

# 급기가 되는 이중바닥 구조체의 열 성능 평가

차 광 석\*, 박 명 식\*, 이 대 우\*, 남 우 동\*\*\*

현대건설 기술연구소\*, ADD 웰빙테크(주)\*\*\*

## Estimation of the thermal performance on the double slab floor with supplying air

Cha Kwang -Seok, Park Myung-Sig, Lee Dae-Woo, Nam Woo-Dong

**ABSTRACT:** Recently according to the fashion of well-being, the case study of under floor heating system type for residential space is increasing. Specially double slab floor system can make several roles as reducing the acoustic noises and also supplying fresh air through the gap. So in present study floor heating performance was examined with various location of the space in the case of floor supply air and ceiling supply air. In both cases return air went out through ceiling opening. As one of the result is that when using the heat pipe type floor heating system the temperature difference between supply and return water was 15.2°C, but in case of commercial type floor heating system, the temperature difference was 5.3°C when the supply water temperature was 50°C

**Key words:** Floor Heating(바닥난방), Thermal Environment(온열환경), Heat Panel(히트판넬) Heat radiation efficiency(방열량), (Constant temperature water bath)항온 수조, Thermal Comfort(열 쾌적감)

### 1. 서론

우리나라 고유의 온돌난방은 현재 일반적으로 콘크리트슬라브 위에 단열재, 경량기포콘크리트, 몰탈, 온수배관 등으로 구성된 습식공법에 의한 난방방식이 주를 이루고 있다. 또한 습식 방식은 바닥 슬라브 등의 구조체와 일체화됨으로써 아래 층과 층간 소음 문제를 야기하기도 한다. 유지 관리나 리모델링시에도 누수위치 확인이 어렵고 배관 변경과 보수에 많은 문제를 가지고 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하고자 이중바닥구조에 히트파이프 판넬을 이용한 건식 난방방식을 검토하게 되었다. 온열환경의 쾌적성에 대해서는 현재 온도조절의 수준에서 점차적으로 인간의 오감에서 느끼는 생리적 욕구를 충족시켜 인간에게 스트레스를 주지 않도록 제어 하는 수준정도이고 감성

까지 만족시켜주지는 못하는 실정이다. 따라서 이중바닥구조 건식난방시스템의 실내 온열환경 기준도 Fig. 1에 나타난 범위 안에 드는 것을 목표로 지역난방 난방 공급 수 50°C, 0.8lpm/min과 개별난방 공급 수 70°C, 2lpm/min에 대한 Mock-Up 실험평가를 수행하였다.

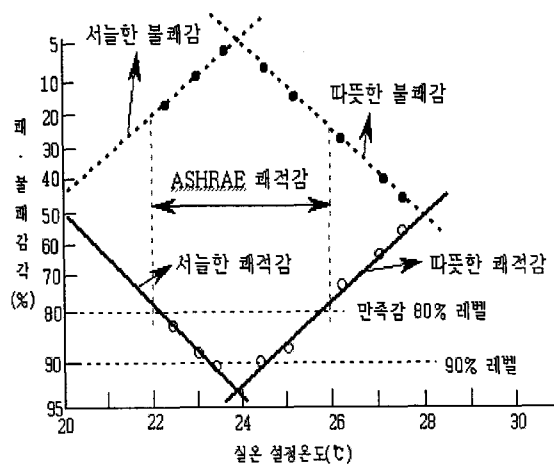


Fig. 1 Ashrae thermal comfort zones(Sensible of body)

†Corresponding author

Tel.: +82-31-289-7363; fax: +82-31-289-7079

E-mail address: kscha@hdec.co.kr

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

외기온도 :  $-2^{\circ}\text{C} \sim 8^{\circ}\text{C}$  변화(12월 주간 측정)  
 실 내 : 초기  $12^{\circ}\text{C} \pm 2$  사이에서 측정  
 실 크기 :  $4.54\text{m} \times 4.35\text{m} \times 2.4\text{m}$   
 항온수조 : 유량 및 온도제어로 일정온도 및 유량이 배관 내부를 흐르도록 구성.

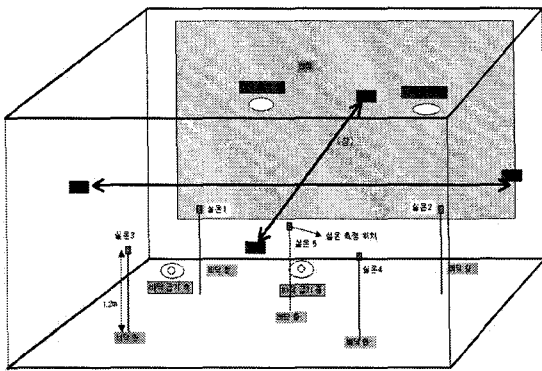


Fig. 2 Layout of test room

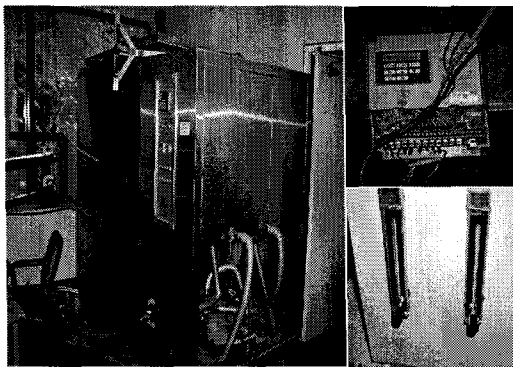


Fig. 3 Constant temperature water bath and distributor

난방 수 공급은 항온수조와 분배기(Fig. 3 참조) 유량계를 통하여 지역난방(공급수  $50^{\circ}\text{C}$ 에 유량  $0.8\text{lpm}/\text{min}$ )과 개별난방(공급수 온도  $70^{\circ}$ 에 유량  $2\text{lpm}/\text{min}$ ) 조건에 맞추어 이중마루 히트파이프 판넬 배관에 온수를 공급하게 구성하였다. 항온수조의 물은 상하온도 편차를 줄이기 위해 수조 안에서 물을 순환, 일정온도를 유지할 있게 하였고, 난방 수 공급은 유량계를 분배기와 난방 배관

사이에 설치 각 조건에 맞는 유량을 일정하게 공급하게 하였다.

#### 2.1.1 이중바닥 건식난방시스템(히트파이프 판넬) 구성

$4.54\text{m} \times 4.35\text{m} \times 2.4\text{m}$ 의 실에  $0.17\text{m}$ 의 두께로 뜯바닥구조를 시공 후 10개의 히트파이프 판넬을 난방용으로 시공하였다. 실내 온열환경 평가를 위해서 열 센서를 바닥에 5 Point,  $1\text{m}$  상부에 5 Point, 각 방위별 벽 4 Point, 천정에 설치하여 온도변화를 측정하였다.(Fig. 2, 7 참조) 이중바닥 구조체는 슬라브 바닥에서  $8.5\text{cm}$  띄어 1차 바닥판( $2\text{cm}$  MDF)과 2차 바닥판( $0.5\text{cm}$ )을 시공한 후에 히트파이프 판넬  $3\text{cm}$ 로 추가 시공한 다음에 나무마루로 최종마감을 하였다.(Fig. 5 참조) 히트파이프 판넬의 경우  $6\text{cm} \times 3\text{cm}$ 의 직사각형에 하부는 날개가  $2\text{cm}$ 씩 돌출 되어있고 상부는  $4\text{cm}$ 씩 좌우로 돌출되어 방열이 원활히 이루어지도록 구성되어있다. 재질은 알루미늄 강판  $1\text{t}$ 로 제작되었다.(Fig. 6참조)

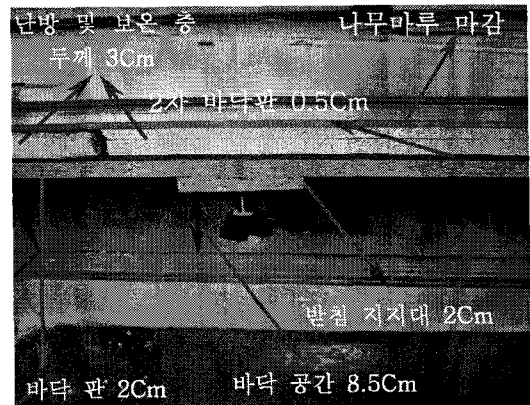


Fig. 5 Construction heating system of double slab floor with supply air

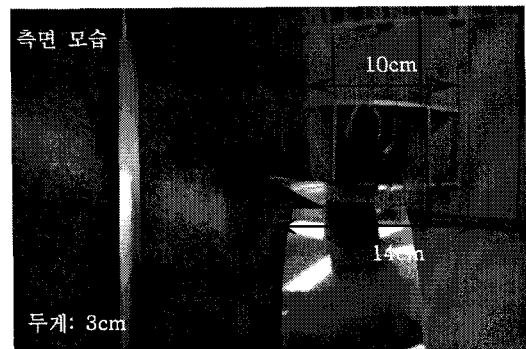


Fig. 6 Heat pipe panel of the size with the form

## 2.2 실험 계측 방법

측정 실 외부환경과 실내 환경 요인을 측정 조건에 맞추어 유지하고 시험체에 대한 방열량 및 바닥온도 변화, 실 중앙과 벽체의 온도 변화를 열전대와 data logger를 사용하여 5분 간격으로 계측을 실시하였다.(Fig. 7, Fig. 8 참조)

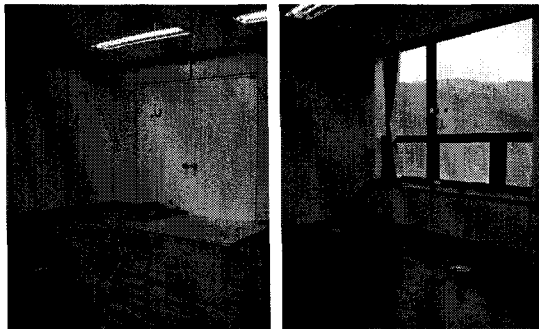


Fig. 7 Measuring point



Fig. 8 Test equipment

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 이중바닥(히트파이프 판넬) 난방 시험체의 온열환경 실험결과

3.1.1 이중마루 히트파이프 판넬의 지역난방 적용시 온도 상승이 18.3℃, 22.1℃로 70℃의 개별 보일러의 경우 유초기의 난방 수 46.99℃의 물이 들어가 24.29℃로 환수됨으로서 급수온도 48.3%가 방열이나 축열로 이용되고 있음을 알 수 있다. 안정화 단계에서는 45.15℃의 온수가 들어가고 29.95℃로 환수됨으로써 벽, 바닥 배관을 통하여 외부로 손실되는 열량을 0으로 가정할 경우 급수온도의 44%가 방열로 이용됨을 알 수 있다.(Fig. 9 참조)

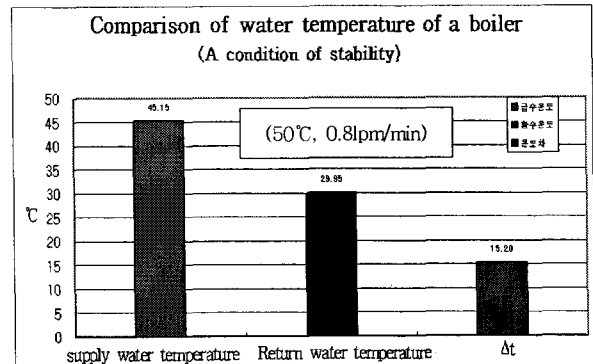
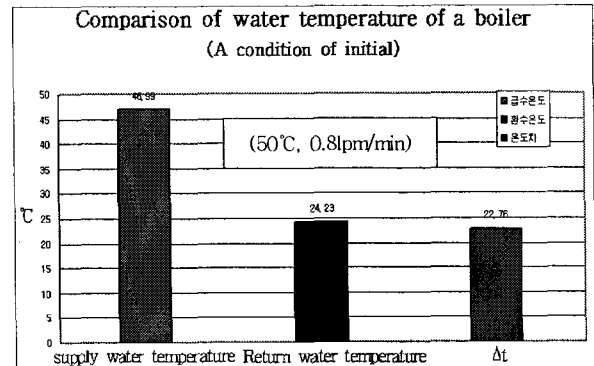


Fig. 9 Comparison of water temperature of an area heating system

지역난방 50도, 0.8lpm/min의 유량으로 난방을 할 경우 실내 온도는 각 측정 Point에서 쾌적 온열감을 느끼는 온도범위인 20℃ 이상을 유지하지 못하는 것으로 평가 되었다.(최저 11.89℃에서 최고 16.43℃의 온도 값을 유지, 평균온도 14.35℃) 히트파이프 판넬 난방은 지역난방의 경우 실온을 충분히 올리지 못하는 것으로 평가되어 지역난방에 적용하기에는 난방 수 온도가 낮은 것으로 분석 되었다.(Fig. 10, 11 참조)

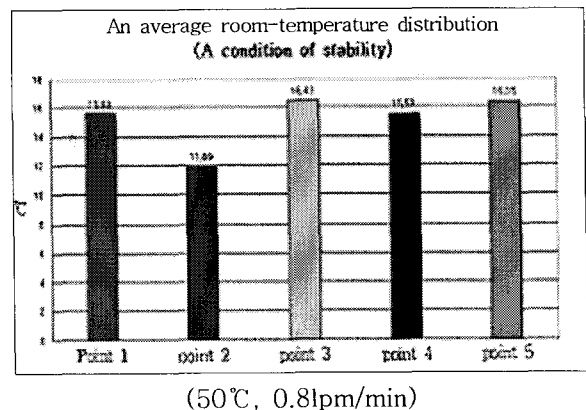
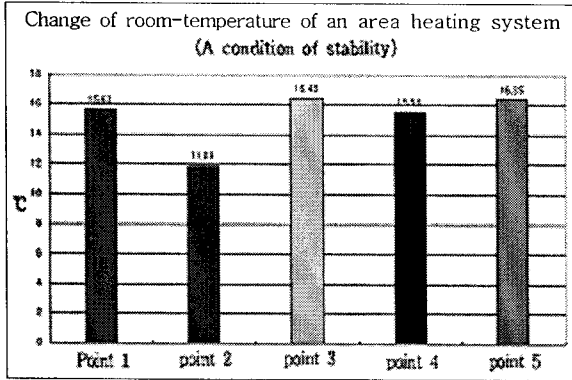


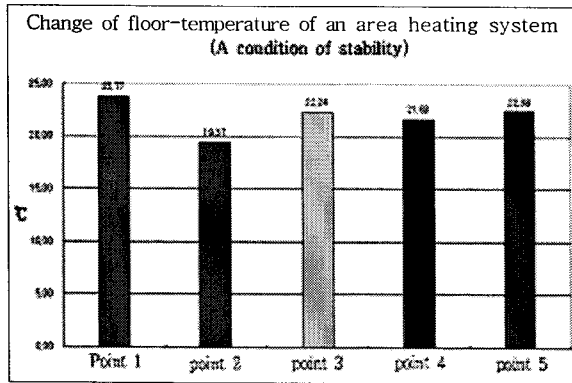
Fig. 10 An average room-temperature distribution



(50°C, 0.8lpm/min)

Fig. 11 An area heating system

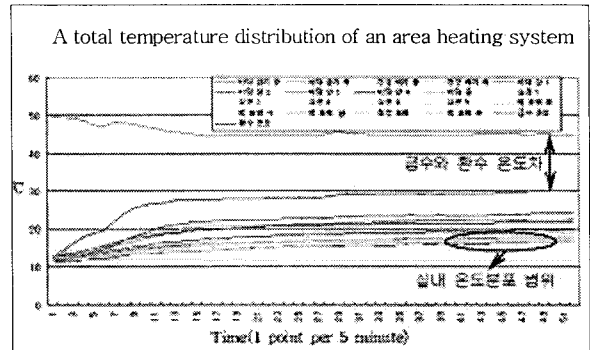
바닥온도는 19.37°C에서 23.77°C로 실온을 20°C 이상 유지하기에는 부족한 온도 분포가 나타났다. 특히 히트파이프 판넬과 판넬 사이의 온도가 약 19°C로 다른 측정 point와는 2°C 이상의 차이를 나타내었다. (Fig. 12 참조)



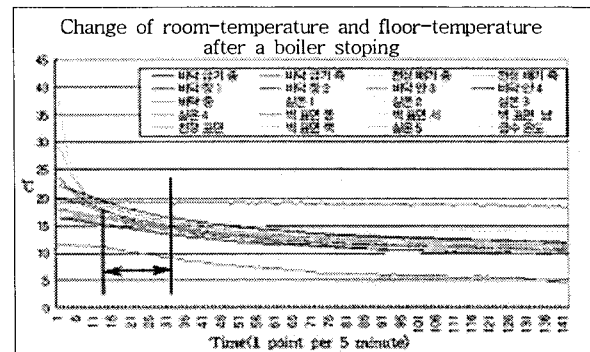
Change of floor-temperature(50°C, 0.8lpm/min)

Fig. 12 An area heating system

지역난방의 경우 이중바닥 구조체 히트파이프 판넬 난방방식은 실내 온도분포가 Fig. 13와 같이 전체적으로 20°C 보다 낮은 범위에서 유지되고 있고, 난방수 공급을 중단 하였을 경우 실온도가 각 측정점에서 15°C 이하로 떨어지는데 걸리는 시간은 1시간30분 정도 걸리는 것으로 나타나 급격히 온도 저하를 나타내지는 않는 것으로 평가 되었다. 이는 기존의 건식 마루방식 보다 이중마루 방식이 바닥으로 유출되는 열손실을 크게 줄여 바닥구조체의 온도 저하를 막기 때문으로 판단된다.



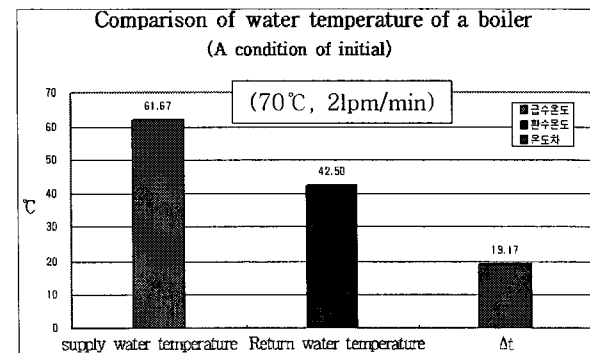
a) Change of room temperature and floor-temperature



b) Change of room temperature and floor-temperature after a boiler stopping.

Fig. 13 An area heating system (50°C, 0.8lpm)

3.1.2 이중마루 히트파이프 판넬의 개별난방 적용시 초기의 난방수 온도 61.67°C의 물이 환수될 경우 42.5°C로 온도차가 19.17°C 발생함으로 초기 공급수 온도의 30%가 방열에 사용되는 것으로 나타났다. 안정화 단계에서도 공급 수온 63.9°C가 환수될 경우 49.22°C로 14.68°C 온도차를 나타냄으로써 바닥, 벽기타 배관을 통해 외부로 손실되는 열량을 0으로 볼 경우 22.97%가 실내 온도를 높이는데 이용되는 것으로 나타났다.(Fig. 14 참조)



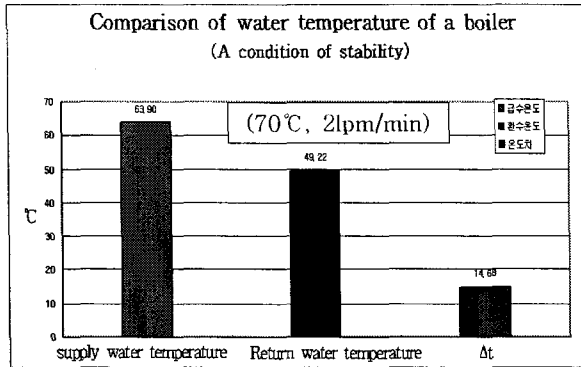
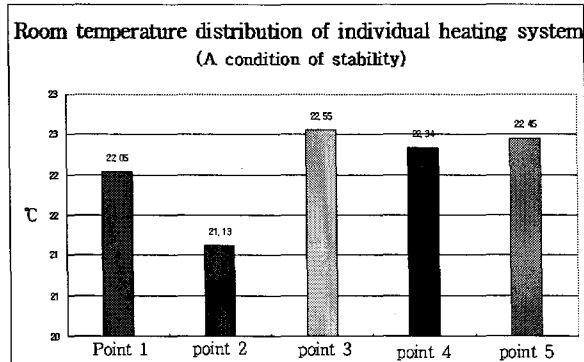
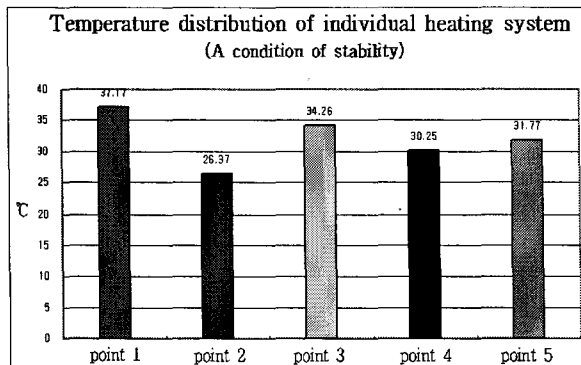


Fig. 14 Comparison of water temperature of the individual case heating system

실 온도는 안정화단계에서 21.13°C - 22.55°C로 21°C 이상의 온도를 나타냄으로 온열환경 쾌적성 범위에 모두 분포하는 것으로 평가되었다. 안정화 단계에서의 평균 실온은 22.1°C로 평가되었다. (Fig 15 참조)



a) Change of room temperature(70°C, 2lpm/min)

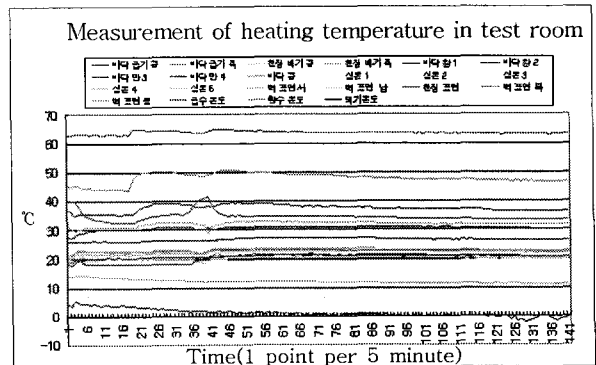


b) Temperature change of Floor(70°C, 2lpm/min)

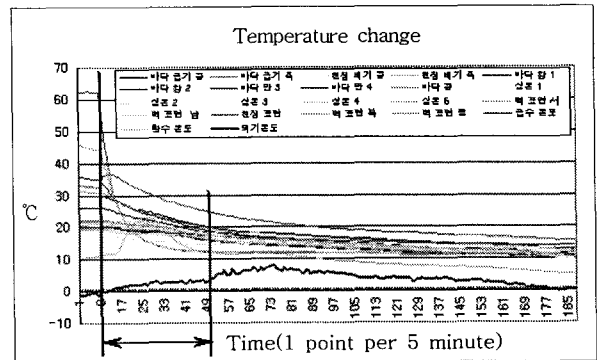
Fig. 15 The individual case heating system

이중마루 히트파이프 판넬형 난방시스템의 바닥온도 분포는 안정화 단계에서 가장 낮은 곳 26.37°C 부터 가장 높은 곳이 37.17°C이다. 히트파이프

근처의 상부 온도는 평균 30°C 이상을 나타내었고 히트파이프 판넬과 판넬 사이의 온도는 26.37°C로 조금 낮게 분포되었다. 따라서 히트파이프 판넬 중심과 판넬 간격 사이의 온도차는 10°C 이상 나타나는 것으로 분석되었다. 따라서 히트파이프와 히트파이프 간격을 30cm로 하면 바닥 평균온도 32°C를 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.(Fig. 16 a) 참조) 보일러 가동 중단 후 실온의 변화가 각 측정 부위에서 모두 20°C이하로 모두 내려가는데 걸리는 시간은 총 3.3시간인 것으로 분석되었다. (그림 16 b) 참조)



a) Change of room-temperature and floor-temperature



(b) Change of room temperature and floor-temperature after a boiler stoping.(70°C, 2lpm/min)

Fig. 16 The individual case heating system

### 3.2 실험 결과 분석

개별난방에서의 히트파이프 판넬 난방시스템인 이중마루 구조의 상부 방열량(W)을 구하는 방법은 아래 식의 열전달 기본 식을 이용하여 계산하였다.

$$Q = m' \cdot Cp(T1 - T2)$$

m' : 물의 질량(kg/s)

Cp : 물의 비열(kJ/kg°C)

T1 : 급수온도(63.90°C)

T2 : 환수온도(49.22°C)

※ 1ℓ/min = 1.667 × 10<sup>-5</sup> m<sup>3</sup>/s

물의 비열 : 4.2J/g°C (1J ≃ 0.24cal)

물의 밀도 : 1000kg/m<sup>3</sup>

Cp = 4.2J/g°C = 0.24 × 4.2 cal/g°C

A = 4.35 × 4.54 ≃ 19.76m<sup>2</sup>(문 면적 제외)

Q = 2(ℓ/min) × 1(cal/g°C) × (63.9°C - 49.22°C) × 1000(kg/m<sup>3</sup>) × (1.667 × 10<sup>-5</sup>)

= (29.36 × 1000 × 1000 × (1.667 × 10<sup>-5</sup>))cal/s

= 29.36 × 16.67 ≃ 489.43cal/s

= 489.43 ÷ 0.24 = 2039J/s = 2039W

단) 바닥이나 벽 기타 누출되는 열손실을 0로 가정 하였을 경우 방열량은 아래와 같다.

Flux = 2039(W) ÷ 16.06(m<sup>2</sup>) ≃ 127.0W/m<sup>2</sup>

(Fig. 17 참조)

Table 1. Variation of floor surface temperature and temperature difference between supply water and return water(Δt)

| Wet floor heating (supply water temp.) | Initial Test      |            | Heating Test      |            | Preservation Test |            | Cooling Test      |            | Average | Mix  | Min  | Δt    |
|----------------------------------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|---------|------|------|-------|
|                                        | Average Temp.(°C) | Deflection | Average Temp.(°C) | Deflection | Average Temp.(°C) | Deflection | Average Temp.(°C) | Deflection |         |      |      |       |
| 50°C                                   | 21.1              |            | 29.2              | 2.4        | 32.5              | 0.2        | 27.5              | 1.5        | 28.6    | 32.7 | 21.0 | 5.3°C |
| 60°C                                   | 21.6              |            | 34.2              | 2.7        | 37.5              | 0.2        | 27.8              | 2.5        | 31.0    | 37.9 | 21.6 | 7.6°C |

※ 대한건축학회논문집 계획계 20권 10호(2004년 10월) 자료 참조

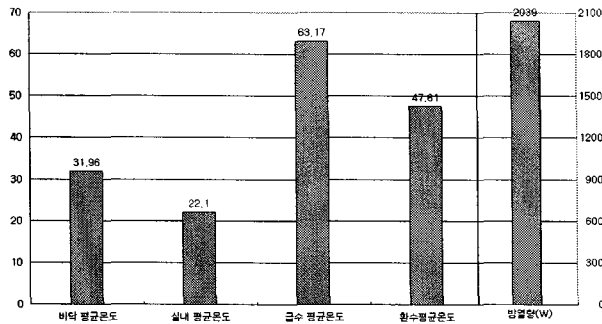


Fig. 17 Room-temperature and heat radiation efficiency

이 값 보다 작을 것으로 예상된다.(오차 증가)

기존 습식난방의 경우 공급수온과 환수온도차는 50°C에서 5.3°C, 60°C에 7.6°C이고(Table 1 참조) 이중바닥 히트파이프 판넬난방은 50°C의 15.20°C, 70°C의 14.68°C로 습식난방과 10°C 정도의 큰 온도 차이를 보이고 있다. 따라서 급수와 환수온도차(방열량)만을 가지고 판단할 경우 습식온돌 방식보다는 이중마루 히트파이프 판넬 난방 방식이 더 높은 성능을 나타는 것으로 평가되었다.

#### 4. 결론

이중바닥 구조체에서 히트파이프 판넬 난방시스템의 온열성능 평가결과 개별난방에 적용하였을 경우 바닥온도 평균 20°C, 실내온도 15°C정도 나타냄으로서 온열쾌적감 20°C이상을 유지하지는 못하는 것으로 평가되었고 개별난방의 경우 바닥 판온도 30°C이상 유지되고 실온도 평균 22.1°C 유지하는 것으로 평가되어 ASHRAE 열적쾌적성 범위에 포함되는 것으로 평가되었다. 이 경우 바닥, 벽, 배관을 통해 빠져나가는 열손실을 제외 할 경우 방열량은 단위 면적당 112.3W로 실제로는

#### 참고문헌

1. Thermal comfort, P.O. Fanger, Danish Technical press, 1970
2. ASHRAE, ASHRAE Standard: Thermal Environmental Condition for Human Occupancy, ASHRAE 1992.
3. ASHRAE, "Panel Heating and Cooling", ASHRAE Handbook System and Equipment, 1992, Chapter 6, pp.6.6-6.17