

두께와 열전소자 부착위치를 고려한 자동차용 고효율 전자 냉온 모듈 형상 최적화 연구

김재원¹, 이정호¹, 박찬희^{2*}
¹(사)캠틱종합기술원, ²전북대학교 기계설계공학부

Research of shape optimization for High-Efficiency Electronic cold modules taking into consideration thickness and thermoelectric element mounting position

Jae-Won Kim¹, Jung-Ho Lee¹, Chan-Hee Park^{2*}

¹CAMTIC Advanced Mechatronics Technology Institute for Commercialization

²Division of Mechanical Design Engineering, Chonbuk national University

요약 사용자 편의 장치에 대하여 고객들은 높은 효율과 더 많은 기능을 갖는 요구하고 있으며 이러한 자동차 어플리케이션에 대한 중요성이 지속적으로 증가하고 있다. 자동차에서 냉온 컵홀더 모듈은 냉온 모듈의 온도를 제어하여 컵홀더 속의 음료수를 따뜻하게 혹은 차갑게 유지시켜주는 고급 편의 장치이다. 본 연구에서는 자동차용 냉온 모듈의 최적 설계를 위하여 다양한 두께 조건에서 열해석을 수행하였다. 열해석 결과 두께가 2.5mm 로 일정할 때 주요 지점의 온도 분포가 가장 낮게 나타났다. 그리고 열전소자가 아래 쪽에 위치해 있을 때(A-type) 온도 분포가 낮게 나타났다.

Abstract The demand for user convenient devices in automotive applications are fast growing, mainly driven by the customer's requirement for higher efficiency and more features. In important such feature is the cold module for cars, which are convenient luxuries that warm or cool drinks placed in the cup holder by means of a thermoelectric element. In present study, we would like to find out the optimal thickness of the cup holder and mounting position of the thermoelectric element through experiments under various testing conditions and thermal analysis. The resulting thermal distribution of the primary area of thermal analysis was found to be lowest when the thickness was 2.5 mm. The temperature distribution was also lowest when the thermal element was positioned underneath the holder (A-type).

Keywords : Cold modules, COMSOL, Cup holder, Peltier element, Thermal analysis

Nomenclature

A : Time, minute

B : Voltage, V

C : temperature, °C

Subscripts

AL : Aluminum6061T6

PE : Peltier element

TA : Thermal Analysis

1. 서론

1.1 분석결과

자동차가 발전함에 따라, 운전자 및 탑승자의 편의 증진을 위한 기능성 자동차 부품 모듈 개발이 많이 요구되어 지고 있다[1-3]. 대표적으로 안전 운전을 위한 감성조명, 자동차 실내 공기 정화를 위한 필터 모듈 그리고 자동차용 냉온 컵홀더 모듈 개발 등이 있다[4]. 그러나 앞에서 언급한 감성조명과 캐빈 필터등의 경우는 국내외에

*Corresponding Author : Chan-Hee Park(Chonbuk National University)

Tel: +82-63-270-4284 email: biochan@jbnu.ac.kr

Received August 24, 2015

Revised (1st October 2, 2015, 2nd October 14, 2015)

Accepted December 4, 2015

Published December 31, 2015

서 많은 연구가 활발히 이루어지고 있는데 반해, 본 연구에서 수행하고자 하는 자동차용 고효율 전자 냉온 모듈 개발의 경우는 예상보다 많은 연구가 진행되고 있지 않고 있다[5,6].

자동차용 냉온 모듈은 열전소자로 최고 55℃~최저 5℃까지 보온, 보냉을 할 수 있으며, 냉온 모듈의 온도를 제어하여 냉온 모듈에 올려놓은 음료를 따뜻하게 혹은 차갑게 유지시켜주는 편의 장치이다. 현재 고급 외제차량에 기본옵션으로 많이 적용되고 있으나 국내 완성차에는 아직 적용된 사례는 없지만, 이에 대한 요구가 높아지고 있는 추세이다[7]. 냉온 모듈은 간단한 구조로 되어 있지만 자동차의 전원을 이용하기 때문에 열효율에 매우 민감한 제품이다. 또한, 냉온 모듈의 두께, 그리고 열전소자의 부착 위치에 따라서, 열효율이 크게 차이가 나지만 아직까지 위 조건들에 따른 연구가 수행되고 있지 않고 있다[8-10]. 따라서 본 논문에서는 열해석 방법을 통해 열효율이 높은 컴플렉터의 최적 두께와 열전소자의 부착 위치를 찾기 위하여 다양한 조건하에서 연구를 수행하고자 하였다.

2. 본론

2.1 냉온 모듈 기본형상 설계

냉온 모듈 수납부의 기본 형상은 원형으로 바닥면을 제외하면 수납품과 하나의 접선만 갖는다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해 본 연구에서는 그림 1과 같이 원형의 기본 내측면에 작은 원형을 적용하여 측면 접선이 두 개가 되도록 설계하여 기존에 비하여 열전달을 효과적으로 할 수 있도록 설계하였다.

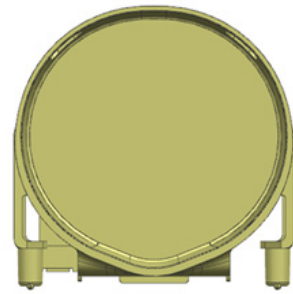
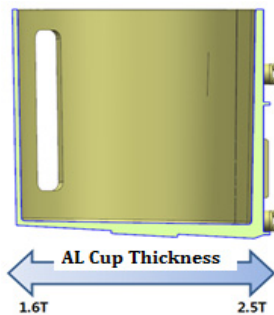
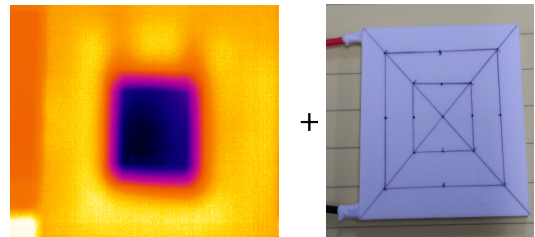


Fig. 1. The basic figure of electronic cold module in this study

열해석 결과의 정확도를 높이기 위해 설계 형상을 제작하여 열전소자의 온도를 변화시키며 열평형 상태에서 주요 지점에 대한 온도를 측정하여 실험결과와 해석 결과를 비교하였다.

2.2 해석을 위한 기초 실험

열해석 진행을 위한 열원(열전소자)는 JMD-00229 열전소자 특성표[6]를 참조하여 그림2와 같은 TJMD-00229의 열전소자를 사용하였다. 또한, 해석에 앞서, 열전소자의 열특성을 열화상 카메라를 이용하여 확인하고자 하였다. 그러나 열화상 카메라 촬영결과 열 번짐 현상으로 측정 포인트를 잡기 어려워 그림2와 같이 열전소자 사진과 합성하여 측정 포인트를 잡아 실험을 수행하였다. 실험결과 열전소자의 오른쪽 면은 히터의 영향을 받아 온도 수치가 약간 높게 나타나고, 열 분포는 열전소자의 중심에서 왼쪽 끝 부분까지 측정하여 사용하였으며 중심에서 3/4 지점까지는 동일한 온도 분포를 나타내고 3/4 지점에서 끝 지점까지는 일정한 기울기로 온도가 상승하는 것을 확인하였다.



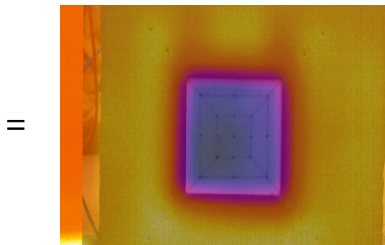


Fig. 2. Thermal image of after image summation

그리고 해석 후 도출되는 결과 값의 검증에 위하여 냉 온 모듈의 2점 접지 mock-up의 7V무부하 상태에서 30 분 후 온도 변화 측정과 같은 기초 실험을 수행하였다. 실험결과 표1과 같은 결과를 얻을 수 있었으며, 이 결과는 해석결과의 검증에 반영되었다. 온도 측정위치는 컵 높이의 1/2지점의 7개 지점을 선정하였다. 각 지점에서 해석결과와 실험결과의 온도 차이는 1.15℃ 이내였다.

Table 1. The results of the two point temperature measurement on the mock-up of cold module after 30 minutes

Time (min.)	A point	B point	C point	D point
0	25.4	25.2	25.2	25.2
30	2.5 (ΔT 22.9 ↓)	5.2 (ΔT 20.0 ↓)	5.4 (ΔT 19.8 ↓)	5.6 (ΔT 19.6 ↓)
Time (min.)	E point	F point	G point	unit: °C
0	25.1	25.9	25.8	
30	6.4 (ΔT 18.7 ↓)	33.0 (ΔT 7.1 ↑)	31.3 (ΔT 5.5 ↑)	

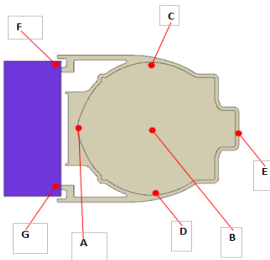


Fig. 3. The position of temperature measurement

2.3 해석 조건

냉 온 모듈의 재질은 AL6061T6 로 열전도율은 167W/m-K 이고 두께는 2.0mm, 주변 대기 온도는 25.6℃였다. 해석프로그램은 COMSOL Multiphysics 4.3 버전[11]을 사용하였다.

그리고 냉 온 모듈 최적 두께 결정을 위한 두께별 열해석은 1.5T, 2.0T, 2.5T, 3.0T 총 4가지 경우로 구분하였으며, 이때의 구체적인 해석 조건은 표2와 같다. 열해석 후 온도 측정 포인트는 표2와 같이 음료 측면의 열전도 포인트 9개 지점과 캔음료 바닥면의 사이즈별 각 9개 지점에서 온도를 측정하였다.

Table 2. The condition of Finite Elements Analysis accordance with the tickness and position of temperature measurement

① Temperature of the ambient air: 25.6℃
② Temperature of the peltier element: 2.5℃
③ Material of the cup holder: AL 6061T6 (Thermal Conductivity 167W/(m·K))
④ Size of the peltier element: 30mm * 30mm * 4.1mm
⑤ Condition: Covered with insulation
⑥ Program: COMSOL multiphysics 4.3
⑦ Mesh: Free Triangular

<Temperature measurement points on the sides>

<Temperature measurement points on the bottom>

3. 해석 결과

3.1 두께에 따른 온도 분포 해석 결과

방열판의 열을 고려하지 않고, 해석한 결과 그림4과 같이 냉 온 모듈의 두께가 2.5T일 때 가장 낮은 온도를 나타내고, 2.0T → 3.0T → 1.5T 순의로 낮은 온도 분포를 나타내었다.

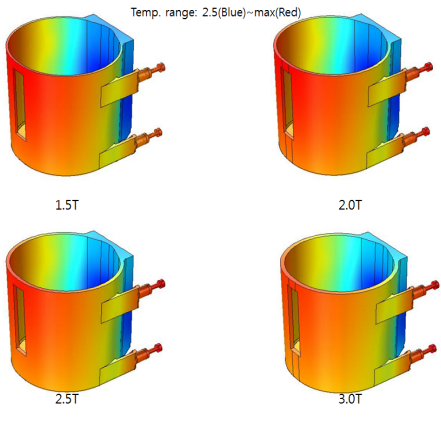
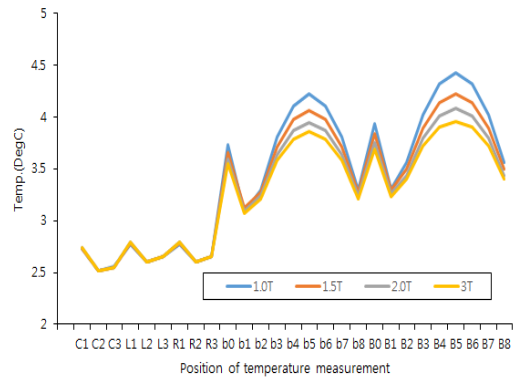
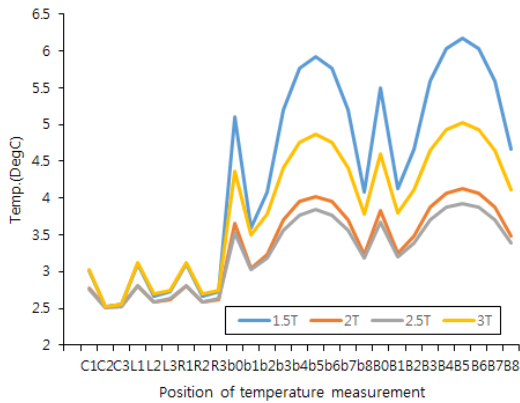


Fig. 4. Result of temperature measurements per thickness and contour distribution of temperature without considering the heat of the heat sink

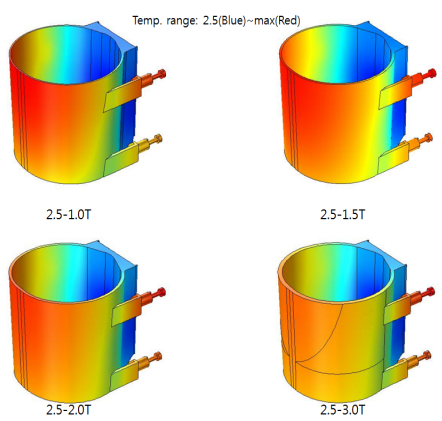


Fig. 5. Result of temperature measurements per thickness and contour distribution of temperature considering the different density of cold module

한편, 두께 밀도가 다른 냉온 모듈에 대한 열해석도 수행하기 위하여, 1.0~2.5T 두께를 갖는 컵홀더, 1.5~2.5T 두께를 갖는 컵홀더, 2.0~2.5T 두께를 갖는 컵홀더, 3.0~2.5T 두께를 갖는 컵홀더 총 4가지 경우로 조건을 정하여 해석하였다. 해석결과 예상대로 컵홀더의 두께가 두꺼울수록 낮은 온도를 나타내었고, 밀도를 고려하지 않은 결과와 마찬가지로 열전소자로부터 멀어질수록 온도 차이가 심하게 발생하였다.

따라서, 두께에 따른 냉온 모듈의 온도 분포는 두께가 일정한 경우에는 2.5T에서 가장 낮은 온도를 보였으며 두께가 균일하지 않은 경우에는 2.5T-3.0T일 때 가장 낮은 열 분포를 보였다. 그리고 두께가 2.5T로 일정한 경우와 2.5T-3.0T일 때를 비교해보면 더 낮은 온도를 나타내는 경우가 위치에 따라 다르고 뚜렷하게 구분하기 어려웠다. 하지만 제작의 용이성 및 단가를 고려할 경우 2.5T로 균일하게 제작하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

3.2 열전 소자 접촉 위치에 따른 온도 분포 해석 결과

냉온 모듈의 두께 뿐만 아니라, 열전 소자의 부착 위치에 따른 냉온 모듈의 온도 분포 경향을 확인하기 위하여 그림6와 같은 조건으로 해석하였다. 해석 조건은 표2에 있는 조건과 동일하나, 열전소자 부착 위치는 그림5와 같이 A type, B type, C type, D type로 하여 총 4가지의 경우로 구분하여 수행하였다.

해석 결과 그림 7과 같이 열전소자가 아래쪽에 위치해 있을 때 온도 분포가 낮게 나타났으며, 열전소자 벽과 컵홀더 바닥면을 연결하는 부위가 두꺼울 때 온도가 낮게 나타났다. 그리고 최대 온도는 열전소자가 바닥에서 11mm 위에 있는 B type에서 가장 낮았다.

그리고 열해석결과 열전달 효율이 가장 좋았던 냉온 모듈 모델에 캔음료를 추가하였을 경우에 대한 온도 분포 해석을 진행하였다. 이를 위하여 그림 8과 같이 형상을 음료수 캔과 냉온 모듈의 round를 제거하고, 음료수 캔의 윗부분은 삭제 하였다. 캔에 들어 있는 액체는 물로 가정하였다. 그리고 시간은 0~60분, 10초 간격으로 해석 진행하였고, 캔의 재질은 알루미늄(Thermal Con

activity $160W/(m \cdot K)$)으로 하였고, 열해석 온도 측정 포인트는 바닥 4포인트와 캔음료의 측면 벽을 10mm간격으로 9개 포인트, 음료수 상부 온도 5포인트 측정하였다. 표 3.은 9개 포인트에 대하여 10분 간격으로 온도를 측정한 값이다. 표 4.는 컵홀더와 캔의 mesh 정보를 보여 주고 있다.

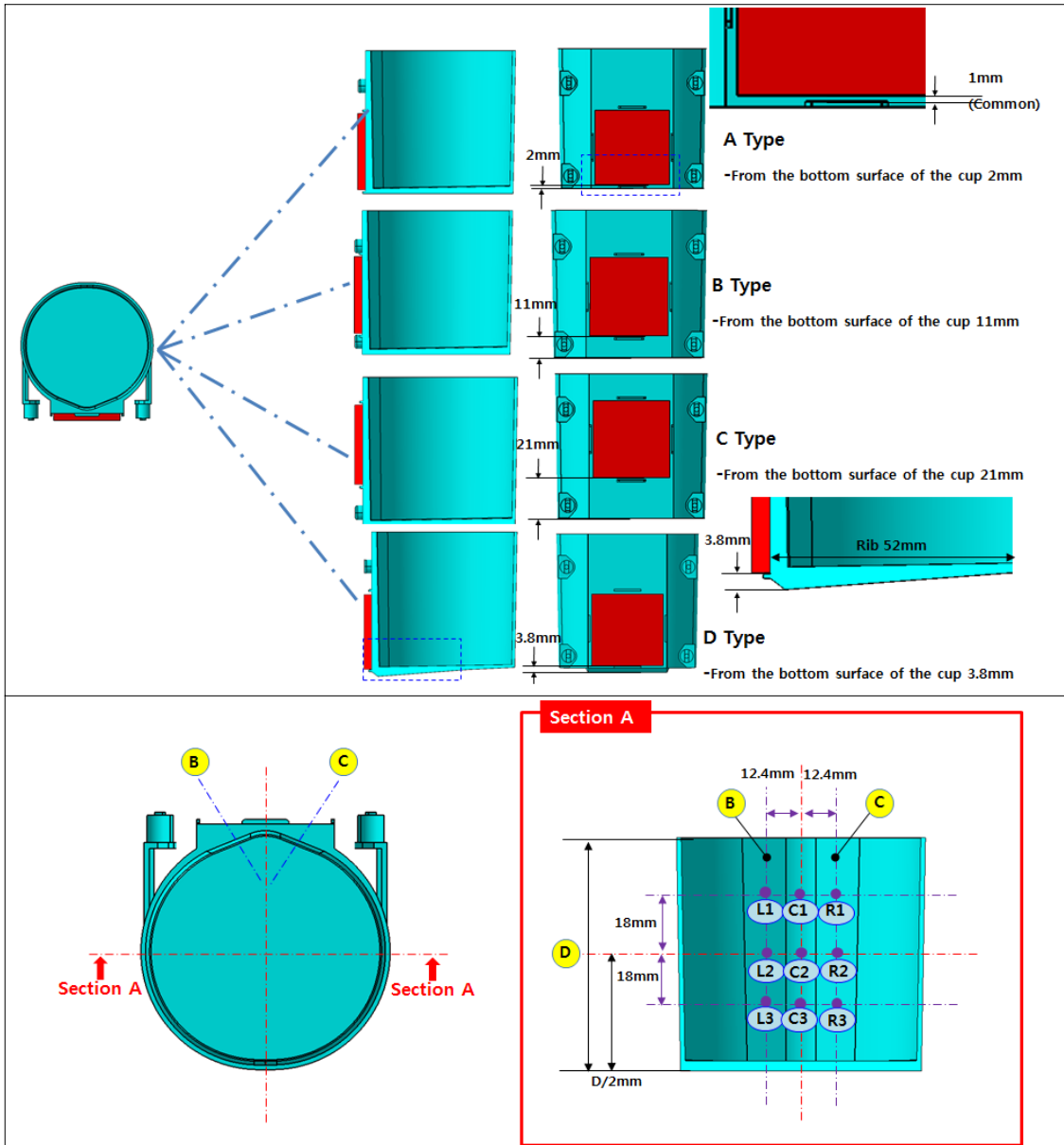


Fig. 6. The temperature distribution analysis with position of peltier element

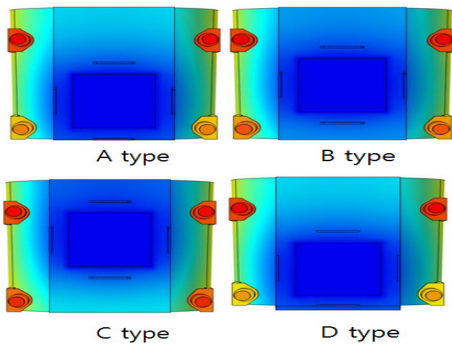
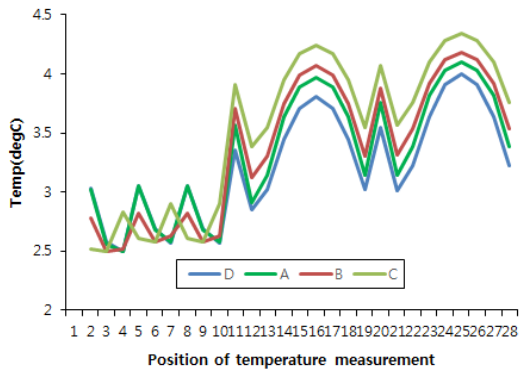


Fig. 7. Result of temperature measurements per thickness and contour distribution of temperature

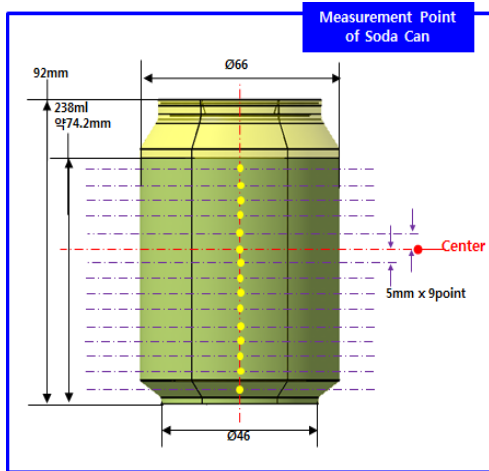


Fig. 8. In case the temperature distribution analysis conditions for adding soda

해석결과 이번 조건에서 자세히 보고자 하였던 캔 음료 측면 벽의 온도변화를 측정된 결과 그림 9와 같았다. 온도측정지점은 열전소자와 90도 이루면서 캔과 접촉하는 지점에서의 온도를 측정하였다.

Table 3. The temperature of each point

	10 min.	20 min.	30 min.	40 min.	50 min.	60 min.
S1	22.94	21.06	19.29	17.75	16.57	14.94
S2	22.84	20.97	19.07	17.56	16.36	14.86
S3	22.57	20.86	18.78	17.23	15.92	14.35
S4	22.49	20.11	18.21	16.59	15.25	13.79
S5	21.75	19.34	17.10	15.68	14.65	12.89
S6	21.06	18.08	15.99	14.58	13.47	11.93
S7	19.43	16.37	14.38	12.98	12.07	10.85
S8	17.07	14.11	12.42	11.29	10.51	9.62
S9	13.38	11.10	10.10	9.28	8.68	8.10

Table 4. The mesh statistics and size

Property	Value	Property	Value
Min. element quality	6.4×109	Edge element	6596
Average element quality	0.5013	Vertex element	246
Tetrahedral elements	533882	Max. element size	9.74mm
Triangular element	148882	Min. element size	0.146mm

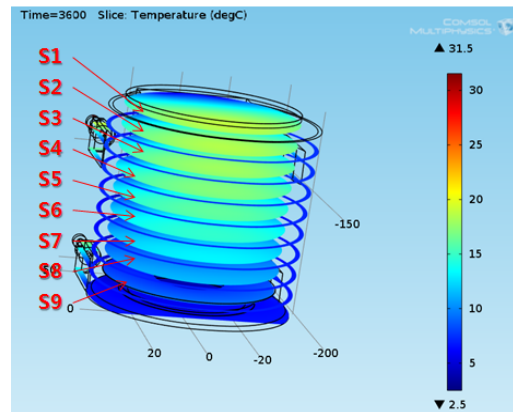


Fig. 9. Temperature distribution of cup holders when adding a soda

4. 결론

본 연구에서는 자동차용 냉온 모듈의 최적 설계를 위하여 다양한 두께 조건에서 열해석을 수행하였다. 열해석 결과 두께가 2.5mm로 일정할 때 주요 지점의 온도 분포가 가장 낮게 나타났다. 그리고 열전소자가 아래쪽에 위치하고 열전소자 벽과 컵홀더 바닥면을 연결하는 부위가 두꺼울 때(D-type) 온도 분포가 낮게 나타났다. 음료수 캔을 컵홀더에 넣고 동작시켰을 때 음료수 캔은 상온에서 10분후 S9지점의 경우 13.38℃까지 하락하였

으며 한 시간 후 8.1℃까지 떨어지는 것을 해석을 통해 확인할 수 있었다.

향후 추가 열해석을 통해 열평형 상태에 도달하는데 필요한 에너지와 열전소자의 위치에 따른 온도분포 등을 추가하여 최적의 냉온 모듈 형상설계를 진행한다. 최적의 냉온 모듈 형상 설계안이 도출 될 수 있을 것이다.

References

- [1] BIR RESEARCH GROUP, "The development trends for five generation future lading industrial technology and the present state of participate companies", pp. 75, BIR, 2011.
- [2] He, W., Zhou, J., Hou, J., Chen, C. and Ji, J.,2013, "Theoretical and experimental investigation on a thermoelectric cooling and heating system driven by solar," Applied Energy, Vol. 107, pp. 89-97.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.055>
- [3] Liu, Z., Zhang, L. and Gong, G., 2014, "Experimental evaluation of a solar thermoelectric cooled ceiling combined with displacement ventilation system," Energy Conversion and Management, Vol. 87, pp. 559-565.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.051>
- [4] JIHUI YANG, FRANCIS R. STABLER, "Automotive Applications of Thermoelectric Materials", Journal of ELECTRONIC MATERIALS, Vol. 38, No. 7, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11664-009-0680-z>
- [5] S. M. Park, J. N. Park, and H. S. Lim, "Experimental Investigation for Fuel Efficiency and Performance of Diesel Hybrid Electric Vehicle", Proceedings of the korean society of automotive engineers, 1603 (2006)
- [6] International Energy Agency, "Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions," OECD/IEA, Paris, (2007)
- [7] R. Schmidt, M. Iyengar, D. Porter, G. Weber, D. Graybill, J. Steffes, "Open side car heat exchanger that removes entire server heat load without any added fan power", Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITHERM), 2010 12th IEEE Inter-society Conference, 1 (2010)
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/itherm.2010.5501423>
- [8] Tomáš Brestovic, Natalia Jasminska, Maria Čarnogurska, Michal Puškár, Michal Kelemen, Milan Fil' o, "Measuring of thermal characteristics for Peltier thermopile using calorimetric method", Measurement 53 (2014) 40 - 48.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2014.03.021>
- [9] A. Kapjor, J. Jandac'ka, M., Malcho, Š. Papuc'ik, Intensification of heat transport from the floor convector at given geometry and the way of use, 2010, pp. 101 - 104.
- [10] R. Pyszko, M. Pr'ihoda, M. Velic'ka, Method for determining the thermal boundary condition in the CC mould for numeric models. In Proceedings

- [11] Multiphysics, C. O. M. S. O. L. "Comsol." Inc., Burlington, MA, www.comsol.com (1994).

김 재 원(Jae-Won Kim)

[정회원]



- 2005년 8월 : 전북대학교 메카트로닉스공학과 (공학석사)
- 2014년 2월 : 전북대학교 바이오나노시스템공학과 (공학박사)
- 2010년 10월 ~ 2012년 2월 : (주)테크닉연구소 선임연구원
- 2013년 3월 ~ 현재 : (사)캠텍종합기술원 선임연구원

<관심분야>

제어시스템, 구조진전성모니터링

이 정 호(Jung-Ho Lee)

[정회원]



- 2011년 2월 : 전북대학교 기계시스템공학부 (공학사)
- 2011년 2월 ~ 현재 : (사)캠텍종합기술원 선임연구원

<관심분야>

기계 시스템분야 개발, 제어계측 시스템 개발

박 찬 희(Chan-Hee Park)

[정회원]



- 2012년 2월 : 전북대학교 공과대학 바이오나노시스템공학과(공학박사)
- 2002년 12월 ~ 2009년 4월 : 한국내쇼날인스트루먼트(주) 대리(LG전자 Account Manager)
- 2009년 5월 ~ 2014년 2월 : (사)캠텍융합기술원 신기술융합팀 팀장
- 2014년 3월 ~ 현재 : 전북대학교 기계설계공학부 조교수

<관심분야>

기계 시스템분야, 나노바이오기계 시스템 개발, 나노물질합성, 나노메디슨