

공학석사 학위논문

열전소자를 이용한 통신용 광 전송 기기
합체의 냉각에 관한 연구

지도교수 김 종 수

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2004년 8월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

냉동공조공학과

공 상 운

공 상 운의 공학석사 학위논문을 인준함 |

2004년 6월

주 심 공학박사 오 후 규



위 원 공학박사 김 은 필



위 원 공학박사 김 중 수



목 차

ABSTRACT	i
Nomenclature	iii
1. 서 론	1
1.1 연구목적 및 배경	1
1.2 종래의 연구	5
1.3. 열전소자의 이론 해석	7
2. 실험 장치 및 방법	11
2.1 열전소자 냉각 시스템	11
2.2 실험장치	20
2.3 실험방법	25
3. 실험 결과 및 고찰	27
3.1 열전소자 냉각시스템의 적용 가능성 실험(Test A)	27
3.2 성능개선 실험(Test B)	28
3.3 최종 실험(Test C)	29
3.4 광전송기기 합체 냉각용 적용 가능성	32
4. 결 론	37
참고문헌	38
감사의 글	42

A Study on the Application of Thermoelectric Module to the Cooling of Fiber Loop Carrier Rack

Sang-Un Gong

Department of Refrigeration Engineering,
Graduate School of Industry,
Pukyong National University

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 15 years with the advent of integrated circuit chips and their applications in computers and related electronic products. Today, cooling technology is well recognized as a gating factor for the development of future electronic equipment. There are many reasons why cooling technology always will be pivotal in the design of electronic equipment, but the following two are most fundamental:

- Thermodynamically, all electronic devices are undergoing an irreversible process with the net result being the generation of heat which must be

removed in order to maintain continuous operation.

- Thermophysically, the reliability and performance of all electronic devices are temperature dependant with various degrees of sensitivity, but generally the lower the temperature, the better.

Thermoelectric modul is a device that can perform cooling only by input of electric power. In the present study, the cooling package usint the thermoeletric module has been developed to improve the thermal performance in the point of cooling characteristics of the electronic chip placed to the subrack being rapidly assembled and disassembled in the FLC(Fiber Loop Carrier) rack.

As the preliminary experiments, the cooling performances between a conventional way using a cooling fin and a proposed method applying the thermomodule are comosed and analyzyed. The cooling performance at a simulated electronic component packaging a thermomodule operated well.

Nomenclatures

D	Diameter	[mm]
I	Electric current	[A]
k	Thermal conductivity	[W/m · K]
L	Length	[mm]
Q	Heat transfer rate	[W]
R	Resistance	[Ω]
T	Temperature	[°C] or [K]
T'	Thickness	[mm]
V	Voltage	[V]
Vol.	Volume	[cm ³]
W	Width	[mm]

Greek symbols

α	Seebeck coefficient	[V/K]
θ	Inclination angle	[°]
Π	Peltier coefficient	[V]
σ	Thomson coefficient	[V/K]
ϕ	Diameter	[mm]

Subscripts

b	Based
c	Cold side
cal.	Calculated (expected)
exp.	Experimental
h	Hot side
J	Joule effect
k	Conduct
n	Negative pole
P	Peltier effect
p	Positive pole
t	Thomson effect
w	Water

1. 서 론

1.1 연구 목적 및 배경

높은 온도에 매우 취약한 특성을 지닌 전자 통신 시스템의 전자 부품들은 부품 표면의 최대 허용 동작온도가 75°C 정도이며⁽¹⁾, 전자 부품표면이 이러한 허용동작온도를 초과하면 오동작이 발생하므로 부품의 표면 온도를 최대 허용 동작온도보다 낮게 유지시켜야 한다. 최근 국내에서 개발되고 있는 광대역 회선분배 시스템(BDCS, Broadband Digital Cross-Connect System)이나 광 전송장치(Fiber Loop Carrier) 등과 같은 고속 전송 통신시스템의 통신용 부품은 발열밀도가 매우 높으므로 적절한 냉각시스템의 적용이 필수적이다. 또한, 광대역 종합정보통신망(B-ISDN)의 경우 열유속이 2 W/cm^2 에 달함에 따라 더 이상 허용온도 이하로 유지시킬 수 없게 되었다. 더욱이 3차원 패키징방법을 채택하게 될 차세대 종합정보통신망의 경우는 모듈의 열유속이 10 W/cm^2 가 넘을 것으로 예상된다. 이에 대하여 여러 형태의 냉각방법이 고안되었고, 그 중 열전소자를 이용한 방법은 널리 그 적용의 타당성을 인정받고 있다.

기존의 증기압축식 냉각장치는 일반적으로 프레온 가스 또는 암모니아와 같은 냉매를 압축기에 의해 강제 순환시켜 냉각하는 압축 냉각방식을 사용하였다. 그러나 이와 같은 냉매들은 지구의 오존층을 파괴시키는 대표적인 물질들로서, 제품의 수명이 다하여 폐기 처분시 심각한 환경오염을 야기시킬 수 있으므로 국제적으로 그 사용을 감축 또는 전면 폐기토록 규정하고 있다. 만약 이를 이행하지 않으면 무역 규제까지도 가하도록 하고 있기 때문에 새로운 대체 물질을 개발하여야 하는 당면 과제가 있으나, 지금까지 개발된 대체냉매들

은 사용하는데 기술상의 어려움이 많을 뿐만 아니라 비용면에서도 비경제적이다. 또한 일반적으로 소형 냉각장치의 용량이 적은 것을 감안할 때 소정의 냉매와 냉각 시스템 및 압축기가 요구되는 종래의 냉각장치는 그 크기가 상대적으로 클 뿐만 아니라 에너지 소비측면에서도 비효율적이며, 불필요한 소음진동 까지도 발생한다.

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, 냉매의 폐기처분시 생기는 환경오염을 유발하지 않고, 국소적으로 목적하는 냉각을 수행하는 특수 냉각방식이다. 이러한 냉각방식은 재질이 비싸고 낮은 냉각 성능계수를 갖는 단점이 있다. 그러나 정밀온도제어가 가능하고, 저소음, 소형화 등의 장점으로 우주항공, 컴퓨터 CPU 및 군사용 등의 특별한 목적 이외에는 아직도 기술개발이 진행 중인 분야이며, 국내외적으로 가장 활발히 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 통신용 광 전송기기 함체의 내부 발열량을 제거하기 위해 반 영구적(연속 100,000시간)이며 내구성을 가진 열전소자를 이용하여 FLC 장치 환경조건에 적합토록 국부 냉방 방식으로 제작함으로써, 에너지 낭비요인을 해소하고 발열에 의한 통신장애 예방과 유지관리비 절감으로 경영합리화에 획기적으로 기여코자 하였다.

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

Table 1 열전소자를 이용한 전자냉동의 적용분야

구 분	용 도
가정용	제습기, 냉·온정수기, 자판기, 화장품 보관함
산업용	공작기계 기관 냉각용, 분전반냉각기, 열량계, 반도체용 설비
항공용	블랙박스 냉각장치, 항공전자제어장치의 냉각설비
군사용	적외선타미지기, 미사일 유도용 회로냉각기, 레이저 관측장비
연구용	각종 실험기기, 항온조, 항온 가열기, 정밀 냉각용기기
기 타	와인쿨러, 생선회 접시, 차량용 소형냉장고

Table 2 열전소자 냉각 시스템과 증기압축식 냉각 시스템 비교

구 분	열전소자 냉방기	증기압축식	비 고
냉매 종류	열전 변환 냉각 소자	프레온 가스	프레온:몬트리올 협약 생산,사용중지
목적	냉방,난방,항온	냉방	열전소자:극성 변환 으로 냉,난방 변환
주변환경 온도영향	주변온도 영향 없음	주위 온도 급상승시 압축기 소손우려	
설치 공간	통신기기 랙에 직접부착 (통신기기 영향 없음)	별도의 장소필요 (면적 과다소요)	
제품 수명	반 영구적 (열전소자 열화 없음)	6년 (지속적인 유지보수)	
소비 전력	855 W (800W급) (736 Kcal/h)	1,720 W (1,480Kcal/h)	(Kcal/h 환산)

1.2 종래의 연구

(1) 열전소자에 관한 연구

1821년 Seebeck은 두 개의 서로 다른 전도체의 접합부에 열을 가하였을 때 양단에 전위차가 생긴다는 실험결과를 발표하였다. 1833년에는 Jean Peltier가 서로 다른 물질에 전류를 통과시켰을 때 접합부 근처에서 온도차가 생긴다는 것을 발견하였다. 이러한 발표들이 있는 후 Lenz에 의한 Peltier효과의 본질적인 규명과 Thomson에 의한 Seebeck 과 Peltier계수들의 관계가 밝혀졌으며, 그 후 꾸준히 연구되어 오다가 1911년 Altenkirchon에 의해서 열 펌프 및 발전에 관한 이론이 정립되었다. 최근에는 Solomon^[5]에 의해서 열전소자의 재료와 형상, 구조 등을 변화시킴으로써 냉동기의 성능을 향상시키는 연구가 발표되었으며, Miner and majumdar^[6]는 과도전류 열전효과를 이용하여, 열전소자의 성능을 향상시켰다. 그리고 Huang etc.^[7]는 열전소자의 고온측에서 충분한 방열이 이루어질 경우에 열전소자가 최대 성능을 발휘 할 수 있다는 연구를 발표하였다. Hong Xie, Wendy Lui,^[8] 등은 노트북의 Processor의 발열량을 제거하기 위한 열전소자에 관한 연구논문을 발표하였다. 유성연, 홍정표^[9]는 열전소자 및 냉각장치의 성능에 관한 연구논문을 발표하였다.

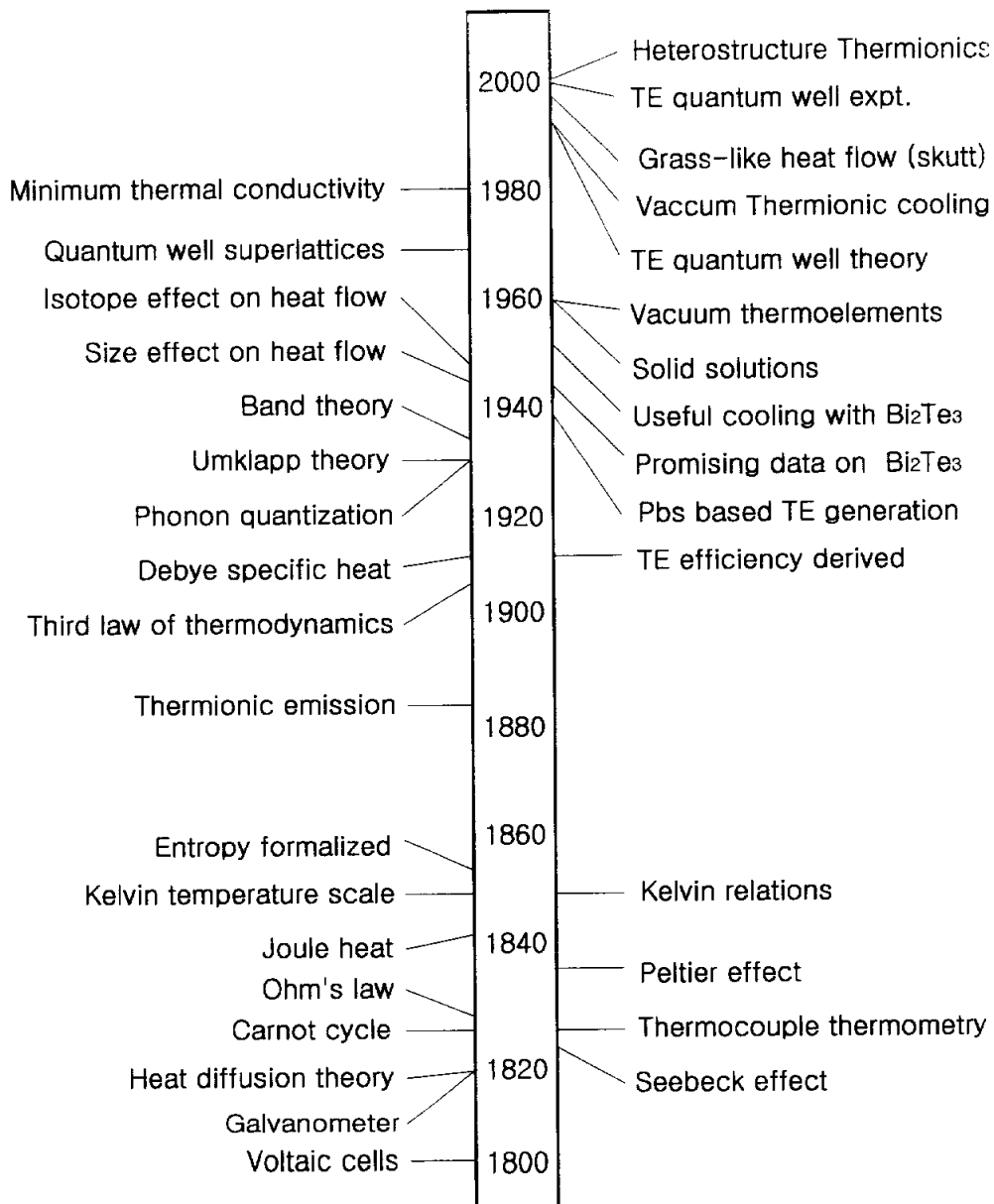


Fig. 1 Timeline of thermoelectric and related research^[9]

1.3 열전소자의 이론해석

열전소자의 냉동원리는 Fig. 2에서와 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 Fig. 2와 같이 금속 전극에 접합시킨 π 형 직렬회로로 p-n상(couple) 양극을 각각 (-), (+)가 되도록 전류를 n형에서 p형으로 흘리면, p형 반도체내의 정공은 (-)극으로, n형 반도체내의 전자는 (+)전극으로 이끌리게 된다. 이때 정공과 전자 모두 상부의 p-n접합부로부터 열을 갖고 하부 전극으로 이동하기 때문에 상부의 접합부(Cold side)에서는 냉각되어 주위로부터 열을 흡수하고, 하부(Hot side)에서는 열을 방출하게 된다.

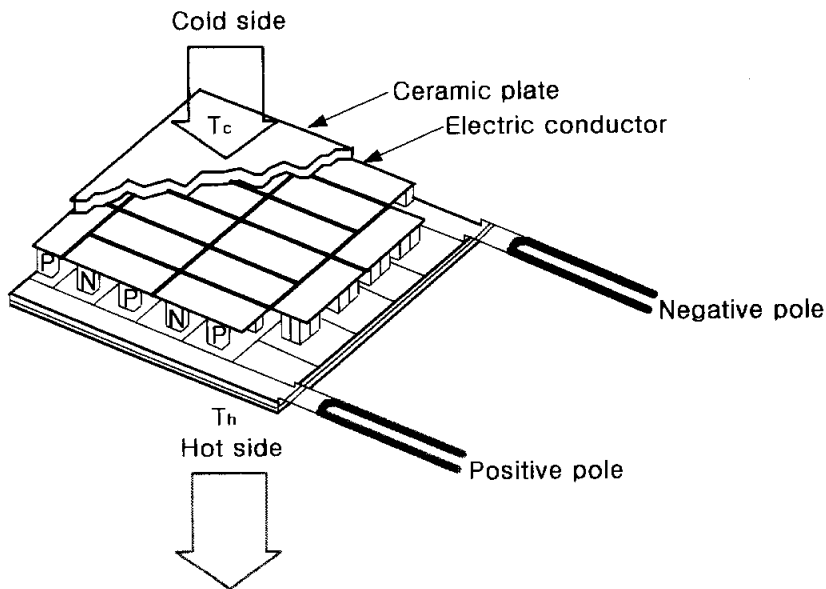


Fig. 2 Operating principle of a thermoelectric module

또한 전류의 방향을 역으로 하면 정공과 전자 모두 상부의 n-p접합부 전극으로 열을 운반하기 때문에 상부에서는 발열이 하부에서는 흡열현상이 나타나게 된다. 이러한 현상은 p형 반도체와 n형 반도체 사이의 에너지 레벨의 차이로 인해 생겨나는 현상으로 고온측의 열을 효과적으로 처리하면 열은 저온측에서 고온측으로 연속적으로 Heat Pumping이 이루어지게 된다.

열전소자에 대한 기본 특성은 소자 내에서의 온도 분포를 1차원으로 취급하여 고온부(Hot Side)와 저온부(Cold Side)의 온도 및 소자의 전류 혹은 전압에 대한 식으로 표현 될 수 있다. 따라서, 열전소자의 흡열량은 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$Q_c = \alpha T_c I - \frac{1}{2} I^2 R - C \Delta T \quad (1)$$

우변의 첫 번째 항은 Peltier 효과에 의한 흡열량, 두 번째 항은 Joule 효과에 의한 발열량, 마지막 항은 고온부에서 저온부로 열전달량을 나타낸다. 또한 열전소자의 사용전력은 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$Q_{in} = (\alpha \Delta T + IR) I = VI \quad (2)$$

열전소자 양단에 걸리는 전압 (V)는 Seebeck 효과에 의한 전압강하량과 전저항에 의한 전압 강하량의 합이 된다. 열전소자의 성능계수는 인가되는 전력에 대한 흡열량의 비로 식 (3)으로 표현된다.

$$COP = \frac{Q_c}{Q_{in}} \quad (3)$$

어떤 물질의 양단에 온도차와 전압차가 동시에 존재한다면 각각에 의하여 생기는 열유속(Heat flux)과 전류가 상호작용 효과에 의해 서로 영향을 받게 되며 Onsager이론에 의하여 서로에 미치는 정도가 같다. 이러한 원리를 이용하여 서로 다른 물성치를 가지고 있는 도체나 접합부에 일정한 온도를 유지시키면서 전류를 흘렸을 때 아래와 같은 몇 가지의 열전 현상이 일어난다.

(1) Seebeck effect

서로 물성치가 다른 도체 또는 반도체 A, B를 접합시키고 접합부에 일정한 온도를 유지시켰을 때 두물질 A, B의 양단에 일정한 기전력이 발생하는데 이를 Seebeck 효과라 한다. 이때 발생하는 기전력 V 는 접점온도의 함수로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{AB} = \int_{T_b}^T (a_A - a_B) dT \big|_{I=0} \quad (4)$$

여기에서 I 는 접점간의 전류량을 의미하며, T_b 는 기준온도를 의미하고, a 는 Seebeck 계수를 의미한다.

(2) Peltier effect

서로 다른 두 물질의 접합부에 전류를 흘렸을 때 접합부에서 열의 흡수 및 방출이 일어나게 되는데 이러한 현상을 Peltier효과라고 한다. 접합부에서의 열의 흡수 및 방출량 Q_p 는 다음의 수식으로 표현할 수 있다.

$$Q_p = I(\Pi_A - \Pi_B) \quad (5)$$

여기에서 Π 는 Peltier계수이다.

(3) Thomson effect

온도구배가 존재하는 도체 혹은 반도체에 전류를 흘렸을 때 여기에는 열과 전류는 서로 영향을 주게되는데, 이러한 현상을 Thomson 효과라고 한다. 온도구배와 전류의 양에 따른 열의 출입량 Q_t 를 수식으로 표현하면 다음식과 같다.

$$Q_t = I \left(T \frac{d\alpha}{dT} \Delta T \right) \quad (6)$$

여기에서 $T(da/dT)$ 는 Thomson 계수(σ)라 하며, Thomson 계수(σ), Seebeck 계수(α), Peltier(Π) 계수간에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\alpha_A - \alpha_B = -T \frac{d^2 V_{AB}}{dT^2} = -T \frac{d}{dT} \left(\frac{\Pi_{AB}}{T} \right) \quad (7)$$

$$\Pi_{AB} = T \frac{dV_{AB}}{dT} = T\alpha_{AB} \quad (8)$$

(4) p형과 n형 반도체 접합부에서의 여러 계수들의 관계

p형과 n형의 두 반도체를 접합하였을 때 Peltier계수와 Seebeck계수는 다음의 식과 같은 관계를 갖는다.

$$\Pi_{pn} = \Pi_p + \Pi_n \quad (9)$$

$$\alpha_{pn} = |\alpha_p| + |\alpha_n| \quad (10)$$

2. 실험 장치 및 방법

2.1 열전소자 냉각 시스템

본 연구에사용한 열전소자는 크기가 $40 \times 40 \times 3.9$ mm 이며, $1.4 \times 1.4 \times 1.6$ mm인 p-n 소자 127 쌍이 직렬로 연결되어 있다. p-n 소자쌍의 Seebeck 계수, 비저항, 열전도 계수는 각각 3.578×10^{-4} V/°C, 1.892×10^{-5} $\Omega \cdot m$, 2.657 W/m · °C이며, 세부사항은 Table 3에 나타내었다.

24 V/20 A 직류전원기에 연결되는 열전소자는 Fig. 3과 같으며, 8개의 열전소자는 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 1대의 직류 전원기에 2개의 열전소자가 직렬 연결되어 4병렬형식으로 구성하였다.

Table 3 Dimensions of Thermoelectric module

Thermoelectric module HMN6040	
최 대 전 류 (Current, max, A)	6.0
최 대 전 압 (Voltage, max, V)	15.5
양면 온도차 ($\Delta T_{\max}$ 1K)	73
최대 냉각능력 ($Q_{\max}$, W)	53
내 부 저 항 (Internal resistance, Ohm)	$2.1 \pm 10\%$
상부세라믹크기 (Top ceramics, mm)	$40 \times 40(\pm 0.5)$
하부세라믹크기 (Base ceramics, mm)	$40 \times 40(\pm 0.5)$
두 께 높 이 (Height, mm)	4 ± 0.2
편 평 도 (Unflatness and nonparallel)	0.020

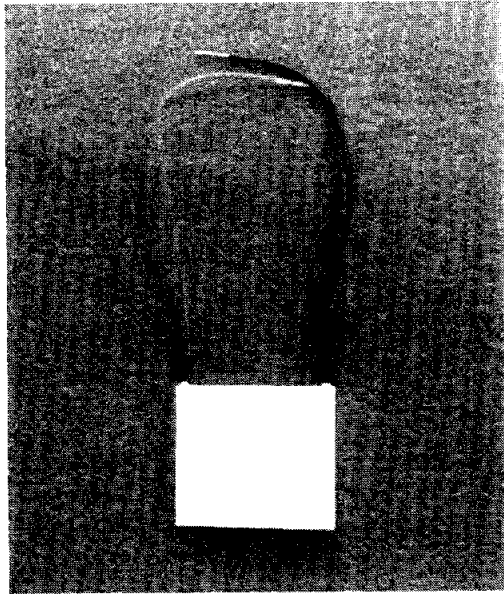


Fig. 3 Photograph of thermoelectric module

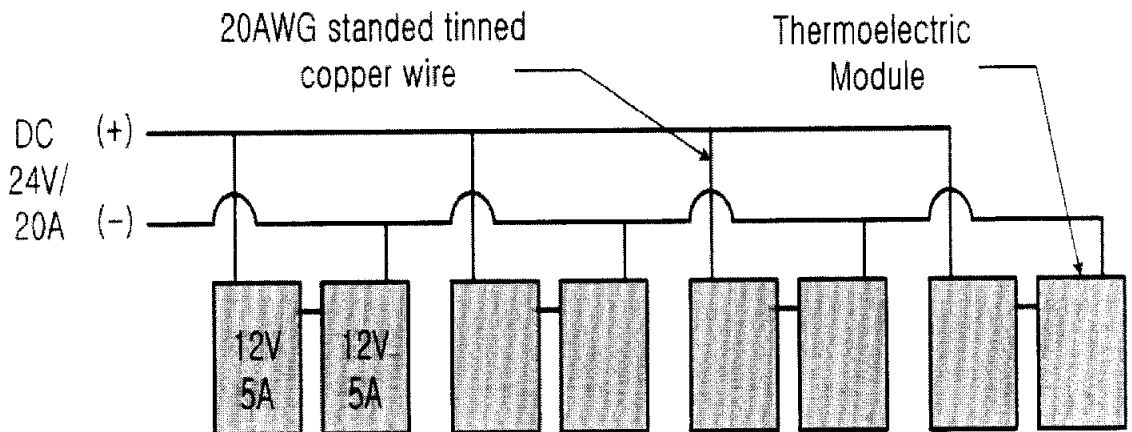
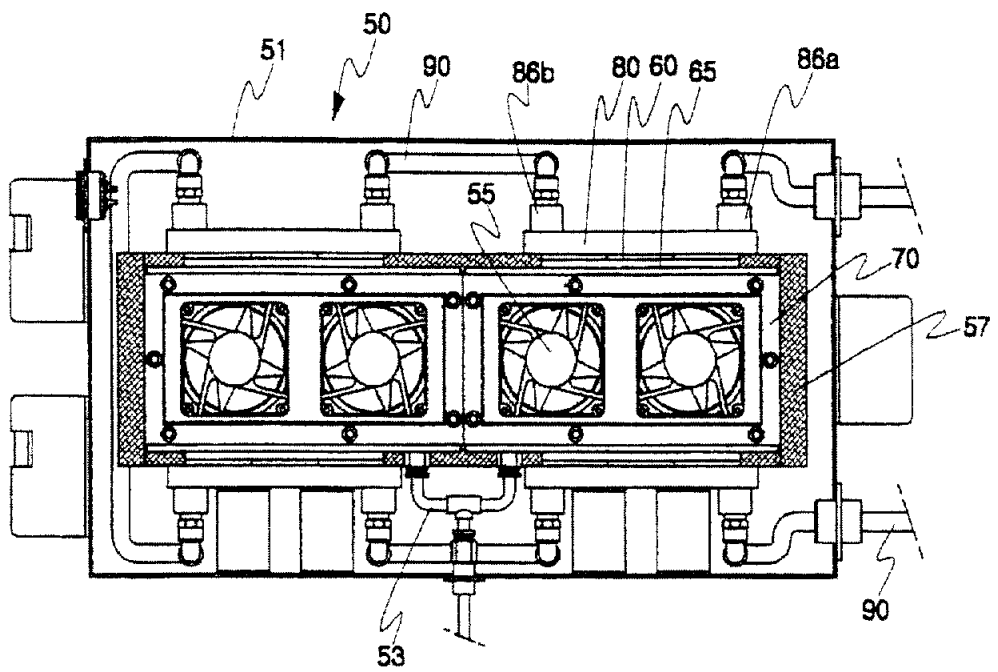


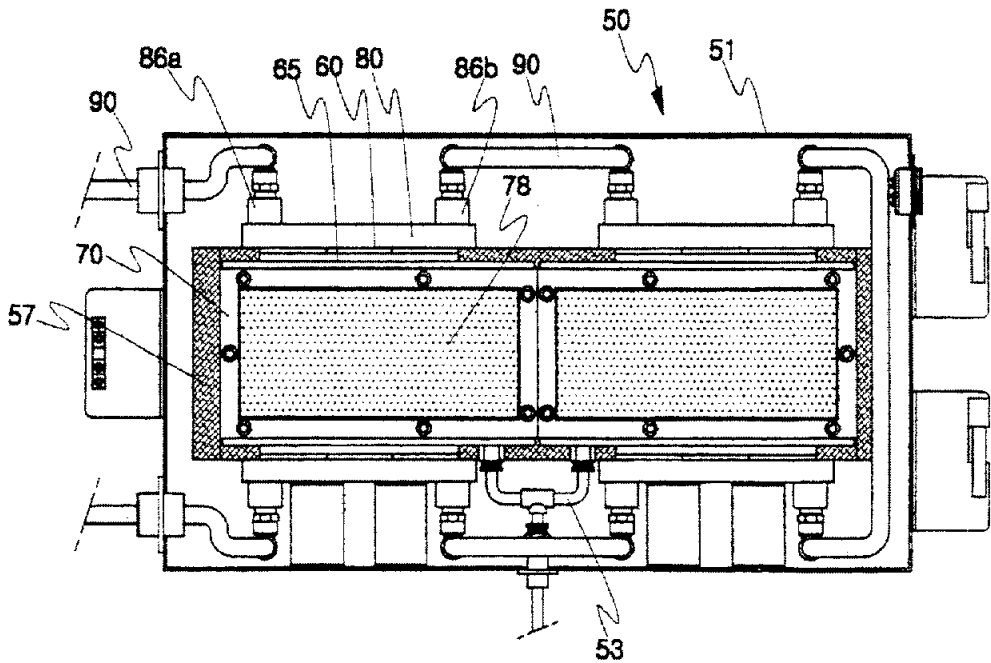
Fig. 4 Arrangement of lead wires

열전소자를 이용하여 구성한 냉각시스템의 상세도를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5(a)와 (b)는 각각 정면도와 배면도를 나타낸다. 외부공기는 흡기팬에 의하여 흡기구를 거쳐 흡열부로 공급 되며, 열전소자의 냉각부에서 냉각된 공기를 4개의 팬을 이용하여 광전송 기기 함체 내부로 공급할 수 있도록 구성하였다. 전송 기기 함체 외부에 부착된 열전소자 냉각시스템의 실제 모습을 Fig. 6에 나타내었다.

또한, 열전소자 발열부에서의 발열량 제거를 위해 발열부 측면에 수냉각 방식 키트를 제작하여 부착하였다. 수냉 키트의 상세도를 Fig. 7 과 Fig. 8 에 각각 나타내었다. 수냉 키트는 상판과 하판으로 구성되며, 상판과 하판의 내측에는 냉각수 순환을 위한 유로가 형성되어 있다.



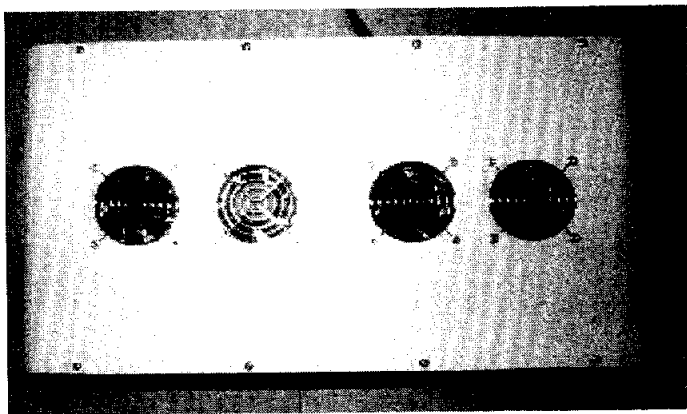
(a) 열전소자 냉각 시스템 정면도



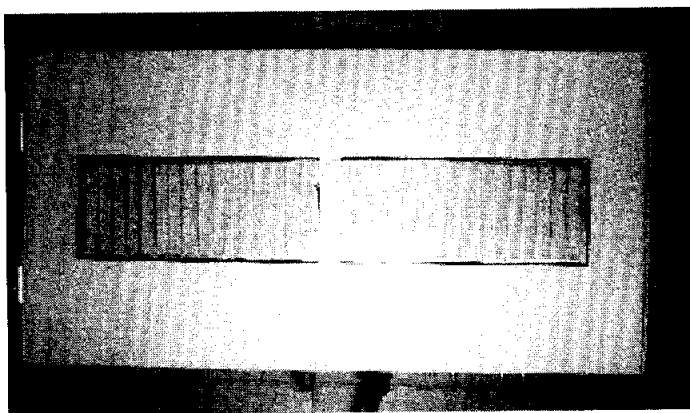
(b) 열전소자 냉각 시스템 배면도

50: 냉각장치 51: 하우징 53: 드레인 관 55: 흡기팬 57: 단열커버 60: 열전소자
65: 열전도체 70: 쿨드싱크 80: 수냉킷트 86a: 급수구 86b: 배수구 90 : 연결호스

Fig. 5 Schematics of the cooling system using a thermoelectric module

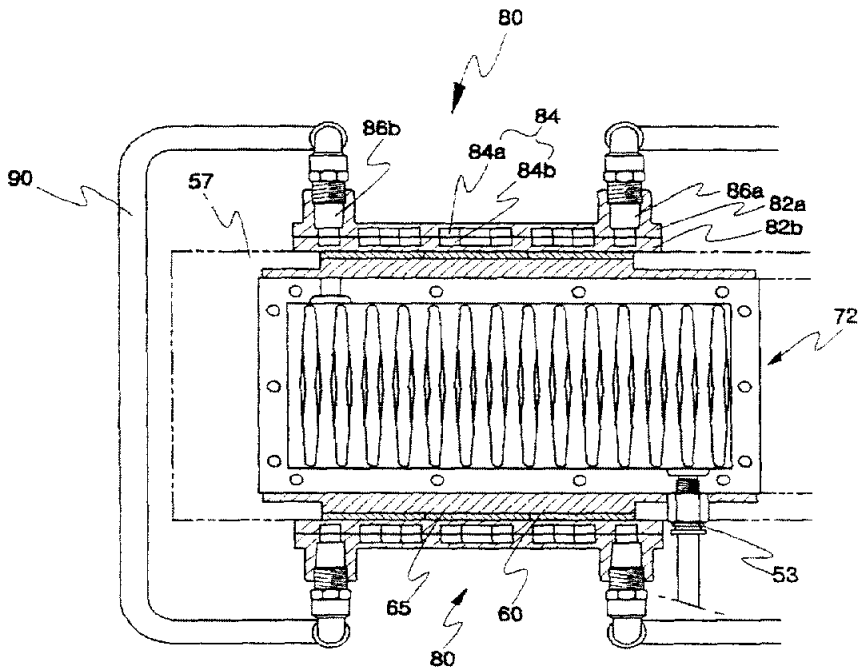


(a) Outside view



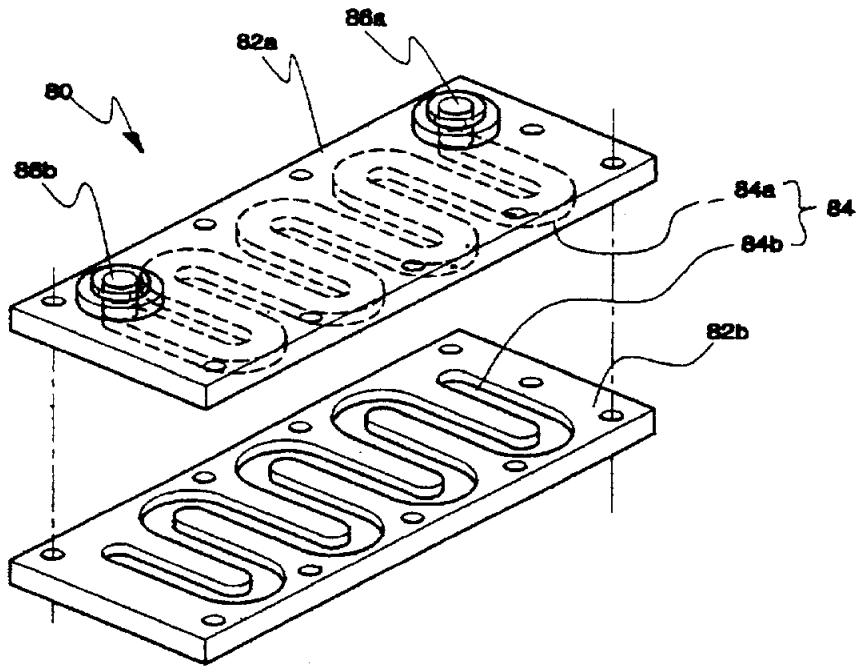
(b) Inside view

Fig. 6 Photograph of the thermoelectric cooling system



53: 드레인 관 57: 단열커버 60: 열전소자 65: 열전도체 72: 흡열판 80: 수냉킷트
82a: 상판 82b: 하판 84: 요홈 86a: 급수구 86b: 배수구 90: 연결호스

Fig. 7 Schematics of the water coolin kit



80: 수냉킷트 84a: 상판 84b: 하판 84: 요홈 86a: 급수구 86b: 배수구

Fig. 8 Schematics of the cooling water channel

2.2 실험 장치

Fig.9 에서는 본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도를 나타내었다. 실험 장치는 크게 냉각 유니트부, 발열 냉각부, 전원부, 자동제어부로 구성되며 주요 기능은 다음과 같다.

(1) 열전소자 냉각 시스템

열전소자, 송풍 팬(fan)으로 구성되어 있으며 온도 센서 및 조작부의 적정 온도로 냉각된 공기를 팬으로 FLC 랙 내부로 급기.

(2) 발열 냉각부

순환펌프로부터 공급되는 냉각수를 강제 순환시켜 냉각 유니트부 열전소자에서 발열된 열을 제거 함으로써, 열전소자의 흡열 냉각 효율을 높인다.

(3) 자동제어부

온도감지용 써미스터(Thermister)를 이용하여 열전소자 냉방기를 18~28℃($\pm 1^{\circ}\text{C}$)로 제어한다. 장치 이상, 흡열·발열부 온도 이상시 경보를 발생시키며 정지 시킨다.

(4) 전원부

냉각 유니트부와 조작부에 직류전원(24 / 48 Volt)를 공급하며 발열냉각부의 팬과 순환펌프에 교류전원(110 / 240 Volt)를 공급한다.

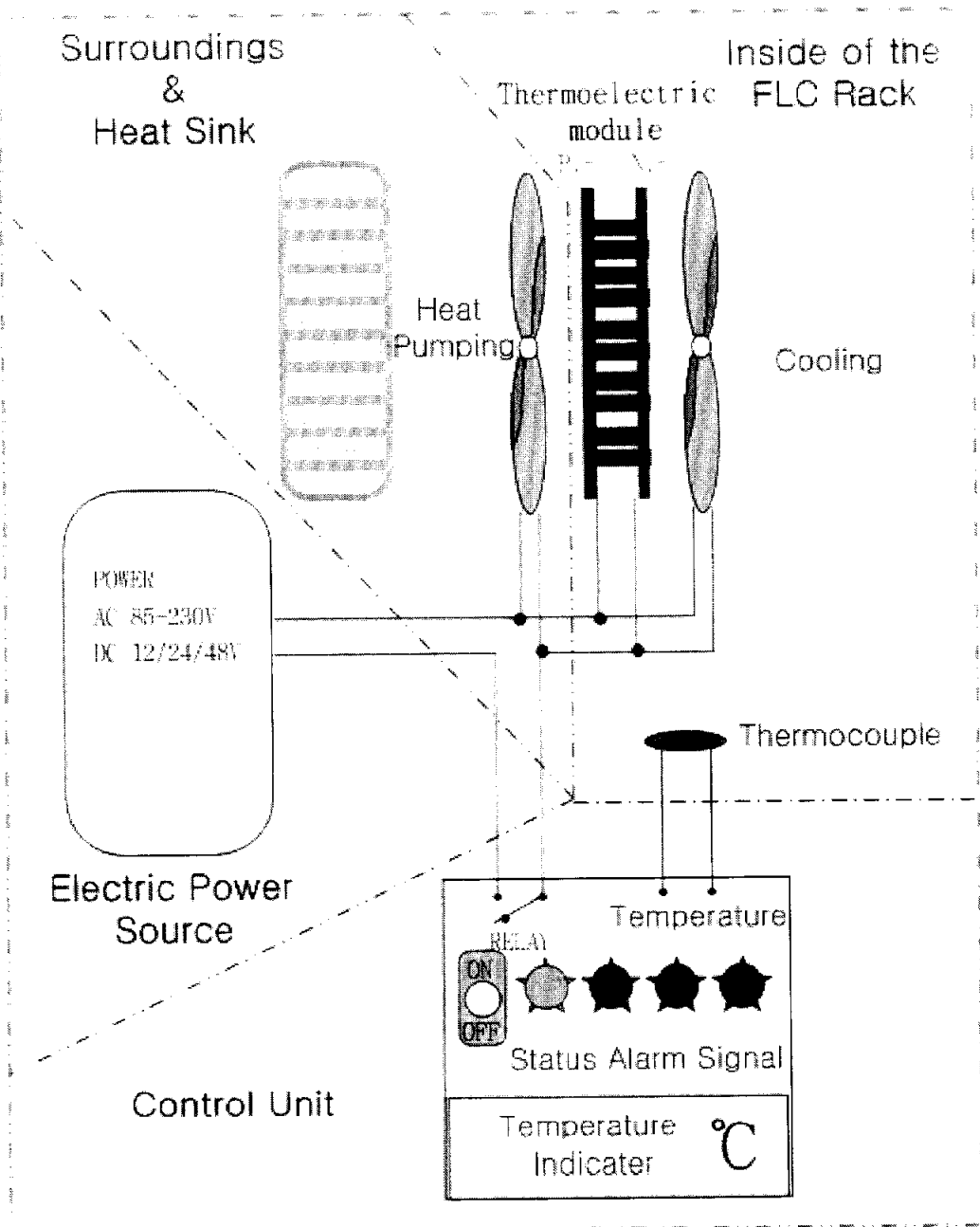
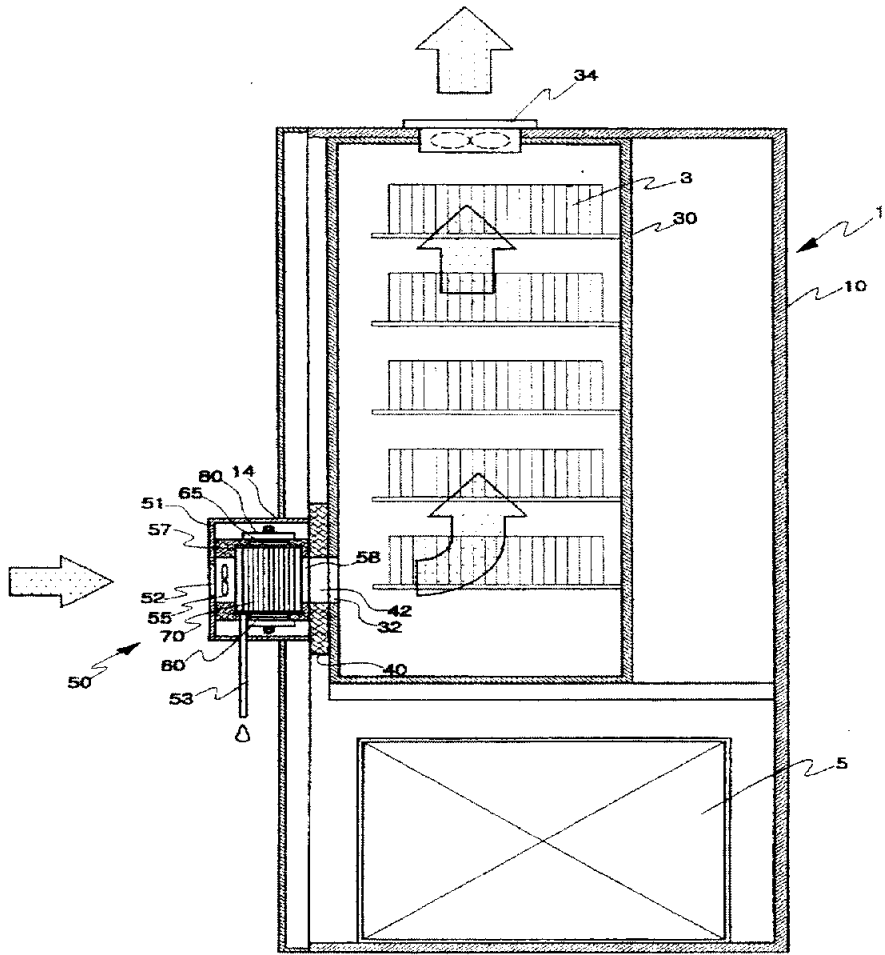


Fig. 9 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 10에 통신용 광 전송기기 합체 내부의 개략도를 나타내었으며, 합체 내부는 공동 셸프, 채널셸프, REC, 배터리와 두개의 Air Baffle로 구성된다.

Fig. 11에 본 연구에서 사용된 광 전송 기기 합체에 부착된 열전소자 냉각시스템의 실제 사진을 나타내었다.

공동셸프와 채널셸프에 주요 광전송 관련 기기들이 설치되며, 합체내부 주요 발열부 이므로 채널 셸프 하부로 냉각된 공기가 공급 될 수 있도록 Air Baffle을 설치하였고, 공동셸프 상부측에 배기팬을 설치하여 광 전송기기와 채널에서의 고온공기를 외부로 배출할 수 있도록 구성하였다. 또한 REC와 배터리에서 발생하는 열은 합체 하부에 통기구를 설치함으로써 유입되는 외부공기에 의해 냉각 될 수 있도록 제작하였다. 따라서, 광전송기기 합체 내부의 공기유동은 흡 배기 팬에 의한 강제 유동과, 온도차에 의한 자연대류 유동이 복합된 형상이며, 합체 내부의 열전달 기구는 강제대류(convection)와 자연대류(advection)가 조합되어 발열량을 제거한다.



1 : FLC RACK 3 : 통신기기 5 : 주변기기 10 : 케이스 14 : 개구부
 30 : 함체 32 : 송풍구 34 : 배기팬 40 : 단열 개스킷 42 : 통공
 50 : 냉각장치 51 : 하우징 52 : 흡기구 53 : 드레인 관 55 : 흡기팬
 57 : 단열커버 58 : 송풍구 60 : 열전소자 65 : 열전도체 70 : 쿨드싱크

Fig. 10 Schematics of the Fiber Loop Carrier Rack

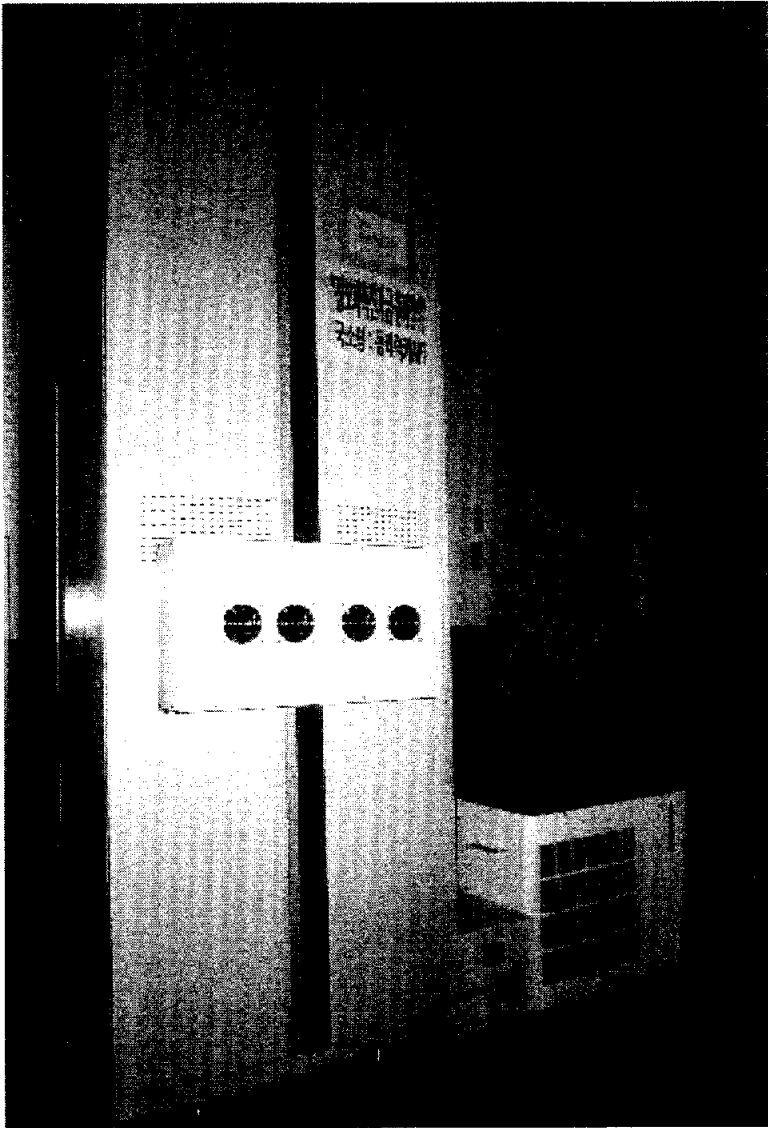


Fig. 11 FLC Rack with the thermoelectric module cooling system

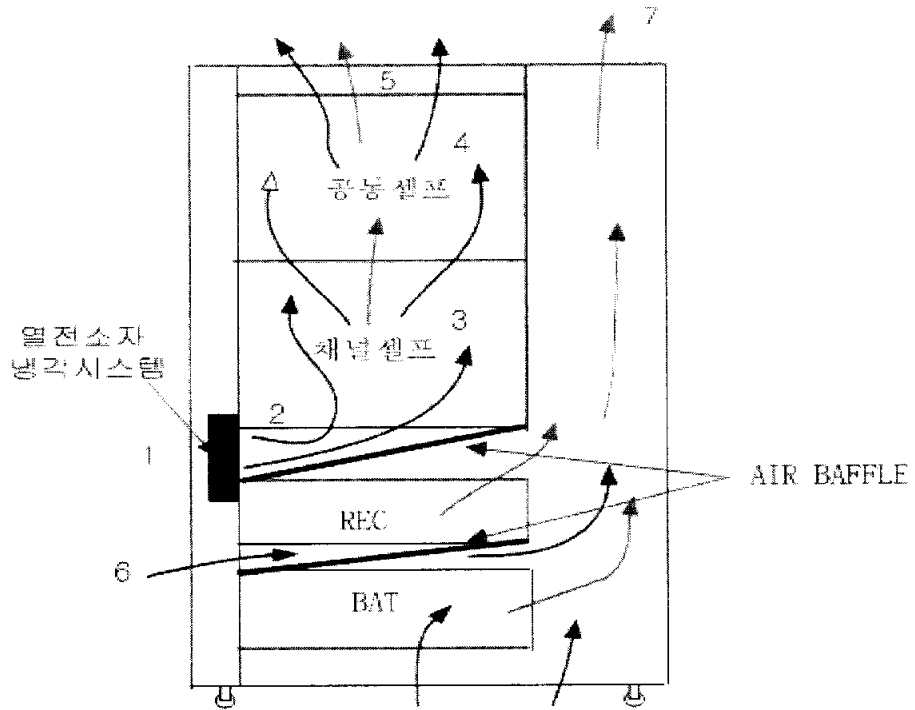
2.3 실험 방법

통신용 광전송기기 함체의 냉각 성능 실험은 부산시 동래구 온천2동에 소재한 럭키아파트 통신실에 설치된 FLC 랙에 직접 적용하여 연구를 수행하였다. 주요 성능시험 내역은 FLC 랙의 발열량, 열전소자 냉각시스템 가동시 FLC 랙 부위별 온도분포 특성 분석, 전기 소비량 분석 그리고 고장 발생 요인 및 유지보수방법의 검토를 주요 대상으로 하였다. FLC 함체 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. Fig. 12는 함체 내부의 공기흐름도를 나타내고 있다. 열전소자에 의해 냉각된 공기는 채널셀프 하부로부터 뱃에 의해 강제송풍되며, 전원부측 냉각을 위한 공기는 REC 하부에서 각각 함체 내부로 유입된다. 냉각공기는 채널셀프와 공동셀프의 발열량을 제거한 후 공동셀프 상부로 유출되며, 전원부와 REC측 발열량을 제거하기 위한 외부유입 공기는 셀프측과 독립된 유로를 통해 자연 환기 방식으로 유출된다.

Table 4 Test conditions

구 분	통신실 기온	FLC 랙 내부로 외기 유입	열전소자 냉각시스템
Test A	33 ℃	· 일부 및 완전 차단	· FLC 랙 내부 설치
Test B	30 ℃	· 일부 차단 · 광분배반 FAN 흡입측 밀폐	· FLC 랙 외부 설치
Test C	29 ℃	· 일부 차단 · 광분배반 FAN 흡입측 밀폐	· FLC 랙 외부 설치 · 발열부측 FAN 추가



- 1: 외기 도입구, 2: 냉각공기 출구 3: 채널 션프측 온도 측정점
 4: 공동 션프측 온도 측정점 5: FLC Rack 토출 웬측 온도 측정점
 7: 전원부측 외기 흡입구 8: 전원부측 흡열공기 토출구

Fig. 12 Schematic diagram of the air flow inside FLC Rack

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 열전소자 냉각시스템의 적용 가능성 실험(Test A)

기존의 증기압축식 냉동기를 적용하여 FLC랙의 발열량을 제어하는 방법의 대안으로서 열전소자 냉각시스템을 적용하기 위한 실험으로써 Test A가 수행되었다. Test A에서는 FLC랙의 발열량 및 냉방기 가동시 FLC랙에 미치는 영향을 검토하기 위하여 열전소자 냉각시스템을 FLC 랙 내부에 설치하여 기초실험을 수행하였다. 유입되는 주위공기에 의한 냉각효과를 제외하기 위해 f 랙 내부로 외부공기가 유입될 수 있는 모든 환기 통로를 차단하였다. 공동셀프와 채널셀프 및 REC 와 Battery에서 발생하는 열량으로 인하여 열전소자 냉각시스템을 가동하기 이전에는 FLC 랙 내부의 온도가 상승하는 현상을 확인할 수 있었다. FLC 합체 내부의 온도가 40℃ 상승하였을 때 열전소자 냉각시스템을 가동하였으며, 가동 후 FLC 랙 내부의 온도가 38℃까지 하강함으로써, 적용가능성을 확인 할 수 있었다.

열전소자 냉방기 취부장소 선정시 장비의 훼손 방지를 위해 FLC 랙의 공간면적을 2/5 정도 더 크게 하였고, 열전소자 냉방기를 전원반(REC, RG-U)후면에 설치하였다. 그러나 컨넥터보드가 열전소자 냉각시스템에 의하여 냉각된 공기의 이동을 차단하게 되어, FLC 랙의 주요 발열부위이자 온도 제어 대상인 공동셀프와 채널셀프의 발열량을 원활하게 제거하지 못하여 랙 내부의 온도가 38℃에서 더 이상 하강하지 않은 것으로 판단 되었다.

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 FLC 랙 외측으로, 냉각부는 FLC 랙 내측으로 삽입될 수 있도록 구조를 변경 하였다.

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

열전소자 냉각시스템 가동중에는 FLC 랙 내부의 온도가 목표온도까지 낮아져 시스템요구사항을 충족시킴을 알 수 있었다. 또한, 정지시 온도변화를 측정한 결과 FLC 랙의 내측 상단부 공기 토출휀측과 공동셀프측의 온도가 시험전 대비 약 2°C 상승 한 원인은 FLC 함체 외기흡입측을 완전 밀폐와, 광분배반 FAN 흡입측에서 외부공기 흡입방지를 위한 밀폐 등으로 인하여 FLC 랙 내부에서의 자연대류가 감소로 인한 내부 온도 상승으로 판단된다.

Table 5에 FLC 랙 내부의 온도 분포를 나타 내었으며, Fig. 13에 시간에 따른 온도변화 결과를 나타내었다.

3.3 최종 실험(Test C)

Test B의 경우 열전소자 냉각시스템에서 냉각된 공기는 자연대류 열전달 기구에 의해 채널 셸프와 공동 셸프를 냉각하였으나, Test C에서는 FLC 랙 내부의 발열량 제거 효율을 높일 수 있도록 열전소자 냉각시스템의 냉각부에 팬을 추가하여 강제대류 열전달 기구에 의하여 FLC 랙 내부의 발열량을 제거할 수 있도록 구성하였다.

실험은 열전소자 냉각 시스템 가동 60분, 정지 60분, 총 120분간 온도변화를 측정하였다. 실험결과 FLC 함체 내부의 채널 셸프(중단부) 및 공동 셸프(상단부)의 온도는 열전소자 냉각 시스템 가동후 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 초과달성 하였다. FLC 랙 내부의 온도는 열전소자 냉각 시스템 가동중에는 목표 온도까지 낮아 졌었다.

열전소자 냉각시스템의 냉각부에 추가된 냉각공기 이송 팬에 의하여 FLC 랙 내부에서의 대류열전달 계수가 증가하여 FLC 랙 내부의 온도 불균일 현상이 감소한 것으로 판단된다.

Table 6에 FLC 랙 내부의 온도 분포를 나타 내었으며, Fig. 13에 시간에 따른 온도변화 결과를 나타내었다.

Table 5 Temperature variation of FLC RAC for test B

온도 측정점	가동 전	가동, 80분 경과	가동중 온도차	정지, 70분 경과	비고
공동 셸프	35.8℃	33.3℃	- 2.5℃	37.6℃	FLC 랙 상단부
채널 셸프	36.6℃	31.1℃	- 5.5℃	35.9℃	FLC 랙 중단부
냉각 공기	31.9℃	21.1℃	- 10.8℃	32.0℃	열전소자 냉각시스템 출구 공기온도
RAC 외부	30.8℃	30.0℃	- 0.8℃	29.7℃	FLC 랙 주위 온도, 거리 50 cm 높이 150 cm 지점
RAC 내측 상단	34.6℃	37.3℃	2.7℃	36.5℃	FLC 랙 내측 상단, 공기 토출 뒀 하단부

Table 6 Temperature variation of FLC RAC for test C

온도 측정점	가동 전	가동, 60분 경과	가동중 온도차	정지, 70분 경과	비고
공동 쉘프	34.9℃	31℃	- 3.9℃	35.8℃	FLC 랙 상단부
채널 쉘프	35.5℃	30.6℃	- 4.9℃	35.9℃	FLC 랙 중단부
냉각 공기	29.1℃	21.2℃	- 7.9℃	28.6℃	열전소자 냉각시스템 출구 공기온도
RAC 외부	29.0℃	29.3℃	0.3℃	29.3℃	FLC 랙 주위 온도, 거리 50 cm 높이 150 cm 지점
RAC 내측 상단	33℃	32.4℃	-0.4℃	33.2℃	FLC 랙 내측 상단, 공기 토출 쉘 하단부

3.4 광전송기가 한체 냉각용 적용 가능성

열전소자를 이용하는 냉각시스템의 경우, 기존의 증기압축식 냉각시스템에서 사용하는 냉매류를 사용하지 않으므로 냉매 유출에 의한 환경파괴 문제를 유발하지 않는다. 또한, 저소음(40~50 dB), 반영구적 수명 등의 장점을 갖는다. 냉각시스템의 크기가 컴팩트하므로 실내기와 실외기가 필요한 기존 냉각시스템과는 달리 설치장소에 제한받지 않는다.

컴프레서를 사용하는 증기압축식 냉각시스템과의 경제성을 비교해 보면 다음과 같다.

기존의 14평형 규모 팩케이지 에어컨의 경우 구매설치비 1,947 천원, 유지보수비 324 천원/년, 전기요금 1,241 천원/년($1.72\text{KW} \times 122\text{일} \times 24\text{H} \times 224\text{원} \times 1.1$)이다. 그러나 800 W급 열전소자 냉각시스템의 제작비용과 연간 유지 보수 및 전기요금은 각각 1,000천원과 688천원으로 예상된다. 따라서, 기존 증기 압축식 냉각시스템을 열전소자 냉각시스템으로 대체할 경우 947 천원의 설치비용 절감 및 905 천원의 연간 운전비용 절감 효과를 가져올 것으로 예상된다.

Table 6 Equipment and operating cost

(단위 : 천원)

구분	구매 / 설치비	유지 보수비 (1년)	전기요금 (1년)	비고
열전소자 냉각시스템	1,000	50	638	14평형 팩케이지 에어컨
증기압축식 냉각 시스템	1,947	324	1,241	800 W

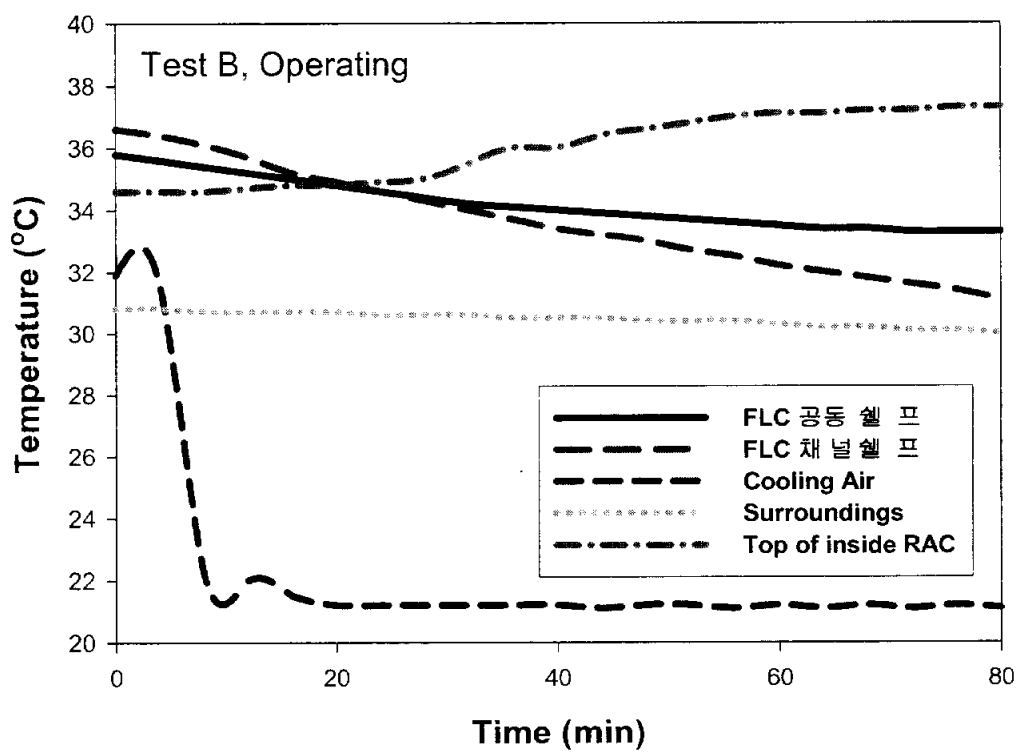


Fig. 13 Temperature profile of the Test B for thermoelectirc module operating

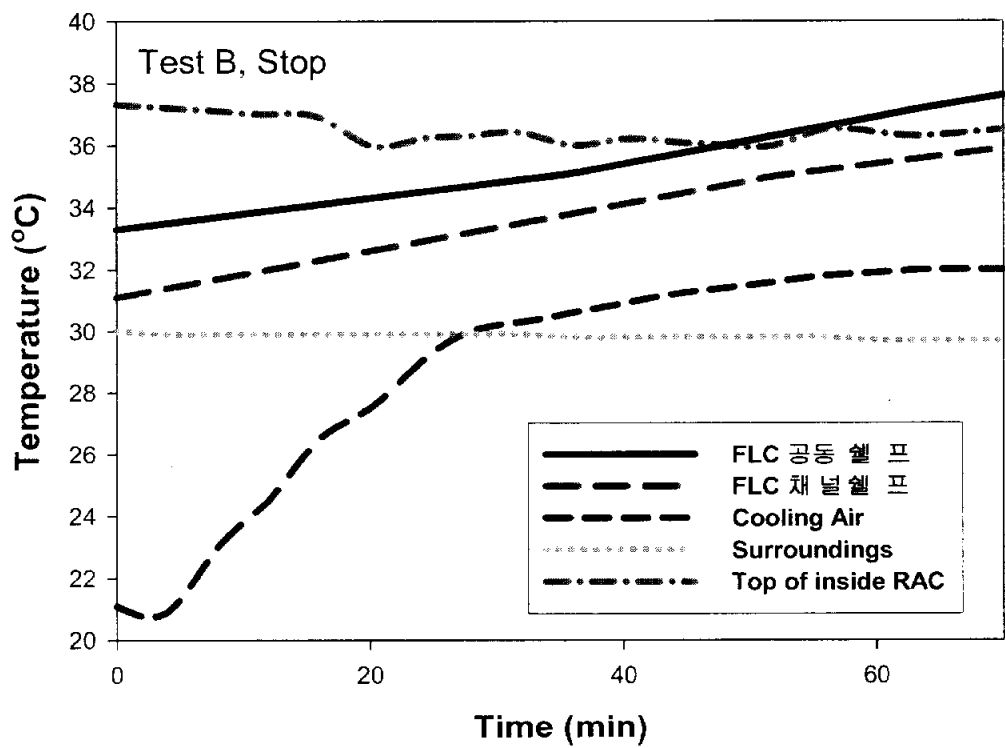


Fig. 14 Temperature profile of the Test B for thermoelectirc module stop

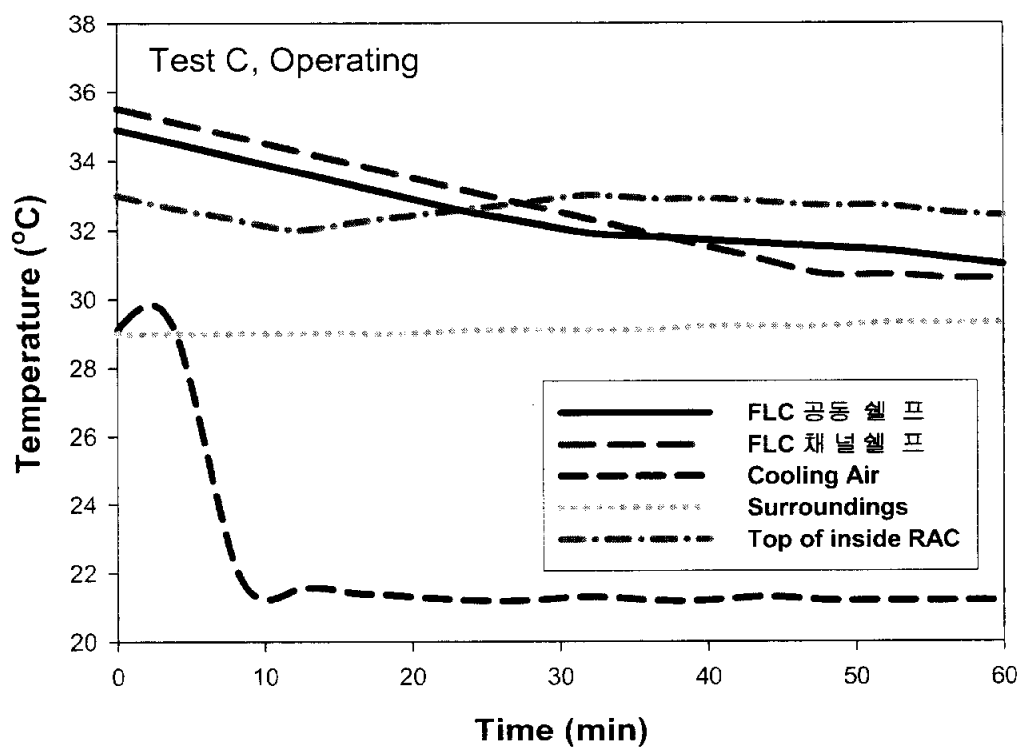


Fig. 15 Temperature profile of the Test C for thermoelectirc module operating

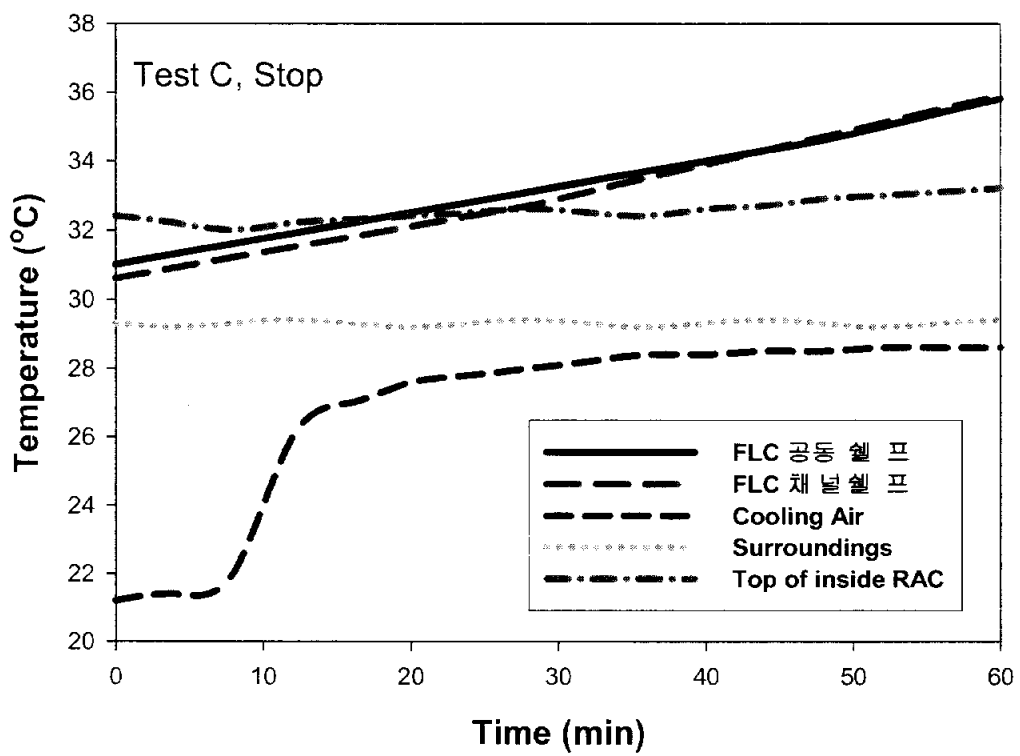


Fig. 16 Temperature profile of the Test C for thermoelectric module stop

4. 결 론

본 논문에서는 열전소자를 이용하여 통신용 광 전송기기 함체(FLC 랙)의 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 수명(10,000시간 이상)과 저소음 그리고 환경 친화성 등의 장점을 가지므로 차후 전자통신 장비의 냉각에 활용이 증가할 것으로 예상된다.
2. 본 연구에서 개발된 열전소자 냉각 시스템 가동후 평균 60분 경과 후 가장 낮은 온도 분포를 나타내었으며, 가동 전·후 평균 내부 온도차는 9.35℃에 도달하였다. 따라서, 통신용 광전송 기기의 작동에 요구되는 적정온도를 유지할 수 있을것으로 판단된다.
3. 주요 온도제어 대상 영역인 FLC 랙 내부의 채널 션프와 공동션프의 온도 측정 결과, 랙 내측의 열전달 기구가 자연대류인 Test B에 비하여, 강제대류가 일어나도록 구성한 Test C의 경우 발열량 제거 성능이 향상되었다.
4. 800 W급 열전소자 냉각시스템을 FLC 랙에 적용할 경우, 14평형 패키지 에어컨 냉각 방식과 비교하였을 때, FLC 랙 1대당 시스템 제작비용과 연간 유지 보수 및 전기 요금은 50 % 이상 절감이 예상된다.

참고문헌

- (1) 김원태, 1996, "ISDN 정보통신 시스템에서의 열관리 및 전자부품실장 냉각기술," 대한기계학회지, Vol.36, No. 4, pp. 351-364, ISSN 1225-5955.
- (2) Haruo Uehara, Yasuyuki Ikegami, Nobutake Sakumoto, 1997, "Study of Thermoelectric Dehumidifier", The Japan Society of Mechanical Engineers, No. 97-25 pp. 132~135
- (3) Sung Tack Ro, et al., 1990, "Principle of Thermoelectric Refrigeration and System design", The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol.19, No.3 pp.135~145
- (4) Angrist, S.W., 1970, "Direct Energy Conversion", Allyn and bacon, Inco., 2nd edition, Boston. pp. 15~38
- (5) B. H. Kang, et al., 2002, "Cooling Characteristics at Hot Side of the Thermoelectric Module for an Air Conditioner", The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol.14, No.3, pp.214~220
- (6) Solomon, M., 1998, "Determination of Thermoelectric Module Parameters", 18th International Conference on Thermoelectrics, pp.519~524

- (7) Miner, Andrew and Majumdar, Arun. 1990, "Principle of Thermoelectric Refrigeration and System design", The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, No.19-3 pp.135~145
- (8) Huang, B.J. and Duang, C.L., 2000, "A design method of Thermoelectric Cooler" , International J. Refrigeration, Vol. 23, pp. 208~218
- (9) Hong Xie, Wendy Lui, and Kelvin Haley, 1996, "Thermal Solution to Pentium Processors in TCP in Notebooks and Sub-Notebooks" , IEEE Transactions on component, packaging, and manufacturing thchenology part-A, Vol. 19, No.1, pp. 208~218
- (10) Nolas, G. S., Sharp, J., Goldsmid, H. J., 2001, "Thermoelectrics basic principles and new materials developments", Berlin New York Springer, pp. 1~5
- (11) Goldsmid, H. J., 1989, "Electronic Refrigeration" , London Pion, pp. 1~16
- (12) Kanatzidis, M.G., DiSalvo, F. J., 1996, "Thermoelectric Materials: Soild State Synthesis" , ONR Quarterly Review, X X VII, pp. 14~22

- (13) G. F. Hewitt, G. L. Shires, T. R. Bott, Process Heat Transfer. CRC Press, pp. 423-466, pp. 573-642, 1994.
- (14) Karl Stephan, Heat Transfer in Condensation and Boiling, Springer-Verlag, pp.7-65, 1992.
- (15) Frank P. Incropera, David P. DeWITT, Introduction to heat transfer, John Wiley & sons, Inc., pp. 310~559, 1966.
- (16). Yoo, S. Y., Hong, C. P. and Shim, W. S., 2004, A Study on the Performance of Thermoelectric Module and Thermoelectric Cooling System, Korean J. of Air- Conditioning and Refrigeration Eng., Vol. 16, No.1, pp. 62-69.
- (17) D. M. Rowe, 1995, CRC Handbook of THERMOELECTRONICS, CRC Press, pp. 597-631.
- (18) T. B. Yoon, N. J. Kim, J. Y. Lee and C. B. Kim, 2000, " Development of a Waterless Container Utilizing Thermoelectric Modules for Live Fish Transportation", Korean J. of Air- Conditioning and Refrigeration Eng., Vol. 12, No.5, pp. 519-524.
- (19) R. L. Webb, 1993, " Principles of Enhanced Heat Transfer", John Wiley & Sons.

- (20) A. Bejan, G. Tsatsaronis, M. Moran, 1996, "Thermal Design & Optimization", John Wiley & Sons.
- (21) W. F. Stoecker, 1989, " Design of Thermal Systems", 3rd Edition, Mcgraw - Hill.
- (22) J. P. Holman, 2001, "Experimental Methods for Engineers", 7th Edition, Mcgraw - Hill.

감사의 글

먼저 오늘의 결실이 있기까지 시종일관 지도와 격려를 해주시고 제자의 부족한 점을 사제의 깊은 정과 사랑으로 감싸주신 김종수 교수님의 은혜에 진심으로 깊이 감사 드립니다.

짧은 2년 6개월의 석사 과정을 통해서 학문뿐만 아니라, 인격적으로 더욱더 성숙할 수 있었던 계기가 된 것 같습니다.

지금의 제가 이 자리에 있을 수 있었던 것이 모두 제 곁에서 힘이 되어주시고 충고를 아끼지 않으셨던 분들의 결과이며 은혜입니다. 한 분 한 분께 깊이 감사 드리며, 앞으로도 실망시키지 않는 삶을 살아가도록 최선을 다하겠습니다.

본 논문이 결실을 맺도록 유익한 조언을 아끼지 않으셨던 오후규 교수님, 김영수 교수님, 김종수 교수님, 최광한 교수님, 윤정인 교수님, 정석권 교수님, 김은필 교수님께 깊은 감사 드립니다.

또한 저에게 견문을 넓힐 수 있게 도와 주신 박병열 부장님, 제판모 과장님, 제동국 사장님, 그 외 많은 KT 관계자님, 주변의 친구들, 불혹의 나이를 접어갈 때 공부한다고 핀잔 반 격려 반으로 격려 해주신 주변의 친분 있었던 많은 분들께 감사의 인사를 드립니다.

비록 늦은 나이에 공부를 하여 이렇게 까지 할 수 있도록 항상 옆에서 무엇이든지 할 수 있다며 격려를 아끼지 않았던 고마운 아내. 나의 성적표를 이야기 할 때마다 주눅이 들어 꿈쩍 못하던 영주, 경주에게 옳은 일은 무엇이든지 할 수 있고, 이루어 질 수 있다는 것을 보여 줄 수 있어서 기쁩니다.

언제든지 걱정해 주며 이런저런 도움을 아끼지 않았던 공기조화 연구실의 임용빈, 하수정, 송상훈, 김태훈, 배내수, 이기택, 양태진, 최상조, 이성호, 김진

원. 최우석군에게도 고마움을 전합니다. 또한, 지금은 졸업하여 열심히 연구에 몰두하고 있는 조원호님, Dr. BUI NGOC HUNG, Dr. BUI TRONG HIEU, Dr. THANH-TONG PHAN, Mr. 폭, Mr. 동, Mr. NGO MANH DUNG, 그 외 멀리 베트남에서 유학을 온 친구들을 사귄 수 있어서 너무나 행복하였습니다.

무엇보다 오늘의 저를 이 자리에 서게 하셨으며, 항상 저를 믿어주시고 어려운 여건 속에서도 제가 좌절하지 않고 자신감을 가질 수 있도록 당신의 힘들과 괴로움은 뒤로 한 채, 건강을 챙겨주신 많은 분들의 은혜를 어떻게 글로 표현 할 수 있겠습니까!

그저 앞으로도 기대에 어긋나지 않게 열심히 노력하며 살아가겠습니다.

2004년 7월