

Medium duty급 상용차용 100kW IPMSM 구동인버터 개발

신헌철*, 김영기*, 최성호*, 홍찬희*
*브이씨텍

A development of 100kW IPMSM drive inverter for Medium duty electric vehicle

H.C. Shin*, Y.K. Kim*, S.H. Choi*, C.H. Hong*
*VCTech

ABSTRACT

This paper deals with 100kW IPMSM drive inverter for Medium Duty Electric Car. First, it introduces about hardware structure of inverter. Then performance of IPMSM drive system is confirmed through experiments.

1. 서론

최근 자동차의 배기가스로 인한 대기오염 및 지구 온난화와 같은 지구 환경 보호와 에너지 자원의 고갈 대책으로 에너지 절약 정책이 추진되고 있다. 이러한 문제를 해결 하고자 친환경 자동차인 전기자동차에 대한 관심이 폭발 적이며, 이에 따라 고효율 고 신뢰성의 첨단 전기 구동 시스템 개발에 대한 연구가 전 세계적으로 활발히 진행 되고 있다. 이러한 전기 자동차들 중에서도 대중교통, 택배 및 청소 등의 단거리 운송용으로 쓰이는, 도심 내 군집성이 강한 특성을 갖는 Medium duty급의 상용차는 획기적인 연비 향상 및 배기가스의 저감 필요성이 일반 승용차량 보다 크게 요구되고 있어 전기 자동차로서의 기대가 높다.[1] [3]

본 논문에서는 Medium duty급 상용차의 전력 구동부인 100kW급 IPMSM 구동용 인버터 개발에 관한 내용을 다루었다. 먼저, 전동기 구동을 위한 인버터의 사양 및 설계에 관하여 기술하였고, 또한 100kW급 IPMSM의 사양과 형상에 관하여 기술하였다. 마지막으로 개발한 인버터의 성능을 다이내모 부하시험과 차량 시험을 통하여 확인하였다.

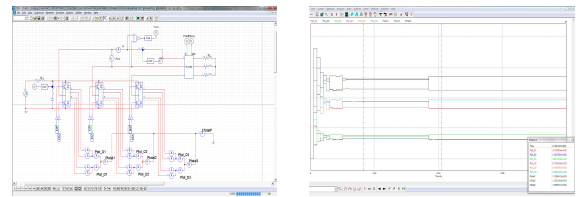
2. 인버터

개발된 인버터는 크게 제어기, IGBT Stack, 필터 보드, DC Link Capacitor로 구성되어 있다. 인버터의 입력은 정격 640V Li Ion 배터리를 사용한다. 인버터 구동 소자는 고전압 대전류에 유리한 IGBT를 사용하였다. 인버터의 사양은 표 1과 같다.

표 1. 인버터의 상세사양

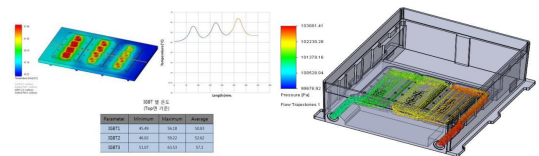
항목	사양	단위	Remark
출력	100/200	[kW]	정격/최대
출력 주파수	0 ~ 500	[Hz]	
입력전압	550 ~ 780	[V]	DC Link전압
선간전압	380	[Vrms]	
효율	95	[%]	정격 출력 시
전력소자	FF900R12IE4		1200V/900A
냉각 방식	수냉식		

인버터의 냉각 방식은 수냉 냉각 방식으로써 인버터의 효율적인 냉각을 위하여 열 해석을 통한 Heat Sink 설계와 유로 설계를 하였다. PSIM의 Device Database Editor를 사용하여 IGBT의 열 손실을 계산 하였다. 정격 조건과 최대 조건에서의 손실을 계산 하여 결과를 열 해석 모델링에 반영 하였다.

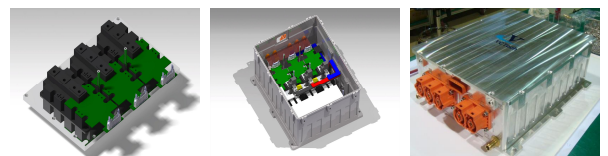


(a) 시뮬레이션 구성 (b) 열 손실 시뮬레이션 결과
그림 1 PSIM을 통한 열 손실 시뮬레이션

계산된 열 손실과, IGBT 제작사에서 제공하는 전력 소자의 내부 Chip Arrangement를 모델링하였다. 모델링한 IGBT 스택을 Solidworks의 Flow Simulation을 사용하여 열 해석을 하였다. 해석 조건으로 대기온도, 케이스 재질 등을 적용, 유량 변화에 따른 IGBT Stack의 온도 분포와 냉각 능력을 해석하여 최적의 냉각 조건을 설계, 디자인 하였다. 열 해석이 완료된 IGBT Stack과 케이스를 바탕으로 3D 모델링 툴을 이용하여 모든 소자, 기구들을 디자인, 배치를 하였으며, 실제 제작을 하였다. 3D 모델 결과와 이에 따라 완성된 인버터는 그림 3과 같다.



(a) IGBT Stack 열해석 (b) 인버터 열해석
그림 2 인버터 열 해석



(a) IGBT Stack 3D (b) 인버터 3D 모델 (c) 제작 완료된 인버터
그림 3 인버터 설계 및 제작

3. 영구자석형 동기전동기

Medium Duty급 상용차용 동력부인 전동기는 시스템의 특성과 용량을 계산하여 최적으로 설계되었다. IPMSM Type 이며, 모터의 형상과, 상세 사양은 다음과 같다.



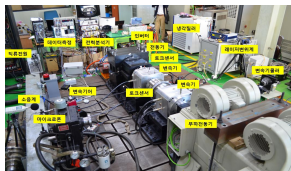
(a) 회전자 코어 형상 (b) 제작 완료된 전동기
그림 4 Medium Duty용 전동기 설계도면 및 실제형상

표 2. 모터의 상세사양

요구사항		사이즈 및 재질 사양	
속도	3500rpm(기저) 10000rpm(최대)	극수, 슬롯수	6극36슬롯
토크	546Nm(순시) 273Nm(연속)	사이즈	외경 350mm 적층 110mm
선간 전압제한	380Vrms 이하	공극	1mm
전류밀도 절연등급	최대 15A/mm2 절연 N grade	코어재질	S08(35PN230) 0.35T
		영구자석	150도 1.07T
고장자 외경	350mm	회전자 외경	210mm
적층길이	110mm (35PN230 315장)	상당 직렬턴수	24턴, 6병렬
브러시 두께	1.5mm	순시전류	384Arms
슬롯 잠적률	52.23%		

4. 시험 결과

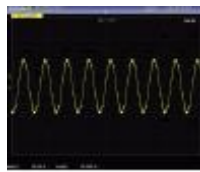
개발된 인버터와 모터는 다이나모 시스템을 통하여 성능 검증을 선행하였으며, 성능 검증이 된 인버터와 모터를 탑재하기 위해 개조한 차량에 적용하여 차량에서의 성능을 확인 하였다. 다음 그림5(a)는 개발된 인버터의 성능을 검증하기 위한 다이나모 시험 사진이다. 그림 5(b)는 전동기의 성능 시험을 DAS 장비와 통합 측정 환경을 통하여 취득한 정보이다. 정격 출력 시험시 인버터 출력과 효율은 104kW, 약96%로 측정되었다. 그림 5(c)는 정격시의 인버터 출력 전류 파형이다.



(a) 부하 시험 환경



(b) DAS를 이용한 전력 분석



(c) 인버터 출력 전류 파형

그림 5 상용차용 인버터와 전동기 성능 시험 및 결과

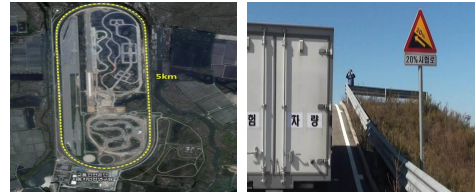
그림 6(a)와 6(b)는 개발된 인버터와 전동기의 성능을 확인 하기 위하여 제작한 차량으로 자동차 안전 연구원을 이용하여 차량에서의 인버터와 전동기의 성능을 확인 하였다.

주행 시험과 등판 성능 시험을 진행하여 인버터와 모터, 차량의 성능을, GPS 장비와 전력 계측 및 분석 장비를 이용하여 구성된 통합 모니터링 시스템을 통하여 주행 속도, 소비 전력 등의 차량과 전력 시스템의 성능은 분석 하였다.



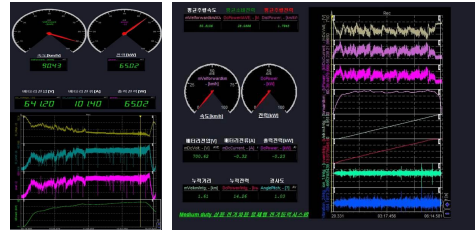
(a) 차량 제작 현장

(b) 완성된 차량



(d) 주행 시험 선로

(e) 경사로 시험



(f) 통합 모니터링 환경

그림 6 상용차 제작과 시험

5. 결론

본 논문에서는 Medium Duty 상용차 구동용 100kW급의 IPMSM 드라이브용 인버터를 설계 및 제작하였고 제한한 제어 방법으로 모터를 제어하였다. 다이나모 시험과 차량 시험을 통해 인버터의 성능을 검증하였다.

이 논문은 2011년도 한국 에너지 기술 평가원에서 시행한 에너지 자원 기술 개발 사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] “그린에너지 전략 로드맵 그린카,” 한국 에너지 기술 평가원. 2009.
- [2] “그린카 전기동력 시스템,” 전력전자 학회 기술 보고서. 2010. 7.
- [3] Sang tak Lee, Choo hee Cho, Dae kyung Kim, “Development Trends of Driving system in Electrical vehicles,” KIPE Magazine, Vol. 16, No. 2, pp. 32 37, April 2011.