너지성능 평가, 대한건축학회논문집 제21권 제3호, 2005. 3.
6. 조영흠, 임재한, 석호태, 여명석, 김광우, 공동주택 현장 실험을 통한 바닥복사냉방의 성능평가, 대한건축학회논문집 제20권 11권, 2004. 11.
7. 조영흠, 공동주택에서 바닥복사냉방의 적정 운영방안에 관한 연구, 설비공학논문집 제16권 제6호, 2004. 6, pp.574-583.
8. 이승언, 강재식, 정영선, 최현중, 환경 및 시간경과에 따른 건축용 단열재의 열전도율 변화에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 제19권 제12호, 2003. 12.
9. 이상엽, 제습기능이 통합된 바닥복사 냉방시스템의 적용 가능성에 관한 실험적 연구, 설비공학논문집 제14권 제2호, 2002. 2.
10. 특허청, 출원번호 2006-0034425 인조복재의 제조방법.
11. K, Nagano et. al., Experiments on the thermal environmental design of ceiling radiant cooling for supine human subjects, Building and Environments 39, pp 487~495, 2004.
12. J. Miriel et. al., Radiant ceiling panel heating-cooling system; experimental and simulated study of the performances, thermal comfort and energy consumptions, Applied Thermal Engineering 22, pp1861~1875, 2002.