

## 저속 전기자동차를 위한 인버터 개발에 관한 연구

최광호\*, 권용기\*\*, 박성준\*\*\*  
윌링스\*, 지앤디윈텍\*\*, 전남대학교\*\*\*

### A Study on Development of Inverter for Low-speed Electronic Vehicles

Gwang-Ho Choi\*, Yong-Gee Kwon\*\*, Sung-Jun Park\*\*\*  
WILLINGS\*, GNDWINTeCH\*\*, Chonnam National Univ\*\*\*

**Abstract** 본 논문에서는 7.5kW급 저속 전기자동차용 전력변환 장치인 인버터 제어기 모듈의 설계 결과를 설명한다. 본 설계의 인버터가 차량용 부품임을 감안하여 그 설계의 관점을 고효율, 고효율, 고밀도와 신뢰성 확보에 두고 있다. 이를 위해 제어기로는 고성능의 TI사 TMS28335 DSP를 기반으로 설계하였고, 동력용 모터 구동에 적합한 고효율, 고효율 특성을 가진 PMSM을 적용하였으며, 정밀 위치센서에 의한 공간벡터제어 알고리즘 및 인버터 제어기를 개발하였다. 본 기술개발에 적합한 형태로 전력용 고효율 모듈을 구성하여 사용하였으며, 방열특성과 고밀도 실현을 고려한 Power Stack 설계를 적용하였다. 또한 본 기술개발을 통하여 개발된 인버터드라이버가 저속전기자동차의 구동에 적합함을 확인하였다.

저속 전기자동차의 전기적인 구성은 그림 2와 같다. 전원공급원인 배터리, 저전압을 고전압으로 승압시켜주는 DC-DC 컨버터, 모터의 속도를 제어하는 인버터, 동력 발생 부분인 모터 등으로 구성 된다.<sup>[2]</sup>



〈그림 2〉 저속 전기자동차 시스템  
〈Fig. 2〉 Low-speed Electronic Vehicle System

## 1. 서 론

전 세계적으로 화석연료의 고갈, 유가급등, 기후변화, 배출가스 규제 등으로 자동차분야에서도 대체에너지원이 절실히 필요해 지고 있는 실정이다. 현 정부가 추진하고 있는 녹색성장사업에 맞추어 자동차의 엔진 대신에 전동기를 탑재하여 구동력을 가지는 것으로 직장이나 가정 주부들이 근거리 이동용으로 이용 할 수 있는 저속 전기자동차에 대한 연구개발의 수요가 매우 증대되고 있다. 현재 국내 저속 전기자동차 개발 업체들의 대부분이 미국의 세브콘과 같은 해외제품을 수입해서 탑재하는 수준에 머물고 있는 실정이다.<sup>[1]</sup>

본 논문의 제어기 모듈은 크게 디지털제어부와 파워스택부로 나뉘며, 회로의 안정된 동작을 위해 전기적인 절연상태로 설계 하였다.

우선 디지털제어부는 그림3와 같이 전류제어 알고리즘을 수행하기 위하여 부동소수점 연산이 가능한 TI사의 TMS28335 DSP 칩을 이용하여 설계하였으며, 안정된 신호 검출을 위해 절연형의 전류센서와 전압센서를 적용하였다. 또한 매입형 영구자석 전동기의 초기 위치 검출을 위해 기계적 신뢰성 특성이 우수한 Resolver 센서를 적용 하였다.

본 논문에서는 저속 전기자동차용 구동 전동기로 수 kW급의 영구자석 전동기를 적용하였으며, 시스템의 고효율, 고밀도화를 위해 매입형 영구자석 전동기를 적용하여 연구개발을 수행 하였다. 이러한 시스템의 고밀도, 고효율화를 위해 승압용 컨버터에 대한 연구개발도 병행하여 진행하였으며, 차량 전체적인 시스템의 고효율, 고성능화, 고밀도 소형경량화 특성의 최적화를 위해 운전자에 따른 최적의 주행 패턴을 고려한 운전제어 알고리즘에 대한 연구도 진행하였다.

Inverter 항목	내용
제어 방식	Vector 제어
사용 DSP	TI사 TMS28335
회로 구현	절연형
위치 제어	Resolver/Encoder
정격/최대속도	2100/6000 rpm
통신방식	CAN, RS232
보호동작	OC, OV, UV, TH
신호 I/O	DIV0 A/I/O

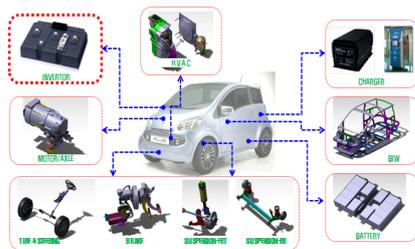
## 2. 본 론

### 2.1 저속 전기자동차 시스템 및 제어기 구성

저속 전기자동차의 전체적인 시스템은 그림 1과 같으며, 주요 구성품으로는 인버터, 모터, 조향장치, 제동장치, 현가장치, 배터리, 샤프, 충전기 등으로 구성된다.

〈그림 3〉 제어기 설계 및 제작  
〈Fig. 3〉 Design of Controller & Driver

파워스택부에서는 그림4와 같이 IGBT Stack 반제품을 이용한 부스바 처리와 각 제어기 PCB류가 상,하,측면에 부착되도록 모듈화 하여 전체적인 전력밀도를 높이고, 노이즈를 저감할 수 있는 형태로 제작하였다.

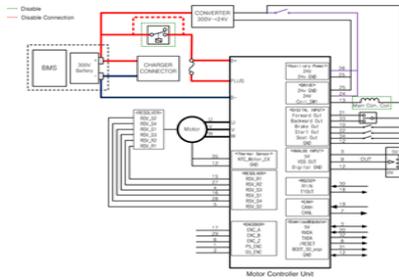


〈그림 1〉 저속 전기자동차 시스템 전체 개념도  
〈Fig. 1〉 Low-speed Electronic Vehicle Concept

항목	치수	기타
입력	300VDC	
	Nor. 50A	
출력	Max. 100A	
	Over Load, 200% /60s	
	S/W Freq. 10KHz	
용량	7.5Kw급	
특허	내용	
1건	노이즈 저감형 인버터	

〈그림 4〉 IGBT 파워스택 설계  
〈Fig. 4〉 Design of IGBT Power Stack

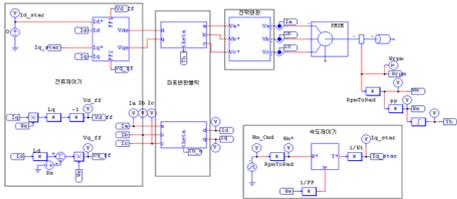
본 개발 인버터 제어기의 인터페이스 구성은 아래의 그림5와 같다. 핀맵 구성은 전력단 5핀, 신호단 22핀 이상으로 하였고, 연결 컨넥터는 AMP사(776230) 35핀으로 적용하였다. 패달은 완성차의 타입에 맞추어 정밀제어를 위해 아날로그 타입을 적용하였으며, 퓨즈는 Bussmann ANN 타입을 적용하였다.



〈그림 5〉 인버터 제어기의 인터페이스 구성  
〈Fig. 5〉 Inverter Controller Interface configuration

### 2.2 시뮬레이션<sup>[3]</sup>

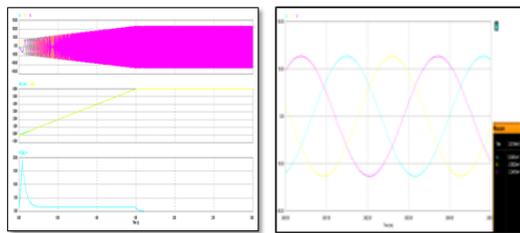
본 논문의 저속 전기자동차용 벡터제어 알고리즘의 검증은 위해 PSIM 시뮬레이션 Tool을 이용하여 그림 6과 같이 시뮬레이션 회로를 구성하였다. 표 1은 설계된 모터의 파라미터 특성표이며, 그림 7과 같이 6000rpm 지령대비 운전이 원활히 이루어짐을 확인할 수 있으며 실제 모터의 설계치를 고려하여 24Nm, 3000rpm 조건에서 시뮬레이션을 수행한 결과 44.55 Arms로 실제 상전류와 유사함을 확인하였다.



〈그림 6〉 벡터제어 PSIM 알고리즘 회로  
〈Fig. 6〉 PSIM schematic vector control algorithm

〈표 1〉 전동기 파라미터 값  
〈Table. 1〉 IPMSM Parameter Value

상/극수	3상/12극
상저항	9.62mΩ
상인덕턴스(L <sub>d</sub> /L <sub>q</sub> )	0.289m/0.410m
역기전력 상수	16
최대 속도	6000rpm
최대 출력	15kw

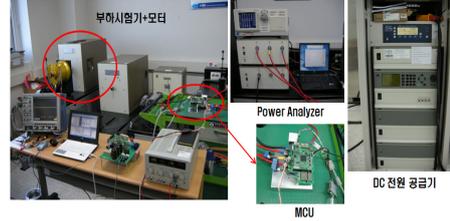


(6,000rpm 운전 및 제어구현) (상전류 44.55Arms)

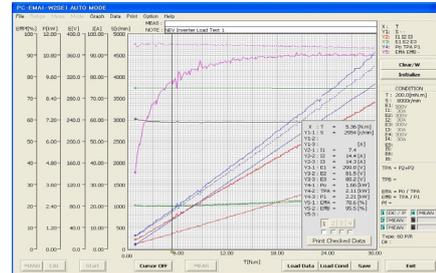
〈그림 7〉 제어기 시뮬레이션 파형  
〈Fig. 7〉 Controller simulation waveforms

### 2.3 실험 결과

그림 8은 부하시험을 위한 시험설비의 구성이다. 제어기의 입력전원은 시험의 용이성을 위해 DC 전원공급 장치를 사용하였고 모터의 부하 조건별 시험을 위해 모터다이나모 측정기를 사용하여 시험을 수행 하였다. 그림 9는 구동모터를 5,000rpm의 제어조건에서 부하가변을 통해 측정된 T-N 곡선이며, 5.36Nm에서 최대효율이 95.5%가 됨을 확인하였다.



〈그림 8〉 제어기 부하 시험  
〈Fig. 8〉 Proposed Controller & Load Test



〈그림 9〉 효율 및 부하 특성  
〈Fig. 9〉 Efficiency and load characteristics

### 3. 결 론

본 논문에서는 저속 전기자동차 구동용 인버터에 적합한 7.5kw급의 벡터제어기와 IGBT 파워스택을 개발 하였다. 제어알고리즘의 고성능 구현 및 차량 시스템의 제어를 고려하여 부동소수점의 TI사 TMS28335 DSP를 사용하였다. 파워스택은 제어기의 노이즈 저감과 고 전력밀도 확보를 위해 구조특허를 출원하였으며, 이와 같이 개발된 제어기 모듈을 통해 시뮬레이션 및 부하시험 결과가 저속전기자동차의 구동에 적합함을 확인하였다. 현재 전기차용 제어기에 있어서 고 신뢰성, 고밀도, 고효율, 가격경쟁력등과 같이 실질적인 사업화를 위해서는 많은 요구사항이 존재한다. 향후 고 신뢰성과 가격경쟁력을 갖추기 위해 지속적인 추가 연구를 진행할 예정이다.

본 논문은 호남광역경제권 선도산업의 “NEV용 고효율 동력 제어 부품 및 차량시스템 제어 개발” 과제의 지원으로 연구되었음

### [참 고 문 헌]

- [1] 차대석, 박제석, 신덕식, 이상택, 임영철, 김희준, 이광운, 양승학, 최광호, 김대경, “근거리 전기자동차 구동을 위한 인버터 개발”, 전력전자학회 2010년도 하계학술대회 논문집, pp68-70, 2010. 7
- [2] 권용기, “전기 추진 시스템(1), 전기자동차”, 전력전자학회지 제16권, 제2호, p38-43, 2011. 4
- [3] 김경만, “PSIM시뮬레이션으로 해석하는 전력전자공학”, 도서출판 태영문화사, 2010