

하이브리드 차량 구동용 인버터의 수냉 히트싱크 설계

이지명* 박래관* 추상현* 양이우* 장서건* 임용수** 김기은**
 *(주)에이디티 중앙연구소, **대우버스(주)

Water Cooled Heatsink Design for Traction Inverter of HEV

Ji-Myoung Lee*, Rae-Kwan Park* , Sang-Hyun Choo , Yi-Woo Yang* , Seo-Geon Chang* , Yong-Soo Lim** , Ki-Eun Kim**
 *ADT Co., Ltd., **Daewoo Bus Corp.

ABSTRACT

본 논문은 하이브리드 자동차의 구동모터용 인버터에 적용되는 수냉 히트싱크의 설계 타당성을 수치해석을 통해 검증하는 방법을 제시한다. 전력변환장치의 손실 계산, 발열체 모델링, 히트싱크 형상 모델링, 수냉 조건 입력, 히트싱크상의 열적 분포 해석, 유체 거동 시뮬레이션의 과정을 거치며, 본 논문에서는 650Vdc, 150kW급의 시리즈 하이브리드 차량의 구동 모터용 인버터를 예로 그 과정을 설명하고자한다.

1. 서론

하이브리드 차량에 적용하는 전력변환장치는 일반적으로 리터당 5~10kW의 높은 출력밀도를 갖고, 설치 장소도 고온의 엔진에 근접하는 경우가 많다^[1]. 따라서 효과적인 수랭기관의 설계는 전력변환장치의 연속/최대 출력 사양을 결정하는 매우 중요 설계 요소 중 하나이다. 본 논문은 650Vdc, 150kW급의 시리즈 하이브리드 차량의 구동 모터용 인버터를 예로 수냉 히트싱크의 설계 타당성을 검증하는 방법을 설명하고자한다. 여러 가지 방법이 있겠으나, 본 논문에서는 IGBT 모듈 손실 계산, 발열체 및 히트싱크 모델링, 수냉 조건 입력, 히트싱크상의 방열 분포 해석, 유체 거동 수치해석의 순으로 서술한다.^[2] 수치 해석에는 SC Tetra를 사용하였다.

2. IGBT 모듈 발열체 모델링

본 논문에서 적용한 IGBT 모듈은 인피니언사의 FF450R12ME4을 2병렬로 적용하였으며 동작 조건은 차량 운행 조건으로부터 표 1과 같이 주어진다. 이 조건을 인피니언사의 Cipos 프로그램에 적용하여 IGBT 모듈이 갖는 발열량을 계산하면 연속운전 조건에서의 각 IGBT와 다이오드가 갖는 발열량이 그림 1과 표 2와 같이 계산된다.

표 1 인버터의 사양
 Table 1 Rate Values of MCU Inverter

항 목	내용
DC Link/Blocking Voltage	650Vdc/1200Vdc
전류의 주파수	212Hz (8극, 3120rpm)
연속 부하 전류의 실효치	180Arms/Module
스위칭 주파수/게이트저항	10kHz ,3.3Ω
냉각방식/입수온도	Water/70℃

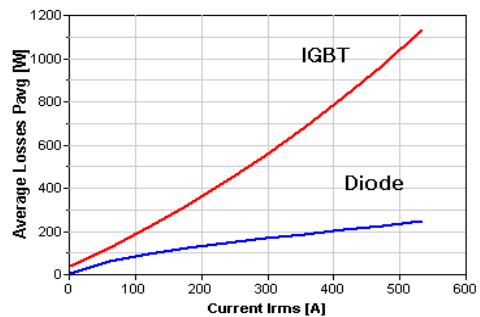


그림 1 IGBT와 다이오드의 손실
 Fig. 1 Losses of IGBT and Diode

표 2 IGBT와 다이오드의 스위칭 및 도통 손실
 Table 2 Switching and conduction Loss of IGBT and Diode

항목	스위칭손실	도통손실	합계
IGBT	285W	123W	408W
Diode	119W	19W	138W

3. 발열체 및 히트싱크 모델링

그림 2는 전 절의 손실 분석과 IGBT 모듈 내부의 칩 IGBT와 다이오드의 분포를 근거로 한 발열체 모델을 보인다.

그림 3은 본 논문에서 설계한 히트싱크의 형상을 보인다. 내부가 다이아몬드 형상을 하여 유체 저항과 와류형상을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 단 내부 치수는 본 논문에서 생략하도록 한다.

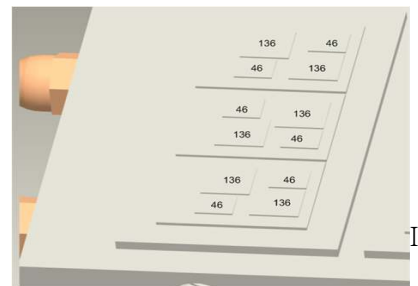


그림 2 IGBT모듈의 손실 모델
 Fig. 2 Equivalent Loss modeling of IGBT Module

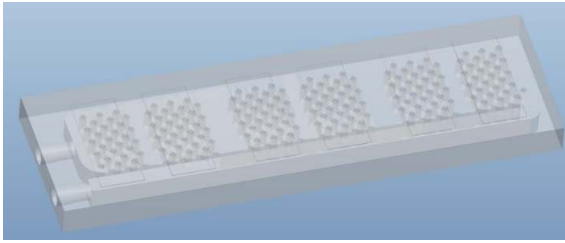


그림 3 히트싱크 3D 모델
Fig. 3 3D Model of Heatsink

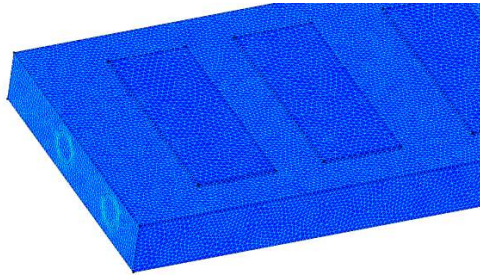


그림 4 히트싱크의 유한요소분할
Fig. 4 Finite Element Tearing of Heatsink

그림 4는 그림 3에서 제시한 히트싱크 형상의 유한요소분할의 결과를 보인다. 소프트웨어는 SC Tetra를 사용하였으며 node수는 1748298개, 요소 수는 352998개로 하였다.

4. 유동해석 및 방열 특성 수치 해석

그림 5는 히트싱크 내부 유로의 수량 분포 및 유속을 보인다. 내부 평균 유속은 0.4m/s를 가지며 유압손실은 0.5MPa를 보인다. 6개의 IGBT모듈에 균등한 유속이 분포하여 그림 3의 히트싱크가 부분 방열 저하의 가능성이 낮음을 알 수 있다.

그림 6은 히트싱크의 방열 분포를 보인다. 출수구 측 IGBT 모듈 온도가 119.8도로 가장 높다.

이는 IGBT 내부 접합부와 케이스간 온도 편차를 25도로 할 때 FF450R12ME4의 접합부 최대 온도인 175도와 30도의 여유를 갖는 방열 구조라 볼 수 있어 실제 적용에 무리가 없는 히트싱크 설계라 판단할 수 있다.

본 히트싱크 설계를 바탕으로 실제 인버터를 제작하여 방열 성능을 검증하였다.

그림 7은 표 1의 인버터와 부하 시험 장치를 보인다.

그림 8는 히트싱크 온도 특성을 비교하기 위한 정격상태의 모터 전류와 위상각 정보를 보인다. 180Arms의 상태에서 IGBT 모듈 내의 온도센서로 측정된 온도 상승치는 30도 이하 시뮬레이션 결과에 부합되는 결과라 할 수 있다.

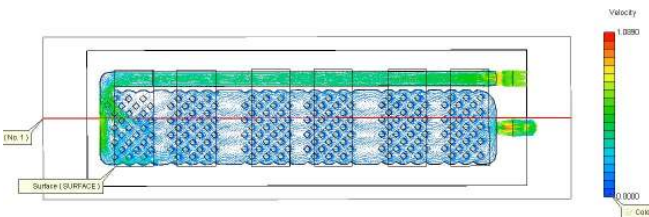


그림 5 유동 해석 결과
Fig. 5 Flow analysis result

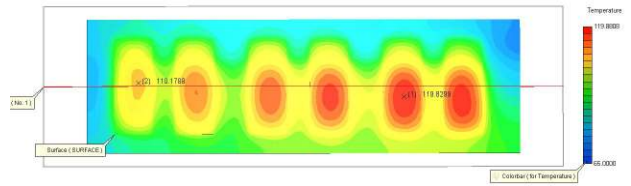


그림 6 히트싱크의 방열분포 해석 결과
Fig. 6 Heat radiation spectrum analysis result



그림 7 인버터와 부하 시험 장치
Fig. 7 Inverter and MG set

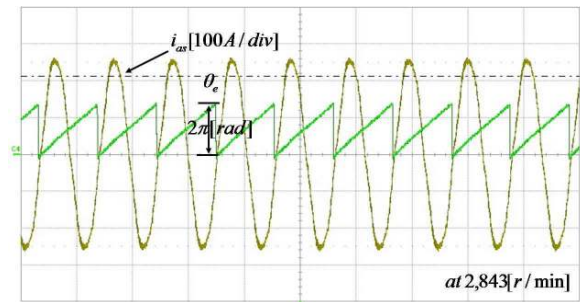


그림 8 정격부하 시험 파형
Fig. 8 Rated load Experimental waveform

결론

본 논문에서는 하이브리드 자동차용 인버터의 히트싱크 형상 설계의 타당성을 수치해석을 통하여 검증하는 기법을 제시하였다. IGBT제조사에서 제공하는 방열량 계산 소프트웨어를 통한 방열 모델 구축 과정과 SC-Tetra를 이용한 히트싱크 모델링, 유량 및 방열 특성 해석 과정으로 구분되며 본 논문에서는 650Vdc, 150kW급의 인버터 히트싱크를 대상으로 그 타당성을 검증하였다. 본 논문에서 제시한 히트싱크 형상은 향후 120~180kW급 정도의 시리즈 하이브리드 혹은 전기자동차용 추진 모터 인버터에 적용할 예정이다.

이 논문은 지식경제부 지원에 의하여 연구되었음(산업원천과제(과제관리번호 10033126))

참고 문헌

- [1] 이지명, 이재용, 박래관, 장서건, 최경수, "하이브리드 전기자동차 구동용 전력변환장치", 전력전자학회 논문지, 제13권 제6호 pp. 420~429, 2008. 12.
- [2] 김경만, 우병국, 이용화, 강찬호, 전태원, 조관열, "HEV용 인버터의 방열을 위한 수냉식 배관구조", 전력전자학회 논문지, 제15권 제1호, pp. 27~33, 2010.2.