

## 이중 워 타입 히트파이프를 이용한 바닥복사패널의 난방특성 연구

김 용 기, 이 태 원<sup>†</sup>  
한국건설기술연구원 그린빌딩연구실

### A Study on the Heating Characteristics of Radiant Floor Panel Using Heat Pipes with the Double Wick

Yong-Ki Kim, Tae-Won Lee<sup>†</sup>

Green Building Division, Korea Institute of Construction Technology, Gyeonggi 411-712, Korea

(Received November 8, 2011; revision received December 23, 2011)

**ABSTRACT:** Most of the domestic residential buildings have used the traditional radiant heating system, circulating hot water through the cross-linked polyethylene(PE-X) pipe buried in the floor panel of the heating space. New type of the heating panel was recently developed using heat pipes with double wicks. Some experiments were carried out in this study to verify the thermal characteristics of this heating system at the unit heating space which surrounded by outer space whose temperature of air be maintained scheduled value with time. Through the various experiments with several parameters, such as flow rate, inlet and outlet temperatures of hot water and the heating duration and so on, we found that the floor heating system with heat pipes was able to reduce the pumping power for hot water circulation by 4~31% compared with the conventional panel heating system using PE-X pipe. These results could be used for optimal design and efficient operation of the heating system as well as improvement of thermal comfort.

**Key words:** Heat pipe(히트파이프), Cross-linked polyethylene(PE-X) pipe(가교화 폴리에틸렌관), Heating characteristic(난방특성), Radiant heating panel(복사난방패널), Thermal comfort(온열 쾌적도)

## 1. 서 론

국내 대부분의 주거용 건물과 일부 상업용 건물 등에서는 쾌적한 실내 열환경을 확보하기 위한 수단으로 바닥복사 난방시스템을 적용하고 있으며, 바닥패널을 이용한 난방시스템은 바닥패널의 구조 및

시공방법에 따라 경량 기포 콘크리트(aerated concrete)와 모르타르(mortar)를 사용하는 습식 공법과 조립식 패널을 사용하는 건식 공법으로 분류될 수 있다. 습식 공법은 현재까지 대부분의 주거용 건물에 적용되어온 방법으로, 바닥패널로 기포 콘크리트와 모르타르를 사용함에 따라 축열 효과를 높일 수 있으나, 양생과정을 거쳐야 하므로 동절기 공사가 어렵고 시공기간이 길어진다는 단점이 있다. 이에 반하여 조립식 온돌시스템은 건식 공법으로서 습식 공법과는 다르게 시공 시 물을 전혀 사용하지

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-910-0587; fax: +82-31-910-0246

E-mail address: twlee@kict.re.kr

않고, 양생과정이 없으므로 시공기간을 획기적으로 단축할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 신축 건물뿐만 아니라 기존 건물에서 습식 난방시스템이 설치되어 있는 공간에도 개보수 시 기존의 방바닥을 해체하지 않고서도 설치할 수가 있다. 또한, 건축물을 해체할 때 발생하는 건축 폐기물을 감소시킬 수 있으며, 건물의 경량화를 도모할 수 있어 고층화에 유리하다는 장점을 지니고 있다. 향후 건축물의 새로운 경향은 건식 공법을 채택하는 것이며, 조립식 온돌시스템을 적용할 경우 건물의 완전 건식화가 가능할 것으로 판단된다.<sup>(1)</sup>

이러한 건식 난방시스템과 관련하여 Lee et al.<sup>(2)</sup>은 습식 및 건식 바닥난방시스템의 열특성에 대한 성능 비교를 수행한 바 있으며, Ahn et al.<sup>(3)</sup>은 진동형 히트파이프를 이용한 바닥난방 패널을 제안하고, 내부의 작동유체 봉입량에 따른 최적의 작동조건 및 성능을 평가하였으며, 기존의 습식 난방방식과의 비교 실험을 통하여 열적특성을 비교 분석한 바 있다. 이와 같이 최근 들어 바닥복사 난방시스템의 한 종류로서 히트파이프를 이용한 난방시스템이 도입되고 있다. 이 난방시스템은 기존의 습식공법으로도 시공할 수 있으며, 건식공법으로 시공가능하다. 그러나 히트파이프 이용 난방시스템에 대한 설계 및 운전 자료의 부족으로 제품의 보급 확대에 장애가 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 난방 성능분석 시뮬레이터를 이용한 히트파이프 온돌난방시스템의 성능평가를 통해 히트파이프 이용 건식 온돌난방시스템의 난방 특성(방열량, 실내 및 바닥온도 분포 등)을 분석하고, 기존의 가교화 폴리에틸렌관을 이용한 습식 난방시스템과의 난방 특성을 비교, 분석함으로써 히트파이프 이용 난방시스템의 설계 및 운전 자료를 도출하고, 적용효과를 분석하고자 한다.

## 2. 건식 난방시스템의 기술개발 현황

조립식 온돌시스템은 건물의 건식화 추세에 발맞추어 국내에서도 최근 들어 많은 제품이 출시되고 있으며, 몇몇 제품은 실제 건축물 현장에 적용·보급되고 있다. 생산되고 있는 제품은 크게 온수온돌 패널을 이용하는 방식과 전기온돌 패널을 이용하는 방식으로 구별될 수 있다. 구체적인 개발 사례로는 액세스 플로어 시스템을 온수관을 매설할 수 있는 바닥판으로 이용한 이중바닥 온수온돌 패널 이용 난

방시스템과 온수관을 매설하지 않고 방열체 속에 온수가 흐를 수 있도록 관로를 형성한 패널이용 난방시스템, 또한 바닥판을 이중구조로 만들어 아래 판에 단열재를 부착하는 온수온돌 난방시스템과 차음성능을 향상시킨 온수온돌 난방시스템 등을 들 수 있다. 또한, 조립식 온돌시스템의 한 종류로서 전기온돌 난방시스템이 있으며, 방열체에 직접 전기를 투입하여 발열을 하는 원리로 온수를 사용하지 않는다. 일반적인 전기온돌 패널 이용 난방시스템은 갈바륨 강판 등의 재질로 구성된 방열판, 열을 발생시키는 방열체, 열을 방열판에 전달해주는 전열재(알루미늄 재질의 호일형태), 온돌패널 하단부로 손실되는 열을 차단하는 단열재, 전선을 접속할 수 있는 접속구와 온돌패널 시공시 움직임을 고정시켜주는 고정구 등으로 구성된다. 이러한 조립식 온돌시스템은 상가건물, 일반주택, 조립식 주택, 목조건물, 교육시설 등을 중심으로 보급되고 있으며, 공동주택에는 아직까지는 보급이 미흡한 편이다. 조립식 온돌시스템과 관련된 국내의 기준으로는 KS G 3703(조립식 온수 온돌관, 2002), KS M 3497(재생 플라스틱 온도 배관 패널, 2001) 및 환경마크협회의 환경마크 기술기준 EL247(조립식 바닥 난방시스템) 등을 들 수 있다.

## 3. 히트파이프 이용 난방시스템의 난방특성

### 3.1 실험장치 및 방법

먼저 국내 공동주택 설계 시 보편적으로 채택하고 있는 단위 난방구획의 면적과 체적을 가지는 난방공간을 구성하였다. 이 난방공간에는 난방용 온수가 공급되며 공급된 온수는 바닥에 설치된 배관을 따라서 흐르는 바닥 패널 복사난방 방식을 채택하였다. 외부 기후조건의 영향을 배제하기 위하여 내부 실험공간의 각 외벽으로부터 일정거리 이상 떨어진 곳에 격벽을 설치함으로써 실험공간을 외기와 분리시켰다. 이와 아울러 실험공간을 둘러싸고 있는 외부공간을 향온·향습 공간으로 만들기 위하여 냉동기와 온풍기 및 가습기를 설치하였다. 이들 장치에 의해 외부 향온향습 공간은 외부의 기후조건에 관계없이 실험조건으로 설정한 온도 및 습도로 항상 일정하게 유지될 수 있다. 향온향습 공간은 실외 측 공간과 실내 측 공간으로 구분하여 형성하였으며, 실외 측 향온설정범위는  $-10\sim 30^{\circ}\text{C}$ 이며, 실내 측 향

온설정범위는 5~30℃이다. 항온실은 단위 시간당 온도변화폭을 조절할 수 있도록 온도설정의 스케줄 제어기능을 갖추고 있다.

시험실은 바닥면적이 18.72 m<sup>2</sup>(W3900×L4800)이고, 층고는 3000 mm, 바닥구조체는 슬라브 120 mm, 단열재(발포 폴리스티렌) 20 mm, 경량기포콘크리트 60 mm, 모르타르 40 mm로 구성되어 있다. 모르타르 구조체 하단에 온수순환배관(PE-X관, 15 A)을 매설하였으며, 온돌시공후 마감은 장판으로 하였다. 또한, 시험실은 바닥층의 항온유지를 위하여 항온실 바닥으로부터 500 mm 이격시켰으며, 바닥면과 천장면 사이의 천장고는 2400 mm이다. 실외측 공간에는 창호를, 실내측 공간에는 출입문을 설치하였다. Fig. 1은 난방 성능분석용 실험장치의 개념도를 보여주고 있다.

바닥패널에 매설된 배관에 설정한 온도의 난방수를 공급하기 위하여 실험의 수행에 충분한 용량의 보일러 및 축열조를 설치함으로써 저장온수는 설정된 온도로서 일정하게 유지될 수 있도록 하였다. 실내공간의 난방수행 현황을 분석하기 위하여 바닥패널의 기하학적으로 중요하다고 판단되는 지점과 실내공기의 온도를 측정하기 위하여 각각의 지정된 위치에 열전대를 설치하였다. 특히, 실내온도의 측정을 위해서는 공간의 평면중앙, 지상으로부터 1.5 m의 위치에 온도센서를 설치하였다. 또한, 수온계와 열전대 및 순간유량계 등 각종 센서는 데이터 로거(YOKOGAWA, DA-100)를 이용하여 1분 간격

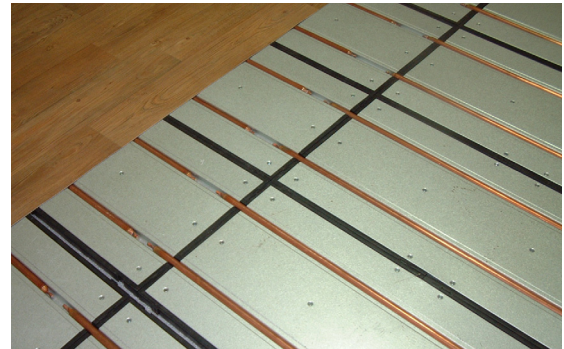


Fig. 2 A picture of the radiant floor heating system with heat pipes.

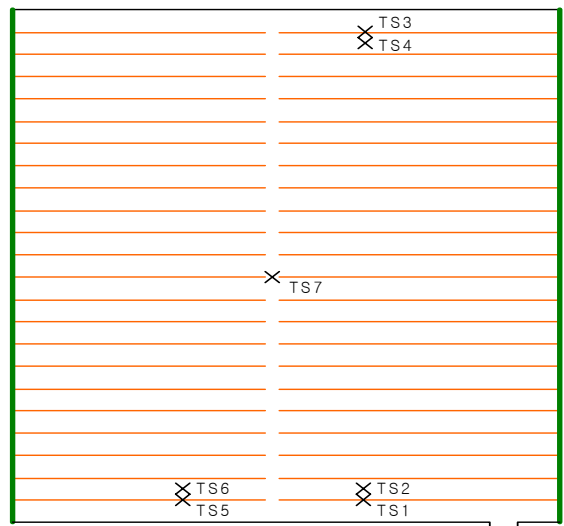


Fig. 3 A schematic diagram of the position of heat pipes and temperature sensors.

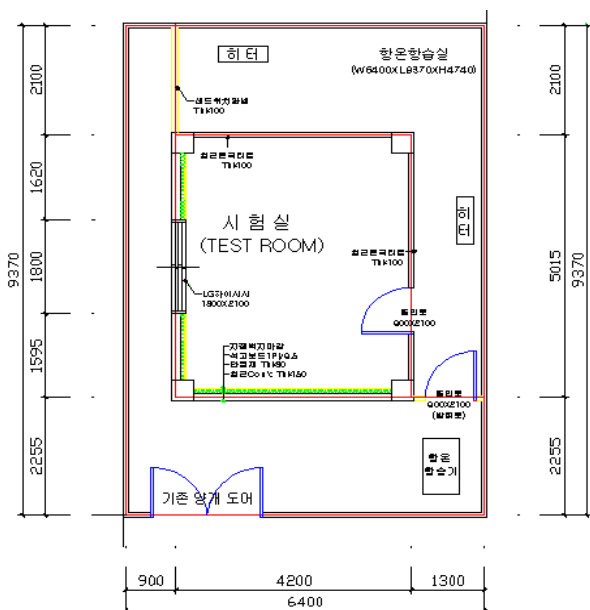


Fig. 1 A schematic diagram of the test room.

으로 저장하였다.

Fig. 2는 시험실에 설치된 히트파이프 이용 건식난방시스템의 시공 모습을 보여주고 있다. 실험에 사용된 건식난방시스템은 최하층에 8 mm의 단열재를 설치하고, 그 위에 두께 20 mm의 바닥판을 설치한다. 히트파이프는 바닥판에 매립되고, 전열효과를 높이기 위하여 파이프 직상부를 아연도 강판으로 덮는다. 여기에 사용된 히트파이프는 총 44개(2000 mm×22개, 1800 mm×22개)가 설치되었으며, 자세한 배관 연결방법 및 바닥 표면온도의 측정지점은 Fig. 3에 보인 바와 같다. 실험에 사용된 히트파이프는 재질이 구리이고, 외경은 15.88 mm, 두께는 0.7 mm, 내부에 설치된 워(wick)의 재질은 메쉬(mesh) 워(구리 99.9%)과 다공성 워으로 구성되어 있다.

Fig. 4는 습식 난방시스템에서의 가교화 폴리에틸렌관 배열위치 및 바닥 표면온도 측정을 위한 온도

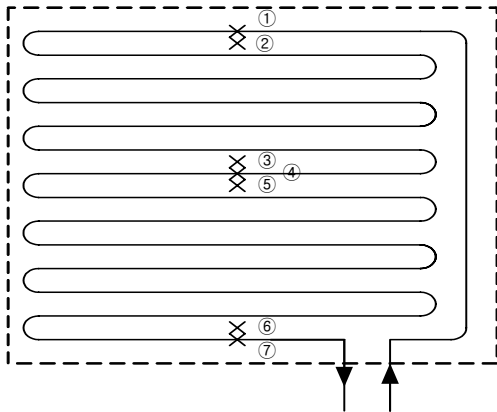


Fig. 4 A schematic diagram of the position of PE-X pipes and temperature sensors.

Table 1 Experimental parameters

Parameters	Contents
Engineering methods of the heating	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wetted-heating method using PE-X pipes</li> <li>Dried-heating method using heat pipes</li> </ul>
Supply water Temp.	45°C, 50°C, 60°C
Hot water flow rates	1, 2, 3 L/min
Outdoor air Temp.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Standard outdoor air temperature schedule</li> <li>Constant temperature(2°C)</li> </ul>
Heating methods	<ul style="list-style-type: none"> <li>Continuous heating</li> <li>Intermittent heating</li> </ul>

센서 부착위치를 도시하고 있다. 실험변수는 Table 1과 같고, 운전조건으로 실내 기온 설정온도는 21°C로 하였으며, 실내 온도 제어기는 기온감지 개폐식 전동밸브를 사용하였다. 시험실 외부의 내측(거실 조건)의 온도는 19°C를 유지하였다. 공급수온도는 40°C, 50°C, 60°C, 순환유량은 1, 2, 3 L/min으로 설정하였다.

### 3.2 실험결과 및 고찰

#### 3.2.1 습식 난방시스템의 운전특성

먼저 Fig. 5는 난방수 공급온도( $T_s$ )가 50°C이고, 순환유량( $Q$ )이 2 L/min일 경우의 가교화 폴리에틸렌관을 이용한 습식 난방시스템의 난방 운전특성을 보여주고 있다. 공급수온도 및 순환유량은 설정 값으로 잘 유지되고 있으며, 환수온도( $T_r$ )는 30~45°C의 변화량을 가진다. 실내온도( $T_i$ )는  $\pm 0.4^\circ\text{C}$ 의 편차

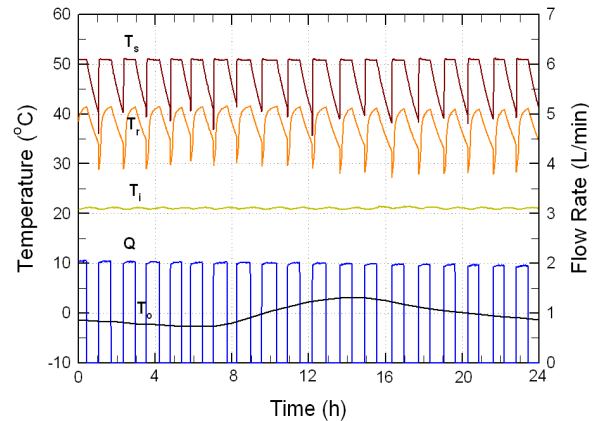


Fig. 5 Variations of hot water and air temperature and flow rate with(Wet type,  $T_s$  : 50°C,  $Q$  : 2 L/min).

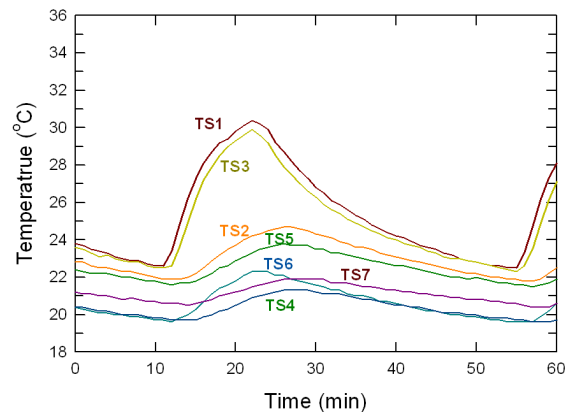


Fig. 6 Variations of the floor surface temperature with time(Wet type,  $T_s$  : 50°C,  $Q$  : 2 L/min).

로 설정온도 21.0°C를 유지하고 있다. 외기온도( $T_o$ )는 서울지역의 2005년 12월부터 2008년 2월까지의 3년간 동절기(12월~3월)의 시간대별 외기온도를 평균한 값이다.

Fig. 6은 난방수 공급온도가 50°C이고, 순환유량이 2 L/min일 경우의 가교화 폴리에틸렌관을 이용한 습식 난방시스템의 바닥표면온도를 도시하고 있다. 바닥표면온도 TS1은 온수분배기 출구에서 약 1 m 떨어진 가교화 폴리에틸렌관 직상부 온도를 가리키며, 예측되는 바와 같이 표면온도 측정지점 중 가장 높은 최대 30°C의 온도를 보여주고 있다.

#### 3.2.2 히트파이프 이용 건식 난방시스템의 운전특성

Fig. 7은 난방수 공급온도( $T_s$ )가 50°C이고, 순환

유량(Q)이 2 L/min일 경우의 히트파이프 이용 건식 난방시스템의 난방 운전특성을 보여주고 있다. 공급수온도 및 순환유량은 설정 값으로 잘 유지되고 있으며, 환수온도( $T_r$ )는 34~39°C의 변화량을 가진다. 실내온도( $T_i$ )는  $\pm 0.6^\circ\text{C}$ 의 편차로 설정온도 21.0°C를 유지하고 있다. 건식 난방에서 습식 난방보다 실내온도의 편차가 0.2°C 크게 발생하는 것은 바닥구조체의 축열효과가 습식난방 보다 적으므로 실내공기온도의 빠른 가열과 빠른 냉각에 기인한다. 건식난방의 경우 전반적으로 습식 난방보다 온도조절기 개폐 회수가 증가하였고, 히트파이프에 의한 열전달 효율의 증대로 환수온도가 습식 난방보다 낮게 유지되었다. 즉, 건식난방의 경우 난방패널의 입출구 온도차가 증가하게 되어 습식 난방보다 난방열을 효율적으로 사용하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 난방수 공급온도가 50°C이고, 순환유량

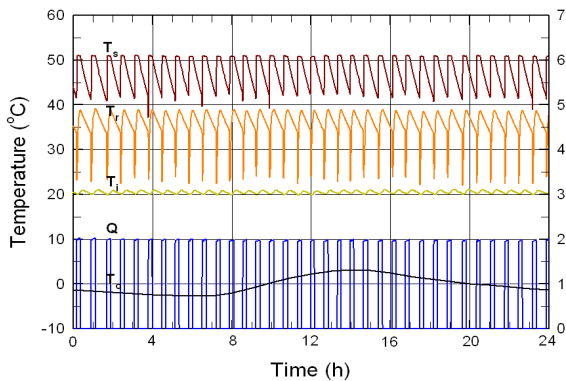


Fig. 7 Variations of hot water and air temperature and flow rate with time (Dry type,  $T_s$  : 50°C,  $Q$  : 2 L/min).

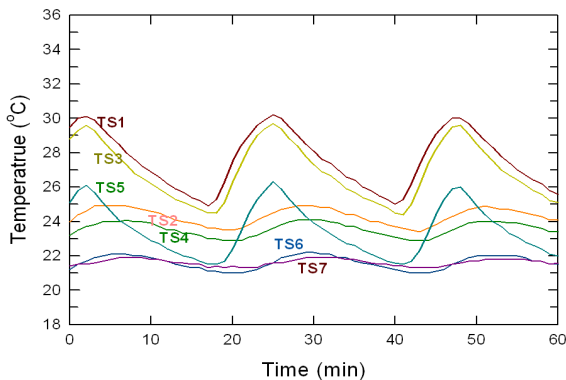


Fig. 8 Variations of the floor surface temperature with time(Dry type,  $T_s$  : 50°C,  $Q$  : 2 L/min).

이 2 L/min일 경우의 히트파이프 이용 건식 난방시스템의 바닥표면온도를 보여주고 있으며, 해당 온도센서의 측정 위치는 Fig. 3에 도시한 바 있다. 바닥표면온도 TS1은 온수분배기 출구에서 약 1 m 떨어진 히트파이프 직상부 온도이고, 쉽게 예측할 수 있듯이 표면온도 측정지점 중 가장 높은 최대 30°C의 온도를 보여주고 있으며, 이는 습식난방에서의 최대 바닥표면온도와 비슷한 온도 분포를 가진다. 따라서 건식난방의 경우 일반적으로 습식난방보다 바닥표면온도가 높게 유지되나, 본 적용제품은 온수가 히트파이프에 간접적인 열전달을 통해 열을 수송함으로써 바닥표면에서 상대적인 고온이 발생하지 않아 바닥표면온도제어에 유리한 측면이 있다.

Fig. 9 및 Fig. 10은 공급수온도 및 순환유량 변화에 따른 일간 온도조절기 개폐회수와 일간 난방소요시간 변화를 도시한 것이다. 먼저 Fig. 9를 보면 순환유량이 증가함에 따라 일간 개폐회수는 증가하

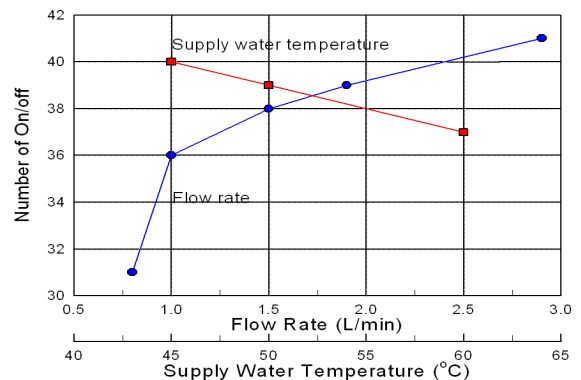


Fig. 9 Variations of the number of on/off operation with the supply water temperature and the flow rate.

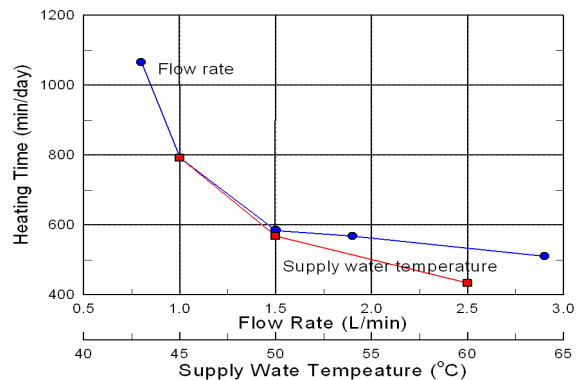


Fig. 10 Variations of the heating time with the supply water temperature and the flow rate.

며, 공급수온도가 증가함에 따라 개폐회수는 감소하는 것을 볼 수 있다. Fig. 10에서는 순환유량 및 공급수온도가 증가함에 따라 일간 난방 소요시간은 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 일간 개폐회수와 난방 소요시간을 고려하면, 히트파이프 이용 건식난방시스템의 최적 운전조건(난방면적이 18.72 m<sup>2</sup>일 경우)은 난방수 순환유량이 1.5 L/min 부근(0.08 L/min · m<sup>2</sup>)이며, 난방수 공급온도는 50~60℃의 경우이다.

Fig. 11은 히트파이프를 설치한 난방패널의 시간 경과에 따른 표면 온도분포를 적외선 카메라로 촬영한 것이다. 이때의 운전조건은 공급수 온도가 50℃이고, 순환유량이 2 L/min일 경우이다. 난방개시 1분 후에는 온수가 흐르는 온수관 및 헤드부분만 온도가 40℃ 이상으로 상승하였음을 볼 수 있으며, 난방이 진행됨에 따라 바닥표면 전체로 열이 고르게 전달되었음을 볼 수 있다.

3.2.3 습식 및 건식 난방시스템의 운전특성 비교

먼저 Fig. 12는 습식과 건식 난방시스템간의 난방수 순환유량 변화에 따른 일간 적산유량 변화를 도시한 것이다. 두 난방방식 모두 난방수 순환유량이 증가함에 따라 일간 적산유량이 증가하는 것을 볼 수 있으며, 히트파이프 이용 건식 난방시스템은 동일 조건(난방면적 : 18.72 m<sup>2</sup>, 난방수 공급온도 : 50℃, 유량 : 1~3 L/min)에서 가교화 폴리에틸렌관 이용 습식 난방시스템 대비 4~31% 정도의 난방수 절감 효과가 있으며, 이는 공동주택 기계실 난방수 반송 동력의 절감효과를 수반한다. Fig. 13은 습식과 건식 난방시스템 간의 난방수 순환유량 변화에 따른 일간 적산열량 변화를 보여주고 있다. 두 난방방식 모두 난방수 순환유량이 증가함에 따라 일간 적산열량이 증가하는 것을 볼 수 있으며, 히트파이프 이용 건식 난방시스템은 동일조건에서 습식 난방시스템 대비 1~11% 정도의 에너지절감효과가 있으나, 이는 건식 난방시스템의 시공 특성상 기준에 설치

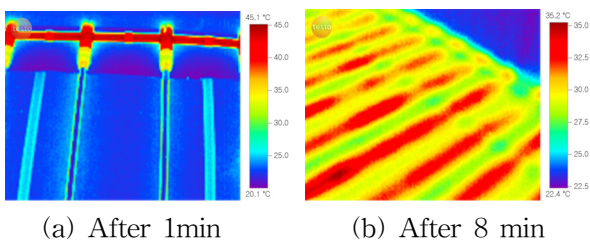


Fig. 11 Infrared thermal pictures for the radiant heating panel with heat pipes.

된 습식 난방시스템의 상부에 설치됨으로써, 바닥 구조체 하부로의 단열효과에 기인한다. 이러한 시공특성 및 단열효과를 고려하면, 히트파이프 건식 난방시스템은 공동주택의 최하층 세대 또는 축벽세대에 설치될 경우 에너지 절감 측면에서 기존의 습식 난방시스템에 비하여 유리할 것으로 판단된다.

한편, 예측되는 바와 같이 건식 난방시스템의 경우 습식 난방시스템에 비하여 실내온도가 설정온도에 빨리 도달하는 반면에 방열조건 하에서는 축열 효과가 적어 실내온도 및 바닥온도가 습식에 비하여 더 빨리 하강한다. 이러한 특성은 연속난방보다는 간헐난방에서 크게 나타나므로 건식 난방시스템의 경우 난방이 간헐적으로 수행되는 펜션, 교회 등에 적용하게 되면, 그 효과를 극대화 시킬 수 있을 것으로 판단된다. 건식 및 습식 난방시스템의 간헐

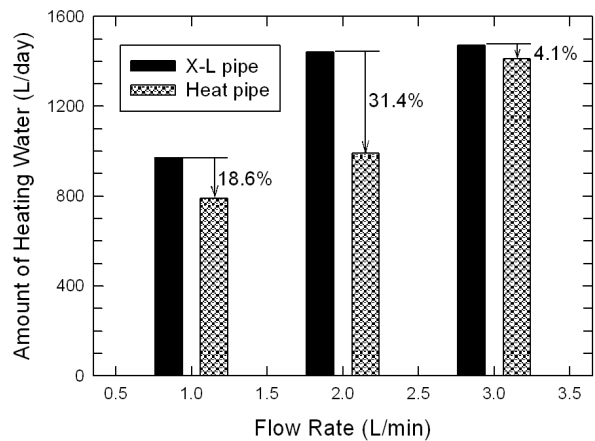


Fig. 12 Variations of the amount of the heating water per day with the flow rate.

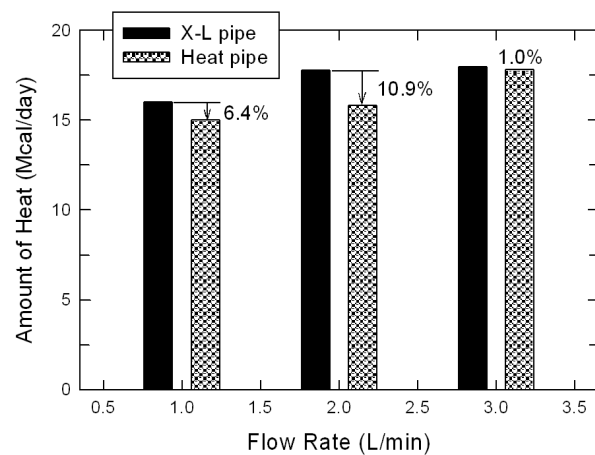


Fig. 13 Variations of the amount of the heat per day with the flow rate.



난방에서의 난방특성에 대한 자세한 내용은 관련 보고서<sup>(4)</sup>를 참고하길 바란다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 난방 성능분석 시뮬레이터를 이용한 성능평가를 통해 히트파이프 이용 건식 온돌난방시스템의 난방특성을 분석하고, 기존 가교화 폴리에틸렌(PE-X)관을 이용한 습식 난방시스템과의 난방특성을 비교 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 건식 난방의 경우 일반적으로 습식 난방보다 바닥표면온도가 높게 유지되나 히트파이프 이용 건식난방시스템은 온수가 골무형태의 히트파이프에 간접 접촉의 열전달을 통해 열을 수송함으로써 바닥표면온도가 습식 난방과 유사한 분포를 보인다.

(2) 히트파이프 이용 건식 난방시스템의 최적 운전 조건(난방면적이 18.72 m<sup>2</sup>일 경우)은 난방수 순환유량이 1.5 L/min 부근(0.08 L/min · m<sup>2</sup>)이며, 난방수 공급온도는 50~60℃의 경우이다.

(3) 히트파이프 이용 건식 난방시스템은 동일조건(난방면적 : 18.72 m<sup>2</sup>, 난방수 공급온도 : 50℃, 유량 : 1~3 L/min, 외기조건 : 표준부하)에서 가교화 폴리에틸렌관을 이용한 습식 난방시스템 대비 4~31% 정도의 난방수 절감효과가 있으며, 이는 공동주택 기계실에서의 난방수 펌핑동력의 절감효과를 수반한다.

(4) 히트파이프 이용 건식 난방시스템은 동일조건에서 가교화 폴리에틸렌관을 이용한 습식 난방시스템 대비 1~11% 정도의 에너지절감효과가 있으나, 이는 건식 난방시스템의 시공 특성상 기존에 설치된 습식 난방시스템의 상부에 설치됨으로써, 바닥 구조체 하부로의 단열효과에 기인한다. 이러한 시공특성 및 단열효과를 고려하면, 히트파이프 이용 건식 난방시스템은 공동주택의 최하층 세대 또는 층벽세대에 설치될 경우 에너지 절감 측면에서 기존의 습식 난방시스템에 비하여 유리할 것으로 판단된다.

#### 후 기

본 연구는 산업기술연구회에서 시행하고 있는 2009년도 중소기업 맞춤형 기술지원사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다. 또한, 본 논문은 한국건설기술연구원 연구보고서<sup>(4)</sup> 및 학술대회 발표논문<sup>(5)</sup>에서 내용을 발췌하여 수정 및 편집한 것입니다.

#### 참고문헌

1. Lee, T. W., Kim, Y. K., Park, S. J., and Han, T. S., 2005, A Study on the Optimization of Heating System with Double-Layered Under-Floor Heating Panel, Report of KICT(No. 2005-010), pp. 23-30.
2. Lee, B. D., Lee, S. J., Kim, K. S., Oh, S. H., Kim, I. H., Nam, W. D., and Lee, D. W., 2009, A Study on Comparison of Capacity between Wet · Dry Floor Heating Systems, Proceedings of the SAREK 2009 winter annual conference, pp. 133-138.
3. Ahn, S. J., Lee, S. H., Kim, J. S., and Kim, J. H., 2007, A Study on Performance of Energy-saving Ondol Panel using Pulsating Heat Pipe, Proceedings of the SAREK 2007 summer annual conference, pp. 998-1003.
4. Lee, T. W., Kim, Y. K., and Han, T. S., 2009, A Performance Test of Radiant Heating System Using Heat Pipes with the Double Wick, Report of KICT(No. 2009-050), pp. 35-65.
5. Han, T. S., Kim, Y. K., Lee, T. W., Jun, S. J., and Moon, W. K., 2009, A Study on the Heating Characteristics of Radiant Floor Panel with Heat Pipes for Heating, Proceedings of the SAREK 2009 winter annual conference, pp. 127-132.