

진동형 히트파이프를 이용한 바닥 난방패널 개발에 관한 연구

임 석 진[†], 이 성 호*, 김 정 훈**, 김 종 수***
부경대학교 대학원^{††}, 부산대학교 기계공학부^{**}, 부경대학교 기계공학부^{***}

An experimental study on floor heating panel using a pulsating heat pipe

Suk-Jin Lim[†], Sung-Ho Lee*, Jeung-Hoon Kim**, Jong-Soo Kim***

[†]Department of Refrigeration & Air Conditioning Engineering, Graduate School of Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

^{**}School of Mechanical Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

^{***}Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

ABSTRACT: As a basic study to develop heating panel, the purpose of this study was to know possibility as a floor heating panel. We investigated working conditions and performance of pulsating heat pipe. Tests were conducted under the next conditions; Working fluid were R-22 and R-134a, charging ratio 40% and 50%, temperature of inlet water 60°C and 70°C, flow rates 1 ~ 3 kg/min.

The experimental results indicate that the pulsating heat pipe charged 50% showed better performance than 40%, R-22 is more suited to the working fluid than R-134a, and it has a possibility which can be applied to floor heating panel using a pulsating heat pipe.

Key words: Pulsating heat pipe(진동형 히트파이프), Charging ratio(충진율), Floor heating panel(바닥 난방패널)

기 호 설 명

- \dot{m} : 온수 질량유량 [kg/min]
- C_p : 비열 [J/kg·°C]
- q'' : 열유속 [W/m²]
- $T_{w,i}$: 수입구 온도 [°C]
- $T_{w,o}$: 수출구 온도 [°C]
- A : PHP 전열면적 [m²]

1. 서 론

4계절의 변화가 뚜렷한 우리나라는 예로부터 주거용 공조난방으로 복사난방 방식인 온돌이 이용되어왔으며, 많은 변화를 겪으며 현재까지 대부분의 주택 난방에 지속적으로 적용되고 있다. 외국에서는 복사난방방식이 부드럽고 쾌적한 온열감을 제공하고, 기타 난방방식에 비해 난방성능과 에너지 절약적인 면에서 우수하고, 시스템이 단순하며, 저렴하고, 초기투자비용 및 유지비용이 적고, 정숙하며, 반송동력이 적다. 그리고 방열면적이 넓기 때문에 복사바닥의 온도는 설정 온도보다 단지 몇 도가 높을 뿐이므로 저온의 온수를 이용할 수 있고 다른 열원을 사용하는 난방

[†]Corresponding author
Tel.: +82-51-620-1502; fax: +82-51-620-1502
E-mail address: iuizzang@nate.com

시스템과 연결할 수도 있다. 하지만 기존의 바닥 난방시스템은 에너지의 대부분을 석유로부터 충당하고 있는 우리나라의 현실을 고려할 때, 이러한 난방 시스템의 효율을 높일 수 있다면 에너지 절감에 따른 경제적인 효과는 대단히 클 것이다. 그리고, 국내 주거용 건축물에 적용되고 있는 바닥 난방시스템은 개·보수에 대한 용이성, 실생활 패턴에 맞는 운전방식 등에 대응할 수 있는 실질적인 방안이 절실히 요구되고 있다. 이러한 이유에서 신 개념의 바닥 난방시스템의 개발 및 최적화를 통한 환경보존 및 건물에너지 절약부문의 국가 정책에 적합한 대책 마련이 필요하다. 국내에서는 1990년대 초부터 열적 응답성이 뛰어난 히트파이프를 바닥 난방에 적용해 보려는 시도가 진행되었으나, 부피가 크고, 제작단가가 높은 문제점이 있었다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점들을 보완하는 동시에 새로운 바닥 난방시스템을 개발하는 것을 목표로, 진동형 히트파이프의 작동조건 및 성능을 평가하여 바닥 난방에 대한 적용가능성을 알아보고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서 사용되어진 실험 장치는 Fig. 1과 같이, 시험부, 유량조절과 공급온수를 조절하는 제어부, 그리고 데이터 처리부로 구성하였다. 진동형 히트파이프(이하 PHP)로 제작된 시험부는 Fig. 2와 같다. PHP는 외경 3 mm, 내경 2 mm

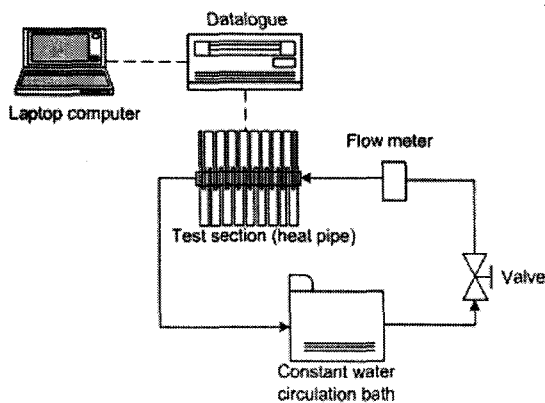


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

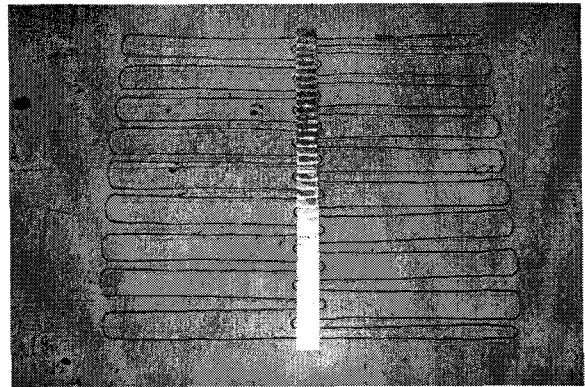


Fig. 2 Photograph of pulsating heat pipe.

의 동관으로 제작되었으며, PHP의 총 길이는 16.84 m이다. PHP의 증발부가 삽입되어 전열면적을 넓히고 접촉저항을 줄일 수 있도록 ‘-’자형 홈이 파진 직사각형의 알루미늄 지지대를 제작하여 ‘-’자형 홈에 PHP의 증발부를 삽입하여, 프레스를 이용하여 접합하였다.

작동유체로는 R-22와 R-134a를 사용하였으며, 작동유체의 충전량은 충전율에 따른 변화를 알아보기 위하여 전체 내부체적의 40%, 50%로 하였다. 항온조를 이용하여 온수를 공급하였으며, 순환펌프와 밸브를 이용하여 1~3 kg/min사이로 유량을 조절하였으며, Micro Mass Flowmeter를 이용하여 유량을 측정하였다. 그리고 온수로부터 공급되는 열의 손실을 막기 위하여 충분한 단열을 실시하였다. 온도측정을 위하여 T-type의 열전대를 이용하였다.

2.2 실험방법

진동형 히트파이프의 성능을 알아보기 위해 본 연구에서 온수 순환은 항온 수조를 이용하였다. 현재 국내 시공회사에서 적용하고 있는 개별난방과 중앙난방에 적용되는 공급온도인 50~70℃를 적용하여 온수의 온도를 각각 60℃와 70℃로 일정하게 유지시킨 상태에서 공급하였으며, 충전율이 40%, 50%인 히트파이프 각각에 대해 유량을 1 kg/min, 2 kg/min, 3 kg/min으로 조절하여 성능을 테스트하였다.

열유속을 구하기 위하여 온수 입출구에 열전대를 설치하였고, 진동형 히트파이프의 발현 성능을 측정하기 위하여 Fig. 3과 같이 T-type 열전대를 양끝단(응축부) 표면 총 19곳에 부착하였다.

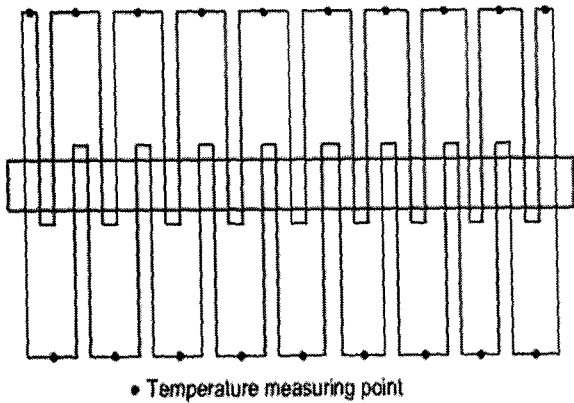


Fig. 3 Temperature measuring points.

열전대로부터 얻어진 데이터의 처리는 Yokogawa사의 DR230 계측시스템과 컴퓨터를 이용하여, 10초 간격으로 120분간 데이터를 검출하여 컴퓨터로 처리하였다.

3. 실험결과 및 고찰

PHP의 최적 작동조건 및 성능평가를 위하여 각각의 작동유체의 충전율에 따른 히트파이프의 표면온도변화와 방열량을 구하였다.

공급온수 온도와 유량을 일정하게 하고, 충전율을 변화시키면서 총 21부분의 온도를 10초 간격으로 2시간 동안 측정하여, 히트파이프 표면온도와 방열량을 냉매별로 비교분석하였다. PHP의 표면온도는 양끝단(응축부)에 부착되어진 19곳의 측정지점으로부터 얻어진 데이터의 평균온도를 시간에 따라 구하였다.

Fig. 4와 Fig. 5는 공급온수 온도가 각각 60℃, 70℃, 작동유체 R-22일 때의 표면온도를 나타내었다. 그림에서와 같이, 동일한 조건하에서 충전율을 50%로 충전된 경우가 더 높은 표면온도를 나타내었으며, 약 10분후에 거의 일정한 표면온도를 나타내었다. 또한 충전율이 같을 경우, 유량이 작을수록 더 높은 표면온도를 나타내었다. 이는 유량이 증가함에 따라 압력강하가 유속의 제공에 비례적으로 증가하여 운수순환에 영향을 주어 유량이 클수록 낮은 표면온도를 나타내는 것으로 생각된다.

공급온수 온도가 70℃일 때 PHP의 표면온도는 60℃의 경우와 비슷한 양상을 나타내었다. 유량이 작을수록, 그리고 충전율 50%일 때의 표면온

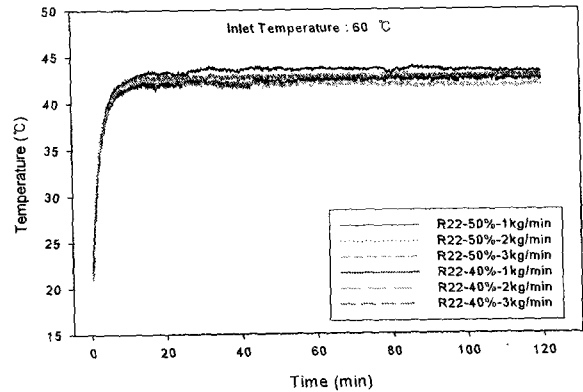


Fig. 4 Variation of wall temperature of PHP with inlet temperature.

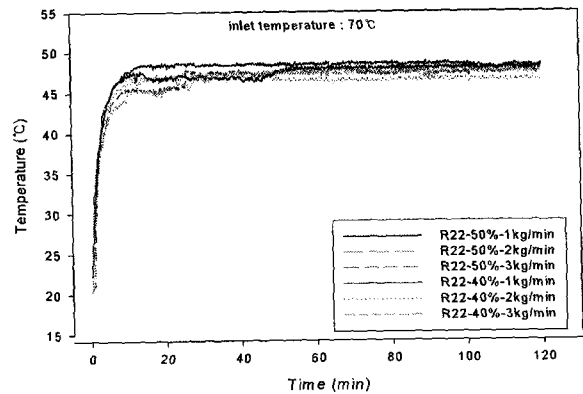


Fig. 5 Variation of wall temperature of PHP with inlet temperature

도가 높게 나타났다.

Fig. 6은 작동유체가 R-134a, 공급온수가 60℃일 때 PHP의 표면온도를 나타내고 있으며, R-22로 충전된 PHP에 비하여 약 1~2℃정도 낮은 온도를 나타내었다.

Fig. 7은 공급온수 70℃일 때의 PHP 표면온도를 나타내고 있으며, 충전율 50%, 유속이 1 kg/min일 때 가장 높은 표면온도를 나타내었다. 작동유체를 R-22로 하는 PHP의 표면온도와 비교했을 때, 동일조건하에서 약 1~3℃정도의 차이를 보였다. 이는 R-22의 비등점이 -40.81℃인데 비해 R-134a의 비등점은 약 15℃정도 높은 -26.07℃로 열을 수송하는 능력에 있어 비등점이 낮은 R-22가 우수하기 때문으로 생각되어진다.

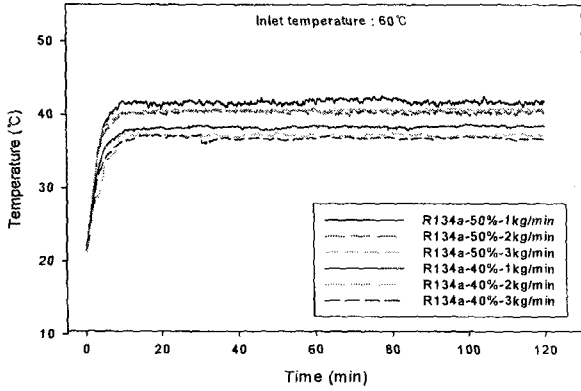


Fig. 6 Variation of wall temperature of PHP with inlet Temperature

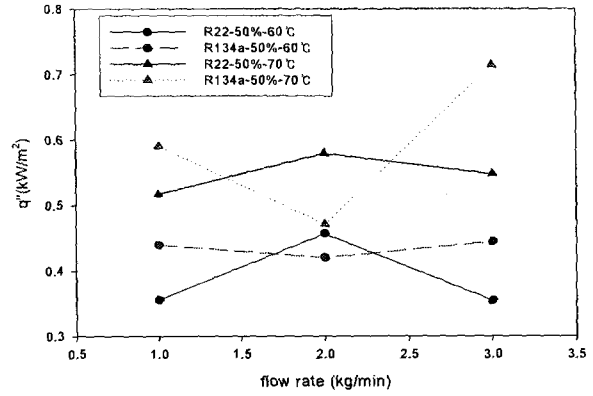


Fig. 8 Comparison with heat flux according to flow rate

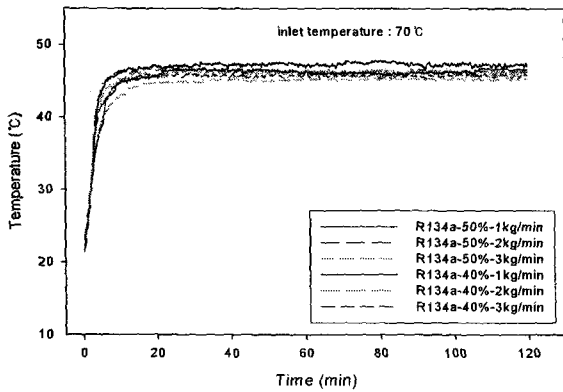


Fig. 7 Variation of wall temperature of PHP with inlet Temperature

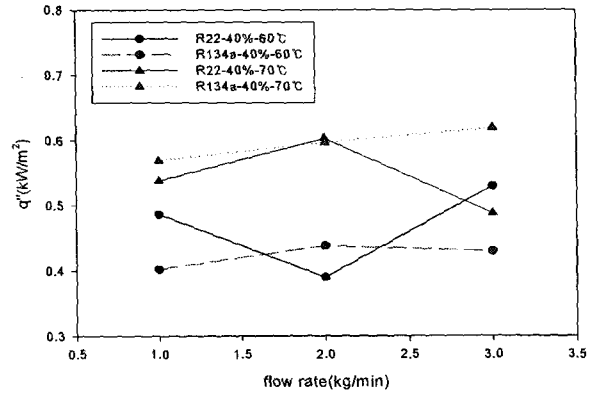


Fig. 9 Comparison with heat flux according to flow rate

각 실험조건에 따른 PHP의 양끝단(응축부)의 평균온도는 거의 균일하게 나타났다. 이것으로 보아 PHP를 바닥 난방에 이용할 경우 기존의 XL pipe나 그 외의 난방 방식보다 바닥전체가 균일한 온도분포를 나타내 열골 현상이 적을 것임을 알 수 있다.

단위 면적당 방열량은 열유속으로 나타내었으며, 식(1)과 같다.

$$q = \frac{\dot{m}c_p(T_{w,i} - T_{w,o})}{A} \quad (1)$$

Fig. 8은 충전율 50%, 공급 온도 60°C, 70°C일 때 유량에 따른 열유속을 냉매별로 나타내었다.

R-22의 경우 유량에 따라 열유속이 점점 증가하다가 2 kg/min을 기점으로 다시 감소하였으나, R-134a는 반대로 감소하다가 증가하였다.

Fig. 9는 충전율 40%, 공급 온도 60°C, 70°C일 때, 유량에 따른 열유속의 변화를 나타내고 있다. 공급온수가 70°C일 때는 충전율이 50%일 경우와 비슷한 경향을 보였으나, 60°C일 때는 정반대의 경향을 나타내었으며, 동일한 조건하에서 유량이 1 kg/min일 때가 가장 뛰어난 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이는 국내 시공회사에서 1.5 m/s이하로 규정하는 유속범위에 포함되며, PHP의 표면온도가 작동유체 R-22와 R-134a, 각각 충전율 50%, 유량 1 kg/min에서 40°C이상이라는 점에서 바닥 난방패널로서 적용이 가능하다

고 생각된다.

따라서, 향후 실험에서는 PHP를 적용한 바닥 난방패널을 제작하여 모형 룸에 설치할 계획이며, 실온 분포 및 바닥표면온도 측정을 통한 성능 및 열전달 특성에 대하여 연구할 계획이다.

4. 결론

진동형 히트파이프를 적용한 바닥 난방패널을 개발하기 위한 기초 연구로써, 진동형 히트파이프의 작동조건 및 성능을 분석하고 새로운 바닥 난방시스템으로의 적용 가능성을 알아보고자 연구를 수행하였으며, 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) R-22와 R-134a 모두 충전율 50%, 유량이 1 kg/min일 때, 진동형 히트파이프의 표면 평균 온도는 40℃이상의 우수한 성능을 나타내었다.

(2) 동일한 조건하에서 작동유체를 R-22로 충전한 경우가 R-134a로 충전할 때 보다 약 2~3℃정도 더 높은 표면 평균온도를 나타내었다.

(3) 진동형 히트파이프의 성능실험 결과 평균 표면 온도가 40~50℃를 나타내는 것으로 보아, 패널로 제작하여 실제 주택에 적용하더라도 충분한 온열감과 쾌적한 실내 환경을 조성하는 것이 가능할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Kim, J. S., et. al., 2002, A Study on the Performance of the On-dol System using Oscillating Capillary Tube Heat Pipe, Proceedings of the SAREK 2002 Winter Annual Conference, pp. 128~133.
2. Yee, J. J., et., al., 2005, A Performance Evaluation on the Prefabricated Floor Heating System using Thermo Siphon Type Heat Pipe, Architectural Institute of Korea, Vol. 21, pp. 173~180.
3. Wong, T. N., et. al., 2001, Closed-loop pulsating heat pipe, Applied Thermal Engineering, Vol. 21, pp. 1845-1862.
4. Yeon, Y. M., et., al., 2002, A Study on the Thermal Characteristics of Heating System with Floor Radiation, The Institute of Construction Technology, Vol. 21, pp. 41~53.
5. Kim, C. J., et., al., 2001, A Study on the Performance of the Heat Pipe for Ondol Heating System Using Heat Pipe, Proceedings of the SAREK 2001 Summer Annual Conference, pp. 1476~1481.