

열전소자의 냉온컵홀더 응용기술

소 대 화*

Thermoelectric Peltier Module Applications of Cold/Hot Cup-holder

Soh, Dea-Wha*

요 약: 펠티어-열전소자를 응용한 냉온컵홀더를 구성하는 응용기술을 제안하였다. 열전소자의 용량에 제한을 받기 때문에 가열 또는 냉각을 위해서는 충분한 용량을 뒷받침 해 줘야 한다. 따라서 컵홀더와 같은 휴대 필요성이 요구되거나 휴대 가능한 소형기기의 경우에는 온열 또는 냉각 상태를 유지시키는 보존기능을 갖는 온열기기로써의 적합성을 확인하였다.

키워드 : 열전소자, 냉온컵홀더, 펠티어모듈, 지백효과, 톰슨효과

1. 서 론

독일의 Seebeck(1821년)은 Cu와 Bi 또는 Bi와 Sb의 양쪽 끝을 연결하고 접합부의 한쪽을 가열한 결과 회로의 자침 방향이 바뀌는 특이한 현상을 발견 하였다.

Seebeck은 이 결과를 Oersted 및 Biot와 Savart의 연구 결과를 바탕으로 온도차에 의해 도체가 자기적으로 분극 된 결과로 해석하였고, 이 현상은 온도차에 의해 전압 즉, 열기전력이 발생하여 폐회로에 전류가 흐르는 것으로서 열전발전의 원리인 Seebeck 효과로 불린다. 이후, 1843년 프랑스의 Peltier는 동일형상의 서로 다른 금속회로에 전류를 흘려 한쪽 접합부는 흡열, 다른 접합부는 발열이 일어나며, 전류를 바꾸면 흡열과 발열 현상도 서로 바뀌는 것을 발견하였다. 이전까지는 Joule 법칙에 의한 발열만 일어나는 것으로 알았으나, 전혀 기대하지 못했던 현상으로 일종의 heat pumping의 전자냉각 원리로써, Peltier 효과로 구분된다.

또한, 1851년 영국의 Thomson은 Seebeck 효과와 Peltier 효과의 가역성을 열역학적으로 이론

화하던 중 온도기울기가 있는 도체에 전류를 흘리면 열역학 제2법칙에 의해 도체내부에서 열이 흡수되거나 발생하는 효과가 있을 수 있음을 예측하였는데, 이 현상을 Thomson 효과라 하며, 그 후 실험적으로 증명되어 Seebeck, Peltier 및 Thomson 효과를 묶어 열전현상이라고 하며, 이를 응용한 신기술 아이디어신상품 응용기술이 다양하게 개발되고 있다.

2. 열전소자 응용기술

Thermoelectric module과 응용기술은 Peltier 효과(프랑스, 1843)의 heat pumping 원리적용의 전자냉각/발열장치 응용기술로서 전류 방향의 전환 즉, 전류스위칭에 의한 냉/온 교차보존 기술을 적용한 응용기술이다.

금속간의 이종접합에 흐르는 전류방향에 따라 냉/온 접점 사이의 heat pumping 기술은 가정/영업장/이동차량용, 캔/컵용, 식/음료용기용, 싱글/멀티용 등 다양한 상품성의 idea 기술에 적용할 수 있으며, 식음료용기용 냉온받침판(plate)의 경우 음식의 고유한 맛 유지를 위하여 적절히

* 명지대학교 교수

차거나 뜨거운 온도상태 유지를 위한 보온 판(쟁반 또는 이와 유사한 목적의 용기받침판/홀더) 등의 냉온소자응용제품 제작기술을 포함하는 기술내용의 열전소자로 구성된 냉/온열소자 모듈을 구성하여 응용하는 기술이다.

Peltier 효과로 잘 알려진 열전소자(냉온소자)는 소 용량의 열 펌핑에 적합한 소자로서, 과거에는 인공위성을 비롯한 특수 정밀기기의 국부적 냉각소자로 주로 사용되었다. 그러나 최근에는 대상 물질의 냉각 또는 가열 목적으로 장치의 편리성을 부각시켜 특수목적 이외에도 일반 생활용품으로 다양하게 개발되어 사용되는 사례가 현저히 증가하고 있다.

Peltier 소자는 서로 다른 이종의 금속접합을 통하여 전류가 흐를 때 접합부에 흐르는 전류의 방향에 따라서 발열, 흡열 현상이 발생하는 소자로서, 한쪽이 발열하면 다른 한쪽은 열을 흡수하는 현상의 발생 원리를 적용하여 간편한 냉온소자의 열전달/펌핑 기술을 구현함으로써, 유익한 기술 장치와 생활용품 및 신상품 개발 기술의 새로운 아이디어로 활용되고 있다. 그의 실례로 차량용 포터블 아이스박스, 화장품냉장고 등을 들 수 있다. 이들은 소형이면서 기계적 작동이 없이 냉각 또는 발열이 이루어짐으로 조용하고 정숙할 뿐 아니라 휴대와 이동이 가능한 탁월한 장점이 있다.

따라서 여러 가지 대, 소형의 개발품이 등장하였지만, 경제적 소득 증가와 함께 웰빙라이프 시대속의 고령화 사회는 건강하게 잘 사는 삶 뿐 아니라, 고품위 생활을 영위하고자하는 인간적 본능적 욕구와 시대적 요청은 편의주의와 고급화 생활풍습을 가속시킨다.

이와 같은 사회적 추세에 따라 시민생활의 식생활문화도 이미 많은 변화를 이루었으며, 계절과 음식의 종류에 따라서 요리과정은 물론, 식

사를 하는 도중에도 음식물의 특징을 살려 차거나 뜨거운 온도를 계속 유지할 수 있는 적절하고 필요한 조치가 가능하다면, 충분히 높은 수요의 상품성 발휘를 확신할 수 있다.

그러므로 먼저 열적조건에 충족 요구가 큰 냉·온 음료의 용기를 필요한 온도로 유지시킬 수 있는 아래와 같은 특징과 구조를 갖는 냉·온 변환 식 용기(식기/컵)받침판 또는 홀더 제작 기술을 수집, 해독하여 신상품 개발에 적용하는 기술개발사업을 수행한다.

1) 특징과 구조

-가정, 영업장용의 물 또는 기타 음료수 컵의 냉/온 상태를 지속적 유지 또는 냉온 교차 보존,

-자동차용 컵/홀더와 같은 음료수 컵 또는 용기의 냉온상태 유지 또는 교차 보존,

-캔 맥주 홀더(싱글/멀티홀더) 등 냉 음료 컵이나 온 음료 컵으로 사용되는 컵/홀더 제작,

-음식의 고유한 맛 유지를 위하여 적절히 차거나 또는 뜨거운 온도 상태 유지를 위한 보온 쟁반 또는 이와 유사한 목적의 용기받침/홀더 등의 냉온소자 응용제품 제작 기술.

-컵 또는 컵홀더, 용기 밑받침 또는 덮개 부분에 냉온소자를 밀착 설치하고,

-냉온소자의 방/흡열을 위하여 홀더/받침판 외측하부에 방열판과 미니방열팬 설치,

-사용조건과 공급전원에 따른 SMPS 전원장치의 설계제작 및 솔라셀-리튬전지 연동방식의 기술 적용,

-냉각상태 또는 온열상태의 유지 및 냉/온상태의 교차전환을 위한 스위칭 방식 구현.

3. 응용기술의 필요성

국력 신장과 국가경제의 고도성장에 힘입어 우리 사회는 급격한 변화의 길을 걷고 있으며, 이에 따라서 고품화 및 고품질 웰빙라이프 시대에 걸 맞는 고품위 미식생활의 시민 수준이 향상되어 필요한 온도 조건을 유지할 수 있는 식음료냉온반침판 또는 컵홀더 등의 신상품 개발 기술의 시대적 사회적 요구와 수요가 급증하고 있으며, 이에 부응하는 새로운 idea 상품의 개발 필요성이 절실히 부각되고 있다.

따라서 국소적 소 용량 heat pumping에 적합한 무소음, 무진동의 냉온교차전환이 간단한 용이한 혁신적 기술의 각종 열-펌핑 신상품 기술 개발이 크게 요구되고 있으며, 이에 적합한 thermoelectric module의 수요 증가와 기술개발 중요성의 확대 및 이의 응용상품 개발 요구도 크게 늘어나고 있다.

그러나 금속간의 이종접합체인 Peltier module의 첨단기술 해독 및 습득 과정에서 군소의 중소기업은 고급인력 부족과 기술개발 재원의 한계성 등으로 제품과 신상품 개발에 필요한 혁신적 기술의 애로사항 해소의 길은 멀고 요원할 뿐이다.

최근에는 외식문화의 파급에 따른 대응 상품의 수요 증가와 신상품개발에 부응하는 고품질화의 기대와 이에 대한 파급효과가 급증할 것으로 예상되고 있으며, 그 뿐만 아니라, 신상품 개발의 성공 시 예상되는 파급효과로써 국내 최소 기대수요 및 매출액을 가상 추정해 보면, 우리나라의 100만 가정과 10만 영업소에 개당 3만원씩의 개발상품 1년에 1개씩을 판매한다고 가정했을 때 년 간 매출액은 330억 원에 이르며, 중소기업으로서 적지 않은 규모로 판단되는 중요한 결과를 얻는다.

가. 개발목표

Peltier module의 냉온소자 제조기술은 미국, 일본을 비롯하여 러시아 등에서 많이 생산하여 왔으며 최근에는 우리나라의 기술개발 노력으로 자국에서도 생산되고 있다.

이에 대하여 응용 상품과 기술은 민간 생활용품에서 주로 화장품 냉장고와 차량휴대용 ice box에 국한되어 있으며, 본 사업계획서에서 제안한 “냉·온 가변식 컵홀더 제작 기술”의 신상품 관련 기술 및 제품은 아직 출시된 바가 없는 것으로 확인되어 제품개발에 성공할 경우 독창적 신상품으로써 국내의 시장 선점은 물론, 우량수출상품으로써의 전망이 밝을 것으로 평가된다.

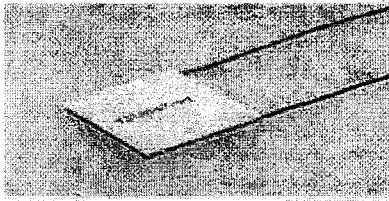
따라서 무소음, 무진동의 열전소자 Peltier module 적용의 소형 heat pumping 장치의 기술 개발에 목표를 둔다.

나. 개발내용 및 범위

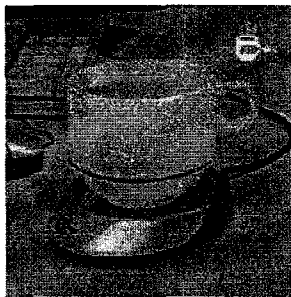
1) 기존 개발기술의 내용

주로 수출입품을 취급하는 (주)나래인터내셔널은 일본 미쓰비시 사의 열전소자를 비롯하여 다양한 Ferroelectric 부품을 수입, 판매하며, 전자 냉각에 활용되는 열전반도체 소자는 열에너지-전기에너지 변환, 전기에너지-열에너지 변환에 직접 사용할 수 있는 고 기능성 첨단 전자부품(Peltier device)으로 소자의 외형은 그림1의 (1)과 같다. 열에너지를 흡열 면에서 방열 면으로 이동(전달)시키는 열-펌핑 부품이다. 열전방향의 역전에 의해 냉각, 가열의 변환이 가능하며, 전압, 전류 제어에 의해서 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 수준의 온도제어가 가능하며, 소자의 가동부분이 없기 때문에 무진동, 무소음의 특징적 장점을 가지며, 프레온과 같은 냉매 사용에 의한 오염이나 공해도 있을 수 없다. 반도체제조장치, 광학분야, 민생분야, 의료분야, 분석 장치, 자동차, 우주개발분야

등에서도 그 응용분야가 무한하다.



(1) Peltier 열전소자



(2) 만능커피보온기

그림1. Peltier 열전소자의 외형과 응용제품

그림1은 Peltier 열전소자와 그 응용제품으로, 그림1의 (2)에 보인 USB coffee warmer(만능커피보온기)는 최고 40℃에서 2.5W의 소비전력으로 구동되는 수입상품이지만, 본 개발계획의 강력한 냉온킵홀더와는 차별성이 크다.

2) 제안 내용 및 범위

제안한 기술과 신상품의 내용은 (주)나래인터 내셔널에서 수입 판매하는 열전소자를 이용한 것이 아니고 오히려 열전소자를 사용하여 heat sink, cold sink 및 그 가역 동작을 위하여 콤팩트하게 구성한 thermoelectric module을 적용하는 방법과 같은 강력냉온킵홀더를 제작하기 위한 제안기술이다.

따라서 그림2에서 보여주는 열전모듈은 무부하에서 주위온도보다 45℃ 이하의 낮은 온도로 동작되는 열전능률이 강력하고 저렴하며 성능이 우수한 일체형 열전모듈을 사용할 경우 고장파 수리의 필요성이 없는 우수성을 가질 수 있으나, 이는 기존의 제품모들이므로 본 제안의 범위를 벗어나므로, 본 제안(그림3 참조)에서는 상하 양방향에서 온열 또는 냉각 상태를 유지하는 구조의 킵홀더를 구성하였다.

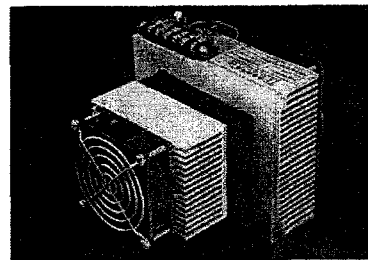


그림2. 일체형 열전소자모듈

그러므로 콜라, 사이다, 생맥주 등의 비교적 긴 시간 동안 강한 시원한 느낌을 요구받는 냉음료의 킵 홀더, 또는 상대적으로 뜨거운 맛을 즐겨야 하는 우리 고유음식의 따끈한 온도 감을 느낄 수 있는, 예를 들면, 45℃ 이상의 보온을 지속시켜주는 용도의 hot plate의 제작기술을 개발한다.

3. 결과 고찰

Peltier 소자로 잘 알려져 있는 냉온소자 또는 열전소자는 국부적 소 용량의 열 펌핑에 적합한 소자로서 과거에는 인공위성을 비롯한 특수 정밀기기의 냉각용 소자로 주로 사용되어져 왔다. 그러나 최근에는 작은 용량의 물질이나 대상 기기에 대한 냉각 또는 가열 목적으로 장치의 편

리성을 부각시켜 특수목적 이외에도 일반 생활 용품으로 다양하게 개발하여 사용하는 사례가 증가하고 있다.

Peltier 소자는 서로 다른 이종의 금속접합을 통하여 전류가 흐를 때 접합부에 흐르는 전류의 방향에 따라서 발열 혹은 흡열 현상이 발생하는 소자이다. 한쪽이 발열하면 다른 한쪽은 열에너지를 흡수하는 흡열현상의 발생 원리를 적용하여 간편한 냉온소자의 열전달/펌핑 기술을 구현함으로써 편리한 생활용품으로의 개발을 위한 새로운 아이디어기술에 적용한다.

그 중 일부의 최근 응용실례를 들면, 차량용 포터블 아이스박스, 화장품냉장고 등이 있다. 이들은 소형이면서 기계적 작동이 없이 냉각 또는 발열이 이루어짐으로 조용하고 정숙할 뿐 아니라 휴대와 이동이 가능한 장점이 있다.

펠티어효과는 프랑스의 시계기술공으로 일하면서 후에 물리학자가 된 JEAN CHARLES ATHANASE PELTIER (1785-1845)에 의해서 서로 다른 두 금속에 전기를 통하였을 때 서로 다른 금속의 양 단면으로부터 온도차가 일어나는 현상을 발견하고 이를 정리한 발명기술이다. Peltier 효과의 열전현상은 가역적이며, 주요 열전이론은 다음과 같다.

$$|Q_p| = \alpha_{ab} \cdot T_j \cdot I = \pi \cdot I \quad \text{-----}[1]$$

$\pi = \alpha_{ab} \cdot T_j$: 펠티어 계수, I : 전류,
 $|Q_p|$: 단위시간에 발생하는 열량의 절대 값.
 α_{ab} : 주위 온도에 따른 a, b 두 금속의 상대 열전능.

접합에 전류가 흐르면 Joule 열 발생에 추가하여 Peltier 효과에 의한 발열(또는 흡열) 현상이 발생한다. 전자가 금속에서 반도체로 흐를

때 금속의 Fermi 준위 상에 있는 전자들은 반도체 내의 전도대로 이동하게 된다.

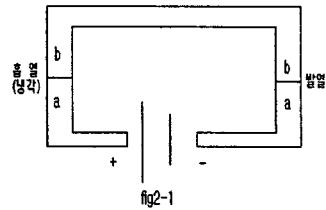


그림3. 펠티어소자의 구조 개략도

따라서 전도전자들은 금속에서 반도체로 이동할 때 평균 운동에너지가 ΔE 만큼 증가되고, 이 운동에너지의 변화는 열의 흡수로 발생한다. 즉, 열에너지가 전자의 평균운동에너지를 증가시키는 데 작용된다. 또한 그림3에서 전류를 역방향으로 흘려주면 전자의 운동에너지는 ΔE 만큼 감소되고 그와 관련된 발열현상이 나타난다. 즉, 전자들이 접합을 통과할 때 평균운동에너지의 증감 현상이 생겨 변화되기 때문에 전류의 방향에 따라서 열이 흡수되거나 발생하는 현상과 이론이다. 가역적인 Peltier 효과는 ohmic 접촉을 지나서 전류가 흐를 때 항상 발생하며, Peltier 효과는 열전냉각과 가열 및 열전발전의 기초이론이 된다.

1) 열전소자의 재료와 제조

열전소자에 주로 이용되고 있는 재료들은 다음과 같다.

▶ 227°C 이하 적용재료 : Bi, Sb 등의 VB 족 Telluride 계

▶ 227 ~ 527°C 적용재료 : Pb, Ge, Se 등의 IVB 족 Telluride 계

▶ 527 - 1027°C 적용재료 : Fe1-XSi2MnX, Fe1-XSiCoX 규화물 계

▶ 기타 정성화된 적용재료 : ZnSb ,PbTe ,Bi2Te3 ,PbSe ,Bi2Se3, Sb2Te3, MnTe, GeTe, III-V 족 화합물.

그 중 Bi2Te3계 열전재료에 대하여 소개하면, 단방금속과 불순물을 용융하여 단방향응고성장 법과 파우더링 냉간 또는 열간 가압성형 법에 의해 소결하는 제조 방법으로 대별된다.

단방향응고재는 뛰어난 열전특성을 나타내고 있지만 온도구배, 성장속도 등 제조조건이 어려울 뿐만 아니라 낮은 기계적 강도를 갖기 때문에 낮은 생산성과 소형의 소자가공 시 재료 손실이 많은 단점을 갖고 있다. 이러한 단점 해결을 위하여 분말야금법이 이용된다.

Bi2Te3 계 화합물은 특유의 구조 민감성 때문에 냉간가압변형에 의해서는 열전능이 현저히 감소한다. p형 Bi2Te3를 분말성형체로하면 n형으로 변하며, 또한 열처리 조건에도 민감하여 소결온도가 약간 달라도 p형으로 n형으로 변화하기 때문에 열처리 조건의 설정에 어려운 점이 있는 것으로 알려져 있다. 더욱이 냉간 프레스 법에서는 고온소결에 의해서 소결체의 결보기 밀도와 이론밀도의 비를 90% 이상으로 하면 결정립의 성장 및 칼코겐원소(Te, Se)의 증발에 의한 조성변화가 발생하여 열전특성의 제어가 매우 곤란하다. 따라서 냉간 프레스 법으로 제조한 Bi2Te3 계 소결체는 시판되고 있는 단방향응고에 의한 용제재료의 열전성능지수 보다 높지 않아 현재까지 열전냉각, 가열용 재료로서 실용화되지 못하였다.

한편, 열간 프레스 법에서는 압력을 가하면서 소결을 행하기 때문에 소결온도가 낮아도 90% 이상의 소결체를 용이하게 제조할 수 있으며, 냉간가압법에 비하여 저온에서 소결이 가능하여 결정립성장을 억제할 수 있는 것으로 알려져

있다.

열전소자는 뜨거운 쪽 기판의 열을 얼마나 효과적으로 잘 배출하는가에 따라서 냉각성능을 기대해 볼 수 있다. 그런데 냉각팬에 이상이 발생하거나 방열판에 문제가 발생할 경우는 열전소자의 뜨거운 열이 찬 부위로 전달되어 온도 상승의 요인이 된다.

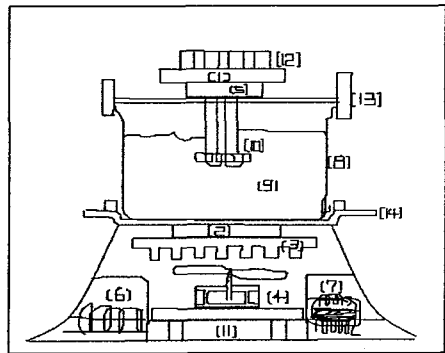
2) 설계제작한 컵홀더의 특성

① 구성과 구조

컵홀더 제작을 위하여 상하 양방향에서 가온 또는 냉각 상태를 유지하도록 구성하여 아래와 같은 구조로 구성하였다.

② 전기적-열적 특성

무부하 열전소자의 온 점점 측 동작 온도변화는 상온(25℃)에서 시작하였을 때, 30초 이내에 61℃, 60초 경과 후에 80℃를 초과하여 도달하였다. 2분 후 106℃, 4분 후 120℃에 도달하는 빠른 변화를 나타냈다.



(1) 상부냉온소자, (2) 하부냉온소자, (3) 방열판, (4)냉각팬/모터, (5) 열전달 판, (6) 트랜스, (7) 정류기, (8) 컵 용기, (9) 내용물, (10) 냉열전달 봉, (11) 지지대, (12) 상부냉온소자 방열판, (13) 지지뚜껑, (14) 온열플레이트

그림3. 설계 열전소자 냉온컵홀더의 모형

반면에, 냉 점점 측의 온도변화는 30초 후 1 4℃, 60초 후에 10℃, 2분 후에는 11℃로 증가하

면서 4분 후에는 20℃에 도달하여 계속 증가하는 변화를 하였다. 이러한 현상은 열전소자를 무부하 상태로 동작시킨 경우이기 때문이며 냉각팬이나 방열판을 사용하지 않았기 때문이다.

따라서 온 점점의 발열온도가 냉 점점 측으로 전달되어 냉 점점측이 오히려 온도상승 결과로 나타난 경우로써, 발열에 대한 방열 대책의 필요성을 나타낸다.

전류 변화는 12V의 정격전압이 인가되어 그대로 유지되었으나, 전류는 다소 감소되어 처음 3.09A에서 1분 후 2.91A, 2분 후 2.39A, 4분 후 2.11A로 변화하였다. 이것은 무부하 동작에 따른 발열부의 열에너지가 냉 점점부위로 전달되는 현상에 따른 접합부의 전류감소 현상으로 판단되어 방열대책의 필요성을 재인식 시켜준다.

이에 대하여 온 점점에 물 한 컵을 부하로 하여 가열현상을 조사한 결과, 상온(25℃)에서 출발하여 1분 후 26℃, 2분 후 31℃, 4분 후 36℃로서 변화하는 것을 확인하였으며, 60℃에 도달하는 시간은 무려 18분이 소요되었다.

따라서 부하에 비하여 열전소자의 성능에 따른 가열현상을 적용하기 위한 열전소자의 소요 열요량이 지나치게 부족한 결과임이 확인되었고, 이 경우 가열현상 보다는 오히려 가열된 온도상태를 유지시키는 온열유지 보온기구로써의 적합성을 확인하였다.

4. 결 론

펄티어 열전소자를 응용한 냉온킵홀더를 구성하여 제조하는 응용기술을 제안하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

내온킵홀더의 경우, 열전소자의 용량에 제한을 받기 때문에 가열 또는 냉각을 위해서는 충분한 용량을 뒷받침 해 주어야 한다.

따라서 냉온킵홀더와 같은 휴대 필요성이 요구되거나 휴대 가능한 소형기기의 경우에는 온열 또는 냉각을 시키기 보다는 휴대에 적합한 전력용량과 열전소자의 정격용량으로 그 상태를 유지시키는 보온기능을 갖춘 온열기구로써의 가능성과 적합성이 높음을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 '경기도-중기청이 지원하는 산학연권소사업 사업의 일부 지원'으로 이루어졌으며, 이에 감사를 드립니다.

文 獻

D.M.Rowe, Handbook of THERMOELECTRONICS, CRC Press LLC, 1995