열전소자를 이용한 배수형 전자제습기 개발

강덕홍† · 김성완* · 김기홍**

Development of a Drain-Type Electronic Dehumidifier Using Thermoelectric Element

Deok-Hong Kang, Seong-Hwan Kim and Ki-Hong KIm

Key Words : Drain-Type Dehumidifier(배수형 제습기), Thermoelectric Element(열전소자), Cold Side Heat Sink(저온부 흡열부), Hot Side Heat Sink(고온부 발열부), Dew Point Temperature (이슬점), Peltier Effect(펠티에 효과), Condensed Water(응축수)

Abstract

In this study, the Peltier effect was applied to eliminate moistures in the air enclosed by a cabinet. We have developed the new electronic dehumidifier which has a new function of automatically evaporating the condensed water inner cabinet into the outside air. To obtain this function, the processes of dehumidification is that it condensed the moistures on the cold side heat sink and drained it into the hot side heat sink by the both gravitational and capillary forces and the droplets on the hot side heat sink surface was evaporated into the air outside the cabinet by the heat conducted through the hot side heat sink surface and the forced heat convection through the fan for cooling hot side heat sink. Compared to existing electronic dehumidifiers, this manufactured one showed a good performance that the electric power consumption for the same dehumidifying quantity was reduced by 50% compared with that of existing ones.

기호설명

Q_1 : 저온부 흡수열량 (W)
Q_2: 고온부 방열량 (W)
q_h: 고온부 방열량(W)
V: 전압 (V)

1. 서 론

제습기는 함체 내의 수분을 제습하여 함체 외부로 물을 배출하는데, 산업용 제습기의 경우 제습된 물을 모아서 주기적으로 배출하는 형태이거나 혹은 함체 외부의 바닥에 그대로 흘려버리도록 설치되어 있다. 그러나 이러한 방식은 유지 측면에서 번거로움이 있으며, 물을 그대로 버리는 경우에는 사고의 위험 또한 존재한다. 따라서 본 과제에서는 함체 내에서 제습된 물을 함체 밖의 공기로 증발시켜서 배출하는 방식, 즉 사용자 입장에서 제습된 물이 나타나지 않는 새로운 개념의 제습기를 개발하여 산업용 제습기의 유지의 편의성을 도모하고자 한다.

† 회원, 포항산업과학연구원 에너지연구실
E-mail : kangdh@rist.re.kr
TEL : (054)279-6548 FAX : (054)279-6309
* 비회원, ㈜자이벡
** 비회원, 포항산업과학연구원 에너지연구실

2. 이 론

2.1 열전모듈

Seebeck 효과와 Peltier 효과와 같은 열전현상을 이용하면 열을 pumping 하는 장치를 구성할 수 있다. Fig. 1 과 같이 P 형 반도체와 N 형 반도체라는 상이한 반도체를 접촉시켜 전류를 흘리면 Peltier 효과에 의하여 한 접점에서는 열을 흡수하고, 반대편 접점에서는 열을 방출하게 되는데 이를 열전소자라 한다. Fig. 2 는 복수개의 열전소자를 직렬

로 연결해서 사용하는 열전모듈이며, 실제로 시판되고 있는 모듈의 구조이다.

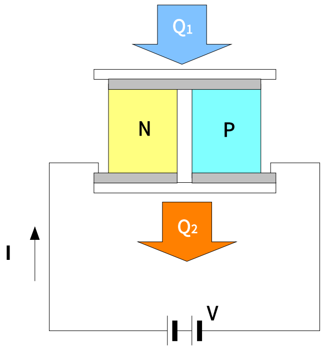

Fig. 1 Schematic diagram of thermoelectric element

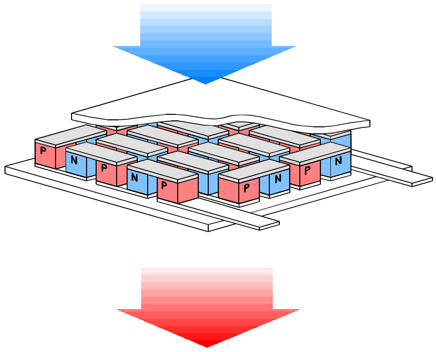
Fig. 2 Schematic diagram of thermoelectric module

2.2 열전모듈 지배방정식 도출

열전냉각에서 중요한 변수는 저온부에서의 흡수열량(q_C)과 저온부 및 고온부의 온도(T_c, T_h) 및 소자의 전류 혹은 전압이다. 열전소자 내에서의 온도분포를 1 차원으로 취급하여 이들 변수간의 관계를 구한다.

Fig. 3 과 같이 P 형 반도체와 N 형 반도체 한 쌍으로 이루어진 열전소자를 하나의 기본단위로 보고 열평형 상태를 분석한다. 열전소자를 중간에서 두 부분으로 나누고 한 부분을 고온부, 다른 부분을 저온부로 규정하며, 그 중 저온부에서의 열평형을 분석하면 다음 등식이 성립한다.

$$q_C + q_J + q_F = q_P + q_T \qquad (1)$$

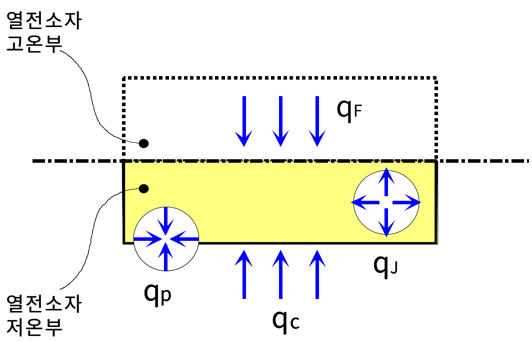

Fig. 3 Heat balance for a thermoelectric element

여기서 q_C 는 외부로부터 열전소자의 저온부로 유입되는 열량의 총합이고, q_P 는 Peltier 효과에 의해 열전소자의 저온부로부터 흡수되어 저온부의 접점으로 방출되는 열량이다. q_J 는 열전소자의 저온부에서 Joule 효과에 의해 발생하는 열량으로써 Joule 발열은 열전소자 전체에서 균일하게 발생한다고 가정하여 저온부에서의 Joule 발열량을 전체 발열량의 절반으로 근사한다. q_F 는 Fourier 효과에 의해 고온부에서 저온부로 전도되는 열량이며 열전소자 내부 온도의 1 차원 분포 가정을 통해 근사하면 식 (1)은 다음과 같이 된다[1].

$$q_c + \frac{1}{2}I^2R + K(T_h - T_c) = I\alpha T_c \qquad (2)$$

여기서 Seebeck 계수 α 는 관련 온도 범위에서의 평균치이고, 온도변화에 따른 변동량이 크지 않다고 가정할 때, Thomson 효과의 영향은 무시될 수 있다[2]. T_h 는 고온부의 온도이며 T_c 는 저온부의 온도이다. K와 R은 물질 A, B에 대한 열전도도 및 전기저항으로 Fig. 4 를 참조하면 다음과 같이 계산될 수 있다[2].

$$K = k_A \frac{A_A}{L_A} + k_B \frac{A_B}{L_B} \qquad (3)$$

$$R = \rho_A \frac{L_A}{A_A} + \rho_B \frac{L_B}{A_B} \qquad (4)$$

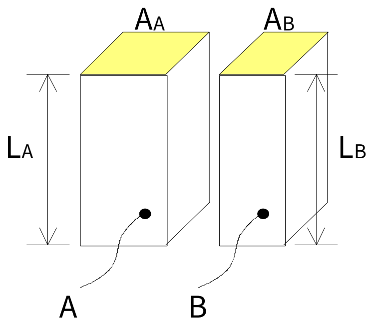

Fig. 4 Cross-sectional area and length of thermoelectric element

여기서 k, ρ 는 각각의 재질이 갖는 열전도계수 및 전기전도도이며 A 와 L 은 소자의 단면적과 길이이고 첨자 A, B 는 물질의 종류를 나타낸다.

열전소자 양단에 걸리는 전압은 Seebeck 효과에 의한 전압강하량과 전기저항에 의한 전압강하량의 합이 된다.

$$V = \alpha(T_h - T_c) + IR \qquad (5)$$

열전소자의 열 출입 및 입력전력에 대해 에너지 수지를 적용하면 다음과 같다.

$$q_h = q_c + VI \tag{6}$$

열전소자 N개가 직렬 연결되어 제작된 열전모듈을 사용하여, 방열기와 휀이 조합되어 방열능력이 hA_o 인 방열기를 열전모듈의 고온부에, 방열능력이 hA_i 인 방열기와 휀을 저온부에 부착하여 Fig. 5 와 같은 전자 제습기를 구성할 수 있다. 이러한 전자냉방기를 외부 공기온도 $T_{a,o}$ 에서 운전하여 냉각대상체의 온도를 $T_{a,i}$ 로 유지하는 경우에 대해 위의 식들을 적용하면 식 (7)~(11)과 같은 지배방정식을 도출할 수 있다[1]. Q_c 는 냉각대상체로부터 열전모듈 저온부에서 흡수하는 열량이며, Q_h 는 고온부에서 외부 공기로 방출하는 열량, I는 열전모듈에 흐르는 전류량, V_m 은 열전모듈 양단의 전압이다.

$$\frac{Q_c}{N} = \alpha I T_c - K(T_h - T_c) - \frac{1}{2} I^2 R \tag{7}$$

$$Q_h = Q_c + I V_m \tag{8}$$

$$\frac{V_m}{N} = \alpha (T_h - T_c) + IR \tag{9}$$

$$Q_h = hA_o (T_h - T_{a,o}) \tag{10}$$

$$Q_c = hA_i (T_{a,i} - T_c) \tag{11}$$

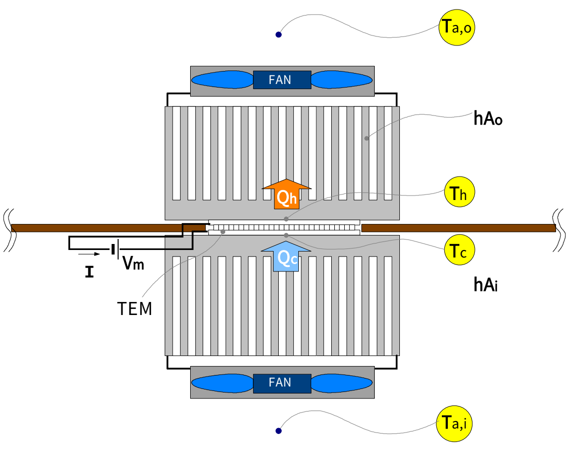

Fig. 5 Schematic view of a thermoelectric dehumidifier

3. 전자제습기 개발

3.1 개념설계

Fig. 6 은 본 연구에서 개발한 제습기의 개념도를 나타낸 것이다. 외부와 격리된 공간부를 제습시키기 위하여, 열전소자와 열전소자의 흡열부와 발열부에 부착된 방열기와 휀, 물 이송부, 케이스를 통해 제습기를 구성하였다. 흡열부 방열기는 제습대상인 공간부에 노출되며, 발열부 방열기는 공간부 외부로 노출되도록 케이스를 설계한다. 흡열부 방열기에서 응축된 물은 고온인 발열부 방열기로 이송되어 제습대상의 공간부 외부로 증발하여 방출된다. 흡열부 방열기를 열전소자 상부에, 발열부 방열기를 열전소자 하부에 위치시키며, 발열부 방열기를 위·아래가 개방된 형태의 방열기 (Sun-flower type heat sink)를 사용함으로써, 흡열부 방열기에서 응축된 물이 아래의 발열부 방열기로 이송되는 구조를 가진다. 흡열부 방열기와 발열부 방열기 사이에는 물 이송부가 위치한다. 물 이송부는 스펀지나 다공질의 세라믹 등의 재질을 사용하여, 물은 통과하면서 공기는 통과하지 못하는 역할을 한다. 위의 구조를 통해서 제습된 물이 수증기 형태로 외부로 배출되므로, 제습된 물을 주기적으로 버려야 하는 기존의 제습 방식에 비해 유지에 대한 편의성이 증대된다. 또한 발열부 방열기의 물을 증발시키는 과정이 발열부의 열 발산을 촉진시키므로 그 결과 제습기의 효율이 증대된다.

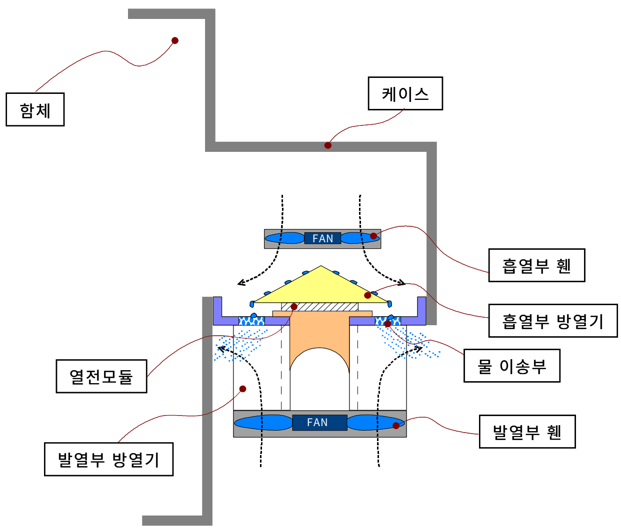

Fig. 6 Conceptual diagram of dehumidifier

3.2 제작

Fig. 7 ~ Fig. 9 에 도시된 바와 같이 제습기를 제작하였다. 열전소자와 흡열부 방열기, 발열부 방열기, 방열기용 휀, 물 이송장치, 케이스로 구성되었다.

3.2.1 흡열부용 방열기

원뿔 형태로 구리를 가공하여 사용하였다. 작은 표면적을 가지게 하여 흡열부용 방열기의 온도가 노점 이하로 충분히 내려갈 수 있게 하였으며, 원뿔의 경사진 면을 통해서 제습된 물이 아래로 흘러내릴 수 있도록 하였다.

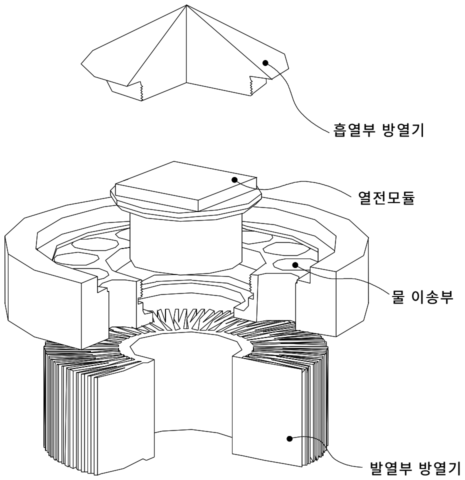

Fig. 7 Part drawing of dehumidifier

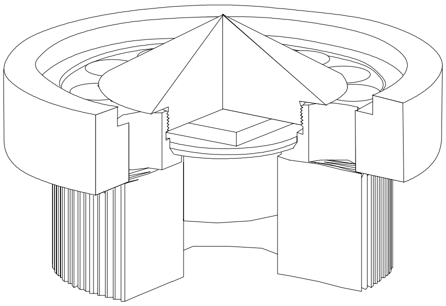

Fig. 8 Drawings of dehumidifier

Fig. 9 Photo of dehumidifier

3.2.2 발열부용 방열기

위·아래가 개방된 형태의 방열기(Sun-flower type heat sink)를 사용하여 흡열부용 방열기에서 제습된 물이 아래의 발열부용 방열기로 흘러내려올 수 있게 하였다. 발열부용 방열기 아래에 휀을 설치하여 아래에서 위로 바람을 불어내도록 하여 방열성능을 향상시켰다.

3.2.3 물 이송장치

물 이송장치는 흡열부용 방열기에서 흘러내린 물이 발열부용 방열기로 이송되도록 가이드를 하며, 스펀지로 채워져 있으며 발열부용 방열기로 노출시켜 흡수한 물을 증발시키는 역할을 한다. 또한 Fig. 7 ~ Fig. 8 에 도시된 바와 같이 물 이송장치의 구조를 통해서 열전모듈에 흡열부 방열기와 발열부 방열기를 밀착시키도록 하여 제습기의 전체 구조를 단순화하였다.

3.2.4 케이스

케이스는 함체 내부의 공기가 제습기의 흡열부 방열기로 흡입되어 제습된 후, 다시 함체 내부로 돌아가며, 제습된 공기가 케이스 밖으로 누설되지 않도록 가이드하는 역할을 한다. 이때 케이스는 투명한 아크릴을 사용하여 흡열부 방열기에서의 제습과정을 가시화하였다.

3.3 성능평가

공기에 노출된 흡열부 방열기의 온도가 공기의 노점온도 이하로 냉각되면 제습과정이 일어나기 시작한다. 방열기의 온도가 낮을수록 제습은 더 원활히 발생하며, 물이 흘러내리기 위해선 얼지 않아야 하므로 제습기의 흡열부 방열기의 온도를 영상이면서 온도가 낮은 5°C로 설정하며, 운전조건은 전자냉방기의 parametric study[1] 에서 찾은 값인 3A를 그대로 사용하였다. 제습기의 성능을 평가하기 위해서 Table 1 과 같은 조건에서의 제습량과 제습기의 전력소모량을 계측한다. 여기서 성능평가를 위한 제습기는 2.2 절에 나타낸 기본 지배방정식들을 가지고 설계 및 제작된 것이다[1].

Table 1 Performance test conditions

$T_{a,o}$ [°C]	$T_{a,i}$ [°C]	RH_i [%]
25	25	80
25	30	80

3.3.1 성능평가 실험

Table 1 의 조건을 형성하기 위한 실험장치를 구성하였으며, 제습기의 흡열부 방열기의 온도를 약 5°C 로 유지하도록 운전하여 제습기의 제습량을 측정하였다.

Fig. 10 Photo of dehumidification process

Fig. 10 에 도시된 바와 같이 제습기의 흡열부 방열기에 제습된 물이 응축되는 것을 확인할 수

있었다. 실험결과 제습량은 200cc/day, 전력소모량은 13W 로 계측되었다. Table 2 와 Table 3 과 같이 열전모듈을 이용한 기존의 상용 제습기와 성능을 비교하였다. Table 2 에서는 25°C, 80% RH 조건에서의 제습량과 전력소모량을 계측하여 국내 A 사에서 개발한 제습기의 성능과 비교하였으며, 그 결과 전력소모대비 제습량이 본 과제의 제습기가 3 배 이상 월등히 높게 나타남을 확인할 수 있다.

Table 2 Comparison of the present results with reference result (25°C, 80% RH)

구분	제습량 [cc/day]	전력소모 [W]	제습량/ 전력소모 [cc/dayW]
A사 제품	50	9	5.56
개발 제습기	205	13.2	15.53

Table 3 에서는 30°C, 80% RH 조건에서의 제습량과 전력소모량을 비교하였으며, 국내 B 사의 제습기에 비해 본 과제의 제습기가 전력소모대비 제습량이 50%가량 더 우월하게 나타났다.

Table 3 Comparison of the present results with reference result (30°C, 80% RH)

구분	제습량 [cc/day]	전력소모 [W]	제습량/ 전력소모 [cc/dayW]
B사 제품	720	50	14.4
개발 제습기	275	12.5	22

4. 결 론

본 연구에서는 열전소자를 이용한 산업용 함체의 전자제습기 적용시 제습된 응축수 유지,관리의 문제점을 해결하기 위한 응축수 자동처리 기술개발을 수행하였다. 이를 통하여 함체 내에서 제습된 물을 함체 외부의 공기로 증발시키는 신개념의 산업용 제습기를 개발하였으며, 동일 전력투입량에 대비 제습량이 기존 제품보다 약 50% 향상을 가져왔다.

참고문헌

(1) Kang, D. H., Kim, K. H. and Kim, S.H., 2006, "Air Conditioner for Industrial Enclosures," Report, September 2005 ~ September 2006., RIST.

(2) Oh, S.J, etc., 2001, “The Study of Development of Air-Conditioning System Using TEM”, Report, January 2000 ~ December 2000., Techno-Cam Corp.