

열전식 제습기 개발

Development of a Thermoelectric Dehumidifier

주 혜호, 이 제원, 이 화조, 권 도중
영남대학교 기계공학부

초 록

열전식 제습기는 제습판과 발열판, 열전식 열펌프, 팬과 모터, 직류 전원공급 장치로 구성되어 있으며, 열전식 열펌프에 직류전원을 공급하면 고온면과 저온면이 발생하는 데 저온면의 온도를 로점온도 이하로 낮각하여 공기중에 있는 수분을 제거하는 원리를 이용한 것이다.

초기 단계로 개발된 열전식 열펌프를 이용한 열전식 제습기(TED-92)는 기계식 제습기에 비하여 제습효율이 너무 낮기 때문에, 본 연구에서는 여러 문제점을 개선하는 방법으로 열전식 열펌프의 선정, 핀 설계, 제습기의 설계 등을 중점적으로 개선하여 열전식 제습기(TED-95)를 개발하였다. 여러가지 방법으로 실험한 결과, 열전식 열펌프 CP1.4-127-045L 2개를 사용하여 발열판의 크기를 300 mm로 하여 단열재를 사용하지 않고 입력 전류를 4A를 입력하였을때 단위전력당 제습량이 가장 많았다. 열전식 제습기와 기계식 제습기를 비교실험 해본 결과, 열전식 제습기가 기계식 제습기에 비해 약 21%의 제습효율을 나타 내었다. 그러므로 초기의 열전식 제습기(TED-92)보다 약 2배의 제습효율을 높였다.

1. 서 론

제습은 공기중의 수분을 목표치까지 감소 시키는 공기조화의 한 분야로 산업과 문명이 발달함에 따라 그 용도 및 중요성이 날로 증가하고 있다. 전자, 기계, 식품, 의약, 방직산업, 장서관리, 사진 감광재료 등 많은 분야에서 습도의 조절은 품질의 향상 및 유지를 위하여 필수적인 조건으로 되어있고, 특히 첨단산업인 반도체 산업과 전산실에서는 정확한 습도조절이 요구되고 있다^[1].

제습의 방식에는 크게 두가지 방법으로 나누는데 하나는 냉동코일에 공기를 통과시켜 제습효과를 유도하는 기계식과 고체 또는 공기중의 수증기가 흡습물질에 흡수 또는 흡착되는 화학적 방식으로 나눌수 있다. 이들 제습 방식에 비해 열전식 제습기는 n-형과 p-형의 반도체로 구성된 열전식 열펌프를 이용하여 열을 발생시키고 흡수시킬 수 있도록 고안되었다. 다른 두개의 재료를 접합할 경우 각각의 열기전력이 다르기 때문에 전위차가 발생하여 전류가 흐른다는 실험 결과를 1821년 Seebeck은 발표하였다. 12년후, 1833년 Peltier는 제백 효과와 반대로 서로 다른 접합부에 전류를 흘리면 그 부분에서 주울열 이외에 열의 발생 또는 흡수가 일어난다는 것을 발견하였다. 이러한 기초적인 발견이 있은 후 1838년 Lenz는 Sb와 Bi의 써미커플(thermocouple)을 이용하여 물을 얼음으로 냉각시키는 실험을 통해 펠티에 효과의 본질 규명을 하였으며, Thomson은 제백계수와 펠티에계수의 상관관계를 밝혔다. 이러한 꾸준한 연구는 1911년 Altenkirch가 열전식 열펌프를 이용하여 냉장고를 제작하였으나 열효율이 불과 1% 미만이어서 실용화되지 못하였다. 그러나

열전식 열펌프는 반도체 재료의 개발과 더불어 1950년경 부터 실용화 되기 시작하였다^[4].

1950년 R.S.Lackey^[5]등은 열전식 열펌프를 이용하여 새로운 설계의 가능성을 보여주었는데, 이들은 유아용 Bottle collar-warmer와 이동식 Hostess cart를 개발하였다. 1959년 W.R.Danielsan^[6]은 온도 제어장치(Temperature controlled chamber)를 열전식 열펌프를 이용하여 개발하였다. 1960년 D.W.Scofield^[7]등은 기계적인 냉동 시스템(Mechanical refrigerating system)과 열전 냉동 시스템(Thermoelectric refrigerating system)을 과학적인 방법으로 생산비용을 비교하여, 열전 냉동 시스템의 장점을 기술하여 예비설계시 적은 비용으로 설계할 수 있는 방법에 대한 연구를 하였다. D.A.Reay와 D.B.A.Macmichael^[8]은 열전식 열펌프에 대한 기초적인 이론을 설명하고, 열전식 열펌프를 이용한 Ice point control 장치를 개발하였다. 1987년 주혜호^[9]등은 열전식 열펌프와 Apple II Micro computer를 사용하여 항온조(Heat chamber)내의 공기 온도를 제어하는 정밀 온도 제어 시스템을 개발하였다.

1992년 김세광^[10]은 열전식 열펌프를 이용하여 제습기 개발의 기초연구를 하였는데, 기계식 제습기에 비해 약 11%의 낮은 제습효율을 나타내었다.

본 연구에서는 초기단계로 개발된 열전식 제습기(TED-92)를 개선하여 열전식 제습기(TED-95)를 개발하였다. 본 연구에서 설계제작한 열전식 제습기(TED-95)의 구조는 제습판과 발열판, 열전식 열펌프, 발열판을 강제공냉시켜 주는 팬과 모터, 그리고 열전식 열펌프에 전원을 공급해 주는 직류 전원공급장치로 구성하였다. 실험장치로는 기계식 제습기(Mechanical

dehumidifier), 열전식 제습기(Thermoelectric dehumidifier), 디지털 습도계(Digital thermohygrometer), 디지털 온도계(Digital thermometer), 제습량을 측정하기 위해 비이커(Beaker)와 메스실린더(Mess-cylinder)를 사용하였다. 실험방법으로는 먼저 열전식 제습기의 구조를 실험을 통해 제습량을 비교하여 그중 가장 단위전력당 제습량이 많은 열전식 제습기의 구조를 선택하였으며, 최종적으로 최적화된 열전식 제습기의 구조로 조립하여, 기계식 제습기와 같은 조건에서 제습량과 전력량을 비교 실험하여 단위 전력당 제습량을 비교하였다. 실험결과 아직까지는 기계식 제습기에 비해 제습효율은 떨어지지만 오존층을 파괴하는 프레온 가스를 대체할 수 있다는 가능성과 보다 우수한 열전식 열펌프와 열전식 제습기의 설계를 보완한다면 빠른 시간내에 실용적인 열전식 제습기의 개발을 기대할 수 있을 것이다.

2. 기존 열전식 제습기(TED-92)의 기술분석

(1) 기존 열전식 제습기(TED-92)의 구조

기존 열전식 제습기는 발열판(Hot plate), 냉각판(Cold plate), 냉각핀(Cold fin), 열전식 열펌프, 팬과 모터(Fan & motor), 직류전원 공급장치(DC power supply)로 구성되었다.

습한 공기가 제습판 윗부분의 덕트를 통해서 제습판에 닿아 제습효과를 이룬 후 팬과 모터에 의해 발열판으로 건조한 공기가 인가되어 발열판 윗부분의 덕트를 통해 건조한 공기가 나가도록 설계되었다.

(2) 열전식 열펌프의 구조 및 원리^[4]

열펌프관 온도가 낮은 물체(Heat source)로부터 온도가 높은 물체(Heat sink)로 열을 직접 전달시키는 열역학 과정(Thermodynamic cycle)이다.

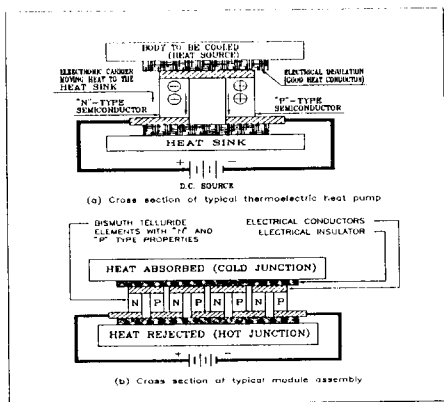


Fig. 1 Structure of the thermoelectric heat pump

열전식 열펌프는 두 종류의 다른 금속이나 반도체에 전류를 통하게 하면 전류의 방향에 따라 그 부위에서 주열열(Joule heat)이외에 열의 발생 또는 흡수가 생기는 현상이 있다. 이 현상을 1834년 프랑스의 과학자 C.A.Peltier가

발견하여 이 현상을 “펠티어 효과”라고 하고 이 효과를 이용하여 열을 발생시키고 혹은 흡수할 수 있도록 고안한 것이 열전식 열펌프(Thermoelectric heat pump)이다.

Fig. 1은 n-형과 p-형의 반도체로 구성된 열전식 열펌프의 구조도이다. 열전식 열펌프는 냉각과 가열의 두 기능을 갖고 있다. 냉각 모드에서 직류전류는 n-형 반도체에서 p-형 반도체로 흐른다. 이때 접합부의 온도가 내려가고 주위로 부딪히며 열을 흡수하게 된다. 이 열의 흡수는 전자가 p-형 반도체내의 고에너지 레벨로부터 n-형 반도체내의 고에너지 레벨로 이동하기 때문이다. 이 열은 전자 이동으로 반도체를 지나 다른 접합부의 끝으로 전달된다. 그리고는 전자는 p-형 반도체내의 저 에너지 레벨로 되돌아 간다.

한개의 n-형 반도체와 p-형 반도체로 구성된 열전식 열펌프 요소만으로는 제 구실을 다할 수 없으므로 여러개의 요소를 전기적으로는 직렬로, 열적으로는 병렬로 연결한 모듈(Module)을 만들었을 때 열전식 열펌프의 제기능을 발휘한다.

(3) 기존 열전식 제습기(TED-92)의 제습판과 발열판의 구조

제습판은 기계식 제습기와 성능을 비교하기 위하여 제습 표면적(6,438 Cm²)을 같게 설계하였다. 1mm의 동판을 산모양으로 접어 냉각판(Cold plate) 위에 고정시켰다. 냉각핀(Cold fin)을 냉각판에 용접하는 것은 제작상 어렵기 때문에 냉각판에 홈을 엔드밀을 사용하여 밀링 가공하여 억지 끼워 맞춤으로 냉각핀과 냉각판을 고정시켰다. 발열판은 제일알루미늄 회사의 제품인 알루미늄 핀 모델 No.44를 사용하였다.

(4) 기계식 제습기와 열전식 제습기의 상사성

열전식 제습기가 냉각방식의 기계식 제습기와 유사한점은 열전식 열펌프가 냉각작용을 하기 때문에 냉각방식의 기계식 제습기와 동일한 목적을 수행한다는 점이다. 구조면에서 기계식 제습기와 열전식 제습기의 상사성을 개략적으로 그리면 Fig. 2와 같다

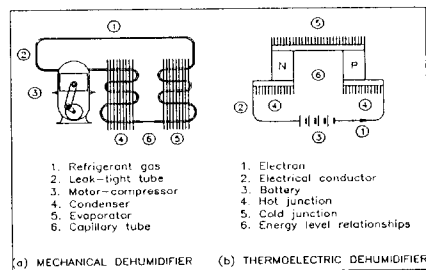


Fig. 2 Analogy of the dehumidifying system

열전식 제습기에서 기계식 제습기의 냉매와 같은 역할을 하는것은 전류이고, 압축기와 모터는 직류전원 공급장치(DC Power supply), 응축기는 고온 발열부, 증발기는 저온 흡열부, 전선은 배관이 각각 대응된다. 이것을 표로 나타내

면 Table 1과 같다.

Table 1 Analogy of the dehumidifying system

MECHANICAL DEHUMIDIFIER	THERMOELECTRIC DEHUMIDIFIER
Refrigerant gas	Electron
Leak-tight tube	Electrical conductor
Motor & Compressor	Battery
Condenser	Hot junction
Evaporator	Cold junction

3. 열전식 제습기(TED-95) 설계

(1) 개선된 열전식 제습기(TED-95)의 구조

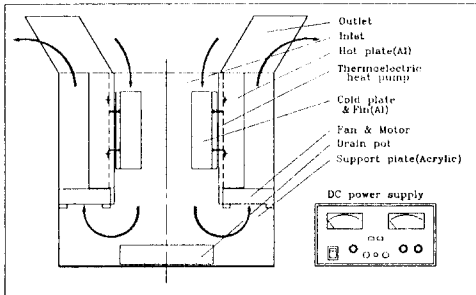


Fig. 3 Schematic diagram of a thermoelectric dehumidifier (TED-95)

Fig. 3은 개선된 열전식 제습기를 개략적으로 표현한 그림이다. 화살표의 방향은 공기의 흐름을 나타내고있다.

열전식 제습기의 사양은 Table 2와 같다.

Table 2 Specifications of the thermoelectric dehumidifier

NO	PARTS	MODEL(SPEC)	Manufacture
1	Thermo-electric heat pump	CP14-127-045L 40W×40L×3.3Hmm	Melcor co., U.S.A.
2	Hot plate	Aluminum, No.44(180g/cm) 252W×300L×65Hmm	Cheil aluminum, Korea
3	Cold plate & cold fin	Aluminum, No.44(180g/cm) 200W×200L×65H mm 2,856W×200L×2Hmm	Cheil aluminum, Korea
4	Fan & Motor	SP101A 1123HST, 115 VAC, 50/60 Hz, 20/18 watts 85/105(CFM), 245×12.5×13inch/CTN	Sunonwealth electric co. Taiwan
5	Thermal compound	No.120-8	Wakefield inc., U.S.A.
6	Support plate	Acrylic plate 272W×534L×560Hmm	Self-fabrication
7	DC power supply	DC 50 V, 0~10 A AC110V/220V, 60 Hz 42W×29L×17H (Cm) DC 50 V, 0~5 A AC110V/220V, 60 Hz 28W×25L×14H (Cm)	Hanil Electric co. Korea Standard-Instrument co. Korea

(2) 제습판과 발열판 설계(TED-95)

기존 열전식 제습기와 제습 표면적(6,261.6 cm²)을 같게 설계 하였다. 기존 열전식 제습기의 냉각판(Cold plate)과 냉각핀의 제질은 동(Cu, Thermal conductivity=318 W/mK)이었다.

그러나 열전도율이 높은 반면 제작상의 어려움과 제질의 가격이 고가였다. 그러나 본 제습기에서는 열전도율은 동에 비해서 약 78% 정도이지만 제품으로된 것을 변형가공하기 때문에 상품화하기 쉽고 가격이 동판에 비해 산 제철 알루미늄 회사의 제품인 알루미늄 핀 모델 No.44(Al, Thermal conductivity=247 W/mK)를 변형 가공하여 냉각판과 냉각핀을 설계하였다.

냉각판의 치수는 200W×200L×11Hmm이고, 냉각판의 갯수는 2개이다. 냉각판의 표면적은 752 cm²이다. 냉각핀의 치수는 2,856W×200L×2Hmm이며, 냉각핀의 표면적은 5,712 cm²이다. 그러므로 총 제습표면적은 6,464 cm²이다.

발열판은 두가지로 제작하였다. 하나는 제습기 제작시 크기를 소형화하기 위해서 냉각판의 세로길이(200 mm)에 맞추어 제작하였으며, 다른 하나는 발열판의 크기에 따른 냉각판의 온도 변화를 비교하기 위해서 냉각판의 세로 길이보다 긴 300 mm로 제작하였다. 발열판의 제질은 냉각판의 제질과 같은 제철알루미늄 회사의 제품인 알루미늄 핀 모델 No.44를 사용하였다. 기존의 열전식 제습기(TED-92)의 제습표면적(6,261.6 cm²)과 같게 설계하였으며, 냉각판을 사이에 두고 양쪽으로 발열판을 구성하여 발열판 아래쪽에 각각 한개의 팬을 설치하여 발열판을 강제 공냉 시켰으며, 직류전원 공급장치(DC power supply)로 전원을 공급하였다. Fig. 4는 개선된 제습판과 발열판의 형태이다.

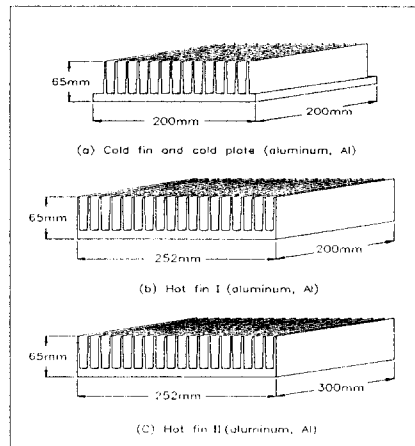


Fig. 4 Configurations of cold plate and hot plate

(3) 팬 선정

기존의 열전식 제습기는 팬을 이용하여 발열판을 공냉 시키는 강제 공냉법을 택하였다. 개선된 열전식 제습기에서도 제습기 구조의 특성상 강제공냉법이 적합하기에 같은 방식을 택하였다. 팬의 선정은 세로이 구성된 제습기의 구조에 의해서 선정하였다.

개선된 열전식 제습기는 양면으로 발열판이 구성되므로 양쪽으로 한개의 팬을 부착하여 발열판의 열방출을 높여, 냉각판의 온도를 내릴 수 있다. 팬은 Sunonwealth사의 SP101A를 사용하였다.

(4) 지지대 설계

지지대를 제작하기 전에 모형 제작을 통해서 구체적인 지지대 설계를 하였다. 특히 실계시 조립된 제습판과 발열판을 제습기 앞면과 뒷면의 지지대 만으로도 지지할 수 있도록 설계하였다. 그리고 팬 부착시 진동으로 인한 소음을 최소한으로 할 수 있도록 설계하였다. 그리고 습한 공기가 제습판에 잘 다울 수 있게 덧트를 설치하였다.

지지대의 재질은 가공하기 용이하고 가벼운 아크릴판(Acrlic plate)으로 하였으며, 아크릴의 두께는 힘이 많이 받는 부분과 적게 받는 부분으로 나누어 각각 10 mm, 2 mm로 선정 하였다.

(5) 단열

열의 이동을 차단함으로써 열전도의 효율을 높일 수 있으므로 제습량에 영향을 준다. 그러므로 열의 이동의 차단 방법으로 단열의 방법을 제시해야 한다.

제습판과 발열판 사이에 열전식 열펌프를 조립할때 스텐 볼트를 이용하는데 이 스텐 볼트를 통해서 발열쪽의 열이 냉각쪽으로 이동한다. 이러한 문제점을 세라믹 에자를 스텐 볼트에 끼움으로써 열의 이동을 막을 수 있다. 그리고 두 판사이에 열전식 열펌프를 부착하므로 그 두께만큼 공간이 생기게 되는데, 이 공간을 통해 열이 지온면으로 이동한다. 그러므로 열차단제인 세라믹 보드(Ceramic board)를 부착함으로써 열의 이동을 억제할 수 있다. 그러나 실제로는 세라믹 보드 부착시 열전식 열펌프와 두께가 같지 않아 열차단을 효과적으로 실행할 수 없다. 이것은 열차단제인 세라믹 보드의 두께를 열전식 열펌프의 두께와 같게 함으로써 열의 이동을 차단 할 수 있을 것이다. 실험을 통해 단열의 방법을 결정하였다.

5. 실험

(1) 실험 장치

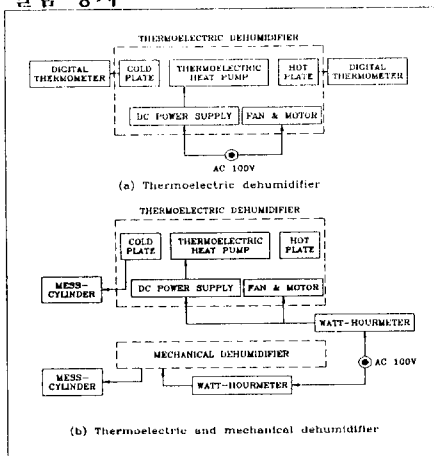


Fig. 6 Block diagram of the experimental set-up

본 연구에서는 두 가지 실험을 하였다. 먼저

제습판과 발열판의 온도와 제습량을 측정하는 실험을 하였고, 다음은 기계식 제습기와 열전식 제습기(TED-95)의 성능을 비교하는 실험이다.

첫번째 실험 장치는 제습판과 발열판, 열전식 열펌프(Thermoelectric heatpump), 직류전원장치(DC powersupply), 디지털 온도계(Digital thermometer) 및 디지털 온습도계(Digital thermohygrrometer), 팬과 모터, 제습량을 측정하는 Beaker 및 Mess-cylinder를 사용하였으며, 두번째 실험장치는 기계식 제습기, 열전식 제습기, 기계식 제습기와 열전식 제습기의 전력을 측정하는 교류용 직산전력계(Watt-hourmeter), 제습판과 발열판의 온도를 측정하는 디지털 온도계, 실내 온도와 습도를 측정하는 디지털 온습도계, 열전식 제습기의 전원공급장치인 직류전원장치, 제습량을 측정하는 Beaker 및 Mess-cylinder 등을 사용하였다.

Fig. 6은 실험 장치의 블럭선도이다. 각 실험장치의 사양은 Table 3과 같다.

Table 3 Specifications of the experimental apparatus

NO	Apparatus	MODEL(SPEC)	Manufacture
1	Mechanical dehumidifier	D-2700-P AC115 V / 60 Hz R-500 38W×33L×55H (Cm)	Kelvinator, U.S.A.
2	Thermoelectric dehumidifier	TED-95 AC 100 V 27W×40L×50H (Cm)	Self-fabrication
3	Watt-hourmeter	115 V / 60 Hz 30(10) A 1-18E type	Taelan electric co.
4	Digital thermometer	-40~260°C	Fluke, U.S.A.
5	Digital thermohygrrometer	0%~100%	Sato-keiryoki, Japan
6	DC-power supply	DC 50 V, 0~10 A AC110V/220V, 60 Hz 42W×29L×17H (Cm) DC 50 V, 0~5 A AC110V/220V, 60 Hz 28W×25L×14H (Cm)	Hanii Electric co. Korea Standard-Instrument Co. Korea
7	Mess-cylinder & beaker	0~100 ml 0~500 ml	Dongsung, Rorex Sinyoung, Diamond

(2) 실험 방법

실험 방법은 제습판과 발열판의 온도와 제습량을 측정하기 위해서, 열전식 열펌프의 깃수를 두가지로, 단열제로 세라믹 보드를 사용 했을 때와 사용하지 않았을 때, 발열판을 냉각 시키는 풍량을 달리 했을 때, 발열판의 크기에 따라 냉각판의 열펌프효과를 알아보기 위해서 발열판의 종류를 두가지로 나누었을 때, 각각의 이리가지 조합으로 구성하여 실험하였다.

위의 실험을 통하여 단위전력당 제습량이 가장 많은 열전식 제습기를 조사하여 최종적으로 기계식 제습기와 성능을 비교하는 실험을 하였다.

6. 실험 결과 및 고찰

(1) 열전식 제습기 결정 실험

기계식 제습기와 열전식 제습기를 비교실험 하기 앞서, 열전식 제습기의 구조를 결정하기 위해서 여러가지 방법을 조합하여 실험한 48가

지의 실험의 결과는 제습판의 한쪽면에 열전식 열펌프 2개를 사용한 실험 결과에서는 단위전력당 제습량이 실험 7과 실험 31의 실험에서 많이 나타났다. 기계식 제습기와 성능비교 실험한 경우 팬의 전력을 고려하여 실험 7의 열전식 제습기를 택하였다. 실험 7의 열전식 제습기의 조건은 발열판의 크기가 300 mm, 단열재를 사용하지 않고, 입력전류를 4 A를 입력한 열전식 제습기이다.

열전식 열펌프를 4개를 사용한 실험 결과에서는 단위전력당 제습량이 실험 19와 실험 43의 실험에서 많이 나타났다. 기계식 제습기와 성능비교 실험한 경우 팬의 전력을 고려하여 실험 19의 열전식 제습기를 택하였다.

실험 19의 열전식 제습기의 조건은 발열판의 크기가 300 mm, 단열재를 사용하지 않고, 입력전류를 4 A를 입력한 열전식 제습기이다.

(2) 열전식 제습기와 기계식 제습기의 성능 비교 실험

Table 4의 실험 49, 50에서 기계식 제습기와 실험 7, 19에 사용되어진 열전식 제습기와의 성능 비교 실험에서 600 분동안 제습량을 비교해보면, 기계식 제습기의 제습량은 5,620 ml, 5,695 ml 이고 열전식 제습기의 제습량은 622 ml, 836 ml이다. 또한 교류용 직산전력계에 나타난 전력량을 비교하면 기계식 제습기의 전력량은 5.17 kwh, 5.18 kwh이며 열전식 제습기의 전력량은 2.79 kwh, 5.17 kwh이다.

Table 4 Comparison of Dehumidifiers

NO	Thermoelectric Dehumidifier			Mechanical Dehumidifier		
	H ₂ O(A) (ml)	Watt(B) (kwh)	A/B (ml/kwh)	H ₂ O(A) (ml)	Watt(B) (kwh)	A/B (ml/kwh)
49	622	2.79	223	5,620	5.17	1,087
50	836	5.71	162	5,695	5.18	1,099

따라서 기계식 제습기의 단위전력당 제습량은 1,087 ml/kwh, 1,099 ml/kwh 이고 열전식 제습기의 단위전력당 제습량은 223 ml/kwh, 162 ml/kwh 이다. 따라서 기계식 제습기에 비해 열전식 제습기의 제습 효율은 약 21 %이다.

7. 결론

본 연구에서는 열전식 제습기를 개발하기 위해서 열전식 열펌프의 모델을 먼저 선정하여 제습판의 온도를 로점온도 이하로 내리는데 필요한 열량을 구하여 열전식 열펌프의 갯수를 이론적으로 결정하였다. 기계식 제습기와 비교 실험하기 위해서 제습표면적을 같게 제습판을 기준에 시판되는 알루미늄 발열판을 병행 설계하여 병행가공하였으며 발열판은 제습판과 같은 기준 시판되는 발열판을 사용하였다. 송풍기로 발열판을 강제 공냉 시켰으며, 열전식 열펌프

와 제습판, 발열판과 열전식 열펌프 사이의 접촉면을 랩핑 가공을 하여, 열그리스로 열전도를 높였다.

기계식 제습기와 성능 비교 실험하기 전에 열전식 제습기의 구조를 결정하기 위해 48가지의 열전식 제습기의 실험을 통해서 단위전력당 제습량을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

여러가지 방법으로 실험한 결과, 열전식 열펌프 CP 1.4-127-045L 2개를 사용하여 발열판의 크기를 300 mm로 하여 단열재를 사용하지 않고 입력 전류를 4A로 한 실험이 단위전력당 제습량이 가장 많았다.

열전식 제습기와 기계식 제습기를 성능 비교 실험한 결과, 기존 열전식 제습기(TED-92)가 기계식 제습기에 비해서 제습 효율이 약 11% 였으나, 본 연구에서 개선된 열전식 제습기(TED-95)는 기계식 제습기에 비해서 약 21%의 제습효율을 보였다. 그러므로 기존의 열전식 제습기(TED-92) 보다 약 2배의 제습효율을 높였다.

참고 문헌

- [1] 이운용, "CFC 대체기술 개발현황과 경제적 이익", 환경보전, 제14권 제244호, pp.1992.7
- [2] 주해호, "열전식 열펌프의 원리와 응용", 대한기계학회지, Vol.25, No.5, pp.400-405, 1985.
- [3] R.S.Lackey, J.D.Meess, E.V.Somers, "Applications of Thermoelectric Cooling and Heating", Refrigerating engineering, December, pp.31-36, 1958.
- [4] W.R.Danielsan, "Temperature-controlled Chamber Using Thermoelectric Cooling", Refrigerating Engineering, February, pp.30-33, 1959.
- [5] D.W.Scofield, P.F.Taylor, L.A.Staebler, "A comparative study of the manufacturing costs of thermoelectric and mechanical refrigerating systems", ASHRAE Journal, July, pp.37-41, 1960.
- [6] D.A.Reay, D.B.A.Macmichael, "Heat Pumps Design and Application", Pergamon press, pp.39-42.
- [7] 주해호, 김교형, 신중철, "열전식 열펌프를 이용한 정밀온도 제어 시스템 개발", 대한기계학회지, Vol.11, No.4, pp.708-715, 1987.
- [8] 김세광, "열전식 열펌프를 이용한 제습기 개발에 관한 기초연구", 영남대학교, 석사학위 청구논문, 1993. 2.
- [9] Parkes, K.G, "Humidity and Dewpoint (Calibration and Standards)", Measurement and Control, Vol.12, No.2, pp.73-77, 1979.
- [10] Melcor Co. "Solid State Cooling with Thermoelectrics".
- [11] 서정윤, 임상순, "냉동공학", 형설출판사, pp.17-19, 1990.
- [12] 주해호, "열전식 제습기", 특허 한국 제3537호, 1993, 한국특허청