

# 전자교환시스템 냉각을 위한 히트파이프 적용 연구

## A study on the application of heat pipe to the cooling of ATM switching system

김 원 태\*, 이 윤 표\*\*, 윤 성 영\*\*  
W. T. Kim, Y. P. Lee, S. Y. Yoon

**Key words** : Loop heat pipe(분리형 히트파이프), ATM switching system(ATM 전자교환장치), Temperature oscillation(온도 불안정성), Cooling performance(냉각성능)

### Abstract

In the present study, the cooling package using the heat pipe has been developed to improve the thermal performance in the point of cooling characteristics of the electronic chip placed to the subrack being readily assembled and disassembled in ATM switching system. As the preliminary experiments, the cooling performances between a conventional way using a cooling fin and a proposed method applying the heat pipe are compared and analyzed. The cooling performance at a simulated electronic component packaging a heat pipe module is approximately achieved up to 5.0W/cm<sup>2</sup> heat flux and the allowable temperature at the heated chip is sustained in the range within 70°C. From the results, it is confirmed that temperature oscillations are also settled by inserted wick in the evaporator section. From the user's viewpoint, the method to assemble and disassemble the heat pipe easily has been devised.

### 1. 서 론

최근의 전자시스템은 고성능화되면서도 소형화됨에 따라 집적도를 더해가고 있다. 반도체 칩의 경우 칩 수명은 온도에 크게 좌우되기 때문에 칩 허용온도를 85°C에서 100°C 이내로 유지되어야 한다.<sup>(1)</sup>

그러나 최근 화상전송을 목표로 하고 있는 광대역 종합 정보통신망(B-ISDN : Broad-Integrated Switching Digital Network)의 경우 열유속이 2W/cm<sup>2</sup>에 달함에 따라 기존의 방열판을 이용한 냉각 방법으로는 더 이상 허용온도 이하로 온도를 유지시킬 수 없게 되었다.<sup>(2)</sup> 더욱이 3차원 패키징방법을 채택하게 될 차세대 종합정보통신망의 경우는 모듈의 열유속이 10W/cm<sup>2</sup>가 넘을 것으로 예상된다. 이에 대하여 여러 형태의 전자냉각 방법이 고안되

\*한국전자통신연구소

\*\*한국과학기술연구원

었고,<sup>(3,4)</sup> 그 중에서도 회효율을 극대화하여 냉각성능을 향상시킨 히트파이프(heat pipe)를 이용하는 방법은 널리 그 적용의 타당성을 인정받고 있다.

본 연구에서는 장탈착이 되는 서브랙에 적용 가능한 히트파이프를 개발함을 연구목표로 하였다. Fig.1은 히트파이프의 적용을 고려하고 있는 ATM (Asynchronous Transfer Mode)랙이다. 각 랙은 4단의 서브랙(subrack)으로 구성되어 있고, 각 서브랙은 20개의 보드가 약 20mm 간격으로 장착되어 있는 시스템 레벨의 실장도<sup>(5)</sup>이다. ATM 랙에는 상부와 하부에 각각 8개의 팬으로 구성된 팬 유니트가 각각 설치되어 있다. 그리고 팬은 2개씩 모듈 형태로 되어 있어서 각 모듈 단위로 착탈이 가능하도록 설치되어 있다.

이와같은 적층구조로 구성되어 시스템에 장착되는 서브랙에 히트파이프를 적용한 연구로는 Kojima 등<sup>(6)</sup>이 다중칩(MCM : Multichip Module)들을 3차원 실장 방식인 평면 적층(planar packaging) 방식으로 랙의 후면에 부착한 Fig.2와 같은 형태의 연구가 있다. 즉 랙 자체를 히트파이프가 삽입된 형태로 제작하는 것이다. 이와같은 방법은 히트파이프의 설치를 위하여 랙을 특별히 제작하므로 전자시스템의 열적 성능 및 기구장치 등을 함께 고려하여야 하는 문제점이 있다.

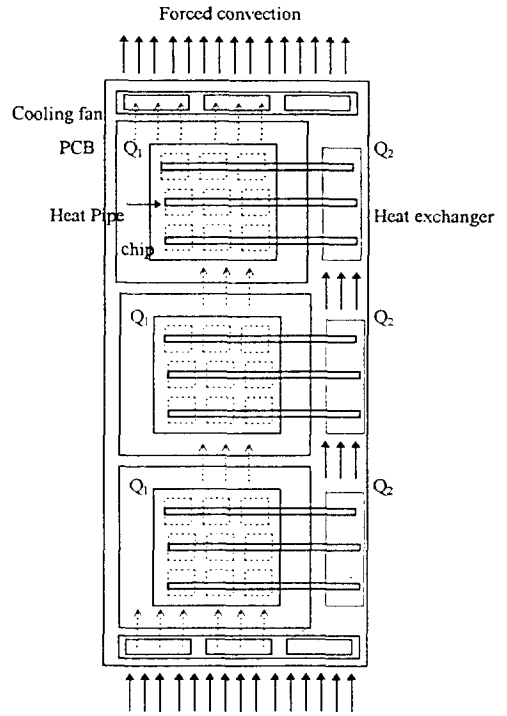


Fig.2 The cooling system using the heat pipes for circuit package proposed by J. Sotani

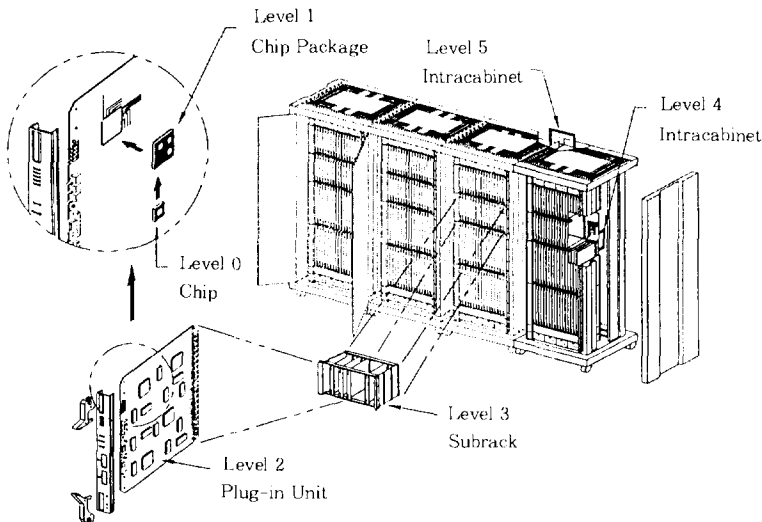


Fig.1 The configuration of ATM rack

본 연구에서는 장탈착되는 서브랙의 특성을 그대로 살린 상태에서 히트파이프를 서브랙에 결합하는 방법을 채택하였다. 또한 장탈착하는 방법까지를 고려한 히트파이프 냉각시스템을 설계, 제작하고 5.0W/cm<sup>2</sup>까지 열부하 실험을 수행하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

실험장치는 크게 ATM랙과 히트파이프로 구성되어 있으며, 보조 장치로는 전원공급 장치, 데이터 처리 및 저장하는 자료획득 장치 등이 있다.

#### 2.1.1 ATM랙(rack)

실험에서 사용된 랙은 Fig.1과 같이 4단의 서브랙(subrack)으로 구성되어 있고 각 서브랙은 20개의 보드가 약 20mm 간격으로 장착되어 있다. ATM 랙에는 상부와 하부에 각각 8개의 팬으로 구성된 팬 유닛이 각각 설치되어 있다. 그리고 팬은 2개씩 모듈 형태로 되어 있어서 각 모듈 단위로 착탈이 가능하도록 설치되어 있다. 팬 유닛에 사용된 팬은 Comair Rotron 사의 Flight II 120 Series(FT24M3)로서 정격 공기유량은 22.2 l/sec이며 팬으로부터 1m 떨어진 위치에서 측정된 소음도는 34.3dBA이다.

#### 2.1.2 전자 칩 냉각용 히트파이프

본 연구에서 채택된 발열체는 3개의 세라믹(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 판(35×35mm<sup>2</sup>)으로 구성되어 있다. 2개의 세라믹 상하판 사이의 가운데 있는 판의 가운데 부위를 레이저 가공으로 직사각형의 홈을 만들어 8.9×5.9×1mm<sup>3</sup> 크기의 발열요소인 베릴리아(BeO)를 삽입하여 고발열 전자칩을 모사하도록 특수 제작된 것이다. 이 발열요소는 50Ω, 100W 용량으로서 실제의 전자칩과 같이 작동하도록 되어 있다. 본 연구에서는 현재 상용화 개발 단계에서 운용 중에 있는 실제 ATM랙에 히트파이프를 설치하여 5.0W/cm<sup>2</sup>까지 열부하에서도 효과적으로 냉각성을 가지는 전자장비 냉각시스템 개발에 앞서 여러 가지 모델의 히트파이프에 대해서 냉각성능 실험을 수행하였다. Fig.3은 이 실험에 사용된 3가지 종류의 히트파이프(Model I, II, III)를 나타낸 것이다. 그리고 ATM랙 내부에 충분한 공간이 없기 때문에 서브랙들 사이 여유공간을 히트파이프의 응축부 설치공간으로 사용하여 각 서브랙의 발열보드에서 발생하는 열을 집중적으로 냉각할 수 있도록 하였다.

Fig.3의 (a), (b)는 분리형 히트파이프로서 외형은 동일 하지만 증발부의 형태가 다르고 모델(II)은 증발부에 위크를 삽입하여 가열면에서 과열도의 정도를 낮추고 충분한 비등핵을 제공하여 작동유체의 비등이 촉진되도록 하였다. Fig.3의 (c)는 ATM 전자 교환장치에 설치할 목적으로 본 연구에

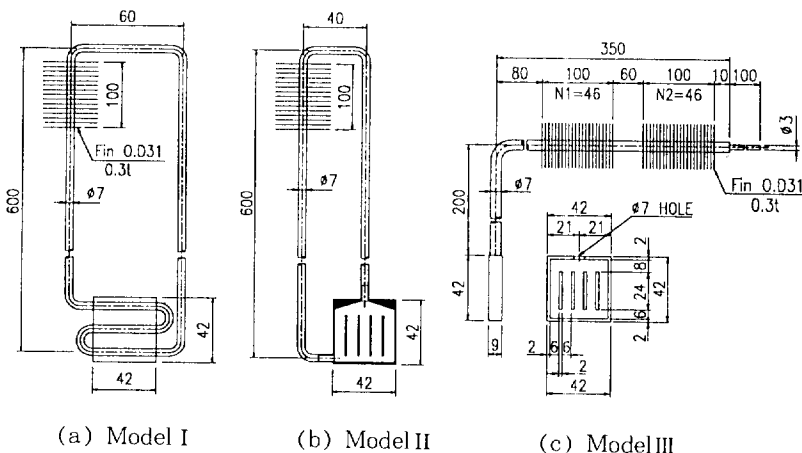


Fig.3 The cooling system using the heat pipe

서 제안한 히트파이프를 이용한 냉각시스템으로서 현재 사용되고 있는 전자교환 장치의 구조를 최소로 변경하면서 적용할 수 있는 모델(Model III)이다.

### 2.2 실험방법

실험은 다중칩(Multi-Chip)으로 구성된 통신장비에서의 냉각성능을 고찰하는 것이 목적이므로 현재 통신장비에서 사용 중인 냉각 회를 사용한 강제 대류에 의한 냉각방식과 본 연구에서 사용된 히트파이프에 의한 냉각방식을 비교할 수 있도록 동일한 유속의 경우에 대해서 동시에 실험을 수행하였다. 실험유속은 현재 전자교환장치에서 적용되고 있는 조건과 같게 하기 위해서 전자교환장치의 상, 하부에 설치되어 있는 팬을 통과한 공기유속이 2.0m/s로 유지된 후 실험을 수행하였다.

실험방법은 증발부의 히터에 공급되는 전류와 전압을 변화시켜서 응축부와 증발부에서 온도의 변화를 측정하였다. 이때 팬 유니트와 히트파이프의 응

축부에 설치된 팬에 공급되는 전력량을 각각 5W, 4W로 고정한 후 히터의 발열량을 0.5~5.0W/cm<sup>2</sup>까지 변화시키면서 실험을 수행하였다.

실험은 한가지 열유속마다 약 2시간에서 3시간동안 계속하였고 실험에서 얻은 결과는 Data logger (Campbell 21X)로 받아서 SC32A(interface)를 통하여 컴퓨터에 저장하였다. 측정할 온도는 Fig.4에서와 같이 응축부와 증발부 그리고 냉각팬 입출구 그리고 랙의 입출구이며 매 1분 마다 온도를 측정하고 이것을 컴퓨터에 저장하도록 프로그램 하였다.

각각의 경우에 대한 실험은 초기상태에서 모든 지점에서의 온도가 주위 온도에 도달할 때까지 히터에 전원을 공급하지 않고 기다린 후 실험을 수행하였다. 1가지 열유속에 대해서 실험은 대개 정상상태에 이르는 시간을 포함하여 약 2시간이 소요되었으며 한가지 경우가 끝나면 모든 지점의 온도 데이터를 컴퓨터에 저장한다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 히트파이프를 이용한 냉각시스템을 ATM 전자교환장치에 적용하기 전에 몇가지 예비 실험을 수행하였다. 이 실험을 통해서 먼저 전자장비 냉각에 히트파이프의 적용 타당성을 검토하였다. 또한 히트파이프를 ATM 전자교환장치에 적용하였을 경우 발생하는 여러가지 문제점과 히트파이프 냉각성능의 안정성 등에 대해서도 살펴 보았다. 그리고 실제 히트파이프를 적용하기 위하여 최적 모델을 선정하여 이에 대한 냉각성능 시험을 수행하였다.

#### 3.1 히트파이프 적용 타당성 검토

전자장비 냉각을 위한 방법으로서 히트파이프의 적용 타당성을 검토하기 위하여 현재 가장 많이 사용되고 있는 방열권에 의한 냉각 방법과 히트파이프를 이용한 냉각방법에 대해서 냉각성능을 비교하였다. Fig.5는 이 실험에 사용된 방열권과 히트파이프의 실험결과를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 방열권의 경우 전자칩에 해당하는 히터의 온도가 1.12W/cm<sup>2</sup>인 경우 90℃ 이상으로 칩의

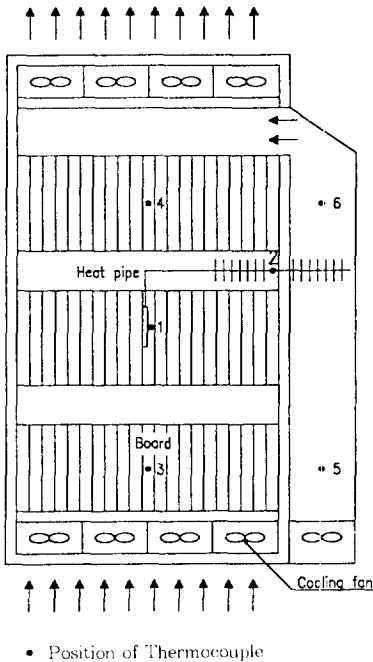


Fig.4 The measuring point of the temperature in an experimental apparatus

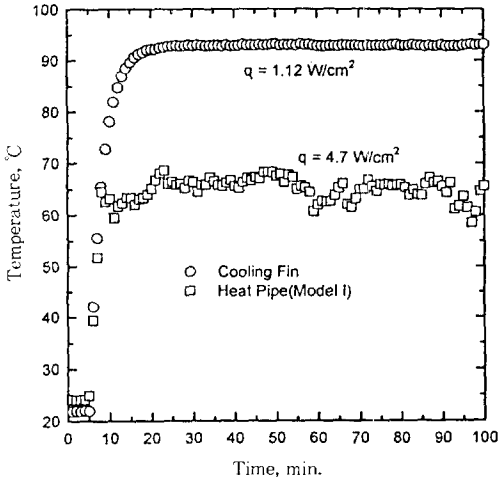


Fig.5 The validity of applying the heat pipe to ATM rack

허용온도를 초과한다. 반면 히트파이프의 경우 이보다 훨씬 높은 발열량인  $4.7\text{W}/\text{cm}^2$ 의 경우도 칩의 온도는  $70^\circ\text{C}$  이하를 유지하였다.

### 3.2 히트파이프 냉각성능의 안정성

앞선 실험결과에서 방열핀 보다는 히트파이프를 이용한 것이 냉각성능면에서 우수하다는 것을 알 수 있었다. 그러나 히트파이프에 대한 실험결과를 보면 전자 칩 표면의 온도는 방열핀을 사용한 결과보다 훨씬 낮은 온도를 유지하였지만 시간에 따라서 전자 칩의 온도가 심하게 변화하고 있음을 알 수 있다. 이러한 현상은 가시화 실험결과 다음과 같은 현상에 기인한 결과로 추정된다. 즉 히트파이프의 증발부가 좁은 유로로 되어 있어 증발부에서 발생한 기포가 액체를 밀어내는데서 발생하는 불안정성 때문이다. 따라서 Fig.6과 같이 히트파이프의 증발부를 수정한 후 워크를 넣어서 증발부에서 보다 작은 크기의 기포가 안정적으로 발생하도록 히트파이프를 수정하였다. 여기에 사용된 워크는 Fig.6에 나타난 바와 같이 600 메쉬의 SUS로 된 것을 사용하였다. 그리고 히트파이프에서 냉각성능의 안정성을 조사하기 위하여 수정 전의 증발부(Model I)와 수정된 증발부에 워크를 넣은 히트파이프(Model II)에 대해서 냉각성능 실험을 수행하였다.

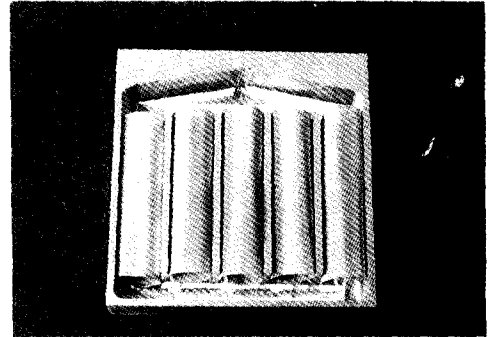


Fig.6 The structure of evaporator (Model II)

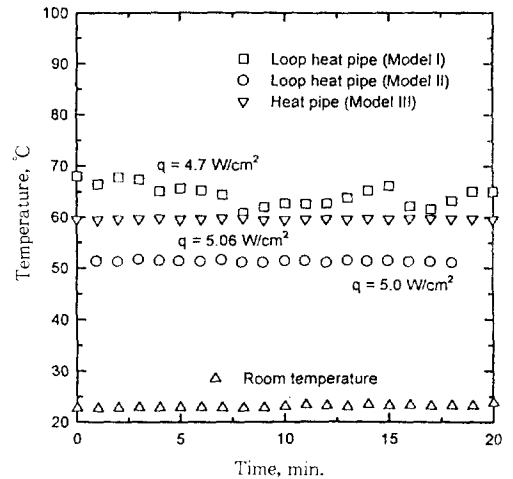


Fig.7 The comparison of temperature stability with the time in the Model I, II, and III (a) Before the assembly (b) After the assembly

Fig.7은 히트파이프 냉각성능의 안정성을 조사하기 위해서 모델 I, II, III의 냉각성능에 대한 실험결과를 나타낸 것이다. 이 실험결과는 모델 I과 모델 II의 경우에 대해서 히터에서 발생하는 열량이 각각  $4.7\text{W}/\text{cm}^2$ ,  $5.0\text{W}/\text{cm}^2$ 일 때 정상상태에 도달한 후 시간에 따른 히터 표면에서의 온도변화를 나타낸 것이다. 모델 I의 경우 시간에 따른 온도의 변화가  $10^\circ\text{C}$  정도로 크게 나타나 있으나 모델 II의 경우는  $1^\circ\text{C}$  이내로 거의 일정하게 온도가 유지되었고, 또한 정상상태에서 발열부의 온도도  $50^\circ\text{C}$  정도를 유지하였다. 이 결과를 통해서 증발부의

형상과 위크를 넣은 모델 II가 모델 I보다 높은 냉각성능 뿐만 아니라 안정적으로 작동하는 것을 알 수 있다.

그러나 모델 II가 비록 냉각성능과 온도 안정성을 구비하였다고 하나 분리형 히트파이프(Loop Heat Pipe)를 Fig.1과 같은 장탈착 랙에 적용하기는 어렵다. 따라서 적용을 위해서 Fig.3의 모델 III과 같은 히트파이프를 제작하였다. 모델 III의 형태는 5W/cm<sup>2</sup>의 발열량의 경우 칩의 온도를 60°C 이하로 유지할 수 있었다.

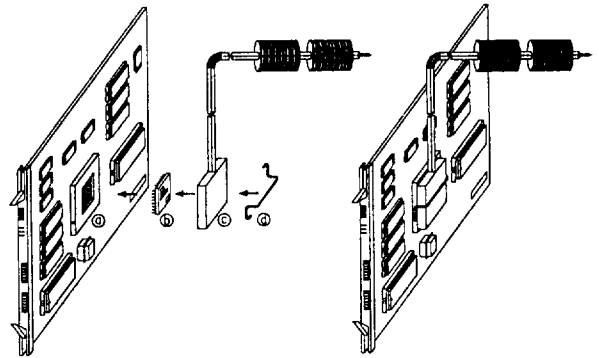
각 모델의 온도 안정성을 정량적으로 검토하기 위해서 정상상태에서 일정 시간 동안의 온도 데이터를 이용하여 평균온도, 표준 편차 및 오차를 계산하였다. Table 1은 세가지의 히트파이프 모델 I, II, III의 정상상태에서 평균 온도, 표준 편차 그리고 표준 오차를 나타낸 것이다. 이 표에서 나타낸 바와 같이 평균 온도는 모델 II가 가장 낮아서 냉각성능 면에서는 아주 우수하다. 그러나 표준 편차와 오차에 대해서는 모델 III의 경우가 낮은 수치를 나타내어서 온도의 안정성면에서 가장 우수함을 알 수 있다.

Table 1 The results of the temperature stability

	Model I [°C]	Model II [°C]	Model III [°C]
Mean	64.2	51.4	59.7
Std. dev.	2.14	0.172	0.099
Std. err.	0.478	0.0404	0.0222

### 3.3 본 연구에서 제안한 히트파이프 냉각시스템에 적용

본 연구에서 적용하고자 하는 시스템은 Fig.1에 나타난 바와 같이 ATM 랙의 구조를 살펴보면 각 서브랙에 설치된 보드들을 자주 착탈이 되도록 되어 있고 랙 상에 히트파이프를 설치할 만큼 공간이 없다. 그래서 본 연구에서는 현재 사용되고 있는 통신장비 랙의 구조를 최소로 변경하면서 강제대류와 히트파이프의 전열성능을 모두 이용할 수 있는 냉각시스템을 설계하였다. Fig.8은 본 연구에서 제안한 히트파이프를 전자교환기의 기판에 설치 전과



(a) Before the assembly (b) After the assembly

Fig.8 The cooling system using the heat pipes for ATM rack proposed in this study

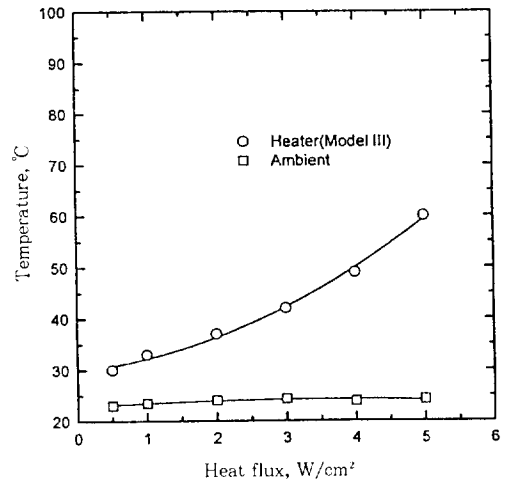


Fig.9 The variation of temperature with the heat flux supplied by heater in the Model III

후의 형상을 나타낸 것이다.

Fig.8에서 (a)는 히트파이프를 장착하기 전의 상태를 나타낸 것으로서 ①은 기판에 설치된 어댑터이며 이곳에 전자칩(②)이 부착된다. ③은 전자칩의 냉각을 위해서 사용된 히트파이프이며 장착시에 전자칩과 히트파이프 사이에 존재하는 접촉 열저항을 줄이기 위해서 heat sink compound(Model YG6111)를 사용하였다. ④는 전자칩과 히트파이

프를 착탈을 쉽게 하기 위해서 사용된 클립을 나타낸 것이다. 실제 시스템에서는 서브랙에 장착된 보드는 필요에 의해서 착탈이 가능하여야 함으로 본 그림과 같은 장치가 필요하다. 그림 (b)는 장착되었을 때의 형상을 나타낸 것이다. 설치 방법은 기판을 Fig.1과 같은 랙에 삽입한 후 기판 상의 전자 칩과 해당 히트파이프를 클립으로 고정하면 된다. 그리고 분해하는 과정은 장착방법의 반대 과정으로서 먼저 히트파이프와 전자칩을 고정하고 있는 클립을 떼어내고 히트파이프를 전자 칩과 분리한 후, 기판을 랙으로부터 분리하는 과정으로 구성된다.

Fig.9는 히터에서 발생하는 열유속을  $0.5W/cm^2$ 에서 본 연구에서 목표로 한  $5.0W/cm^2$ 까지 변화시켜서 열유속에 따른 통신장비에서의 온도변화를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 열유속이 증가함에 따라서 통신장비의 온도증가 폭은 열유속이 큰 부분에서 보다 크다는 것을 알 수 있다. 하지만 히터에서 발생하는 열유속이  $5.0W/cm^2$ 이상에서도 통신장비의 온도는  $70^\circ C$  이하로 유지되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 본 연구에서 제안한 히트파이프를 이용한 냉각시스템이 ATM 전자교환장치 냉각에도 효율적으로 적용될 수 있음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 ATM 전자장비에 방열권에 의한 방법과 히트파이프를 이용한 방법의 냉각성능을 비교하여 히트파이프에 의한 전자 교환 냉각시스템의 적용 타당성을 검증할 수 있었다. 또한 히트파이프에 의한 냉각 방법에서 발생하는 온도의 불안정성, 실제 장비에 적용하는 방법 등에 대해서 연구를 수행하였다. 그리고 히트파이프를 이용한 냉각시스템을 전자 교환 장치에 적용하여 실용화를 위한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 방열권에 의한 방법과 히트파이프를 이용한 방법의 냉각성능을 비교하여 히트파이프에 의한 경우가 정량적으로 높은 열전달성능을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

2) 모델 I의 경우 시간에 따른 온도의 oscillation 현상이 나타났지만 증발부의 형상 변경과 워크를 이용한 모델 II는 열유속이  $5.0W/cm^2$ 인 경우 통신장비의 온도가  $70^\circ C$  이하로 유지되었다.

3) 모델 III의 경우 증발부 표면에서 온도의 안정성 뿐만 아니라 열유속이  $5.0W/cm^2$ 인 경우에도 칩의 온도가  $70^\circ C$  이하로 유지되어서 효율적으로 전자교환 시스템에 적용할 수 있음을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

- Peterson, G. P. and Orgega, A., 1990, "Thermal Control of Electronic Equipment and Devices", *Advances in Heat Transfer*, Vol. 20, p.181.
- 김원태, 1996, "ISDN 정보통신시스템에서의 열관리 및 전자부품 실장 냉각기술", *대한기계학회지*, 제26권 제4호, pp.351~364.
- Yamanaka, N., Kikuchi, S., Kon, T., and Ohsaki, T., 1990, "Multichip 1.8 Gb/s high-speed space-division switching module using copper polyimide multilayer substrate", 40th ECTC, Las Vegas, pp.562~570.
- Doi, Y., Yamada, H., Sasaki, S., Kishimoto, T., and Tomimuro, H., 1993, "An ATM switch hardware technologies using multichip package", *IEEE Trans. on Components, Hybrids and Manufacturing Technology*, Vol. 16, No. 1, pp.60~66.
- 김원태, 김광수, 1996, "다중 PCG 칩층 모듈 구조의 정보통신용 캐비닛 강제대류 냉각 특성에 관한 연구", *공기조화냉동공학회논문집*, 제8권 2호집, pp.230~239.
- Kojima, K., Yamazaki, N., Sotani, J., Yamamoto, M., Tanaka, S., Nanba, N., Yamanori, K., and Susa, Y. 1992, "Cooling system using heat pipes for circuit package of tele-communication equipment", *Advances in Electronic Packaging ASME*, pp.193~198.