



응축수를 활용한 열전 냉각장치의 회로 모델링 및 시뮬레이션

Circuit Modeling and Simulation for Thermoelectric Cooling System using Condensed Water

이상윤* · 장석윤** · 박민용* · 윤창용***†

Sang-Yun Lee, Sukyoon Jang, Mignon Park and Changyong Yoon[†]

*연세대학교 전기전자공학과, **엘제이텍 & 한국전자통신연구원, ***수원과학대학교 전기과

School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

LJTEC Co. Ltd & Electronics and Telecommunications Research Institute

[†]Department of Electrical Engineering, Suwon Science College

요 약

본 논문에서는 응축수를 활용하는 새로운 열전 냉각장치를 소개하고 이 냉각장치에 대한 전기적 등가회로 모델을 제안한다. 소개된 냉각장치는 수집된 응축수를 히트싱크로 분무함으로써 응축수를 처리함과 동시에 냉각 효율을 향상시킬 수 있다. 기존의 열전 냉각장치에 대한 회로 모델과 열전소자-응축수 간의 열교환 방정식을 결합함으로써 소개된 냉각장치의 전기적 등가회로 모델을 유도한다. 유도된 모델의 파라미터는 별도의 실험을 통한 데이터 측정 없이 열전소자의 데이터시트 정보만으로 결정되기 때문에 소개된 냉각장치의 제어기를 설계하는 단계에서 해당 모델이 유용하게 사용될 수 있다. 제안된 모델의 타당성을 모의실험을 통해 확인하고 기존의 열전 냉각장치와 성능을 비교함으로써 응축수를 활용한 열전 냉각장치의 우수성 또한 검증한다.

키워드 : 열전 냉각장치, 열전 소자, 응축수, 회로 모델링

Abstract

In this paper, a novel thermoelectric cooling system utilizing condensed water is introduced and its electrical equivalent circuit model is proposed. The introduced system can deal with the condensed water and improve efficiency by spraying the condensed water on heat sink. The electrical equivalent circuit model is derived by combining the circuit model of the classical thermoelectric cooling system with equation of heat exchange. Because the parameters of the model can be defined from not other experimental data but just the data sheet of the thermoelement, the model can be useful to design and develop the controller of the proposed system. We verify that the proposed model is valid and the introduced system is more efficient than the previous thermoelectric cooling system through simulations.

Key Words : Thermoelectric cooling system, Thermoelement, Condensed water, Circuit modeling.

Received: Feb. 2, 2015

Revised : Apr. 2, 2015

Accepted: Apr. 4, 2015

[†]Corresponding author(cyyoon@ssc.ac.kr)

본 논문은 2014년도 중소기업청의 산학연협력
도약기술개발사업(과제번호:C0212947)의 지원을
받아 수행되었음

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

최근 IT산업을 비롯한 각종 산업 분야에서 제작되는 전자제품들이 소형화, 고밀도화의 추세를 따르고 있다. 이를 충족하기 위해 사용되는 산업 장치들을 구동하기 위해서는 높은 발열이 불가피하게 일어난다. 이러한 발열로 인해 장치들의 성능이 약화되거나 수명을 줄어드는 문제가 발생한다. 따라서 발열을 하는 장치들의 성능을 극대화 하고 수명을 유지하기 위해서는 발열부위를 냉각하여 최적의 온도를 유지하도록 하는 별도의 냉각장치가 필요하다.

기존의 사용되고 있는 냉각장치는 일반적으로 프레온 가스나 암모니아를 냉매로 사용하는데, 이와 같은 냉매들은 심각한 환경오염을 야기하는 물질들이며 장치의 크기가 크고 에너지소비 측면에서도 비효율적이고 불필요한 소음과 진동까지 발생한다[1]. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 열전소자를 이용한 냉각장치가 개발되었다.

이 방식은 전류의 극성에 따라 열을 흡수하고 방출하는 열전소자를 이용한 방식으로써 기존의 냉각장치 장치에 비해 환경오염이 없으며 정밀한 온도제어가 가능하고 저소음, 소형화 등의 장점이 있어 아직까지도 기술개발이 진행 중인 방식이다[2-3]. 그러나 열전 냉각장치에서는 공기 중의 수증기가 냉각되어 응축수가 생기기 때문에 이를 처리하기 위한 별도의 장치가 필요하다. 일반적으로 별도의 펌프를 통해 장치 외부로 내보내거나 가열하여 증발시키는 방법이 사용된다. 이러한

방법은 펌프의 지속적인 관리가 요구되거나 응축수를 가열하는 방식의 경우 주변 온도의 증가시켜 본래의 목적인 냉각성능을 저해하는 문제를 초래한다.

최근에는 기존 초음파가습기의 원리를 이용하여 응축수를 기화시키는 흡열 기화식 냉각장치가 (쉴엘제이텍에 의해 제안되었다. 이 방법은 일정량 이상으로 모인 응축수를 초음파진동자를 이용해 기화시켜 히트싱크로 분무하는 방식으로써 응축수 처리 문제를 해결함과 동시에 냉각성능을 향상시키는 장점도 있다.

이 응축수를 활용한 열전 냉각장치를 제작하기에 앞서 모의실험을 통해 냉각 효율에 대한 사전연구를 진행할 필요가 있다. 최근에 열전소자의 모델링에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으며[5-9], 특히 열전소자의 전기적 등가 회로를 모델링하는 연구가 수행되어 왔다[5-7]. 본 논문에서는 기존의 열전 냉각장치의 회로 모델과 응축수-열전소자 간의 열교환 방정식을 결합하여 응축수를 활용한 열전 냉각장치의 전기적 등가 회로 모델을 유도하는 과정을 보인다.

이 과정을 통해 유도된 모델의 파라미터를 결정하기 위해서는 별도의 데이터를 얻기 위한 실험이 필요하지 않고 열전소자의 데이터 시트에 명시된 스펙만이 사용되므로 냉각장치를 개발하기에 앞선 사전연구에 유용하게 사용될 수 있다. 본 논문에서는 총 세 가지 모의실험을 진행한다. 두 모의실험을 통해 유도된 모델의 타당성을 검증하고 기존의 열전 냉각장치의 회로 모델을 대상으로 진행한 모의실험을 통해 응축수를 활용한 열전 냉각장치가 소비전력 면에서 더 효율적으로 구동됨을 검증한다.

본 논문의 전체적인 구성은 총 5장으로 구성되어 있다. 1장의 서론 다음으로, 2장에서는 사전 연구로써 본 연구의 바탕이 되는 응축수를 활용한 열전 냉각장치를 소개하고, 기존의 열전 냉각장치에 대한 전기적 등가 회로 모델에 대한 내용을 설명한다. 3장에서는 응축수-열전소자 간의 열교환 방정식을 도입하여 응축수를 활용한 열전 냉각장치의 전기적 등가회로 모델을 유도하는 과정을 보인다. 4장에서는 실제 열전소자에 기반하여 진행된 모의실험을 설명하고, 결과를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 사전 연구

2장에서는 기존의 열전 냉각장치에 대한 전기적 등가 회로 모델에 대한 내용을 설명하고, 본 연구의 바탕이 되는 응축수를 활용한 열전 냉각장치를 소개한다.

2.1 기존 열전 냉각장치의 회로 모델링

열전소자는 여러 개의 p-type과 n-type의 열전 반도체 막대 N 개를 전기적으로는 직렬, 열적으로는 병렬로 연결한 것이다. 열전소자가 구동되는 동안에는 제벡효과, 펠티어효과, 톰슨효과, 주울효과라는 네 가지의 현상에 의해 열 전달이 일어난다. 이 중, 톰슨 효과는 열전소자에서는 매우 미미하므로 무시하도록 한다. 또한 열전소자는 열전도율이 높은 세라믹으로 제작되었기 때문에 각 반도체 막대의 양 끝의 온도가 동일하다고 가정하면, N 개의 반도체 막대를 한 개의 반도체 막대로 간주하여 모델링할 수 있다.

열전도율 κ_{th} 를 갖는 열전소자의 열전도 현상은 푸리에의 수학적 식으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q_{th} = -\Delta T \kappa_{th} \tag{1}$$

여기서 Q_{th} 는 전도량, ΔT 는 열전소자 양 쪽의 온도 차이다. 주울효과는 열저항에 의해 에너지가 소비되는 현상을 말하며, 소비되는 열은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_J = I^2 R \tag{2}$$

여기서 I 와 R 은 각각 열전소자에 흐르는 전류와 전기적 저항이다. 이 열량은 열전소자 양 쪽에 동일하게 나뉘어 발생한다고 가정한다. 펠티어효과는 결합된 두 도체에 전류가 흐를 때, 한 쪽의 접점은 발열하여 온도가 상승하고 다른 쪽의 접점은 흡열하여 온도가 낮아지는 현상이다. 펠티어효과에 의해 발열(Emitting)하거나 흡열(Absorbing)하는 열은 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_{PE/PA} = SIT_{E/A} \tag{3}$$

여기서 S 는 열전소자의 제벡계수를 나타낸다. 도체의 양 쪽에 온도의 차이가 있을 경우, 온도가 높은 고온부와 온도가 낮은 저온부 사이에 열기전력이 발생하는데 이것을 제벡효과라고 한다. 이 열기전력 U_S 는 다음과 같다.

$$U_S = S \Delta T \tag{4}$$

따라서, 열전소자의 출력 전압은 다음과 같다.

$$V = U_S + IR \tag{5}$$

또한 식 (1)~식 (4)로부터, 정상상태에서 열전소자가 외부로부터 방출, 흡수한 열량을 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$Q_A = SIT_A - \frac{1}{2} I^2 R - \kappa_{th} \Delta T$$

$$Q_E = SIT_E + \frac{1}{2} I^2 R - \kappa_{th} \Delta T \tag{6}$$

식 (6)는 전기적으로 키르히호프의 전류식과 유사하므로 전기적 등가 회로 모델로 표현 가능하다. 이를 회로로 표현한 그림은 다음과 같다.

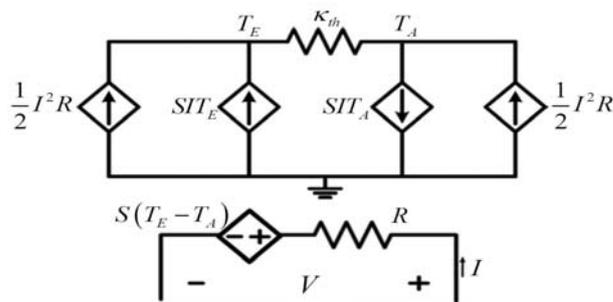


그림 1. 기존 열전 냉각장치의 회로 모델

Fig. 1. Circuit model of the classical thermoelectric cooling system

그림 1에서 보이는 바와 같이, 열적 모델의 온도와 열은 각각 전기적 모델의 전압과 전류로 치환된다. 또한 열적 모델의 열용량은 전기적 모델의 전기용량으로 치환되지만 본 논문에서는 DC 분석을 통한 열평형 상태를 다루므로 회로 모델에 포함하지 않는다. 위에서 얻은 전기적 모델은 정상상태에 대한 시스템 분석 및 제어기 설계에 활용할 수 있다는 큰 이점을 가진다.

2.2 응축수를 활용한 열전 냉각장치 소개

이 절에서는 응축수를 활용한 열전 냉각장치를 소개한다. 기존 열전 냉각장치에서는 저온부의 공기가 냉각되면서 수증기가 응축되어 응축수가 발생하는데, 이 응축수를 처리하기 위한 장치가 별도로 요구된다. 이 문제를 해결하기 위한 장치로써, 응축수를 활용한 열전 냉각장치가 (주)엘제이텍에 의해 그림 2와 같이 제안되었다[4].

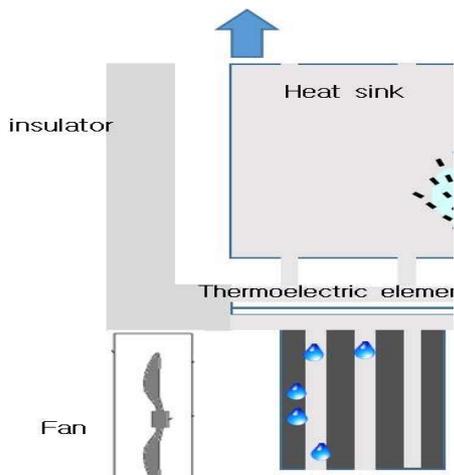


그림 2. 응축수를 활용한 열전 냉각장치 구조[4]
Fig. 2. Structure of the thermoelectric cooling system using condensed water[4]

그림 2에서 볼 수 있듯이, 응축수를 활용한 열전 냉각장치는 기존 열전 냉각장치 구조와 더불어 열전소자의 저온부에서 발생한 응축수를 별도로 집수할 수 있도록 하는 집수구, 집수된 응축수의 양을 측정할 수 있는 수위조절시스템, 응축수를 기화시킬 수 있는 초음파 진동자를 가진다. 기화된 응축수는 히트싱크, 즉 고온부로 분무되어 고온부의 열을 빼앗아 온도를 낮추는 역할을 하게 된다.

열전소자는 공급되는 전력에 따라 양 쪽의 온도 차이가 결정된다. 다시 말해서, 같은 전력이 공급되고 있다고 가정하면 고온부의 온도가 낮으면 낮을수록 저온부의 온도 또한 낮아진다. 또한 만약 냉각하고자 하는 저온부의 목표 온도가 정해져 있다면, 고온부의 온도가 낮으면 낮을수록 적은 전력으로도 목표 온도까지 냉각시킬 수 있다.

이러한 원리로, 응축수를 활용한 열전 냉각장치는 기존 열전 냉각장치에 비해 다음과 같은 두 가지 이점을 가진다. 첫 째, 응축수를 집수하여 기화시킴으로써 불필요하게 발생하는 응축수를 처리할 수 있다. 둘째, 기화된 응축수를 히트싱크에 분무함으로써 냉각 효율을 높일 수 있다. 본 냉각장치는 현재 설계 및 제작단계에 있으나, 본 연구에서는 응축수가 충분하고 응축수가 항상 분무되고 있다는 가정 하에 이 냉각장치에 대한 회로 모델을 유도한다. 또한 유도된 모델을 대상으로 다양한 모의실험을 수행하여 효율성을 검증하는 것을 목적으로 한다.

3. 응축수를 활용한 열전 냉각장치의 회로 모델링

이 장에서는 위에서 소개한 응축수를 활용한 열전 냉각장치의 회로 모델을 유도한다. 회로 모델을 유도하기에 앞서, 직관성을 위해 고온부와 저온부의 온도를 각각 다음과 같이 재정의한다.

$$\begin{aligned} T_h &= T_E \\ T_c &= T_A = T_E - \Delta T \end{aligned} \tag{7}$$

또한 열전소자의 소재가 열전도율이 높은 세라믹으로 이루어져 있고, 분무되는 응축수의 질량이 히트싱크에 비해 매우 작다는 점에 근거하여 다음과 같은 가정을 한다.

가정 1 : 분무된 응축수와 열전소자가 열평형에 이르는 과정과 입력 전류에 의해 열전소자 양쪽의 온도가 변화하는 과정에 걸리는 시간은 무시할 수 있을 정도로 작다.

열역학적 관점에서 본 냉각장치가 기존 열전 냉각장치와 다른 점은 응축수가 고온부로 분무되어 고온부의 온도를 낮춘다는 점이다. 따라서 본 냉각장치의 회로 모델을 유도하기 위해서는 응축수-열전소자 간의 열교환에 대한 방정식이 고려되어야 한다. 응축수-열전소자 간의 열교환이 이루어지며 열평형에 도달했을 때, 이동한 열량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = cm(T_f - T_w) = CM(T_h - T_f) \tag{8}$$

여기서 c 와 m 은 각각 분무된 응축수의 비열과 질량이고, C 와 M 은 각각 히트싱크의 비열과 질량이며, T_w 와 T_f 는 각각 분무된 응축수의 온도와 열평형이 일어난 후의 고온부의 온도이다. 식 (8)로부터 열평형이 일어난 후의 고온부의 온도 T_f 에 대한 식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$T_f = \frac{CMT_h + cmT_w}{CM + cm} \tag{9}$$

전압 분배 법칙을 이용함으로써, 응축수-열전소자 간의 열교환 모델은 다음과 같은 회로 모델로 변환할 수 있다.

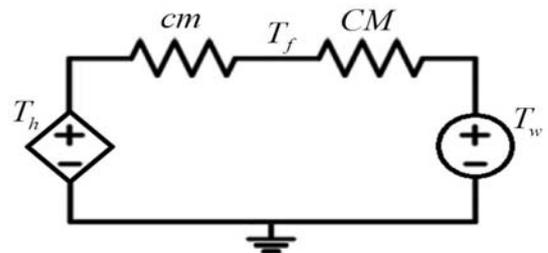


그림 3. 응축수-열전소자 간 열교환 회로 모델
Fig. 3. Circuit model of the heat exchange between the condensed water and thermoelement

그림 1의 T_E 노드와 그림 3의 T_h 노드를 결합함으로써 응축수를 활용한 열전 냉각장치에 대한 회로 모델을 다음과 같이 유도할 수 있다.

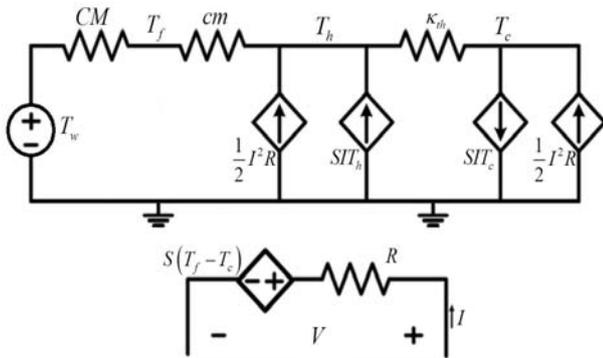


그림 4. 응축수를 활용한 열전 냉각장치의 회로 모델
Fig. 4. Circuit model of the thermoelectric cooling system using condensed water

그림 4의 모델에서, 응축수의 온도가 고온부의 온도보다 상대적으로 낮다는 것을 고려하면 응축수와 열전소자가 열평형을 이룬 상태에서 고온부의 온도 T_f 는 본래의 온도 T_h 보다 낮다. 결과적으로 열전소자의 출력전압 V 가 다음과 같이 낮아지게 된다.

$$V = S(T_f - T_c) + IR \tag{10}$$

이는 정해진 저온부의 목표 온도 T_c 를 얻기 위해 요구되는 전력이 기존의 열전 냉각장치의 경우보다 더 낮다는 것을 뜻한다. 즉, 응축수를 활용한 열전 냉각장치의 냉각 효율이 더 높다는 것을 전기 회로 모델을 통해서 확인할 수 있다.

일반적으로 열전소자의 생산업체는 제품의 데이터시트에 몇 가지 파라미터에 대한 정보를 제공한다. 제공되는 파라미터와 그에 대한 설명은 다음과 같다.

표 1. 열전소자 파라미터
Table 1. Parameters of thermoelement

Parameters	Descriptions
ΔT_{max}	Maximal temperature difference
I_{max}	Maximal current
V_{max}	Maximal voltage
R	Resistance of thermoelement

저온부가 스티로폼 등에 의해 단열되어 흡수하는 열이 없다고 가정하면, 식 (6)의 Q_A 를 0이라고 할 수 있다. 따라서 식 (6)로부터 열전소자 양 쪽의 온도 차를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta T = \frac{SIT_f - 0.5I^2R}{SI + \kappa_{th}} \tag{11}$$

열전소자 양 쪽의 최대 온도차는 식(11)을 전류에 대해 미분한

식이 0이 되도록 하여 구할 수 있다. 이 방법으로 ΔT_{max} 와 I_{max} 에 대한 식을 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$I_{max} = \frac{\kappa_{th} \left\{ (1 + 2ZT_f)^{0.5} - 1 \right\}}{S} \tag{12}$$

$$\Delta T_{max} = T_f + \frac{1 - (1 + 2ZT_f)^{0.5}}{Z}$$

여기서 $Z = \frac{S^2}{R\kappa_{th}}$ 이다. 또한, 식 (10)와 식 (12)로부터 V_{max} 에 대한 식을 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$V_{max} = ST_f \tag{13}$$

결과적으로, 식 (10)와 식 (12), 식 (13)로부터 S , R , κ_{th} 를 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$S = V_{max} / T_f$$

$$R = V_{max} (1 - \Delta T_{max} / T_f) / I_{max} \tag{14}$$

$$\kappa_{th} = V_{max} I_{max} (T_f - \Delta T_{max}) / (2T_f \Delta T_{max})$$

따라서 고온부의 온도를 알고 있을 때, 열전소자의 데이터시트로부터 주어지는 정보, 식 (14)에 의해 그림 4에서 제안된 회로 모델의 파라미터를 모두 결정할 수 있다.

일반적으로 열전 냉각장치의 제어기에서는 저온부의 목표 온도 T_c 가 주어지고, 현재 고온부의 온도와의 차이 ΔT 를 발생시키기 위해 요구되는 전압과 전류를 열전소자에 가하게 된다. 요구되는 전압과 전류는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$I = \left[S(T_f - \Delta T) - S \left\{ (T_f - \Delta T)^2 - 2\Delta T / Z \right\}^{0.5} \right] / R \tag{15}$$

$$V = V_{max} - S \left\{ (T_f - \Delta T)^2 - 2\Delta T / Z \right\}^{0.5}$$

위의 과정을 통해 제안된 회로 모델은 복잡한 열역학적 현상을 간단한 전기적 모델로 표현함으로써 이해하기 쉽다는 이점을 가진다. 또한 주어진 열전소자의 데이터시트만으로 모의실험을 수행할 수 있기 때문에 현재 개발 단계에 있는 본 냉각장치를 설계하는 데 유용하게 사용될 수 있다.

4. 모의실험 및 평가

이 장에서는 제안된 모델을 검증하기 위해 모의실험을 설계 및 수행하고 그 결과를 평가한다. 모의실험을 위한 열전소자로는 P&N Technology 사의 HP-199150 제품에 대한 데이터를 사용한다. 해당 열전소자의 데이터시트에 기재된 파라미터는 다음 표와 같다.

표 2. HP-199150 파라미터
Table 2. Parameters of HP-199150

Parameters	Values (at 298K)	Values (at 323K)
ΔT_{\max} (°C)	67	75
I_{\max} (Amps)	13	15
V_{\max} (Volts)	22.6	25.6
R (Ohms)	1.35	1.52

온도에 따른 파라미터의 변화는 표 2에 기재된 두 값을 기준으로 선형화하여 적용한다. 예를 들어, 파라미터 ΔT_{\max} 는 $\Delta T_{\max} = \frac{75-67}{323-298}(T_h - 298) + 67$ 식에 따라 결정된다. 본 논문에서는 위 열전소자를 대상으로 하여 총 세 가지 모의실험을 진행한다.

먼저, 입력 전류 및 전압에 따른 저온부의 온도 변화를 확인하기 위한 모의실험을 진행한다. 고온부의 온도와 입력 전압을 고정하고 입력 전류를 변화시키면서 저온부의 온도 변화를 관찰하여 제안된 모델의 타당성을 확인한다. 고온부의 온도가 298K이고 입력 전압이 V_{\max} 와 동일한 22.6V라는 가정 하에 입력 전류를 0A부터 25A까지 변화시켰을 때 저온부의 온도 변화는 그림 5와 같다. 그림 5에서 입력 전류가 13A일 때 저온부의 온도가 231K가 되어 $\Delta T = \Delta T_{\max} = 67K$ 가 되는 것을 확인할 수 있다. 이는 표 2에서 볼 수 있는 것과 동일한 결과이다. 또한, 13A 이상의 전류를 가하더라도 저온부의 온도가 더 낮아지지 않는 것은 주열효과가 펄터 효과보다 커지기 때문이다.

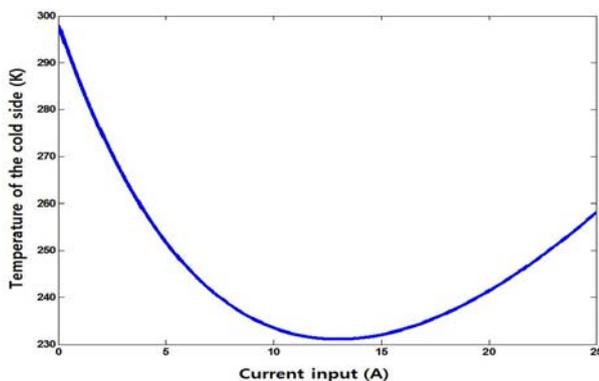


그림 5. 입력 전류에 따른 저온부 온도 변화
Fig. 5. Cold side temperature change by current input

다음으로, 열전 냉각장치의 저온부가 냉각되었을 때, 저온부가 있는 챔버 내부공기의 온도를 낮추는 효과를 알아보기 위한 모의실험을 진행한다. 저온부와 챔버 내부와의 온도 차이로 인해 공기의 대류가 나타나게 되는데, 이 현상은 뉴턴의 냉각법칙에 따라 다음과 같이 정의된다.

$$T_a = (T_0 - T_c)e^{-kt} + T_c \quad (16)$$

여기서 T_a 는 챔버 내부의 온도, T_0 는 챔버 내부의 초기온도, $k=0.1$ 는 열전달 계수이다. 고온부와 저온부의 온도가 모두 323K인 상태에서 열전 냉각장치를 구동하여 저온부의 온도가 293K가 되도록 제어했을 때의 온도 변화는 다음과 같다.

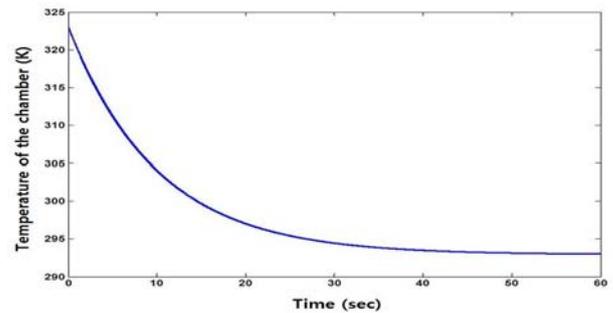


그림 6. 챔버 내부의 온도
Fig. 6. Temperature of the chamber

마지막으로, 기존 열전 냉각장치와 비교를 통해 응축수를 활용한 열전 냉각장치의 효율성을 확인하기 위한 모의실험을 진행한다. 고온부의 온도가 실시간으로 변화함에 따라 목표로 하는 저온부의 온도를 얻기 위해 요구되는 전력량을 비교한다. 목표온도를 $T_c = 263$ 라 하고, 고온부의 온도를 다음 식과 같이 정의한다.

$$T_h = 10 \sin\left(\frac{t}{3}\right) + 320 \quad (17)$$

기본적인 고온부의 온도 T_h 와 응축수가 분무되었을 때의 온도 T_f 의 변화는 다음 그림과 같다.

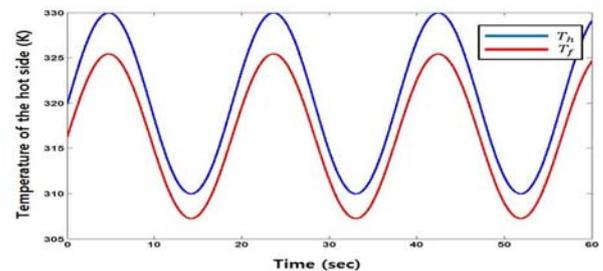


그림 7. T_h 와 T_f
Fig. 7. T_h and T_f

그림 7로부터 응축수가 분무된 경우의 온도가 기존 열전 냉각장치의 경우보다 더 낮은 것을 확인할 수 있고 온도가 높을수록 그 차이가 더 큰 것을 확인할 수 있다. 다음으로, 두 열전 냉각장치의 소비전력은 식 (15)에서 계산된 전압과 전류의 곱으로 알 수 있고 그 결과는 다음 그림과 같다.

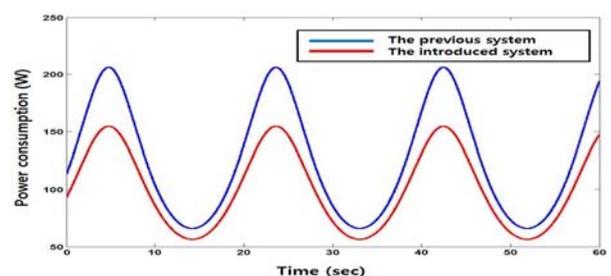


그림 8. 열전 냉각장치의 소비전력
Fig. 8. Power consumption of the thermoelectric cooling systems

그림 8로부터 응축수를 활용한 열전 냉각장치의 소비전력이 기존 열전 냉각장치의 소비전력보다 낮음을 알 수 있다. 이는 응축수를 활용한 열전 냉각장치가 더 적은 전력으로 동일한 냉각성능을 발휘할 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 온도가 높을 때 소비전력의 차이가 더 큰 것을 볼 수 있다. 따라서 응축수를 활용한 열전 냉각장치는 히트싱크의 온도가 높으면 높을수록 더 좋은 냉각효율을 보임을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 응축수를 활용한 열전 냉각장치에 대한 회로 모델을 제안하였다. 먼저 응축수를 처리함과 동시에 냉각효율을 높일 수 있도록 고안된 응축수를 활용한 열전 냉각장치를 소개하고, 기존 열전 냉각장치의 회로 모델과 응축수-열전소자 간의 열교환 방정식을 결합함으로써 이 냉각장치에 대한 회로 모델을 유도하였다. 이 과정에서 회로 모델의 파라미터가 열전소자의 데이터시트만으로 결정될 수 있음을 보였다. 따라서 제안된 회로 모델은 응축수를 활용한 열전 냉각장치의 사전 연구에 도움이 될 수 있다. 본 논문에서는 두 가지 모의실험을 통해 제안된 모델의 타당성을 확인하였고, 마지막 모의실험을 통해 응축수를 활용한 열전 냉각장치가 기존 열전 냉각장치보다 소비전력 면에서 좋은 냉각효율을 가짐을 검증하였다.

References

[1] S. Y. Yoo, "A Study on The Performance of Thermoelectric Module and Thermoelectric Cooling System," *The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea*, vol. 16, no. 1, pp. 62-69, 2004.

[2] S. T. Ro, and J. S. Seo, "Principles of Thermoelectric Refrigeration and System Design," *Korean Journal of Refrigeration and Air Conditioning*, vol. 19, no. 3, pp. 135-145, 1990.

[3] J. G. Stockholm, "Current state of Peltier cooling," *Proceedings of the 16th International Conference on Thermoelectrics*, pp. 37-46, 1997.

[4] S. Y. Lee, S. Jang, M. Park, and C. Yoon "Cooling System Control Based on Fuzzy Look-Up Table Using Temperature Sensor," *Proceedings of KIIS Autumn Conference*, vol. 24, no. 2, pp. 70-71, 2014.

[5] H. L. Tsai, and J. M. Lin, "Model Building and Simulation of Thermoelectric Module Using Matlab/Simulink," *Journal of Electronic Materials*, vol. 39, no. 9, pp. 2105-2111, Nov. 2009.

[6] S. Lineykin, and S. Ben-Yaakov, "Modeling and Analysis of Thermoelectric Modules," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 43, no. 2, pp. 505-512, Mar. 2007.

[7] C. S. Han, S. M. Park, N. H. Kim, and S. Han, "SPICE-Compatible Modeling of a Microbolometer Package Including Thermoelectric Cooler," *Journal of Sensor Science and Technology*, vol. 22, no. 1, pp. 44-48, 2013.

[8] F. Völklein, G. Min, and D. M. Rowe, "Modeling of a microelectromechanical thermoelectric cooler," *Sens. Actuators A, Phys.*, vol. 75, pp. 95-101, 1999.

[9] X. C. Xuan, K. C. Ng, C. Yap, and H. T. Chua, "A general model for studying effects of interface layers on thermoelectric devices performance," *Int. J. Heat Mass Trans.*, vol. 45, no. 26, pp. 5159-5170, 2002.

저 자 소 개



이상윤(Sang-Yun Lee)
 2011년 : 연세대학교 전기전자공학부 공학사
 2011년~현재 : 연세대학교 대학원
 전기전자공학과 통합과정

관심분야 : 지능제어, 비선형제어, 로봇제어, 로봇공학
 Phone : +82-2-2123-2868
 E-mail : hello072@yonsei.ac.kr



장석윤(Sukyoon Jang)
 1995년 : 충남대학교 전자공학과 공학사
 2009년 : 연세대학교 생체공학과 공학박사
 2009-2011년 : 인천정보산업진흥원
 로봇연구소 탐장
 2011년~현재 : ETRI 기업지원선임연구원
 & (주)엘제이텍 연구소장

관심분야 : 컴퓨터비전, 지능제어, 의공학, 산업전자
 Phone : +82-70-7843-1244
 E-mail : syjang@etri.re.kr



박민용(Mignon Park)
 1973년 : 연세대학교 전자공학과 공학사
 1977년 : 연세대학교 전자공학과 공학석사
 1982년 : 일본 동경대학교 공학박사
 1982년~현재 : 연세대학교 전기전자공학과 정교수

관심분야 : 퍼지제어, 로봇틱스, 바이오시스템
 Phone : +82-2-2123-2868
 E-mail : mignpark@yonsei.ac.kr



윤창용(Changyong Yoon)

1997년 : 연세대학교 전자공학과 공학사
1999년 : 연세대학교 전자공학과 공학석사
2010년 : 연세대학교 전기전자공학과
공학박사
1999년~2005년 : LG전자 선임연구원
2005년~2006년 : LG노텔 선임연구원

2010년~2012년 : LG디스플레이 책임연구원
2012년~현재 : 수원과학대학교 전기과 조교수
2013년~현재 : 한국지능시스템학회 이사

관심분야 : 컴퓨터비전, 얼굴인식, 지능제어, 퍼지이론, 지능형자동차
Phone : +82-31-350-2262
E-mail : cyyoon@ssc.ac.kr