

# 축방향 Sinusoidal 그루브를 갖는 히트파이프의 열성능에 관한 실험적 연구

서 정 세\*, 정 상 완\*, 정 경 택\*  
경상대학교 기계항공공학부, \*경상대학교 대학원

## An Experimental Study on the Thermal Performance of Sinusoidal Axially Grooved Heat Pipe

Jeong-Se Suh\*, Sang-Wan Chung\*, Kyung Taek Chung\*

School of Mechanical and Aerospace Engineering, GyeongSang National University, Jinju 660-701, Korea

\*Department of Mechanical Engineering, GyeongSang National University, Jinju 660-701, Korea

(Received March 15, 2004; revision received June 4, 2004)

**ABSTRACT:** Experimental study is carried out to investigate the heat transport capability and thermal resistance of sinusoidal axially grooved heat pipe, comparing its performance to trapezoidal axially grooved heat pipe. As a result from this work, the heat transport capability of sinusoidal grooved heat pipe is lower than that of trapezoidal grooved heat pipe for the same size of outer diameter. As the ratio of depth to width of sinusoidal groove heat pipe is higher, the heat transport capability of heat pipe becomes higher. It is found that Aluminum-ammonia heat pipes with sinusoidal and trapezoidal grooves have good thermal resistance, below 0.1°C/W at evaporator section and below 0.05°C/W at condenser section.

**Key words:** Heat pipe(히트파이프), Groove(그루브), Sinusoidal(사인커브형), Trapezoidal(역사다리형), Heat transport capability(열전달성능), Thermal resistance(열저항)

### 1. 서 론

히트파이프는 액체의 증발 및 응축의 상변화에 따르는 잠열 및 벽의 모세관 현상을 이용하여 높은 열량을 작은 온도차로 상당한 거리를 통해 열을 전송시키는 대표적인 열전달 기구이다.

현재 히트파이프가 열전달 기구로서 각광을 받고 있는 것은 구조가 간단하여 제작이 쉽고, 히트파이프 내의 열전달이 작동유체의 증발 및 응축 잠열에 의해 전달되므로 열저항이 무시될 정도로 적어 같은 규격의 동을 사용할 때보다 수 백배

의 열전달 효과가 있어 적은 온도차로 많은 열을 전달시킬 수 있다. 또한 무동력으로 고온 측에서 저온 측으로 열을 이동시킬 수 있는 이점도 있다.

히트파이프에 대한 연구는, 1942년에 Gaugler<sup>(1)</sup>가 처음 제작 실험하였고, 그후 1963년에 Grover<sup>(2)</sup>가 다량의 열전달을 작은 온도차로 응축부와 증발부 사이를 펌핑력과 중력의 작용으로 순환하는 과정을 연구하였다. Cotter<sup>(3)</sup>는 히트파이프에 대한 기본이론을 정립하였고, Kemme<sup>(4)</sup>는 히트파이프에 대한 작동한계를 재조명하여 여러 가지 종류의 벽에 대한 모세관 한계를 규명하였다. Tathgир et al.<sup>(5)</sup>은 작동유체로서 물을 사용하는 그루브형 스테인레스 스틸 히트파이프가 중력장에서 각도 및 작동유체량에 따른 열전달량을 실험적으로 연구하였고, Ogushi et al.<sup>(6)</sup>은 작동유체로서 냉매

\* Corresponding author

Tel: +82-55-751-5312; fax: +82-55-757-5622

E-mail address: jssuh@gsnu.ac.kr

(R-11)을 사용하는 그루브형 알루미늄 히트파이프에 대해서 각도 및 작동유체 주입량을 변화시키면서 모세관 한계 및 응축부의 열전달량을 실험적으로 연구하였다. Suh et al.<sup>(7)</sup>은 작동유체를 암모니아로 하는 역사다리형 그루브 알루미늄 히트파이프에 대해서 실험을 통해 최적의 작동유체 주입량에 대한 자료를 제시하였다.

그루브형 워를 가지는 히트파이프는 액체의 복귀 통로로서 홈을 이용하므로 액체의 유동저항이 매우 작고, 또한 홈과 홈 사이의 편으로서 파이프와 같은 재질을 사용하기 때문에 열저항이 매우 적다. 또한 내부 작동유체의 높은 압력과 장기간 사용으로 인한 워의 파손에도 매우 안전하다. 이러한 이유에서 내부에 환상이나 축방향 그루브로 만들어진 워를 갖는 히트파이프가 많이 사용되고 있다. 본 연구에서는 제작비용이 높고, 제작과정에서 오차가 많은 역사다리형 단면, 사각형 단면, 원형 단면 등의 기존의 단면형상이 아닌 삼각단면과 원형 단면의 복합형상인 사인커브형(sinusoidal) 단면형상을 갖는 히트파이프를 제작하여, 이 단면형상에 대한 성능 특성을 파악하고자 한다. 외부관과 동일한 알루미늄 재료를 이용하여 2종류의 사인커브형 단면 그루브를 갖는 히트파이프를 제작하고, 각각에 대해 충전량을 3가지로 변화시키면서 주요 온도별 최대 열수송능력 및 증발부와 응축부의 열저항 특성을 비교하고자 한다.

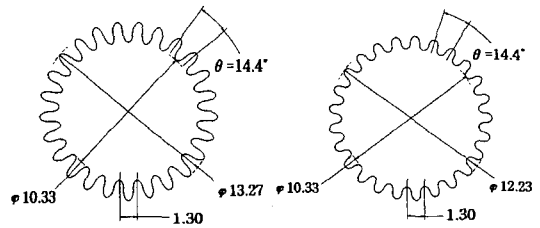
## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 히트파이프 제작

본 연구에서 사용되는 히트파이프는 축방향 그

Table 1 Specifications of heat pipes used in this study

Description	Detail specification	Remarks
Number of grooves	25	
Cross section	14.71 mm×14.71 mm	extruded
Pipe material	aluminum, 6063-T6	
Working fluid	NH <sub>3</sub> , 99.9999%	
Total length (L)	1422.4 mm	
Length of evaporator	127 mm	
Length of adiabatic	1168.4 mm	
Length of condenser	127 mm	



(a)  $h/w=1.13$  (SNSD1) (b)  $h/w=0.73$  (SNSD2)

Fig. 1 The shape of sinusoidal grooves used in this work.

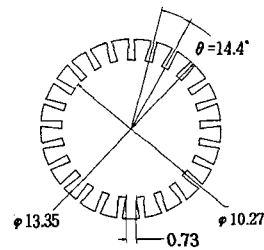


Fig. 2 A shape of trapezoidal groove (TAG).

루브를 갖는 히트파이프로서, 알루미늄 재질의 파이프에 암모니아를 작동유체로 사용하고 있으며, Table 1에 크기를 자세히 나타내었다. 그루브 형상에 따른 히트파이프의 열전달 성능을 보기 위해, 사인커브형 그루브에 대해서는 폭( $w$ )과 깊이( $h$ )의 비인 종횡비( $h/w$ )를 1.13과 0.73로 설계한 것을 Fig.1에 각각 SNSD1, SNSD2로 하여 나타내었다. 동시에 사인커브형 그루브 형상과의 성능비교를 위해, 내부의 그루브 갯수 및 증기가 이송하는 증기통로 직경이 유사한 역사다리 그루브형 히트파이프의 단면을 Fig.2에 나타내었다. 사인커브형 및 역사다리형 그루브에 대한 외형적 규모를 Table 2에 비교하여 자세히 나타내었다.

한편, 작동유체 충전량의 변화에 따른 사인커브형 그루브 히트파이프의 열전달 특성을 파악하

Table 2 Measured groove dimensions

Description	SNSD1	SNSD2	TAG
Area of grooves	22.639 mm <sup>2</sup>	13.471 mm <sup>2</sup>	34.832 mm <sup>2</sup>
Wetted perimeter	4.703 mm	2.419 mm	4.977 mm
Width of groove	1.30 mm	1.30 mm	0.73 mm
Depth of groove	1.47 mm	0.95 mm	1.54 mm
Vapor diameter	10.33 mm	10.33 mm	10.27 mm
Inner diameter	13.27 mm	12.23 mm	13.35 mm

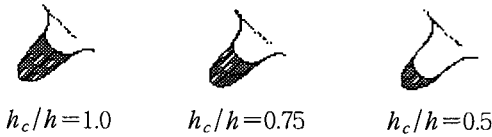


Fig. 3 A schematic area of charged working fluid on sinusoidal grooves.

기 위해, 그루브 내 액체상태의 작동유체가 채워진 양을 그루브의 형상과 히트파이프의 작동시 증발부의 증기압에 의한 그루브 쪽으로의 계면 후퇴를 고려하여 결정하였다. 충전량에 대한 자료가 없는 사인커브형 단면의 경우 증발부에서의 작동유체 충전면적을 Fig. 3에서와 같이 그루브 계면접촉 높이( $h_c$ )와 그루브 높이( $h$ )의 비( $h_c/h$ )가 1.0, 0.75 및 0.5에서 그루브 측면과 접하는 원을 그린 선과 그루브 형상선이 둘러싸는 영역으로 하였으며, 5°C 암모니아의 물성치를 기준으로 충전량을 결정하였다. 충전량의 결정은

$$m_f = \rho_L AL \quad (1)$$

이며,  $\rho_L$ ,  $A$ ,  $L$ 은 액체 암모니아의 밀도, 히트파이프 그루브 내 액체충전 단면적, 히트파이프의 길이를 각각 나타낸다. 히트파이프 TAG의 충전량은  $h_c/h=1.0$ 인 그루브 높이에서 그루브의 측면과 접하는 원을 그린 선과 그루브 형상선으로 둘러싸인 공간에 작동유체가 충전되었다고 설정하여 결정하였으며, 이전의 연구<sup>(7)</sup>에서 역사다리형 그루브에 대해서는 이러한 방법이 최적에 가까운 열전달 능력을 보이는 것으로 보고되었다. 본 연구에서 사용된 사인커브형과 역사다리꼴형 그루브를 갖는 히트파이프의 작동유체 충전량을

Table 3 Charging mass of working fluid of heat pipes

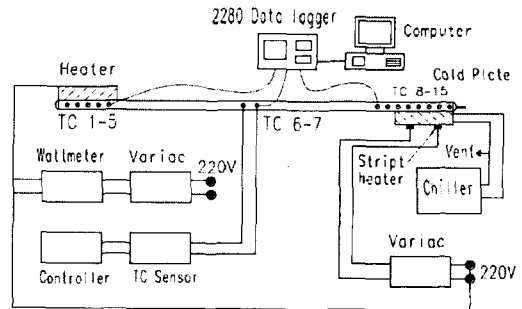
Groove shape	$h_c/h$	Charging mass ( $m_f$ )
SNSD1	1.00	21.5 g
	0.75	20.4 g
	0.50	17.9 g
SNSD2	1.00	15.4 g
	0.75	14.6 g
	0.50	12.9 g
TAG	1.00	32.2 g

Table 3에 정리하여 자세히 나타내었다.

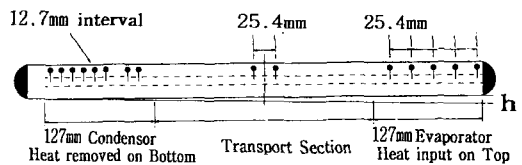
본 연구에 사용된 각 히트파이프는 고정도 히트파이프 제작 절차에 따라 세척, 용접, 작동유체 충전, 불응축가스 제거 및 핀치오프(pinch-off) 공정으로 이루어졌다.

### 2.2 실험장치

본 연구에서 사인커브형 단면 그루브 히트파이프에 대한 성능실험 및 역사다리형 단면 그루브 히트파이프와의 비교실험을 위해 사용한 실험장치의 개략도를 Fig. 4(a)에 나타내었다. 실험에 사용된 히트파이프에는 Fig. 4(b)에 나타내었듯이 총 15개 부분에 열전대(thermocouple)를 축방향으로 부착하여 실시간으로 각 열전대의 온도를 데이터 기록계(data-logger)를 통해 컴퓨터에 저장하였으며, 히트파이프의 성능상태를 확인하였다. 히트파이프의 증발부에는 가열을 위해 길이 12.7cm인 500 W의 블록히터를 장착하여 와트미터(watt meter)를 통해 가열량을 조절하였다. 단열부의 온도를 -25~70°C의 범위에서 조절하기 위해 응축부에 스트립 히터(strip heater)가 부착된 냉각판을 부착하고 내부로 액체질소를 흐르게 하였으며, 히트파이프 단열부의 온도가 실험조건을 0.8°C 범위 내에서 만족하도록 액체질소의 유량을 조절하



(a) A schematic diagram of apparatus



(b) Thermocouple locations on a heat pipe

Fig. 4 A schematic diagram of experiment apparatus and setting heat pipe.

였다. 히트파이프의 열전달 성능실험은 중력으로 인한 작동유체 복귀의 효과를 줄이기 위해 일반적으로 적용되고 있는 방법으로 응축부를 증발부보다 2.54 mm 낮게 하여 실험하였다. 열전대는 Fig. 4(b)와 같이 증발부에 5개소, 단열부에 2개소, 응축부에 8개를 부착하였고, 단열부에 부착된 2개의 온도를 기준온도로 하여 실험을 하였다. 온도기록은 매 5분 간격으로 기록하였으며, 각 지점에 부착된 열전대의 온도오차가  $\pm 0.3^\circ\text{C}$  범위 내에서 이루어짐을 확인하였다. 히트파이프가 더 이상 동작하지 못하는 드라이 아웃(dry-out) 현상이 일어나면 그 온도에서 실험을 종료하고 온도를 상온으로 낮춘 후 다른 온도에서 실험을 실시하였다.

### 2.3 실험방법

히트파이프 실험시 적용되는 작동온도는 단열부(adiabatic section)의 외벽의 온도이고, 작동온도에 따라 히터를 통해 열을 가하고 최소 10분간을 유지시켜 정상상태로 온도가 안정되면 실험을 하였으며, 다시 증가된 작동온도에 대해 일정한 열을 단계적으로 증가시켰고, 드라이 아웃이 될 때까지 실험을 하였다. 사인커브형 단면 그루브 히트파이프에 대해서는, 히트파이프에 관한 성능 자료를 상세히 얻기 위해  $-25^\circ\text{C}$ ,  $-10^\circ\text{C}$ ,  $0^\circ\text{C}$ ,  $15^\circ\text{C}$ ,  $30^\circ\text{C}$ ,  $45^\circ\text{C}$ ,  $60^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$  등 8개의 작동온도에서 실험을 실시하였다. 역사다리꼴형 그루브 히트파이프에 대해서는,  $-25^\circ\text{C}$ ,  $-5^\circ\text{C}$ ,  $20^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$  등 4개의 온도에 대해서 열전달 성능실험을 실시하였다. 각 작동온도에 대해 사인커브형 단면 그루브의 형상별 및 충전량별로 열전달 성능실험을 실시하였으며, 실험과정에서 히트파이프에 인가된 가열량별로 온도를 얻었으며, 증발부의 온도 변화로부터 드라이 아웃이 일어나는 상황을 알 수 있고, 여기서 얻어진 온도를 근거로 최대 열전달 성능과 증발부와 응축부의 열저항을 계산할 수 있는 자료를 얻었다.

최대 열수송능은 히트파이프의 가열량을 증가시키면서, 히트파이프의 열전달량이 더 이상 증가하지 않은 시점인 드라이아웃이 일어나지 않는 최대의 가열량에 대해 유효길이를 곱한 값으로 표시하였다. 증발부와 응축부의 열저항( $R$ )은 드라이아웃이 발생하기 직전의 온도분포 자료를 이

용하여 증발부와 응축부의 평균 온도와 단열부의 평균 온도의 차이( $\Delta T$ )를 가해진 가열량( $Q$ )으로 나눈 값인  $R = \Delta T/Q$ 으로 계산하였다.

## 3. 실험결과

본 연구에서의 결과는 두 종류의 사인커브형 단면을 갖는 그루브 히트파이프에 대해 각각 작동유체 충전량을 달리한 경우와 역사다리꼴 단면 그루브 히트파이프에 대해 열수송능력에 대한 실험결과를 중심으로 결과를 제시하고자 하며, 충전량별 온도 및 증발부 응축부의 열저항에 관한 결과를 부가적으로 제시하고자 한다.

### 3.1 최대 열수송능력

히트파이프의 성능을 파악하기 위해 작동온도별 최대 열수송능력을 파악하고자 한다.

먼저, 사인커브형 그루브를 갖는 히트파이프에서 그루브의 깊이가 상대적으로 큰  $h/w=1.13$ 인 SNSD1에 대해 작동온도  $-25\sim 70^\circ\text{C}$ 에서 최대 열수송능력을 작동유체량을 달리한 경우에 대해 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 최대 열수송능력이 작동온도가 증가할수록 증가하다가  $10^\circ\text{C}$  근처에서 최대값을 보인 후에 점진적으로 낮아지는 경향을 보이고 있다. 작동유체량의 영향에 대해, 작동유체량을 증가시킬수록 전체적인 최대 열수송능력이 높아짐을 볼 수 있다. 이는 히트파이프 그루

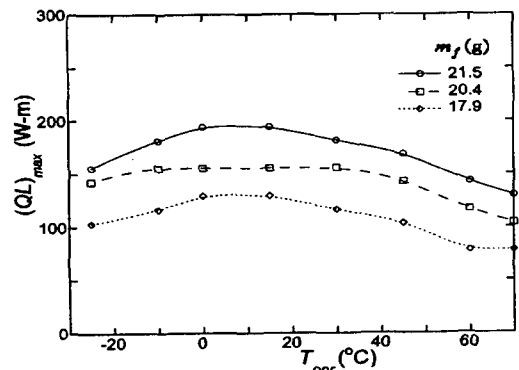


Fig. 5 Heat transport capacity for operating temperature for sinusoidal groove heat pipe of type SNSD1 with  $h/w=1.13$ .

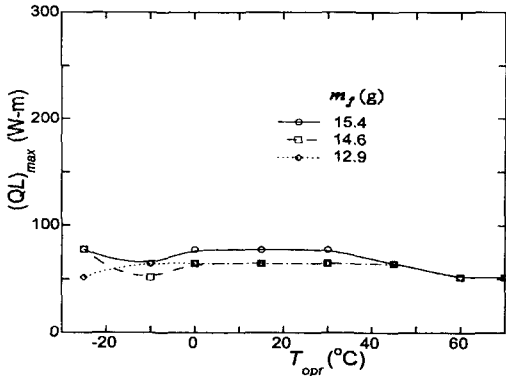


Fig. 6 Heat transport capacity for operating temperature for sinusoidal groove heat pipe of type SNSD2 with  $h/w=0.73$ .

브 내 액체가 전체적으로 많아지면서 증발부에서의 드라이아웃이 상대적으로 높은 가열량에서 나타남을 의미하고, 히트파이프 내 증발부 및 응축부에서 작동유체의 증발 및 응축이 비교적 정상적으로 이루어짐을 의미한다. 반면, 그루브의 깊이가 작은  $h/w=0.73$ 인 SNSD2의 히트파이프에 대한 최대 열수송능력을 작동온도에 따라 나타내고 있는 Fig. 6을 보면, 전체적으로 SNSD1의 최대 열수송능력에 비해 상당히 적게 나타나고 있다. 이는 SNSD2 히트파이프의 경우 SNSD1의 히트파이프에 비해 그루브의 깊이가 얇음으로 인해 증발부 드라이아웃에 의한 모세관 한계가 낮은 열수송능력에서 나타나는 데 기인한다. 결국, 사인커브형 그루브를 갖는 히트파이프에서도 형상은 같지만 그루브의 깊이가 히트파이프의 최대 열수송능력에 상당한 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 특히, 사인커브형 그루브에서 그루브의 깊이가 얇아지면 Fig. 6에서 알 수 있듯이 작동유체량의 변화에 따라 최대 열수송능력이 상당히 불규칙하게 변하고 있음을 확인할 수 있다. 작동유체량이 많을수록 전반적으로 최대 열수송능력이 높게 나타나고 있으나, 작동온도가 낮은  $-25^{\circ}\text{C}$  경우에는 최대 열수송능력이 작동유체량이 15.4 g과 14.6 g에서 오히려 증가하는 경향을 보이고 있으며, 작동온도가  $0\sim 30^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서는 최대 열수송능력이 거의 일정한 값을 유지하고 있다. 작동온도가  $45^{\circ}\text{C}$  이후에서는 최대 열수송능력이 점차적으로 감소하는 경향을 보이고 있으며, 이는 작동온도에 따른 작동유체의 열물성변화의 영향

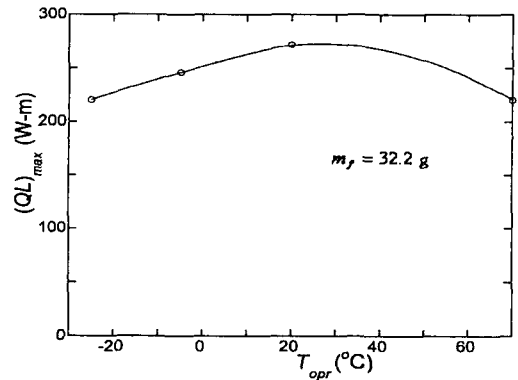


Fig. 7 Heat transport capacity for operating temperature for trapezoidal groove heat pipe of type TAG.

으로 보인다.

그루브의 형상을 달리한 역사다리꼴 단면 그루브 히트파이프(TAG)에 대한 최대 열수송능력을 작동온도에 대해 Fig. 7에 나타내었다. 비록 작동유체량이 다름에도 불구하고 외형 및 증기통로 직경과 그루브수가 같은 역사다리꼴 단면 그루브 히트파이프(TAG)에서 작동온도변화에 따른 최대 열수송능력의 변화경향이 SNSD1의 경우와 유사하게 나타나고 있으며, 최대점이  $25^{\circ}\text{C}$  근처에서 나타나고 있다. 최대 열수송능력의 전체적인 크기는 SNSD1의 경우에 비해 상당히 높게 나타나고 있다. 이는 그루브의 단면적 및 작동유체의 주입량에서도 알 수 있듯이 사인커브형 그루브에 비해 그루브 내 작동유체량이 많이 주입됨으로 해서 증발부에서의 가열량에 따른 작동유체의 드라이아웃이 상대적으로 높은 값에서 나타나기 때문이다. 전체적으로 보면, 세 가지 단면 중 역사다리꼴 단면 그루브 히트파이프가 성능이 가장 우수함을 알 수 있고, 역사다리꼴 단면 그루브에 비해 대략 사인커브형 단면인 SNSD1은 50~75% 정도의 열전달 성능을, 사인커브형 단면인 SNSD2의 경우는 24~29% 정도의 성능을 가짐을 알 수 있다. 전체적으로 히트파이프의 성능에 작동유체의 충전량이 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

### 3.2 증발부 및 응축부 열저항

히트파이프의 열전달 능력에 대한 특성을 좀더 자세히 파악하기 위해 증발부 및 응축부의 열저

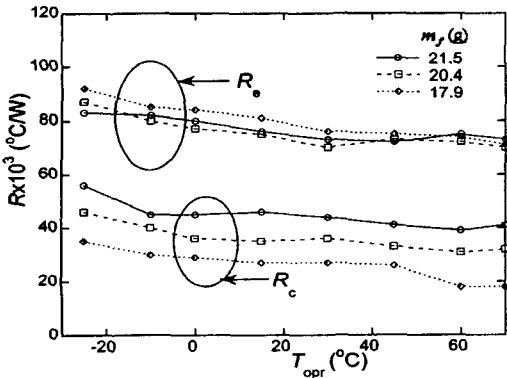


Fig. 8 Thermal resistance for operating temperature for sinusoidal groove heat pipe of type SNSD1 with  $h/w=1.13$ .

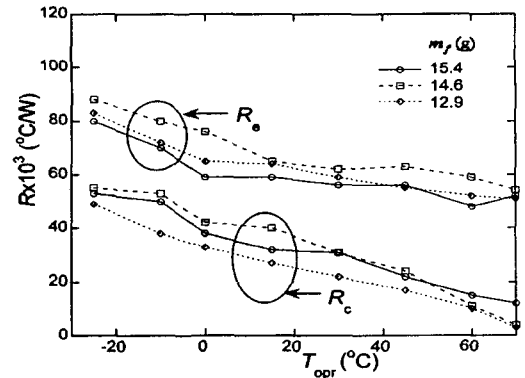


Fig. 9 Thermal resistance for operating temperature for sinusoidal groove heat pipe of type SNSD2 with  $h/w=0.73$ .

항을 알아보려고 한다. 이를 위해 증발부의 열저항( $R_e$ ) 및 응축부의 열저항( $R_c$ )는 각각

$$R_e \equiv \frac{\overline{T}_e - \overline{T}_a}{Q} \quad (2)$$

$$R_c \equiv \frac{\overline{T}_a - \overline{T}_c}{Q} \quad (3)$$

로 정의하며,  $\overline{T}_e$ ,  $\overline{T}_a$ ,  $\overline{T}_c$ 는 각각 증발부, 단열부 및 응축부의 히트파이프 외부 표면온도의 측방향 길이 평균이다.

Fig. 8은 사인커브형 그루브를 갖는  $h/w=1.13$ 인 SNSD1의 히트파이프에서의 작동온도에 따른 증발부 및 응축부 열저항을 몇몇 작동유체량에 따라 나타낸 것이다. 열저항의 값이 전체적으로 작게 나타나는 것으로 보아, 히트파이프가 정상적으로 작동한 결과임을 알 수 있다. 작동온도의 증가에 따른 열저항의 변화가 증발부 및 응축부에서 점진적으로 감소하고 있으며, 전형적인 히트파이프의 열저항 변화 특성을 보이고 있다. 그림에서 작동유체량의 변화에 대해 열저항이 증발부에서는 거의 차이를 보이지 않고 있으나, 응축부에서는 작동유체량의 증가에 따라 상대적으로 많이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 작동유체량이 증가할수록 작동중에 증발부의 작동유체가 응축부로 쏠리면서 응축부 그루브 위에 형성된 유막의 두께가 증가하면서 응축부 벽면을 통한 열방출을 방해하면서 비롯된 것으로 생각된다.

Fig. 9는 사인커브형 그루브를 갖는  $h/w=0.73$ 인 SNSD2 히트파이프의 작동온도에 따른 증발부 및 응축부의 열저항을 나타낸 것이다. 역시 열저항이 작동온도 증가에 따라 감소하는 전형적인 경향을 보이고 있다. 증발부 및 응축부에서 작동유체량의 변화에 따른 차이가 작게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. SNSD1의 결과인 Fig. 8의 열저항과 비교할 때, 증발부 및 응축부에서 작동온도 증가에 따른 열저항의 감소율이 상대적으로 크게 나타나고 있다. 이는 Fig. 5와 Fig. 6에서 알 수 있듯이 히트파이프 SNSD2이 비록 SNSD1에 비해 열수송능력은 작을지라도 열전달 면에서는 작동온도가 높은 경우에 훨씬 효과적인 특성을 보이고 있음을 의미한다. 즉, 히트파이프 SNSD2

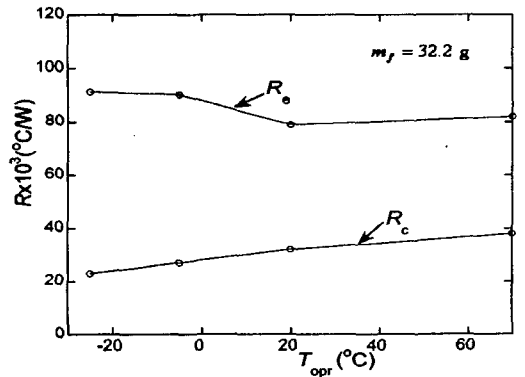


Fig. 10 Thermal resistance for operating temperature for trapezoidal groove heat pipe of type TAG.

가 SNSD1에 비해 그루브의 깊이가 얕음으로 해서 그루브 내 작동유체의 함유량이 상대적으로 적고, 증발부 및 응축부에서 그루브를 지나는 열전달량이 전도율이 높은 파이프 벽면에 의존하는 비율이 높기 때문에 열저항이 낮아지는 것이다.

Fig. 10은 역사다리꼴 그루브를 갖는 히트파이프의 열저항을 작동온도에 따라 증발부 및 응축부에 대해 나타내었다. 증발부의 열저항 변화를 보면 사인커브형 그루브에 비해 크게 나타나고 있으며, 작동온도가 증가함에 따라 열저항의 변화율이 상당히 작게 나타나고 있다. 이는 열전도율이 파이프에 비해 작은 작동유체의 충전량이 사인커브형 그루브에 비해 역사다리꼴 그루브 내에서 많기 때문이다. 응축부 열저항의 변화를 보면 작동온도가 증가할수록 사인커브형 그루브의 경우와 달리 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 작동온도가 증가할수록 증발부 계면의 후퇴로 인한 액상 작동유체가 사인커브형 그루브에 비해 응축부로 많이 쏠리면서 응축부 그루브 위에 형성된 액막두께의 상승폭이 커서, 이로 인한 응축부 열저항의 증가량이 크기 때문으로 생각된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 알루미늄 재질의 파이프에 암모니아를 작동유체로 하는 사인커브형 그루브를 갖는 히트파이프의 열전달 특성을 실험적으로 수행하였으며, 성능비교를 위해 역사다리꼴 그루브 히트파이프에 대해 부가적으로 실험을 수행하였다.

사인커브형 그루브를 갖는 히트파이프의 최대 열수송능력은 유사치수의 역사다리꼴형 그루브를 갖는 히트파이프에 비해 낮게 나타났다. 사인커브형 그루브 히트파이프의 경우 그루브의 깊이가 큰 경우가 그루브의 깊이가 작은 것에 비해 최대 열수송능력이 높게 나타났다. 열저항은 그루브 형상에 관계없이 증발부에서보다 응축부에서 상대적으로 낮게 나타났다. 사인커브형 그루브 히트파이프에서는 작동온도의 증가에 따라 증발부 및 응축부의 열저항이 감소하는 경향을 보이고 있었으며, 작동유체 충전량의 증가시 증발부 열저항에 비해 응축부 열저항의 증가가 상대적으로 높게 나타났다. 역사다리꼴형 그루브에서는 사인커브형 그루브 히트파이프에 비해 열저항이 증발부 및 응축부에서 상대적으로 높게 나타났으며,

작동온도의 증가에 따라 응축부 열저항은 오히려 증가하는 경향을 보였다.

#### 후 기

본 연구의 일부는 BK21 지역대학육성사업단, NURI 첨단기계산업인력양성사업단, 항공기부품기술연구센터, 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 지원에 의해 이루어졌으며, 관계자에게 감사드린다.

#### 참고문헌

1. Gaugler, K. S., 1942, Heat transfer device, US Patent 2350348 Appl. 21 Dec. Published 6 June, 1944.
2. Grover, G. M., 1963, Evaporation-condensation heat transfer device, US Patent 3229759 Appl. 2 Dec. Published 18 Jan. 1966.
3. Cotter, T. P., 1965, Theory of heat pipes, Report LA-3246-MS, Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California, Los Alamos, N. Mex., March 26, pp. 1-37.
4. Kemme, J. E., Heat pipe design considerations, Report LA-4221-MS Aug. 1, 1969, of the Los Alamos Scientific Laboratory of the University of California, Los Alamos, N. Mex. (for presentation at the 11th Heat Transfer Conference, Aug. 3-6, 1969, Minneapolis, Minn.), pp. 1-8.
5. Tathgir, R. G. and Singth, G., 1984, Performance characteristics of stainless steel gravity assisted grooved water heat pipe at low temperature, The Proceeding of 5 IHPC, Part I, pp. 18-23.
6. Ogushi, T. and Yanmanaka, G., 1986, Heat transfer performance of axial grooved heat pipes, Transactions of JSME, No. 86-0252A, pp. 600-607.
7. Suh, J.-S. and Park, Y. J., 2003, Effects of the mass of working fluid on the thermal performance of heat pipe with axial grooves, Transactions of SAREK, Vol. 15, No. 1, pp. 1-8.