

# 승용차 시트 쿨링 & 히팅 모듈의 구조 타당성 검증을 위한 유동 전산모사

고가진\*, 박설현\*\*, 마상동\*\*\*, 김재열\*\*,#

\*조선대학교 일반대학원 기계시스템·미래자동차공학과,

\*\*조선대학교 기계시스템미래자동차공학부, \*\*\*에이티엠

## Flow Simulation for Structure Validation of Passenger Car Seat Cooling & Heating Module

Jia-Chen Gao\*, Seul-Hyun Park\*\*, Sang-Dong Ma\*\*\*, Jae-Yeol Kim\*\*,#

\*Dept. of Mechanical System & Automotive Engineering, Graduate School of Chosun University

\*\*Dept. of Mechanical System & Automotive Engineering, Chosun University, \*\*\*ATM

(Received 12 January 2019; received in revised form 14 January 2019; accepted 19 January 2019)

### ABSTRACT

Due to the special structure of the car seat, the heating and cooling module must be installed in a limited area resulting in difficulty in regards to achieving optimal cooling and heating efficiency. In order to solve these problems, this paper establishes a new structure for heating and cooling modules, verifies the structural feasibility of the thermoelectric module for cooling and heating the seat through fluid simulations, and verifies the proper design of the mechanical components of the thermoelectric module.

**Key Words** : Thermoelectric Module(열전소자), Cooling and Heating Seat(냉·온 시트), Flow Simulation(유동 전산모사), Structural Feasibility(구조 타당성)

### 1. 서 론

일반적으로 자동차시트의 난방장치는 열선을 이용하여 구성하고 있으나 냉방장치는 구성하기가 어려운 점이 있다. 국내 냉·온풍시트의 경우 미국의 시트회사로부터 전량 수입되어 고급차량에 장착되어 있는 실정이다. 또한 기존 출고된 차량 일반시트에 냉·온풍 부품을 직접 설치하거나 열전소자 없이 팬만 설치하여 성능을 구현하는데 어려운 문제가 있다<sup>[1]</sup>.

19세기 처음 열전현상을 발견한 이래 1950년대 반도체 소재 기술의 발전과 더불어 그 이용이 증가되어온 열전소자 관련기술은 최근 열전소자 자체의 효율 향상을 위한 소재 개발 기술과 함께 열전효과를 효과적으로 활용하기 위한 이용기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[2,3]</sup>.

최근 가열 및 냉각이라는 특성을 지닌 열전소자를 이용한 다양한 연구가 진행되고 있다. 자동차부품 연구원에서는 기존 HVAC 시스템으로부터 공조 Duct를 이용하여 냉기 또는 온기를 Seat에 공급해주는 시스템에 열전소자와 관련 공조시스템을 추가로 설치한 냉난방 Seat를 개발하였다. 열전소자로부터

# Corresponding Author : jykim@chsoun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7745, Fax: +82-62-230-7035

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 <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.

냉기 또는 온기를 큰 열손실 없이 Seat까지 공급하기 위해 블로워 유닛과 Duct를 사용하였으며, 고온부의 온도가 저온부로 전도되지 않도록 공조시스템을 구성하였다. 또한 모듈을 통과해 Seat표면으로 유동을 토출시킬 때 열손실을 최소화하기 위해 우레탄호스에 단열 테이프를 처리하여 열손실과 유로저항을 최소화했다. 하지만 현재까지 개발한 열전소자를 이용한 차량용 쿨링&히팅 Seat의 문제점은 각 토출구별로 유량의 분배가 고르지 못해 Seat의 전체적인 쿨링 및 히팅을 해주기 어렵다<sup>[4]</sup>.

또한 Seat의 구조상 유로를 제한된 영역에 장착해야하기 때문에 최적의 냉난방효율의 구현이 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 구조적인 문제와 열전모듈의 기계·기구부적 최적설계를 바탕으로 냉난방효율이 극대화 될 수 있는 쿨링&히팅 Seat용 열전 모듈을 구조 타당성을 검증하고자한다. 이에 따라 열전소자와 팬을 함께 설치하여 기존 팬만 설치한 시트 보다 성능이 우수한 냉·온풍 시트 제작에 필요한 설계 및 검증을 Ansys Fluent전산모사를 통해 진행하였다.

## 2. 본론

### 2.1 냉/온 모듈의 기초 설계

냉각 및 히팅 온도 목표치(가열50℃, 냉각 10℃)를 고려하여 정상 열 유동 해석을 실시하였으며, 이를 통해 블로워 설계 유량 및 열전소자의 소비전력량을 결정하였다. Fig. 1, Fig. 2에서 보는 바와 같이 입구(Inlet)과 출구(Outlet)의 경계 조건을 설정하기 위해 입구에 들어오는 공기의 유량을 아래의 식 (1)을 사용하여 쿨링 시와 히팅 시 필요 유량 범위를 설정하였다<sup>[5]</sup>.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T, \quad \dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_p \cdot \Delta T} \quad (1)$$

여기서  $\dot{Q}$ 는 전력량이며,  $c_p$ 는 공기의 비열,  $\Delta T$ 는 입구와 출구의 온도차를 나타낸다.

### 2.2 해석 모델링 및 해석 조건

일체형 송풍 구조의 팬 및 열전소자를 적용한 Seat Module은 Catia를 이용하였고 Fig. 3과 같이 설계하였다. 또한, Duct 적용할 때 성능 검증을 위한, Seat Module과 Duct의 결합 후 모델링은 Fig. 4와 같다.

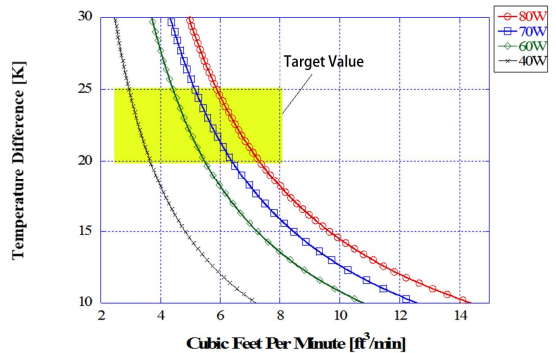


Fig. 1 Cubic feet per minute(heating 25℃ → 50 ± 5 ℃)

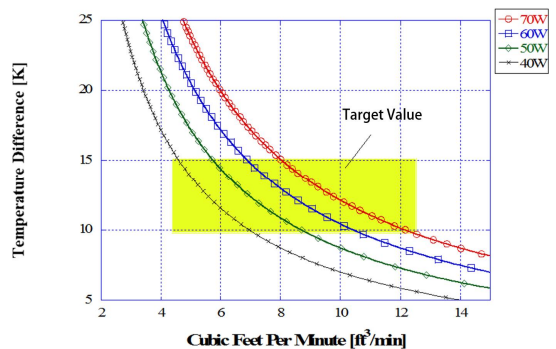


Fig. 2 Cubic feet per minute(cooling 25 ℃ → 10 ℃ ~ 15℃)

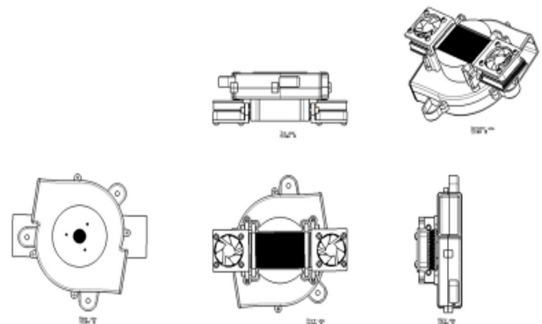


Fig. 3 3D modeling of seat module

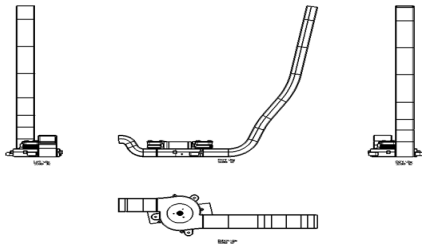


Fig. 4 3D modeling of seat module with duct

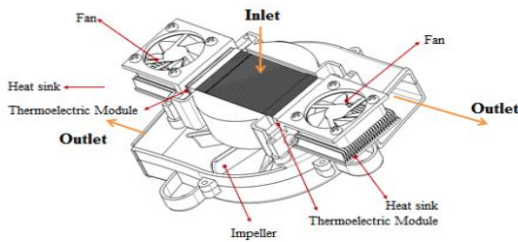


Fig. 5 Boundary condition of seat module

Duct 결합 전 후 각각 전산모사를 진행하였고 해석 경계조건은 Fig. 5와 같이 나타났다.

수치해석은 Ansys社에서 제공하는 상용 열 유체 코드인 Fluent를 사용하였다. 수치해석에 사용된 유체는 공기이며 연속 방정식, 운동량 방정식, 에너지 방정식, 부력에 의해 정의된다, 유체 유동은 정상 유동으로 가정하여 해석을 수행하였다. Fluent는 유체의 열적 특성과 거동을 모사하는데 널리 쓰이는 유한 체적법을 사용하며 대류열전달의 예측을 위하여 1차 Upwind differential scheme이 적용되었다. 직교좌표계의 텐서(cartesian tensor)항으로 나타낸 지배 방정식은 다음과 같다.

연속방정식(Continuity equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial}(\rho u_j) = S_m \quad (2)$$

운동량방정식(Momentum equation)

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + S_i \quad (3)$$

에너지방정식(Energy equation)

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho H u_j + F_{h,j} - u_i \tau_{ij}) = \frac{\partial p}{\partial t} + S_i + S_h \quad (4)$$

부력(Buoyant forces)

$$S_i = g_i(\rho - \rho_0) \quad (5)$$

여기서,  $\rho$ 는 공기의 밀도(Air density),  $\rho_0$ 는 기준 공기의 밀도(Reference air density),  $t$ 는 시간,  $u_j$ 는  $x$  축 방향요소의 절대유속(Absolute fluid velocity component in direction  $x_i$ ),  $\tau_{ij}$ 는 응력 텐서(Stress tensor components),  $H$ 는 엔탈피(Total enthalpy),  $F_{h,j}$ 는 확산에너지(Diffusion energy flux in direction  $x_j$ ),  $p$ 는 압력(Piezometric pressure),  $S_i$ 는 운동량(Momentum source),  $S_m$ 은 질량 소스(Mass source),  $S_h$ 는 에너지 소스(Energy source),  $x_i$ 는 직교좌표 (Cartesian coordinate),  $g_i$ 는 중력가속도(Acceleration of gravity)이다.

## 2.3 해석 결과

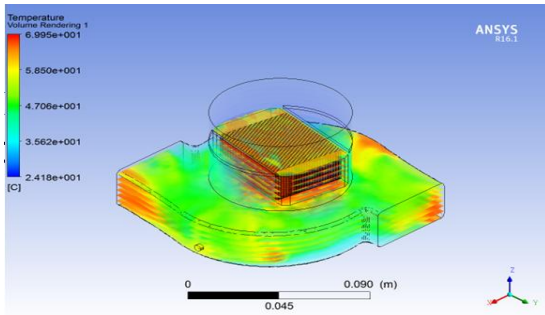
### 2.3.1 가열(Heating)

유속 및 TEC의 변화로 Outlet의 평균 온도가 25℃에서 50℃에 정상 상태로 가열 될 때, 유속에 따른 TEC의 평균온도를 Table 1과 같다.

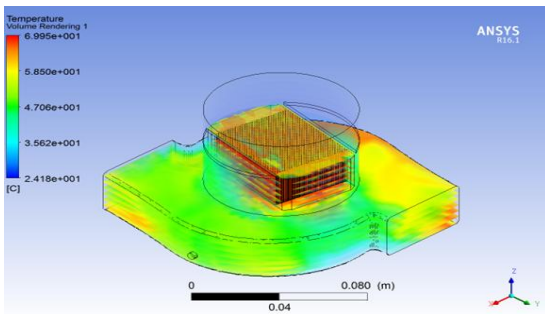
Fig. 6은 초기조건으로 Fan의 유량은 5.889CFM, 5.153CFM, 4.416CFM, 2.944CFM로 설정하였고, 각각 열전모듈의 온도는 67.5℃,67.8℃,68℃,69℃로 설정 하였을 때 25℃에서 50℃로 가열할시 평균 Outlet의 온도는 50.421℃, 50.95℃, 50.42℃, 50.95℃의 해석 결과를 나타냈다.

Table 1 Result of heating

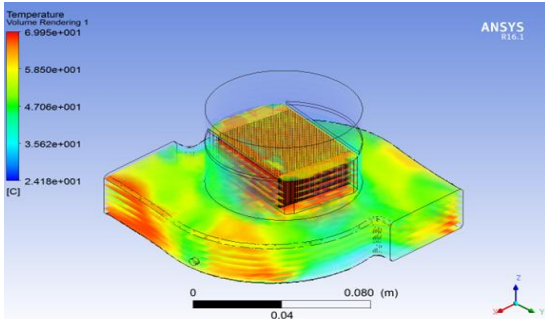
	Fan(CFM)	TEC(℃)	Ave temp of out(℃)
25℃ → 50℃	5.889	67.5	50.421
	5.153	67.8	50.95
	4.416	68	50.42
	2.944	69	50.95



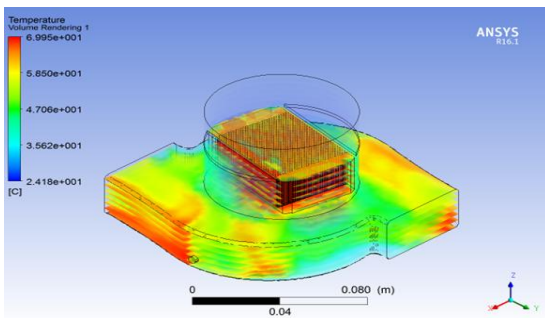
(a) 5.889CFM



(b) 5.153CFM

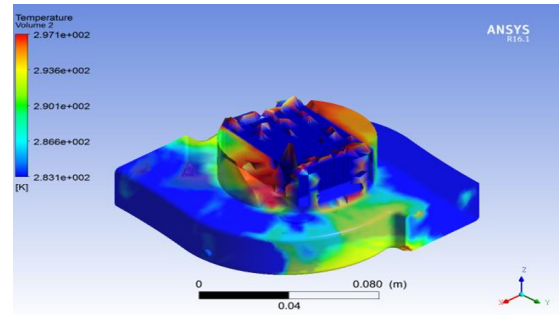


(c) 4.416CFM

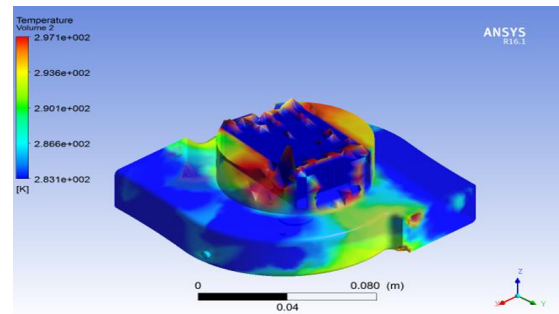


(d) 2.944CFM

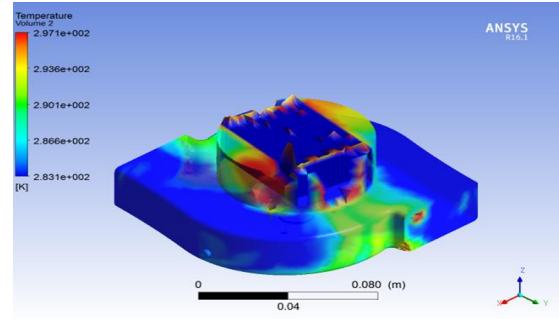
Fig. 6 Analysis of heating



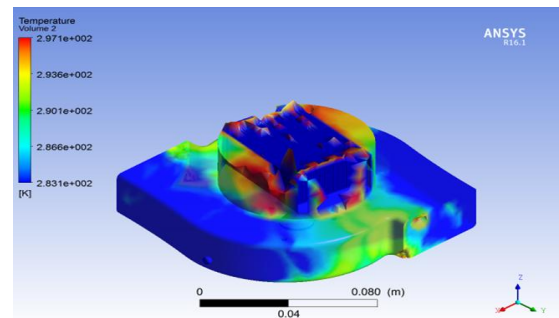
(a) 8.051CFM



(b) 6.901CFM



(c) 5.75CFM



(d) 4.6CFM

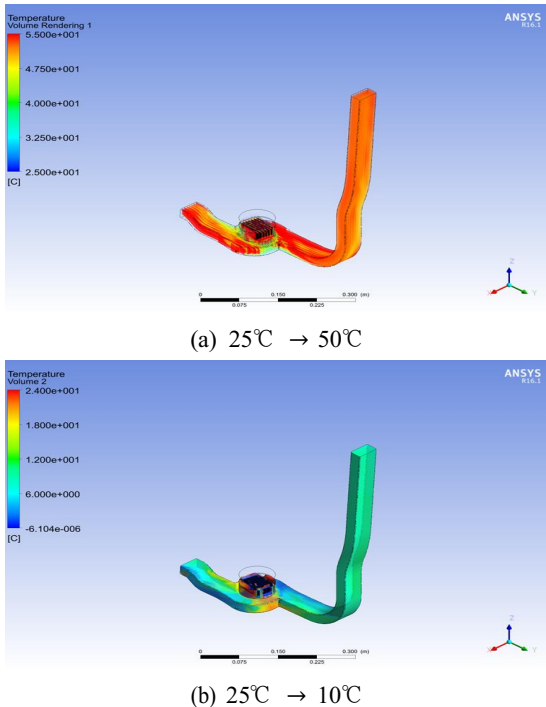
Fig. 7 Analysis of cooling

**Table 2 Result of cooling**

	Fan(CFM)	TEC(°C)	Ave temp of out(°C)
25°C → 10°C	8.051	1	10.149
	6.901	1.03	10.799
	5.75	1.07	10.984
	4.6	1.1	10.688

**Table 3 Result of module with duct**

	Fan(CFM)	TEC(°C)	Ave temp of out(°C)
25°C → 50°C	5.889	67.5	52.272
25°C → 10°C	8.051	1	9.46



**Fig. 8 Analysis of module with duct**

### 2.3.2 냉각(Cooling)

유속 및 TEC의 변화로 Outlet의 평균 온도가 25°C에서 10°C에 정상 상태로 냉각 될 때, 유속에 따른

TEC의 변화를 Table 2와 같다.

Fig. 7은 초기조건으로 Fan의 유량은 8.051CFM, 6.901CFM, 5.75CFM, 4.6CFM로 설정하였고, 각각 열전모듈의 온도는 1°C, 1.03°C, 1.07°C, 1.1°C로 설정하였을 때 25°C에서 10°C로 냉각할시 평균 Outlet의 온도는 10.149°C, 10.799°C, 10.984°C, 10.688°C의 해석 결과를 나타냈다.

### 2.3.3 Duct 결합 후

Duct 결합 후, 가열 및 냉각 시에 변화되는 Outlet의 평균 온도의 결과 값이 Table 3과 같다.

초기조건으로 Fan의 유량은 5.889CFM, 8.051CFM로 설정하였고, 각각 열전모듈의 온도는 67.5°C, 1°C로 설정 하였을 때 25°C에서 50°C/25°C에서 10°C로 가열/냉각할시 평균 Outlet의 온도는 52.272°C, 9.46°C의 해석 결과는 Fig. 8과 같다.

## 3. 결론

본 연구에서는 구조적인 문제와 열전모듈의 기계·기구부적 최적 설계를 바탕으로 냉난효율이 극대화 될 수 있는 쿨링&히팅 Seat용 열전 모듈을 구조 타당성을 전산모사 검증 분석하여 아래와 같이 결론을 내릴 수 있었다.

1. Duct결합 하지 않을 경우에 가열 시 선정된 입구 Fan의 유량 범위 안에 인가하였을 때 최종 목표 값인 50°C를 충분히 도달가능하며, 냉각 시 최종 목표 값인 10°C를 도달가능하다고 판단된다.
2. Duct결합 후에 선정된 유량 범위에 가열 및 냉각 최종 온도는 목표 값인 50°C, 10°C를 매우 유사하게 나타난다.
3. 종합적으로 쿨링&히팅 Seat용 열전 모듈의 기계·기구부적 설계는 최종 연구 목표 값에 만족할 수 있다고 판단되고 구조의 타당성을 검증 하였다.
4. 본 연구를 통해 향후 승용자동차 시트용 냉/온 열전소자 모듈의 설계 및 제작 시 기본 데이터 로써 최적설계에 적용될 수 있다고 판단된다.

## 후기

“위 논문은 2017년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.”

## REFERENCES

1. Falou, W. E., Duchêne, J., Grabisch, M., Hewson, David, H., Langeron, Y., Lino, F., “Evaluation of driver discomfort during long-duration car driving”, Applied Ergonomics, Vol. 34, Issue. 3, pp.249~255, 2003.
2. Chun, H. W., Moon, S. F., “Application Trends Thermoelectric Materials”, ETRI, Vol. 30, No. 1, pp.144~153, 2015.
3. Rowe, D. M and Gao, M., “Evaluation of Thermoelectric Modules for Power Generation”, Journal of Power Sources, Vol. 73, No. 2, pp.193~198, 1998.
4. Jung, J. H., Kim, S. C., Won, J. P., Noh, S. H., Cho, Y. S., “A Experimental Study on the Performance of Climate Control Seats Using the Discharge Port of the Shape of Nozzle”, Transactions of KSAE, Vol. 17, No.3, pp.110~116, 2009.
5. Choi, C. J., Gao, J. Ch., Kim, J. Y., Jung, Y. S., “Research on the Relation between Thermoelectric Module with Defects and the Thermal Performances”, Journal of the Korea Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 4, pp. 125~133, 2016.