

강화폴리에스테르튜브(XL 튜브)에 진동형 히트 파이프를 결합한 고성능 난방 패널의 성능에 관한 연구

김 창 희*, 김 종 수, 우 재 호, 공 상 운
부경대학교 냉동공조공학과, 부경대학교 기계공학부

A Study on the highly efficient ondol system combined the strengthen polyethylene pipe with pulsating heat pipe

Changhee Kim, Jongsu Kim, Jaeho Woo, Sangwun Kong

**Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea*

ABSTRACT: Korea which has change of clear season is using unique heater by the name of On-dol being invented since ancient times. Floor-heating device has no radiator, and generates no noise and dust. It can obtain satisfied heating sense than other heating system in low room temperature. And also it is a pleasant system that equals bottom and top temperature in a room. The purpose of this study is to develop the Floor-heating device using pulsating heat pipe. It propose floor-heating device using pulsating heat pipe of the dry process which alternative polyethylene pipe(low XL pipe) that is used widely to existent floor heating system and produce pilot Experiment and analyzed operation condition and performance of most suitable.

In this study, main purpose is to develop floor-heating system using pulsating heat pipe by finding an optimum working condition according to changing ratio and evaluating a performance.

Key words: Pulsating heat pipe (진동형 히트파이프), Pulsating heat pipe ondol panel (PHP형 온돌 패널) , Floor heating system (바닥 난방 방식)

기 호 설 명

A : Panel or Floor area [m²]
C_p : Specific heat [J/kg · K]
m : Mass flow rate [kg/s]
q'' : Heat flux [W/m²]
T : Temperature [°C]

하첨자

i : Inlet
o : Outlet
w : Water

1. 서 론

4계절의 변화가 뚜렷한 우리나라는 B.C. 400년 이래로 주거 건물의 겨울철 난방 수단으로서 온돌이라는 독특한 방식의 복사 난방을 고안하여 쾌적한 실내 공간을 창출하는 데 사용해 오고 있다. 온돌은 아궁이에 불을 지펴 열기를 지니고 있

* Corresponding author

Tel.: 051-629-6176; fax: 051-611-6368

E-mail address: k2k200@nate.com

는 연기가 고래를 지나 굴뚝으로 빠져나가는 동안 연기가 고래 위를 덮고 있는 구들장을 데우고 구들장은 그 위 방안의 공기를 데우는 바닥 난방 방식이다. 이러한 온돌 방식은 많은 변화를 겪으면서 현재까지 대부분의 주택 난방에 지속적으로 적용되고 있다.

1970년대 중반 온수온돌이 대량 보급되어 1980년대와 1990년대에는 온수온돌 난방에 대한 연구가 지속적으로 이루어져 이에 대한 성능 최적화, 운전방법의 최적화 등에 관한 연구가 진행되었다. 온수온돌 난방 시스템은 방열기가 필요 없고, 소음이나 먼지의 발생이 없으며 다른 난방 방식에 비해 낮은 실온에서도 충분한 온열감 및 난방감을 얻을 수 있다. 또한 높이에 따른 실내온도분포가 동일한 쾌적한 난방 방식이다.

그러나 기존의 난방 방식은 보일러 등의 가열기로부터 온수나 증기를 공급받아 이를 방바닥에 매설된 동관이나 XL Pipe 등의 내부로 통과시켜 난방을 하게 된다. 따라서 난방을 위해 바닥 전체에 일정한 간격으로 배관이 설치되어야 하며, 그 배관내 체적만큼의 관수량과 이를 데우기 위한 난방비가 요구된다. 또한, 난방관이 지나가는 곳과 지나가지 않는 곳과의 온도차가 심해 열골 현상이 발생하고 현장관리의 어려움, 공기지연, 동기시공 곤란 및 하자보수의 어려움 등 시공 상의 문제점이 있고, 온수 공급관의 길이가 길어 압력 손실이 크며, 관수량이 많아 반송 동력이 크다는 등의 에너지 절약 측면에서의 단점을 지니고 있다.

이러한 이유로 국내에서는 해체·조립이 용이하고 공정의 단순화, 시공성 향상, 공기단축, 에너지 절약 등을 목적으로 진동형 히트 파이프⁽¹⁾⁽²⁾ 난방패널을 바닥 난방에 적용해 보려는 시도가 진행되었다. 특히 진동형 히트 파이프(이하 PHP)⁽³⁾를 바닥 난방에 적용할 경우 기존의 바닥 난방 방식보다 온수가 통과하는 전열관의 길이가 짧아져서 그에 따른 순환 수량이 줄어들고, 히트 파이프의 간격이 기존의 전열관(XL Pipe)의 간격보다 조밀하므로 바닥의 온도 분포가 균일하여 기존의 바닥 난방에서 문제가 되었던 열골 현상이 줄어든다는 장점이 있다. 그러나 아직도 진동형 히트 파이프를 바닥 난방에 이용한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 습식온돌의 문제

점을 개선하는 새로운 온돌로서 진동형 히트 파이프를 이용한 바닥 난방 패널을 개발·제안하고 내부의 작동유체 봉입량에 따른 최적의 작동 조건 및 성능을 평가, 기존의 습식 바닥 난방 방식과 비교 실험을 하여 그 성능 및 특성을 비교·분석하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

진동형 히트 파이프를 이용한 바닥 난방 패널의 최적 조건 및 작동 성능을 알아보기 위한 실험을 통하여 결과를 토대로 난방시스템의 성능을 평가하였다.

2.1 진동형 히트파이프의 작동원리

진동형 히트파이프(이하 PHP)는 Wick에 의한 증발부로의 작동액 환원 없이 유체의 진동에 열을 빠르게 수송하는 열전달 기구로 구조는 Fig. 1과 같이, 간단히 세관을 Serpentine시킨 밀폐 구조로서, 진공 상태로 만든 후 임의의 비율로 작동액 및 증기포의 불규칙적인 루프 내 순환 또는 축방향 진동에 의한 것이며, 가열부에 합쳐진 후 기액 슬러그류의 형태로 된다. 슬러그류는 압력파를 발생시킴과 동시에 축방향 진동을 동반하는 유동으로 되어 순환하고, 증기의 기포가 대류 열전달과 잠열수송을 한다.

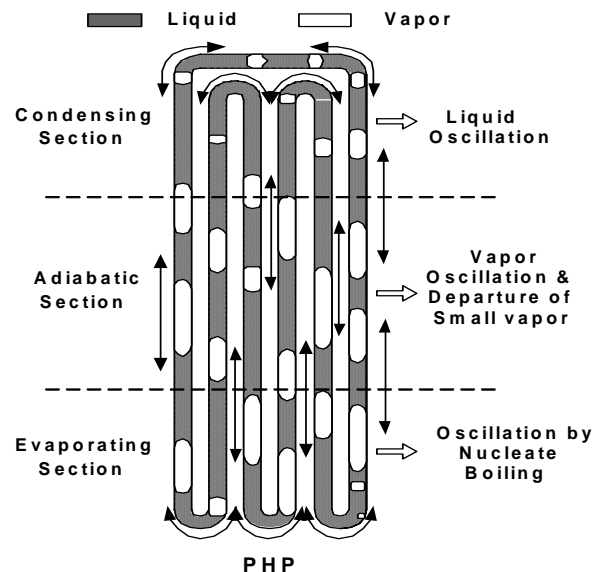
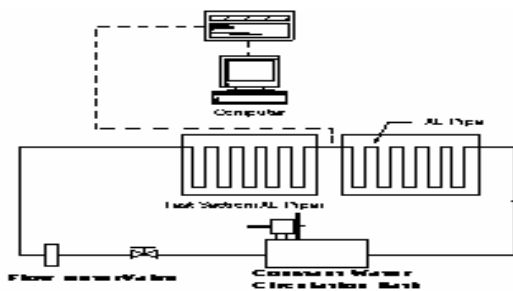


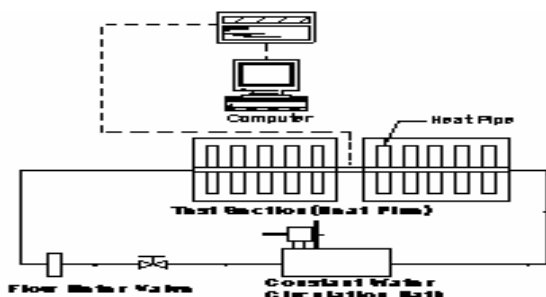
Fig. 1 Basic concept of pulsating heat pipe.

2.2 실험장치

사용된 실험 장치는 Fig. 2와 같이 시험부, 열원부, 계측부, 제어부로 구성되었다. PHP로 제작된 시험부는 외경 4.0 mm, 내경 3.1 mm인 강관을 서펜타인(serpentine) 구조를 갖도록 벤딩을 하였고, 각각 피치가 24 mm, 길이가 900 mm인 16 턴(32단) 비루프형으로 제작하였다. 전열 면적을 넓힐 수 있도록 직사각형의 좌·우면에 U형 홈이 파진 배관을 제작하였고(Fig. 3) 배관의 U형 홈에 PHP의 증발부를 삽입 후, 납으로 용접을 하였다. PHP는 작동 유체를 충전하기에 앞서, 내부를 로터리 펌프(RP)와 디퓨저 펌프(DP)로 이루어진 고진공 시스템으로 5.0×10^{-6} torr까지 진공하였고, 작동 유체의 충전에는 냉매 충전실린더(HGC-96, Taiatsu)를 사용하여 작동 유체를 봉입하였다. 이렇게 제작된 PHP형 바닥 난방 패널은 Fig. 4과 같이 0.9*0.9 m의 패널(함석판)에 부착시켜 총 2장의 패널을 직렬로 연결하였다.



(a) XL Pipe Type



(b) Heat Pipe Type

Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

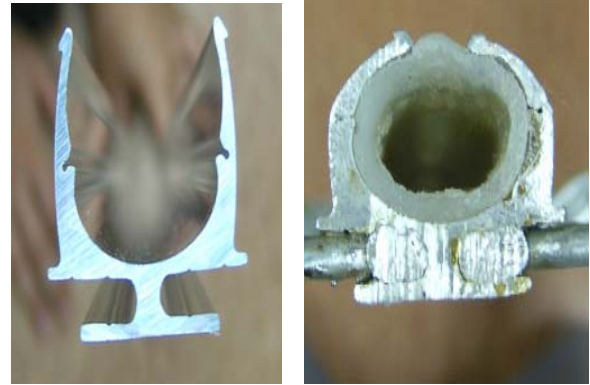


Fig. 3 Schematic diagram of hot water flow Pipe

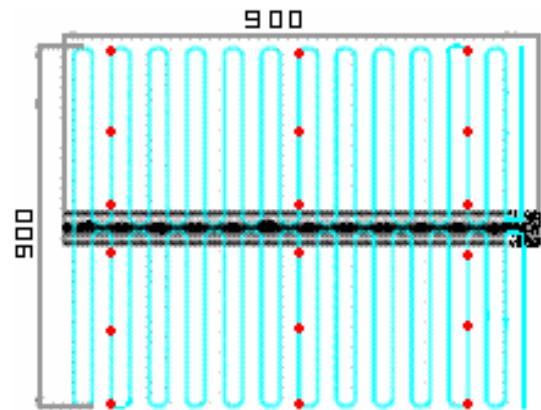


Fig. 4 Schematic diagram of test section

열원부로는 60~70°C의 열원을 공급하기 위하여 항온조(HMT-300-CBN-28-30)가 사용되었으며, 제어부는 원활한 유량을 공급하기 위한 순환 펌프와 인버터로 펌프 회전수를 조정하여 공급 유량을 제어하였다. 또한 계측부는 T-type 열전대를 사용하여 다점의 온도를 측정하기 위하여 Hybrid Recorder (yokogawa, DR-230)와 이것과 인터페이스를 위한 PC로 구성되어 있다.

2.3 실험방법

PHP와 PHP형 패널의 성능과 온도분포를 알아보기 위해 온수의 입·출구 측에 T형 열전대를 각각 1개씩 부착하였고, PHP의 표면 온도를 측정하기 위해 Fig. 4에서와 같이 수배관에 접촉하고 있는 PHP 표면과 PHP 끝단부, 그리고 양끝으로부터 중간 위치에 T형 열전대를 부착하였다. 또

한, 일본 BL규정에 의거하여 패널 표면의 온도를 측정하기 위해 T형 열전대를 PHP형 패널에서 전 열관과 접한 패널의 표면에 1개, 이곳을 중심으로 4등분한 곳의 중간에 각각 1개씩, 그리고 패널의 끝단에 4개 총 9개를 부착하였다. 그리고 실내 온도를 측정하기 위하여 열전대를 실내공기에 노출시켜 그 온도를 측정하였다. 시험부의 하단부는 외부로의 열손실을 막기 위해 단열재로 충분히 단열하였다. 열전대로부터 얻어진 데이터의 처리는 YOKOGAWA사의 DR230 계측 시스템과 컴퓨터를 이용하여, 매 10초 간격으로 90분간 측정하여 PC에 모든 측정값을 받아 프로그램 상에서 평균온도를 구하여 처리하도록 하였다. 본 실험에 사용된 열전대는 항온조에서 표준온도계로 보정하였으며, 온도측정에서의 편차는 보정값에서 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 정도로 나타났다.

온수 순환은 항온 순환 수조를 이용하여 PHP는 온수 온도 60°C , 유량은 1.5 kg/min , PHP형 바닥 난방 패널은 온수 온도 $60\sim 70^{\circ}\text{C}$, 유량은 $1.0\sim 2.0\text{ kg/min}$ 의 상태로 실험하였다. PHP형 바닥 난방 패널에 일정 유량을 공급하기 위하여 인버터로 펌프 회전수를 조정하여 공급유량을 제어하였다. PHP 내부의 작동 유체 봉입량에 대한 영향을 알아보기 위해 내부 봉입량을 30%, 40%, 50%로 하였으며, 작동 유체는 R-410a로 선정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험 결과

PHP를 이용한 온돌패널에서 내부 충전량에

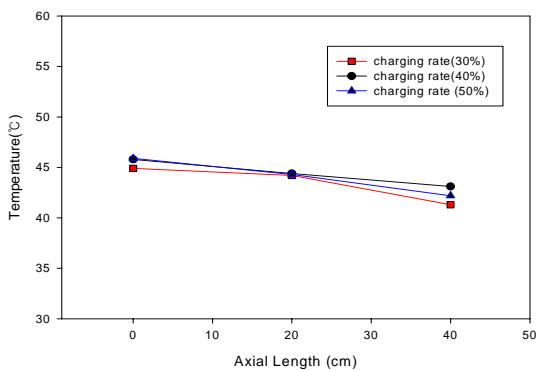


Fig. 5 Variation of wall temperature of PHP with inlet water charging ratio.
(inlet water temperature : 60°C)

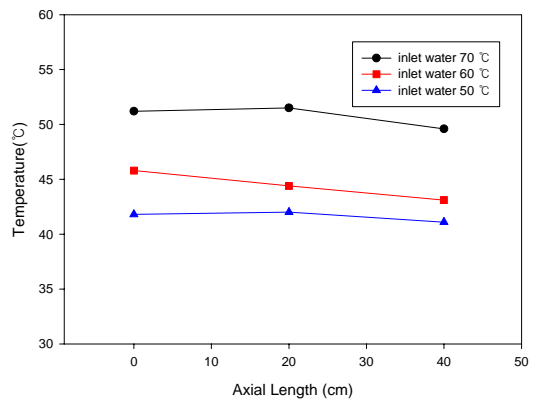


Fig. 6 Variation of wall temperature of PHP with inlet water temperature.
(charging ratio : 40%)

따른 PHP의 응축부 온도 분포를 알아보기 위해 온수온도, 유량 2 kg/min 로 일정하게 유지시킨 상태에서 축의 길이에 따른 온도의 변화를 Fig. 5,6에 나타내었다. PHP형 바닥 난방 패널의 증발부로부터 응축부까지의 길이 방향에 따른 온도의 변화를 알아본 결과 증발부(0 cm)로부터 멀어질수록 온도가 감소하였으나 증발부(0 cm)와 응축부(41 cm) 사이의 온도차가 Fig. 6에서와 같이 나타나 PHP형 바닥 난방 패널을 난방에 적용할 경우 XL Pipe를 이용한 바닥 난방보다 파이프간의 간격 또한 조밀하다는 사실과 함께 바닥전체의 온도가 거의 균일한 온도를 나타냄을 알 수 있었다.

Fig. 7은 바닥 난방 패널의 표면을 통한 단위 면적당 방열량을 유량에 따라 각각의 작동유체의 충전율에 따라 나타낸 것이다.

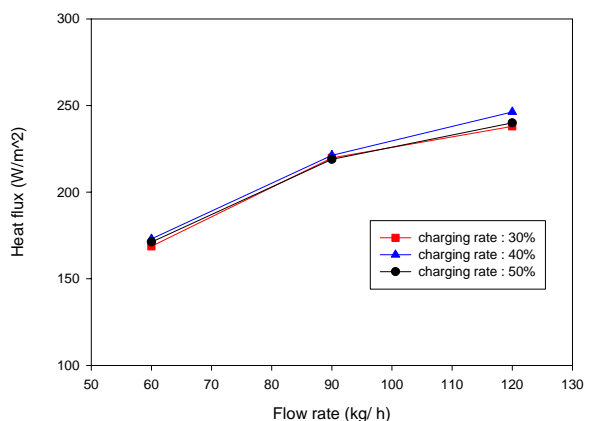


Fig. 7 Heat flux with charging ratio.
(inlet water temperature 70°C)

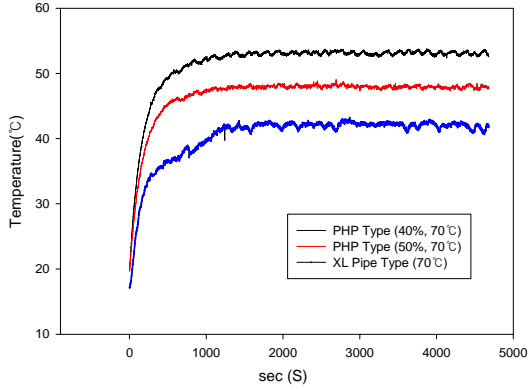
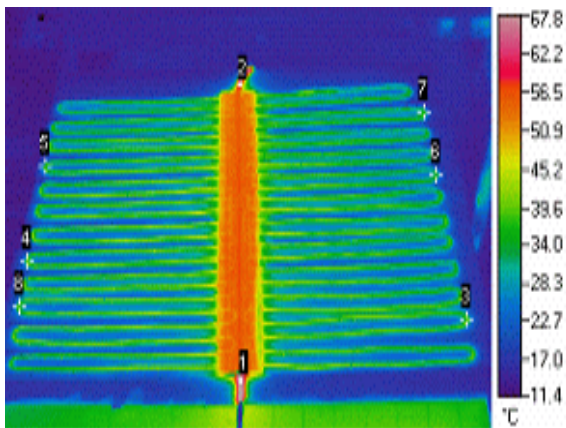


Fig. 8 Variation of surface temperature of panel with time.

방열량은 식 (1)과 같이 열유속으로 나타내었다.

$$q'' = \frac{mc_p(T_{w,i} - T_{w,o})}{A} \quad (1)$$

동일한 조건에서 내부 충전율이 40%인 경우가 30%, 50%인 경우보다 대체로 방열량이 크게 나타났다. Fig. 8은 동일한 유량에서 시간에 따른 PHP와 XL파이프를 이용한 바닥 난방 패널의 온도를 비교한 것이다. PHP를 이용한 바닥 난방 패널이 XL파이프보다 높은 온도에서 일정해졌고, 정상온도에 도달하기까지 시간도 적게 소요된 것을 알 수 있다.



	1	2	3	4	5	6	7	8
Emissivity	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Avg Temp	45.2	45.9	45.5	46.1	45.3	45.8	45.1	45.9

Fig. 9 Infrared thermal image of the panel surface

Table 1 Heat Flux and mean temperature of each experimental condition

pipe type	Inlet water temperature (°C)	Flow rate (kg/min)	Heat Flux (W/m²)	Mean temperature of PHP (°C)
Heat pipe	60	1.0	148.6	45.6
	60	2.0	226.8	47.2
	70	1.0	159.4	50.7
	70	2.0	248.9	52.4
XL pipe	60	1.0	138.7	38.2
	60	2.0	205.7	40.6
	70	1.0	153.1	42.3
	70	2.0	232.7	42.7

Fig. 9은 PHP의 전체 온도 분포를 가시화하기 위하여 열화상 카메라(TH9100ML-NEC)로 촬영한 것이다. 실험 결과와 같이 바닥 난방에 적합한 온도가 전체에 균일하게 나타난다.

4. 결론

진동세관형 히트파이프와 XL파이프를 이용한 온돌 시스템의 성능 평가에 의해 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 기존의 히트 파이프를 이용한 바닥 난방에서는 작동액의 원활한 순환을 위하여 히트 파이프에 경사를 주었지만, PHP를 이용할 경우 경사가 없이도 원활히 작동하였고, PHP를 바닥 난방 패널에 적용하여도 열적응답성이 우수하였다.

(2) PHP를 이용한 온돌 시스템에서 작동유체의 충전율이 40%인 경우 가장 우수한 열전달 성능을 나타내었다.

(3) 동일 조건의 온수 온도에서 PHP를 이용한 온돌 패널이 XL 파이프를 이용한 온돌 패널보다 5°C 가량 더 높은 표면온도를 나타내었고 열응답 시간이 6분정도가 짧았다.

참고문헌

1. J. Y. Son, "Ondol Heating System", Magazine of the SAREK, Vol. 34, No. 8, 2005, pp. 9-15.
2. Y. M. Yeon, D.K. Kim, S. K. Lee, "A Study on the thermal Characteristics of Heating System with Floor Radiation", Journal of

- institute of Construction Technology, Vol. 21, No. 2, 2002, pp. 41-53.
3. J. S. Kim, "Heat Pipe Science and Engineering", Vol. 3, No. 1, 2003, pp. 1-8.
 4. S. W. Kim, D. W. Lee, H. S. Park, "Development of an Improved On-Dol System", Korea national Housing Corporation, 1996, pp. 1-35.
 5. S. D. Park, Y. J. Kim, J. H. Min, "Comparative Study on Thermal Characteristics of the ONDOL Heating", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 8, No. 2, 1992, pp.111-122.
 6. H. Akachi, "Looped Capillary Tube Heat Pipe", Proceedings of 71th General meeting Conference of JSME, Vol. 3, No. 940-10, 1994, pp. 606-611.
 7. N. Hosoda, S. Nishio and R. Shiraksshi, "Bubble-Driven Heat Transport Tube (Flow Patterns and Heat Transport Model)", 34th National Heat Transfer Symposium of Japan, Vol. 1, 1997, pp. 267-268.
 8. H. Akachi, 1994, "Looped Capillary Tube Heat Pipe", Proceedings of 71th General meeting Conference of JSME, Vol. 3, No. 940-10, pp. 606-611