

# Bubble Jet을 이용한 Loop Heat Pipe의 개발

공 상 운<sup>†</sup>, 하 수 정, 장 정 완, 황 종 호, 손 길 재, 이 현 직, 김 중 수\*

부경대학교 대학원 냉동공조공학과, \*부경대학교 기계공학부

## Development of Loop Heat Pipe Using Bubble Jet

Sang Woon Kong<sup>†</sup>, Soo Jung Ha, Jeong Wan Jang, Jong Ho Hwang, Kil Jae Son, Hyun Jik Lee, Jong Soo Kim\*

Graduate school, Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, Pukyong National University

\*Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University

**ABSTRACT:** Bubble jet loop heat pipe is a newly devised variation of heat pipe in which heat is effectively transported by the latent heat of evaporation and condensation as well as the heat capacity of circulating working fluid. The circulatory and oscillating motion of the working fluid becomes possible by the motion of bubble jet which is generated at a narrow circular gap. These bubbles are condensed at the condensing section. Bubble jet loop heat pipe makes it possible to carry heat long distances upward and horizontal directions. Because its structure is a very simple and a low cost, it is available for the floor heating, vinyl house heating, the defrosting of heat pump system and home refrigerator.

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

### 기 호 설 명

$A$  : 히터 전열면적 [ $m^2$ ]  
 $q_L$  : 열유속 [ $W/m^2$ ]  
 $W$  : 입열량[W]

### 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<sup>(1)</sup>가 1942년에 특허 출원한 「Heat Transfer Device」가 시초였으며, 그 후 1963년 미국 Los Alamos 연구소의 G. M. Grover<sup>(2)</sup>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 회

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-629-6176; fax: +82-51-611-6368

E-mail address: jskim@pknu.ac.kr

수용 열교환기, 금형 냉각, 용설, 태양열 집열기 등에 사용되고 있으며, 냉동·공조 분야에는 제빙, 현열 열교환기 등이 실용화되어 있다. 본 연구에서는 최근 저자들이 연구 개발한 Bubble Jet 을 이용한 Loop Heat Pipe의 작동 원리 및 기초적인 성능 결과에 대하여 서술하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에 사용된 Bubble Jet Loop Heat Pipe의 형상 및 제원을 각각 Fig. 1 및 Table 1에 나타내었다.

Bubble Jet Loop Heat Pipe는 기포를 발생시켜 분출시키는 기포 발생부와 분출된 기포와 작동액을 순환시키는 U 튜브로 구성되어 있으며, 기포 발생부는 가열부이며 U 튜브 부분은 방열부가 된다. 히트파이프의 길이는 2.060 mm, 직경 16.0 mm, 작동액은 R-141b이며, 가열 히터는 220 V, 100 W 이다.

Fig. 2는 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험장치는 히트파이프, 가열 전원 입력부, 적외선 열화상 카메라와 온도 계측부로 구성되어 있다. 입열량은 전압조정기로 조절하였으며, 와트미터( Protronix co. ) 로 측정하였다. 히트파이프의 가열부 및 방열부의 온도는 T 타입 열전대를 사용하여 데이터 로거를 거쳐 컴퓨터로 1분 간격으로 측정하였다. 동시에 적외선 열화상 카메라(NEC-SanEi)로 히트파이프 전체의 온도분포를 가시화 하였다.

### 2.2 실험결과 처리 방법

기포발생부의 열유속은 식(1)로 계산하였다.

$$q_L = \frac{W}{A} \quad (W/m^2) \quad (1)$$

Table 1 Specification of Heat Pipe

	Heat Pipe	Heater
Type	Looped	Cartridge
Length (mm)	2060	50
O.D (mm)	16.0	17.0
I.D (mm)	14.0	-
Capacity (W)		220 V, 100 W

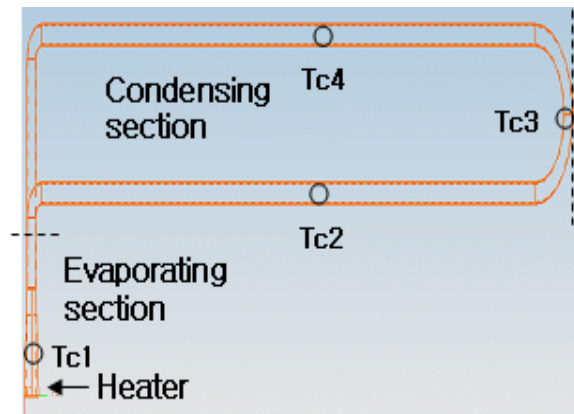


Fig.1 Schematic of Bubble Jet Loop Heat Pipe.

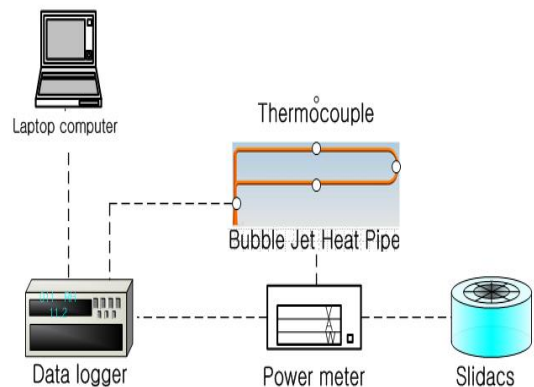


Fig. 2 Schematic of Experimental Set up.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 Bubble Jet Loop Heat Pipe의 작동원리

Fig. 3에 Bubble Jet Loop Heat Pipe의 작동 원리를 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 잠열형태로 대량 수송하게 된다.

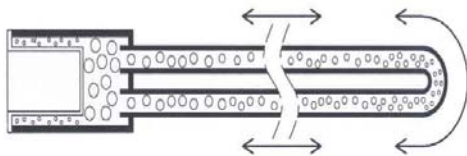


Fig. 3 Operating mechanism of bubble jet loop heat pipe.

#### 3.2 Bubble Jet Loop Heat Pipe의 온도분포

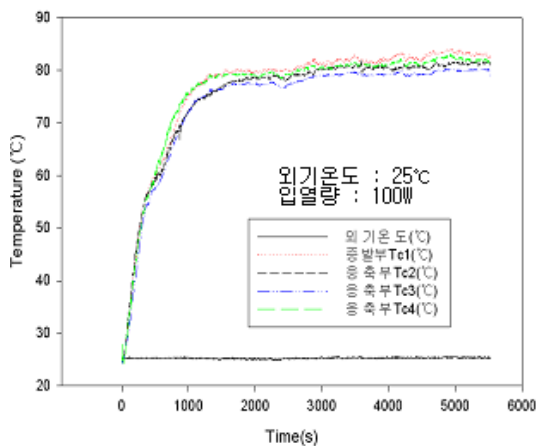


Fig. 4 Temperature profile of bubble jet loop heat pipe.

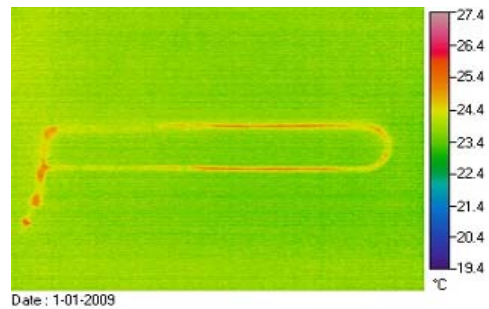
Fig. 4 에 입열량 및 시간에 따른 히트파이프 가열부 및 방열부의 온도분포를 나타낸 것이다.

증발부 온도(Tc1)와 응축부 온도(Tc2,3,4)의 차가 매우 작으며, 최대 온도차 3°C 이내로서 히트파이프가 정상적으로 작동되고 있으며, 열전달 성능이 매우 우수한 것을 알 수 있다. 이 히트파이프는 25°C의 대기중에 놓여 있으며, 시간 1000 sec 까지는 히트파이프 온도가 급상승하며, 1500 sec 부터는 열평형을 이루어 80°C를 유지하고 있다.

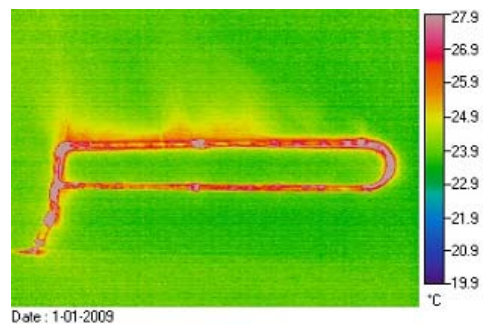
#### 3.3 Bubble Jet Loop Heat Pipe의 온도 분포열화상

Fig. 5는 입열량 100 W 일 때의 시간에 따른 히트파이프의 온도분포를 적외선 열화상으로 나타낸 것이다.

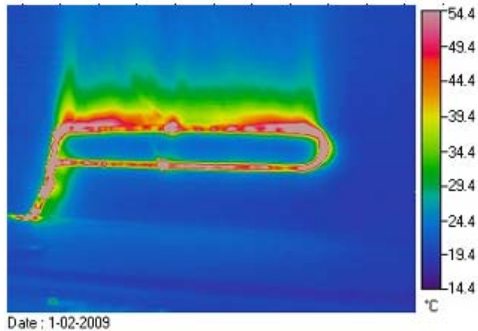
온도분포의 열화상으로부터 알 수 있는 것과 같이 히트파이프의 가열부와 방열부 전체의 온도가 균일하다는 것을 알 수 있다. 또한 시간이 경과함에 따라 히트 파이프의 전체 온도가 동시에 상승하고 있는 것을 알 수 있다.



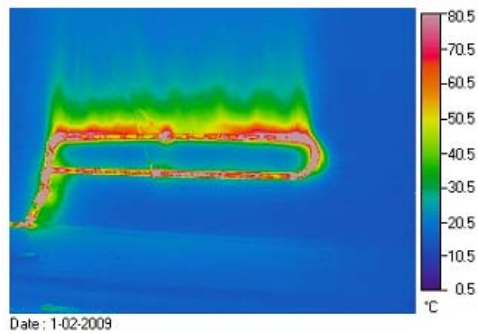
(a) 0 sec



(b) 60 sec



(c) 360 sec



(d) 5000sec

Fig. 5 Infrared thermal image of bubble jet loop heat pipe.

#### 4. 결론

실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 좁은 환형( narrow circular shape)의 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 잠열형태로 대량 수송할 수 있는 bubble jet loop heat pipe를 개발 하였다.

(2) 입열량 100 W시 가열부와 방열부의 온도차는 3°C 이내로서 우수한 성능을 나타내었다.

(3) 적외선 열화상으로 히트파이프 전체의 온도분포를 확인하여 작동상태가 우수함을 확인 하였다.

(4) 개발된 bubble jet loop heat pipe는 바닥난방, 비닐하우스 난방, 히트펌프 및 냉장고의 제상에 유용하게 응용될 수 있다.

#### 후 기

본 논문은 2008년도 누리사업에 의해 지원되었습니다.

#### 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.