

전자냉동 김치독의 열유동 및 성능 특성

송규석* · 김경환* · 이승철* · 고철균* · 이재현** · 오명도***
(1999년 3월 10일 접수)

Heat Flow and Cooling Performance of an Electronic Refrigerating Kimchi Jar

Kyu-Soek Song, Kyung-Hwan Kim, Seung-Chul Lee,
Chul-Kyun Ko, Jae-Heon Lee and Myung-Do Oh

Key Words: Heat Leakage Rate(누설열량), Peltier Effect(펠티어 효과), Kimchi Jar(김치독)
Net Heat Pumping Rate(유효 펌핑열량), Thermoelectric Cooling Module(열전모듈)

Abstract

The electronic refrigerating kimchi jar operates with a low noise because it contains no compressor but it consumes more energy than that of a refrigerator with compressor. In this paper, the heat flow characteristics and cooling performance of an electronic refrigerating kimchi jar are studied by means of experiments. When the storage temperature is kept in a range of -5.7 °C to 4.1 °C, in the case of three ambient temperatures; 12.7 °C, 22.3 °C and 32.2 °C, the cooling performance of 20 l kimchi jar is investigated. The experiments show that the temperature difference that exists between kimchi jar and its ambient provides a measure of the coefficient of performance of kimchi jar. It is also found that ratio of net pumping heat to the heat pumping rate of thermoelectric module is independent of the temperature difference.

기호설명

- A : 단면적 [cm²]
- COP : 성적계수
- c_p : 냉각공기의 정압비열 [J/kgK]
- E_e : 열전모듈 소비전력 [W]
- k : 전도블럭의 열전도계수 [W/mK]
- L : 전도블럭의 높이 [cm]
- m* : 냉각공기의 질량유량 [kg/s]
- \overline{P}_d : 평균동압 [Pa]
- Q_c : 제어장치 발생열량 [W]
- Q_d : 배기열량 [W]
- Q_f : 팬 발생열량 [W]
- Q_l : 누설열량 [W]

- Q_p : 열전모듈의 펌핑열량 [W]
- Q_r : 유효 펌핑열량 [W]
- ΔT_a : 유·출입 냉각공기의 온도차이 [°C]
- ΔT_b : 전도블럭 상·하단의 온도차이 [°C]
- ΔT_c : 열전모듈 고온부와 저온부의 온도차이 [°C]
- ΔT_n : 외기온도와 내용물온도와의 차이 [°C]
- T_s : 내용물온도 [°C]
- T_∞ : 외기온도 [°C]
- ρ : 냉각공기의 밀도 [kg/m³]

1. 서론

김치는 발효온도 및 보존온도에 따라 맛이 결정된다. 잘 익은 김치를 만들기 위해서는 일정시간의 발효가 이루어져야 하며, 김치의 맛을 유지하기 위해서는 적정온도로 보존해야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 보통의 가정에서는 냉동냉장고를 주로 이용한다. 냉장고는 저온을

- * 한양대학교 대학원 기계공학과
- ** 회원, 한양대학교 기계공학과
- *** 회원, 서울시립대학교 기계공학과

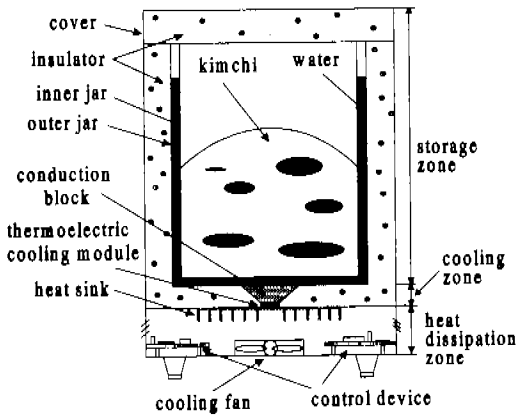


Fig. 1 Schematic diagram of an electronic refrigerating kimchi jar.

유지시키는 목적으로는 유리하나 간헐적인 냉동기 운전 특성상 김치에 적합한 일정온도의 유지가 어려워 김치맛을 보존하기에 어려운 점이 있다. 이러한 이유로 최근에는 김치의 발효 및 보존에 필요한 온도를 일정하게 유지시키기 위하여 전자냉동(electronic cooling)을 김치독에 이용하기도 한다. 전자냉동 김치독에서는 냉동장치로 열전모듈을 이용함으로써 김치에서 발생한 열량을 외부로 배출시킨다.

전자냉동 김치독은 기존의 냉장고에 비하여 김치의 숙성에 적합한 온도유지 기능이 우수하며, 압축기가 없으므로 사용시 소음이 거의 없는 장점⁽¹⁾도 가지고 있다. 그러나 전자냉동 고유의 낮은 냉동성능과 아울러 부적합한 열유동설계에 의한 불리성 때문에 현재 시판되는 전자냉동 김치독의 대부분이 에너지 소비면에서는 기존의 냉매 사용 냉장고보다 불리하다. 그러므로 현재 생산되고 있는 전자냉동 김치독의 열유동 특성에 관한 정량적인 검토가 요구되며 이에 근거한 성능 향상 필요성이 제기되고 있다.

열전모듈을 이용한 냉동장치의 성능은 열전모듈만이 아닌 시스템전체에서 영향을 받기 때문에 실제 적용사례에 관한 연구가 필요함에도 불구하고, 그동안의 전자냉동에 관한 연구는 열전모듈의 자체성능특성에 관해 수행⁽²⁾되어 왔으며 실제 적용사례에 관한 연구보고는 부족하였다.

따라서 본 연구에서는 여러가지, 외기온도와 내용물온도 상황에서 전자냉동 김치독의 열유동 특성과 성적계수 특성을 실험적으로 고찰하고자 하였다.

Table 1 Features of an electronic refrigerating kimchi jar.

Item	Feature
Jar size	42 cm× 43 cm× 59 cm
Capacity	20 l
Power consumption	80 W
Thermoelectric module	DC 12.2 V, 50 W, 4 cm× 4 cm× 0.4 cm
Cooling fan	DC 12 V, 1.3 W, axial fan
Control	ON/OFF control
Storage temperature	-0.5~0 ℃

2. 전자냉동 김치독

본 실험에 이용된 전자냉동 김치독은 국내 S사에서 생산하는 제품으로서, 전체적인 형상과 사양을 각각 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

그림에 나타낸 바와 같이 전자냉동 김치독은 저장부(storage zone), 냉각부(cooling zone) 그리고 배열부(heat dissipation zone)로 구분될 수 있다. 저장부는 김치를 일정한 온도로 유지시켜 주는 부분으로서 내통(inner jar)과 외통(outer jar) 그리고 단열재(insulator)로 구성되어 있다. 외통의 외부는 주위와의 열출입을 막기위하여 단열재로 싸여져 있으며, 0.2 cm두께의 PVC외피와 5 cm두께의 뚜껑(cover)으로 덮혀 있다. 내통과 외통사이에는 열전달성능을 향상시키기 위하여 물로 채워져 있다.

냉각부는 전도블럭(conduction block)과 열전모듈(thermoelectric module)로 구성되어 있다. 전도블럭은 상부가 제거된 피라미드 형상이며, 상단부는 외통과 그리고 하단부는 열전모듈의 저온부와 접해있다. 전도블럭의 높이 즉 외통과 열전모듈의 저온부까지의 거리는 3.8 cm이다.

외기로부터 김치독 내부로 전달된 열량은 전도블럭을 통해 열전모듈로 전달되며 열전모듈은 이 열량을 펌핑하여 방열기(heat sink)로 전달시킨다. 여기서 펌핑이란 저온부에서 고온부로의 열흐름을 뜻한다.

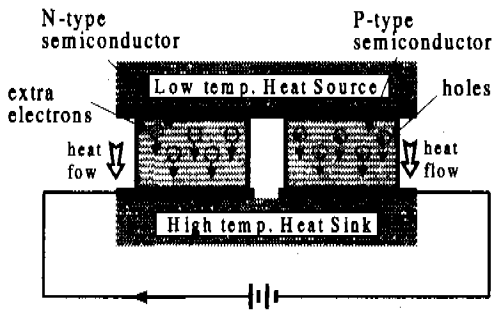


Fig. 2 Thermoelectric component with Peltier effect.

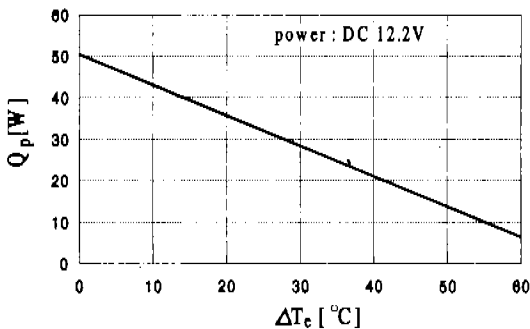


Fig. 3 Characteristic curve of thermal electric cooling module in present investigation.

배열부에는 방열기, 냉각팬(cooling fan) 및 제어장치(control device)가 위치한다. 방열기는 열전 모듈의 고온부와 접해 있어 열전모듈로부터 펌핑된 열량을 냉각팬에 의해 유입된 냉각공기로 방출시킨다. 또한 전도블럭과 열전모듈, 열전모듈과 방열기 사이에는 접촉 열저항을 줄이기 위하여 열전달판(thermal paper)이 삽입되어 있다.

3. 전자냉동

전자냉동은 펠티어효과(Peltier effect)⁽²⁾를 이용한 냉동방식이다. 펠티어효과란 두 종류의 서로 다른 금속을 접점한 링에 전류를 흘리면 한쪽의 접점이 냉각되고 다른 쪽의 접점은 가열되는 현상을 말한다. 열전소자(thermoelectric component)의 원리를 Fig. 2에 나타내었다. 비스무스(Bi)-텔라루이트(Te) 화합물과 같은 열전반도체 물질들에 직류 전류를 통과시키면 고온 열침(high temperature heat sink)으로부터 저온 열원(low temperature heat source) 방향으로의 일반적인 열전도가 억제되고,

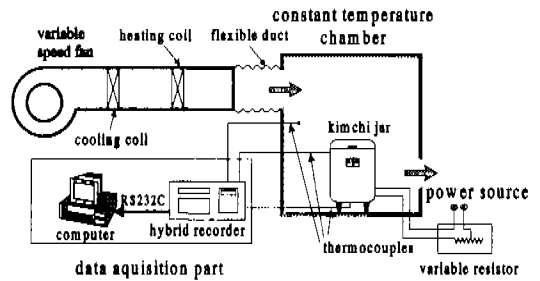


Fig. 4 Schematic diagram of the experimental setup.

반대 방향으로 열을 이동시키는 캐리어, 즉 잉여 전자(extra electron)와 정공(hole)의 이동이 촉진되는 특성을 갖는다. 이러한 원리에 의하여 캐리어는 그림에 나타난 바와 같이 저온 열원으로부터 고온 열침으로 열을 이동시킨다. 열전모듈은 이러한 소자들이 다수 직렬로 연결된 것이며 이러한 방식으로의 전달열량을 펌핑열량(heat pumping rate)이라 칭한다.

열전모듈의 특성은 열전모듈 고온부와 저온부의 온도차이에 따른 펌핑열량으로 나타낸다. 열전모듈에 전력을 일정하게 공급시킨 경우에 본 연구의 전자냉동 김치독에 이용된 열전모듈의 특성을 Fig. 3에 나타내었다. 이때 열전모듈의 저항은 2.5~2.9 Ω의 범위에서 유지되며 인가된 전압은 DC 12.2 V로 일정하다. 그림에서 이 열전모듈의 특성을 보면 고온부와 저온부의 온도차이 (ΔT_c , [°C])가 증가할수록 열전모듈의 펌핑열량 (Q_p , [W])은 다음식과 같이 비례적으로 감소함을 알 수 있다.

$$Q_p = 50 - 0.72(\Delta T_c) \tag{1}$$

4. 실험장치

전자냉동 김치독의 열유동 특성과 냉동성능특성을 고찰하기 위하여 구성된 실험장치의 개략도를 Fig. 4에 나타내었다. 실험장치는 크게 유동공급부, 항온챔버(constant temperature chamber), 열전모듈 전력조절부 및 자료획득부로 나뉜다.

유동공급부는 외기온도 조건을 만족시키기 위한 부분으로서 가변속 송풍기(variable speed fan), 냉각코일, 가열코일 그리고 주름덕트(flexible

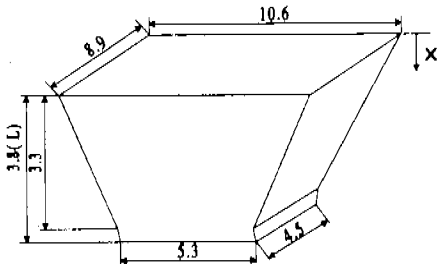


Fig. 5 Detail of the conduction block (unit: cm).

duct)로 구성되며, 유동공급부에서 유출된 4~40 ℃의 공기는 지름 20 cm의 주름덕트를 통하여 항온챔버로 유입된다.

항온챔버는 김치독의 외기온도 조건을 유지시키는 부분으로서 80 cm×92 cm×124 cm의 크기이며, 공기는 상부에서 유입되고 하부에서 유출된다. 항온챔버의 내·외부에는 2.5 cm두께의 스티로폼 단열재를 부착시켰다. 전자냉동 김치독에는 열유동특성과 성적계수를 파악하기 위하여 총 20개의 T형 열전대가 항온챔버 내에 3개, 김치독 내부에 17개 설치되어 있다.

열전도율 전력조절부는 여러 가지 외기온도에서 내용물의 온도를 일정하게 유지시키기 위해 열전도율 소비전력(E_b)을 조절하는 부분으로서 0~30 Ω의 가변저항이 열전도율과 직렬로 연결되어 있다.

자료획득부는 20개의 측정점에서 측정한 온도를 시간에 따라 기록하는 하이브리드 레코더(hybrid recorder), 측정된 온도값을 컴퓨터로 전송하는 RS232C 및 컴퓨터로 구성되어 있다.

5. 실험방법

본 연구에서는 실험의 편의를 위하여 김치독의 내통에 김치 대신 질량농도 17%의 소금물 3ℓ을 채웠다. 실용의 김치독은 본래 내용물의 온도를 -0.5~0 ℃로 유지시키기 위해 열전도율 공급전력이 ON/OFF방식으로 간헐적으로 제어되나, 본 실험에서는 여러가지 외기온도에서 냉동성능을 비교하기 위하여 열전도율에 항상 공급전력을 인가하면서 가변저항을 이용하여 열전도율에 인가되는 공급전력량을 변화시켰다. 예를 들어, 외기온도가 일정할 때 저장물의 온도를 낮추기 위해서

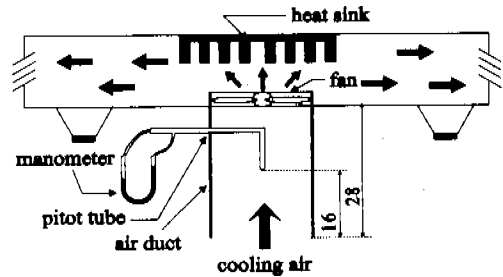


Fig. 6 Measurement of flow rate of cooling air (unit: cm).

는 가변저항의 저항값을 줄여서 열전도율로 인가되는 공급전력을 증가시켰으며, 저장물의 온도 높이기 위해서는 저항값을 증가시켜 열전도율로 인가되는 공급전력을 감소시켰다.

김치독 전체의 열유동특성을 확인하기 위하여 총 소비전력, 열전도율 소비전력, 팬 소비전력, 가변저항 소비전력, 열전도율에 의한 펌핑열량 및 배기열량을 측정하였으며 제어장치의 소비전력은 여타 에너지소비량으로부터 산정하였다. 각 측정점에서의 온도는 해당위치의 열적상태가 준정상상태에 도달한 후 15분간 3회 측정하여 평균값을 취하였다.

5.1 펌핑열량의 측정

열전도율에 의한 펌핑열량을 측정하기 위하여는 알루미늄 재질 전도블럭의 상단과 하단온도를 측정하였다. 전도블럭의 형상과 좌표축(x)의 원점 및 방향을 Fig. 5에 나타내었다. 펌핑열량(Q_b)은 전도블럭의 상단에서 하단으로의 열전달량으로 표현되므로 다음 식으로 산정하였다.

$$Q_b = \frac{-k\Delta T_b}{\int_0^L [dx/A(x)]} \quad (2)$$

여기서, k, L 및 ΔT_b 는 각각 전도블럭의 열전도율, 전도블럭의 높이 및 전도블럭 상·하단의 온도차를 뜻한다. 식 (2)에서 전도블럭의 단면적(cm^2), $A(x)$ 는 다음과 같다.

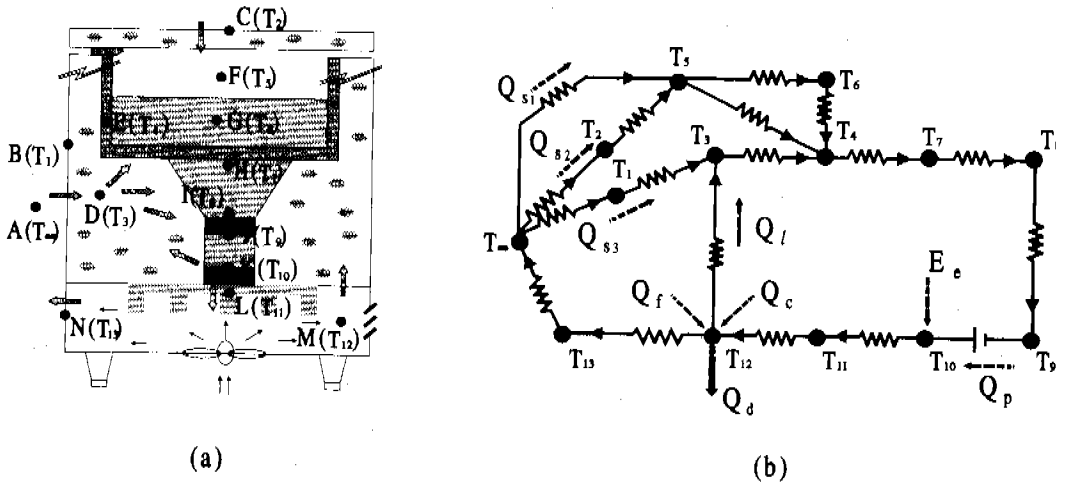


Fig. 7 Locations of temperature measurement (a), and thermal resistance network (b), in kimchi jar of the present investigation.

$$\begin{aligned}
 A(x) &= 1.49x^2 - 24.27x + 203.85, \\
 &\quad \text{at } 0 \leq x \leq 3.3\text{cm} \\
 A(x) &= -4.91x + 47.70, \\
 &\quad \text{at } 3.3 < x \leq 3.8\text{cm} \quad (3)
 \end{aligned}$$

본 연구에서 측정된 전도블럭 상·하단 온도차이의 범위는 0.3~1.0 °C이며, 열전달량의 범위는 6.7~22.4 W이었다.

5.2 배기열량의 측정

배기열량(Q_d)은 팬에 의해 유·출입된 냉각공기의 온도차이와 냉각공기 유량을 이용하여 다음 식으로 산정한다.

$$Q_d = c_p \dot{m} \Delta T_a \quad (4)$$

여기서, c_p, \dot{m} 및 ΔT_a는 각각 냉각공기의 정압비열, 질량유량 및 냉각공기의 유·출입 온도차를 뜻한다.

질량유량은 Fig. 6에 보이는 바와같이 냉각팬 입구에 9.5 cm×9.5 cm×28.0 cm의 사각덕트를 설치하고 덕트입구로부터 16 cm 떨어진 단면의 16개 위치에서 동압을 측정한 후 아래의 식에 의해 계산되었다.

$$\dot{m} = A \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot P_d} \quad (5)$$

여기서, A, P_d 및 ρ는 각각 덕트단면적, 평균동압 및 냉각공기의 밀도이다.

본 연구에서 사용된 김치독에서 배기의 질량유량은 0.0054 kg/s, 그리고 배기열량의 범위는 15.0~88.6 W이었다.

6. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 세 가지 외기온도(12.7 °C, 22.3 °C, 32.2 °C)의 경우에 김치독 내용물 온도가 -5.7 °C~4.7 °C범위로 유지될 때, 전자냉동 김치독의 열유동 특성, 성적계수의 변화 및 김치독의 성능에 대한 누설열량의 영향을 살펴보았다. 단, 실험 조건중에서 외기온도가 32.2 °C인 경우에는 열전 모듈 펌핑능력의 한계로 인하여 내용물의 온도를 0.1 °C이하로 낮추지 못하였다.

6.1 열유동 특성

전자냉동 김치독의 목적은 내용물을 적정 온도로 유지시키기 위하여 외부로부터 내통 안으로 유입된 열량을 펌핑시켜 외부로 방출시키는 것이다. 그러므로 내용물과 관련된 열량의 흐름을 파악할 필요가 있다. Fig. 7에는 전자냉동 김치독의 온도측정 위치(a)와 열저항선도(b)를 나타내었다.

Table 2 Locations for temperature measurement.

Temperature	Location	Temperature	Location
T ₁	Outer surface of the storage zone and the cooling zone (B)	T ₈	Upper position of the conduction block (I)
T ₂	Outer surface of the cover (C)	T ₉	Low temperature position of thermoelectric module (J)
T ₃	Insulator (D)	T ₁₀	High temperature position of thermoelectric module (K)
T ₄	Water between the inner jar and the outer jar (E)	T ₁₁	Heat sink (L)
T ₅	Air in the inner jar (F)	T ₁₂	Air in the dissipation zone (M)
T ₆	Storage (G)	T ₁₃	Outer surface of the dissipation zone (N)
T ₇	Upper position of the conduction block (H)	T _∞	Ambient temperature (A)

* ; Alphabets denote the positions in Fig. 7 (a)

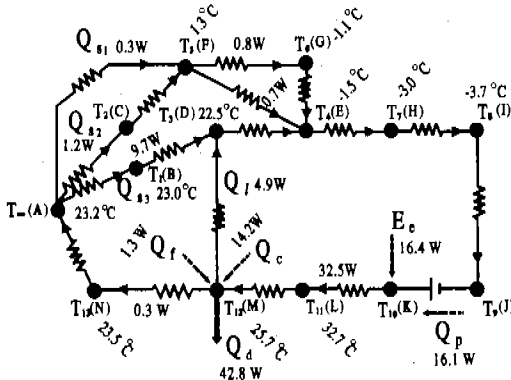


Fig. 8 Thermal resistance network with heat flow at T_∞ = 23.2 °C

김치독에서의 14개 온도측정 위치(A~N)와 각 위치에서의 온도(T_∞, T₁~T₁₃)를 Fig. 7(a)에 나타내었고 이를 Table 2에서 설명하였다.

열저항선도[Fig. 7(b)]에는 열전도물의 펌핑열량(Q_p), 열전도물 발생열량(E_o), 팬 발생열량(Q_f), 제어장치 소비전력(Q_c), 배기열량(Q_d), 누설열량(Q_i), 그리고 외기로부터 저장부와 냉각부의 외피로 전달되는 열량(Q_{s1}), 뚜껑의 외피를 통해 내부공기로 전달되는 열량(Q_{s2}) 그리고 외기로부터 흡새를 통해 내부공기로 전달되는 열량(Q_{s3})을 그 방향과 함께 도시하였다. 여기서 누설열량은 배열부에서 냉각부로 침입한 열량이다. 따라서 저장부에서

배열부로의 유효 펌핑열량(Q_s)은 열전도물의 펌핑열량(Q_p)과 누설열량의 차이로서 아래와 같이 정의된다.

$$Q_s = Q_p - Q_i \tag{6}$$

한편 저장부에서 배열부로의 유효 펌핑열량은 외기에서 저장부 안으로 유입된 열량과 같으므로 아래와 같이 기술될 수도 있다.

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} \tag{7}$$

본 연구에서 수행된 실험결과와 대표적인 경우로서 외기온도가 23.2 °C 그리고 내용물의 온도가 -1.1 °C일 때의 열저항 선도와 열흐름도를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에는 각 지점에서의 온도와 열량을 표시하여 열흐름의 상대적인 크기를 알 수 있다. T₉과 T₁₀의 온도가 표기되지 않은 이유는 열전달판의 두께가 0.3 mm로 아주 얇아서 정확한 온도측정이 기술적으로 불가능하였기 때문이다.

그림에 나타난 바와 같이 열전도물의 펌핑열량(Q_p), 16.1 W는 크게 세 부분에서 유입된다. 첫째는 외기(A)로부터 저장부와 냉각부의 외피(B)로 전달되는 열량, 9.7 W이고, 둘째는 외기로부터

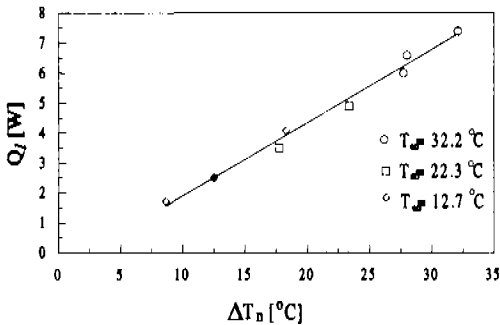


Fig. 9 Heat leakage rate along the temperature difference between storage temperature and ambient temperature

를새와 뚜껑의 외피(C)를 통해 내통(F)으로 전달되는 열량으로서 1.5 W이다. 셋째는 배열부의 내부공간(M)로부터 단열재(D)로의 누설열량(Q)으로서 4.9 W이다. 따라서 저장부에서 배열부로의 유효 펌핑열량(Qe)은 식(6)에 의하여 11.2 W이다. 이로부터 열전모듈 펌핑열량중 70%정도는 저장부에서 배열부로의 유효 펌핑열량이며 30%정도는 배열부에서 냉각부로의 누설열량을 알 수 있다.

그러므로 김치독의 저장부 형상을 크게 변화시키지 않는 범위에서 전자냉동 김치독의 성능을 향상시키기 위해서는 배열부로부터 냉각부로의 누설 열전달을 효과적으로 차폐시키는 방법이 요구된다. 배열부로부터 냉각부로의 누설 열전달량을 감소시키기 위해 배열부 내부 공간(M)의 온도를 저하시키는 것이 요구되며 따라서 배기열량(Qe)을 증가시킬 필요가 있다. 그러므로 성능이 우수한 팬을 사용하거나 냉각공기 유로의 압력손실을 감소시킬 수 있도록 배열부의 구조를 적절하게 개선시켜야 할 것이다.

6.2 누설열량특성

열전모듈의 저온면으로 부터의 열전모듈 펌핑 열량(Qp)과 열전모듈의 전력소비에 의한 발열량(Ee)은 열전모듈의 고온면을 통해서 방열기로 전달된 후 모두 외부로 방열되는 것이 바람직하다. 그러나 방열기로 전달된 열량 중 일부는 열전모듈의 저온면으로 되돌아 가는 누설열량(Ql)이 되며 이는 배열부에서 냉각부로의 원하지 않는 열량흐름이다.

Fig. 9에는 세가지 외기온도에서 외기온도와 내

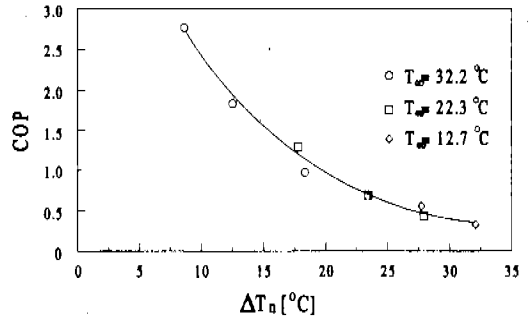


Fig. 10 Performance curve along the temperature difference between storage temperature and ambient temperature.

용물온도와와의 차이(ΔT_n)에 대한 누설열량(Ql)을 나타내었다. 여기서 외기온도와 내용물온도와와의 차이(ΔT_n)는 김치독의 냉각능력을 대표할 수 있는 특성온도차이로서 다음 식과 같이 정의된다.

$$\Delta T_n = T_{\infty} - T_s \tag{8}$$

그림에서 보면 누설열량은 외기온도와 내용물 온도의 온도차이가 증가함에 따라 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이 누설열량은 열전모듈을 사용한 냉동시스템에서 냉각부와 배열부가 가까이 있는 관계로 인해 불가피하게 발생하여, 시스템이 본래 제거하고자 하는 유효 펌핑열량 외에 추가적으로 제거해야 할 열량이 된다. 누설열량은 열전모듈을 이용하여 냉동시스템을 구성할 때 나타나는 시스템 효과(system effect)로 간주될 수 있으며, 효율적인 냉동시스템을 구성하기 위해서는 이를 최소화 시켜야 한다.

대부분의 열전모듈에 관한 연구는 열전모듈의 자체성능을 향상시키기 위해 열기전력을 높이거나 배열부의 성능을 개선하는 방향으로 이루어져 왔으나, 열전모듈이 응용된 장치에서는 누설열량을 고려한 시스템 설계에 관한 연구도 필요하다. 누설열량을 줄이기 위해서는 배열부와 냉각부사이의 단열성능을 높이거나 배열부의 배열성능을 높여 배열부의 온도를 낮추는 방안 등이 있다. 또한 열전모듈 고온면에 덕트나 워터자켓(water jacket) 또는 히트파이프등의 열수송장치를 설치하여 배열부를 냉각부와 최대한 멀리 떨어져 있도록

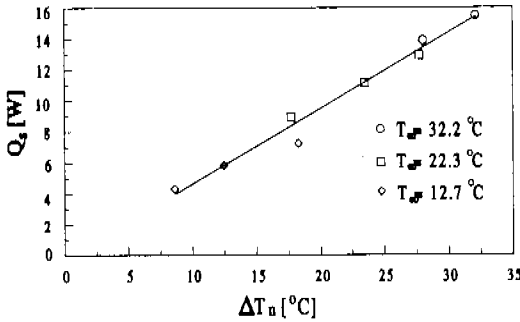


Fig. 11 Net heat pumping rate along the temperature difference between storage temperature and ambient temperature.

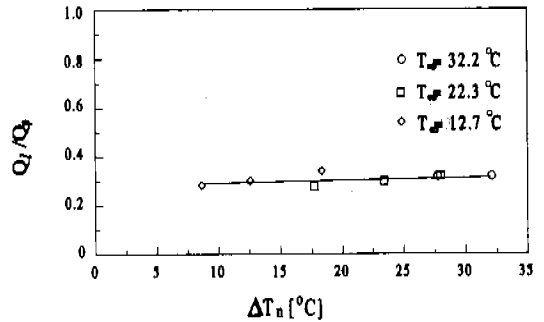


Fig. 13 Ratio of heat leakage rate to heat pumping rate of thermoelectric module along the temperature difference between storage temperature and ambient temperature

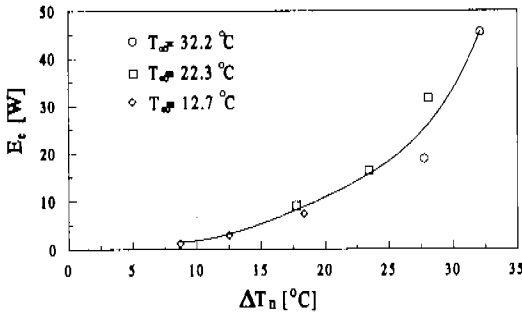


Fig. 12 Energy consumption of thermoelectric module along the temperature difference between storage temperature and ambient temperature

함으로써 하여 누설열량을 줄일 수 있는 방법이 있으므로, 이에 관한 연구가 열전모듈을 이용한 냉동 시스템의 성능향상을 위한 향후 과제가 될 것이다.

6.3 냉동 성능 특성

일반적으로 열전모듈의 성적계수곡선은 열전모듈의 소비전력대비 열전모듈의 펌핑열량을 나타낸다. 그러나 김치독과 같은 실제 냉동시스템에 적용하였을 경우에는 이러한 누설열량을 제외한 유효 펌핑열량을 사용하여 시스템의 냉동성능을 평가하여야 한다.

외기온도에 따른 전자냉동 김치독의 성능 특성을 살펴보기 위하여 세가지 외기온도에서 전자냉동 김치독의 성적계수(COP)를 Fig. 10에 나타내었다. 여기서 성적계수는 열전모듈 소비전력(E_c , [W])에 대한 저장부에서 배열부로의 유효 펌핑열량(Q_s , [W])의 비로서 아래와 같이 정의된다.

$$COP = Q_s / E_c \quad (9)$$

그림에서 보면 성적계수는 외기온도와 내용물 온도의 차이가 8.6~32.1 °C의 범위에서 2.8~0.3의 값을 가진다. 또한 성적계수는 외기온도와 내용물 온도의 차이가 증가함에 따라 지수적으로 감소하는 경향을 보이며 세가지 외기온도 모두에서 다음과 같은 동일한 상관관계식으로 나타낼 수 있다.

$$COP = 5.61 e^{-0.0877(\Delta T_n)} \quad (10)$$

이로부터 특정 전자냉동김치독의 성적계수는 외기온도와 내용물온도와와의 차이로 표현되는 하나의 함수로 표시될 수 있음을 알 수 있다.

외기와 내용물의 온도차이의 증가에 따라 성적계수가 지수적으로 감소하는 이유를 설명하기 위해, 외기온도와 내용물온도와의 차이(ΔT_n)에 대한 유효 펌핑열량(Q_s)을 나타낸 Fig. 11과 외기온도와 내용물온도와의 차이에 대한 열전모듈의 소비전력(E_c)을 나타낸 Fig. 12을 제시하였다. 즉 유효 펌핑열량은 Fig. 11에서 보는 바와 같이 외기온도와 내용물온도와의 차이에 따라 선형적으로 증가했다. 그러나 외기와 내용물사이의 이러한 온도차이를 유지시키기 위하여 필요한 소비전력은 Fig. 12에서 보는 바와 같이 지수적으로 증가한다. 따라서 성적계수는 외기와 내용물의 온도차이에 따라 지수적으로 감소함을 알 수 있다.

참고로 실제 김치독에서 소비전력의 증가는 전력의 켜짐/꺼짐(ON/OFF) 제어에서 켜짐(ON) 시간이 길어짐을 뜻한다.

6.4 유효 펌핑성능

Fig. 13에서 외기온도와 내용물온도와와의 차이 (ΔT_n)에 따른 열전모듈의 펌핑열량(Q_p)에 대한 누설열량(Q_l)의 비율 나타내었다. 누설열량비는 세가지 외기온도 모두에서 외기와 내용물의 온도 차이에 관계없이 평균 31%로 일정하게 나타났으며 이는 열전모듈의 펌핑열량에 대한 저장부로부터의 유효 펌핑열량비(Q_p/Q_b)가 69%로 일정했음을 뜻하기도 한다. 저장부로부터의 유효 펌핑열량비는 열전모듈을 이용한 냉동시스템의 유효펌핑성능(net pumping performance)이라고 할 수 있으며 이 비율은 외기온도나 내용물의 온도에 무관하게 거의 일정한 값을 가지므로 열전모듈을 사용한 냉동시스템에서 성능을 판단할 수 있는 지표로 사용될 수 있을 것이다.

7. 불확실성 검토

본 실험의 정확도를 판정하기 위하여 불확실성⁽³⁾ (U_{COP})을 식 (7)에 의해 계산하였으며, 성적계수에 대한 불확실성은 $1.1 \pm 0.1\%$ 로 나타났다.

$$U_{COP} = \left[\left(\frac{\partial(COP)}{\partial(\Delta T_b)} U_{\Delta T_b} \right)^2 + \left(\frac{\partial(COP)}{\partial I} U_I \right)^2 + \left(\frac{\partial(COP)}{\partial V} U_V \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

위 식에서 ΔT_b , I 및 V 는 각각 전도 상·하단 외 온도차, 전류 및 전압을 나타낸다. 또한, $U_{\Delta T_b}$, U_I 및 U_V 는 각각 ΔT_b , I 및 V 의 불확실성으로서 각각 0.2%, 1.0% 및 0.5%로 산정되었다.

8. 결 론

본 연구에서는 S사에서 생산한 20ℓ 용량 전자냉동 김치독의 열유동 및 성능 특성을 조사함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 누설열량은 열전모듈을 이용하여 냉동시스템

을 구성하였을 때 나타나는 시스템 효과(system effect)로 간주될 수 있으며, 효율적인 냉동시스템을 구성하기 위하여 반드시 고려해 주어야 하는 사항이다.

(2) 누설열량을 줄이기 위해서는 배열부와 냉각부 사이의 단일성능을 높이거나, 배열부의 배열성능을 높여 배열부의 온도를 낮추거나, 배열부를 냉각부와 가능한 멀리 떨어져 있게 하여야 한다.

(3) 전자냉동김치독의 성적계수는 외기온도와 내용물온도와와의 차이만의 함수로서 표시될 수 있으며 외기온도와 내용물온도와와의 차이가 증가함에 따라 지수적으로 감소하는 경향을 보인다. 한 예로서 본 연구에서 선택된 20ℓ 급 전자냉동 김치독의 성적계수를 다음식으로 표시할 수 있다.

$$COP = 5.61 e^{-0.0877(\Delta T_n)}$$

(4) 열전모듈의 펌핑열량에 대한 저장부로부터의 유효펌핑열량비는 열전모듈을 이용한 냉동시스템의 유효펌핑성능(net pumping performance)이라고 할 수 있으며, 이 비율은 외기온도나 내용물의 온도에 무관하게 거의 일정한 값을 가지므로 열전모듈을 사용한 특정냉동시스템에서의 성능을 판단할 수 있는 지표로 사용될 수 있다.

후 기

본 연구는 1998 한양대학교 산업과학연구소의 지원과 한국과학재단 지정 터보기계 연구센터의 지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 조일식, 윤용상, 주문창, 박주석, 양윤섭, 1997, "열전냉각 블록의 실험적 연구," 공기조화 냉동공학회 하계학술발표회 논문집(II), 공기조화 냉동공학회, pp. 554~557.
- (2) Scott A. W., 1974, Cooling of Electronic Equipment, John Wiley & Sons, Inc.
- (3) Kline S. J., 1985, "The Purposes of Uncertainty Analysis", Journal of Fluids Engineering, Vol. 107, pp. 153~160.