대한설비공학회 2009 하계학술발표대회 논문집 pp. 0279 ~ 0283

09-S-048

Bubble Jet Loop Heat Pipe의 유동 가시화

이 현 직†,공 상 운, 하 수 정, 황 종 호, 장 정 완, 손 길 재, 김 종 수*
부경대학교 냉동공조공학과, *부경대학교 기계공학부

Flow Visualization of Bubble Jet Loop Heat Pipe

Hyun-Jik Lee†, Sang-Woon Kong, Soo-Jung Ha, Jong-Ho Hwang, Jeong-Wan Jang, Kil-Jae Son, Jong-Soo Kim*
Graduate school, Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyung National University
**Department of Mechanical Engineering, Pukyung National University*

ABSTRACT: Bubble jet loop heat pipe is what heat pipe operate in the horizontality. It is consist of one heating part creating bubble and one rounded U tube type radiator. This study shows whether the heat pipe operates well in the horizontality or not, and what optimized refrigerant charging rate is in the tube. But flow visualization of bubble jet heat pipe was not known. The purpose of this study is to visualize bubble jet loop heat pipe. The experiment was performed by changes of charging rate. Working fluid was R-141b. And heater of 220 V & 100 W was used. we take a photograph of flow visualization of bubble jet loop heat pipe in slow motion.

Key words: Loop Heat Pipe(루프 히트 파이프), Bubble Jet(버블 젯트), Oscillating (진동)

1. 서 론

히트파이프(heat pipe)는 상변화를 이용한 밀폐 루프로 된 열수송 소자로서 작은 온도차로 대량의 열수송이 가능하다. 최초 미국 GM사의 R. S. Gaugler[(1)]가 1942년에 특허 출원한 「Heat Transfer Device」가 시초였으며, 그 후 1963년 미국 Los Alamos 연구소의 G. M. Grover[(2)]가 특허 출원한「Evaporation-Condensation Heat Transfer Device」로서 heat pipe라고 하는 명칭이 처음으로 사용되었다.

초기의 연구 개발은 대부분 우주선의 온도 제어나 우주선의 전원인 열전자 발전용 전열 기기 등에 적용되었으나, 그 이후 지상에서의 이용, 즉 중력 하에서 히트 파이프 이용이 활발하게 되었다. 1970년대에는 산업 기기로의 응용 개발이 시작되어, 현재는 전자・전력 기기의 방열, 폐열 회수용 열교환기, 금형 냉각, 융설, 태양열 집열기 등에 사용되고 있으며, 냉동・공조 분야에는 제빙, 현열 열교환기 등이 실용화되어 있다. 기존의 히트파이프는 수평상태에서는 거의 동작이 되지 않고 있어 이를 해결하기위해 기포를 발생・분출

† 부경대학교 냉동공조공학과 대학원
Tel.: +82-51-629-6176; fax: +82-51-629-6176
E-mail address: paoli@nate.com

시키는 Bubble Jet을 이용한 Loop Heat Pipe(이하 BJLHP)를 발명하였다. 본 연구에서는 최근 저자들이 연구 개발한 BJLHP의 가열부 경사각이 45°일 때의 작동 원리 및 기초적인 성능 결과와 유동 가시화를 통한 분석을 서술하고자 한다.

2. BJLHP의 작동 원리

Fig. 1에 BJLHP의 작동원리를 나타내었다. 기포발생부는 동심 2중 원형 튜브로 되어 있으며, 구경이 작은 내부 원통에는 카트리지 형태의 가열 히터가 삽입되고, 내부원통과 외부원통 사이에는 좁은 환형(narrow circular shape)의 틈이 생기게 된다. 이 환형의 좁은 틈 사이에서 작동액을 핵비등(nucleate boiling)시켜 기포를 분출시킴으로써 가열부와 방열부 사이에 압력차를 형성시켜 작동액을 펌핑하고, 기포의 불안정 진동(unstable oscillating)에 의하여 작동액을 진동시켜 루프 히트파이프내의 작동액을 순환 및 진동시켜 열을 잠열 형태로 대량 수송하게 된다.

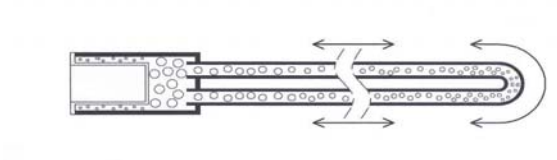


Fig. 1 Basic Operating Principle of BJLHP

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 실험에 사용된 BJLHP의 형상은 Fig. 2에 나타내었고, 제원은 Table 1과 Table 2에 나타내었다. BJLHP는 기포를 발생시켜 분출시키는 기포 발생부와 분출된 기포와 작동액을 순환시키는 U 튜브로 구성되어 있으며, 기포 발생부는 가열부이며 U 튜브 부분은 방열부가 된다.
Fig. 3는 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험장치는 히트파이프, 가열 전원 입력부와 온도 계측부로 구성되어 있다. 히트파이프의 가열부 및 방열부의 온도는 T-type 열전대를 사용하여 데이터 로그를 거쳐 컴퓨터로 2초 간격으로 측정하였다.

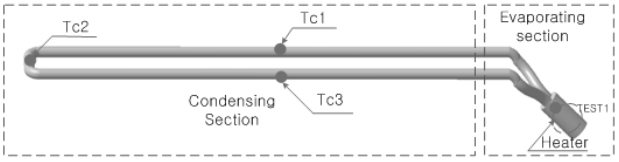


Fig. 2 Schematic of BJLHP

Table 1 Specification of Heat Pipe

	Heat Pipe	Heater
Type	Looped	Cartridge
Length (mm)	2100	50
O.D (mm)	9.5	17.0
I.D (mm)	8.0	-
Capacity (W)	-	220 V, 100 W

Table 2 Specification of Heat Pipe(Visualization)

	Heat Pipe	Heater
Type	Looped	Cartridge
Length (mm)	2100	50
O.D (mm)	10	19
I.D (mm)	5.5	-
Capacity (W)	-	220 V, 100 W

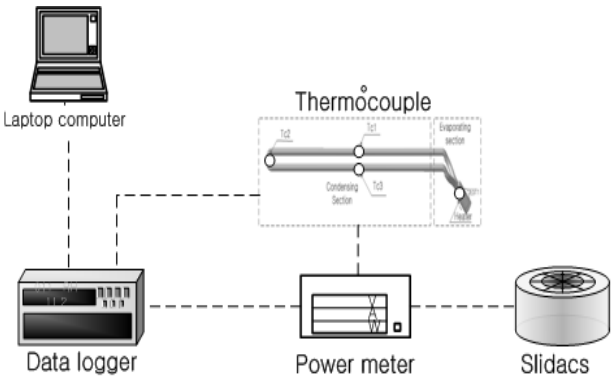


Fig. 3 Schematic of experimental set up

Table 3 Experimental conditions of BJLHP

Inclination angle	refrigerant	Charging rate(vol.%)		
45°	R-141b	40	50	60

3.2 실험 방법

실험에 사용한 냉매의 충진률과 가열부의 경사각을 Table 3에 나타내었다. 가열부의 경사각(Inclination angle) 45° 일 때 냉매 충진률 40%, 50%, 60vol.%의 온도특성을 알아보았다. 히터의 입력은 220 V, 100 w로 입열하였다. 입열량은 전압조정기로 조절하였으며, 와트 메터(Protronix co.) 로 측정하였다. 히트파이프의 가열부 및 방열부의 온도는 T 타입 열전대를 사용하여 데이터 로그를 거쳐 컴퓨터로 2초 간격으로 측정하였다. 동시에 고속도 카메라(Phantom V 7.2)로 히트파이프 전체의 온도분포를 가시화 하였다.

각각의 실험에서 증발부, 응축부1, 2, 3에서 온도측정을 통하여 BJLHP의 작동여부 및 증발부와 응축부와의 온도차를 측정하여 최적의 냉매 충진률을 구하였다. 이를 토대로 가시화 실험은 앞서 최적의 냉매 충진률로 차징한 후 동일한 방법으로 실험을 수행하였다. 모든 실험은 BJLHP가 수평인 상태에서 진행되었다.

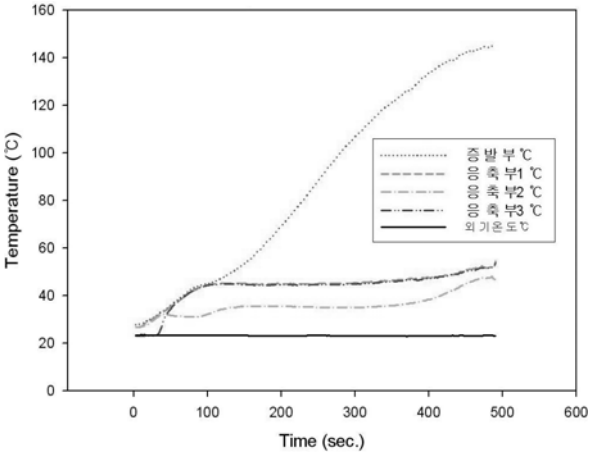
4. 실험결과

Fig. 4는 각 가열부의 경사각도에 대하여 냉매 충진률을 조건에 따라 변화시킨 후 시간의 경과에 따른 BJLHP의 온도 변화를 그래프를 나타낸 것이다. 경사각 45°에서 충진률 40%일 때 증발부와 응축부의 온도차가 90-100℃ 정도로 발생하는 것으로 나타났다. 이는 Fig. 5를 보면 알수 있듯이 작동액의 부족으로 증기 발생량이 줄어들고 이로 인해 열전달량이 감소하게 되어 작동액이 쉽게 과열 되어 드라이 아웃이 발생되었다.

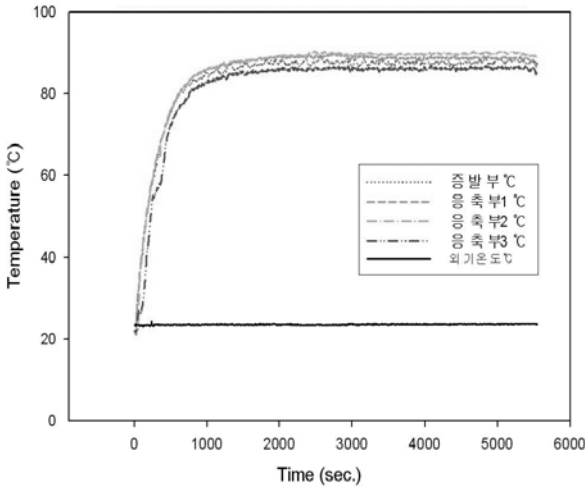
냉매 충진률이 40%인 BJLHP의 경우를 제외하고는 모든 그래프에서 800 sec 까지는 히트 파이프 온도가 급상승하였고, 1000 sec 이후부터는 열평형을 이루는 것을 알 수 있었다.

경사각 45°의 경우 50%와 60%의 냉매 충진률에서 히트파이프 내부의 온도차가 각각 약 3.5℃, 5℃ 내외로 안정적으로 작동되는 것을 확인할 수 있었다.

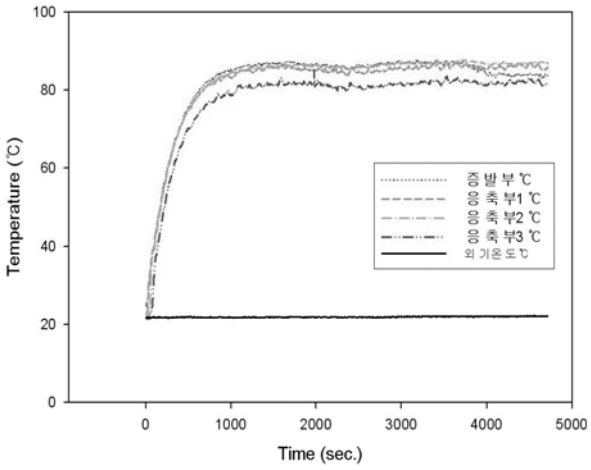
BJLHP내의 냉매의 유동을 알아보기 위한 가시화실험의 결과를 Fig. 5, Fig. 6 그리고 Fig. 7에 나타내었다. BJLHP내의 냉매는 히터가 가열됨에 따라 냉매가 기화하여 bubble이 계속적으로



(a) Inclination angle : 45˚, Charging Rate : 40%



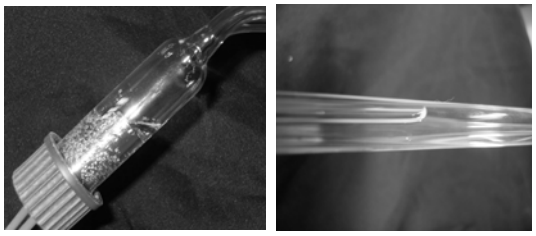
(b) Inclination angle : 45˚, Charging Rate : 50%



(c) Inclination angle : 45˚, Charging Rate : 60%

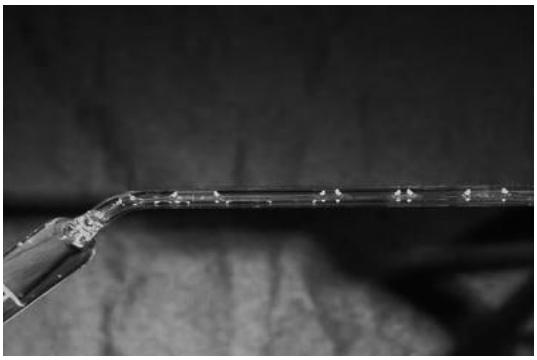
Fig. 4 Temperature propile og bubble jet loop heat pipe with inclination angle 45˚

발생하게 되고, 히트파이프 끝단으로 이동하면서 냉매가 응축하면서 열을 방출한다. 가열부 근처 부분에서는 기·액 슬러그의 형태로 관을 꽉 채운 상태로 유동하지만, 히트파이프의 끝단으로 갈수록 기화된 냉매가 많이 응축함에 따라 응축된 액 냉매는 관의 바닥을 흐르고 아직 응축되지 않은 기화된 상태의 냉매는 액 냉매의 위를 흐르는 것을 알 수 있었다.



(a) evaporating section (b) condensing section

Fig . 5 Flow visualization(charging rate 40%)

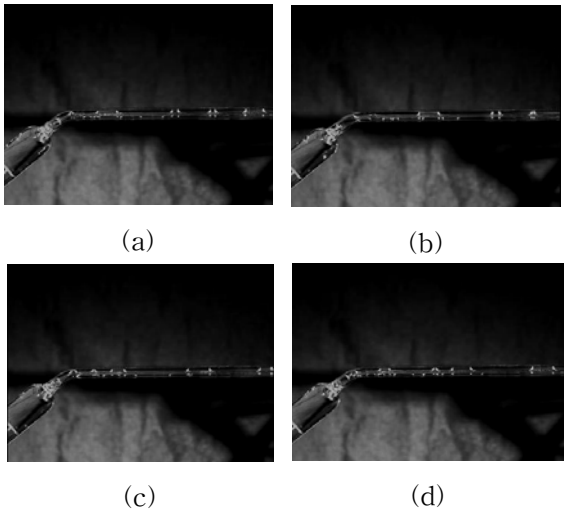


(a) visualization (evaporating section)

(b) visualization (condensing section)

Fig. 6 Flow visualization (50% & 60%)

본 가시화 실험을 통해 BJLHP의 형태가 루프형이었지만 진동세관형 히트파이프처럼 냉매가 한쪽 방향으로 순환은 거의 하지 않고, 가열부에서 응축부의 끝단까지 직선 왕복운동을 하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 히터 가열에 의해 발생한 bubble이 양쪽의 관으로 분배되어 흘러간 후 응축부 끝단의 U자 모양의 관에서 양쪽의 냉매가 충돌하는 것으로 인해 발생하는 것으로 해석되어진다. BJLHP 내의 냉매가 원활하게 순환하도록 하기 위해서는 bubble이 발생되어 흘러가는 관은 bubble이 잘 발생하는 곳으로 하되, 응축되어 돌아오는 관의 위치를 bubble이 잘 발생하지 않는 곳으로 변화시킨다면 될 것이라 생각되어 진다.



(a) (b)

(c) (d)

Fig. 7 Phase of refrigerant flow

5. 결론

연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 가열부 경사각 45°에서 냉매 충진률 40 vol.% 에서는 dry out이 발생하여 응축부로의 열전달이 약하게 이루어졌다.

(2) 가열부 경사각 45°인 경우, 50% vol.의 냉매 충진률에서 증발부와 응축부의 온도차가 3℃ 이내로 가장 우수한 열전달 성능을 나타내었다.

(3) BJLHP 동작 후 800 sec.까지는 히트파이프 전체의 온도가 급상승하며, 1000 sec.이후부터는 열평형을 이루는 것을 알 수 있었다.

(4) 가시화 실험에서 냉매의 흐름이 가열부근

처에서는 기·액 슬러그의 형태로 흐르지만 BJLHP의 끝단으로 갈수록 기체는 관의 위쪽 부분, 액체는 관의 바닥부분을 흘러가는 것을 알 수 있었다.

(5) BJLHP 내의 냉매의 유동이 순환되도록 하기위해서는 bubble이 발생되어 흘러가는 관은 bubble이 잘 발생하는 곳으로 하되, 응축되어 돌아오는 관의 위치를 bubble이 잘 발생하지 않는 곳으로 관 형상의 변화가 필요하다.

후 기

본 연구는 교육과학 기술부와 한국산업 기술재단의 지역혁신 인력 양성사업으로 수행된 연구 결과입니다.

참고문헌

1. Gaugler, R. S., 1944, " Heat transfer device", U.S. Patent 2,350,348.
2. Grover, G. M., 1963, "Evaporation-condensation heat transfer device", U. S. Patent 3,229,759.
3. Kong, S. W., 2009, Development of Loop Heat Pipe Using Bubble Jet, Proceedings of the SAREK 2009 Four Regional Conference, pp. 65-68.
4. Hwang. J. H, 2009, An experimental study to bubble jet pulsating loop heat pipe, Proceedings of the KSME 2009 spring annual meeting, pp. 263-267.