

< 논문 >

## 히트싱크를 이용한 전자통신 시스템의 방열설계 프로그램 개발

이정환\* · 김종만\* · 전지환\* · 배철호\* · 서명원†  
(2006년 10월 21일 접수, 2007년 1월 9일 심사완료)

### Development of Thermal Design Program for an Electronic Telecommunication System Using Heat Sink

Jung-Hwan Lee, Jong-Man Kim, Ji-Hwan Chun, Chul-Ho Bae and Myung-Won Suh

**Key Words:** Thermal Design(방열설계), Heat Sink Heat Exchanger(히트싱크 열교환기), Heat Transfer(열전달), Natural Convection(자연대류), Forced Convection(강제대류)

#### Abstract

The purpose of this study is to investigate the cooling performance of heat sinks for an electronic telecommunication system by adequate natural convection. Heat generation rates of electronic components and the temperature distributions of heat sinks and surrounding air are analyzed experimentally and numerically. In order to perform the heat transfer analysis for the thermal design of telecommunication system, a program is developed. The program used the graphic user interface environment to determine the arrangement of heat sources, interior fan capacity, and heat sink configuration. The simulation results showed that the heat sinks were able to achieve a cooling capacity of up to 230W at the maximum temperature difference of 19°C. To verify the results from the numerical simulation, an experiment was conducted under the same condition as the numerical simulation, and their results were compared. The design program gave good prediction of the effects of various parameters involved in the design of a heat sinks for an electronic telecommunication system.

#### 기호설명

$A_w$  : 횡단면적[m<sup>2</sup>]

$h_{fg}$  : 증발잠열[kJ/kg]

$h$  : 열전달계수[W/m<sup>2</sup>K]

$k$  : 열전도계수[W/mK]

$L$  : 길이[m]

$N$  : 노드 수

$\dot{m}$  : 질량유동율[kg/s]

$Q$  : 열량[W]

$W_m$  : 동력[W]

하첨자

*cond* : 전도

*conv* : 대류

*rad* : 복사

*in* : 입구

*ex* : 출구

*fg* : 유체, 기체

*k* : 검사체적

\* 성균관대학교 대학원 기계공학부

† 책임저자, 회원, 성균관대학교 기계공학부

E-mail : suhmw7447@skku.edu

TEL : (031)290-7447 FAX : (031)290-7447

sur : 주위  
 w : 벽면  
 w-f : 벽면-유체

1. 서 론

최근 정보통신 산업에 많이 활용되고 있는 통신 장비 내부 전자부품은 제품의 성능 뿐 만 아니라 크기 및 소음 등의 요구조건을 만족해야 한다. 이를 위하여 전기 전자 컴퓨터 산업의 반도체소자들은 소형화, 집적화가 계속적으로 이루어져 왔다.

이러한 전자부품의 고도화는 전자기기 내부 발열밀도에 큰 영향을 주었고, 예로써 PC의 마이크로프로세서 소비전력은 70년대와 비교하여 30배 이상 증가했으나, 장치의 용적율은 두드러지게 감소하고 있다.<sup>(1-3)</sup> 이러한 전자부품의 발열밀도 증가는 전자기기 내구 및 신뢰도 저하의 주요한 원인이므로, 발생하는 열을 효과적으로 외부로 배출하고, 냉각시켜 전자부품 접촉부 및 주위온도를 설계 기준온도 이하로 유지하여 시스템의 효율증대 및 오동작 감소 등 제품의 신뢰성 향상을 위한 열 설계기술이 요구된다.

열 설계기술은 고체내부 전도 및 시스템 내부 공기 유동해석이 복합된 문제의 해석기술이라 할 수 있다.<sup>(4)</sup> 이러한 문제는 수년 전까지만 해도 개인용 PC에서의 해석이 불가능하였으나, 컴퓨터 성능의 급속한 발전 및 전산유체역학 관련 해석기술의 지속적 발달로 수치 해석적 방법에 의한 접근이 가능하게 되었다. 지금까지 전자부품의 냉각과 관련된 연구는 다양한 방법으로 접근되어 왔다. 김서영 등<sup>(5)</sup>은 동일한 조건을 갖는 세 가지 다른 형태의 히트싱크에 대한 해석을 수행하여 최적화 된 히트싱크의 형태를 얻었고, 황영규 등<sup>(6)</sup>은 모니터 내부의 회로기판을 열원으로 하여 두 가지 타입의 히트싱크에 대한 해석 및 실험을 통해 핀의 두께에 대한 폭 길이 비의 최적조건을 도출하였다. 이기우 등<sup>(7)</sup>은 차세대 전자부품 냉각을 위한 히트파이프 히트싱크 개발용 최적설계프로그램을 개발하고 실험을 통해 해석결과를 검증하였다. 또한 노홍구 등<sup>(8,9)</sup>은 광대역 회선분배 시스템(BDCS, Broadband Digital Cross-connect System)과 같은 전자통신 시스템의 효율적인 냉각방안 제시를 위하여 4가지 경우에 대한 수학적 모델 및 수치해석을 통해 성능분석을 하였고,

Park 등<sup>(10)</sup>은 MMC(Manifold MicroChannel)형 히트싱크에 대한 해석 및 실험을 수행하여 전자시스템의 냉각에 적용하려고 하였다. 하지만 실제 전자장치의 냉각설계에 이러한 기법들이 효과적으로 적용되기 위해서는 장치의 다양한 요구조건을 만족시키기 위한 방열설계 프로그램이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 전자통신 시스템에 적용 가능한 저소음 냉각 설계기술 개발을 위하여 시스템의 형상, 열원의 배치, 풍속, 히트싱크의 형상(핀 길이, 핀 높이, 핀 간격 등)을 설정하고 해석을 수행하면 시스템 내부의 온도 상승을 예측할 수 있는 프로그램을 개발하였다. 또한 프로그램을 통한 해석결과와 검증을 위하여 실험결과와 비교하였다.

2. 이론적 배경

히트싱크의 성능해석을 위한 정상상태에서 방정식 들은 다음과 같다.

1) 임의의 체적에 대한 연속방정식

$$\sum_{i=1}^{N_m} \dot{m}_i - \sum_{i=1}^{N_{ex}} \dot{m}_i = 0 \tag{1}$$

2) 검사체적 k에 대한 에너지방정식

$$\sum_{i=1}^{N_m} \dot{m}_i (h_{fg})_i - \sum_{i=1}^{N_{ex}} \dot{m}_i (h_{fg})_i \pm (Q_{w-f})_k + W_m = 0 \tag{2}$$

3) 열적 노드는 정지된 열전도 매질에 대한 에너지 방정식으로 표현되며 다음과 같다.

$$\sum_{i=1}^{N_m} Q_i - \sum_{i=1}^{N_{ex}} Q_i = 0 \tag{3}$$

또한 유체 네트워크와 열적 네트워크의 조합, 즉 이들 사이의 에너지 전달을 해석하기 위하여 다음의 열전달 방정식들이 사용된다.

a) 시스템 내 · 외부의 대류에 의한 열전달

$$Q_{conv,k} = h_k A_{w,k} (T_{w,k} - T_{air,k}) \tag{4}$$

b) 평판의 벽면 전도에 의한 열전달

$$Q_{cond,k} = k \frac{A_{cond,k}}{L_{cond,k}} (T_{w,k} - T_{w,n}) \tag{5}$$

c) 주변으로 열복사에 의한 열전달

$$Q_{rad,k} = \epsilon_k \sigma A_{rad,k} (T_{w,k}^4 - T_{sur}^4) \tag{6}$$

여기서,  $\sigma$ 는 Stefan-Boltzmann 상수로  $5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$ 이다.

### 3. 실험장치

Fig. 1은 전자통신 시스템의 외형도를 나타낸 것으로 크게 상단부분인 전시모듈과 하단부분인 셸프모듈로 구분된다. 전시모듈은 시스템 사용자에게 제공되는 각종 정보를 표시하기 위한 부분으로 주요 전자부품으로써 LCD 패널이 사용되고 있다. 또한 셸프모듈은 장비를 구성하는 핵심 구성부으로써 비상시 전원공급을 위한 무정전 전원공급장치(UPS), 자료분석을 위한 자료처리기 등 많은 전자부품이 밀집되어 있는 부분이다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 2와 같이 열 발생량이 상대적으로 적은 전시모듈을 제외한 셸프모듈을 연구 대상으로 하여 실험장치를 구성하였다.

#### 3.1 발열량측정

발열량은 본 연구의 결과에 중요한 영향을 미치는 인자이지만 작동 중 전자부품에서 실제 발열량을 측정하는 것은 기판의 다층화 등의 조건에 의해 사실상 불가능하다.<sup>(6)</sup> 따라서 본 연구에서는 기존의 팬을 이용한 냉각방식에 대한 데이터의 활용을 위해 Fig. 3과 같은 장치를 구성하고, 예비실험으로써 발열량 측정을 위하여 열교환기(heat exchanger)부를 팬으로 대체하여 실험을 수행하였다. 측정결과 실험장치의 각 랙(rack)은 소비전력의 약 30%의 발열량을 나타내었다.

#### 3.2 온도측정

전자통신 시스템 내부와 히트싱크의 온도측정을 위하여 T형 열전대를 사용하였다. T형 열전대

의 온도범위와 오차범위는 각각  $-400 \sim 800^\circ C$ ,  $\pm 0.01^\circ C$ 이다. 온도측정은 Fig. 4에 나타난 바와 같이 21채널을 사용하였고, 각 채널마다 열전대를 연결하여 여러 지점의 온도를 동시에 읽을 수 있도록 하였다. 또한 전원공급을 위한 장치로는 교류 전원공급 장치를 사용하였고, 전원공급의 모니터링을 위하여 디지털 파워 미터(digital power meter)를 사용하였다.

실험은 외기온도 및 습도를 각각  $43^\circ C$ , 30%로 유지시켜 최악의 조건으로 설정하였으며, 기준 접점부는 단열시켰다. 온도측정은 외기의 안정된

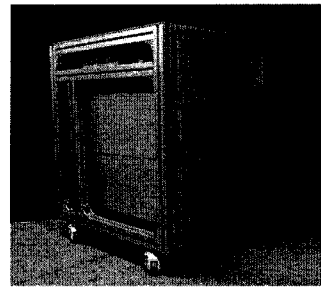


Fig. 2 Experimental device of telecommunication system

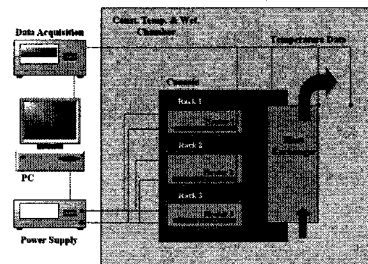


Fig. 3 Schematic diagram of experimental device

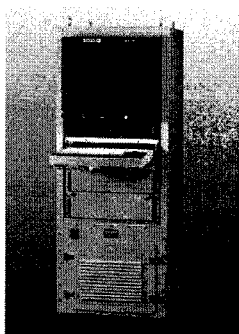


Fig. 1 Overview of telecommunication system

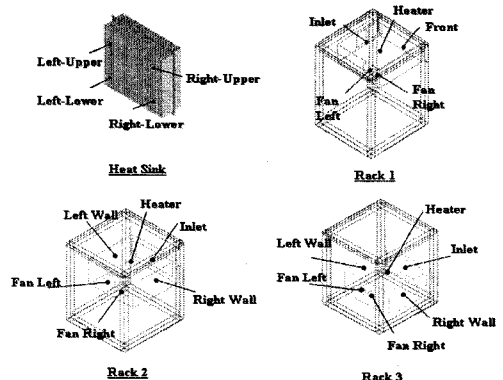


Fig. 4 Measuring point of temperature

온도유지와 시스템 내의 온도가 정상상태로 도달할 때까지 충분한 시간 간격을 두어 실시하였으며, 3회 반복실험 후 평균하여 그 결과 값을 시스템 내부와 히트싱크의 온도로 결정하였다.

```

Parametric model DB
solver select "FLUENT 5/6"
/console
volume create width WIDTH_C depth DEPTH_C height HEIGHT_C
offset OFFSET_W OFFSET_D OFFSET_H brck
/rack 1
volume create width WID_R_1 depth DEP_R_1 height HEI_R_1
offset OFF_R_1_W OFF_R_1_D OFF_R_1_H brck
face create radius RAD_1 xplane circle
face move "face.13" offset ID_1_X ID_1_Y ID_1_Z
face cmove "face.13" multiple 1 offset ID_2_X ID_2_Y ID_2_Z
face create width WID_1_1 height HEI_1_1
offset ID_1_X ID_1_Y ID_1_Z xzplane rectangle
face move "face.15" offset ID_4_X ID_4_Y ID_4_Z
face split "face.12" connected face "face.13"
face split "face.12" connected face "face.14"
face split "face.7" connected face "face.15"
    
```

Fig. 5 Parametric model database

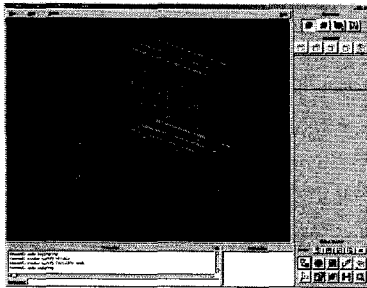


Fig. 6 Modeling example using GAMBIT

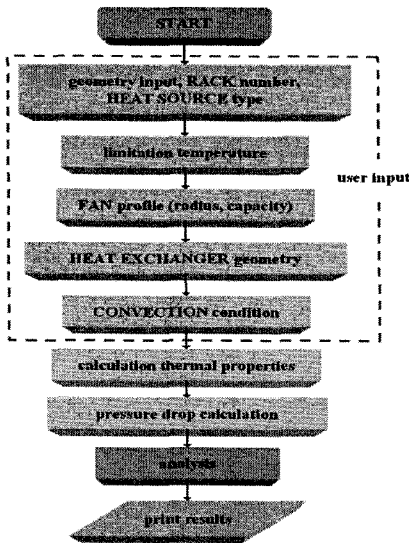


Fig. 7 Flow chart of thermal design program

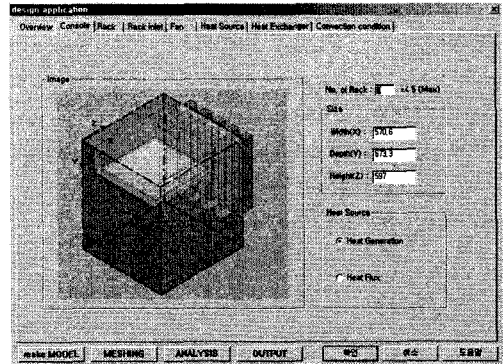
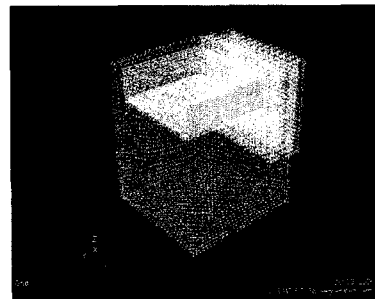


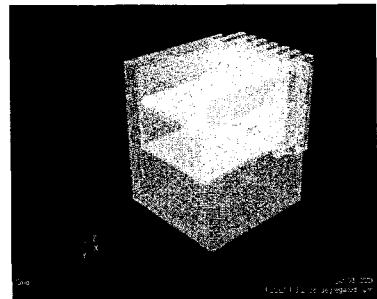
Fig. 8 GUI of thermal design program

Table 1 List of analysis model with various fin interval

Case No.	fin interval(m)	
	1	console inner
	console outer	0.01
2	console inner	0.02
	console outer	0.02
3	console inner	0.01
	console outer	0.02
4	console inner	0.02
	console outer	0.01

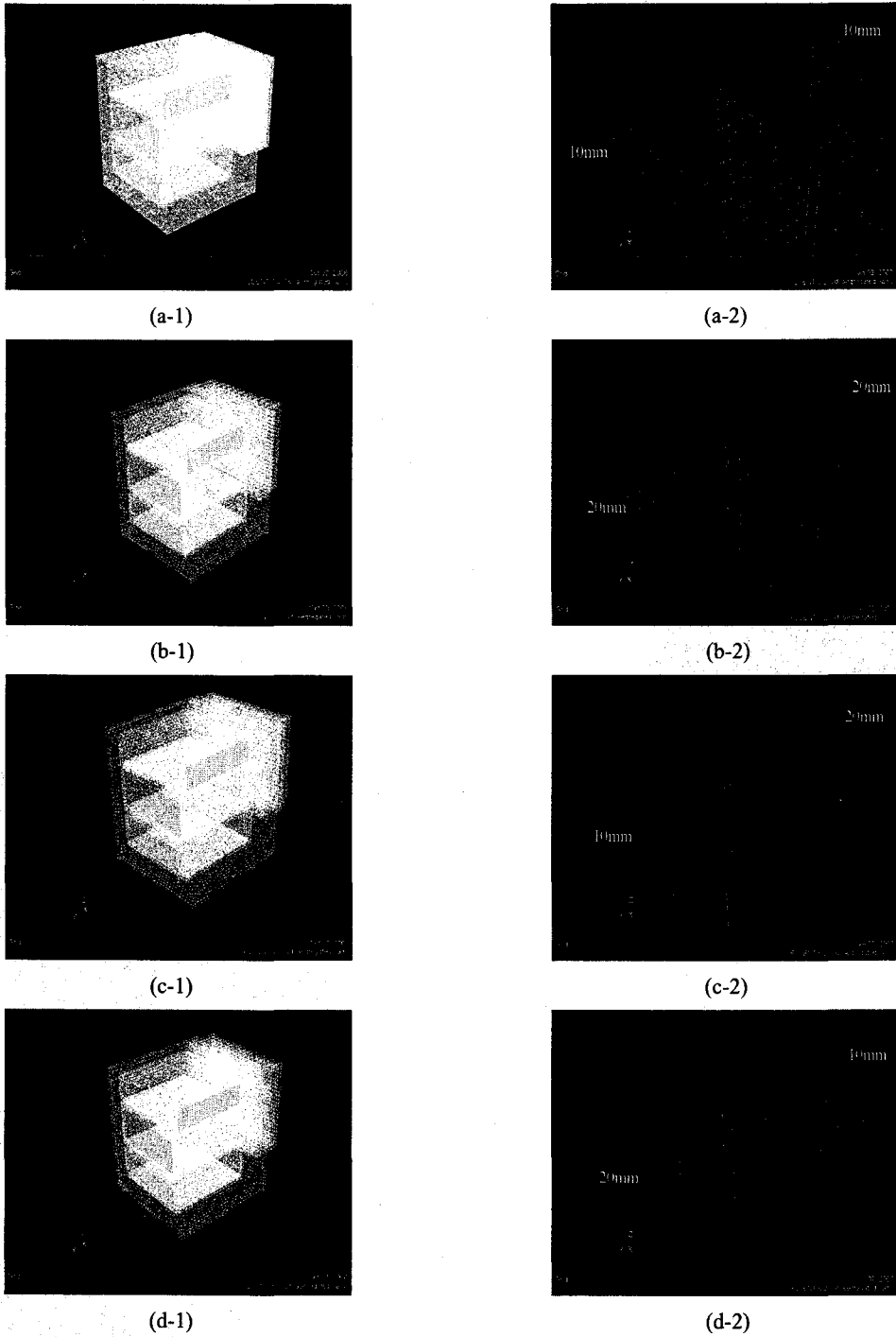


(a)



(b)

Fig. 9 Analysis model with various rack number; (a) 1 rack model, (b) 2 rack model



**Fig. 10** Analysis model with various fin interval; (a) 10mm(inner, outer), (b) 20mm(inner, outer), (c) 10mm(inner), 20mm(outer), (d) 20mm(inner), 10mm(outer)

#### 4. 해석적 연구

##### 4.1 방열설계를 위한 프로그램 개발

프로그램은 전자통신 시스템과 같은 실제 전자 장비의 냉각설계에 적용할 수 있도록 실용적으로 개발되었다. 즉, 전자통신 시스템에 사용되는 중요 제원에 대한 정보를 바탕으로 Fig. 5와 같이 변수화된 모델(parametric model DB)을 구성하여 사용자로부터 시스템의 형상정보, 경계조건 등 모델 파라미터를 입력받을 수 있도록 구성하였다. 이러한 사용자의 입력정보를 바탕으로 Fig. 6에 나타낸 GAMBIT<sup>(11)</sup>을 이용하여 해석모델을 구성한 후, 열원의 타입, 대류조건 등 해석과 관련된 파라미터를 입력받아 해석을 수행하고, 그 결과를 출력 할 수 있도록 구성하였다. 이의 전체적인 흐름도 및 구성된 GUI는 Fig. 7, 8과 같다.

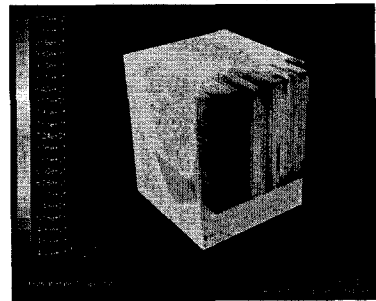
##### 4.2 프로그램을 이용한 해석 예제

상기에 개발된 프로그램을 이용하여 다양한 조합의 모델에 대한 열전달 해석을 수행하였다. 이용된 히트싱크는 향류형(counter flow) 방식으로 설계하였으며, 전자통신 시스템의 기하학적인 제약조건을 고려하여 핀 두께 0.001m, 높이 0.46m, 폭 0.54m, 내부길이 0.08m, 외부길이 0.1m에 대하여 Table 1에 나타낸 것처럼 4가지 핀 간격모형을 구성하였다.

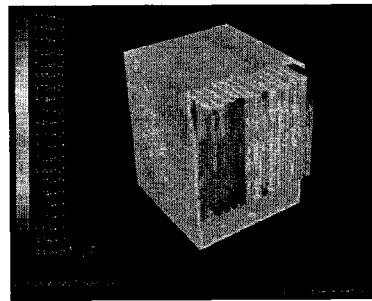
또한 Fig. 9는 다양한 랙의 개수 및 핀 간격을 갖는 모델구성의 예를 보여주고 있으며, 이는 개발된 프로그램이 전자통신 시스템과 같은 실제장치의 다양한 설계조건을 만족시킬 수 있다는 것을 보여준다.

Fig. 10은 Table 1에 나타낸 핀 간격을 설계변수로 하여 프로그램을 통해 구성한 해석모델을 나타내고 있으며, 각각은 모델의 전체적인 모습과 핀 부위를 확대한 것이다.

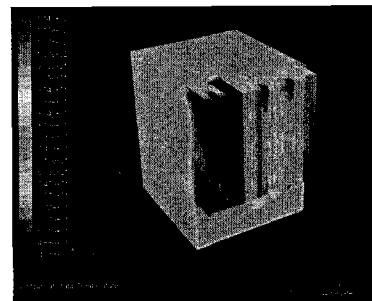
본 연구에서는 상기에 언급한 전자통신 시스템의 기하학적인 제약조건에 적합한 히트싱크의 형상도출을 위하여 시스템 전체에 230W의 부하가 작용하는 조건에 대한 자연대류 해석을 수행하였고, 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 자세한 해석 결과는 5장에서 언급될 것이며, 제일 낮은 평균 온도분포를 보이는 것은 예상대로 case 1이다. 또한, Fig. 12는 case 1 모델에 대한 수렴 추이를 나타내고 있으며, 연속성(continuity)은 1.566e-3, 에너지는 3.468e-7 으로 각각 수렴하였다.



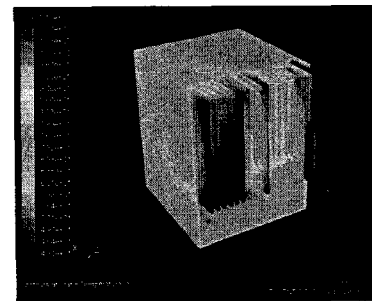
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 11 Analysis results of model with various fin interval; (a) 10mm(inner, outer), (b) 20mm (inner, outer), (c) 10mm(inner), 20mm(outer) (d) 20mm(inner), 10mm(outer)

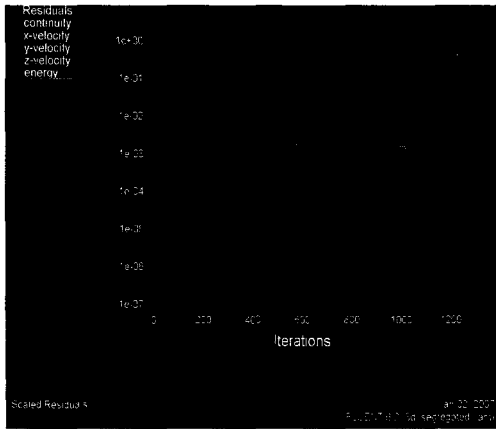


Fig. 12 History of residual values

Verify module	
Rack 1 LIMIT TEMP. ==50.000,	ANALYSIS TEMP. ==109.150
Rack 1 is DOWN.	
try following action:	
1. choose ANOTHER HEAT EXCHANGER(for example, HEAT PIPE etc).	
2. change CONVECTION TYPE.	
3. enlarge HEAT EXCHANGE AREA.	

Fig. 13 Verification module

위의 해석모델 및 결과는 현재의 전자통신 시스템에 적용 가능한 히트싱크의 분석을 위해 구성한 하나의 예를 보여주고 있다.

4.3 해석결과와 출력

본 연구에서는 해석결과를 사용자가 이해하기 쉬운 형태로 표현하기 위하여 원하는 부분에 대한 정보를 데이터 타입으로 출력할 수 있도록 하였으며, Fig. 13과 같이 시스템 내부에서 최고온도 분포를 보이는 부위에 대한 평균온도를 산출하고 사용자에게 의하여 주어지는 한계온도와의 비교를 통해 설계된 열교환기의 사용 가능성을 판정해 주는 모듈을 구성하였다. 즉, 이를 통해 사용자는 용이하고 신속하게 현재 시스템에 적합한 열교환기의 형태를 도출 할 수 있게 된다.

5. 결과 및 고찰

Table 2는 4장에서 구성한 다양한 핀 간격을 갖는 모델에 대한 해석결과를 나타내는 것으로 시스템 내부 최고온도와 히트싱크 표면에서의 평균온도 분포를 보여주고 있다.

Table 2 Analysis results of various fin interval

Case No.	fin interval (m)	Mean temp. of heat sink surface(°C)	Max. interior temp. of system(°C)
1	inner 0.01	50.34	62.1
	outer 0.01		
2	inner 0.02	57.81	78.69
	outer 0.02		
3	inner 0.01	52.77	73.04
	outer 0.02		
4	inner 0.02	53.06	71.51
	outer 0.01		

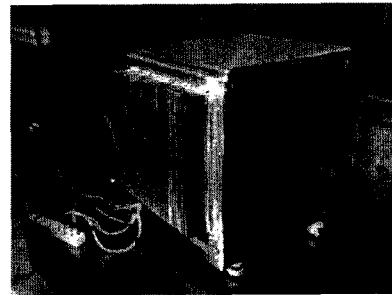


Fig. 14 Experimental equipment with heat sink heat exchanger

Table 3 Temperature according to measuring points

measuring point	heat sink surface				system interior
temperature (°C)	53.2	53.4	54.1	54.2	60.5
error(%)	6.72				2.58

히트싱크의 실제 제작을 고려하여 최소 핀 간격은 0.01m로 제한하였으며, 시스템 내부 팬에 의한 냉각효과를 고려하기 위해 내·외부 핀 간격이 다른 모델(case 3, 4)도 해석을 수행하였다. 해석결과를 통하여 전체적으로 가장 낮은 온도분포를 보이는 경우는 예상대로 열 교환면적이 넓은 0.01m 간격 모델이며, case 3과 4를 통하여 시스템 내부 팬에 의한 냉각효과는 거의 없었다는 것을 확인 할 수 있었다

해석결과와 검증을 위해 Fig. 14와 같은 실험장치를 구성하여 대류열전달 실험을 수행하였다. 즉, 상기에 언급한 것과 같이 가장 낮은 온도분포를 보이는 case 1과 동일한 조건인 핀 두께

0.001m, 높이 0.46m, 폭 0.54m, 핀 간격 0.01m, 핀 내부길이 0.08m, 핀 외부길이 0.1m로 설정하였다. Table 3은 Fig. 4의 21개 측정 포인트 중 시스템 내부 최고온도와 히트싱크의 표면온도를 나타내며, 실험결과는 해석결과와 최대 6.72%의 허용할 수 있는 오차범위 내에서 일치하는 것을 알 수 있었다.

## 6. 결론

본 연구에서는 히트싱크를 이용한 전자통신 시스템의 방열설계 프로그램 개발을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 연구에서 개발한 프로그램은 전자통신 시스템에 익숙하지 않은 사용자도 쉽게 모델을 구성하고 해석을 수행할 수 있도록 사용자 인터페이스를 구성하였다.

(2) 경험에 의존하여 진행되었던 설계부분을 전산화하였고, 프로그램을 이용하여 해석 모델을 생성하면 모델링 시간을 단축시킬 수 있으며 다양한 설계변경에 신속히 대응할 수 있다.

(3) 시스템의 허용온도 범위를 만족시키는 히트싱크 크기 및 핀의 개수, 각 랙의 팬 용량 등을 제시함으로써 초기설계에서 발생할 수 있는 설계 오류를 방지할 수 있다.

(4) 기존의 팬을 이용한 냉각방식에서 발생하는 소음, 진동, 공간적 제약 및 팬 구동에 의한 전력사용 등의 단점을 극복하기 위한 방안을 제시하였다.

## 후 기

본 논문은 한국과학재단 목적기초연구(R01-2004-000-10938-0)와 교육인적자원부, 산업자원부, 노동부의 출연금으로 수행한 최우수연구실 지원사업의 연구결과입니다.

## 참고문헌

(1) Vogel, M. and 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) <http://www.electronics-cooling.com>

(4) Incropera, F. P. and DeWitt, D. P., 1996, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 4ed., John Wiley & Sons.

(5) Kim, S. Y. and Rahph L. Webb, 2002, "Thermal Performance Analysis of Fan-Heat Sinks for CPU Cooling," *International symposium(KSME part)*, pp. 2588~2594.

(6) Hwang, Y. K., Kim, J. H., Cho, Y. S. and Jang, S. K., 1998, "An Experimental Study of Heat Sink Thermal Characteristic and Optimum Design," *Autumn conference Proc. of the KSME(B)*, pp. 201~206.

(7) Lee, K. W., Park, K. H., Rhi, S. H. and Yoo, S. Y., 2002, "Heat Pipe Heat Sink Development for Electronics Cooling," *Transaction of the SAREK*, Vol. 14, No. 8, pp. 664~670.

(8) Noh, H. K., Kim, W. T, Kim, K. S. and Lee, Y. S., 1995, "Cooling Enhancement of Electronic Component Mounted with Fin Heat Sinks," *Autumn conference Proc. of the KSME(B)*, pp. 62~67.

(9) Noh, H. K. and Lee, J. H., 1998, "Cooling Performance of an Electronic System Including Electronic Components Mounted with Heat Sink," *Transaction of the KSME*, Vol. 22, No. 2, pp. 253~266.

(10) Park, B. C., Copeland, D. and Nakayama, W., 1995, "Cooling of Electronic Systems by Using Manifold Microchannel Heat Sinks," *Autumn conference Proc. of the KSME(B)*, pp. 74~80.

(11) <http://www.fluent.com>