

Passenger Position별 독립제어 기반 공조 히팅 모듈 열유동해석

봉선우*, 이현균*, 신정훈*, 김종업**, 박성태**, 김수범**, 지덕구**

*한국자동차연구원

**자화전자 주식회사

e-mail : swbong@katech.re.kr

Flow Analysis of Air Conditioning Module based on Independent Control by Passenger Position

Seon-Woo Bong*, Heon-Kyun Lee*, Jeong-Hoon Shin*, Jong-Eob Kim**

Seong-Tea Park**, Su-Beom Kim**, Deok-Gu Ji**

*Korea Automotive Technology Institute

**Jahwa Electronics Co., Ltd.

요약

공조 히팅 모듈은 배터리 전기에너지가 인가되면 공조 히팅 모듈이 발열하게 되고, Blower Motor에서 공급된 Air가 공조 히팅 모듈을 통과하면서 Heating Air가 차량 실내로 유입되어 난방 기능을 하게 된다. 기존 히팅 모듈의 경우, Driver, Passenger측으로 Heating zone이 구분되어 있어, Front, Foot, Rear측 작동 시, 공조 히팅 모듈 Heating zone 전체를 작동시켜 전기에너지 소모가 많은 문제점이 야기되었다. 본 연구의 공조 히팅 모듈은 Heating zone을 6zone으로 분할하여, Front, Foot, Rear측 난방할 때, 국부적으로 Heating zone을 작동시켜 효율적으로 전기에너지를 활용할 수 있는 공조 히팅 모듈을 개발하였다. 특히, 공조 히팅 모듈 IGBT는 공조 히팅 모듈의 핵심 부품으로써 작동 시 높은 발열을 나타내어 작동하는 동안 지속적인 냉각이 필요하다. 본 연구에서는 공조 히팅 모듈의 IGBT 최적 냉각 기법을 전산 유체 해석을 통해 개발하였다.

2. 본문

1. 서론

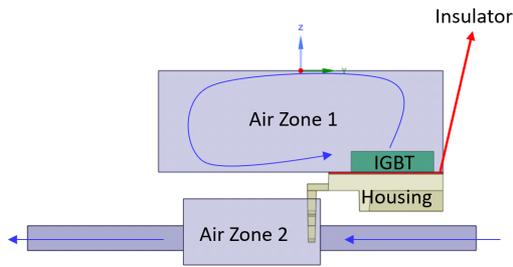
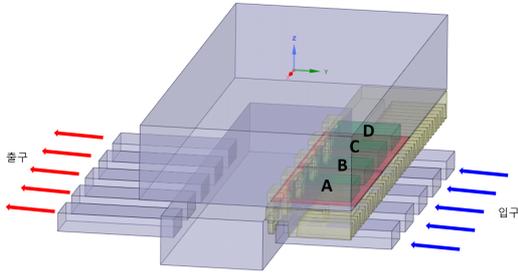
현재, 국내 중대형 전기차는 내부 공간이 크고 많은 사람이 탑승하거나, 차량 실내에서 캠핑 및 휴식할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 이러한 중대형 전기차의 난방 성능을 충족시키기 위해 2개의 공조시스템이 적용되어 각종 고전압 Wire 및 냉매/냉각수 배관이 연결되어 차량 무게가 증가되며, 복잡한 차량 레이아웃을 갖게 되는 문제가 야기되었다. 본 연구에서는 공조 히팅 모듈의 Heating zone을 6zone으로 분할하여, 승객이 요구하는 위치만 공조 시스템을 작동시켜 전기에너지를 감축시키는 개발품을 개발하였다. 6zone을 개별적으로 제어하기 위해서는 IGBT의 기술이 중요한데 IGBT는 안정적 작동을 위해 100도 이하로 관리하는 것이 중요하다. 이를 위해 본 연구에서는 Heat Sink를 적용하여 내부에서의 자연대류와 Heat Sink로의 강제대류를 통한 냉각 최적화 구조를 비정상 열유동해석을 통해 확인하였다.

2.1 열유동해석 모델 및 조건

해석 모델은 [그림 1]에 나타내었고, 해석 조건은 아래 [표 1]에 나타내었다. 해석 모델은 IGBT A ~ D까지 구성하였으며, 유동 영역은 Air Zone 1과 Air Zone 2로 나뉜다. Air Zone 1은 IGBT가 발열될 때 공기와 자연 대류로 냉각되며, Air Zone 2는 IGBT가 발열로 열이 Insulator를 통해 Housing의 Heat Sink로 전달되어 Blower Motor를 통해 강제대류로 냉각시키는 각 zone이다. 입구 조건은 500kg/h이며, IGBT의 열손실 3W를 부피로 나눈 W/m³ 단위의 Heat Source 1.92e⁶ W/m³를 적용하였다.

[표 1] 열유동 해석 조건

Inlet	Outlet	입구 공기 온도	공기 초기 온도	Heat Source
500 [kg/h]	대기압	20/40도	20/40도	1.92e6 W/m ³



[그림 1] 해석 모델

2.2 열유동해석 결과

IGBT의 온도 해석 결과를 아래 표와 그림에 나타내었다. 입구 공기 온도 및 초기 온도 20도일 때의 해석 결과는 IGBT A가 가장 높은 온도를 나타내었으며, D에서 가장 낮은 최대 온도를 나타내었다. 평가 결과와 비교 시 평균 $\pm 5.6\%$ 내외로 최대 온도가 맞는 것으로 나타났다. 입구 공기 온도 및 초기 온도 40도일 때의 해석 결과는 IGBT A가 가장 높은 온도를 나타내었으며, D에서 가장 낮은 최대 온도를 나타내었다. 평가 결과와 비교 시 평균 $\pm 7.6\%$ 내외로 최대 온도가 맞는 것으로 나타났다. 평가 결과는 IGBT B에서 가장 높은 온도를 나타내었는데, 이는 해석 시 IGBT A 옆 벽면과의 열교환을 무시하여 나타난 현상으로 파악된다.

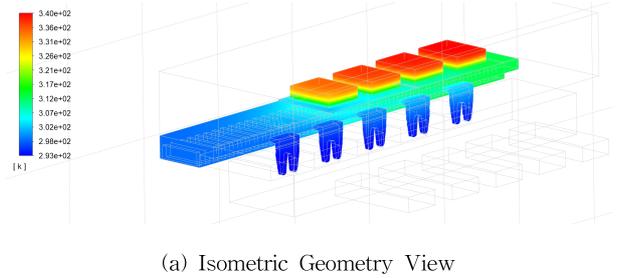
IGBT의 발열은 Insulator를 통해 Heat Sink로 원활하게 전달되는 것을 확인할 수 있었으며, Air Aone 2에 불어오는 강제 대류로 인해 Housing에 전달되는 열은 적절하게 냉각되는 것을 확인할 수 있었다. Air Zone 1에서의 자연 대류는 IGBT의 발열이 공기와 더 맞는 IGBT D에서 냉각이 더 원활한 것을 확인할 수 있으며, IGBT 배치 구조에 따라 냉각 효율을 더 높일 수 있을 것으로 판단된다.

[표 2] 열유동 해석 결과 - 20도

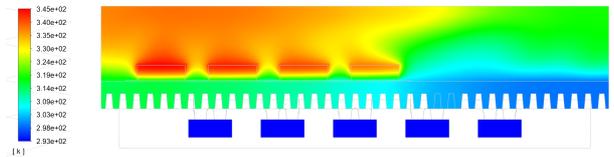
IGBT	Initial Temp. [°C]	해석 Max. Temp. [°C]	평가 Max. Temp. [°C]
A	20.0	77.6	75.0
B	20.0	75.9	79.4
C	20.0	73.3	78.2
D	20.0	69.7	75.9

[표 3] 열유동 해석 결과 - 40도

IGBT	Initial Temp. [°C]	해석 Max. Temp. [°C]	평가 Max. Temp. [°C]
A	20.0	86.7	89.6
B	20.0	85.9	93.3
C	20.0	84.1	92.2
D	20.0	81.0	90.6

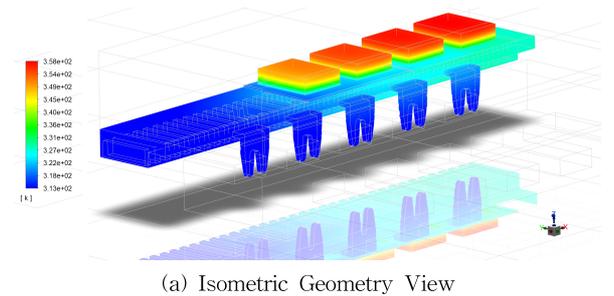


(a) Isometric Geometry View

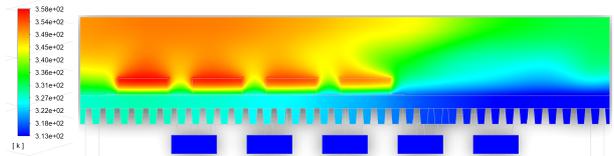


(b) Cross Section View

[그림 2] 입구 공기 온도 및 초기 온도 - 20도



(a) Isometric Geometry View



(b) Cross Section View

[그림 3] 입구 공기 온도 및 초기 온도 - 40도

IGBT의 비정상 해석 결과 그래프를 아래 그림에 나타내었다. 평가는 총 2000초 동안 진행하였으며, 해석 시간은 총 1000초 진행하였다. 이는 평가 결과와 다르게 해석 결과가 약 300초 이후 최대 온도가 안정화되었기 때문이다. 평가 결과는 온도의 안정화 되기까지 약 1500초가 걸린 것으로 확인되었으며, 이는 해석 경계 조건 설정 시 외부 벽 단열 조건을 설정한 것과 실제 제품의 부품들의 간극으로 인한 공기 누설로 외부 공기와의 접촉이 발생하였을 것으로 판단된다.

현재 개발한 제품의 IGBT는 최대 온도 100도 이상으로 발열 시 제품 변형 및 오작동이 발생되어 최대 온도 100도 이하로 냉각시키는 것이 중요하다. 해석 결과와 평가 결과 IGBT의 최대 온도는 100도 이하로 안정적으로 유지되는 것으로 확인하였다.

3. 결론

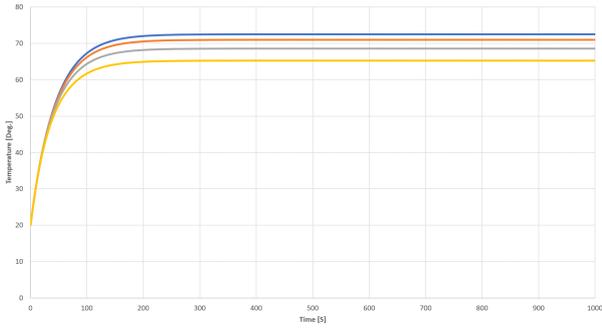
본 연구에서는 독립제어 기반 공조 히팅 모듈을 개발하였으며, Heating zone을 6zone으로 나누어 사용자가 요구하는 위치만 공조 시스템을 작동시킬 수 있도록 개별 제어 IGBT를 적용하였다. IGBT의 안정적 작동을 위해 100도 이하로 냉각하여 유지하는게 중요하며, 이를 위해 개발품에 Heat Sink를 적용하여 강제 대류와 자연 대류를 통해 냉각이 가능하도록 적용하였다. 개발품의 냉각 성능을 알아보기 위해 해석과 평가를 진행하였으며, 해석 및 평가 결과 모두 IGBT 부품의 안정적 온도 유지 범위인 100도 이하로 작동하는 것으로 확인하였다.

후기

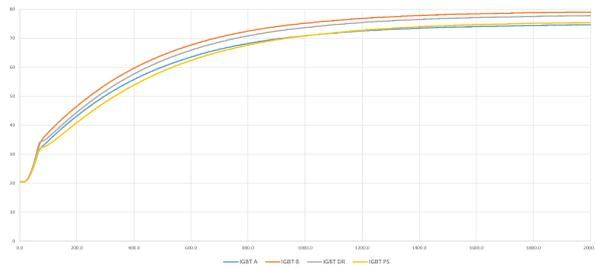
본 연구는 충북과학기술혁신원의 2023년 충북 소재부품·장비 분야 기술개발 지원사업(해외수주연계 통합플랫폼(중대형 EV 포함) 전용 Passenger Position별 (Front and Rear 및 LHD/RHD) 겨울철 Heating Comfort 최적화를 위한 독립 제어 기반 공조 모듈 기술 개발)의 지원에 의해 수행되었음.

참고문헌

- [1] Khatir, Zoubir, and Stéphane Lefebvre. "Thermal analysis of high power IGBT modules." 12th International Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs. Proceedings (Cat. No. 00CH37094). IEEE, 2000.
- [2] Yun, Chan-Su, et al. "Thermal component model for electrothermal analysis of IGBT module systems." IEEE Transactions on Advanced Packaging 24.3 401-406, 2001
- [3] Zhang, Jian, et al. "FEM-based thermal analysis of IGBT." 2010 Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics (PrimeAsia). IEEE, 2010.
- [4] Avenas, Yvan, Mouslim Essakili, and Laurent Dupont. "Thermal characterization of an IGBT power module with on-die temperature sensors." 2017 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). IEEE, 2017.

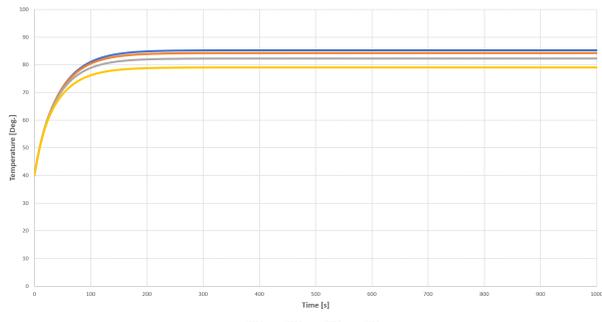


(a) 해석 결과

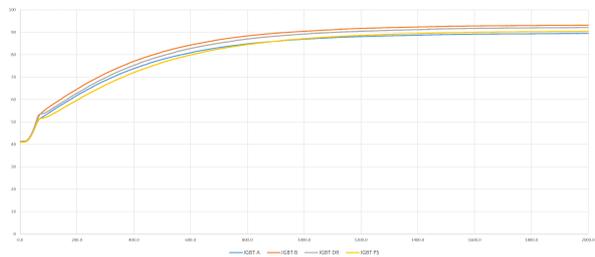


(b) 평가 결과

[그림 4] 해석 및 평가 결과 비교 - 20도



(a) 해석 결과



(b) 평가 결과

[그림 4] 해석 및 평가 결과 비교 - 40도