

수냉식 대용량 인버터의 방열구조에 따른 냉각효과에 대한 연구

김경만*, 우병국*, 강찬호*, 조상준**, 윤영득**, 전태원***

*(주)이지트로닉스, **현대로템(주), ***울산대학교

A Study of the Cooling Effect for a Water-cooled Heat Structure of the Electric Vehicle Inverter System

Gyoung-Man Kim*, Byung-Guk Woo*, Chan-Ho Kang*, Sang-Joon Cho**, Young-Deuk Yun**, Tae-Won Chun***

Egtronics, Hyundai Rotem, Dept. of Electrical Eng. Univ. of Ulsan

ABSTRACT

화석연료의 고갈로 인하여 친환경 자동차에 대한 연구와 상용화가 급속도로 진행되면서 점점 대형 차종으로 그 범위가 넓어지고 있다. 대형 차종에 적용되는 전기동력 시스템의 MCU(Motor Control Unit), GCU(Generator Control Unit), DC/DC 컨버터 등과 같은 전장품도 그 용량이 커지면서 상용화를 위해 효율적인 측면도 많이 부각되지만 스위칭 소자, 변압기, 초크, 다이오드 등에서 동작으로 인해 열이 발생하고 제품의 구조상 밀폐된 공간에 장착이 되기 때문에 발열로 인한 동작의 신뢰성과 제품의 내구성에 큰 영향을 미치게 된다. 그 중 가장 발열이 심한 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor) 등과 같은 스위칭 소자에서 발생하는 열을 효과적으로 냉각시키기 위해 수냉구조가 필수적이며 동일한 조건의 수압, 유량에 보다 높은 방열특성을 가지기 위해 냉각구조에 대한 해석이 제품을 개발 전에 선행되어야 한다. 본 논문에서는 유로의 냉각핀 형상과 유로 구조에 따라 방열특성이 어떠한 차이가 있는지 시뮬레이션 프로그램을 통하여 비교하고, 모사발열체를 이용한 방열부의 냉각 성능 시험과 다이내모 환경의 최대 출력 시험을 통하여 방열 특성을 확인하였다.

1. 서론

상용차부분의 트럭이나 버스 등 대형 차종(Heavy Duty Vehicle)에 있어서 HEV(Hybrid Electric Vehicle) 시스템 개발과 상용화가 승용차에 비해 상대적으로 뒤진 감이 있으나 공해물질의 저감효과가 크고 수송인원과 물량이 크고 사회기반에 영향을 미치는 점에서 파급효과가 크다^[1]. 상용 HEV 시스템은 승용 HEV 시스템에 비해 대형으로 개발이 진행되고, MCU 및 구동모터는 100kW급 단위로 용량에 따라 다수 개를 적용한다.

본 논문에서는 수냉구조를 가지는 100kW급 상용 MCU의 방열구조에서 냉각핀 형상과 유로 구조에 따라 방열특성이 어떠한 차이가 있는지 시뮬레이션, 모사발열체를 통한 시험, 다이내모 환경의 실제 시험을 통하여 방열 특성을 확인하였다.

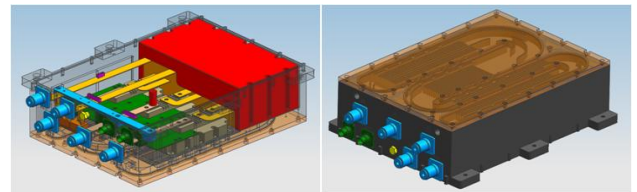
2. 상용 HEV 구동용 MCU의 열해석

2.1 MCU의 구조

본 논문에서 고려된 상용 HEV 시스템에서 전기동력을 발생

하기 위한 모터는 100kW 용량의 3상 영구자석 매입형 동기모터를 사용하고, MCU는 1200V, 900A급 하프브리지 IGBT 모듈 3개와 DC 링크 커패시터, 게이트보드, 제어보드 등으로 구성하였다. MCU의 주요 열원인 IGBT 모듈을 냉각시키기 위하여 수냉구조를 적용하였으며 냉각유량은 8LPM, 냉각수 입력온도가 65℃가 되도록 시스템을 선정하였다.

그림 1의 (a)는 MCU내 IGBT와 DC 링크 커패시터 및 입력력 커넥터의 배치와 (b)는 수냉식 냉각구조의 주요형상을 나타내고 있다.



(a) MCU의 주요 구성요소 (b) 수냉식 냉각구조 형상

그림 1 MCU의 IGBT배치와 냉각수로의 Layout

Fig. 1 IGBT placement and water-coolant layout of MCU

2.2 열해석^[2]

MCU의 주 발열원인 IGBT 모듈을 냉각시키기 위해 IGBT 모듈이 접속된 면을 기준으로 냉각핀의 형태와 유로의 형상에 따른 냉각에 대한 해석이 필요하다^[3]. 그림 2 (a)는 IGBT 모듈이 부착되는 유로의 하부에 냉각핀을 수로방향으로 일자형인 가이드 핀 형상으로 설계하였고, (b)는 IGBT 모듈이 접속되는 모든 면에서 골고루 유로에 닿도록 보스 핀 형상으로 설계하였다. 그림 2 (c)는 IGBT 모듈을 세로로 배치하고 냉각핀을 가이드 형으로 구성하고, (d)는 (c)의 구조에 비해 가이드 면적을 크게 하였다. 해석에 있어 냉각수와 하우징의 재질은 표 1과 같이 설정하였다.

표 1 냉각수와 하우징의 물성치

Table 1 Properties of water coolant and housing

부품	물질	밀도 [kg/m ³]	비열 [J/kg-K]	열전달율 [W/m-K]	점성 [kg/m-s]
냉각수	Glysantin [water/glycol =50/50]	1,035	3,595	0,429	0.001035
하우징	Al6061	2700	896	170	-

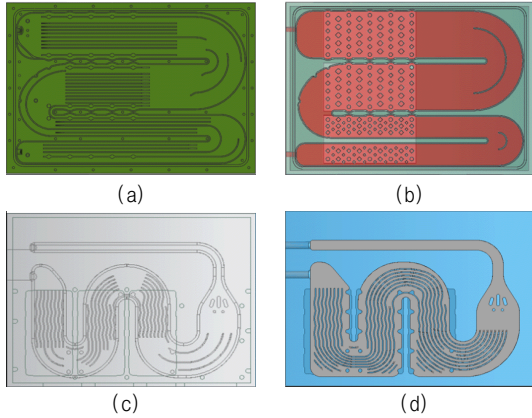


그림 2 냉각시스템의 디자인
Fig. 2 Design of water cooling system

MCU 최고효율이 96%로 4% 이상의 손실을 가진다. 전체 손실이 IGBT 모듈에서 발생하고 3개의 IGBT 모듈이 균등 발열이라 가정하여 각 IGBT 모듈에 대응되는 발열원을 1020W로 정의하고 나머지 조건은 시스템 설계사양과 동일하게 적용하였을 때 열해석 한 결과는 그림 3 및 표 2와 같다.

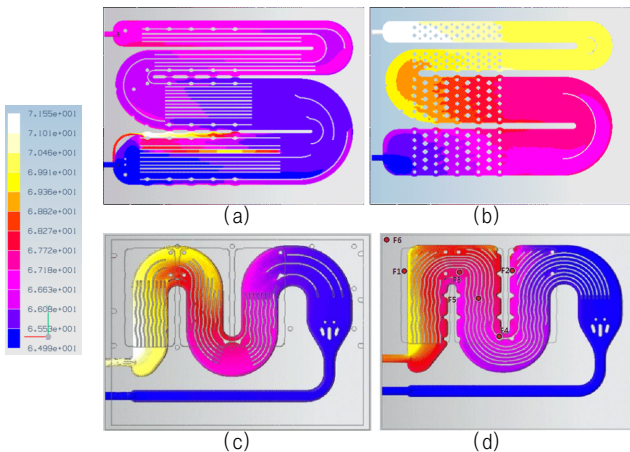


그림 3 각 냉각시스템의 열방열 형상
Fig. 3 Heat dissipating graph for each water cooling systems

표 2 시뮬레이션 결과
Table 2 Result of simulation

구분	(a)	(b)	(c)	(d)
커버 최고온도 [°C]	97	101	115	93.9
유동장 출구온도 [°C]	71.2	71.2	71.0	68.0
유동장 압력차 [Pa]	4,330	4,174	724	803
유동장 속도 [m/s]	2.03	1.94	0.91	0.90

시뮬레이션 결과에서 보스 핀 구조보다 가이드 핀 구조가 방열성능이 우수함을 알 수 있고, 발열원에 가이드 핀이 많이 접촉된 유로가 방열이 골고루 이뤄짐을 확인하였다.

3. 모사발열 시험과 다이나모 환경시험

시뮬레이션 해석 결과 가장 우수한 발열특성을 가진 그림 2 (d) 모델을 적용한 수로 형상을 제작하고 발열에 따른 냉각성능 확인시험을 실시하였다. IGBT 모듈의 전부하시 발생하는

열은 전자로드를 제어하여 동일한 발열량이 나오도록 제어하고, 냉각기를 시험조건과 동일하게 구성하였을 때 그림 3 (d)의 주요 측정부위에 대한 온도를 측정하여 그림 4에 나타내었다.

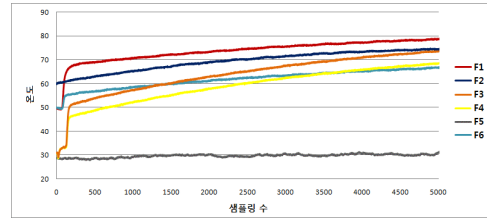


그림 4 모사발열체를 통한 냉각성능시험
Fig. 4 Cooling performance test using simulated heater

그림 5는 다이나모 환경에서 MCU와 구동모터를 구축하고 부하토크를 300, 450 N·m로 각각 설정하였을 때, 최고온도점이 발생하는 지점에 대한 그래프를 나타낸 것이다.

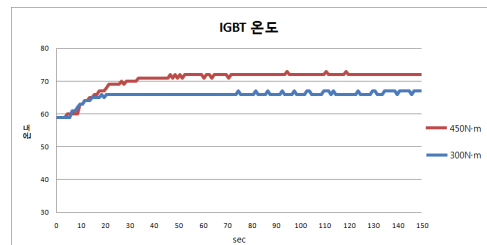


그림 5 다이나모 환경에서 냉각성능시험
Fig. 5 Cooling performance test at dynamo environment

5. 결론

본 논문에서는 냉각수로에서 냉각성능에 영향을 미치는 냉각수의 유속과 냉각핀의 유효면적이 미치는 영향에 대하여 시뮬레이션과 실험을 통하여 확인하였다. 주요 발열부위에 유속을 낮추는 구조와 넓은 부위를 가지는 구조가 유리하였고, 냉각핀을 많이 설치하여 냉각수가 닿는 면적을 크게 한 냉각구조가 열반산효과도 크고 전체적 평균온도도 낮게 나타남을 확인하였다.

해석에서 검증된 가장 우수한 냉각모델을 적용한 시제품을 제작하고 상온에서 모사발열체 시험과 다이나모 환경시험을 시험한 결과 IGBT 모듈의 NTC 온도센서가 80°C 내외로 수렴하여 냉각 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

참고 문헌

- [1] 최옥돈, "Heavy duty(버스, 트럭) 하이브리드 전기자동차 차량의 기술동향", 전력전자학회 논문지, 제12권, 제5호, pp. 24-30, 2007, 10.
- [2] J Y Lee, "Thermal Analysis for Commercial Heat Sinks", Report of the HHI, 2002, February
- [3] U. Drofenik, G. L. Johan, and W. Kolarb, "Pump Characteristic Based Optimization of Direct Water Colling System for 110-kW/500-kHz Vienna Rectifier", IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 20, No. 3, pp. 704-714, 2005, May.