

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

*Journal of the Korean Solar Energy Society*

Vol. 22, No. 2, 2002

## 이중 증기통로를 가지는 히트파이프의 열전달특성에 관한 실험적 연구

### An Experimental Study on Heat Transfer Characteristics of the Heat Pipe with a Double Vapor Path

전철호\*, 장영석\*\*, 김오근\*\*\*, 노인창\*\*\*\*

C. H. Jun\*, Y. S. Jang\*\*, O. G. Kim\*\*\*, I. C. Noh\*\*\*\*

**Key words** : 히트파이프(heat pipe), 이중증기통로(double vapor path), 작동유체(working fluid), 증발부(evaporator), 응축부(condenser), 워(wick)

#### Abstract

The Characteristics of heat transport in the heat pipe with a double vapor path and different kinds of the working fluid were investigated experimentally. The Experiment was carried out with acetone/ethanol, ethanol/ethanol, and in the aluminium container of the double vapor path. Performance measurements can be operated at the high level by 24000 w/m<sup>2</sup> heat flux in the 1000mm evaporator. They are each estimated at the high temperature and experimentally reviewed the characteric of the heat rejection. The results shew that they are stably operated under each condition and the fluid was complemented each other at the fluid's experiment and brought about the extention of operating temperature. In this study, The reliable basic data obtained by the teste in the heat pipe with a double vapor path can be used for thermal design, manufacture, and production etc.

\* 정회원, 동아대학교, 기계공학과

\*\* 정회원, 경남정보대학, 기계시스템학부

\*\*\* 한국 수력 원자력 주식회사

\*\*\*\* 동아대학교, 대학원

\* *Dong-a University*

\*\* *Kyung-nam College of Information & Technology*

\*\*\* *Korea Hydro & Nuclear Power Co. LTD*

\*\*\*\* *Graduate School Dong-a University*

## 1. 서론

히트파이프는 밀폐공간에서 순환하는 작동유체가 연속적으로 액체와 증기간의 상변화를 이용하여 낮은 온도차로서 많은 열을 이송할 수 있는 열전도성이 매우 우수한 전열소자이다. 히트파이프의 구조는 일반적으로 증발부, 응축부, 단열부의 세부분으로 나누어져 있으며 증발부에서 발생한 증기는 응축부로 이송되고 응축부에서의 응축액은 워를 통하여 응축부로 귀환된다. 일반적으로 사용빈도가 많은 히트파이프의 온도범위는  $-150^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ 로서 저온 히트파이프에 속한다. 히트파이프의 작동특성은, 작동유체의 표면장력, 증발잠열, 열전도율에 의해서 결정되며, 표면장력은 모세관력, 증발 잠열은 열전달 능력, 열전도는 증발부와 응축부의 온도강하의 원인이 된다.

히트파이프에 대한 연구는 워의 종류, 재질, 형태등에 따른 연구와 작동유체의 충전율, 종류, 재질과의 적합성, 각종 한계 및 온도에 따른 전열특성등 많은 연구가 진행되어 왔다. Brommer<sup>1)</sup>는 히트파이프의 성능을 개선하기 위하여 두 종류의 혼합 작동유체를 사용하여 두 성분유체가 갖는 물성치의 차이와 농도비를 달리하여 온도변화에 따른 작동특성을 연구하였다. Baum등<sup>2)</sup>은 실험적인 방법에 의하여 물, 에탄올 혼합물 작동유체에 대하여 증발부, 응축부 길이에 따라서 열전달 현상을 검토한 것이 있다. Tien<sup>3)</sup> 등은 2성분을 갖는 히트파이프의 작동특성을 연구하고 열 출입, 초기조건, 상의 열평형등을 실험을 통하여 수치해석과 비교 검토한 것이 있다.

그리고 히트파이프의 구조에 대한 특징적인 논문으로 Faghri<sup>4-6)</sup>는 이중벽을 갖는 편심 히트파이프에서 정상유동을 할 때 수치해석적으로 유체 유동을 연구한 논문이 있다. 더욱 최근에는 2중관 룡 히트파이프<sup>7)</sup>를 지열에 이용할 목적으로 액체와 증기통로를 분리하여 만들어진 경

우가 있다.

그러나 이중 증기 통로를 갖고 서로 다른 작동유체를 사용한 히트파이프의 연구는 찾아보기 어렵다. 이중관형 히트파이프의 열전달 특성을 이용하여 태양열 및 지열등의 집열에 관한 기초 자료로서 활용할 수 있다. 히트파이프의 사용범위에 있어서도 단일 히트파이프에 한 종류의 작동유체를 봉입하여 작업하는 것보다 두 종류의 작동유체를 주입하면 유체특성에 따라 증기부의 전열 면적 증가로서 열전달 개선, 작동유체의 특성에 따른 작동범위 확대, 열유속 범위확대, 작업조건이 다른 환경에서의 적용 등, 작동유체간 상호 보완 작용 등의 특징이 기대 되어 진다. 그러므로 단일 히트파이프에 작동 범위가 다른 유체의 주입에 대한 연구는 히트파이프의 기초 연구로서 매우 바람직하다고 생각할 수 있다. 본 연구는 이중 증기 통로를 가진 단일 본 히트파이프에 이방성 작동유체를 주입하여 여러 가지 운전조건으로 동작할 때 작동온도 범위, 열전달 능력을 검토하여 이중 증기통로의 히트파이프에 대한 작동유체에 대한 열전달특성을 평가하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 그림 1에 보여준다. 길이가 1000mm인 히트파이프를 유체유동이 원활하게 이루어지도록 경사각  $45^{\circ}$ 로 설치하고 모든 실험을 실시하였다. 증발부의 가열은 0.5mm 니크롬선 길이 2m로 하여 등간격 1mm로 감고 전압의 변화는 전압조절기로 변환하였다. 응축부는 순환수 펌프를 설치하여 온도가  $15^{\circ}\text{C}$ 인 냉각수를 4 cc/sec로 순환하면서 냉각하였다. 외벽의 온도분포를 측정하기 위하여 열전대 0.3mm(K-Type)를 사용하였고, 열전대의 위치는 응축부에서 순차적으로 응축부 2곳, 단열

부 3곳, 증발부 3곳, 냉각수 2곳을 설치하였다. 실험값은 디지털 멀티 온도측정기(PREMA MC8047)로서 측정간격 30sec로 하여 연속 측정하도록 하였다.

그림 2는 히트파이프의 내부구조를 나타낸 것이다. 히트파이프 재질은 순수알루미늄으로 파이프의 바깥지름 21.1mm, 안지름 18.7mm 두께 1.2mm로 되어 있다. 표 1은 본 연구에 사용된 히트파이프의 사양을 나타내고 있다. 증발부는 단면적을 양분하여 증기통로를 만들고 증기통로 내부는 알루미늄 내부를 반으로 나누어 두께 1.2mm로 된 5개의 핀 형상으로 만들어 모세관력이 발생하도록 만들어져 있으며 작동유체 사이에 충분한 열전달이 이루어지도록 되어 있다.

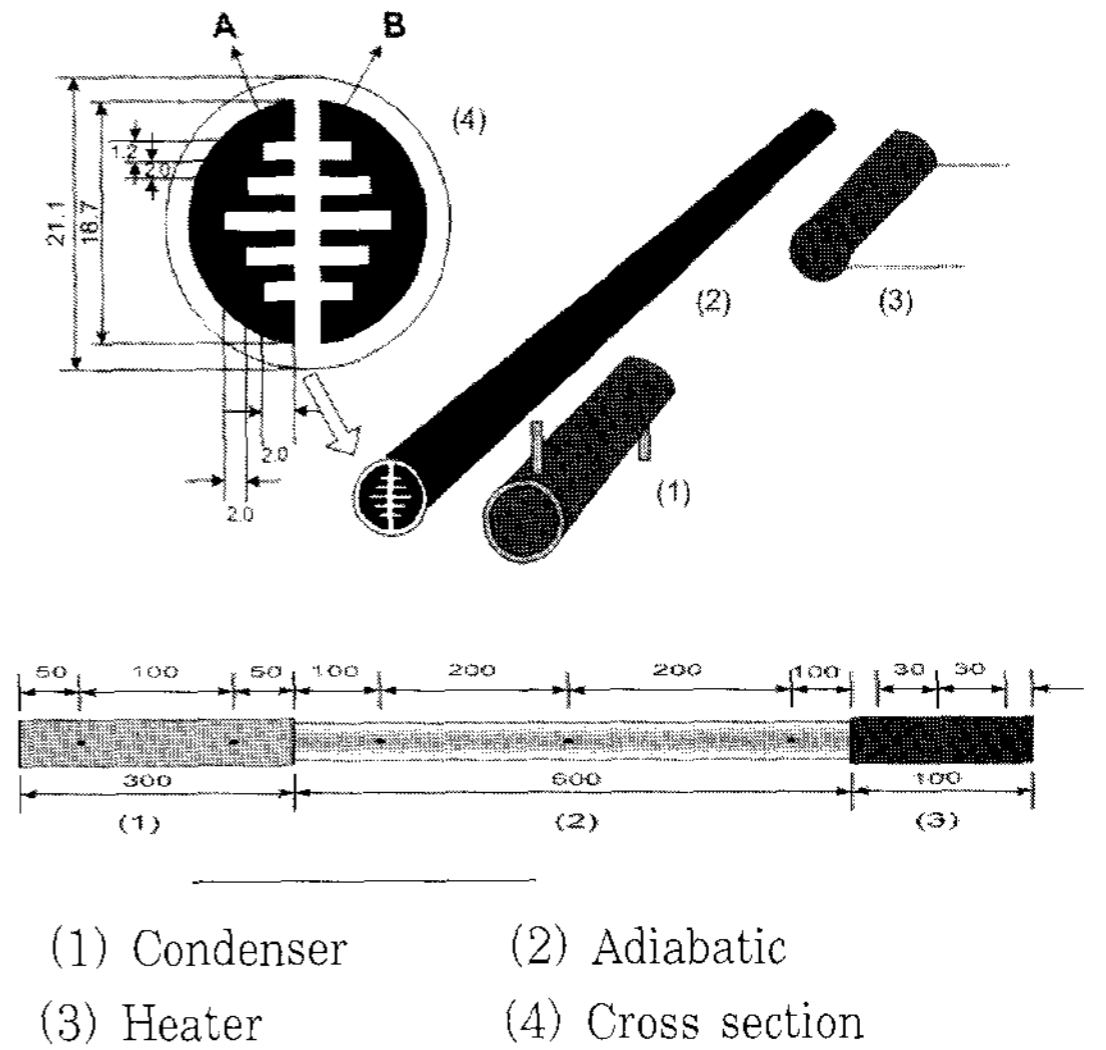
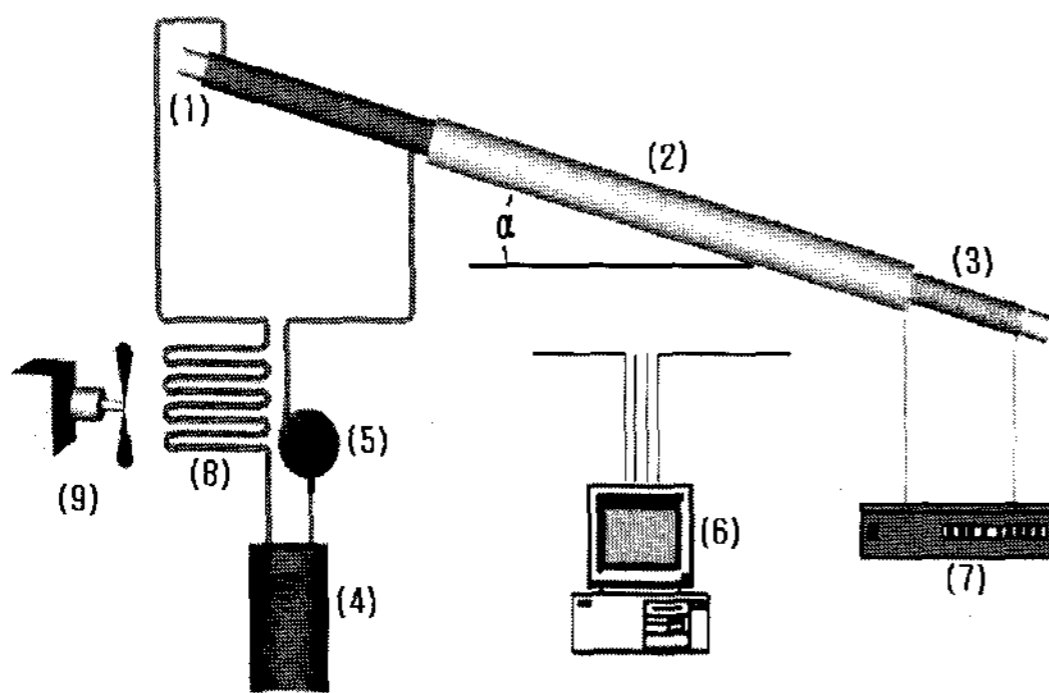


그림 2. Cross section and measuring point of heat pipe.

## 2.2 실험 방법

실험은 제작된 히트파이프에 0.5mm의 주사기를 사용하여 진공펌프로 내부공기를 제거하여 720mmHg의 부압을 유지한 후, 일반적으로 작동유체의 충전량을 전체체적의 20~40% 정도로 알려져 있으며 본 실험에서는 증기영역의 30%가 되도록 작동유체를 30cc 주입한 상태에서 입열량의 변화와 작동유체 종류에 따른 벽면의 온도 응답을 측정하여 열전달 특성을 고찰하였다. 이중 증기통로에 작동온도 범위가 다른 작동유체를 주입하고, 입열량의 변화를 미세 전압조절기로서 열유속은 3000 ~ 24000(W/m<sup>2</sup>) 까지 10W씩 전압변환기를 사용하여 증분하고, 그 때 열응답을 측정하였다. 실험에서 온도측정은 실험장치에서 알수 있듯이 0.3mm(K-Type)의 열전대를 사용하여 30sec 간격으로 측정하였다.



1. Condenser 2. Adiabatic 3. Evaporator
4. Cooling water tank 5. Pump
6. Measuring temperature 7. Heating apparatus
8. Cooling tubes 9. Cooling fan

그림 1. Schematic diagram of experimental apparatus

표 1. Specification of a heat pipe

	Length (mm)	Materials	diameter (mm)	Surface area(mm <sup>2</sup> )
Evaporator	100	Al	21.1	6625
Adiabatic	600	Al	21.1	39750
Condenser	300	Al	21.1	19875

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 입열량에 따른 벽면의 평균온도 변화

그림 3은 히트 파이프의 입열량 변화에 따라

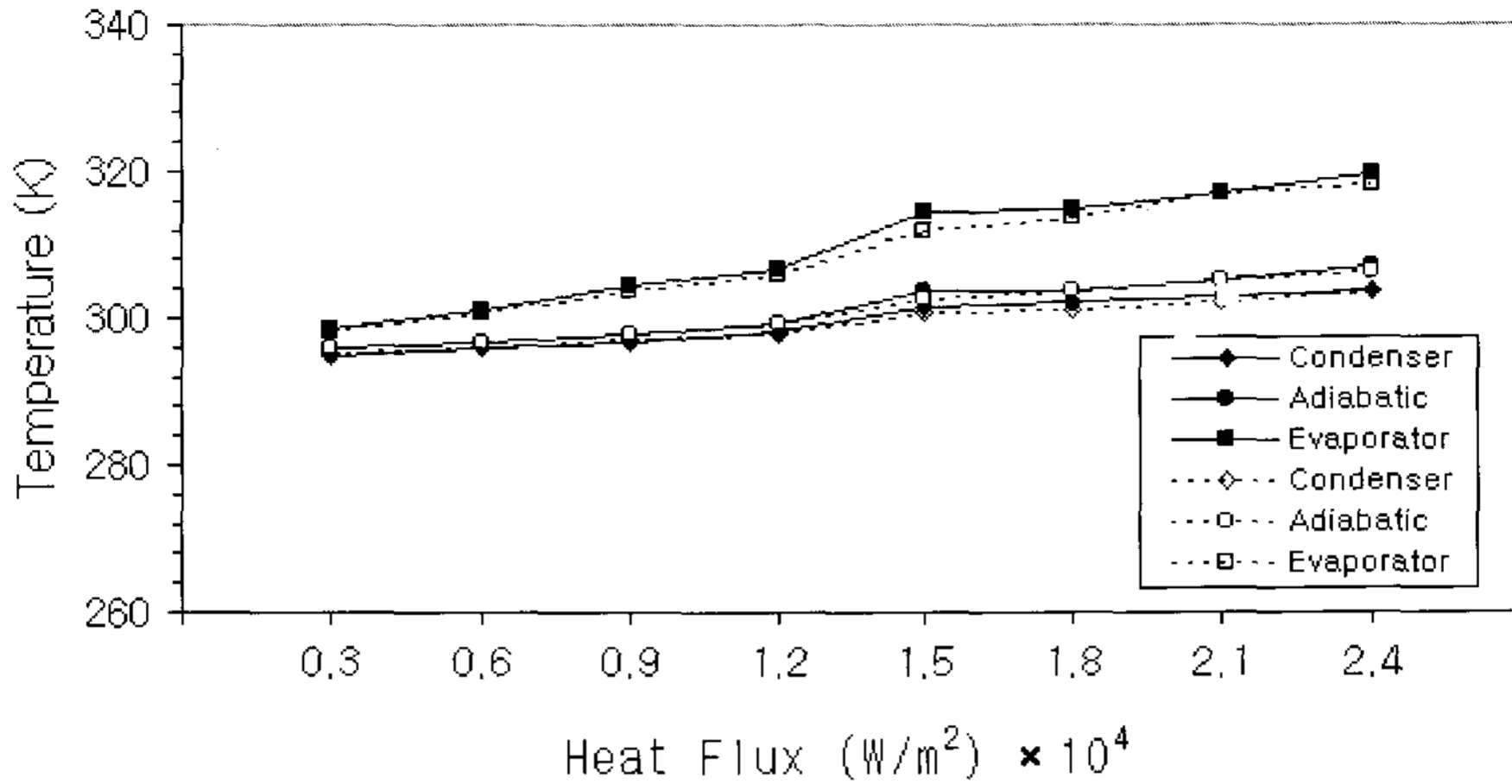


그림 3. Mean wall temperature in a heat pipe with ethanol/ethanol working fluid

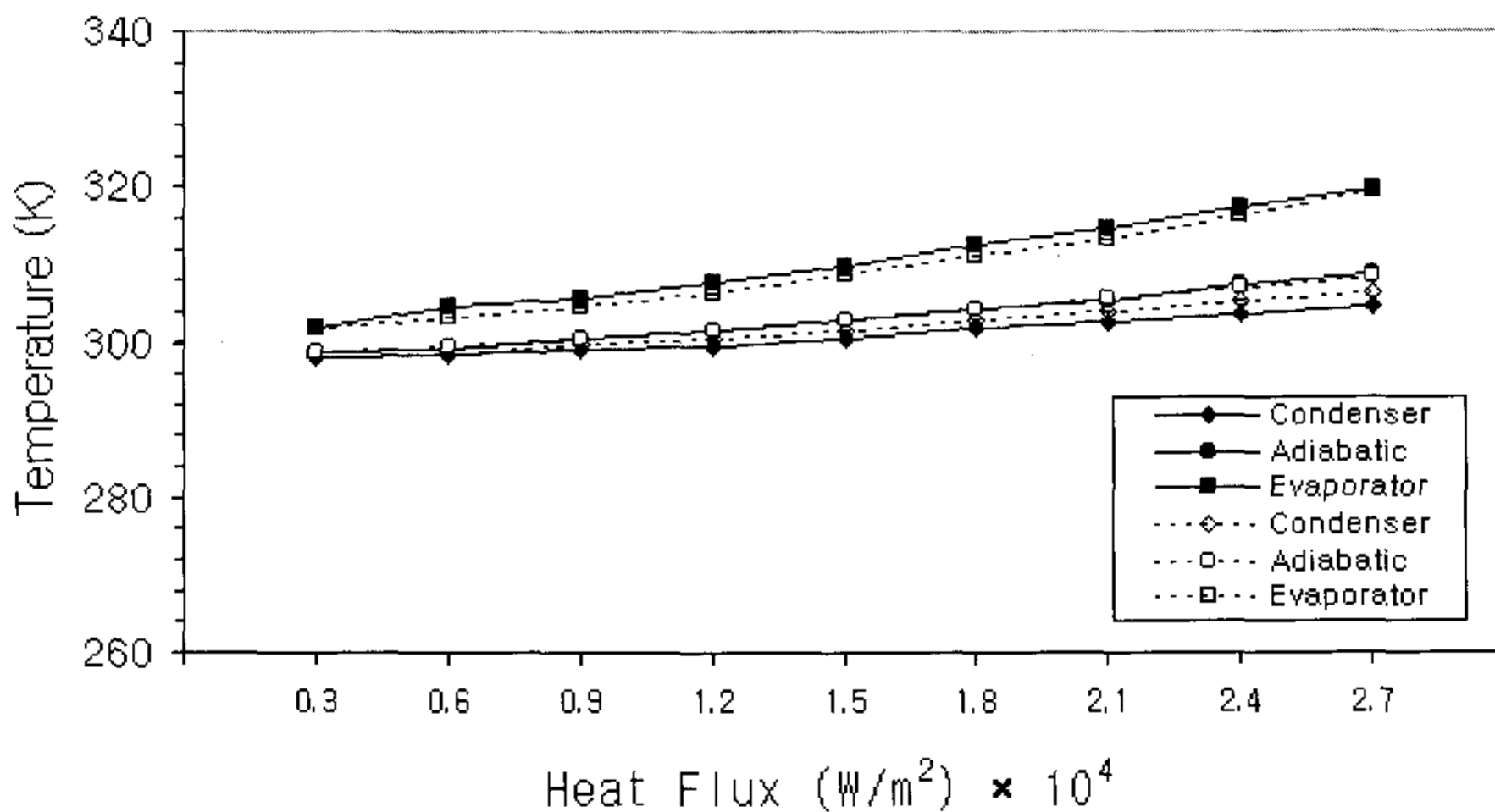


그림 4. Mean wall temperature of in a heat pipe with acetone/ethanol working fluid.

히트파이프의 응축부, 단열부 그리고 증발부의 평균 온도를 보여준다. 여기서 실선과 점선은 작동유체를 에탄올로서 동일하게 주입시킨 것이다. 입열량은 열유속으로 표현할 때  $0.3 \times 10^4 \text{ W/m}^2$ 에서  $3000 \text{ W/m}^2$  간격으로 증가시킨 결과이며 실험범위 내에서는 정상적인 작업을 할 수 있었으며 동일 작동유체에서 그 차이가 미미하지만 거의 일치함을 보여준다.

그림 4는 작동유체를 아세톤과 에탄올을 사용하고 증발부, 단열부, 응축부에서 평균 벽면의 온도를 보여준 것이다.

열유속은  $0.3 \times 10^4 \text{ W/m}^2$ 에서  $3000 \text{ W/m}^2$  간격으로 증가시킨 결과로서 실선은 아세톤 점선은 에탄올을 나타낸 것이다 전반적으로 벽면의 온도는 아세톤측이 높은 값으로 나타내며 열유속이 증가 할수록 증가 하지만 증가폭은 완만하게 나타난다.

### 3.2 열유속에 따른 평균온도 변화

그림 5는 이중 증기관에 아세톤과 에탄올을 작동유체로 사용한 경우에 있어서 증발부와 단열부 그리고 응축부의 온도차이를 나타내고 있다. 일반

적으로 단열부온도는 증기의 평균온도와 일치한다고 가정할 수 있다. 따라서 증발부와 단열부의 온도차는 증발부와 포화된 평균증기온도로 취급하여도 관계 없으므로 증발부의 평균 열저항, 응축부의 평균 열저항, 전영역의 평균 열저항으로 히트파이프를 비교평가 한 것이다.

그림 6은 에탄올과 에탄올의 경우 히트파이프의 전열 특성을 알기 위하여 각 영역의 온도차이를 열 유속에 대하여 나타낸 것이다. 전영역에서 거의 일치성이 있으나 열유속이 증가할 때 작동유체의 한쪽 측면의 온도가 다소 증가하는 경향이 있는데 이것은 내부 핀형상의 영향과 작동유체가 충전된 상태와 측정점의 각도에 따른 영향으로 볼 수 있다.

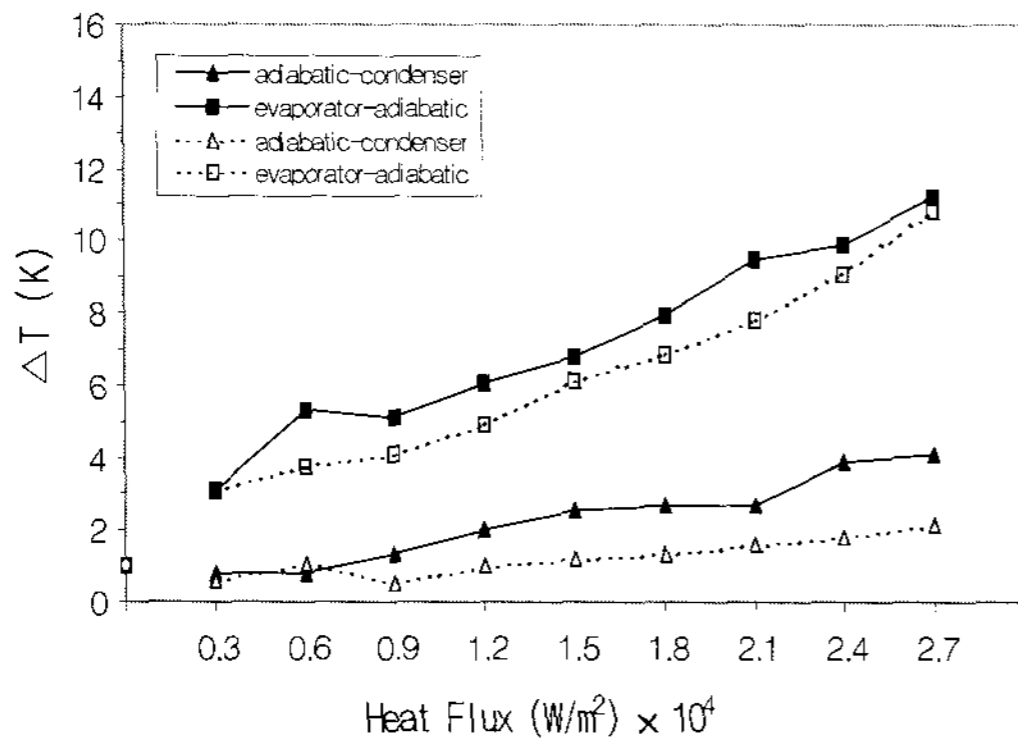


그림 5. Temperature difference for acetone/ ethanol heat pipe by various heat flux.

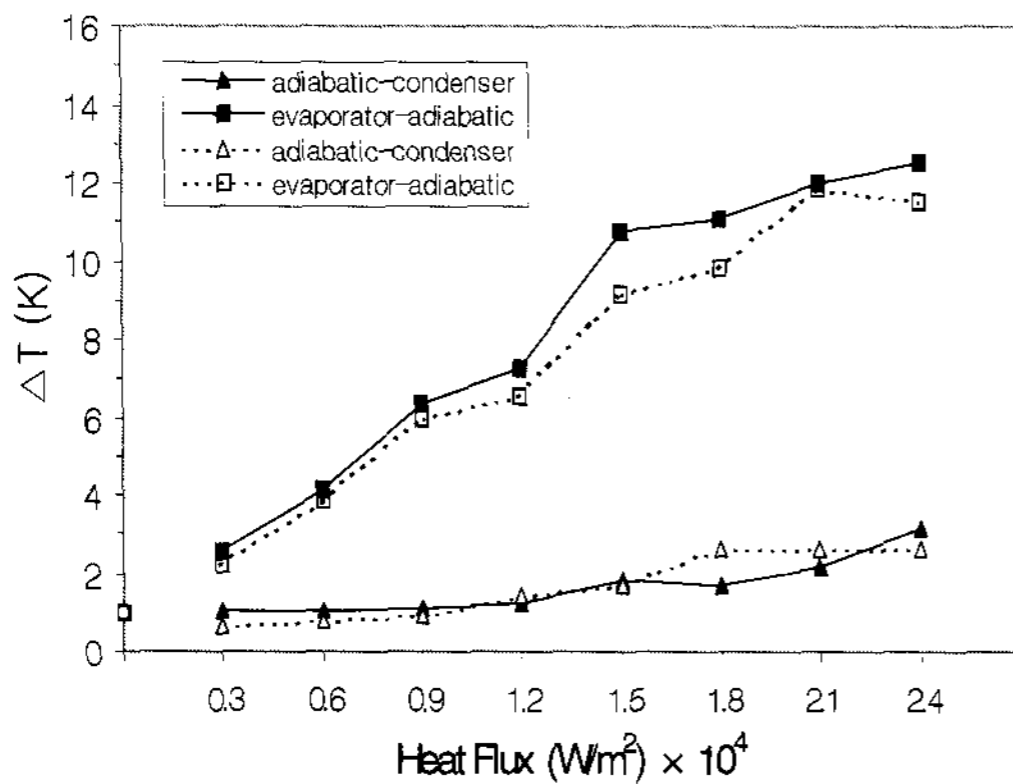


그림 6. Temperature difference for ethanol/ethanol heat pipe by various heat flux.

### 3.3 열유속에 따른 열전달계수 변화

그림 7은 열유속과 벽면의 온도차이를 기준으로 하여 열전달계수를 보여주는 것이다. 여기서 첨자 c는 응축부, e는 증발부 그리고 t는 응축부와 증발부의 전체를 나타낸 것이다. 그러므로 열전달계수는  $h_e$ ,  $h_c$ ,  $h_t$ 로 나타내며 실선은 증기통로 A측, 점선은 B측으로 나타내며 응축부는 전열유속 구간에서  $9,000 \sim 10,000 \text{ W/m}^2\text{K}$  값을 갖고 있다. 증발부에서는  $1,000 \sim 2,000 \text{ W/m}^2\text{K}$  사이로 다소 낮은 값을 보여준다. 이것은 작동유체량이 30cc로 전체 증기 체적의 거의 25%수준에 이르며 작동유체가 증발부에 거의 충전된 상태로 있다고 생각되어 지고, 이때 증발현상이 풀비등에 의존하고 있기 때문이라고 생각된다. 즉 증발부 내부에 충전된 작동유체의 증발은 작동유체의 표면에서 증발이 일어나므로 열전달계수는 작동유체의 증발력에 의존된다고 할 수 있다.

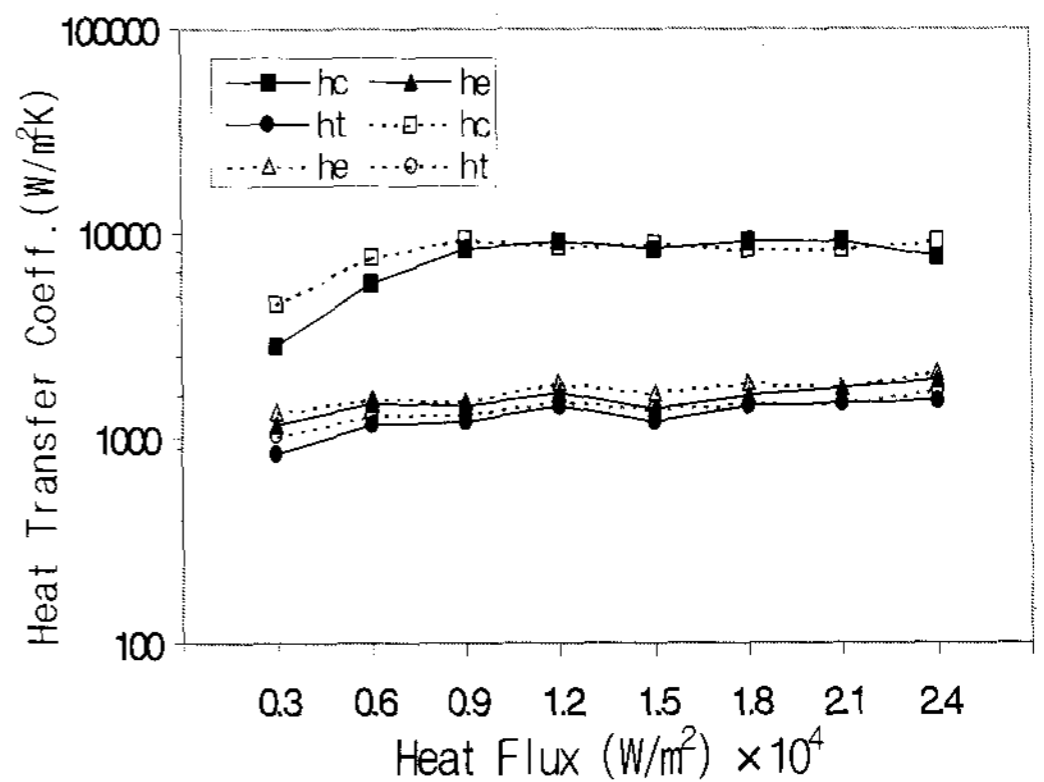


그림 7. Heat transfer coefficient for various heat flux

그림 8은 작동유체를 아세톤과 에탄올을 사용한 경우 이중통로 히트파이프 전영역에서 열전달 계수를 나타낸 것이다. 여기서 실선은 아세톤을 나타내며 점선은 에탄올을 보여준다. 응축부의 열전달계수는  $7,000 \sim 10,000 \text{ W/m}^2\text{K}$  벽위에 있음을 알 수 있고 에탄올 작동유체측의 열전달 계수가 아세톤측의 열전달 계수보다 다

소 크게 나타남을 알 수 있고 증발부의 열전달계수는 1000~2,000W/m<sup>2</sup>K 사이로 다소 낮게 보여주고 있다.

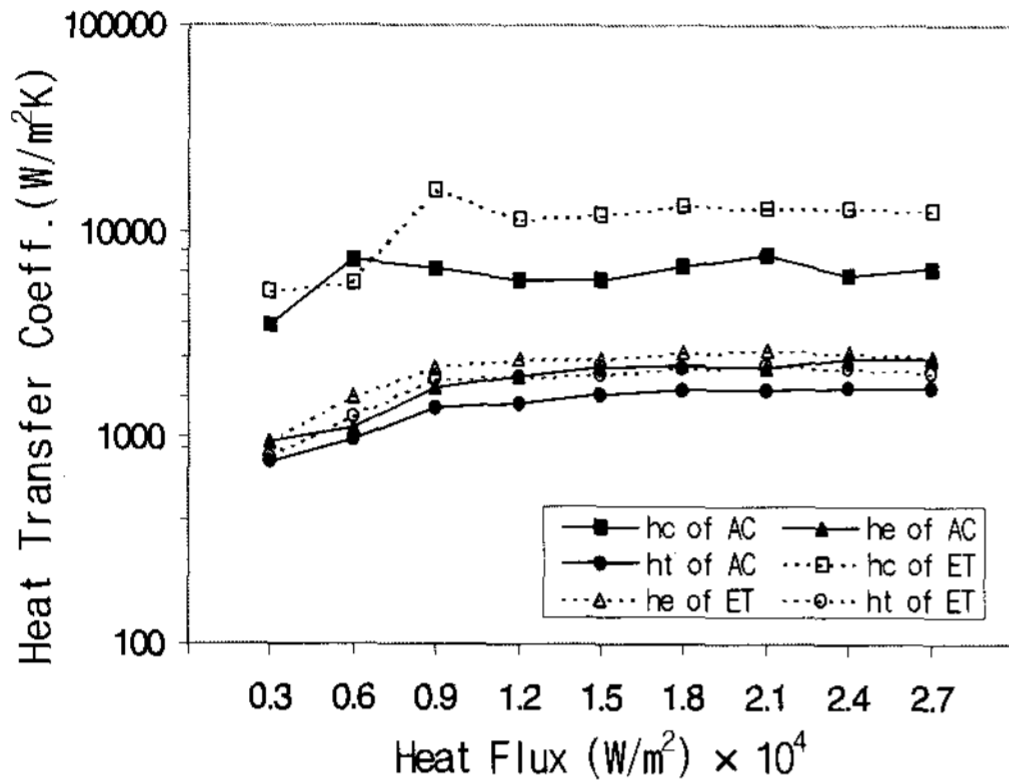


그림 8. Heat transfer coefficient for acetone /ethanol heat pipe.

#### 4. 결론

이중 증기통로를 가진 단일본 히트파이프에 대하여 작동 범위가 다른 작동유체를 택하여 히트파이프의 성능을 실험한 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 이중증기통로 히트파이프도 단일 히트파이프에서와 같이 입열량에 따른 작동유체의 동작 상태가 선형적으로 증가됨을 알 수 있으며 이것은 작동유체의 동작상태가 안정적임을 알 수 있다.
2. 이중증기통로에 서로 다른 작동유체를 주입하고 열유속을 변화시켰을 경우에는 평균온도 및 열전달 계수는 각각의 작동유체에 특성에 따라 동작됨을 알 수 있다.
3. 작동유체가 다른 이중증기통로 히트파이프는 두개의 단일 히트파이프보다 상호 보완적으로 작동할 수 있는 장점이 있으며, 다중 증기통로 히트파이프의 제작에 대한 기초자료로 활용될 수 있다.

#### REFERENCES

1. Brommer. H. J, Theoretical and Experimental Investigation of Two-Component Heat Pipe. Institute of Kernenergetik, Stuttgart, Federal Republic of Germany. AiAA Paper No. 74-720.
2. Baum. J. M, Ivanovsky. M. N, Experimental Study of Heat and mass Exchanger Phenomena in the Two - component heat Pipe, Institute of Physics and power Engineering. USSR Paper FB7.
3. TIEN. C. L, ROHANI. A. R, Theory and Two component heat Pipes, J. of heat Transfer novem. pp 479-484, 1972
4. Faghri. A. M, Vapor Flow Analysis in Double-Walled Concentric Heat-Pipe Numerical Heat Pipe Vol. 10 pp583-593, 1986
5. Faghri. A. M, Tomas. S, Performance Characteristics of a Concentric Annular Heat Pipe: Part1- Experimental Prediction and Analysis of the capillary Limit. Tras. of the ASME. pp844-850. 1989
6. Faghri. A. M, Performance Characteristics of a Concentric Annular Heat Pipe: Part2- Vapor Flow Analysis J. of Heat Transfer Vol.111 pp851-857, 1986
7. Hideaki Imera, Masamichi Yoshida, The Extraction of Geothermal Energy by a long Double Tube Therosyphon, Proceedings of 7th international Heat Pipe Conference, Edited L.L. Vasiliev, pp349-359, 1998