

# 열전소자를 이용한 전자 통신장비 냉각에 관한 연구

김종수 · 임용빈<sup>†</sup> · 공상운\*

(부경대학교 기계공학부, <sup>†</sup> 부경대학교 대학원, \*한-베트 엔지니어링(주))

## A Study on the Application of Thermoelectric Module to the Electric Telecommunication Equipment Cooling

*Jong-Soo Kim, Yong-Bin Im<sup>†</sup>, Sang-Un Kong*

*Pukyong National University, Graduate School of Pukyong National University,*

*Han-Viet Engineering Co., Ltd*

*(Received August 2, 2004 / Accepted November 10, 2004)*

### Abstract

Cooling technology has been a vital prerequisite for the rapid, if not explosive, growth of the electronic equipment industry. This has been especially true during the last 20 years with the advent of intergrated circuit chips and their applications in computers and related electronic products. The purpose of this study is to develop a telecommunication equipment cooling system using a thermoelectric module combined with cooling fan. Thermoelectric module is a device that can perform cooling only by input of electric power. In the present study, the cooling package using the thermoeletric module has been developed to improve the thermal performance. The cooling characteristics of the electronic chip was placed into the subrack and it can be rapidly assembled or disassembled in the equipment rack. As a preliminary experiment, the cooling performances between a conventional way using a cooling fin and a proposed method applying the thermoelectric module was comosed and analyzed. The cooling performance at a simulated electronic component packaging a thermomodule operated well.

*Key Words: Thermoelectric Module, Electric Telecommunication Equipment*

### Nomenclature

I : 전류 [A]

P : 펠티어 효과

Q<sub>c</sub> : 냉각열량 [W]

Q<sub>h</sub> : 가열량 [W]

R : 전기저항 [ $\Omega$ ]

V : 전압 [V]

### 그리스 문자

$\alpha$  : Seebeck 계수 [V/K]

k : 열전도도 [W/mK]

$\Delta T$  : 접점의 온도차 [K]

$\sigma$  : Thomson 계수 [V/K]

<sup>†</sup> Corresponding author : Tel.: +82-51-620-1502; E-mail address: iyongbin@hanmail.net

\* 본 연구는 한국과학재단 지정 부경대학교 친환경첨단 에너지기계 연구센터의 지원에 의해 연구됨 (과제번호 : R12-2003-001-01001-0)

### 하첨자

C	: 저온부
H	: 고온부
J	: Joule effect
P	: Peltier effect

## I. 서 론

높은 온도에 매우 취약한 특성을 지닌 전자 통신 시스템의 전자 부품들은 부품 표면의 최대 허용 동작온도가 75°C 정도이며, 전자 부품표면이 허용동작온도를 초과하면 오류동작이 발생하므로 부품의 표면 온도를 최대 허용동작온도보다 낮게 유지시켜야 한다(김원태, 1996). 최근 국내에서 개발되고 있는 광대역 회선분배 시스템(BDCS, Broadband Digital Cross-Connect System)이나 광 전송장치(Fiber Loop Carrier) 등과 같은 고성능 전자 통신시스템의 통신용 부품은 발열밀도가 매우 높으므로 냉각시스템의 적용이 필수적이다. 또한, 차세대 종합정보통신망의 경우는 모듈의 열유속이 10 W/cm<sup>2</sup>가 넘을 것으로 예상된다. 이에 대하여 여러 형태의 냉각방법이 고안되었고, 그 중 열전소자를 이용한 방법은 널리 그 적용의 타당성을 인정받고 있다(강병하, 2002).

기존의 증기압축식 냉각장치는 일반적으로 프레온 가스 또는 암모니아와 같은 냉매를 압축기에 의해 강제 순환시켜 냉각하는 압축 냉각방식을 사용하고 있다. 일반적인 소형 냉각장치에서는 냉각부하가 낮으므로, 냉매를 비롯하여 각종 열교환기 및 압축기가 요구되는 종래의 냉각장치는 그 크기가 상대적으로 클 뿐만 아니라 에너지 소비측면에서도 비효율적이며, 불필요한 소음진동까지도 발생한다(노승탁, 1990).

이와 같은 문제점을 해결하기 위해, 전류의 극성에 따라 열을 흡수·방출하는 열전소자를 이용한 전자 냉각방식은 종래의 냉각방식과는 전혀 다른 냉각방식으로 냉매순환을 위한 기계적인 구동부분이 필요없고, 장치의 폐기처분시 생기는 냉매에

의한 환경오염을 유발하지 않고, 국소적으로 목적하는 냉각을 수행하는 냉각방식이다(유성연, 2004).

Table 1에 열전소자를 이용한 냉각 시스템의 적용분야를 나타내었으며, Table 2에 열전소자를 적용한 냉각 시스템과 기존의 14평형 증기압축식 에어컨과의 비교검토 사항을 나타내었다.

열전소자를 이용한 냉각방식은 재질이 비싸고 낮은 냉각 성능계수를 갖는 단점이 있다. 그러나 정밀온도제어가 가능하고, 저소음, 소형화 등의 장점으로 우주항공, 컴퓨터 CPU 및 군사용 등의 특별한 목적으로 주로 사용(Goldsmid, 1989)되어져 왔으나, 최근 국내외적으로 열전소자를 적용한 다양한 냉각시스템 개발에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다(유성연, 2004).

따라서 본 연구에서는 전자통신장비의 내부에서의 발열량을 제거하기 위해 반영구적(연속 100,000시간)이며 내구성을 가진 열전소자를 이용한 전자 통신장비 냉각시스템 설계를 위한 기초 설계자료를 제공하고자 하였다.

## II. 실험장치 및 방법

### 2.1 열전소자의 기본 원리와 열전달 해석

열전소자의 heat pumping 원리는 Fig. 1에서와 같이 간략하게 나타낼 수 있다. 열전소자는 소량의 불순물을 첨가하여 정상가보다 전자수가 많은 n형 반도체와 정상가보다 전자가 적은 p형 반도체로 이루어져 있다.

p형 반도체와 n형 반도체를 금속 전극에 접합시킨  $\pi$ 형 직렬회로 p-n상(couple) 양극을 각각 (-), (+)가 되도록 전류를 n형에서 p형으로 흘리면, p형 반도체내의 정공은 (-)극으로, n형 반도체 내의 전자는 (+)전극으로 이끌리게 된다. 이때 정공과 전자 모두 상부의 p-n접합부로부터 열을 갖고 하부 전극으로 이동하기 때문에 상부의 접합부에서는 냉각되어 주위로부터 열을 흡수하고, 하부에

서는 열을 방출하게 된다(Solomon, 1998).

Table 1 Application field of the the thermo electric module

Division	Applications
Appliance	Dehumidifier, Hot & cold clean water machine, Vending machine, Cosmetic refrigerator, Compact Refrigerator
Industry	Machine tool, Switch board cooling, Calorie meter, Generator by industry waste heat, CPU cooler
Aviation	Black box cooling, Electronic switch board cooling
Military	Infrared rays sensor, Laser observation equipment
Research	Experimental device, Cooling box & cabinets, Constant temperature bath
The others	Beer & wine cooler, Mini refrigerator for vehicle

Table 2 Comparison between thermoelectric module cooler and vapor compressing cooler

Factor	Thermoelectric module	Compressor system
Heat pumping	Joule-Thomson effect	Refrigerant
Surroundings temperature	Negligible	Weak factor
Installation	Direct install	Extra space
Reliability	100,000 hours	40,000 hours
Electric power consumption	855 W	1,720 W

열전소자의 기본 원리에서 Thomson 효과와 열전소자의 측면방향으로의 열전달을 무시 한다면, 열전소자를 통한 전열량은 아래의 식과 같이 나타 낼 수 있다.

우측 변에서 첫 번째 항은 Peltier 효과에 의한 냉각열량( $Q_p$ )이며, 두번째 항은 열전소자에서 발생하는 Joule열( $Q_j$ ) 중 절반에 해당하는 값으로 저온부로 침입하는 열량이다. 세 번째 항은 열전소자의 고온부(TC)와 저온부(TH)의 온도차에 의한 전도열량( $Q_k$ )이다(Nolas, 2001).

$$Q_c = \alpha T_c - \frac{I^2 R}{2} - k \Delta T$$

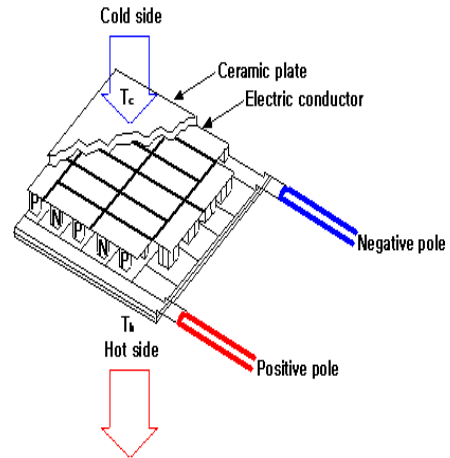


Fig. 1 Basic concept of a thermoelectric module

## 2.2 실험장치

본 연구에사용한 열전소자는 크기가 40 × 40 × 3.9 mm 이며, 1.4 × 1.4 × 1.6 mm인 p-n 소자 127 쌍이 직렬로 연결되어 있으며, 세부사양은 Table 3에 나타내었다. 24 V / 20 A 직류전원기에 연결되는 열전소자는 Fig. 2와 같으며, 8개의 열전소자는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 1대의 직류 전원기에 2개의 열전소자가 직렬 연결하여 4 병렬형식으로 구성하였다.

열전소자를 이용하여 구성한 냉각시스템을 Fig. 4에 나타내었다. (a)는 열전소자 냉각시스템의 실제 모습이며, (b)와 (c)는 상세도를 나타낸다. 외부 공기는 흡기팬에 의하여 흡기구를 거쳐 흡열부로 공급되며, 열전소자의 냉각부에서 냉각된 공기를 4개의 휠을 이용하여 광전송 기기 함체 내부로 공급할 수 있도록 구성하였다. 또한, 열전소자 발열부에서의 발열량 제거를 위해 발열부 측면에 수냉각 방식 키트를 제작하여 부착하였다.

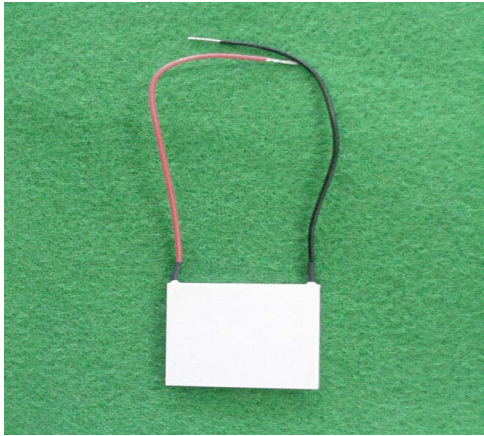


Fig. 2 Photograph of thermoelectric module

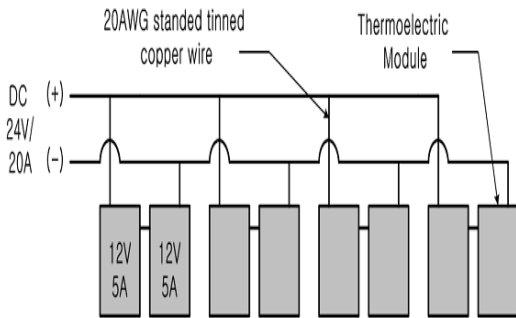


Fig. 3 Arrangement of the lead wires

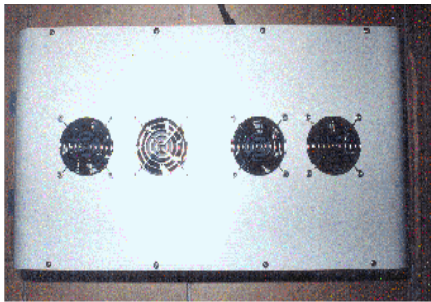
Table. 3 Specification of the thermoelectric module

Thermoelectric module (AceTec CO., HMN6040)	
Maximum current [A]	6.0
Maximum Voltage [V]	15.0
Maximum Capacity [W]	53
$\Delta T_{max}$ [K]	69
Internal Resistance [ $\Omega$ ]	$2.1 \pm 10\%$
Height [mm]	$4 \pm 0.2$
Unflatness and Nonparallel [%]	0.020

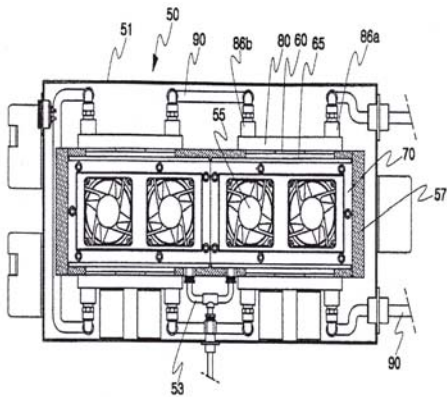
실험장치의 개략도를 Fig. 5에 나타내었으며, 실험장치는 크게 냉각 유니트부, 발열 냉각부, 전원부, 자동제어부로 구성되며 주요 기능은 다음과 같다. 열전소자 냉각 시스템은 열전소자, 송풍 휠(fan)으로 구성되어 있으며 온도 센서 및 조작부의 적정온도로 냉각된 공기를 휠으로 전자통신장비 함체 내부로 공급한다. 발열 냉각부는 순환펌프로부터 공급되는 냉각수를 강제 순환시켜 냉각 유니트부 열전소자에서 발열된 열을 제거 함으로써, 열전소자의 흡열 냉각 효율을 높인다.

자동제어부는 온도감지용 써미스터(Thermister)를 이용하여 열전소자 냉각기를  $18 \sim 28 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ )로 제어하며, 장치 이상, 흡열·발열부 온도 이상시 경보를 발생시키며 정지 시키도록 구성하였다. 전원부는 냉각 유니트부와 조작부에 직류전원(24 / 48 Volt)를 공급하며 발열냉각부의 휠과 순환펌프에 교류전원(110 / 240 Volt)를 공급할 수 있도록 제작하였다.

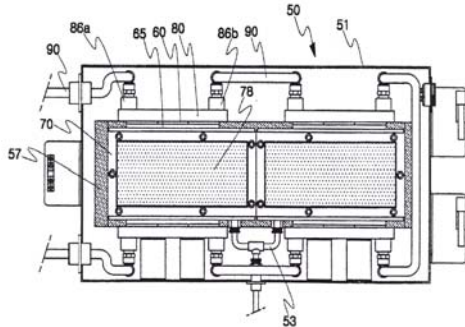
전자 통신장비 냉각 성능 실험은 부산시 동래구 온천 2동에 소재한 럭키아파트 통신실에 설치된 전자통신장비 함체에 적용하여 연구를 수행하였다. 주요 성능시험 내역은 전자통신장비의 발열량, 열전소자 냉각시스템 가동시 통신장비의 내부 위치별 온도분포 특성 분석, 전기 소비량 분석 그리고 고장 발생 요인 및 유지 보수방법의 검토를 주요 대상으로 하였다. 통신장비 내부의 온도분포 특성과 열전소자에 의한 냉각효과를 확인하기 위해 6회로용 온도측정 팬레코더의 센서를 채널셀프 입구, 채널셀프, 공동셀프, 공동셀프 출구 그리고 함체 외부에 설치하여 공기측 온도를 측정하였다. 열전소자 냉각시스템은 모두 3회에 걸쳐 실시하였으며, 최초 설계 및 실험 이후 2회에 걸쳐 시스템을 개선하였다. 각 실험조건 및 열전소자 냉각시스템의 변경 사항은 Table 4에 나타내었다.



(a) Photograph of the cooling system



(b) Schematics of frontal view



(c) Schematics of rear view

50: Cooler 51: Housing 53: Drain tube 55: Supply fan 57: Insulation pad 60: Thermoelectric module 65: Heat sink 70: Cold sink 80: Water cooling kit 86a: Water supply tube 86b: Water drainage tube 90: Connect tube

Fig. 4 Schematics of the cooling system using a thermoelectric module

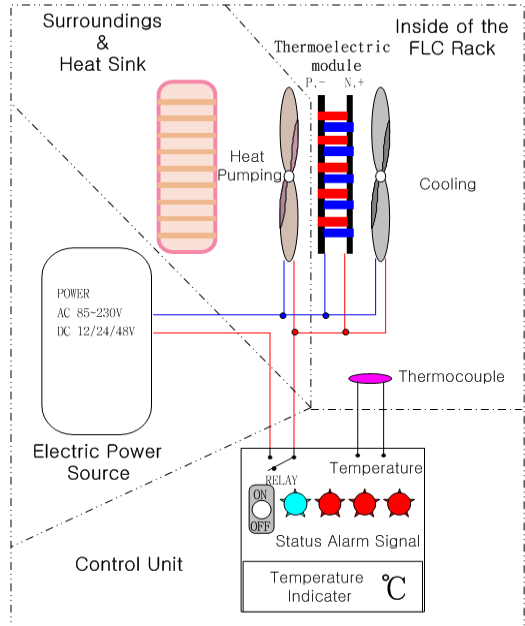


Fig. 5 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 4 Test conditions

구분	통신장비 내부 외기 유입 조건	열전소자 냉각 시스템 설치 위치
Test A	· 일부 및 완전 차단	· 통신장비 내부 설치
Test B	· 일부 차단	· 통신장비 외부 설치
Test C	· 광분배판 FAN 흡입측 밀폐	· FLC 랙 외부 설치 · 발열부측 FAN 추가

### III. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 적용 가능성 평가 (Test A)

열전소자 냉각시스템의 적용 가능성을 확인하기 위한 실험(Test A)을 하였다. 통신장비의 발열량 및 냉각 시스템 가동시 통신장비에 미치는 영향을 검토하기 위하여 열전소자 냉각시스템을 통신장비 내부에 설치하였다. 유입되는 주위공기에 의한 냉각효과를 제외하기 위해 내부로 외부공기가 유입될 수 있는 모든 환기 통로를 차단하였다.

공동셀프와 채널셀프 및 REC 와 Battery에서 발생하는 열량으로 인하여 열전소자 냉각시스템을 가동하기 이전에는 통신장비 내부의 온도가 상승하는 현상을 확인할 수 있었다. 내부의 온도가 40℃ 상승하였을 때 열전소자 냉각시스템을 가동하였으며, 가동 후 통신장비 내부의 온도가 38℃ 까지 하강함으로써, 적용가능성을 확인할 수 있었다.

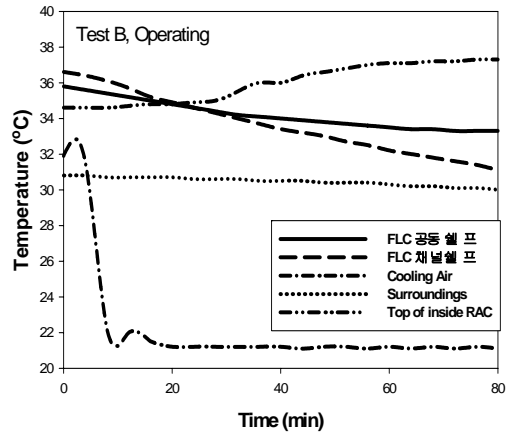
### 3.2 성능개선 실험 (Test B)

Test A에서 확인된 열전소자 냉각시스템의 설치위치와 냉각공기 공급방식에 대한 개선을 위해, 냉각시스템의 부착위치를 FLC 랙의 전면부로 이동하여 부착하였으며, 열전소자 냉각시스템의 발열부는 통신장비 함체의 외측으로, 냉각부는 함체 내측으로 삽입될 수 있도록 구조를 변경 하였다.

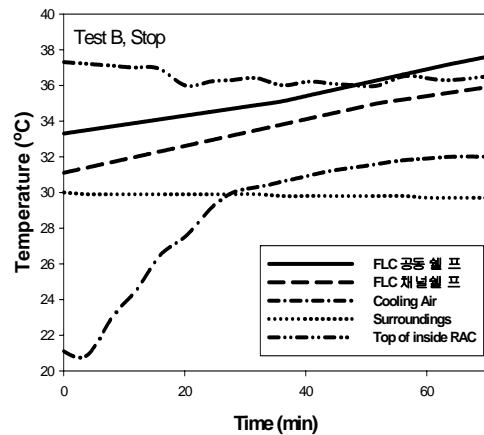
실험은 열전소자 냉각 시스템 가동 80분, 정지 70분, 총 150분간 온도변화를 측정하였다. 실험 결과 통신장비 내부의 채널셀프부(중단부) 및 공동셀프부(상단부)의 온도가 열전소자 냉각시스템 가동후 80분 경과시 각각 5.5℃, 2.5℃ 까지 하강하였으며, 열전소자 냉각시스템의 출구 공기온도는 10.8℃ 까지 하강하여, 목표 온도 대비 7℃ 이상 하강하였다. 따라서 통신장비 내부에 온도 센서를 설치하여 ON / OFF 방식으로 목표온도 부근에 도달할 수 있도록 제어 하였다.

가동중에는 내부의 온도가 목표온도까지 낮아져 시스템요구사항을 충족시킴을 알 수 있었다. 또한, 정지시 온도변화를 측정한 결과 통신장비의 내측 상단부 공기 토출팬측과 공동셀프측의 온도가 시험전 대비 약 2℃ 상승 한 원인은 외기흡입측 완전 밀폐와, 광분배반 FAN 흡입측 밀폐 등으로 인하여 FLC 랙 내부에서의 자연대류 감소로 인한 내부 온도 상승으로 판단된다며, Fig. 6에 시간에 따른 온도변화 결과를 나타내었다.

### 3.3 최종 실험(Test C)



(a) Thermoelectric module operating



(b) Thermoelectric module stop

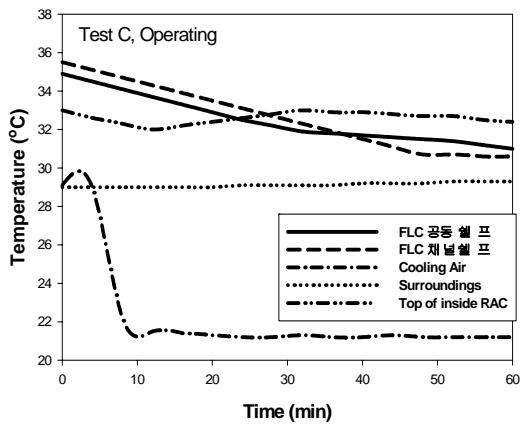
Fig. 6 Temperature profile of the Test B

Test B의 경우 열전소자 냉각시스템에서 냉각된 공기는 자연대류 열전달 기구에 의해 채널셀프와 공동셀프를 냉각하였으나, Test C에서는 통신장비 내부의 발열량 제거 효율을 높일 수 있도록 열전소자 냉각시스템의 냉각부에 팬을 추가하여 강제대류 열전달 기구에 의하여 발열량을 제거할 수 있도록 구성하였다.

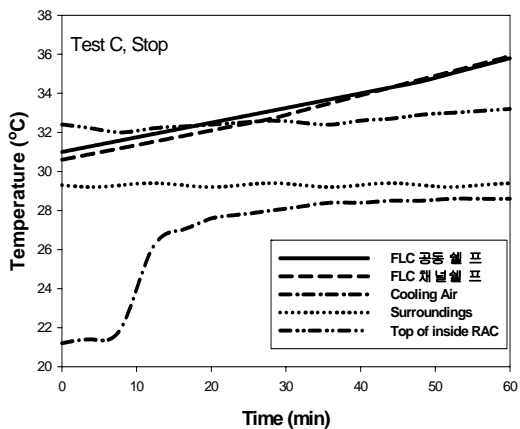
실험은 열전소자 냉각 시스템 가동 60분, 정지 60분, 총 120분간 온도변화를 측정하였다. 실험결

과 FLC 합체 내부의 채널 션프(중단부) 및 공동 션프(상단부)의 온도는 열전소자 냉각 시스템 가동 후 60분 경과시 각각 4.9°C 와 3.9°C 로 하강하였고, 열전소자 냉각시스템의 출구 공기온도는 7.9°C 까지 하강하여, 목표 온도 대비 7°C 초과달성하였다.

열전소자 냉각시스템의 냉각부에 추가된 냉각 공기 이송 환에 의하여 FLC 랙 내부에서의 대류 열전달 계수가 증가하여 FLC 랙 내부의 온도 불균일 현상이 감소한 것으로 판단 되며, Fig. 7에 통신장비 내부의 온도 분포를 나타 내었다.



(a) Thermoelectirc module operating



(b) Thermoelectirc module stop

Fig. 7 Temperature profile of the Test C

## IV. 결 론

본 논문에서는 열전소자를 이용하여 전자통신 장비 냉각에 대한 실험을 수행 후 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 열전 소자를 이용하는 냉각 시스템의 경우 현재 90 W/Unit가 한계이므로, 대용량으로 제작하기 힘들지만, 크기가 작으므로 집중 발열부위에 근접하도록 설치하여 국부 냉각방식으로 열량을 제거할 수 있다. 또한, 반영구적 수명과 저소음 그리고 환경 친화성 등의 장점을 가지므로 차후 전자통신 장비의 냉각에 활용이 증가할 것으로 예상된다.
2. 본 연구에서 개발된 열전소자 냉각 시스템 가동 후 평균 60분 경과 후 가장 낮은 온도 분포를 나타내었으며, 가동 전-후 평균 내부 온도차는 9.35°C 에 도달하였다. 따라서, 통신용 광전송기기의 작동에 요구되는 적정온도를 유지할 수 있을것으로 판단된다.
3. 주요 온도제어 대상 영역인 통신장비 내부의 채널 션프와 공동션프의 온도측정 결과, 랙 내측의 열전달 기구가 자연대류인 Test B에 비하여, 강제대류가 일어나도록 구성한 Test C의 경우 발열량 제거 성능이 향상되었다.

## 참고 문헌

1. 김원태, "ISDN 정보통신 시스템에서의 열 관리 및 전자부품실장 냉각기술," 대한기계학회지, Vol.36, No, 4, pp.351-364, ISSN 1225-5955, 1996.
2. 강병하., 장혁재, 김서영, 김석현, "열전 모듈을 이용한 에어컨의 발열부의 냉각특성에 관한 연구", 설비공학 논문집, Vol .14, No.3, pp.214~220, 2002.
3. 노승탁, 서정세, 열전냉동의 원리와 열전냉동 시스템의 설계, 공기조화냉동공학, Vol.19,

- No.3 pp.135~145, 1990.
4. 유성연, 홍정표, 심우섭, 열전소자 및 열전 냉각 장치의 성능에 관한 연구, 설비공학 논문집., Vol. 16, No.1, pp.62~69, 2004.
  5. Goldsmid, H. J., Electronic Refrigeration, London Pion, pp.1~16, 1989.
  6. Solomon, M., Determination of Thermoelectric Module Parameters, 18th Int. Conference on Thermoelectrics, pp. 519~524, 1998.
  7. Nolas, G. S., Sharp, J. and Goldsmid, H. J., "Thermoelectrics Basic Principles and New Materials Developments", Berlin New York Springer, pp.1~5, 2001.
  8. Haruo U., Yasuyuki I. and Nobutake S., Study of Thermoelectric Dehumidifier, The Japan Society of Mechanical Engineers, No. 97-25 pp.132~135, 1997.
  9. Hong, X., Wendy L. and Kelvin H., Thermal Solution to Pentium Processors in TCP in Notebooks and Sub-Notebooks, IEEE Transactions on Component Packaging and Manufacturing Technology : Part-A, Vol. 19, No.1, pp.208~218, 1996.
  10. Huang, B. J., Chin, C. J. and Duang, C. L., A Design Method of Thermoelectric Cooler, International J. Refrigeration, Vol. 23, pp.208~218, 2000.
  11. Angrist, S.W., Direct Energy Conversion, Allyn and Bacon, Inc., 2nd edition, Boston. pp.15~38, 1970.
  12. Miner A., Majumdar A., Thermo-Electro Mechanical Refrigeration Based on Transient Thermoelectric Effects, Proceedings of the 18th International Conference on Thermoelectrics, pp.27~30, 1999.