



2010년 8월 교육학석사학위논문

압전 액츄에이터를 이용한 열전냉각시스템의 열전달 특성에 관한 연구

조선대학교 교육대학원

기술・가정교육전공

송 민 철

압전 액츄에이터를 이용한 열전냉각시스템의 열전달 특성에 관한 연구

A Study on Heat Transfer of Thermoelectric Cooling System using the Piezoelectric Actuator

2010년 8월 25일

조선대학교 교육대학원

기술・가정교육전공

송 민 철

압전 액츄에이터를 이용한 열전냉각시스템의 열전달 특성에 관한 연구

지도교수 오 율 권

이 논문을 교육학석사 학위 청구논문으로 제출함.

2010년 4월

조선대학교 교육대학원

기술・가정교육전공

송 민 철

송민철의 교육학 석사학위 논문을 인준함.

심사위원장	조선대학교	교수		명	석	인
심 사 위 원	조선대학교	교수	정	낙	규	인
심 사 위 원	조선대학교	교수	ያ	율	권	인

2010년 6월

조선대학교 교육대학원

목	차
---	---

제	1장서 론
	1.1 연구배경
	1.2 연구목적 및 내용
제	2 장 이 론 해 석
	2.1 열전현상 해석
	2.1.1 Seebeck 효과
	2.1.2 Peltier 효과6
	2.1.3 Thomson 효과
	2.1.4 p형과 n형 반도체의 계수 관계7
	2.2 열전소자의 성능 해석7

제	3 장 실험장치 및 실험방법	11
	3.1 실험장치	11
	3.1.1 열전냉각시스템	11
	3.1.2 압전 액츄에이터	16
	3.1.3 온도측정 실험장치]	18
	3.1.4 유동가시화 실험장치]	18
	3.2 실험방법	19
	3.2.1 온도측정 방법	19
	3.2.2 유동가시화 방법	21

제	4	장	실험	결과	밎	고찰	 22
	4.1	1 온 :	도측정	결과	•••••		 22

		4.1.	1	냉각	영인	역의	거리	에따	른 온	도분.	포 측정]	••••	 	 ·· 22
		4.1.	2	열전	냉z	라시크	스템	ON,	압전	액츄	에이터	120H	Iz ·	 	 25
		4.1.	3	열전	냉z	라시크	스템	ON,	압전	액츄	에이터	150H	Iz ·	 	 ·· 27
	4.2	2 유	동	가ㅅ]화	결고	}	•••••						 •••••	 29
		4.2.	1	열전	냉z	라시크	스템	ON,	압전	액츄	에이터	OFF	•	 •••••	 29
		4.2.	2	열전	냉z] 라시≟	스템	OFF	, 압전	l 액쿠	-에이터	ON	•	 	 31
		4.2.	3	열전	냉z	라시크	스템	ON,	압전	액츄	에이터	ON		 	 33
제	5	장	결		론		•••••	•••••	•••••					 	 35
참	고	. 문	헌											 	 ·· 37

LIST OF FIGURES

Fig.	1	Schematic diagram of thermoelectric cooling principle
Fig.	2	Schematic diagram and photograph of thermoelectric cooling system
Fig.	3	Schematic diagram of thermoelectric module
Fig.	4	Dimension of heat sink
Fig.	5	Photograph of cooling fan
Fig.	6	Schematic diagram of piezoelectric actuator
Fig.	7	Experimental apparatus for temperature measurement and flow visualization 17
Fig.	8	Schematic diagram of temperature measurement points
Fig.	9	Schematic diagram of experimental apparatus for flow visualization
Fig.	10	Temperature distribution of cooling region at measurement distance, 5mm 24
Fig.	11	Temperature distribution of cooling region at measurement distance, 7mm 24
Fig.	12	Temperature distribution with piezoelectric actuator as 120Hz 26
Fig.	13	Temperature distribution with piezoelectric actuator as 150Hz 28

Fig.	14	Visualization	of flov	phenomena	in	test	section,	only	thermoelectric	cooling	
		system									· 30

- Fig. 15 Visualization of flow motion in test section, only piezoelectric actuator 32

LIST OF TABLES

Table	1.	Performance	specifications	of	thermoelectric	module	• 14
Table	2.	Performance	specifications	of	heat sink		· 15
Table	3.	Performance	specifications	of	piezoelectric a	ctuator	· 16
Table	4.	List for com	parison of per	for	mance coefficie	ent ·····	· 28

NOMENCLATURE

A_C	: Area of thermoelectric module
COP	: Coefficient of performance
Ι	: Current intensity
K	: Thermal conductivity
N	: Number of thermocouples
P	: Electric power
R	: Resistance of thermoelectric module
T	: Temperature
T_1	: Initial temperature
T_2	: Final temperature
T_R	: Standard temperature
T_H	: Hot side temperature
T_C	: Cold side temperature
ΔT	: Difference between hot side temperature and cold side temperature
Q_1	: Initial side heating power
Q_2	: Final heating power
Q_C	: Absorbed by Peltier cold side heating power
$Q_{\!H}$: Peltier hot side heating power
Q_J	: Joule heat generation
Q_P	: Peltier heating power
Q_T	: Thomson heat flow
V	: Voltage

NOMENCLATURE (Continued)

Greeks

α	: Seebeck coefficient
δ_C	: Peltier coefficient at the junction of materials A and B
П	: Peltier coefficient
Π_A	: Peltier coefficient at the junction of material A
Π_B	: Peltier coefficient at the junction of material B
ρ	: Electric resistively
σ	: Thomson coefficient

ABSTRACT

A Study on Heat Transfer of Thermoelectric Cooling System using the Piezoelectric Actuator

Song, Min-Chul

Advisor : Prof. Oh, Yool-Kwon Ph.D. Major in Technology & Home-economics Education Graduate School of Education, Chosun University

This study investigated on heat transfer characteristics of thermoelectric cooling system using the piezoelectric actuator. The temperature distribution was measured and thermo-flow phenomenon was visualized in the cooling region of thermoelectric cooling system when the piezoelectric actuator wasn't operated and was operated with frequency of 120Hz and 150Hz.

The experimental apparatus for measuring temperature distribution consisted of the thermoelectric cooling system, the piezoelectric actuator, thermocouple, data acquisition unit and PC. Temperature distribution of cooling region between thermoelectric cooling system and piezoelectric actuator was visualized without and with the piezoelectric actuator as 120Hz and 150Hz, and also coefficient of performance was calculated in respective conditions.

The experimental apparatus for visualization consisted of the thermoelectric cooling system, the piezoelectric actuator, He-Ne laser, CCD camera, image grabber, optic lens and PC. Thermo-flow phenomenon of cooling region between thermoelectric cooling system and piezoelectric actuator was visualized without and with the piezoelectric actuator.

As a results of measuring temperature distribution and calculating coefficient of performance, vibration from piezoelectric actuator was improved the heat transfer and the cooling performance of the thermoelectric cooling system, but quantity of improvement was different in accordance with frequency.

When the result of measuring temperature distribution was compared with the result of flow visualization, the cold air in cooling region was actively circulated in cooling region by compulsive convection generated from piezoelectric actuator. As the result, heat transfer of cooling region of thermoelectric cooling system was improved, and then cooling performance of cooling region was improved.

제1장서 론

1.1 연구배경

1930년대 개발된 CFC(chlorofluorocarbon) 및 HCFC(hydrochlorofluorocarbon) 물질은 열역학적 우수성 및 화학적 안정성 등 냉매로서의 구비조건을 거의 완벽하게 갖추 고 있어 그 동안 냉장고, 에어컨 및 냉동 공조기기 등의 냉매뿐만 아니라, 발포제, 세정제 및 분사제 등으로 널리 사용되어 왔다. 그러나 CFC 및 HCFC는 대기에 방 출될 경우 오존층을 파괴하고 지구온난화에 영향을 미치는 환경오염물질로 판명되 어 이 물질들의 생산 및 사용에 대한 규제가 가속화 되고 있다.

특히, 기존의 냉각시스템은 냉매를 압축기를 이용하여 강제 순환시키는 증기 압 축식 냉각방식으로, 냉매사용에 따른 환경오염 유발로 인하여 최근에 들어 친환경 적인 냉각시스템의 원리 중 하나로 열전소자를 이용한 냉각시스템이 많이 사용되 고 있는 추세이다. 열전소자란 Seebeck 효과, Peltier효과, Thomson효과와 같은 열전 현상을 이용하여 만들어진 소자[1]로서, n형과 p형 열전반도체를 전기적으로는 직 렬로 열적으로는 병렬로 연결한 소자를 말한다[2]. 열전현상은 어떤 물질의 양단 에 열과 전류를 동시에 흘렸을 때 상호작용에 의해 서로 영향을 주는 것을 말 하며, 전압에 의한 전류의 흐름이 열의 흐름을 유발시켰을 때, 이는 곧 열펌프 (Heat Pump)의 원리가 되며 반대의 경우에 열전 모듈에 의한 발전의 원리가 되 는 것이다[3,4]. 이러한 열전현상에 관한 연구는 1821년 Seebeck의 실험결과를 토대로 두 개의 서로 다른 전도체의 접합부에 열을 가하였을 때 양단에 전위차 가 생긴다는 Seebeck 효과와 1843년 Jean Peltier에 의해 서로 다른 물질에 전류 를 통과시켰을 때 접합부 근처에서 온도차가 생긴다는 Peltier 효과로부터 시작 되었다. 이후 1851년 Thomson은 Seebeck 효과와 Peltier 효과의 가역성을 열역학 적으로 이론화하던 중 온도기울기가 있는 도체에 전류를 흘리면 도체내부에서 열이 흡수되거나 또는 열이 발생되는 Thomson 효과를 제안하였다. 이 소자에 직류전류를 흘렸을 때, 소자의 양면에서 온도차가 발생하여 한쪽 면은 차가워지고 반대쪽 면은 뜨거워지는 열전현상이 발생하는데, 이러한 원리를 이용하여 만들어진 소자를 열전소자라고 한다.

기존의 냉각시스템은 작동유체인 냉매를 압축기를 이용하여 강제 순환시키는 증 기압축식 냉각방식으로, 압축기, 응축기, 팽창밸브, 증발기 등 기계적인 장치가 많 이 사용되기 때문에 소음 및 진동을 발생할 뿐만 아니라 소형화가 어렵고 환경오 염을 유발하는 등의 문제을 갖고 있는데 반하여, 열전소자를 이용한 냉각방식은 직 류전류를 입력하는 것만으로 작동하는 단순한 구조로서 소형화가 가능하고, 진동 및 소음이 없으며 입력전압의 조절만으로도 제어가 가능하기 때문에 초정밀 온도 의 제어가 가능할 뿐만 아니라 신뢰성이 높다[5]. 이러한 장점들로 인하여 열전소 자는 우주항공, 군사, 의료, 반도체 공정 시스템, 가정용 냉각시스템 등 넓은 범위 에서 사용되고 있고, 점차적으로 응용분야가 확대되어 가고 있는 추세이다[6].

Lee 등[7]은 열전소자를 이용한 가정용 의류 건조기, Yoon 등[8]은 물이 없이 활 어를 수송할 수 있는 활어 수송용 무수 컨테이너에 관하여 연구한 바 있다. 또한, Choi 등[9]은 냉·난방을 제어할 수 있는 카시트, Lee 등[10]은 냉풍조끼(chilly wind vest), Park 등[11]은 정밀 항온 유지 장치에 관한 연구를 수행하였다. 이 외에, 열전 소자를 이용한 제품들은 일반적으로 알려져 있는 혈액이나 백신을 일정한 온도를 유지하면서 보관할 수 있는 의료용 냉장고[12], 음료수 등을 저장할 수 있는 쇼케 이스[13], 고온부 냉각팬의 속도 변화를 통해 일정한 온도를 유지할 수 있는 화장 품 냉장고[14] 등과 같은 제품들이 있다.

그러나 열전소자는 가격이 비싸고, 기존의 냉각시스템에 비해 상대적으로 냉각성 능이 낮은 단점[5]이 있기 때문에 냉각성능 개선을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 열전소자를 이용한 냉각시스템의 성능향상을 위한 방법으로는, 첫째로 열전 소자의 재료, 크기 및 구조 등을 변화시켜 열전소자 자체의 성능을 향상 시키는 직 접적인 방법과, 둘째로 방열판, 냉각팬 등의 크기, 재질, 구조 등을 최적화시켜 성 능을 향상시키는 간접적인 방법으로 나누어지며, 이러한 시스템을 최적으로 설계하 여 성능을 극대화시키는 방법들이 다양하게 실행되어지고 있다[1].

Cheang 등[15]은 방열판의 모양과 크기, 단면방열판의 방향, 칩셋형방열판의 크 기, 팬의 크기, 팬의 RPM에 따른 냉각특성에 관하여 연구한 바 있으며, Kang 등 [16]은 열전소자의 냉각성능 향상을 위해 공기와 물을 동시에 사용하는 새로운 방 법을 사용함으로써 현열냉각과 더불어 잠열냉각을 이용한 증발냉각방식을 도입하 여 기존의 방식보다 방열효과를 높일 수 있었다.

이와 같은 선행연구에서 제안된 열전소자를 이용한 냉각시스템의 성능개선에 관 한 연구는 점차적으로 시스템 내의 열전달을 효과적으로 제어하고 향상시키기 위 한 연구로 그 필요성이 증대되고 있다. 또한, 효과적인 열전달을 위한 기술적 대안 과 함께 그 응용이 활발하게 이루어지고 있으며 이러한 열전달 촉진 및 성능향상 을 위한 기술적 대안의 하나로 압전소자(PZT)를 이용한 구동기를 사용하여 유동장 내에 음장을 형성하고 열전달을 향상시키기 위한 연구가 수행되어 왔다.

압전세라믹에 전기에너지를 가하여 기계적 진동이 발생하도록 하는 압전 액츄에 이터는 대칭중심을 갖지 않는 결정에 전기를 가하여 분극을 일으켰을 때 비례한 진동이 발생하는 압전역효과 현상[17]을 이용한 것이다. 이러한 압전 액츄에이터는 구동력과 전압의 제어에 의한 높은 분해능을 얻을 수 있고 구동력이 크며 주파수 응답특성이 양호한 장점[18]이 있기 때문에 구조물의 형상 및 자세 제어, 진동 제 어 및 압전 진단 등과 같은 응용분야에서 널리 사용되고 있다[19].

특히, 압전소자를 이용한 유체의 유동현상 및 냉각장치의 성능개선을 위한 연구 는, 압전소자를 이용한 마이크로 펌프의 유동특성에 관한 수치해석적 연구[20], 압 전 액츄에이터를 이용한 구 주위의 유동제어에 관한 연구[21] 등이 소개된 바 있 고, 압전소자를 이용한 슬림형 에어컨의 개발과 함께 풍량조절을 위한 액츄에이터 모듈에 압전소자를 이용한 연구[22]도 진행된 바 있다.

이 외에도 열전소자를 이용한 냉각시스템의 냉각성능을 촉진시키기 위하여 다양
 한 방법의 연구가 보고되고 있으나, 압전소자와 같은 외부의 힘에 의하여 냉각성능
 을 개선하는 방법을 이용한 연구는 미흡한 실정이다.

1.2 연구목적 및 내용

앞 절에서 언급한 바와 같이, 작동유체를 냉매로 하는 기존의 냉각시스템의 문제 점을 해결하고 이를 대체하기 위한 방법의 하나로 열전소자를 이용하여 냉각시스 템의 냉각성능 및 열전달 향상을 위한 연구가 활발하게 이루어져 왔다. 특히 열전 소자와 방열판, 냉각팬으로 구성된 열전냉각시스템의 최적화를 통한 냉각성능 극대 화를 위하여 수치해석 및 실험을 통한 연구가 다양하게 진행되어 왔으며, 각 시스 템을 구성하고 있는 각각의 장치에 대한 재료, 구조 및 용량 등의 변화를 통하여 냉각성능을 개선하고 이를 제품화하여 사용하고 있는 추세이다. 그러나, 열전소자 를 이용한 전자냉각방식에 관한 연구는 대부분이 냉각시스템 구성장치자체의 개선 을 통한 성능향상이 주를 이루고 있으며, 압전 액츄에이터 및 초음파 등을 사용하 는 외부 힘에 의한 냉각성능 개선 및 열전달 향상에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 압전소자로 구성되어 진동을 일으키는 압전 액츄에이터를 이용하여 열전냉각시스템의 열전달 특성에 어떠한 영향을 미치는지 조사해 보고자 하다.

세부적으로, 열전냉각시스템의 열전달 특성에 관한 연구는 열전소자와 방열판 그 리고 냉각팬을 이용한 열전냉각시스템을 구성하고, 각각의 인가된 전압을 열전소자 와 냉각팬에 공급하여 공기 중에서 냉각영역을 형성하도록 하여 냉각영역의 시험 부 내의 온도분포를 고찰하였다.

그리고, 동일조건하에서 시험부 내의 거리를 달리하여 시험부에서 발생하는 온도 분포를 고찰하여 최적의 조건을 도출하였고, 시험부에 120Hz, 150Hz의 인가된 주파 수를 압전 액츄에이터에 가하고 시험부에 발생하는 온도분포를 고찰하여, 압전 액 츄에이터를 구동하지 않았을 경우와 구동하였을 경우로 나누어 각각의 성능계수를 계산하였다.

또한, CCD 카메라를 이용하여 시험부 내에 압전 액츄에이터를 구동하지 않은 경 우와 구동한 경우로 나누어 각각의 냉각영역에서 발생하는 유동현상을 가시화하고 열전달 현상에 어떠한 영향을 미치는지 조사하여 냉각성능 과의 관계를 규명해 보 고자 한다.

- 4 -

2장 이론해석

2.1 열전현상 해석

일반적으로 어떤 물질의 양단에 열과 전류를 동시에 흘렸을 때 상호작용에 의해 서로 영향을 주는 현상을 열전현상이라 한다. 이러한 열전현상을 이용하여 서로 다 른 물성치를 가지고 있는 도체나 반도체의 접합부에 일정온도를 유지하면서 전류 를 흐르게 하면 Seebeck 효과, Peltier 효과 및 Thomson 효과로 정의되는 열전현상 이 나타난다. 본 연구에서는 선행연구에서 제안한 기본적인 이론식과 경계조건에 맞는 무차원 수를 도입하였으며, 열전도 과정에 있어서 다음과 같은 가정 하에 이 론해석을 실시하였다.

① 열전소자를 방열판에 정확하게 부착하기 위하여 사용된 냉각플레이트는 열전 도율이 좋은 재료를 사용하였고 두께가 얇기 때문에 열전소자로부터 전도에 의한 손실이 없다고 간주하여 열전소자의 냉각면과 냉각플레이트 사이에 발생하는 열전 도는 무시한다.

② 본 연구는 압전 액츄에이터의 구동 유·무에 따른 냉각영역의 온도변화에 중 점을 두었기 때문에 성적계수는 온도만의 함수로 계산한다.

2.1.1 Seebeck 효과

각기 다른 물성치를 갖는 도체 혹은 반도체 A와 B를 접합시키고 접합부에 일정 한 온도를 유지시켰을 때, A와 B의 양단에 일정한 기전력이 발생하는 것을 Seebeck 효과라고 하고, 이 때 발생되는 기전력 V는 접점온도의 함수로서 식 (1)과 같이 정의할 수 있다.

$$V_{AB} = \int_{T_R}^T (\alpha_A - \alpha_B) dT \mid_{I=0}$$
⁽¹⁾

여기서, I는 접점간의 전류량, T_R 은 기준온도, α 는 Seebeck 계수를 의미한다.

2.1.2 Peltier 효과

각기 다른 물성치를 갖는 도체 혹은 반도체 A와 B를 접합시키고 접합부에 전류 를 흘렸을 경우 접합부에서 열의 흡수 및 방출이 일어나게 되는 것을 Peltier 효과 라 하고 접합부에서 열의 흡수 및 방출량 Q_P 를 수식으로 표현하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다[23].

$$Q_P = I(\Pi_A - \Pi_B) \tag{2}$$

여기서, Ⅱ는 Peltier 계수를 의미한다.

2.1.3 Thomson 효과

온도구배가 존재하는 도체 또는 반도체에 전류를 흘렸을 때, 여기에는 열과 전류 가 동시에 흐르게 되면서 열과 전류는 서로에게 영향을 주게 되는데, 이러한 현상 을 Thomson 효과라고 한다. 온도구배와 전류의 양에 따른 열의 출입량 Q_T 를 수식 으로 표현하면 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다[23].

$$Q_T = I \left(T \; \frac{d\alpha}{dT} \Delta T \right) \tag{3}$$

여기서, $T(d\alpha/dT)$ 는 Thomson 계수(σ)를 의미한다.

또한, 앞에서 언급한 Thomson 계수, Seebeck 계수, Peltier 계수 간의 관계를 정리 하여 나타내면 다음과 같은 식으로 정리할 수 있다.

$$\sigma_A - \sigma_B = -T \frac{d^2 V_{AB}}{dT^2} = -T \frac{d}{dT} \left(\frac{\Pi_{AB}}{T} \right)$$
(4)

$$\Pi_{AB} = T \frac{dV_{AB}}{dT} = T \alpha_{AB} \tag{5}$$

2.1.4 p형과 n형 반도체의 계수 관계

p형 반도체와 n형 반도체를 접하였을 경우 Peltier 계수와 Seebeck 계수의 관계는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다[23].

$$\Pi_{pn} = \Pi_p + \Pi_n \tag{6}$$

$$\alpha_{pn} = |\alpha_p| + |\alpha_n| \tag{7}$$

2.2 열전소자의 성능 해석

Fig. 1에서 보는 바와 같이, p형 반도체와 n형 반도체를 조합하여 만든 열전소자 에 전류 I를 공급하면, Peltier 효과로 인해 열전소자에 전위차를 주게 되어 냉각대 상에 접한 흡열면의 온도는 감소하고 반대편에 접한 열방출면의 온도는 증가하게 된다. 이때 열은 냉각대상으로부터 흡열면으로 흐르고 발열면에서 주위로 방출되며 주어진 열전소자의 흡열면에서 흡수할 수 있는 열량은 열전효과의 기본으로부터 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_C = \alpha_S T_C I_C \tag{8}$$

- 7 -



Fig. 1 Schematic diagram of thermoelectric cooling principle

여기서, α_s는 Seebeck 계수, T_c는 열전소자 흡열면의 절대온도, I_c는 열전소자로 흐르는 전류의 세기를 의미한다. 한편 흡열면과 발열면의 온도차로 인하여 발열면 으로부터 흡열면으로 전도에 의한 열의 역류가 발생하게 되는데 이 열량은 Fourier 의 법칙을 통해 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.[24].

$$Q_F = K_C A_C \frac{\Delta T}{\delta_C} \tag{9}$$

여기서, K_C 는 열전소자의 열전도계수, A_C 는 열전소자의 단면적, ΔT 는 흡열면과 발열면의 온도차, δ_C 는 거리를 의미한다.

또한, 열전소자 내부에 흐르는 전류로 인해 Joule열이 발생하게 되는데 이 열은 양분되어 각각 발열면과 흡열면으로 흐르고, 흡열면으로 역류하는 Joule열은 식 (10)과 같이 정리할 수 있다.

$$Q_J = \frac{1}{2} I_C^2 R_C \tag{10}$$

- 8 -

여기서, R_C 는 열전소자의 저항을 나타내며, 열전소자에 의한 전열량은 식 (11)과 같다.

$$Q = Q_C - Q_J - Q_F$$

= $\alpha_S T_C I_C - \frac{1}{2} I_C^2 R_C - K_C A_C \frac{\Delta T}{\delta_C}$ (11)

여기서, Q_C 는 Peltier 효과에 의한 열량, Q_J 는 Joule열에 의하여 흡열면에 발생하는 열량, Q_F 는 전도에 의한 열의 역류에 의한 열량을 의미하고, Thomson 효과를 무시 한다면, 흡열면의 흡열량 $Q_C[W]$ 는 식 (12)와 같이 표현할 수 있다.

$$Q_C = \alpha T_C I - \frac{I^2 R}{2} - K \Delta T \tag{12}$$

또한, 고온부의 발열량 $Q_H[W]$ 는 식 (13)과 같이 표현할 수 있다.

$$Q_H = \alpha T_C I - \frac{I^2 R}{2} - K \Delta T \tag{13}$$

한편, 소자에 걸리는 전압 V[V]는 Seebeck 효과에 의한 전압과 소자의 전기저항 으로 인한 전압이 더해지기 때문에 소자에 공급되는 실제전력 P[W]는 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다[23].

$$P = IV = I(\alpha \Delta T + IR) \tag{14}$$

일반적으로, 열전소자의 성능계수 (COP, Coefficient of Performance)는 소요되는 전력에 대한 냉각능력의 비로 식 (15)와 같이 표현된다[23].

$$COP = \frac{cooling \ power}{input \ power} = \frac{Q_C}{P}$$
(15)

이를 토대로, 열전냉각시스템의 방열면이 방열판에 위치하고 흡열면이 대기 중에 위치하는 것을 고려하였을 때, 이러한 냉각시스템을 사용할 때에는 열전소자를 가 진하여 대기중으로부터 열량 Q2를 흡수하고자 하는 것이 주목적이고, 이 경우 성 능계수는 식 (16)으로 구할 수 있다[25].

$$COP = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} \tag{16}$$

결국, 앞의 가정②에서 언급한 바와 같이 본 연구의 목적에 맞게 온도만의 함수 로 성능계수 산출식을 정의하면 식 (17)과 같이 정리할 수 있다.

$$COP = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$
 (17)

여기서, T_1 은 열전소자를 가진하기 전 냉각영역의 온도, T_2 는 열전소자를 가진한 후 냉각영역의 온도를 나타낸다.

제 3 장 실험장치 구성 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치는 크게 시험부에 냉각영역을 구성하기 위하여 열 전소자(thermoelectric module), 방열판(heat sink), 냉각팬(cooling fan), 냉각플레이트 (coolng plate)로 구성된 열전냉각시스템(thermoelectric cooling system)과 냉각영역에 진동을 발생시킬 수 있는 압전 액츄에이터(piezoelectric actuator), 시험부의 온도측정 을 위하여 열전대(thermocouple)와 데이터획득장치(data acquisition unit)로 구성된 온 도측정 실험장치 그리고 CCD카메라, 광학렌즈와 image grabber를 사용하여 시험부 내의 유동을 가시화할 수 있는 유동가시화 실험장치로 나눌 수 있다.

3.1.1 열전냉각시스템

본 연구에서 중요한 실험장치 중의 하나인 열전냉각시스템은 Fig. 2에서 보는 바 와 같이, 열전소자, 열전소자 발열부의 온도제어를 위한 방열판과 냉각팬, 열전소자 를 방열판에 고정시키고 냉각부의 열전도를 향상시키기 위한 냉각플레이트, 열전소 자에서 방사된 열이 열전소자 및 시험부에 미치는 영향을 최소화하기 위한 단열재 로 구성되어 있다.

본 연구에서 사용한 열전소자는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 AceTec사의 HM6040 모델로써 전압을 인가하였을 때 발열효과와 냉각효과를 얻을 수 있도록 p형 반도 체와 n형 반도체가 접합되어 있다. 또한, 에폭시실링을 사용하여 기존의 열전소자 에서 발생하던 습기에 의한 단락문제를 근본적으로 해결하였고, 강도와 전도성 또 한 개선된 열전소자를 선정하여 사용하였으며, 본 연구에 사용된 열전소자의 기본 적인 제원은 Table 1에 정리하여 나타내었다[26]. 열전소자에 공급되는 전압은 시험부 내 측정지점의 온도가 초기 목표로 설정한 0℃이하로 떨어지지 않는 범위에서 최저 온도로 유지시키기 위하여 7V로 설정하였 고, 직류 전원공급장치를 통하여 7V의 전압을 열전소자에 공급하였다.

본 실험에 사용된 방열판은 Fig. 4에서 크기와 개략적인 형상을 보여주고 있고, 그 밖의 세부사항은 Table 2에 나타내었다. 방열판은 열전소자의 발열부에서 발생 하는 열을 방열판 전체로 분산시켜 발열부의 냉각이 더 쉽게 이루어지도록 하기 위하여 열전소자의 발열부에 장착하였다. 또한, 열전소자의 발열부로부터 흡수한 열이 다시 열전소자 및 시험부의 냉각영역으로 돌아가는 것을 방지하고 열영향을 최소화하기 위해 방열판에 단열재를 부착하였다.

냉각팬은 열전소자의 발열부로부터 방사된 열을 받은 방열판의 냉각을 돕고 일 정시간동안 열전소자의 냉각부 온도를 유지시켜 시험부내 냉각영역을 형성할 수 있도록 하기 위하여 사용하였다. Fig. 5는 냉각팬의 형상을 나타내고 있으며, 냉각 팬의 제원을 토대로 12V 전압을 공급하여 구동하였다.

또한, 열전소자를 방열판에 정확하게 고정시키고 열전도로 인한 영향을 최소화하 기 위하여 열전도율이 좋은 냉각플레이트(AS52)를 만들어 열전소자를 방열판에 완 전히 밀착시켜 고정하였다.



(a) Schematic diagram



(b) Photograph

Fig. 2 Schematic diagram and photograph of thermoelectric cooling system



Fig. 3 Schematic diagram of thermoelectric module

Specifications(HM6040)	Unit	Value
Q _{max}	W	51.4
I _{max}	А	6.0
V _{max}	V	15
ΔT_{max}	°C	70
Weight	g	23.21
Dimensions	mm³	$40 \times 40 \times 4.0$

Table 1 Performance specifications of thermoelectric module



(a) Front view (b) Right side view

Fig. 4 Dimensions of heat sink

Specifications(HSE50H)	Unit	Value
Heat Dissipation Area	\mathbb{CIII}^2	5,035
Material		Al-alloy 60series
Weight	g	940
Туре		Fin
Dimensions	mm³	$190 \times 125 \times 40$



Fig. 5 Photograph of cooling fan

3.1.2 압전 액츄에이터

본 연구에서는 열전냉각시스템의 열전달 특성과 냉각성능을 고찰하기 위하여 냉 각영역에 압전 액츄에이터를 이용하여 강제대류를 형성하도록 하였다.

실험을 위해 사용된 압전 액츄에이터는 Piezo Systems 사의 503-DQM 모델을 사용하였고, 압전 액츄에이터의 제원 및 규격은 제조사에서 제시한 값을 준용[27]하여 Table 3과 Fig. 6에 각각 나타내었다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 함수발생기(function generator)로부터 발생된 sine파형 은 증폭기(amplifier)의 신호입력(signal input) 단자로 공급되고 증폭기의 신호출력 (signal output) 단자에서 압전 소자에 120Hz와 150Hz의 주파수를 각각 일정하게 공 급하여 압전 액츄에이터를 구동시키도록 구성되어 있다.

Model : 503-DQM	Unit	Value
Weight	g	10.4
Stiffness	N/m	188
Capacitance	nF	232
Rated Voltage	$\pm V_P$	± 90
Resonant Frequency	Hz	52
Free Deflection	$\pm \mu m$	± 1,600
Blocked Force	±N	\pm 3.0

Table 3 Performance specifications of piezoelectric actuator



Fig. 6 Schematic diagram of piezoelectric actuator



Fig. 7 Experimental apparatus for temperature measurement and flow visualization

3.1.3 온도측정 실험장치

Fig. 7은 열전냉각시스템의 열전달 특성을 고찰하기 위해 냉각영역의 온도분포를 측정하기 위한 실험장치의 구성을 보여주고 있다. 온도분포측정 실험장치는 열전냉 각시스템과 압전 액츄에이터를 투명 아크릴 용기 안에 설치하여 냉각영역을 구성 하였으며, 시험부의 온도를 측정하기 위하여 5개의 열전대와 데이터획득장치 그리 고 온도측정결과를 저장할 수 있는 PC를 사용하여 온도측정 실험장치를 구성하였 다.

실험장치를 구성하기 위해 사용된 열전대는 T-type으로 -200℃~350℃까지 측정이 가능하다. 데이터 획득장치는 Yokogawa사의 DA100을 사용하였고, 냉각영역을 밀폐 공간으로 만들기 위하여 두께가 2mm인 투명한 아크릴을 사용하여 가로 × 세로 × 높이가 각각 174mm, 93mm, 28mm인 용기를 제작하였다.

3.1.4 유동가시화 실험장치

Fig. 7은 열전냉각시스템의 냉각부와 압전 액츄에이터 사이인 시험부 내에서 열 전냉각시스템과 압전 액츄에이터를 구동하였을 때 발생하는 유동현상을 관찰하고 이를 가시화하기 위한 실험장치의 개략도를 보여주고 있으며, He-Ne 레이저, 광학 렌즈, CCD카메라(Sony, Model : XC-HR300)를 이용하여 형성된 조사단면의 시험부 에서 발생하는 유동현상을 촬영함과 동시에 이미지 보드(Matrox, Model : Meteor-Ⅱ -MC/4)에 의하여 이미지를 획득하고 PC에 저장하도록 하였다.

또한, 외부로부터 공기가 유입되는 것을 차단하여 시험부 내에 유동을 안정화시 키고 유동가시화 실험을 최적화하기 위하여 온도측정 실험에서와 동일한 조건하에 서 2mm 두께의 투명아크릴을 사용하여 시험부를 밀폐시켰다.

3.2 실험방법

본 연구에서는 열전냉각시스템의 냉각부와 압전 액츄에이터를 제작된 투명아크 릴 용기 내에 설치하여 외부공기 유입을 완전히 차단시킨 후, 열전냉각시스템만 작 동하였을 경우와 열전냉각시스템을 작동하여 300초가 지난 후 압전 액츄에이터를 구동하였을 경우로 나누어 시험부 내 냉각영역에서 발생하는 온도분포를 측정하고 동일한 조건에서 유동가시화 실험을 수행하여 각각의 경우에 있어서 열전달 특성 을 비교, 분석하여 보았다.

3.2.1 온도측정 방법

열전달 프로세스의 구성은, 열전소자에 직류 전원공급장치를 통해 7V의 인가된 전압을 공급하여 열전소자의 냉각부에서 발생되는 냉기에 의해 시험부 내에 냉각 영역을 형성하였고, 일정시간 동안 냉각면의 온도가 일정하게 유지될 수 있도록 하 였다. 이 때 열전소자의 발열면에서 급속하게 발생하는 고온의 열원을 방열판을 통 하여 충분히 방출하지 못하면 열이 열전소자 내부로 전도되어 소자가 파괴될 우려 가 있어 열전소자의 발열부 온도제어를 위해 방열판과 냉각팬을 사용하였다.

온도분포 측정실험에서는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 제작된 투명아크릴 용기 내 에 열전냉각시스템의 열전소자 냉각부와 압전 액츄에이터 사이의 간격을 무차원좌 표, Z=1.0로 고정시키고, 열전소자와 압전 액츄에이터사이의 중앙부인 무차원좌표, Z=0.5지점에 5개의 T-type 열전대를 10mm (무차원좌표, X=0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, Y=0.5) 간격으로 설치하여 온도 측정 지점을 선정하였다.

먼저, 0.1 mm의 정밀도를 가진 위치제어장치를 이용하여 열전냉각시스템의 냉각 부와 압전 액츄에이터 사이의 거리를 5mm와 7mm로 각각 변화시키면서 냉각영역 에서 발생하는 온도분포를 측정하였고, 측정된 온도분포 결과를 각각 비교하고 성 적계수를 산출하여 열전냉각시스템의 최적의 상태를 도출하였다.

또한, 열전냉각시스템만 구동하였을 경우와 열전냉각시스템을 작동하고 냉각영역 에서 온도가 안정화 된 후, 함수발생기를 통해 압전 액츄에이터에 120Hz와 150Hz의 주파수를 인가하였을 경우 각각의 냉각영역에서 발생하는 온도분포를 측정하였고, 측정된 온도분포 결과를 각각 비교하고 성적계수를 산출하도록 하였다.

각각의 열전대에서 측정된 온도는 데이터 획득 장치에 의해 매 0.5초 마다 PC에 저장하도록 하였고, 모든 열전대는 온도 측정부분을 제외한 나머지 부분을 절연테 이프를 사용하여 열전대 자체를 통한 열전도 현상을 최소화 시켰다. 또한, 정확한 온도 데이터 획득을 위해 동일한 조건 하에서 3회 실험을 실시하여 얻어진 온도의 평균온도 데이터를 측정결과 값으로 사용하였다.

열전냉각시스템의 냉각부는 처음에는 급속도로 냉각되다가 점차 안정화되기 때 문에 냉각면의 온도가 일정하게 유지되는 것을 확인하기 위해 온도측정 초기 시작 부터 420초까지의 온도를 측정하였다.



(a) Front view



(b) Bottom view

Fig. 8 Schematic diagram of temperature measurement points

3.2.2 유동가시화 방법

본 연구에서 유동가시화 실험은 열전냉각시스템을 작동시킨 후 냉각영역에 압전 액츄에이터를 구동하지 않았을 경우와 인가된 주파수를 압전 액츄에이터에 공급하 여 구동시켰을 경우로 나누어 냉각영역에서의 유동현상을 가시화하였다. 열전냉각 시스템의 열전소자와 압전 액츄에이터 사이의 간격은 7mm(무차원좌표, Z=1.0)로 고 정하였고, 냉각영역의 가시화를 위한 조사단면의 위치는 Fig. 9에 나타내었다. 유동 을 안정화시키고 유동가시화 실험조건을 최적화하기 위하여, 두께가 2mm인 투명아 크릴 용기를 제작하여 용기 내부에 열전냉각시스템과 압전 액츄에이터를 설치하였 고, 시험부 내의 유동현상을 확인할 수 있도록 하기 위하여 아크릴 용기 내부에 스 모그를 투입하였으며 스모그 투입 후 용기를 밀폐상태로 만들었다.

He-Ne 레이저에서 조사된 레이저 빔은 광학렌즈를 통과하면서 시험부 내에 조사 단면을 형성하였다. 또한, 시험부에 형성된 조사단면과 수직인 방향에 CCD카메라 를 설치하고 초당 50프레임의 속도로 영상을 촬영하였으며, 획득된 영상은 이미지 보드를 통해 이미지 파일로 변환시켜 PC에 저장하였다. 그리고 저장된 이미지들은 Matrox Inspector 8.0(Matrox Electronics Systems Ltd.)를 이용하여 해석하였다.

이를 통해 획득한 냉각영역에서의 가시화 결과는 온도분포 측정결과와 비교하여 압전 액츄에이터를 구동하였을 경우에 있어서 열전냉각시스템의 열전달 특성과 성 능개선에 어떠한 영향을 미치는 지 분석해 보고 원인을 규명해 보고자 하였다.



Fig. 9 Schematic diagram of experimental apparatus for flow visualization

제 4 장 실험 결과 및 고찰

4.1 온도측정 결과

4.1.1 냉각영역의 거리에 따른 온도분포 측정

앞 절에서 언급하였던 바와 같이, 본 실험에서 온도측정 실험은 열전냉각시스템 의 열전소자와 압전 액츄에이터사이의 냉각영역의 간격을 각각 5mm와 7mm로 설 정하고 열전소자와 압전 액츄에이터 사이의 중앙부인 2.5mm와 3.5mm 지점에 5개 의 열전대를 10mm 간격으로 설치한 후, 열전냉각시스템을 작동시켰을 경우 시험부 내 냉각영역의 온도분포를 측정하였다.

Fig. 10은 열전냉각시스템과 압전 액츄에이터 사이의 거리가 5mm 일 때, 열전소 자에 7V 전압을 인가하여 작동시켰을 때부터 약 420초 동안 냉각영역에서의 온도 분포 측정결과를 나타내고 있다. Fig. 10에서 보는 바와 같이, 모든 측정지점에서 온도는 측정초기부터 약 180초 동안 급격하게 낮아졌으나, 210초부터 420초까지는 거의 일정한 온도본포를 보이면서 온도가 더 이상 떨어지지 않는 것을 확인할 수 있었다.

모든 측정지점에서 초기온도는 약 25.5℃로 측정되었고, 초기시간부터 약 420초 가 지난 후의 최종 온도분포는 5곳의 측정지점 중 열전소자의 중앙부에 위치한 X=1 지점에서 약 -0.6℃로 가장 낮게 나타났고, 양쪽 끝에 위치한 X=2인 지점에서 약 5.9℃로 가장 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

이를 토대로, 초기의 평균온도는 25.5℃, 최종 평균온도는 4.1℃로 측정되었고, 앞 절에서 제시한 식 (17)을 통해 성능계수를 계산하면 약 1.19임을 확인할 수 있었다.

Fig. 11은 열전냉각시스템과 압전 액츄에이터 사이의 거리가 7mm 일 때, 약 420 초 동안 냉각영역에서의 온도분포 측정결과를 나타내고 있다. Fig. 11에서 보는 바

와 같이, 모든 측정지점에서 온도는 측정초기부터 약 180초 동안 급격하게 낮아졌 으나, 210초부터 420초까지는 거의 일정한 온도본포를 보이면서 온도가 일정하게 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

모든 측정지점에서 초기온도는 약 25.5℃로 측정되었고, 초기시간부터 약 420초 가 지난 후의 최종 온도분포는 5곳의 측정지점 중 열전소자의 중앙부에 위치한 X=1 지점에서 약 1.6℃로 가장 낮게 나타났고, 양쪽 끝에 위치한 X=0과 X=2인 지 점에서 약 7.4℃로 가장 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

이를 토대로, 초기의 평균온도는 25.5℃, 최종 평균온도는 6.2℃로 측정되었고, 앞 절에서 제시한 식 (17)을 통해 성능계수를 계산하면 약 1.32임을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 시험부 내 측정지점의 온도가 0℃이하로 떨어지지 않는 범위에서 최저 온도로 유지시키며 최적의 냉각성능을 갖는 거리를 도출하였을 때 열전냉각 시스템과 압전 액츄에이터의 거리가 7mm이었을 경우 가장 적합한 것으로 나타났 다.



Fig. 10 Temperature distribution of cooling region at measurement distance, 5mm



Fig. 11 Temperature distribution of cooling region at measurement distance, 7mm

4.1.2 열전냉각시스템 ON, 압전 액츄에이터 120Hz

본 실험에서는 4.1.1절의 실험에서와 동일한 방법으로, 열전냉각시스템의 열전소 자와 압전 액츄에이터 사이의의 거리를 7mm로 설정하고, 냉각영역의 중앙부에 5개 의 열전대를 10mm 간격으로 설치한 후, 열전냉각시스템을 작동시키고 압전 액츄에 이터에 120Hz의 주파수를 공급하여 구동시켜 시험부 내 냉각영역에서 온도분포를 측정하였다.

Fig. 12는 열전냉각시스템과 압전 액츄에이터 사이의 거리가 7mm, 열전소자에 7V 전압을 인가하고 냉각영역에서 거의 일정한 온도분포를 나타내는 시점인 300초 후, 압전 액츄에이터에 120Hz의 주파수를 인가하여 구동하였을 경우, 온도측정 초 기부터 약 420초까지 냉각영역에서의 온도분포 측정결과를 보여주고 있다.

Fig. 12에서 보는 것처럼, 압전 액츄에이터의 구동 전까지는 4.1.1절의 실험결과와 동일한 온도분포를 보이고 있으나, 온도측정 시작부터 300초가 지난 이후 압전 액 츄에이터에 120Hz의 주파수를 인가하여 구동한 이후부터 모든 측정지점에서 온도 가 더 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

모든 측정지점에서 초기온도는 약 25.5℃로 나타났고, 420초 이후의 최종 온도분 포는 중앙부에 위치한 X=1 지점에서 약 1.5℃로 가장 낮게 측정되었고, 측정지점 중 온도가 가장 높게 나타난 X=0과 X=2 지점에서는 약 6.0℃와 6.2℃로 측정되었 다.

초기의 평균온도는 25.5℃, 최종 평균온도는 5.0℃로 측정되었고, 앞에서 언급한 식 (17)을 이용하여 성능계수를 계산하면, 성능계수는 약 1.24로 나타났다. 이를 토 대로, 압전 액츄에이터를 구동하지 않았을 경우와 120Hz의 주파수를 인가하여 구동 하였을 경우의 성능계수를 비교해 보면, 압전 액츄에이터를 구동하지 않았을 경우 의 성능계수 1.32에 비해 약 0.08정도 성능계수가 낮게 나타났고 이는 120Hz의 주 파수를 인가하여 압전 액츄에이터를 구동한 경우에 있어서 시험부 내 냉각영역의 냉각성능이 향상되었음을 확인할 수 있다.

이러한 결과로부터 압전 액츄에이터의 구동으로 인해 냉각영역 유동장에 강제대 류를 일으켜 열전소자 중앙부에서 발생된 냉기가 전 영역에 걸쳐 원활하게 순환할 수 있도록 작용하여 냉각영역의 열전달이 향상되었음을 알 수 있고, 이로 인하여 냉각영역의 냉각성능을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있다.



Fig. 12 Temperature distribution with piezoelectric actuator as 120Hz

4.1.3 열전냉각시스템 ON, 압전 액츄에이터 150Hz

본 실험에서는 앞의 4.1.2절에서의 실험과 동일한 방법과 조건에서 압전 액츄에 이터의 인가 주파수를 150Hz로 변경하여 구동한 후 온도분포를 측정하였다.

Fig. 13은 열전소자의 인가전압을 7V로 구동하고, 300초가 지난 후 냉각영역에서 의 온도가 일정하게 유지 되었을 때, 150Hz의 주파수를 인가한 압전 액츄에이터를 구동하였을 경우, 온도측정 초기부터 약 420초까지 냉각영역에서의 온도분포를 측 정한 결과를 정리하여 나타낸 것이다. Fig. 13를 분석해 보면, 압전 액츄에이터를 구동하기 전 까지는 4.1.2절의 실험 결과와 동일한 온도분포를 나타내고 있다.

모든 측정지점에서 초기온도는 약 25.5℃로 나타났고, 420초 이후의 최종 온도분 포는 중앙부에 위치한 X=1 지점에서 약 1.4℃로 가장 낮게 측정되었고, 측정지점 중 온도가 가장 높게 나타난 X=0과 X=2 지점에서는 약 5.9℃로 측정되었다.

초기의 평균온도는 25.5℃, 최종 평균온도는 4.8℃로 측정되었고, 식 (17)를 통해 성능계수를 계산하면, 결과 값은 약 1.23로 계산되었다.

그러나 압전 액츄에이터에 인가된 주파수가 120Hz일 때 보다 150Hz로 높였을 경 우, 압전 액츄에이터의 상·하 진동이 더욱 강하게 일어나게 되고 X=1인 지점에서 의 온도는 더 이상 낮아지지 않는 것을 확인하였다.

본 실험결과에서 압전 액츄에이터를 150Hz로 구동하였을 경우 120Hz로 구동하였 을 경우와 냉각성능에 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있었으며, 압전 액츄에이터 파손 및 열 발생에 따른 영향을 최소화하기 위해서는 본 연구에서 압전 액츄에이 터의 적정 인가주파수를 120Hz로 설정하는 것이 가장 효과적이라고 할 수 있다. 아 울러, 본 연구에서 수행한 온도분포 측정실험 결과를 토대로, 각각의 실험조건에서 얻은 성능계수 결과를 Table 4에 정리하여 나타냈다.



Fig. 13 Temperature distribution with piezoelectric actuator as 150Hz

Condition	Initial Temperature	Final Temperature	Coefficient of Performance
TMS-On, Distance-5mm	25.5℃	4.1 ℃	1.19
TMS-On, Distance-7mm	25.5 ℃	6.2°C	1.32
TMS-On, PZT-120Hz	25.5 ℃	5.0°C	1.24
TMS-On, PZT-150 H_Z	25.5 ℃	4.8°C	1.23

Table 4 List for comparison of performance coefficient

TMS: Thermoelectric cooling system

PZT: Piezoelectric actuator

4.2 유동 가시화 결과

본 연구에서는 열전냉각시스템을 구성하여 열전달 프로세스를 형성하고, 열전소 자에 인가된 7V의 전압을 공급하여 열전냉각시스템을 작동시켰을 때 시험부 내에 서 형성되는 유동현상을 CCD카메라를 사용하여 가시화 해 보았다. 또한, 압전 액 츄에이터만 구동하였을 경우 시험부 내에 형성되는 유동현상을 관찰해 보기 위해 온도측정 실험결과에서 열전냉각시스템과 압전 액츄에이터의 거리는 7mm, 압전 액 츄에이터에 인가된 전압 중 최적의 주파수로 확인한 120Hz의 주파수를 공급하고 유동현상을 가시화 해 보았다. 그리고, 열전냉각시스템을 작동시킨 후 압전 액츄에 이터를 구동하였을 경우 시험부 내 냉각성능 개선에 어떠한 영향을 미치는지 확인 해 보기 위해, 열전냉각시스템을 작동하고 냉각영역의 온도가 일정하게 유지되는 시점인 300초 이후부터 압전 액츄에이터에 120Hz의 인가된 전압을 공급하여 시험 부 내에 유동현상을 가시화하여 보았다.

4.2.1 열전냉각시스템 ON, 압전 액츄에이터 OFF

본 실험에서는 압전 액츄에이터를 구동시켰을 때 시험부 내 냉각영역에 어떠한 영향을 미치는지 비교해 보기 위해, 먼저 열전냉각시스템만을 작동시켰을 경우에 있어서 시험부 내 냉각영역에 어떠한 유동현상이 발생되는지 조사해 보고자 하였 다.

Fig. 14는 열전냉각시스템 작동을 시작한 시점부터 시험부 내 유동현상이 일정하 게 형성될 때까지의 과정을 각각 CCD카메라를 이용하여 촬영한 결과를 나타낸 것 이다. Fig. 21에서 보는 바와 같이, 유동가시화 결과는 열전냉각시스템을 작동하였 을 경우 열전소자의 냉각면에서 발생되는 냉기가 냉각영역의 중앙부에서 양쪽 측 면부로 퍼져나가기 시작하여 시간이 지남에 따라 점차 측면부로 퍼져나간 냉기는 냉각영역 외부의 공기와 접촉하면서 와류현상을 일으키게 된다. 이때 발생된 와류 현상으로 인해 냉각영역 외부의 공기는 점차적으로 냉각영역의 중앙부로 밀려들어 오게 되고 이로 인하여 냉각영역의 냉각성능은 점차 저하되고 결국 냉각영역의 중 앙부와 측면부에서 온도차가 발생하는 것을 가시화 결과를 통해 확인할 수 있다.



Fig. 14 Visualization of flow phenomena in test section, only thermoelectric cooling system

4.2.2 열전냉각시스템 OFF, 압전 액츄에이터 ON

본 실험에서는 열전냉각시스템을 작동시키지 않고 압전 액츄에이터만을 구동시 켰을 때 압전 액츄에이터에서 발생되는 강한 상·하 진동이 시험부 내에 어떠한 유동현상을 일으키는지 가시적으로 확인해 보고자 하였다.

Fig. 15는 압전 액츄에이터가 구동하였을 때 상·하 진동에 의해 시험부 내에 어 떠한 유동을 형성하는지 확인해 보기 위해, 압전 액츄에이터 표면에 미세 분말입자 를 고루 도포한 후 압전 액츄에이터를 구동시키고 CCD카메라를 이용하여 촬영한 영상을 이미지로 각각 나타낸 것이다. Fig. 15에서 보는 바와 같이, 압전 액츄에이 터를 구동시키게 되면 압전 액츄에이터의 중앙부에서 강한 상·하 진동이 발생하 는 것을 확인할 수 있었으며 측면부로 갈수록 점차 진동이 약해지는 것을 확인할 수 있었다.



Fig. 15 Visualization of flow motion in test section, only piezoelectric actuator

4.2.3 열전냉각시스템 ON, 압전 액츄에이터 ON

본 실험에서는 열전냉각시스템을 작동시켰을 때 형성되는 냉각영역에 압전 액츄 에이터를 구동시켰을 때 시험부 내에 어떠한 영향을 미치는지 확인해 보기 위해, 온도측정 실험결과를 토대로 열전냉각시스템을 작동시킨 후 약 300초가 지난 시점 즉, 냉각영역에서의 온도분포가 거의 일정하게 유지되기 시작하는 시점에서 압전 액츄에이터를 120Hz의 주파수로 구동하였을 때 시험부 내 냉각영역에 발생되는 유 동현상을 확인해 보고자 하였다.

Fig. 16은 열전냉각시스템을 작동시키고 약 300초가 되었을 때 시험부 내의 유동 현상을 촬영한 이미지와 300초가 지난 시점에서 압전 액츄에이터를 구동시키고 난 후의 과정을 각각 촬영하고 그 결과를 나타낸 것이다.

Fig. 16의 결과와 앞 절 4.2.1과 4.2.2절의 결과를 종합하여 비교, 분석해 보면, 열 전냉각시스템만을 작동하였을 경우에 있어서는 냉각영역 측면부에서 발생된 와류 현상에 의해 외부의 공기가 냉각영역 내부로 들어오면서 냉각영역의 냉각성능이 저하된다. 그러나, 이 때 압전 액츄에이터를 구동함으로 인해 강한 상·하 진동이 발생되고 냉각영역 내에 강제대류를 일으키게 함으로써 냉각영역 내부로 유입되는 외부의 공기를 밀어냄과 동시에 열전소자의 냉각부에서 발생하는 냉기를 냉각영역 전체에 고루 분포시킴으로써 시험부 내 열전달이 향상되며 냉각영역의 냉각성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 16 Visualization of flow phenomena in test section, with thermoelectric cooling system and piezoelectric actuator

제 5 장 결 론

본 연구에서는 압전 액츄에이터를 이용하였을 경우 열전냉각시스템 냉각영역의 열전달 특성과 냉각성능에 어떠한 영향을 미치는지 고찰해 보았다. 이를 위해, 열 전냉각시스템과 압전 액츄에이터를 투명아크릴 용기 내에 설치하고, 열전소자의 냉 각부와 압전 액츄에이터 사이인 냉각영역에 시험부를 구성하여 열전냉각시스템과 압전 액츄에이터의 거리를 달리하여 온도측정 실험을 실시하였다. 또한, 열전냉각 시스템을 작동시키고 압전 액츄에이터를 구동하지 않았을 경우와 120Hz와 150Hz의 인가된 주파수를 각각 공급하여 압전 액츄에이터를 구동한 경우로 나누어 시험부 내 냉각영역에서 온도측정 실험과 유동가시화 실험을 실시하였으며, 그 결과를 요 약하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

 열전냉각시스템과 압전 액츄에이터의 거리를 달리하였을 경우의 온도분포 측정 실험 결과에서는 측정거리가 5mm의 경우가 7mm의 경우보다 성능계수는 낮았으나, 0℃이하로 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 0℃이하로 떨어지지 않는 범위에서 최 저 온도로 유지시키며 최적의 냉각성능을 갖는 거리를 도출하였을 때 열전냉각시 스템과 압전 액츄에이터의 거리가 7mm이었을 경우 가장 적합한 것으로 나타났다.

2. 열전냉각시스템만을 작동시켰을 경우 성능계수는 약 1.32정도로 나타났고, 열전 냉각시스템을 작동시키고 약 300초가 지난 후 120Hz와 150Hz의 주파수를 각각 압 전 액츄에이터에 공급하여 구동시켰을 경우 각각의 성능계수는 약 1.24와 1.23으로 전체적으로 압전 액츄에이터를 구동시켰을 때 열전냉각시스템의 냉각영역의 냉각 성능이 향상됨을 알 수 있었다. 3. 그러나 120Hz의 경우와 150Hz의 경우의 성능계수를 비교하였을 때, 두 결과 큰 차이가 없었으며, 강한 상·하 진동에 의한 운동에너지의 증가와 함께 발생된 열이 냉각영역의 온도를 높일 수 있을 뿐만 아니라, 압전 액츄에이터에 무리한 진동이 가해져 파손의 우려가 있기에 본 연구에서는 냉각영역의 열전달과 냉각성능 향상을 위한 압전 액츄에이터의 주파수로 120Hz가 가장 적합하다고 할 수 있다.

4. 유동가시화 결과에서는 열전냉각시스템의 냉각영역에 압전 액츄에이터를 구동함 으로써 강한 상·하 진동에 의해 냉각영역 내에 강제대류가 형성되고 냉각영역 내 부로 유입되는 외부의 공기를 밀어냄과 동시에 열전소자의 냉각부에서 발생하는 냉기를 냉각영역 전체에 고루 분포시켜 시험부 내 냉각영역의 열전달을 향상시켰 으며, 이는 냉각영역의 냉각성능이 향상되는 것을 가시적으로 확인할 수 있었다.

참고문 헌

1. J.E. Lee, H.S. Park, K. Kim and D. Kim, "An Experimental Study on the Effects of the Cooling Jacket Design Parameters on the Performance of Thermoelectric Cooling System", Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers, Spring, pp. 1420-1425, 2007.

2. W.S. Jeon, D.Y. Pang, K.H. Choi, T.K. Kwon, N.G. Kim and S.C. Lee, "Temperature Control of the Aluminum Plate using Peltier Element", Proceedings of Korean Society for Precision Engineering, Summer, pp. 976-981, 2006.

3. S.T. Ro and J.S. Seo, "Principles of Thermoelectric Refrigeration and System Design", Korean Journal of Refrigeration and Air Conditioning, Vol. 19, No. 3, pp. 135-145, 1990

4. K.S. Park, Y.J. Song, H.J. Im, S.Y. Jang, K.S. Lee, J. Jeong and D.H. Shin, " A study on a precision temperature control unit using thermoelectric module", Transaction of the KSME, pp. 1049-1053, 2007

5. K.S. Park, Y.J. Song, H.J. Im, S.Y. Jang, K.S. Lee, J. Jeong, and D.H. Shin, "A Study on a precision temperature control for nanoimprint equipment", Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers, Autumn, pp. 18-23, 2007. 6. S.Y. Yoo, C.P. Hong and S.W. Shim, "A Study on Performance of Thermoelectric Module and Thermoelectric Cooling System", Korean Journal of Refrigeration and Air Conditioning, Vol. 16, No. 1, pp. 62-69, 2004.

7. M.J. Lee, S.U. Gong and J.S. Kim, "A Study on the Performance of Home Clothes Dryer using Thermoelectric Module", Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers, Autumn, pp. 1414-1419, 2007.

8. T.B. Yoon, N.J. Kim, J.Y. Lee and C.B. Kim, "Development of a Waterless Container Utilizing Thermoelectric Modules for Live Fish Transportation", Korean Journal of Refrigeration and Air Conditioning, Vol. 12, No. 5, pp. 519-524, 2000.

9. H.S. Choi, Y.S. Kim, J.Y. Lee, C.H. Jeon and S.K. Yun, "Hot and Cool Temperature Control of The Car-Seat Utilizing the Thermoelectric Device", Korean Journal of the Korea Society of Mechanical Engineers, Vol. 28, No. 5, pp. 518-525, 2004.

10. J.H. Lee, I.G. Choi, M.G. Kang, B.S. Kim, I.J. Jeong and E.J. Park, "The chilly wind vest production which uses the Thermoelectric element", Proceedings of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 28, No. 5, pp. 403-404, 2008.

11. K.S. Park, Y.J. Song, H.J. Im, S.Y. Jang, K.S. Lee, J. Jeong and D.H. Shin, "A study on a precision temperature control unit using thermoelectric module", Proceedings of the Korean Society of Mechanical Engineers, Spring, pp. 1049-1053, 2007. 12. N.F. Guler and R. Ahiska, "Design and testing of a microprocessor-controlled portable thermoelectric medical cooling kit", Applied Thermal Engineering, Vol. 22, pp. 1271-1276, 2002

13. J.H. Jin, J.R. Cho and M.G. Kim, "Study on the performance of showcase refrigerating chamber using thermoelectric module", Proceedings of the SAREK 2002 Winter Annual Conference, pp. 35-40, 2002

14. J.M. Kim, M.G. Kim and H.S. Chung, "Analysis of the thermal performance of cosmetics cooler by thermoelectric cooling", Transaction of the Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 146-151, 2006

15. E.H. Cheang, J.M. Lim, C.J. Moon, K.O. Jung and G.U. Kim, "Thermoelement cooling special quality analysis for DMFC high effectiveness electric power occurrence", Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Spring, pp. 389-392, 2007.

16. B.H. Kang, H.J. Chang, S.Y. Kim and S. Kim, "Cooling Characteristics at Hot Side of the Thermoelectric Module fir an Air Conditioner", Korean Journal of Refrigeration and Air Conditioning, Vol. 14, No. 3, pp. 214-220, 2002.

17. H.K. Kim, Y.H. Kim, B.I. Kim, C.S. Oh, W.K. Park, Y.S. Jeong, S.J. Kim, Y.R. Shin and W.C. Son, "The Development of the Piezoelectric Igniter", Report of Korea Advanced Institute of Science and Technology, 1986.

18. H.S. Kim, B.R. Lee and K.Y. Park, "Precision Position Control of a Piezoelectric Actuator using Neural Network", Journal of Korean Society for Precision Engineering, Vol. 16, No. 11, pp. 9-15, 1999.

19. S.H. Lee, S. Heo, C.W. Kim and K.J. Yoon, "Analysis of Piezoelectric Actuator for Valveless Micropumps", Proceedings of the 60th anniversary of the Korean Society of Mechanical Engineers, Spring, pp. 1581-1586, 2005.

20. J. Jeong, D.H. Kim and C.N. Kim, "A Numerical Study on the Floe Characteristics for a Micropump using Piezoelectric material", Proceedings of the SAREK 2004 Winter Annual Conference, pp. 69, 2004.

21. J. Choi, W.P. Jeon and H.C. Choi, "Control of Flow around and Airfoil Using Piezo-ceramic Actuators", Proceeding of the KSME 2000 spring Annual Meeting, pp. 491-496, 2000

22. H.D. Yang, "A Study on Charateristics of Heat Transfer in a Fluid by Piezoelectric Vibration", Ph.D. Thesis, Chosun University, 2008.

23. S.T. Ro and J.S. Seo, "Principles of Thermoelectric Refrigeration and System Design", Korean Journal of Refrigeration and Air Conditioning, Vol. 19, No. 3, pp. 135-145, 1990

24. H.J. Lee, H.S. Park, and C.J. Kim, "Numerical Analysis on the Cooling of Laser Diode Package with Thermoelectric Cooler", Transaction of the KSME(B), pp. 309-315, 1999

25. Sonntag, Borgnakke and Van Wylen, "Fundamentals of Thermodynamics", 6th Edition, WILEY, USA, pp. 7-8, pp. 214-220, 2003

26. "THERMOELECTRIC MODULE CATALOG", ACETEC Co., Ltd, Deagu, Korea, 2004

27. "PRODUCT CATALOG", PIEZO SYSTEMS, Inc, USA, pp. 42-46, 2007