

열전소자가 적용된 냉·온수 매트용 전열 모듈의 기초 열설계에 관한 수치해석적 연구

양호동*, 박설현**,#

*조선이공대학교 자동차과, **조선대학교 기계공학과

Numerical Analysis on the Thermal Design of a Heat Exchanger for a Cold & Hot Water Mattress Equipped with Thermoelectric Modules

Ho-Dong Yang*, Seul-Hyun Park**,#

*Department of Automobiles, Chosun College of Science & Technology, Gwangju, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Chosun University, Gwangju, Korea

(Received 21 October 2020; received in revised form 13 January 2021; accepted 03 February 2021)

ABSTRACT

In this study, the thermal characteristics of cold and hot water mattress units equipped with thermoelectric modules were investigated via numerical analyses. Cold and hot water mattress products that are currently in existence use manual methods requiring refrigerants to be added to the hot water boiler. However, the cold and hot water mattress units using thermoelectric modules can provide improved efficiency via energy savings and actively resolving environmental pollution problems. To determine the efficiency of the thermoelectric module, the mattress was modeled and its efficiency was analyzed for the cooling and heating processes using two 100-W-class and one 200-W-class thermoelectric modules, respectively. From the results of this study, it was confirmed that when two 100-W-class modules were used, the application area was larger than when a single 200-W-class module was used, with uniform temperature distribution and improved performance compared to existing products in terms of electrical energy.

Key Words : Cold & Hot Water Mattress Module(냉·온수 매트 모듈), Numerical Analysis(수치해석), Thermoelectric Module(열전소자), Thermal Characteristic(열적 특성), Electrical Energy(전력량)

1. 서 론

열전소자는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 p형 반도체

체와 n형 반도체를 조합하여 열에너지를 전기에너지로, 전기에너지를 열에너지로 직접 변환하는데 사용되는 소자로, 에너지 절감이라는 시대적 요구에 가장 잘 부응하는 소재로서 주목받고 있다. 열전소자는 약 20만 시간의 내구성을 자랑하고 일반적으로 -75°C 에서 300°C 까지의 냉각과 가열을 할

Corresponding Author : isaac@chosun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7174, Fax: +82-62-230-7171

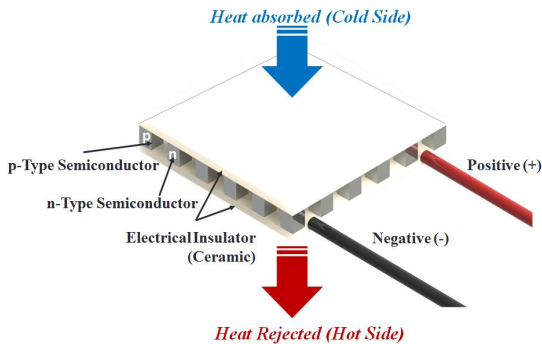


Fig. 1 Composition of thermoelectric module

수 있으며 약 26dB의 저 소음과 저 진동의 환경친화적인 특징을 갖고 있어 자동차, 우주·항공, 반도체, 컴퓨터, 광학, 발전, 가전제품을 비롯한 바이오 산업 등에서 광범위하게 활용되고 있으며, 국내·외에서 연구소와 대학, 기업을 중심으로 열전소재 관련 연구를 활발하게 수행하고 있다^[1].

열전소자의 특성은 소형화 및 급속 냉각과 발열 기능이 있고, 극 전환(+, -)을 통해 냉각과 발열이 동시에 가능하다. 이러한 열전소자의 특성을 개선하고 향상시키기 위한 관련 연구^[2,3]가 진행되어 왔고, 이후 열전소자를 이용한 냉각성능에 대한 연구가 진행되고 있다. 이러한 열전소자를 활용한 냉각 장치는 기존의 압축식 냉각장치에 비해 단순한 구조로 소형화가 가능하고 냉각온도를 입력전압 조절을 통해 비교적 쉽게 제어할 수 있다는 장점을 가지고 있어 항공우주용, 군사용, 의료기기 등에서 많이 이용되고 있다. 또한, 전자기기 및 통신기기의 열전냉각, 자동차의 카시트 냉난방 제어에도 활용되고 있고, 정밀 항온 제어가 가능하여 가정용 제습장치 등 일상생활에서도 사용범위가 확대되고 있다^[4-7]. 뿐만 아니라, 열전소자의 특성을 다양한 장치에 응용한 시스템 기술 관련 연구로 확대되어, 열전소자를 적용한 열전냉각장치에 대한 설계 및 해석에서부터 열전냉각방식을 이용한 장치들에 대한 열적 성능연구^[8,9]가 활발하게 진행되고 있다. 이렇듯 열전소자는 자동차 분야를 비롯하여, 반도체, 의학분야, 광학분야, 컴퓨터, 가전제품, 발전 등 다양한 분야에 적용되고 있어 새로운 시장을 개척하고 창출하는데 매우 유리하다.

본 연구에서는 국내 수면 관련 시장규모가 매우 크고 점차 확대될 전망에 비추어, 냉·온수 매트 제품에 열전소자를 적용하여 새로운 개념의 냉·온수 매트 모듈을 개발하고자 하였다. 현재 시중에 출시된 냉·온수 매트는 온수보일러에 냉매를 넣어야 하는 수동식 방식으로, 기존 온수 매트, 선풍기, 에어컨 등의 가전제품보다 저전력인 장점이 있으나, 냉각케이스의 열음이 일정시간 흐르면 물로 변해 냉각효과가 떨어지는 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하고 환경친화적인 소자로 각광받는 열전소자를 적용하여 CFD 열·유동 해석방법을 통해 냉·온수 매트용 전열 모듈에서 물의 냉각과 가열 시에 발생하는 열적 특성을 분석하고 열전소자의 부착 개수에 따른 열전소자의 효과적인 적용 방안을 제시해 보고자 하였다.

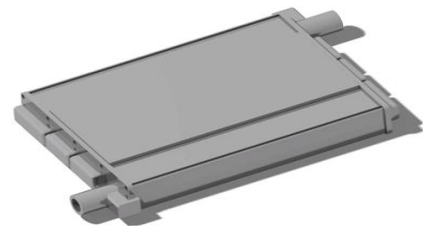
2. 수치해석 방법 및 내용

2.1 해석모델

냉·온수 매트 of 기본 설계에서 작동유체인 물을 가열하고 냉각하는 열전소자의 선정은 중요한 요소 중의 하나이고, 시중에 판매되고 있는 냉·온수 매트 제품을 토대로 작동 온도, 전력량, 매트 of 전열 면적 등을 고려하여 해석모델을 선정하고자 하였다.

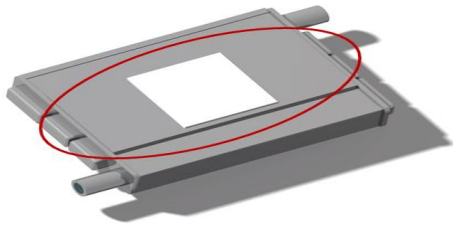


(a) Front face view

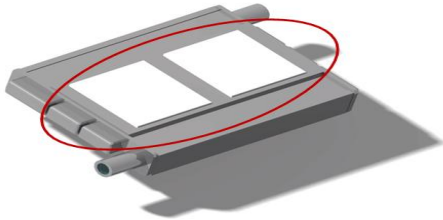


(b) Back face view

Fig. 2 Image of cold & hot water mattress module



(a) Attached 1 piece thermoelectric module



(b) Attached 2 pieces thermoelectric modules

Fig. 3 Images of cold & hot water mattress module with attached thermoelectric modules

Fig. 2는 본 연구에서 적용한 냉·온수 매트용 모듈의 수치해석을 위한 모델링 결과를 보여주고 있는 것으로, 실제 제품에 적용하기 위한 모듈은 선행 연구로부터 설계 및 제작이 완료된 상태에서 열전소자를 부착하여 해석을 수행하였으며, Fig. 3은 수치해석을 위해 냉·온수 모듈의 뒷면(Back Face)에 열전소자를 부착하여 모델링 한 결과를 보여주고 있다. 특히, 냉·온수 모듈에 부착할 열전소자의 부착 수에 따른 열적 특성을 판단하기 위해 가로, 세로의 길이가 각각 0.05m의 크기를 갖는 열전소자를 사용하여 Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이 200W급 열전소자 1개를 부착하였을 경우와 Fig. 3(b)에서 보는 바와 같이 100W급 열전소자 2개를 부착하였을 경우로 나누어 각각 모델링을 실시하였다.

2.2 수치해석 방법 및 조건

본 연구에서는 상용 코드인 ANSYS 16.1 Fluent를 이용하여 수치해석을 수행하였다. 수치해석 방법으로는 작동유체의 유동장 해석을 위한 내부 유체 영역(Water), 판의 열전도 해석을 위한 고체 영역(Module Body)으로 각각 나누어 해석을 수행하고, 본 연구에서 해석을 위해 사용된 지배 방정식은 연속 방정식과 Navier-Stokes 방정식, 에너지 방

정식으로 식 (1) ~ (5)에 각각 나타내었다. 여기서, 식 (1)의 연속 방정식과 식 (2) ~ (4)의 Navier-Stokes 방정식은 뉴턴유체, 정상유동, 비압축성 유동으로 가정하여 나타낸 식이고, ρ 는 유체의 밀도, v_e 는 동점성계수를 의미한다. 또한 식 (5)는 해석모델의 유체 영역과 고체 영역의 열전달 해석을 위한 에너지 방정식으로, c_p 는 비열, k 는 열전도율을 의미한다. 또한, 해석모델의 수렴판정 조건은 운동량 및 연속 방정식의 Residual은 10^{-5} , 에너지 방정식은 10^{-3} 이하일 때로 설정하여 수행하였다.

연속 방정식

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Navier-Stokes 방정식

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{\rho} + v_e \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial y} \frac{1}{\rho} + v_e \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{\partial p}{\partial z} \frac{1}{\rho} + v_e \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

에너지 방정식

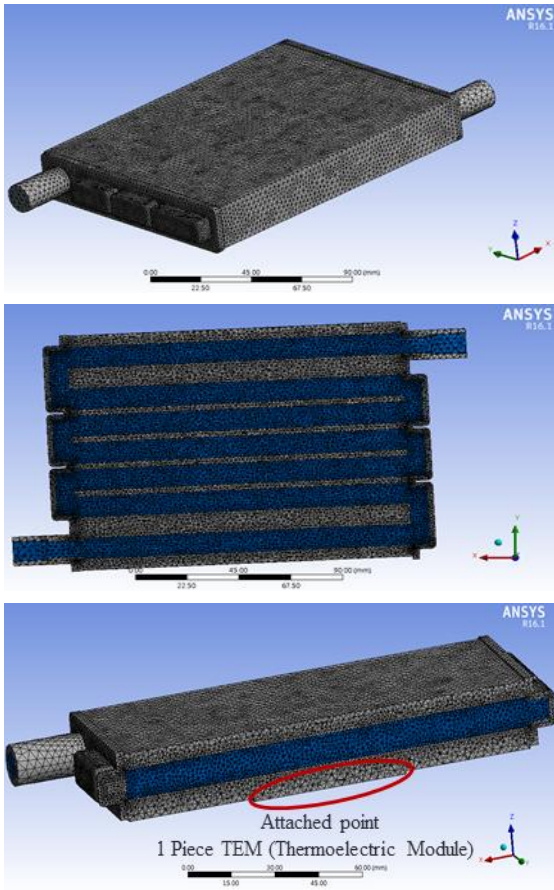
$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + v \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + w \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

$$0 = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

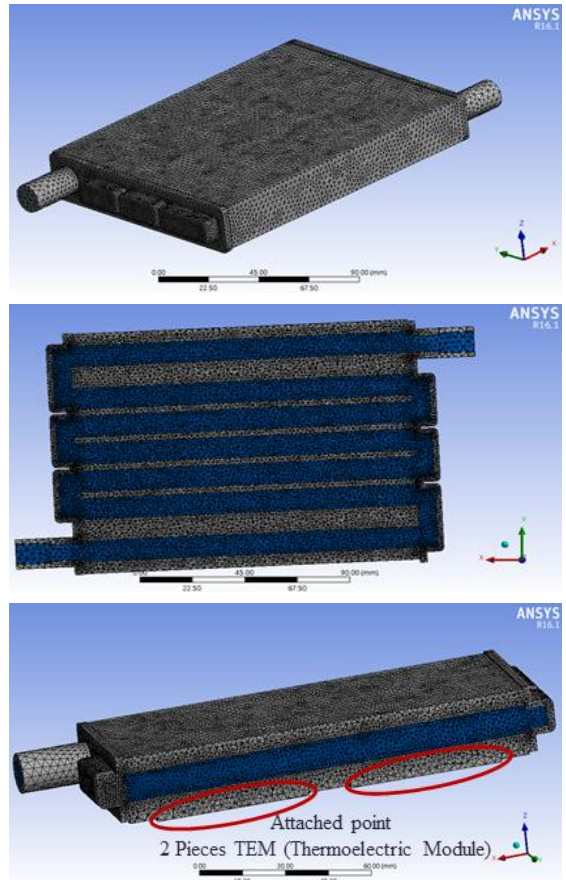
Fig. 3에서 제시한 열전소자가 부착된 냉·온수 모듈은 CATIA를 이용하여 모델링을 수행하였고, 냉·온수 모듈의 복잡한 유동 패턴을 정확하게 분석하기 위해 메쉬(Mesh) 작업은 많은 격자와 고품질의 격자가 필요하며 Tetrahedral형의 격자에 비해

Polyhedral형의 격자는 비슷한 정확도를 유지하면서 요구되는 메모리가 적고 수렴성이 좋기 때문에 메쉬는 ANSYS Fluent Meshing을 사용하여 Fig. 4와 같이 격자 작업을 수행하였다.

Fig. 4(a)는 냉·온수 모듈에 200W급 열전소자 1개를 부착한 상태로 모델링 후 격자를 생성한 것으로, 해석영역의 격자 노드(Node) 수는 189,249개, 요소(Element)는 923,207개이고, Fig. 4(b)는 동일한 냉·온수 모듈에 100W급 열전소자 2개를 부착한 상태에서 메쉬를 통해 격자를 생성한 것으로, 해석영역의 격자 노드 수는 189,288개, 요소는 923,187개로 설정되었으며, 열전소자 1개와 2개를 각각 부착한 해석모델의 격자 노드 및 요소는 거의 같은 조건하에서 해석이 진행되었음을 알 수 있다.



(a) Attached 1 piece thermoelectric module



(b) Attached 2 pieces thermoelectric modules

Fig. 4 Meshed cold & hot water mattress module for numerical analysis

열전소자가 부착된 냉·온수 모듈의 열적 특성을 해석하기 위해 적용된 물성치는 Table 1에 나타내었다. 그리고 해석모델의 경계조건은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 냉온 모듈 입구(Inlet)와 출구(Outlet)에서의 경계조건을 각각 설정하고, 모듈의 겉면은 세라믹 소재를 실제 제품에서 단열재로 사용할 예정임을 감안하여 모듈 외부로의 열손실을 고려하지 않고 모듈과 내부 유체의 열전달만을 고려하였다.

또한, 모듈의 입구로 들어오는 물의 유량은 식 (6)을 사용하여 질량 유량(Mass Flow Rate)을 설정하였으며, 모듈 내부 유체와 모듈의 초기 온도는 상온상태와 동일한 25℃를 설정하여 수치해석을 수

Table 1 Thermal properties of analysis model

Spec.	Water	Module Body
Material	Liquid Water	Aluminum
Density	998.2 kg/m ³	2,719 kg/m ³
Specific Heat	4.182 J/g·K	0.871 J/g·K
Thermal Conductivity	0.6 W/m·K	202.4 W/m·K
Viscosity	0.001003 kg/m·s	-

행하였다.

$$\dot{Q} = \dot{m} \times c_p \times \Delta T, \quad \dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_p \times \Delta T} \quad (6)$$

여기서, \dot{Q} 는 전력량이고, c_p 는 비열, ΔT 는 모듈 입구와 출구의 온도차로 냉각 시 모듈 입구의 질량 유량은 4.78g/s, 가열 시 모듈 입구의 질량 유량은 2.39g/s로 설정하였다.

열전소자는 상온 25℃를 기준으로 10℃까지 냉각 시킬 때와 50℃까지 가열시킬 경우로 각각 나누어 200W급 열전소자는 냉각·가열 과정에서 80,000 W/m²의 열유속을 입력하였고, 100W급 열전소자는 40,000W/m²의 열유속을 입력하여 Ansys 16.1 Fluent에서 정상상태(Steady State)로 가정하고 해석을 수행하였으며, 냉각과 가열과정에서 열전소자가 1개 부착된 경우와 2개 부착된 경우의 경계조건 설정과 해석을 위한 입력값을 Table 2에 나타내었다.

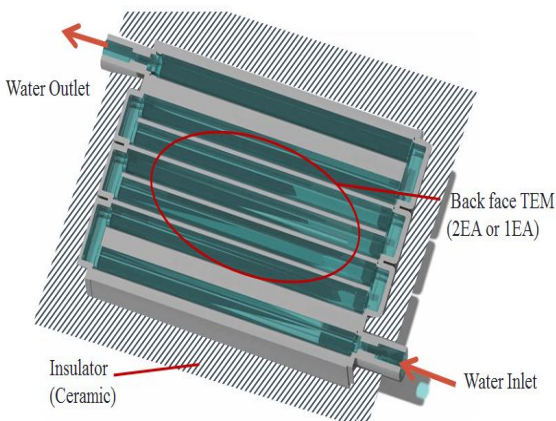


Fig. 5 Boundary condition of analysis model

Table 2 Input values of boundary condition

Condition	Cooling : 25℃ ~ 10℃	
	TEM 1 piece	TEM 2 pieces
TEM		
Electrical Energy	200 W	100 W / 1EA
Heat Flux	-80,000 W/m ²	-40,000 W/m ²
Inlet Mass Flow Rate	4.78 g/s	4.78 g/s

Condition	Heating : 25℃ ~ 50℃	
	TEM 1 piece	TEM 2 pieces
TEM		
Electrical Energy	200 W	100 W / 1EA
Heat Flux	80,000 W/m ²	40,000 W/m ²
Inlet Mass Flow Rate	2.39 g/s	2.39 g/s

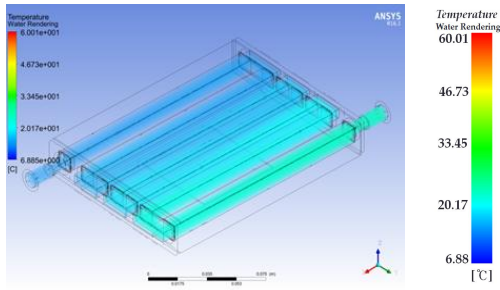
3. 수치해석 결과 및 고찰

열전소자를 적용한 냉·온수 매트 전열 모듈의 열전소자 부착 개수에 따른 효과적인 적용 방안을 제시하기 위하여, 앞 절의 경계조건을 입력하여 수치해석을 통해 냉·온수 모듈의 출구에서의 평균 온도를 계산하였고 그 결과를 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 보는 바와 같이 200W급 열전소자 1개를 부착한 냉·온수 모듈에서의 출구측 물의 온도가 냉각·가열시 각각 15.5℃와 49.7℃이고, 100W급 열전소자 2개를 부착한 경우에 출구측 물의 온도는 각각 13.0℃와 50.4℃로 계산되었고, 열전소자 1개를 부착한 경우와 2개를 부착한 경우에 있어서 출구측 물의 온도가 약 ±2℃ 정도의 차이가 있는 것으로 확인되었다.

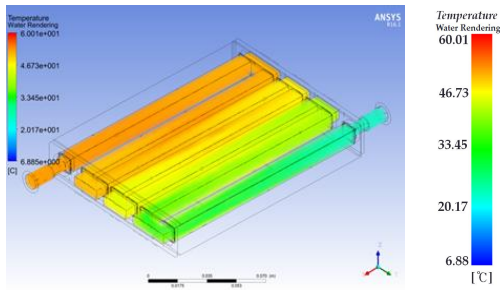
Table 3 Calculated results of average temperature at water outlet

Condition	Cooling : 25℃ ~ 10℃	
	TEM 1 piece	TEM 2 pieces
TEM		
Outlet Temperature	15.5 ℃	13.0 ℃

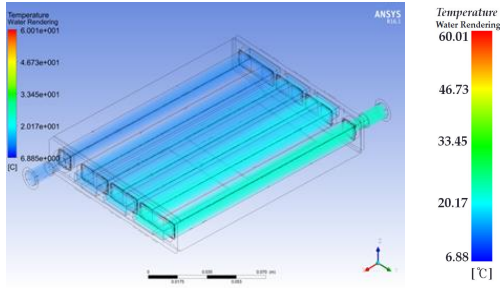
Condition	Heating : 25℃ ~ 50℃	
	TEM 1 piece	TEM 2 pieces
TEM		
Outlet Temperature	49.7 ℃	50.4 ℃



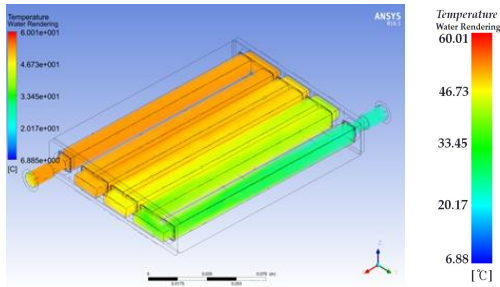
(a) Cooling water in case of 1-200W TEM attached



(b) Heating water in case of 1-200W TEM attached



(c) Cooling water in case of 2-100W TEM attached



(d) Heating water in case of 2-100W TEM attached

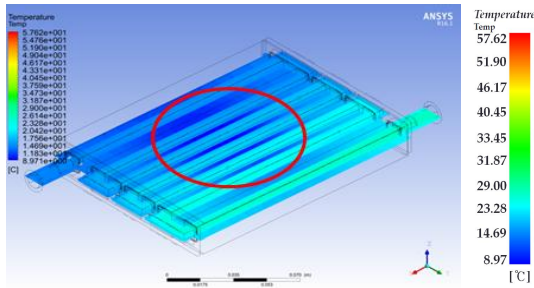
Fig. 6 Numerical results of water temperature distribution in cold & hot module attached thermoelectric module

또한, 선정된 경계조건을 토대로 200W급 열전소자 1개를 부착한 경우와 100W급 열전소자 2개를 부착한 경우, 모듈 내부의 물의 냉각·가열 과정에서 냉·온수 모듈에 형성되는 온도분포를 확인하기 위하여 CFD 유동해석을 실시하였고 해석결과를 Figs. 6 ~ 8에 나타내었다.

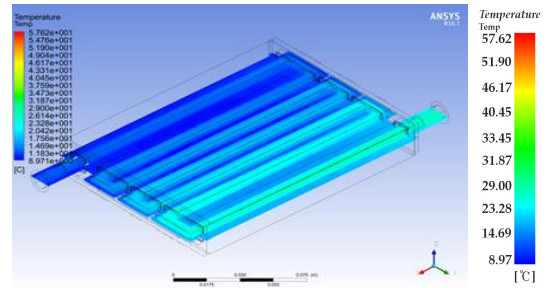
Fig. 6은 200W급 열전소자 1개를 냉·온수 모듈에 부착하였을 경우와 100W급 열전소자 2개를 모듈에 부착하였을 경우, 냉각·가열 과정에서 냉·온수 모듈 내부를 순환하는 물의 온도분포 형성과정을 수치해석을 통해 나타낸 결과이고, Fig. 6에서 해석모델의 우측은 물의 입구측, 좌측은 출구측에 각각 해당한다. Fig. 6(a)와 (b)의 200W급 열전소자 1개를 부착한 냉·온수 모듈의 냉각·가열 과정에서 물의 온도분포 결과와 Fig. 6(c)와 (d)의 100W급 열전소자 2개를 부착한 냉·온수 모듈에서 냉각·가열 과정 동안 모듈 내 물의 온도분포 결과는 큰 차이가 나지 않는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 7과 8은 200W급 열전소자 1개를 부착한 냉·온수 모듈과 100W급 열전소자 2개를 부착한 냉·온수 모듈에서 냉각과 가열 과정에 모듈 전체에 형성되는 온도분포를 수치해석하여 각각 나타낸 결과이다. 앞의 Fig. 6에서 나타낸 물의 온도분포 결과와는 다르게 Fig. 7의 200W급 열전소자 1개를 장착한 냉·온수 모듈에서 냉각과 가열을 진행하였을 때 모두 모듈 주위에서만 온도차가 크게 발생하고 열전소자와의 거리가 멀어질수록 온도 차이가 심하게 발생(Fig. 7에 표시된 ○ 영역 참조)되는 것을 가시적으로 확인할 수 있었다. 그러나 Fig. 8에서 나타난 바와 같이 100W급 열전소자 2개를 냉·온수 모듈에 부착하여 냉각·가열을 진행한 결과에서는 열전소자 부착위치를 비롯하여 냉·온수 모듈 전체적으로 온도가 균일하게 분포되는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 냉·온수 모듈에 열전소자를 2개 부착하였을 경우가 동일한 모듈에 열전소자 1개를 부착하였을 경우보다 상대적으로 적용 면적이 커짐에 따라 출구측 온도에 있어서 냉각 시에는 약 2.5°C, 가열 시에는 약 1°C 정도 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

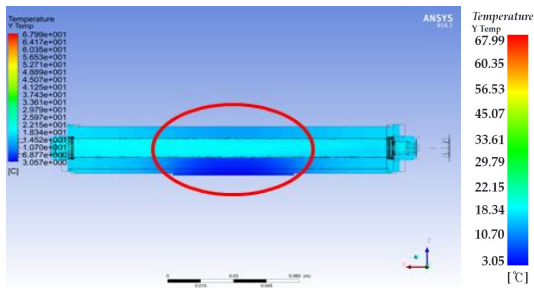
이러한 해석결과를 토대로 냉·온수 모듈의 기초 설계 단계에서 타당성을 고찰하기 위하여 열전소



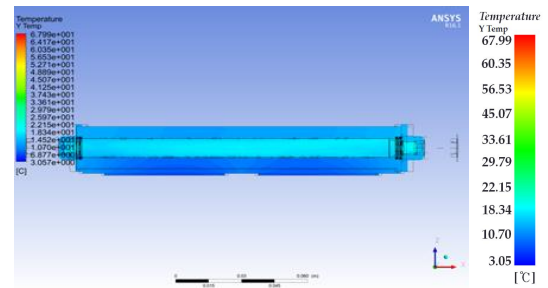
(a) 3-Dimension of cooling result



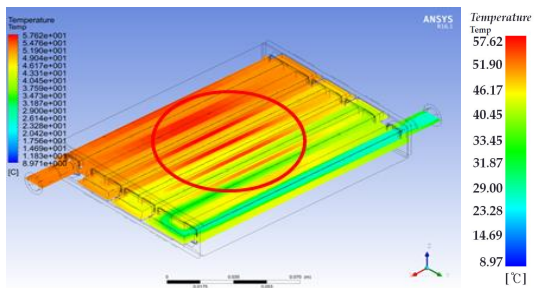
(a) 3-Dimension of cooling result



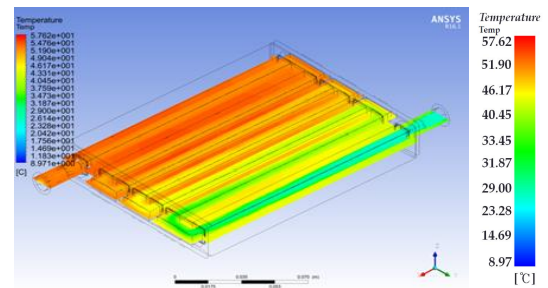
(b) Side view of cooling result



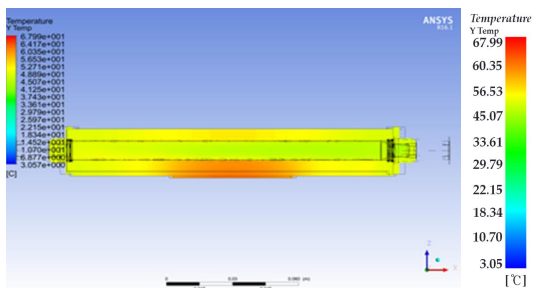
(b) Side view of cooling result



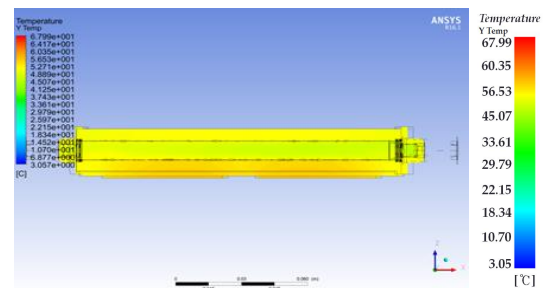
(c) 3-Dimension of heating result



(c) 3-Dimension of heating result



(d) Side view of heating result



(d) Side view of heating result

Fig. 7 Numerical results of water & module temperature distribution in cold & hot module attached 1 piece 200W-class thermoelectric module

Fig. 8 Numerical results of water & module temperature distribution in cold & hot module attached 2 pieces 100W-class thermoelectric module

Table 4 Comparison between calculated results and other products

Product	Heating Method	Electric Energy(W)	Temp. Range(°C)	Bed Size(mm)
L社	Thermo-electric Module	Cooling: 140 Heating: 250	19 ~ 52	700×1650
R社	Thermo-electric Module	Average: 90	25 ~ 48	730×1800
This Study	Thermo-electric Module	Cooling: 200 Heating: 200	15 ~ 50	700×1650

자를 이용하여 판매되고 있는 타 사 제품의 냉·온수 매트를 선정하여 Table 4와 같이 냉·온수 매트 제품의 작동 온도, 전력량, 매트 전열면적 사양을 제시하고, 본 연구에서 Bed Size는 L社와 동일한 크기임을 감안하여 매트에서 발생하는 열손실을 계산하였다. 또한, 열손실 계산을 위해 사용된 냉·온수 매트 전열 모듈의 출구 측에서 냉각, 가열 과정 동안의 온도는 Table 3에 제시한 해석 결과값과 동일하게 적용하여 계산하였다.

모듈의 표면 온도와 유체의 온도차가 크기 때문에 막 온도(Film Temperature)를 식 (7)을 이용하여 계산하였다.

$$T_f = \frac{\Delta T}{2}, \Delta T = T_2 - T_\infty \quad (7)$$

이때 얻어진 막 온도를 이용하여 식 (8)과 같이 체적팽창계수(Coefficient of Volume Expansion, β)를 계산하였다.

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad (8)$$

Grashof Number를 구하기 위해서 매트의 표면적 (A)와 매트의 둘레 (P)를 이용하여 특성길이 (L)을 식 (9)와 같이 계산할 수 있다.

$$L = \frac{A}{P} \quad (9)$$

식 (9)로 부터 얻어진 특성길이를 통해 Grashof Number는 중력(g)과 공기의 동점성 계수(ν)를 입력

Table 5 Calculated results of electrical energy

Condition \ TEM No.	TEM 1 piece	TEM 2 pieces
Cooling(W)	41.9	57.0
Heating(W)	146.9	152.5

하여 식 (10)으로 계산하였다.

$$Gr_L = \frac{g\beta L^3 \Delta T}{\nu^2} \quad (10)$$

이때 일반적으로 사용하는 공기의 Prandtl Number를 입력하여 Raynold Number는 식 (11)과 같이 계산할 수 있고, 매트에서 가열된 평판이 윗면이고 아래 면이 단열인 경우에 해당하므로 식 (12)와 같이 평균 Nusselt Number를 계산할 수 있다.

$$Ra = Gr_L Pr \quad (11)$$

$$\overline{NU_L} = 0.15(Gr_L Pr)^{1/3} \quad (12)$$

식 (12)를 통해 얻어진 평균 Nusselt Number로 공기의 열전도계수를 통해 식 (13)과 같이 평균 대류 열전달계수를 계산할 수 있고, 식 (14)를 통해서 매트에서 손실되는 열량을 계산할 수 있다.

$$\bar{h} = \overline{NU_L} \times \frac{k}{L} \quad (13)$$

$$\overline{Q_{conv}} = \bar{h} A \Delta T \quad (14)$$

식 (14)를 통해 계산된 매트에서의 손실 열량(W)은 결국 매트를 사용하는데 필요한 전력량(W)으로 나타낼 수 있고, 본 연구에서 적용한 냉·온수 매트에서 손실되는 열량(W)을 계산한 결과를 Table 5에 정리하여 나타내었다. 본 연구에서 제시한 냉·온수 매트 모듈의 기초설계 타당성 확보를 위해 수치해석적으로 계산된 손실 열량은 Table 4의 타 사 제품에서 제시한 사양과 비교하였을 때, 기존 제품보다 에너지 효율 측면에서 성능 개선에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 환경친화적인 소자로 주목받는 열전소자를 적용하여 CFD 열·유동 해석방법을 통해 냉·온수 매트용 전열 모듈의 열적 특성을 분석하고

열전소자의 부착 개수에 따른 열전소자의 효과적인 적용 방안을 제시해 보고자 하였다. 이를 위해 냉·온수 매트용 전열 모듈에 200W급 열전소자 1개를 부착하였을 경우와 100W급 열전소자 2개를 부착하였을 경우로 나누어 냉각·가열 시에 냉·온수 모듈의 열적 특성에 대해 계산하였고, 기존의 타 사 제품과 열손실량을 비교하여 본 연구에서 적용한 해석 모델의 기초설계 타당성을 확인하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 냉·온수 매트 모듈에 200W급 열전소자 1개를 부착한 경우와 100W급 열전소자 2개를 부착한 경우에서 냉·온수 모듈의 냉각과 가열과정에서 물의 입구측과 출구측의 물의 온도는 약 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 정도의 차이가 나타나는 것을 확인하였다.
- 2) 냉·온수 모듈에 열전소자를 1개 부착한 것보다 2개를 부착하였을 경우, 적용 면적이 커짐에 따라 전체적으로 균일한 온도분포가 형성되는 것을 확인하였다.
- 3) 본 연구에서 제시한 냉·온수 매트 모듈의 냉각·가열 과정 동안 계산된 출구측 물의 온도결과를 토대로 매트에서의 열손실(W) 계산을 기존 타 사 제품과 비교한 결과에서도 에너지 효율 측면에서 성능이 개선되는 것을 확인하였다.
- 4) 본 연구에서 적용한 수치해석 방법을 통해 열전소자를 적용한 장치의 기초설계 타당성 검토뿐만 아니라, 향후 제품의 효율 예측 등 연구에서 활용 가치가 높을 것으로 보인다.

후 기

“이 논문은 2020학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.”

REFERENCES

1. Chun, H. W. and Jang, M. G., “Market and Development Trend of Thermoelectric Materials,” Electronics and Telecommunications Trends, ETRI, pp. 104-112, 2014.

2. Goldsmid, H. J., Application of Thermoelectric Cooling, in Handbook of Thermoelectrics, CRC Press, London Pion, 1995, pp. 617-620.
3. Solomon, M., “Determination of Thermoelectric Module Parameters,” Proceedings of the 18th International Conference on Thermoelectrics, pp. 519-524, 1998.
4. Huang, B. J., Chin, C. J. and Duang, C. L., “A design method of thermoelectric cooler,” International Journal of Refrigeration, Vol. 23, No. 3, pp. 208-218, 2000.
5. Hwang, J., Kang, B. H., “An Experimental Study on Cooling Characteristics of a Thermoelectric Module,” Transactions of the Korean hydrogen and new energy society, Vol. 15, No. 4, pp. 341-347, 2004.
6. Riffat, S. B. and Qiu, G., “Comparative Investigation of Thermoelectric Air-Conditions Versus Vapour Compression and Absorption Air-Conditioners,” Applied Thermal Engineering, Vol. 24, No. 14, pp. 1979-1993, 2004.
7. Sofrata, H., “Heat Rejection Alternatives for Thermoelectric Refrigerators,” Energy Conversion and Management, Vol. 37, No. 3, pp. 269-280, 2006.
8. Twaha, S., Zhu, J., Yan, Y. and Li, B., “A Comprehensive Review of Thermoelectric Technology: Materials, Applications, Modelling and Performance Improvement,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 65, pp. 698-726, 2016.
9. Shourideh, A. H., Ajram, W. B., Lami, J. A., Haggag, S. and Mansouri, A., “A Comprehensive Study of an Atmospheric Water Generator using Peltier Effect,” Thermal Science and Engineering Progress., Vol. 6, pp. 14-26, 2018.