

열전반도체를 이용한 냉장고의 개발

The Development of Refrigerator Using the Thermoelectric semiconductor

정용호*, 이우선**, 서용진***, 김상용****

Yong-ho Chung*, Woo-Sun Lee**, Young-Jin Seo***, Sang-Yong Kim****

Abstract

The thermoelectric refrigeration technologies have no moving parts, compressor, or piping required. In this study, the basic capacity of thermoelectric devices and development on some thermoelectric refrigerator were reviewed and basic technical concepts related with many kinds of thermoelectric materials were discussed. Especially the result of performance test on thermoelectric refrigerator whose minimum temperature of -2°C was introduced briefly.

Key Words : Thermoelectric refrigeration, Peltier effect, Bi_2Te_3

1. 서론

열전 냉각이란 종래의 압축기식 냉각처럼 복잡한 에너지 교환을 거칠 필요 없이 반도체의 전자와 정공의 이동에 의해 열을 전기로 전기를 열로 직접 변환시키는 기술로서 금속이나 반도체 또는 고체 전해질과 같은 열전 재료 양단에 전류나 온도차가 주어졌을 때 셀 양단에는 기전력이 발생하거나 Joule 열 이외의 발열, 흡열현상이 일어난다. 이런 특성은 학문적으로 매우 고전이론에 속하며 이미 오래 전부터 많은 연구가 이루어진 분야이다.¹⁾ 그러나 이에 비해 실용화 기술 발전속도는 매우 늦어 고가의 전기 전자 기기나 의료기기의 국부 냉각소자와 같은 특수용도 이외에는 아직도 기술 개발이 진행중인 미개척 분야이다.²⁾ 따라서 열전 현상에 관련된 응용기술은 대부분 개념 설정 단계에 있으므로 일부 상용화된 제품의 경우라도 기술에 관련된 기본 개념에 대해서는 매우 소홀히 하는 경향이 있다. 1822년에 제벡(Seebeck)은 종류가 다른 두 줄기의 도체의 끝을 서로 이어서 하나의 폐회로를 만들었다. 이 회로에 이은 두 접점 사이의 온도가 다르면 전류가 흐르게

되는데 이를 제벡효과라 한다. 열전현상은 제벡 효과 및 펠티어 효과(1834년)에 의해 그 기초가 성립되었다. 그러나 1855년 톰슨(Thomson)은 고체 물질의 열역학에 관한 연구로 열전기에 관한 이론적 기초를 확립하였고 1855년 레일리(Rayleigh)는 발전 효율의 기준을 세웠으며 1907-1910년 아텐키르흐(Altenkirch)가 열전 현상에 의한 발전 및 냉각에 관한 실용적인 이론을 정립하였으며 1954년 G·E사의 골드스미스(Goldsmid)에 의해 냉각용 열전 재료로 Bi_2Te_3 가 발표한 이래 지금까지 상기의 연구가 주류를 이루고 있다.³⁾ 이 열전 현상을 응용하여 만든 제품에는 G·E사의 냉장고를 비롯하여 Marlow사의 Tec소자들 그리고 우리나라 기업체로 Thermotek의 소형냉장고 그리고 청호 나이스 냉정수기 등이 있다.^{4) 5)} 하지만 우리나라의 경우 TEC 소자를 자체 생산하지는 못하는 형편이며 그리고 생산된 제품들이 고가임에도 실용성이 떨어지는 형편이다. 그래서 좀 더 나은 성능의 시스템을 만들고 소음과 환경오염이 없는 냉장고를 제작할 필요가 있다.

2. 실험방법 및 이론

한 개의 n형 반도체로 된 막대의 한쪽 끝을 가열한다면, 막대에는 온도 구배가 생겨서 가열되지 않은 저온 쪽에는 전도전자가 모여든다. 한편 고온 쪽에서는 전도 전자가 저온 쪽으로 옮겨가고 (+)전하

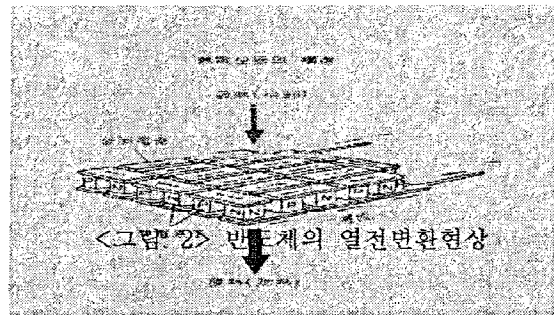
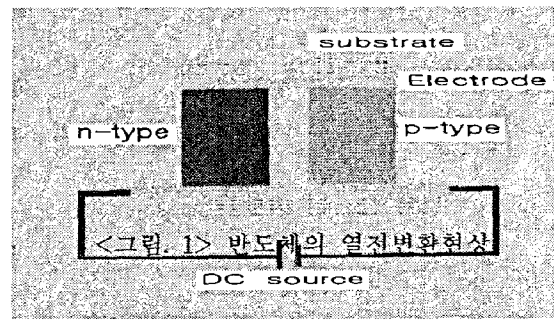
* 서강정보대학교 컴퓨터설계과
(광주광역시 운암동 서강정보대학교,
Fax: 062-520-5148
E-mail : yonghochung@hanmail.net)
** 조선대학교 전기공학과
*** 대불대학교
**** 아남반도체

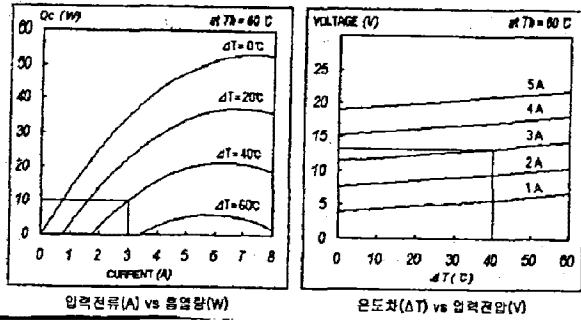
만 남게 된다. 이리하여 n형 반도체 막대의 양끝 사이에 전위 차가 생겨서 부하 저항에 전류가 흐른다. 이와 같은 현상을 반도체의 제백 효과라 부르며 이것이 열전 변환의 원리가 된다. 실제로 실용화되고 있는 반도체 열전 소자는 n형 반도체와 p형 반도체를 두 팔로 가진 열전대 형태이다. 이때 발생된 전압을 열기전력이라 하며 외부에 부하 (R)를 걸어주면 전류(I)가 흘러 전력이 발생하게 된다.

$$\alpha_{ab} = \frac{dV_{ab}}{dT} = \frac{dV_b}{dT} - \frac{dV_a}{dT} = \alpha_b - \alpha_a$$

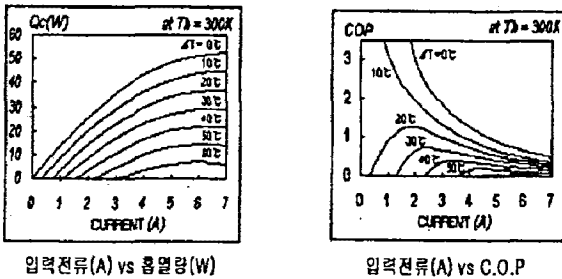
여기서 α_a, α_b 를 각각 a, b의 고유 기전력이라 하며 재료의 종류에 따라 고유한 열전능을 갖는다. 이 값은 열전셀의 성능지수를 지배하는 중요한 인자가 되며 이 값이 클수록 우수한 열전재료라 할 수 있다. 열전 소자는 분말 상태의 재료를 압축하여 굽거나 용액을 굳혀서 만든다. 물론 순도가 그다지 높지 못한 다결정 재료보다 단결정 재료가 좋지만 경제적인 입장에서 보면 압축 소결 시키는 분말 야금법이 좋다. 발전용 열전소자는 전력을 얻는데 목적이 있으므로 특히 효율이 문제된다. 진술한 소자의 대부분은 온도 1℃당의 기전력이 비교적 크다. 그림 1은 반도체의 세부적인 열전변환현상을 나타낸 것이다. n형, p형의 두 가지 반도체를 번갈아 이어주었다면 n-p의 부분은 냉각되고, p-n의 부분은 뜨거워진다. 그러므로 n-p가 되는 부분을 한쪽 면에 가지런히 하고, p-n부분을 반대쪽에 가지런히 모아서 p-n의 부분, 즉 뜨거워지는 쪽을 물이나 바람으로 열을 빼내면 냉각이 되는 것이다. p에서 흡수되는 열은 흐르는 전류에 비례하기 때문에 전류를 크게 하면 할수록 온도가 더욱 내려갈 것 같지만 실제로는 전류에 의하여 생긴 주울 열과 고온 측에서 전도하여 오는 열 때문에 그렇지 못하고, 어떤 일정한 전류의 값에서 최대 냉각이 된다. 바꾸어 말하면 냉각에는 한도가 있는데 최대냉각에 해당하는 최대온도차는 재료에 따라 정해지는 성능지수 Z에 비례하고 저온 측 온도의 제곱에 비례한다. 그러기 때문에 요구하는 냉각도 대단히 낮으면 한 단계의 냉각으로서는 되지 않기 때문에 냉각을 몇 번이고 되풀이하게 냉각용 소자대를 2단, 3단 등 다단체를 쌓아 올린다. 다단식으로 하면 온도 강하도 커지고 효율도 높아진다. 전자 냉동에 쓸 수 있는 재료에 필요한 특성은 첫째로 좋은 냉각효과를 얻기 위하여 펠티에 효과가 커야하는데 이것은 두 가지 도체의 성질과 온도에 의하여 정해진다. 바꾸어 말하면 짝짓는 두 도체의 열전능의 차가 클수록 좋다. 둘째로 고온 쪽에서 저온 쪽으로 옮겨가는 열을 될수록 작게 하자면 재료의 열전도도가 작아야 한다. 셋째로 전류의 열 작용으로 생기는 주울 열을 될수록 작게 하기 위하여 전기 전도도가 좋아야 한다. 전력 소비면에서 따져보면 $Z = 3 \times 10^3$ 되는 전자 냉열 소자로 물의 온도를 10℃ 올리는데 드는 전력은 보통 히터의 1/3 정도

밖에 안 된다. 또 전자 냉동의 경우에도 $Z = 3 \times 10^3$ 되는 반도체 소자로 10℃ 낮추는데 드는 전력은 보통 전기냉동기의 1/4정도이다. 이와 같은 여러 가지 기능과 특징으로 보아 가정용 냉장고, 항온조, 공기조화기, 혈액 보존기, 트랜지스터의 냉각, CPU 냉각기 등등 상당히 용도가 넓다. 써모모듈 (Thermoelectric module) n, p type 열전 반도체를 전기적으로는 직렬로 열적으로는 병렬로 되도록 π 형으로 연결한 형태로 사용된다. DC전류를 흘렸을 때는 열전 효과에 의해서 모듈의 양단에 온도차가 발생하고 또, 동시에 발전현상이 일어나게 된다. 일반적으로 써모 냉각효과를 이용하는 고체식 히트펌프(Solid state heat pump)를 말한다. 그림 3은 기본적인 입력과 흡열량, 온도차를 나타낸 것이다. 아래의 그래프에서 공급 전류가 3A이고 $Q_c = 10(w)$, 12.5V 공급 시 $\Delta T = 40^\circ C$ 적정전류는 3A 이다. 그림 4는 본 논문에서 사용된 TK06127의 성능을 나타낸 그림이다. 그래프에서는 $\Delta T = 60^\circ C$ 이고 공급 전류가 3A 일 때 C.O.P(성능계수)가 가장 높게 된다.⁽⁵⁾





<그림. 3> 기본적인 입력과 흡열량, 온도차



<그림. 4> TK06127의 성능

3. 실험결과 및 검토

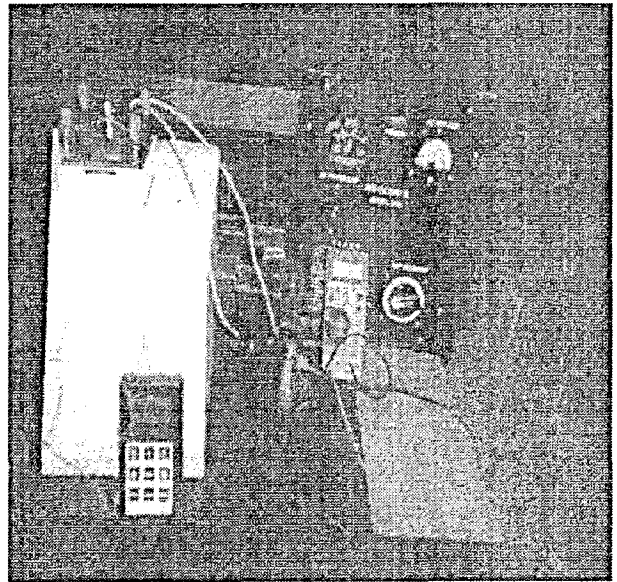
3-1 방열판 및 Fan 유무에 따른 효과

그림 5는 냉각소자의 성능 테스트 실험장치를 나타낸 사진이다. 방열판이 없는 상태의 열전소자의 냉각성능은 열전소자에 전류를 1A 이상 공급하게 되면 소자는 방열 부족현상이 일어나 흡열 쪽에서도 열이 발생하게 되어 전체적으로 뜨거워지므로 내부의 냉각효과는 미흡하였다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 알루미늄 방열판을 부착하였다. 알루미늄 방열판은 사출성형제품과 알루미늄 핀 접착식이 있는데 사출성형 알루미늄 방열판은 주로 간단한 모양과 저효율의 열 발산에 필요한 단순구조에 널리 쓰이며, 핀접착식은 일정한 넓이의 얇은 알루미늄판을 적정 길이 및 높이로 절단하여 알루미늄 모재의 가공을 통해 얻어진 접착부위에 심은 구조이다. 가격은 사출성형 제품보다는 조금 비싸지만 방열효과는 매우 우수하다. 저가의 사출성형의 알루미늄 방열판을 사용하였을 경우 소자의 흡열 쪽 온도가 2°C 감소하였다. 방열판 (Heat sink)의 방열 성능을 향상시키기 위해 사출성형의 알루미늄 방열판의 핀의 수 및 재질을 동으로 변경하여 부착해 보았지만 방열효과는 미약했다. 그러나 알루미늄 핀 접착식 방열판을 사용하였을 때는 약 13.2°C로 저감되었다. 따라서 열전소자의 방열판으로는 사출성형 방열판 보다도 핀접

착식 방열판이 매우 효과적임을 알 수 있었다. 핀접착식 방열판에 Fan을 부착하여 Heat sink에 강제대류를 시킨 결과 대류방식에 비해 방열핀 표면온도가 2°C 이상 강하되었다.

3-2 케이스 제작

위의 실험에서 방열판, Thermal grease, Fan의 사용에도 불구하고 소자의 Cold side의 표면온도가 9.2°C, 순간최저 온도가 8.6°C로 나타났다. 이는 외기 온도에 의해 열전달 현상이 크기 때문이라 판단되어 단열케이스를 제작하였다.



<그림. 5> 냉각소자의 성능 테스트 실험장치

단열케이스는 열전냉각 시스템을 부착한 부분을 제외한 전면 (5면)은 50mm두께의 스티로폼으로 단열 하였다. 본 연구에서 케이스의 시제작 제품은 두께 4mm의 아크릴로 하였으나 향후 상품화하기 위해서는 전열성이 우수한 ABS압축수지나 스텐레스판을 사용하여야 할 것으로 판단된다. 표 1은 열전소자를 부착하였을 경우 냉장체적과 내부온도와의 관계를 나타내었다. 이를 살펴보면 냉장체적이 내부온도에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 냉장고의 내부 적정온도는 온도 30°C, 80% 습도의 항온 항습실에서 시험하여 2시간 이내에 냉장실 온도는 4°C가 되어야 한다는 것이 KS규격으로 되어 있다.

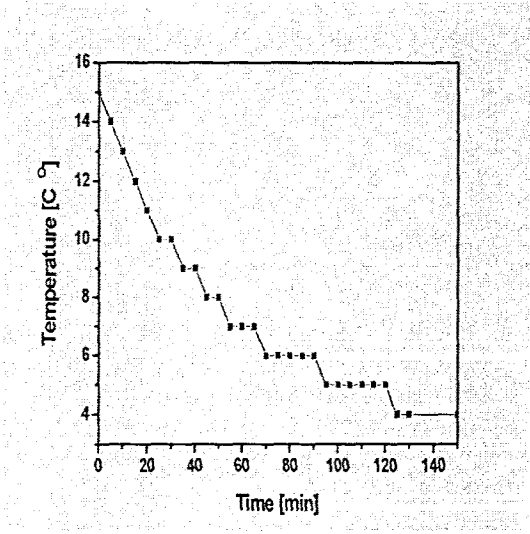
<Table 1> The relationship between inner temperature and cooling volume

Time Size	300×300×400 (mm)	220×200×200 (mm)	150×200×200 (mm)
Start Temp.	28.7℃	19.4℃	22.2℃
10분	27.8℃	17.4℃	14.7℃
20분	27.2℃	15.1℃	11.5℃
30분	26.4℃	12.4℃	9.3℃
40분	25.7℃	9.8℃	8.5℃
50분	26.1℃	9℃	7℃
60분	26.1℃	8.3℃	6.5℃
70분	26.1℃	8.3℃	5.4℃

계나 열전달 소재의 선택이 좌우함을 알 수 있었다. 열전 소자를 이용하여 냉장고를 제작하면 증기 압축식 냉장고와 비교하여 다음과 같은 장점이 있다.

- ① 소형화 및 국소 부위 냉각이 가능하다.
- ② 단순 극 전환 스위치로 냉각과 발열이 가능하다.
- ③ 저소음으로 고장이 없으며 무중력 상태에서도 작동 가능하다.
- ④ 프레온 계 냉매를 사용하지 않아 환경오염이 없다.

그러나 열전 소자를 이용한 소형 냉장고의 경우 처음 설계 목적대로 생산원가를 줄이는 경제적 측면과 휴대용으로 개발 시 전원공급 문제 등 기술적인 문제에 대해서는 아직 연구가 더 필요하다고 본다.



<그림. 6> 시간과 냉각속도의 관계

표 1과 그림 6을 KS 규격과 비교해 보면 100분이 지난 후에도 내부 온도가 5℃이며 4℃가 되려면 120분이 소요되었다. 따라서 KS 규격을 만족시키기에는 내부 온도가 다소 높아 미흡하였는데 이는 아크릴 케이스와 단열재 틈 사이에서 단열효과가 부족하기 때문이라 생각되며, 향후 단열성이 우수한 ABS 압축수지나 스텐레스 판으로 양산된다면 이러한 문제점은 해결되리라 예상된다.

4. 결론

열전 현상 즉 n, p type 반도체를 이용하여 전기를 열로 바꾸는 시스템을 구상하였으며 그 시스템을 이용하여 소형 냉장고를 개발하였다. 개발 시 중요한 것은 방열핀의 형상, 냉각팬 등의 Tuning, 단열

참고 문헌

- [1]. Melcor Corporation, Thermoelectric Handbook, Sept, 1995.
- [2]. 조 선기, "BiTe 열전냉각소자의 특성", 연세대학교 석사학위논문, pp3-5, 1977.
- [3]. 박 주석, 이 기우, 양 윤섭, 박 교식, "열전 변환 현상을 이용한 에너지 절약기술", Energy R&D Vol. 16 No. 4, PP. 122-130, 1994.
- [4]. 이 상국, "전자냉각기술의 현황과 응용" KIET, 38호, 1990.
- [5]. www.marlow.com.