

히트파이프 열교환기를 이용한 전자통신장비 콘솔의 냉각 기술에 관한 연구

최지훈* · 유성열* · 성병호* · 이정환* · 김종만* · 전지환* · 서명원** · 김철주**

A Study on cooling technology of electronics communication device consoles using heat pipe exchangers

Jee-Hoon Choi*, Seong-Ryoul Ryoo*, Byung-Ho Sung*, Jung-Hwan Lee*,
Jong-Man Kim*, Ji-Hwan Chun*, Myung-Won Suh** and Chul-ju Kim**

Keywords : heat pipe heat exchanger(히트파이프 열교환기), fan(팬), the numerical analysis(수치해석)
electronic communication device console(전자통신장비), the cooling technology(냉각기술)

Abstract

The fan is widely used to cool high heat flux generated as of the electronic communication device consoles. It, however, makes a lot of noises that interfere considerably with the operation environment. This study was conducted to obtain the cooling design technology of the consoles through being equipped with the Heat Pipe Heat Exchangers (HPHE) together with low revolution fans in place of existing fans for the cooling technology of the forced convection. Not only the sealed type consoles but the HPHE were also designed so as to cool effectively the heat generated from the inside of the console. The simulation was conducted by computational numerical analysis along with its experiments. The results of the numerical analysis and experiments were compared in order to improve the cooling technology of the consoles mounted with the HPHE. Consequently, instead of loud fan noise generated as of existing forced convection methods, the cooling technology of HPHE can remarkably improve many problems such as the operation environment, indoor dust, malfunction caused by pollution sources and so on.

1. 서론

오늘날 전자 반도체의 소재 및 직접화 기술의 발달에 의해 전자 통신장비의 성능 향상과 함께 소형화, 모듈화, 경량화가 가속되고 있으며 이 결과 냉각 부하가 급격히 증대하고 있다.⁽¹⁻²⁾ 이러한 전자부품의 열부하 증가는 과열에 의한 전자기기 고장의 주요한 원인이 되고 있다. 이러한 문제의 해결을 위해서는 내부 발생 열을 효과적으로 외부로 배출하여 전자부품 및 주위온도를 설계 기준온도 이하로 유지하기 위한 냉각 기술이 요구된다. 일반적으로 이러한 냉각 기술은 알루미늄 히트싱크와 팬(fan)을 이용하여 외부의 공기를 전자 장비 내부로 유입시키는 강제대류 방식을 이용할 수 있다. 그러나 경우에 따라서는 전자 장비 내부 팬 소음이 주위의 거주 환경을 저해하거나 또는 장비 주위의 먼지 또는 다른 오염원으로부터 전자 장비의 보호가 필요하면 전자 장비 콘솔을 밀폐하고 내부 열을 냉각시켜야 한다. 이러한 냉각 방식은 열교환기를 이용하여 콘솔 내 외부의 공기가 서로 혼합되지 않도록 해야 한다. 히트파이프를 이용한 고밀도 열교환기를 이용하는 냉각 기술이 이러한 분야의 냉각에 매우 유용하다. 히트파이프는 유체의 기화 응축 현상을 이용하여 열을 수송하기 때문에 열전달 계수가 매우 크고 또한 내부 작동유체 오염에 의

한 전열성능 저하의 문제가 매우 낮다⁽⁵⁻⁶⁾. 또한 경량일 뿐만 아니라 벽면의 온도분포가 균일한 것 등 많은 장점이 있다. 이러한 히트파이프를 이용한 열교환기는 다수의 히트파이프를 관군 구조로 배열하고 공기측 관로 표면에 박판의 흰을 부착하여 열부하와 전열성능을 설계조건에 맞도록 설계할 수 있다. 지난 20여년 동안 히트파이프 열교환기 및 적용 사례에 관한 많은 연구가 수행되었다.⁽⁶⁻⁷⁾

본 연구에서는 약 300W의 냉각 부하를 갖는 밀폐구조의 전자통신 시스템 콘솔의 최적 냉각기술 개발을 위해 히트파이프 열교환기(Heat Pipe Heat Exchanger)를 적용하는 냉각기술을 제안하였고, 이 기술의 유용성을 히트파이프 해석 기능을 갖는 열해석 프로그램인 Sinda/Fluint(C&R Technologies, Inc.)를 이용하여 수치해석적 방법으로 검토하고 이 결과를 실험적 성능시험 결과와 비교 검증하였다.

2. 실험장치

냉각 기술을 적용할 전자통신 시스템의 외형도를 Fig. 1에 나타내었다. 전자통신 시스템은 크게 상단부분인 전시모듈과 하단부분인 셀프모듈로 구분된다. 전시모듈은 시스템 사용자에게 제공되는 각종 정보를 표시하기 위한 주요 전자부품으로써 LCD 패널이 사용되고 있다. 셀프모듈은 장비를 구성하는 핵심 구성부으로써 비상시 전원공급을 위한 무정전 전원공급장치(UPS), 자료 분석을 위한 자료처리기 등 많은 전자부품을 내장하고 있는 부분이며 내부 소음의 차폐, 실내 오염원의 유입 방지를 위해 밀

* 성균관대학교 대학원 choijihoon@skku.edu

** 성균관대학교 기계공학부, cjkim@me.skku.ac.kr

폐되어 있다.

본 연구에서는 Fig.2와 같이 1차적으로 열부하가 작은 전시모 들을 연구대상으로 실험장치를 구성하였다. 이 시스템에 적용된 HPHE의 형상과 체원은 Fig.3과 Table.1과 같으며, 하트파이프 열 교환기의 최대 열부하는 약 400W이다.

Fig.1의 전시 모듈의 냉각성능을 실험적으로 모사하기 위하여 Fig.4과 같이 3개의 전자장치 랙을 갖는 콘솔을 구성하였으며, 내부의 총 예상 발열량은 230W이다. 이 들 3개의 랙에는 각각 75W(랙1), 120W(랙2), 30W(랙3)의 히터를 부착하였으며 외부 온도가 20°C인 상태에서 실험을 수행하였다.

전자통신 시스템 콘솔 내부와 HPHE의 위치별 국소 온도측정을 위하여 T형 열전대를 사용하였다. 측정점 수는 Fig. 4와 같이 HPHE는 4, 랙1은 5, 랙2는 6, 랙3은 6으로 총 30채널의 자료 획득 장비를 사용하였다. 또한 히터의 전원 공급을 위해 교류 전원공급 장치(power supply)를 사용하였고, 실시간 열부하 변화를 모니터링하기 위하여 디지털 파워 미터(digital power meter)를 사용하였다. 외기 온도조건은 20°C이며 일일 실내 온도변화는 약 2C 이내로 크지 않았다. 온도측정은 외기의 안정된 온도유지와 시스템 내의 온도가 정상상태로 도달할 때까지 충분한 시간 간격을 두어 실시하였다.



Fig. 1 Overview of telecommunication system

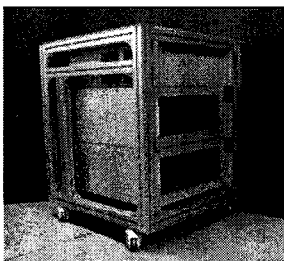


Fig. 2 Experimental model of telecommunication system

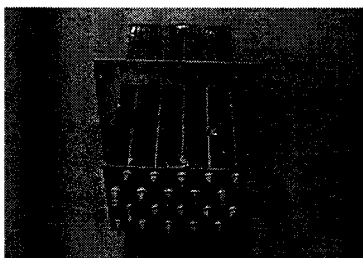


Fig.3 Heat Pipe Heat Exchanger (HPHE)

Table.1 Design parameters of the HPHE

	Size (mm)	Thickness (mm)	Fin pitch (mm)	Number of fin	Material	
fin	150*80	0.1	0.6	280	Al	
	Dia. (mm)	Length (mm)	Arrangement/ Number of HP	Wick Type	Working fluid	Material
Heat Pipe	10	210	Regular triangle / 20	Sintered copper	DI water	Cu

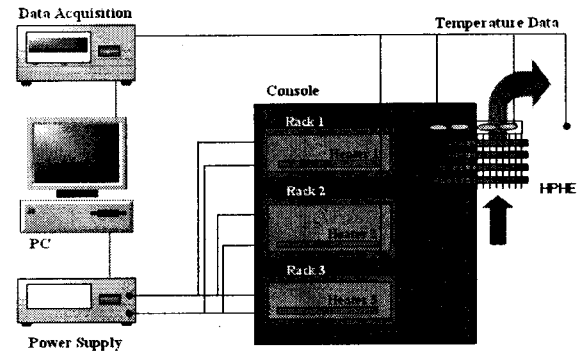


Fig. 4 Schematic diagram of experimental device

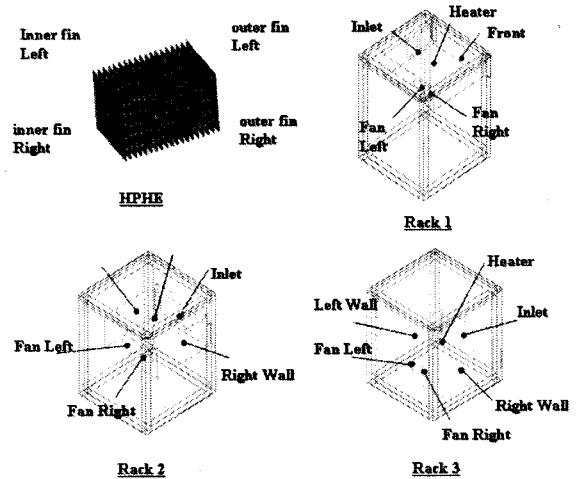


Fig. 5 Measuring points of temperature in telecommunication system

3. 열유동 해석

SINDA/FLUINT는 C&R Technologies에서 개발한 유체유동 및 열 해석 프로그램이며, 본 연구에서는 Thermal Desktop으로 모델링하여 해석을 수행하였다. 콘솔, 랙, HPHE의 열해석 모델은 열적 네트워크(thermal network)로 모델링 하였으며, 이는 에너지를 저장하는 열적 노드(thermal nodes)와 에너지를 전달하는 열전도체(heat conductors)로 구성된다. 열적 노드는 단순히 온도에 의해 정의되며, 에너지 균형방정식으로 표현된다. 또한 콘솔 내외부의 유체유동 해석은 유체 네트워크로 모델링 하였으며, 유체유동의 기본적인 요소는 에너지와 질량을 저장하는 검사체적(control volumes, lump & tank)과 이 들을 전달하는 경로(paths, ties)들이다. 검사체적은 고정체적을 가진 개방형 열역학적 시스템이며, 압력 및 내부에너지 등의 상태변수로 정의되고, 연속방정식과 에너지방정식

으로 표현된다.^(8,9)

Sinda/Fluint의 전후처리기인 Thermal Desktop을 이용한 HPHE 적용 콘솔 내외부 열유동해석 과정은 Fig.6과 Fig. 7에 보는 바와 같이 전시 모듈과 랙, 발열체(히터), HPHE를 모델링한 후 내외부 유동경로를 단순화하여 링크시켰다.

경계조건으로는 각 랙의 히터에 열부하조건(총 230W), 내부유동과 외부유동조건은 냉각팬의 유속(5m/sec)으로 적용하였다. HPHE의 흰 간격은 계산의 편의를 얻기 위하여 흰 피치를 약 3배 크게 하여 모델링하였으며, HPHE의 히트파이프는 성능실험에 적용된 것과 동일한 구조로 모델링하였으며, 이들 히트파이프의 내부 비등 및 응축 열전달계수는 Sinda/Fluint의 기본값(default) 사용하였다.

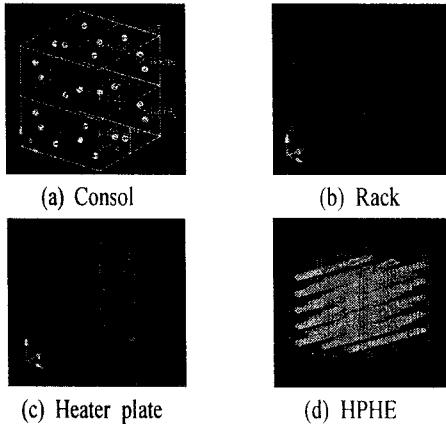


Fig. 6 Network modeling for each component

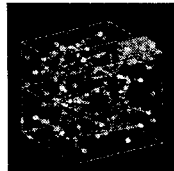


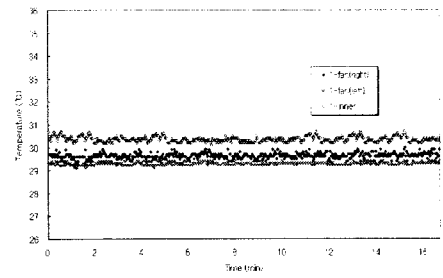
Fig. 7 Thermal-fluid modeling

4. 결과 및 고찰

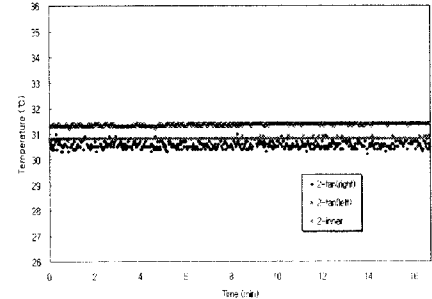
4.1 성능실험 결과

콘솔 내부 열부하는 설계 목표치를 기준으로 각각 연동제어기(랙1) 75W, 자료처리기(랙2) 120W, 무정전전원장치(랙3) 30W로 설정하였고, 외부 공기온도는 실험실 실내온도인 20°C인 상태에서 실험을 수행하였다. Fig. 8은 콘솔의 냉각 성능실험을 수행한 결과로 각 랙의 출구온도와 콘솔 내부에 위치한 HPHE의 흰 온도의 차이 값을 나타낸 것이다. 랙의 벽체 온도는 30.5-32.5°C 범위에 분포하며 콘솔내부에 위치한 히트파이프의 관외벽 흰의 온도는 약 29.5°C로 나타났다.

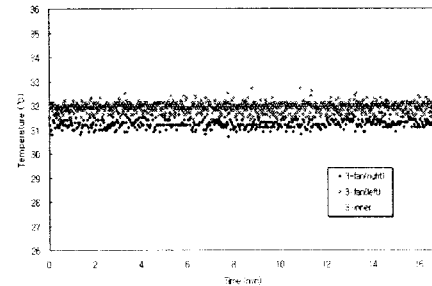
Fig. 9는 HPHE의 열전달성능에 관한 것으로 콘솔 내부와 외부에 설치된 히트파이프관로의 벽면흰 온도측정 결과를 나타낸 것이다. 내부 흰의 측정 온도는 약 29.5°C, 외부 흰은 약 26°C로 측정되었다. 따라서 콘솔 외벽을 통한 열손실을 무시하고 HPHE의 요소 열저항을 측정결과를 이용하여 계산하면 0.017°C/W을 얻는다. Fig. 10은 각 랙에 대해 출구온도와 외기온도와의 차이값을 나타낸 것으로 최대 차이 값은 상단에 위치한 랙3에서 약 1.2°C를 보였다.



(a) Temperature difference between rack 1 and inner fin of HP



(b) Temperature difference between rack 2 and inner fin of HP



(c) Temperature difference between rack 3 and inside fin of HP

Fig. 8 Temperature difference between each rack and the inner fin of heat pipes

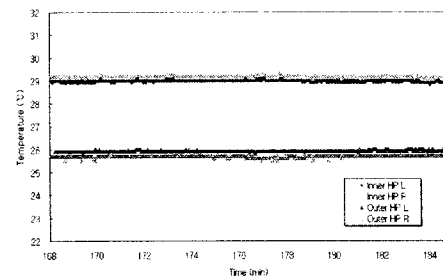


Fig. 9 Temperature difference between the outer fin and the inner fin of heat pipes

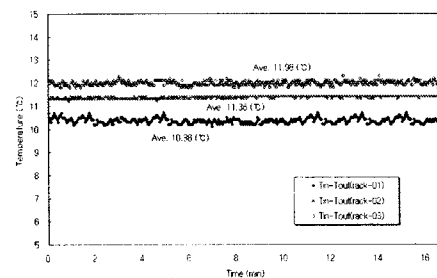
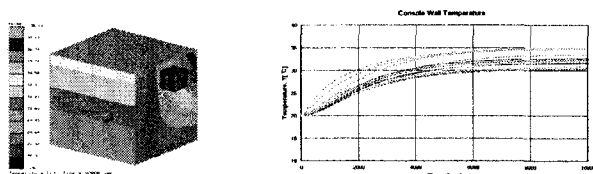


Fig. 10 Temperature difference between outlets of each rack and the outside temperature

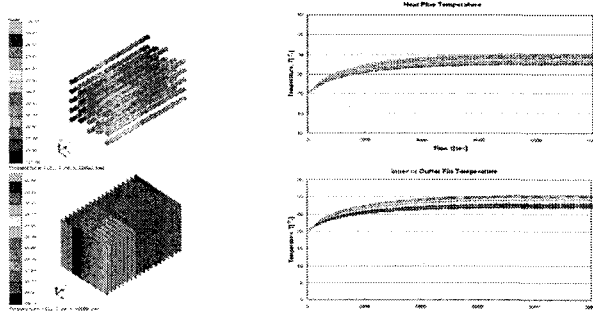
4.2 수치해석 결과

Sinda/Fluint로부터의 수치해석은 위에서 언급된 실험조건과 동일한 조건으로 설정하여 수행하였다. Fig. 11은 과도상태에서 해석 결과를 나타낸 것이며 콘솔의 벽체, HPHE의 온도분포 그리고 콘솔내부 유동의 온도변화를 표시하고 있다.

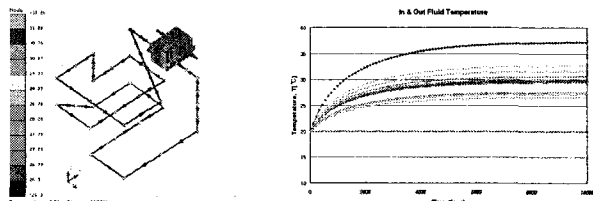
Table.2는 이 수치 해석결과와 앞 절에서 언급된 실험결과로부터 구성 요소들의 온도와 열저항 값을 비교하여 보여주고 있다. Fig.12는 발열체로부터 냉각원인 외부 공기온도 사이의 열경로와 요소 열저항들을 나타내고 있다. 가장 큰 온도 차이는 랙의 벽체 온도로서 수치해석 결과가 약 14.4%크게 나타났으며, 내부 및 외부 열교환기의 히트파이프 관벽면의 평균온도의 온도차는 콘솔 내외부에서 각각 5.7%, 1.2%를 보여주었다. 각 구성 요소들에 온 분포에 관해서는 실제실험과 수치해석결과는 절대 값에서 큰 차이를 보이지 않으며 해석결과를 설계에 반영할 수 있다고 생각한다. 그러나 Fig. 12의 열회로를 기준으로 각 절점의 온도와 열부하값을 이용하여 계산한 요소 열저항 값들은 위치에 따라 차이가 크게 변하였고 최대 오차는 콘솔 내부유동에 의한 대류 열저항으로 약 57%를 나타내었다. 이러한 차이는 수치해석에서 콘솔 내부 유동 네트워크를 가장 단순한 경우인 하나의 루프로 설정하였으며 이러한 유동조건이 실제 문제에서는 각 랙에서 유동의 분지가 이루어지는 현상을 무시하고 있는 데에 관련성이 큰 것으로 보인다. 열교환기의 경우는 수치 해석에서는 계산의 편의를 얻기 위하여 흰 피치를 약 3배 크게하여 계산을 수행하였고 이러한 차이가 실험결과보다 해석결과가 열저항값을 증대시킨 요인으로 보인다.



(a) Temperature distribution of console wall



(b) Temperature distribution of HPHE



(c) Temperature distribution of Fluid network

Fig. 11 Results of thermal analysis

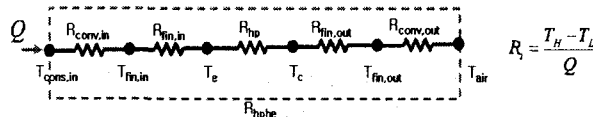


Fig. 12 Thermal path and thermal resistance

Table.2 Comparisons of experimental and numerical analysis results

(a) Temperatures

	Consol wall	Inner fin	Outer fin	Outside air
Experiment results	32.0°C	29.5°C	26.0°C	20.0°C
Analysis results	37.38°C	31.29°C	26.31°C	20.0°C
Rel. Err.	14.4%	5.72%	1.2%	

(b) Thermal resistances

	Inner convection	HPHE	Outer convection	Total
Experiment results	0.011°C/W	0.011°C/W	0.026°C/W	0.054°C/W
Analysis results	0.026°C/W	0.022°C/W	0.027°C/W	0.076°C/W
Rel. Err.	57.6%	24.5%	5.2%	40%

5. 결론

밀폐형 통신 장비의 콘솔의 냉각을 위하여 HPHE를 이용하는 냉각장치를 설계하고 성능시험과 수치해석적 열해석을 수행하였다. 열부하를 설계 목표치 230W, 실내 온도 20°C에서 실험한 결과 랙의 발열부 벽체온도와 외기온도와의 차이는 최대 약12°C였다. 수치해석 결과는 실험결과와 비교하여 랙의 발열체부착 벽온이 최대 약 5.5°C 크게 예측하였으며 상대 오차 약 15%범위에서 근사적인 접근을 확인할 수 있었다. HPHE를 부착한 이 밀폐형 콘솔 냉각장치는 전체 열저항이 약 0.05-0.06°C/W로 개방형 구조의 기존 냉각장치에 접근된 성능을 나타내었다. 이러한 HPHE이용 냉각장치는 기존의 개방형 강제 공기 대류 냉각방식에서 발생하는 팬소음에 의한 주거환경 훼손, 실내 먼지 또는 기타 오염원에 의한 전자 장비의 오작동 문제 등의 문제점들을 크게 개선할 수 있다.

참고문헌

- [1] Vogel, M., Xu, G., 2005, "Low Profile Heat Sink Cooling Technologies for Next Generation CPU Thermal Designs," ElectronicsCooling, Vol. 11, No. 1, pp. 20-26.
- [2] Soule, C., 2001, "Future Trends in Heat Sink Design," ElectronicsCooling, Vol. 7, No. 1, pp. 18-27.
- [3] Incropera, F. P. and DeWitt, D. P., 1996, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 4ed., John Wiley & Sons.
- [4] Sadik Kakac and Hongtan Liu, 2002, Heat Exchangers selection, rating and thermal design, 2nd, CRC presss
- [5] Chi.S.W., 1976, Heat pipe theory and practice, McGraw-Hill
- [6] Amir Faghri, 1995, Heat pipe science and technology, Taylor & Francis
- [7] 김현태, 유성열, 이수영, 김철주, 2001, "HPHE의 열전달 성능 해석", 대한설비공학회 2001년도 하계학술발표회 논문집(III), 2001. 7, pp. 1440 ~ 1446
- [8] SINDA/FLUINT MANUAL
- [9] THERMAL DESKTOP MANUAL