

소형 정수기 냉수통의 전자냉각을 위한 열전소자 유닛화 설계

조영태^{a,*}

Unitized Design of Thermoelectric Element for Electronic Cooling of Cold Water Tank in Small Water Purifiers

Young-Tae Cho^{a,*}^a Department of Basic Science, School of Engineering, Jeonju University

ARTICLE INFO

Article history:

Received	3	June	2024
Revised	12	June	2024
Accepted	14	June	2024

Keywords:

Thermoelectric module(TEM)
Thermoelectric element unitization
Cooling device
AL heat sink
Heat dissipation
Water purifier

ABSTRACT

Compressor-refrigerant systems are typically used in water purifiers. However, there is a growing interest in using electric cooling techniques with thermoelectric elements. Although thermoelectric elements have a lower cooling efficiency than compressors, they have several advantages, such as compactness, eco-friendliness, and semi-permanent usability. To meet miniaturization and slim design requirements, home water purifier development has shifted toward incorporating thermoelectric elements for the direct cooling of cold-water tanks. Unlike the conventional method of integrating thermoelectric elements into a cooling block, this new method aims to improve product aesthetics and functionality. However, the durability of thermoelectric elements poses a challenge, resulting in frequent defects while in operation. Therefore, this study focuses on unitizing thermoelectric elements to improve product durability. Unitization enables applications in confined spaces without altering the current product configuration, improving thermoelectric element durability and showcasing superior cooling performance (effectively maintaining the desired temperature of 10°C).

1. 서론

반도체 제조공정 장비의 온도제어 부분과 소형가전 제품에 열전소자(thermoelectric element; TEM)를 이용한 전자냉각 방식의 사용이 늘어나고 있으며, 기타 산업분야의 냉각부분에도 활용이 활발하게 응용되고 있다. 초고속 통신망 기반의 사물인터넷(IoT), AI 기술개발 및 발달로 차량, 산업기기 및 장치, 가전제품 등이 스마트화 및 모바일화로 진행되고 있다. 이를 위한 핵심부품인 소형·고성능의 시스템 반도체 패키지(AP 칩, AI 칩, 차량용 반도체)

의 수요가 기하급수적으로 증가하고 있고, 동시에 출하 제품의 품질보증에 대한 고신뢰성이 요구되고 있다. 이처럼 제품의 고신뢰성 확보를 위해서 메인 FAB 및 기타 장치 또는 장비의 냉각 및 항온장치, 완제품의 테스트 장치 등에 정밀한 냉각온도 유지 및 제어를 위해 전자 냉각시스템이 활용되고 있다^[1,2]. 최근 들어 대기업 가전제품에 열전소자를 적용한 냉각 기술이 늘어나는 추세이며, 특히 소형가전제품인 정수기 분야에 활발하게 적용되어 다양한 모델의 제품이 출시되고 있으며, 지속적인 신규제품 모델 개발이 진행되고 있다. 기존에는 냉매를 사용하는 컴프레서 방식이 주를 이

* Corresponding author. Tel.: +82-63-220-2981

E-mail address: choyt@jj.ac.kr (Young-Tae Cho).

루고 있으나, 이에 반해 동일 규격 기준에서 열전소자(펄티어 모듈, peltier module)의 냉각성능은 뒤지지만 다양한 특·장점을 가지고 있어 응용이 점점 증가하고 있다^[3-7].

현재 생산 판매되고 있는 소형정수기의 냉수 생성은 컴프레서(compressor) 또는 열전소자 냉각방식을 사용하여 온수와 별도로 공급하는 방식이다. 현재 열전소자 전자 냉각방식은 쿨 블록(cool block) 또는 냉각대상물과 방열판(heat sink) 사이에 열전소자를 배치하고 직접 조립하는 구조이다. 이는 오래전부터 사용되는 일반조립 방식으로 정수기 냉수통 냉각을 위해서 냉수통 커버(cover)를 쿨 블록에 조립하여 5°C 냉수를 공급하는 방식으로 양산되고 있었다. 그러나 이러한 일반조립 방식의 열전소자를 적용한 H사 정수기는 보증기간이 지나지도 않은 6개월~1년 이내의 단기간에 냉각 불량 발생하였다. 주원인은 열전소자 일반조립방식의 구조적인 문제로 열전소자의 내구성에 큰 영향을 미쳐 급격한 냉각성능 저하를 유발하는 것으로 확인되었으며, 이로 인해 양산제품 10% 이상의 불량 발생으로 기업 손실이 커지고 있었다.

따라서 D사는 이에 대한 해결 방안을 요구하였다. 단, 기존 완제품내에 조립되는 냉수통 Assy' 생산품의 규격 및 부품 변경을 불허하는 한정된 좁은 공간(열전소자 및 쿨블럭 조립 높이 16 mm)에 설치가 가능하면서 소자의 사용 내구성을 향상시키고, 동시에 기존 생산제품의 냉각성능을 유지하는 조건으로 정교한 설계가 요구된다. 따라서 열전소자의 사용 내구성 향상과 조립 시 기존 조립 방식과 동일 성능을 유지 할 수 있는 열전소자 유닛화 연구를 진행하였다.

2. 열전소자의 유닛화

2.1 열전소자

열전소자는 냉매를 사용하지 않는 고체식 냉각방식으로 소음과 진동 발생이 없고 소형이며, 반영구적으로 사용할 수 있다. 이처럼 소형 열전소자를 적용한 전자냉각 방식은 제품의 소형화와 자유롭게 디자인을 변경할 수 있는 특징을 가지고 있기 때문이다. 열전소자는 Fig. 1과 같은 구조의 고체 냉각방식으로 절연세라믹 사이에 반복적으로 배치된 n, p 반도체 칩을 동판 전극으로 직렬로 연결하고, 전극 양끝단에 와이어를 연결하여 직류(DC) 전원을 인가하면 한쪽에서는 열 흡수(heat absorbed)로 냉각되고, 반대쪽으로 방열(heat rejected)하는 구조로 구동된다. 이때 냉각성능을 향상시키기 위해서는 많은 열량을 빠른 방열에 의한 열교환이 이루어져야 하지만, 한정된 공간에서 최적의 방열을 달성하는 것은 상당한 노하우가 필요하다. 이를 위한 방열 방법은 수냉 및 공랭 방식의 방열로 다양한 방열기구가 사용되고 있으며, 또한 새로운 방열기구 및 융합 방식 등의 개발이 활발하게 이루어지고 있다.

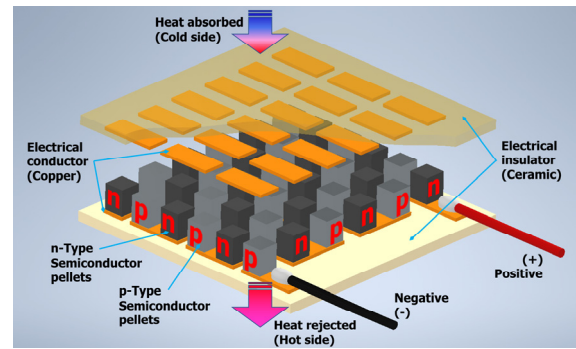
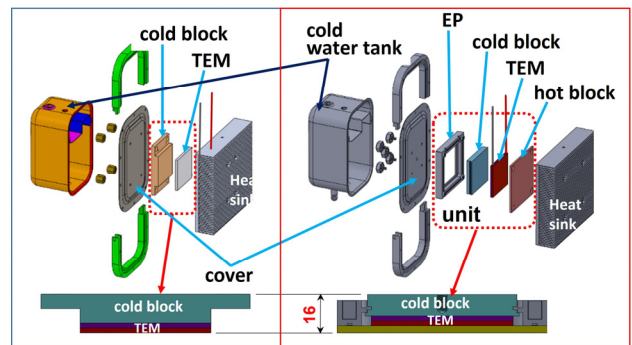


Fig. 1 Inner structures in a thermoelectric element(TEM)



(a) Conventional assembly (b) New developed unit assembly
Fig. 2 Comparison of two thermoelectric module assemblies in the cold water tank of a water purifier

2.2 열전소자 사용 성능향상을 위한 유닛화

현재 생산되고 있는 전자냉각 방식의 소형정수기에서 열전소자 조립방식은 일반적인 조립방식을 적용하고 있으며, 조립구조는 Fig. 2(a)와 같다. 이와 같은 조립방식은 냉수통 덮개(cover)와 방열판 사이에 냉각블럭과 열전소재만으로 구성되고, 냉수통 덮개를 쿨 블럭에 조립하고, 쿨블럭과 방열판 사이에 열전소자를 배치 및 조립하고 단열 후 완성하는 구조이다.

이 방식은 열전소자가 5°C 설정온도에 도달한 후 온도를 유지하기 위해서 열전소자 on/off 제어를 실시한다. 이 과정에서 냉수의 5°C 냉각으로 냉수통 주변의 실온과의 온도차에 의해서 열전소자에서 결로가 발생하게 된다. 열전소자 내부의 n, p형 반도체 칩과 전극 등을 습기로부터 보호하고, 쇼트 방지를 위해서 에폭시 또는 실리콘으로 세라믹 사이의 가장자리와 와이어 연결 전극부분을 밀봉처리를 하게 된다. 밀봉공정의 작업 불량, 열전소자의 냉각 및 가열의 반복과 밀봉재의 시효경화로 인해서 세라믹 판으로부터 박리가 일어난다. 또한 나사 체결 조립과정에서 작업자의 공정 실수로 편하중이 가해질경우 세라믹 및 반도체 칩의 크랙(crack)이 발생하고, 습기가 침투하여 내부에서 반도체 칩 부식과 쇼트로 인해서 제품 불량으로 이어진다. 일반조립방식은 이러한 문제점으로 사용 성능저하 및 내구성이 떨어지는 문제점을 가지고 있었다.

따라서 본 연구는 이미 양산 판매되는 제품에서 냉수통의 전자 냉각을 위한 열전소자 일반조립 방식의 조립공간 높이 16 mm를 벗어나지 않는 구조로 개발해야 하는 조건으로 Fig. 2(b)와 같은 구조의 열전소자 유니트화에 관한 것으로 열전소자의 사용 내구성 향상을 위한 상용화 연구이다. 이 개념도는 새로운 열전소자의 조립방식으로 엔지니어링 플라스틱(engineering plastic; EP) 사출물과 핫 블럭(hot block)을 추가하고, 열전소자를 내부에 밀폐하는 구조의 열전소자 유니트화 방식에 관한 것이다. 이는 밀봉재의 박리나 생산 공정 불량으로 인한 결함이 발생하더라도 습기 침투를 방지함으로써 열전소자의 사용 내구성을 향상시킬 수 있는 구조이다. Fig. 3에 열전소자 유니트화를 위한 실제 설계 도면에 기초한 3D 조립구조 및 조립품의 모델링 도면을 나타내었고, Fig. 4에 AI 쿨블럭 부품 규격을 나타내었으며, (b)는 유니트화 방식의 쿨블럭 90×56×9 t에 열전소자 55×55×4.1 t와 AI 핫블럭 108×82×3 t를 EP 사출물로 조립하고, 붉은색 화살표 부분의 쿨블럭 및 핫블럭과 EP 사이에 에폭시 실링에 의한 밀봉으로 유니트를 완성하게 된다. 기존 일반 조립은 Fig. 4(a) 쿨블럭 90×56×12 t에 열전소자

55×55×4.1 t를 나사 체결로 조립하는 구조이다. Fig. 5에 실제 개발된 열전소자 유니트화 모듈 구조의 기본 완성품의 전면과 후면을 나타내었으며, 현재 소형정수기의 전자냉각 냉수통 양산에 적용되고 있으며, 사용과정에 문제점 발생 시 지속적인 개선을 진행하고 있다.

3. 열전소자 유니트의 냉각 테스트 및 고찰

3.1 냉각 테스트 장치 구성

본 연구에서 사용된 소형정수기는 일본으로 수출되는 H사 양산 모델이다. 전자냉각을 위해 적용된 열전소자는 F사와 Z사의 유사 규격을 사용했다. 기존 일반조립 방식에 사용되고 있던 F사 TEM, F사와 Z사 TEM을 각각 Fig. 2(b)와 같이 유니트화 시제품을 냉수탱크 모듈에 적용하여 냉각성능에 대한 비교 테스트를 수행하였고, 그 결과를 바탕으로 실제 양산에 적용하게 된다. 사용된 열전소자는 35.4 V, 6 A 사양으로 Fig. 6과 같고, 적색 박스안에 열전소자의 성능을 나타내는 Δt 및 Z값은 각 70.4°C, 2.67과 70.6°C, 2.68인 유사 제품을 골라 DC 22 V를 인가하였다. 사양이 결정된 상태에서 제품의 냉각성능 결정에는 열전소자의 발열에 따른 방열성능도 중요한 요소 중의 하나이므로 Fig. 7의 도면과 같이 150×140×32h mm, 47개 핀을 가지고 미소한 높이 및 두께 차이를 보이는 규격의 중량이 각각 750 g, 629 g인 AI 방열판으로 121 g 중량 차이를 보이는 2종류를 테스트에 사용하였다.

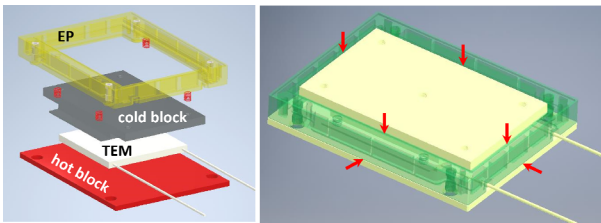
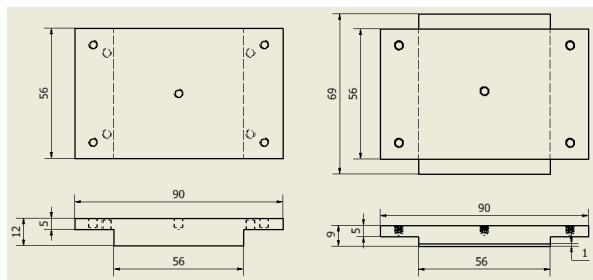


Fig. 3 Unitized-assembly modeling in thermoelectric elements



(a) Convectional cool block (b) Unitized cool block

Fig. 4 Unitized modules of developed thermoelectric elements for cooling cold water tank

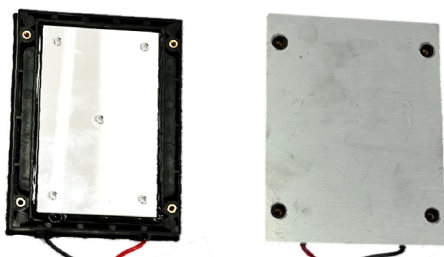


Fig. 5 Unitized modules of developed thermoelectric elements

3.2 냉각성능 비교 테스트 및 고찰

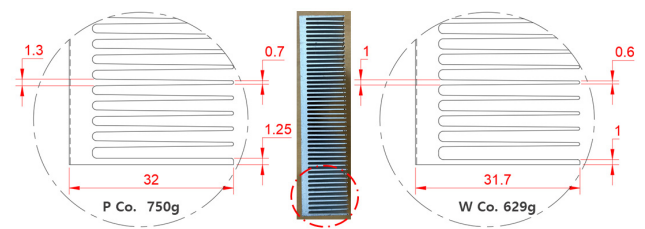
Fig. 8에 일반 조립과 유니트 조립의 냉각성능 비교 테스트를 위한



(a) F Co. TEM

(b) Z Co. TEM

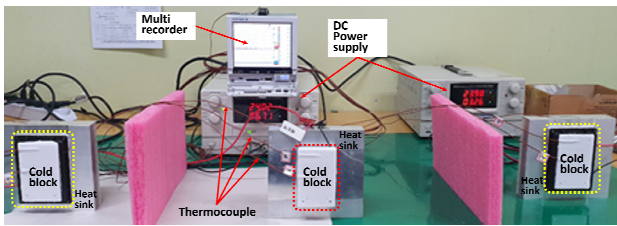
Fig. 6 Comparison of F Co. TEM with Z Co. TEM in specifications



(a) Initially-applied heat sink

(b) Design changes in heat sink

Fig. 7 Schematic drawing in AI heat sink



(a) F TEM unit (b) Conventional ass'y (c) Z TEM unit ass'y
Fig. 8 Comparison test of conventional assembly with Z TEM unit assembly for cold water tank in unit assembly

Table 1 Comparison of performance according to assembly method

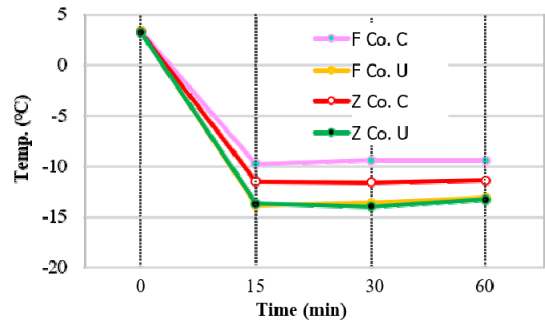
(room Temp. 30°C)

TEM	Current [A]	Top of cool block [min]			Center of cool block [min]			Heat sink [min]		
		15	30	60	15	30	60	15	30	60
F Co. Conventional ass'y [°C]	3.38	-9.8	-9.4	-9.4	-11.1	-10.6	-10.5	39.4	40.1	40.1
F Co. TEM Unit ass'y [°C]	3.39	-13.8	-13.6	-13.1	-14.3	-14.2	-13.6	39.1	39.3	39.9
Z Co. Conventional ass'y [°C]	3.27	-11.5	-11.6	-11.4	-11.7	-11.8	-11.5	39.8	40.5	40.6
Z Co. TEM Unit ass'y [°C]	3.27	-13.7	-14.0	-13.3	-14.4	-14.8	-14.2	39.5	39.4	39.7

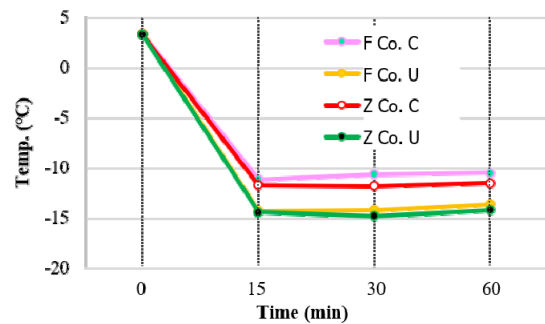
장치 구성을 나타내었다. Fig. 7(a)는 F사 TEM의 유닛화모듈을 설치하였고, (c)에는 Z사 TEM의 유닛화 모듈을 설치하였고 (b)에는 종래의 일반조립 방식으로 F사와 Z사 TEM을 설치하여 테스트를 진행하였다.

양산되고 있는 소형 정수기의 냉수탱크가 장착되는 공간이 제한적이다. 따라서 냉수 탱크 규격은 변경할 수 없어 냉각성을 향상시키기 위한 냉각 블럭과 방열판이 장착되는 공간의 확장 불가능한 상태이다. 그러므로 쿨블럭과 열전소자의 높이가 16 mm로 정해진 협소한 공간에서 각각의 부품 치수를 변경하여 최적의 냉각 성능을 도출해야만 하는 상황이다. 이러한 조건에서 개발된 사출물 규격을 바탕으로 시제작 된 Fig. 5의 열전소자 유닛화 모듈과 종래의 일반조립 방식을 바탕으로 Fig. 8과 같이 냉각성능 비교 테스트를 실시하였다.

테스트 결과 Table 1과 Fig. 9와 같은 결과를 얻었다. 이는 F사 및 Z사의 거의 동일한 규격의 TEM을 일반조립 방식과 유닛화 모듈을 설치하고, 주위 온도 30°C 상태에서 정수기 컨트롤러의 냉각 모듈 구동 전압 DC 22 V를 인가한 후, 60분 동안 각각 테스트한 결과로 쿨블럭의 위쪽과 중앙 부분의 온도 변화 데이터를 얻었다. 그 결과 열전소자의 소비 전류는 일반조립 방식과 유닛화 조립방식 모두 제조사별로 거의 동일하게 소비되었으나, Z사 열전소자의 소비전력이 약 0.1 A 정도 다소 적게 소비되었지만, 냉각성능은 우수하게 나타남을 알 수 있었다. 또한 열전소자가 부착된 쿨블럭 중앙부의 온도가 더 낮았으며, 기존 일반 조립방식보다 개발된 유



(a) Conventional assembly method in TEM



(b) United assembly method in TEM

Fig. 9 Cooling performance comparison test results of conventional assembly with unit assembly for cold water tank

닛화 모듈의 냉각성능이 더 우수함을 알 수 있었다. 그리고 방열판의 온도 변화를 보면 유닛화 조립구조의 경우가 냉각성능이 우수하지만 방열 온도가 낮게 나오는 것을 볼 수 있었다. 이는 냉각 열전소자를 유닛화 함으로서 에너지 손실이 적어 냉각성능이 향상되며, 요구되는 냉각성능 유지력이 향상되어 냉각손실이 적어 발열량이 줄어든 것으로 판단된다. 또한 유닛화 구조는 EP 내부의 공간 일부분이 제작공정에서 진공상태로 됨으로서 방열측에 의한 냉각측으로 열전달이 잘되지 않아 냉각손실이 줄어들고, 냉각측과 방열측으로의 열전달이 더 원활(크게 발생)하여 에너지 효율상승이 이루어지는 구조로 판단되며, 유닛화 구조의 설계 유효성도 확인되었다.

양산되는 정수기의 컨트롤러에서 냉각 모듈의 구동 전압이 DC 22 V로 정해져 있어 미묘하게 차이가 발생하는 각사의 열전소자의 최대전압과 Δt 및 성능지수의 미세한 차로 구동에 따라 전류량에 미세한 차이가 발생하게 되고, 이로 인해 냉각성능도 미묘한 차이가 발생하게 되며, 동일한 방열판을 사용하여도 방열성능에 차이로 인해서 냉각성능이 달라질 수 있을 것이다.

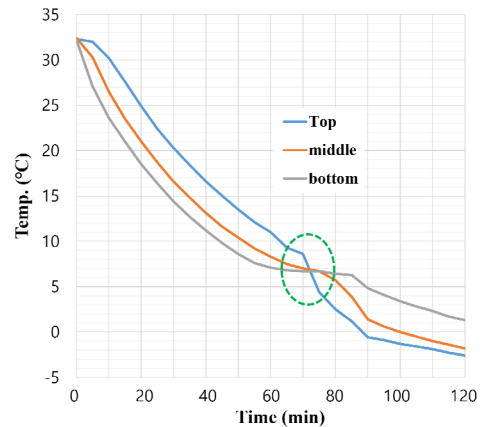
이 결과를 바탕으로 개발된 Z사 열전소자를 사용하여 16 mm 두께의 유닛화 양산에 적용하여 냉수 탱크를 조립 생산 진행 후 시판이 진행되었다. 그러나 양산과정 알 수 없는 이유로 소비자로부터 냉각성능에 문제가 발생하여 냉수가 생성되지 않고, 방열용 팬이 계속해서 멈추지 않고 회전하는 현상이 일어난다는 민원이

Table 2 Comparison data of cooling performance according to heat sink change (room Temp. 32°C, supply water 3 2°C)

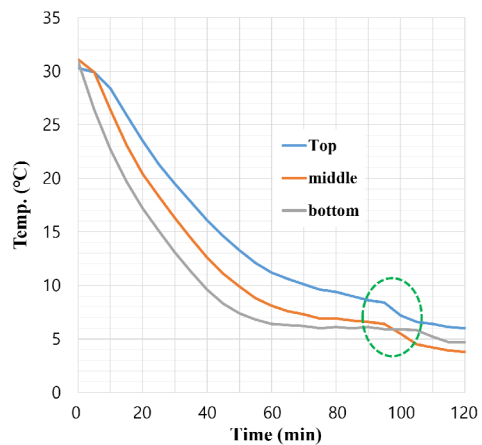
(a) Initially-applied heat sink				(b) Design changes in heat sink			
time (min)	Temp. of cool block (°C)			time (min)	Temp. of cool block (°C)		
	Top	middle	bottom		Top	middle	bottom
0	32.3	32.4	32.2	0	30.3	31.1	30.9
5	32	30.3	27.1	5	29.9	29.9	26.4
10	30.2	26.5	23.6	10	28.4	26.4	22.7
15	27.6	23.5	21	15	25.9	23.1	19.7
20	24.9	21	18.5	20	23.5	20.4	17.2
25	22.4	18.7	16.4	25	21.3	18.3	15.1
30	20.3	16.6	14.4	30	19.5	16.3	13.1
35	18.4	14.8	12.7	35	17.8	14.4	11.3
40	16.6	13.1	11.2	40	16.1	12.6	9.6
45	15	11.6	9.8	45	14.6	11.1	8.3
50	13.5	10.4	8.6	50	13.3	9.9	7.4
55	12.1	9.2	7.6	55	12.1	8.8	6.8
60	11	8.3	7.1	60	11.2	8.1	6.4
65	9.3	7.5	6.8	65	10.6	7.6	6.3
70	8.6	7	6.7	70	10.1	7.3	6.2
75	4.4	6.7	6.7	75	9.6	6.9	6
80	2.5	5.7	6.4	80	9.4	6.9	6.1
85	1.2	3.9	6.3	85	9	6.7	6
90	-0.6	1.4	4.8	90	8.6	6.6	6.1
95	-0.9	0.6	4.1	95	8.4	6.4	5.9
100	-1.3	0	3.4	100	7.2	5.5	5.9
105	-1.6	-0.5	2.8	105	6.6	4.5	5.8
110	-1.9	-1	2.3	110	6.4	4.2	5.2
115	-2.3	-1.4	1.7	115	6.1	3.9	4.7
120	-2.6	-1.8	1.3	120	6	3.8	4.7

발생하였다. 이로 인해 정수기 완제품 생산업체에서는 열전소자 유닛화 문제를 제기하기 시작하였고, 이를 규명하기 위해 다양한 검토를 진행하게 되었다. 이 과정에서 방열판 공급기업의 압축 금형 설계 사양 변경으로 방열성능 변화로 냉각불량이 발생된 것을 확인하게 되었다. 확인된 결과를 바탕으로 양산되는 냉수탱크 2대에 Z사의 열전소자 유닛화 모듈을 설치하고, Fig. 7과 같은 규격의 (a) 초기 설계 후 양산에 적용했던 방열판, (b) 설계 변경되어 공급되던 방열판을 유닛화 모듈의 핫블럭에 각각 설치하고 냉각 성능 비교 테스트를 실시하였다. 테스트 환경 조건은 주위 온도 32°C, 상대습도 50%, 공급되는 물 온도 32°C 상태에서 120분 동안 냉각 사이클 구동 테스트를 실행하였고, 정수기에 설치되는 환경을 고려하여 방열판의 한쪽 면을 밀폐하고, 열배출을 제한하는 조건을 구현하고 진행하였다. 그리고 냉수 탱크 내의 상부, 중앙 및 하부에 열전대(thermocouple)을 장착하고 온도 변화 분포를 측정하였으며, 그 결과를 Table 2와 Fig. 10에 나타내으며, (a) 초기 양산 적용 방열판이고 (b)는 설계가 변경된 방열판의 데이터 및 냉수통 내부 온도 분포 그래프의 결과이다.

정수기 냉수통의 냉수는 실제로 10°C 이하로 요구되며, 테스트 결과 Table 2 및 Fig. 10에서 알 수 있듯이 모두 요구온도에 도달함을 알 수 있으나, 냉수통 하부온도가 7°C에 도달하는 시간은



(a) Initial design in a heat sink



(b) Design changes in a heat sink

Fig. 10 Cooling performance temperature distribution with initial production and design changes in a heat sink

Fig. 6(b)의 변경된 방열판이 5분 정도 빠르게 요구온도에 도달하지만, Fig. 10(b)에서 알 수 있듯이 상·중·하부의 온도 변화 그래프를 보면 3개의 데이터 모두가 서로 교차하지 않고, 95-100분 사이에 중·하부의 데이터만 교차한 후 지속적으로 일정하게 유지함을 알 수 있다. 반면에 Fig. 6(a)를 적용한 기존 양산 방열판의 경우, 냉수통 하부의 냉수 온도가 7°C에 도달하는 시간이 약 5분 정도 다소 늦지만 탱크내 상·중·하부의 냉수 온도 변화가 70-75분 사이에 그래프가 모두 서로 교차하는 지점이 발생함을 알 수 있었다. 이는 정수기 제품설계 시 냉수 온도 및 제어 포인트로 활용되는 지점으로 열전소자로부터의 방열량에 따른 방열판 설계 시 활용되고 있다.

이 결과에서 알 수 있듯이 설계 변경된 방열판의 경우 초기 양산 방열판과 비교하면 핀수는 47개로 같지만 얇아지고, 높이가 0.3 mm 낮아져 중량이 121 g 줄어들어서 약 16% 살빼기 설계 결과로 완제품의 성능변화 초래하였고 완제품 불량으로 이어졌다. 여기에서 알 수 있듯이 미세하게 방열판을 변경한 방열판 공급기업의 작은 실수로 제품 성능에 큰 문제를 발생시키는 계기가 되었으며,

이는 방열판의 미세한 변화에도 최적 방열에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

소형 정수기는 디자인 및 제품 특성상 내부가 협소함으로 열전소자를 이용한 전자냉각 방식을 위한 열전소자 및 방열판 설계 변경 여유가 없는 구조이다. 또한 기존 양산에 적용되던 열전소자의 조립방식에 의한 내구성 문제로 발생하는 냉각 불량 문제 해결을 위해서 기존 제품의 구조 변경 불허, 냉각 모듈 높이 16 mm로 제한된 조건에서 기존 냉각성능을 유지할 수 있는 방안으로 열전소자 유닛화 모듈을 개발하였다. 2종 열전소자의 일반 조립과 유닛화 조립품에 대해서 주위 온도 30°C에서 60분 동안 비교 테스트 진행한 결과 성능개선 효과 나타났으며, 한정된 공간에서 일반조립 방식보다 본 연구에서 구현된 유닛화 조립방식의 냉각성능이 더 우수함이 확인되었다.

또한 유닛화 모듈을 적용하여 양산 중인 냉수통에 2종의 방열판을 설치하여 방열 테스트를 수행한 결과, 방열판의 경우 미세한 설계 변경으로도 제품의 냉각성능을 좌우할 수 있으며, 제품의 온도 및 구동 제어 포인트에 크게 영향을 미치게 되고, 이는 제품 불량의 원인으로 진행되는 것을 알 수 있었다.

References

[1] Son, D. S., Dong, S. H., Lee, W. Y., 2021, Development of Automatic Temperature Control Module for Semiconductor Test Process Using Thermoelectric Element, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 30:1 31-36, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2021.30.1.31>.

[2] Lee, K. J., Jeong, K. S., Park, S. M., 2010, Improvement of the

Uniformity of Temperature Distribution inside Semiconductor Test Equipment Chamber, Journal of The Korea Academia-Industrial cooperation Society, 11:10 3626-3632, <https://doi.org/10.5762/KAIS.2010.11.10.3626>.

[3] Chon, H. S., Moon, S. E., 2015, Application Trends in Thermoelectric Materials, Electronics and telecommunications trends, 30:1 144-153.

[4] Yoo, S. Y., Hong, C. P., Shim, W. S., 2004, A Study on the Performance of Thermoelectric Module and Thermoelectric Cooling System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 16:1 62-69.

[5] Im, C. H., 2014, Experimental Study on the Cooling Performance of a Refrigeration System using Thermoelectric Module, Master Thesis, Korea University, Republic of Korea.

[6] Cho, Y. T., 2020, Forced Heat Dissipation in 120 W Street LED Using Thermoelectric Modules, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., 29:4 281-287, <https://doi.org/10.7735/ksmte.2020.29.4.281>.

[7] Cho, Y. T., Ma, S. D., 2018, Cooling Performance Enhancement of Small Water Purifier using the Thermoelectric Module, Proc. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng. Autumn Conf., 123.



Young-Tae Cho

An Associate Professor at the Dept. of Basic Science, College of Engineering, Jeonju University.

He is interested in Product and Mechanical Design, Nondestructive Testing and Evaluation using Infrared Thermography.

E-mail: choyt@jj.ac.kr