

## 전투체계 상용품의 미 군사표준 고온 조건 만족을 위한 열전 소자 적용 및 검증

서병석  
한화시스템 해양연구소

### An Application and Verification of thermoelectric module in COTS in accordance with MIL-STD-810 high temperature method

Byung-Seok Seo  
Naval R&D Center, Hanwha Systems

**요약** 해군 함정은 특수 임무를 수행하기 위하여 전투체계를 적용한다. 현재의 함정 전투체계는 지휘무장통제체계(CFCS: Command and Fire Control Systems, 이하 CFCS)와 센서 및 무장으로 구성되며 전장의 상황에 따라 빠르고 정확한 판단을 위한 데이터 처리를 위해 다양한 장비로 구성된다. 함정 전투체계 구성 장비는 부체계의 발전으로 인해 처리해야하는 정보가 기하급수적으로 늘어났으며, 군수지원 및 정비편의성을 위해 민수 분야의 상용품 적용이 필수가 되었다. CFCS의 구성장비는 다양한 환경에서 운용되며 장비의 생존성 검증을 위하여 미 군사표준인 MIL-STD-810G 기준의 고온 환경 기준인 Hot Dry(A1), 외기온도 50 °C를 충족하도록 설계되어야 한다. 본 논문에서는 CFCS 구성장비의 상용품 적용 및 고온 온도 환경 기준 충족을 위하여 열전 소자(TEM: Thermoelectric module)를 적용하는 방법을 제안하였다. 구성장비 중 전시기에 대해 MIL-STD-810G 기준에서 상용품의 동작온도의 충족 여부를 검증 하였다. 동작 온도를 충족하지 못하는 경우, 기구적인 방열구조 개선과 열전 소자를 적용하여 동작온도를 충족하는 방안을 제시하였다. 방열 구조는 열전달 해석을 통해 효율성을 입증 하고, 열전 소자는 다양한 외기온도에서의 동작 온도를 분석하여 최적의 제어 방안을 도출하여 적용하였다. 개선된 전시기에 대한 성능 입증 을 위하여 MIL-STD-810G, 고온 Hot dry(A1) 기준으로 전시기 단품수행을 실시하고, 다기능콘솔에 전시기를 장착하여 같은 기준으로 성능을 검증하였다.

**Abstract** Naval battleships apply a combat management system to perform special missions. The combat management system consists of a command and fire control system (CFCS), sensors and weapon system, and various fast and accurate data processing equipment. An application of commercial off-the-shelf (COTS) to equipment of combat management system is essential for processing large amounts of information and for the logistic support and convenience of maintenance. Even though the equipment is operated in various environments, it in particular has to be designed observing the MIL-STD-810G high-temperature Hot Dry (A1) standard. This standard corresponds to an environment with an ambient temperature of 50 degrees for survivability. This paper proposes a method of applying a thermoelectric module to check for the high temperature criteria. Among the equipment of the CFCS, a display assembly was selected, and the operating temperature was compared with the specified value when the ambient temperature was 50 degrees. For the part exceeding the specified operating range, heat dissipation structure improvement and thermoelectric module were applied. Also, a control method of the thermoelectric module using experimental data was proposed for the stable operation of the display assembly. The display assembly with a thermoelectric module was verified using the MIL-STD-810G high-temperature standard.

**Keywords** : CFCS, Thermoelectric Module, Peltier Effect, COTS, Display Assembly, KE6900T

\*Corresponding Author : Byung-Seok Seo(Hanwha Systems)

email: byungseok.seo@hanwha.com

Received August 25, 2021

Revised October 5, 2021

Accepted January 7, 2022

Published January 31, 2022

## 1. 서론

### 1.1 연구배경

해군 함정은 특수임무를 수행하기 위한 전투체계가 적용된다. 함정 전투체계는 전투력 향상을 위하여 함정에 탑재된 레이더, 소나, 함기준센서 등 센서체계와 함포, 유도탄과 같은 무장체계, 그 외 기타 장비들을 통합하여 작전에 필요한 모든 정보를 수집한다. 수집한 정보를 가공하여 전술상황평가, 위협평가, 지휘, 무기 할당, 교전 등의 임무를 효율적으로 수행할 수 있도록 지원한다.

함정 전투체계는 지휘무장전투체계(CFCS: Command and Fire Control Systems, 이하 CFCS)와 센서 및 무장으로 구성되며 함정의 임무에 따라 장비 구성에는 차이가 있다. 그 중 CFCS는 다양한 부체계로부터 전송되는 정보를 종합하여 함장에게 전달하고 함장의 판단에 따른 지휘임무를 수행하는 핵심적인 역할을 수행한다. 전장의 상황에 따라 빠르고 정확한 판단을 위한 다수의 데이터 처리를 위해 다양한 장비로 구성된다. CFCS의 구성장비로는 전술과 관련된 모든 상황에 대한 데이터를 처리하는 정보처리장치, 전술상황을 전시하고 운용자의 명령을 입력받는 다기능콘솔, 부체계와 데이터 연동을 위한 연동단, 전투체계 내 데이터 연동을 위한 네트워크 장치, 레이더 및 TV/IR 비디오를 처리·분배·전송하는 영상처리장치, 다양한 해상환경에서 각 장치를 장착 및 통합하는 시스템캐비닛, 전술화면 전시를 위한 전시기 등이 있다.

### 1.2 CFCS 구성장비 설계방향 및 문제점

부체계의 발전으로 인해 함정 전투체계의 구성장비는 처리해야 하는 정보가 기존 대비 기하급수적으로 늘어나고 있다. 이와 더불어 군수지원 및 정비편의성을 위한 모듈화, 기존 성능 충족을 위한 표준화 등이 진행되고 있다. 부체계의 빠른 발전 속도와 군수지원성 확보를 위해서는 방위산업 분야 뿐 아니라 민수 분야에서 개발되는 상용품(commercial off-the shelf)의 적용이 필수적이다. 기존의 전투체계에서도 모든 부품을 방위 산업을 위해 개발하는 것은 현실적으로 불가능 하며 상용품의 적용에 대해서 다양한 방법으로 검증을 하여 이를 적용하고 있다.

CFCS의 구성장비는 다양한 환경에서 운용되며 장비의 생존성을 검증하기 위하여 Table 1의 미 군사표준인 MIL-STD-810G, 고온 기준을 충족하도록 설계된다. 현

재 한국 해군에서 운용중인 주장비는 한국 해군의 작전 범위 지역을 고려하여 MIL-STD-810G, Basic Hot(A2) 기준을 적용하였고 이는 주변온도 30~43℃ 범위에서 장비가 정상작동 됨을 입증하여야 한다. 그러나 현재의 전 시상황은 작전 범위가 넓어지고 국내 주변이 아닌 타국에서도 작전이 이루어지고 있다. 따라서 기존의 Basic Hot(A2) 기준이 아닌 Hot Dry(A1), 주변온도 32~49℃ 기준의 성능 입증이 필요하다. 이 경우, 구성장비는 부체계의 빠른 발전과 모듈화, 표준화로 인해 상용품을 사용하도록 발전하고 있으나 상용품은 미 군사표준의 온도 기준을 충족하지 못하는 경우가 발생한다.

Table 1. MIL-STD-810G High temperature cycles for operational test[1]

Time of Day	Hot dry(A1)	Basic Hot(A2)
	Temperature ℃	Temperature ℃
0100	35	33
0200	34	32
0300	34	32
0400	33	31
0500	33	30
0600	32	30
0700	33	31
0800	35	34
0900	38	37
1000	41	39
1100	43	41
1200	44	42
1300	47	43
1400	48	43
1500	48	43
1600	49	43
1700	48	43
1800	48	42
1900	46	40
2000	42	38
2100	41	36
2200	39	35
2300	38	34
2400	37	33

본 논문에서는 CFCS 구성장비의 모듈화, 표준화를 위한 상용품 적용을 위해 열전 소자를 활용하여 미 군사표준의 고온 기준을 충족하는 방법에 대해 연구를 진행하였다. 본 논문에서 적용하는 장치는 다기능콘솔의 전술화면 전시를 위한 전시기(display assembly)로 선정하였다. 기존의 전시기에 대해 MIL-STD-810G 기준에 대해 시험을 수행하고 내부 구성품이 표준을 만족하지 못할 경우 기구적인 방열 구조 개선 및 전자적인 열전 소자

제어를 통해 운용 조건을 만족시킬 수 있도록 하였다. 방열 구조는 모델링을 통한 효율성을 입증하였고, 열전 소자의 제어는 다양한 온도에서의 장비 운용 데이터를 확보하여 제어 시퀀스를 도출 하였다. 개선된 전시기에 대한 성능 입증을 위하여 MIL-STD-810G, Hot Dry(A1) 기준 이상인 주변온도 50 ℃ 기준으로 성능을 입증하였다.

## 2. 본론

### 2.1 열전 소자의 적용

#### 2.1.1 열전 소자의 적용 위치

열전 소자는 열과 전기의 상호작용으로 나타나는 효과를 이용한 소자이다. 본 논문에서의 펠티에 효과를 나타내는 소자를 열전 소자라 명칭 하였다. 펠티에 효과(peltier effect)는 서로 다른 두 종류의 금속을 접합한 후, 전류를 통할 때에 그 접합부에서 흡열 및 발열을 일으키는 현상을 의미한다[2]. Fig. 1과 같이 열전대에 흐르는 전류에 의해 발생하는 줄열(joule heating) 외에도 열전대의 각 접점에서 발열 혹은 흡열 작용이 일어나는 현상으로, 두 금속의 접합점에서 한쪽은 열이 발생하고 다른 쪽은 열을 빼앗기는 현상을 이용하여 냉각 효과를 발생시킨다.

열전 소자는 전류를 이용한 온도차 제어가 가능하고 사이즈도 작아 정밀 온도제어 및 소형화가 필요한 전자제품, 휴대용 냉장고 등에 사용되고 있다[3]. 기존의 히트펌프를 사용하는 냉각기술과 대비하여 구성방법이 간단하며 냉각을 위한 추가 장치들이 필요하지 않는 장점이 있다.

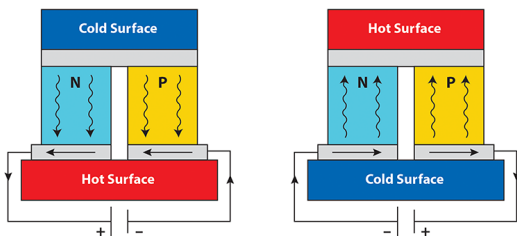


Fig. 1. Schematic diagram of Peltier effect[4]

본 논문에서는 다기능콘솔 전시기의 구성품 중 상용품에 대한 고온 조건 충족을 위하여 열전 소자를 적용하도록 하였다. 해당 전시기는 24인치 공랭식으로 설계되었으며 Table 2과 같은 상용품으로 구성된다.

Table 2. Configuration specification of display assembly

Configuration part (Temp sensor position)	Device	Temperature Range(℃)
KE6900T (Internal temp sensor)	Spartan-6	0 ~ 85
KE6900T(②)	RTL8363SB	0 ~ 70
LCD(③)	LM240WU8	0 ~ 65 (surface)
AD part(④)	RTD2271DW	0 ~ 70
LCD control (Internal temp sensor)	SPI-1260SDN-470	-40 ~ 125
Power(⑤)	ECP150PS12	-20 ~ 70

해당 전시기의 미 군사표준 고온 기준 충족 여부를 확인하기 위하여 TEMI-880 항온항습기(이하 챔버)의 외기온도를 50 ℃로 유지하고 실험을 수행 하였다. 상용품의 실제 동작 온도 확인을 위하여 Fig. 2과 같이 각 제품의 주요 부위에 온도센서를 부착 하였다. 온도센서는 NI사의 cDAQ-9178 새시, NI-10 온도 입력 모듈, 열전쌍(Thermocouple) 센서를 이용하여 측정하였다. 온도센서 위치는 전시기 하단부(①), KE6900T 제품의 RTL8363SB 이더넷 스위치 컨트롤러(②), LCD 표면(③), AD 보드인 RTD2271DW(④), 전시기 전원부인 ECP150PS12(⑤)이다. KE6900T의 FPGA인 Spartan-6와 LCD control 보드의 SPI-1260SDN-470 소자는 보드 내 자체 센서를 사용하여 온도를 측정하였다.

단품시험 결과 Table 3와 같이 전시기를 구성하는 상용품 중 KE6900T의 이더넷 스위치 컨트롤러에서 부품의 동작온도를 초과하는 결과를 확인하였다. 해당 컨트롤러는 전시기 영상을 송신하는 역할을 하는 부품으로 온도 범위가 제품 사양보다 약 4 ℃ 이상 높은 결과를 확인하였다.

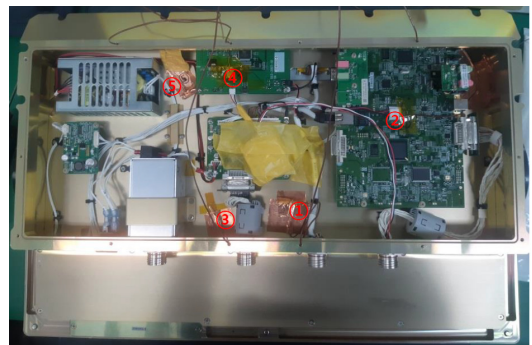


Fig. 2. Temperature measurement location inside the display assembly

Table 3. Temperature test result(ambient temp: 50℃)

Configuration part (device)	Temperature result(℃)	Temperature Range(℃)
KE6900T (Spartan-6)	72.8	0 ~ 85
KE6900T (RTL8363SB)	74.0	0 ~ 70
LCD (LM240WU8)	55.8	0 ~ 65 (surface)
AD part (RTD2271DW)	60.63	0 ~ 70
LCD control (SPI-1260SDN-470)	77.68	-40 ~ 125
Power (ECP150PS12)	53.63	-20 ~ 70

### 2.1.2 열전 소자 적용 방안

단품 시험 결과를 통해 KE6900T의 이더넷 스위치 컨트롤러(이하 컨트롤러)에 열전 소자를 적용하도록 하였다. 적용하고자 하는 열전 소자의 상세 사양을 결정하기 위하여 KE6900T의 컨트롤러에 대해 단품시험을 수행하였다. 다양한 외기온도에 따른 컨트롤러의 온도 차이를 확인하고 그 결과를 바탕으로 최적의 열전 소자의 사양을 결정하도록 하였다.

시험은 상온 상태인 외기온도 25 ℃, 35 ℃, 45 ℃에 대해서 전시기와 KE6900T의 온도 변화를 확인하고 시간은 해당 장비와 구성품의 온도가 포화되는 시간까지 수행하였다.

시험 결과 외기온도 25 ℃에서는 Fig. 3(a)와 같이 전시기의 내부온도는 약 41 ℃에서 포화상태가 되었고 KE6900T의 보드 온도는 47 ℃로 제조사가 제시하는 사양을 충족하는 결과를 보였다. 외기온도 35 ℃에서는 Fig. 3(b)의 그래프와 같이 전시기의 내부 온도가 약 44 ℃ 일 때 제조사의 제시 사양인 50 ℃를 초과하는 결과를 보였다. 외기온도 45 ℃에서는 Fig. 3(c)와 같이 전시기 내부 온도가 약 47 ℃에서 KE6900T의 온도가 50 ℃를 도달하였다. 실험 결과를 통해 전시기 내부 온도가 약 47 ℃에서 열전 소자를 동작하고, KE6900T의 적용 부위가 50 ℃ 밑으로 떨어지는 온도와 히스테리시스(hysteresis)를 고려하여 전시기 내부 온도 40 ℃에서 열전 소자의 동작을 멈추도록 하였다.

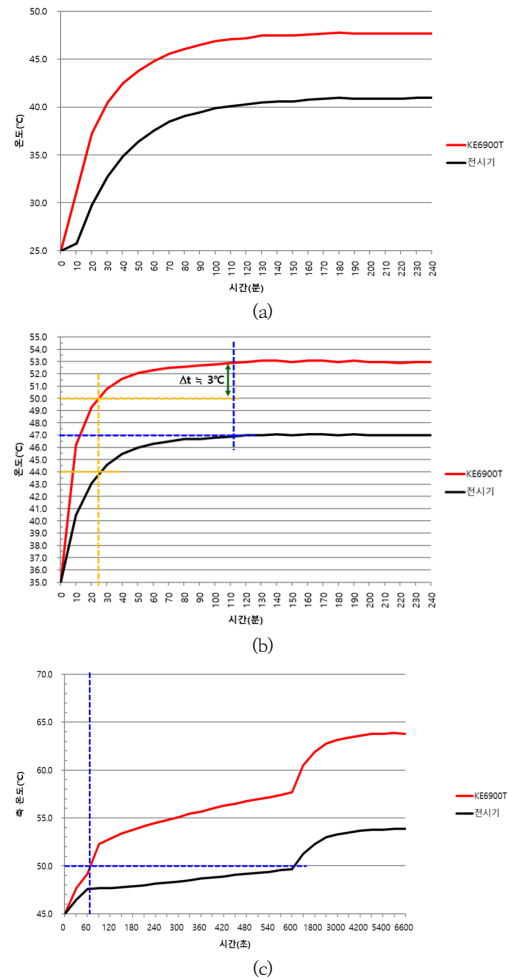


Fig. 3. Comparison of temperature of display assembly with KE6900T  
 (a) Ambient temp: 25 ℃ (b) Ambient temp: 35 ℃  
 (c) Ambient temp: 45 ℃

열전 소자를 KE6900T의 컨트롤러에 장착하기 위해 전시기의 방열판 구조를 변경하였다. 열전 소자의 발열면이 방열판과 접촉되지 않을 경우, 주위의 공기가 뜨거워지며 전시기 내부의 온도를 높이게 되는 문제점이 발생하게 된다. 또한 Fig. 1에서 보는 바와 같이 Cold surface와 Hot surface의 온도차가 커지게 되면 제백효과(seebeck effect)에 의해 열전 소자의 효율이 감소하는 특성이 있다. 이러한 영향을 줄이고 효율적인 냉각 성능을 위해 Fig. 4와 같이 방열판 구조를 전원부와 KE6900T 컨트롤러에 적용하였다.

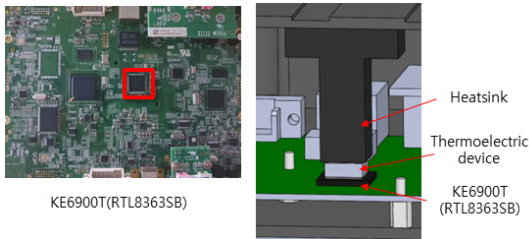


Fig. 4. Heat sink structure for Thermoelectric module

방열판 구조 적용을 통한 전시기 내부 냉각 성능 개선 여부를 확인하기 위하여 전시기 모델링 및 열전달 해석을 수행하였다. 해석 수행은 외기온도 50 ℃ 기준으로 수행하였으며 전시기 각 구성품에 대해 개발품은 관련 정보를 통해 모델링을 수행하고, 상용품은 사양서에 나타나는 발열 정보, 소비 전력 등을 토대로 모델링을 수행하였다. Fig. 5는 수행한 모델에 대한 열전달 해석 결과이다. Fig. 5(a)는 방열구조를 적용하기 전의 해석 결과로 방열구조 적용 전 열전달 해석 결과는 전원부가 60.33 ℃, KE6900T 컨트롤러가 64.69 ℃를 나타내었다. Fig. 5(b)는 방열구조를 적용한 후의 해석 결과로 전원부는 53.63 ℃, KE6900T 컨트롤러는 55.05 ℃로 방열구조 적용 후 각 6.7 ℃, 9.64 ℃의 냉각 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다. 그러나 KE6900T 제조사의 사양인 50 ℃를 넘는 동작 온도로 열전달해석 기준 5.05 ℃에 대한 냉각을 열전 소자를 통해 해결하여야 하는 문제점이 아직 존재함을 알 수 있다.

본 연구에서는 KE6900T 컨트롤러의 표면적, 온도차이(약 5 ℃), 제백계수 등을 고려하여 약 2.5W의 냉각용량을 가지는 열전 소자의 적용이 필요함을 확인하였고, Peltier Technology사 HMN1710 모델의 열전 소자를 사용하였다. HMN1710의 주요 사양은 Table 4과 같다.

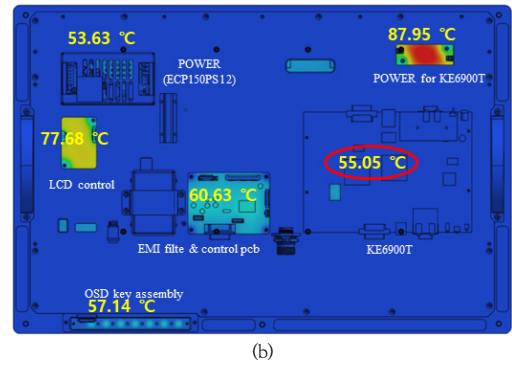
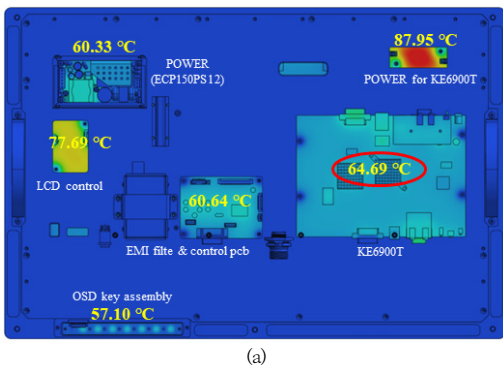


Fig. 5. Surface heat distribution in display assembly (a) Before applying heat sink structure(b) After applying heat sink structure

Table 4. Thermoelectric module(HMN1710) technical data

Technical Data		
Resistance	1.0 Ohm at 25 ℃	
$I_{max}$	1.7 A	
$V_{max}$	2.24 V	
$Q_{max}$	Thot = 25 ℃	Thot = 50 ℃
	2.4 watt	2.7 watt
$\Delta T_{max}$	70 ℃	77 ℃
Bottom side	Al2O3 white 96%	

## 2.2 열전 소자 제어

### 2.2.1 열전 소자의 제어 온도

열전 소자는 입력 전류가 있을 때 해당 소자의 파괴가 일어나기 전까지 흡열과 발열이 지속된다. 따라서 입력 전류의 제어를 통해 냉각성능을 얻도록 제어가 필요하다. 열전 소자가 적용된 KE6900T의 안정적인 동작을 위하여 고온 챔버 실험을 통해서 열전 소자의 켜/끔 제어방안을 확인하였다.

제어를 위해서 전시기 내부 온도를 측정하고, 열전 소자의 입력 제어가 가능하도록 확장 보드를 설계하였다. Fig. 6과 같이 전시기 내부 온도 측정을 위한 온도 센서를 2곳에 적용하고, 열전 소자의 입력을 제어하도록 마이컴과 레귤레이터를 추가하여 회로를 구성하였다. 마이컴은 전시기 내부 온도 값을 확인하고 전류 출력을 제어하도록 설계하였다.

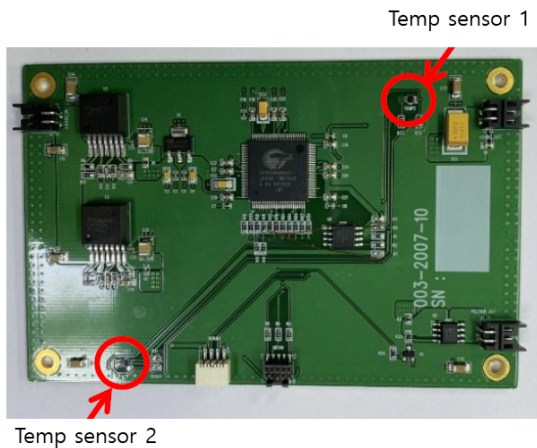


Fig. 6. Control board for temperature sensing and Thermoelectric module input control

고온 챔버 실험은 KE6900T 컨트롤러의 안정적인 동작을 위하여 제조사의 사양인 70 ℃를 초과하지 않는 범위를 확인하였다. 열전 소자를 작동하지 않고 전시기 동작에 의한 내부온도와 KE6900T 컨트롤러의 온도를 다양한 외기온도 기준에서 측정하였다. 온도 시험은 이전의 온도 변화 시험에서 전시기 내부 온도가 포화상태가 되었던 시간인 약 3시간 동안 고온 시험을 수행하였으며 그 결과는 Table 5와 같다. 시험 결과 외부 온도가 1 ℃ 증가함에 따라 KE6900T의 컨트롤러의 온도가 약 1.03 ℃ 규칙적으로 증가하는 것을 확인하였다. 고온 챔버 실험결과에서 확인할 수 있듯이 컨트롤러의 안정적인 사용을 위해서는 전시기의 외기온도 약 36 ℃에서 열전 소자를 작동시켜 냉각하여야 함을 확인하였다.

Table 5. Display assembly inside temperature comparison according to ambient temperature

Ambient temperature(℃)	Temp sensor 1 (℃)	Temp sensor 2 (℃)	KE6900T (RTL8363SB) (℃)
25	37.6	38.0	50.1
30	42.5	42.7	54.6
33	45.3	46.1	58.3
36	48.7	49.2	61.4
50	64.0	67.0	74.5

### 2.2.2 열전 소자의 제어 시퀀스

고온 챔버 실험 결과를 바탕으로 열전 소자의 동작 온도를 확인하였다. 추가적인 고온 챔버 실험을 통해서 열전 소자의 켜/끔을 제어하는 시간을 확인하도록 하였다. 이번 실험은 외기온도 50 ℃에서 전시기를 동작하고 열전 소자의 켜/끔 동작 시간 조절을 통해 최적의 운용 환경을 확인하는데 목표가 있다. 열전 소자의 제어 실험은 각 제어 시퀀스 마다 총 3회의 사이클로 실시하였으며 KE6900T 컨트롤러의 최저 온도는 외기온도와 같은 50 ℃ 미만으로 내려가지는 않도록 구성하였다.

Table 6는 열전 소자의 제어 시퀀스 별 전시기 내부 온도, KE6900T 컨트롤러 온도, 챔버 온도의 측정 결과를 나타내었다. 시험 결과 자료는 각 제어 시퀀스 별 3회의 사이클을 실시한 평균 온도이다. 시험결과에서 볼 수 있듯이 KE6900T 컨트롤러의 온도가 50 ℃ 미만으로 떨어지지 않도록 제어하기 위해서는 열전 소자를 5분간 동작하여야 하며, 이를 기준으로 열전 소자의 미동작 시간을 다양하게 조절 하였다. 시험 결과 열전 소자가 약 15 초 이상 미동작 할 경우 KE6900T 컨트롤러의 온도는

Table 6. Temperature measurement results according to Thermoelectric module control sequence(ambient temperature: 50 ℃)

Thermoelectric module control sequence	Temp sensor 1 (℃)	Temp sensor 2 (℃)	KE6900T (RTL8363SB)		Display assembly (℃)	Chamber Temp (℃)
			Thermoelectric module: On	Thermoelectric module: Off		
5 min on / 4 sec off	64.0	67.0	50.0	59.1	55.4	51.1
5 min on / 6 sec off	64.0	67.0	50.2	63.7	55.4	51.2
5 min on / 8 sec off	64.0	67.0	50.0	65.8	55.5	51.1
5 min on / 10 sec off	64.0	67.0	49.9	67.5	55.4	51.1
5 min on / 12 sec off	64.0	67.0	50.0	69.2	55.4	51.2
5 min on / 15 sec off	64.0	67.0	49.9	70.6	55.4	51.1
5 min on / 20 sec off	64.0	67.0	49.9	72.5	55.5	51.2
5 min on / 30 sec off	64.0	67.0	49.8	74.4	55.5	51.2

70 ℃를 초과하였으며 이는 제조사의 사양을 미충족하는 수치이다. 사양을 만족시키는 제어 시퀀스는 5분 동작, 4 초에서 12초 사이 미동작이다. 컨트롤러의 급격한 온도 변화에 의한 문제 발생을 차단하기 위하여 본 연구에서는 열전 소자의 제어 시퀀스를 5분 동작, 12초 미동작으로 최종 결정하였다.

### 2.3 열전 소자의 적용 후 동작 확인

실험적 결과를 통해 열전 소자의 동작 온도와 제어 시퀀스에 대한 제어 방법을 선정하였다. 해당 결과를 바탕으로 전시기의 실제 운용결과를 확인하기 위한 고온 챔버 시험을 실시하였다. 전시기는 다양한 환경에 노출되어 운용되는 점을 감안하여 상온인 25 ℃, 36 ℃ 그리고 미 군사표준 고온 온도 기준 이상인 50 ℃ 환경에서 시험을 수행하였다.

Fig. 7(a)는 외기온도 25 ℃에서의 전시기 운용에 대한 결과이다. 외기온도가 상온인 상태에서는 온도 센싱 및 열전 소자 제어를 위한 보드의 온도가 48 ℃ 이내로 열전 소자는 동작하지 않았다. KE6900T 컨트롤러의 최고 온도도 50.1 ℃로 사양을 만족하였다.

Fig. 7(b)는 외기온도 36 ℃에서의 전시기 운용에 대한 결과이다. 실험 시작 약 15분 후 전시기 내부 온도센서 2의 온도가 48.1 ℃를 초과하였고 즉시 열전 소자가 동작하였다. 전시기 내부의 온도는 온도센서 1은 약 50 ℃, 온도센서 2는 약 53 ℃로 포화되었으며, 열전 소자는 동작 조건에 의해 제어 시퀀스에 따라 지속적인 켜과 끄를 반복하였다. 열전 소자의 제어로 전시기 내부 온도 안정화 구간에서의 KE6900T 컨트롤러의 온도는 최저 36.1 ℃, 최고 55.8 ℃ 구간에서 상승과 하강을 반복하여 정상 운용을 위한 환경 조건 범위 내에 있음을 확인하였다.

Fig. 7(c)는 외기온도 50 ℃에서의 전시기 운용에 대한 결과로 실험 시작 약 5분 후 온도센서 1, 2가 모두 48 ℃를 초과하였다. 온도센서의 측정 온도가 48 ℃를 초과하여 열전 소자가 작동을 하였으며 제어 시퀀스에 따라 켜과 끄를 반복하며 온도 제어를 수행하였다. 전시기 내부 온도 안정화 구간에서 KE6900T 컨트롤러의 온도는 최저 45.5 ℃, 최고 69.6 ℃의 범위에서 상승과 하강을 반복하였다. 해당 범위는 미 군사표준의 고온 Hot dry(A1) 기준인 외기온도 49 ℃를 초과하는 환경에서 상용품의 제조사 사양에 만족하는 결과를 나타내었다.

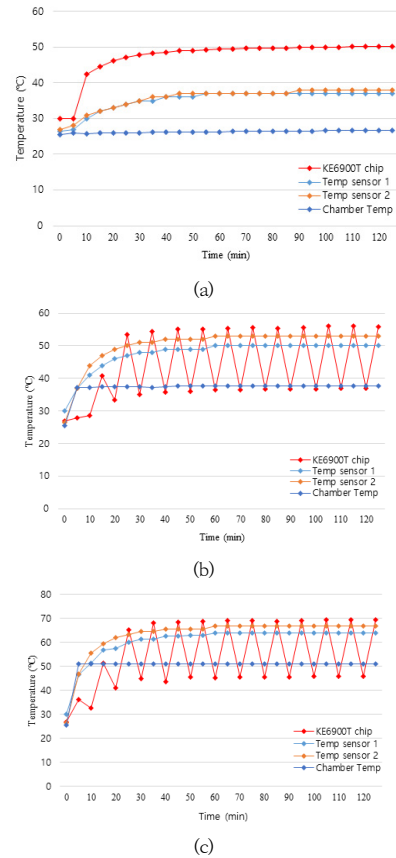


Fig. 7. Test results with various ambient temperature (a) Ambient temp: 25 ℃ (b) Ambient temp: 36 ℃ (c) Ambient temp: 50 ℃

전시기의 냉각 성능 개선효과를 단품시험에서 확인 후, 전시기가 장착되는 주 장비인 다기능콘솔에 대해서도 외기온도 50 ℃의 시험을 추가로 진행하였다. 추가 시험의 온도 프로파일은 Fig. 8과 같이 상온에서 안정화 구간 이후 온도 변화를 통해 50 ℃에서 운용시험을 수행하였다.

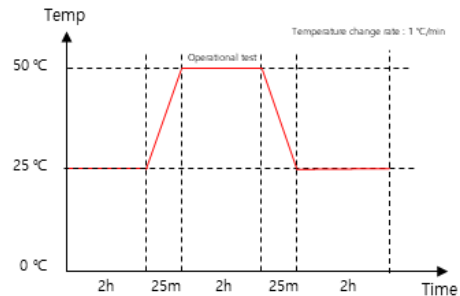


Fig. 8. High temperature test profile for Multi Function Console

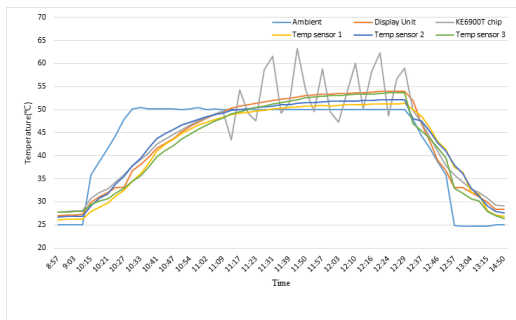


Fig. 9. Multi function console high temperature test result

시험 결과는 Fig. 9와 같다. 그래프에서 Temp sensor 1, 2, 3은 다기능콘솔 내에 장착되어 있는 온도 센서로 외부 온도 변화에 대한 다기능콘솔 내부의 온도를 나타낸다. 외부온도가 50 °C인 구간동안 전시기는 최고온도 53.9 °C에서 포화상태를 이루었으며 전시기 내부의 KE6900T 컨트롤러의 온도는 열전 소자의 제어 시퀀스에 따라 온도 변화를 보였다. 최대 온도는 63.35 °C로 제조사의 동작 사양인 70 °C를 만족하는 결과를 나타내었다.

### 3. 결론

본 논문에서는 상용품을 적용한 CFCS 구성품의 미군사표준 고온 규격 만족를 위하여 열전 소자를 적용하고 이를 제어 방법을 제안하였다. 다양한 장비에서 사용되고 있는 전시기를 선정하여 구성품 중 상용품에 대한 사양 정리 및 고온 챔버 실험을 수행하였다. 실험 결과를 통해 미군사표준에 맞지 않는 부품을 식별하였으며 해당 품목에 대해 열전 소자 적용 및 제어 방법을 제안하였다. 전시기의 단품 고온시험을 통해 다양한 외기온도에 따라 내부 온도 센싱 및 열전 소자 동작 여부를 확인하였다. 그 결과 외기온도 50 °C에서 상용품의 동작 온도를 제품 사양 70 °C이하인 45.5 °C에서 69.6 °C 범위내로 제어하는 결과를 확인하였다.

이번 연구 결과를 적용하여 전시기 단품이 아닌 CFCS를 구성하는 다기능콘솔에 장착하여 고온 시험을 수행한 결과 미군사표준인 MIL-STD-810G W/CHANGE 1, Method 501.6 Hot Dry(A1)를 만족함과 동시에 외기온도 50 °C의 추가 시험에서도 KE6900T 컨트롤러의 최고온도는 63.53 °C로 사양을 만족함을 확인하였다. 이를 통해 열전 소자가 실제 장비 환경에서도 효과적인 성능을 나타내는 것을 검증하였다.

향후에는 타 제품에 대한 분석 및 적용 기법에 대한 연구가 필요하며 온도 기준 뿐 아니라 습도 등 다양한 환경에 대한 영향성 분석과 검증이 요구된다.

### References

- [1] Department of Defence(DoD) (2014). "Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests", Military Standard, MIL-STD-810G w/Change 1.
- [2] Y. I. Jung, "An Analysis of the Thermal Flow Characteristics in Engine-Room and VTRU in accordance with Application of Thermoelectric module Cooling System to Prevent Overheating of the Korean Navy Ship VRTU", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.9, pp.610-616, Sep. 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.9.610>
- [3] H. S. Chun, S. E. Moon, Application Trends in Thermoelectric Materials, Electronics and Telecommunications Trends, Electronics and Telecommunications Research Institute, Korea, pp.144-153.  
DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2015.J.300115>
- [4] Icecube, Thermoelectrics/Peltier Effect Described, <https://www.icecube.com/technical/thermoelectrics-peltier-effect-described/>, cited 2021 August 18

서 병 석(Byung-Seok Seo)

[정회원]



- 2009년 2월 : 경북대학교 전자전 기컴퓨터학부 (공학사)
- 2011년 2월 : 경북대학교 전자전 기컴퓨터학부 (공학석사)
- 2017년 7월 ~ 현재 : 한화시스템 해양연구소 선임연구원

<관심분야>

제어공학, 전자회로 설계