

# 다중동력시스템을 적용한 전기자동차 인버터의 개발

박재석<sup>\*,\*\*</sup>, 차대석<sup>\*,\*\*</sup>, 신덕식<sup>\*</sup>, 이상택<sup>\*,\*\*\*</sup>, 임영철<sup>\*\*</sup>, 김희준<sup>\*\*\*</sup>, 이광운<sup>\*\*\*\*</sup>, 양승학<sup>\*\*\*\*\*</sup>, 김대경<sup>\*</sup>  
전자부품연구원<sup>\*</sup>, 전남대학교<sup>\*\*</sup>, 한양대학교<sup>\*\*\*</sup>, 목포해양대학교<sup>\*\*\*\*</sup>, 호남대학교<sup>\*\*\*\*\*</sup>

## The development of electric vehicle inverter applied to multi-power system

Jae-Seok Park<sup>\*,\*\*</sup>, Dae-Seak Cha<sup>\*,\*\*</sup>, Duck-Shick Shin<sup>\*</sup>, Sang-Taek Lee<sup>\*,\*\*\*</sup>, Young-Cheol Lim<sup>\*\*</sup>, Hee-Jun Kim<sup>\*\*\*</sup>,  
Kwang-Woon Lee<sup>\*\*\*\*</sup>, Seung-Hak Yang<sup>\*\*\*\*\*</sup>, Dae-Kyong Kim<sup>\*</sup>  
Korea Electronics Technology Institute<sup>\*</sup>, Chonnam National Univ<sup>\*\*</sup>, Hanyang Univ<sup>\*\*\*</sup>,  
Mokpo National Marine Univ<sup>\*\*\*\*</sup>, Honam Univ<sup>\*\*\*\*\*</sup>

### ABSTRACT

다중동력시스템은 하나의 엑셀에 두개의 모터를 연결하여 구동하는 시스템으로 차량의 부하가 적은 경우 한대의 모터로만 운전하고 경사로의 등판이나 화물의 양이 증가해 부하가 커지는 경우 두 대의 모터를 운전하는 병렬 동력원을 가지는 차량 제어 시스템을 말한다. 다중동력시스템에서 PMSM의 제어는 전류 제어와 속도 제어로 구현이 가능하다. 본 논문에서는 다중동력 시스템에 적용이 가능한 인버터에 대해 벡터 제어 알고리즘의 PSIM 시뮬레이션과 시험을 수행하여 제안한 제어기의 유용성을 검증하였다.

### 1. 서 론

최근 유가상승과 환경오염의 문제가 야기되어짐에 따라 세계 각국에서는 친 환경적인 전기자동차에 대한 관심과 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이러한 추세에 따라 전기자동차용 인버터의 고효율, 소형 경량화, 대용량화 및 효율적인 시스템 운영을 위해서는 다중동력 시스템은 필수적으로 요구된다. 다중동력 시스템의 경우 현재까지 주로 유도기를 이용하여 적용되어져 왔으나 최근들어 고성능, 저소음화, 소형경량화가 중요 Point로 더 부각되면서 유도기보다 고성능의 특징을 가지는 PMSM을 적용한 다중동력시스템에 대한 연구개발에 대한 연구개발이 필수적으로 필요하다고 본다. 또한 전기자동차에 사용되는 제어기는 한정된 전기에너지를 사용하므로 전체 시스템의 고효율화를 위해 고전압 체계로 운영되어야 하며 차량의 구동시스템과 연관되어 운전특성 및 주행 패턴을 고려하여 최대 효율 운전점 제어도 가능하도록 연구개발이 진행되고 있다. 본 논문에서는 이러한 연구개발 추세를 반영하여 고효율 고�출력 운전이 가능한 IPMSM을 채택하였으며, 컨버터 시스템을 구성하여 고전압으로 구동이 가능하도록 벡터제어기를 구현하였고 알고리즘 검증과 성능확인을 위해 PSIM 시뮬레이션 및 부하 실험을 통해 제안한 제어기의 유용성을 검증하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 하드웨어 구성

IPMSM 제어기 시스템의 하드웨어 구성은 그림 1과 같이 크게 디지털 제어부, 전력변환부로 구성된다. 디지털 제어부는

부동소수점 연산이 가능한 TI사의 TMS320F28335 DSP 칩을 사용하였고 IPMSM의 전류, 전압 센싱을 위해 절연형의 상전류 센서와 전압센서로 제어기를 구성하였다. 전력변환부는 600V, 300A의 IGBT 소자를 사용하여 디지털 제어부에서 발생하는 SVPWM을 이용한 벡터제어동작을 구현하였다. 보호동작을 위해서는 과전압 및 과전류 회로를 구성하였다.

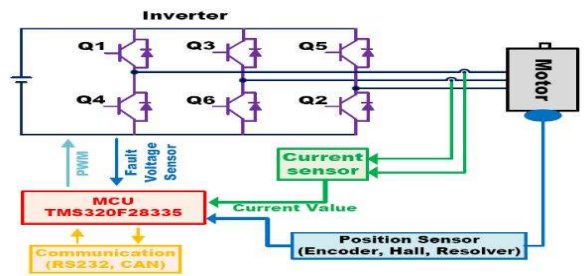


그림 1 IPMSM 모터 제어기 시스템 구성도  
Fig 1 IPMSM Motor Controller System Composition

#### 2.2 Vector제어 알고리즘

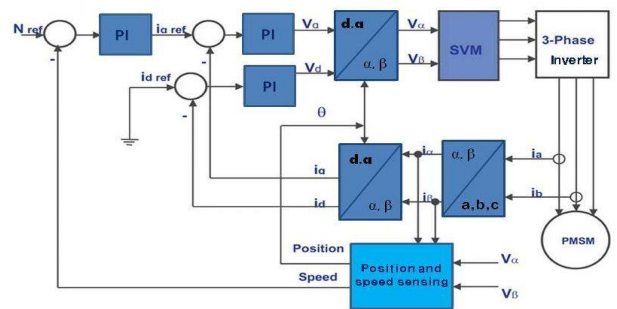


그림 2 IPMSM 벡터제어 블록도  
Fig 2 Block diagram of IPMSM vector control

일반적인 PMSM 전동기의 벡터제어는 과도응답 특성과 전류제어에 용이하나, IPMSM의 경우 d축과 q축 전류는 독립적으로 작용하며, 역기전력 성분으로 인해 각각의 전류가 교차하는 현상이 발생되기 때문에 제어 알고리즘이 복잡한 현상이 발생한다. 따라서 d와 q축을 전압 분리하여, 제어함으로써 간단히 벡터제어가 가능하도록 해야한다. 그림 2에서 나타내는 제어 블록도는 일반적인 벡터제어 알고리즘에 대한 블록도를 나타내

며 상전류, 상전압, PMSM의 회전자 위치센서의 정보를 통해 벡터제어를 구현한다. 식 1과 식 2는 벡터제어를 구현하기 위한 좌표변환 수식이다.

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \\ -\sin\theta & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{4\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ia \\ ib \\ ic \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} vd \\ vq \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 2.3 시뮬레이션 및 고찰

본 논문에서 제안된 제어기의 알고리즘을 확인하기 위해 PSIM 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위해 표 1에서 나타나는 모터 파라미터를 적용하였으며, 표2에서는 시뮬레이션 결과를 표기 하였다. 부하 40N.m 정격속도 2,400rpm 조건에서 그림 3과 같이 안정된 결과 파형이 나타남을 확인하였다.

표 1 시뮬레이션 모터 파라미터  
Table 1 Parameter of simulation motor

항목	사양	
극수/슬롯 수	16/24	
상저항 [mΩ]	50	
상인덕턴스 [mH]	0.535/0.898	
상역기전력 [Vrms]	31.8	
전압 [VDC]	300	
코깁토크 [Nm]	1.5	
정격	출력 [kW]	10
	토크 [Nm]	40
	속도 [rpm]	2400
	상전류 [Arms]	50
최대 속도	출력 [kW]	12.5
	토크 [Nm]	20
	속도 [rpm]	6000
	상전류 [Arms]	45

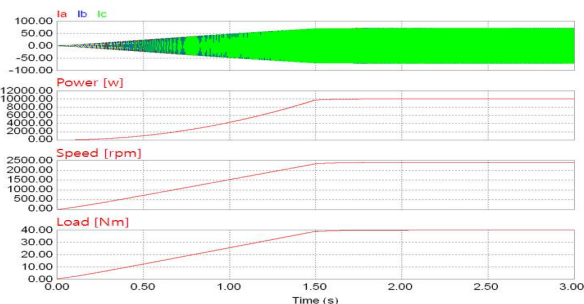


그림 3 40Nm 부하시 시뮬레이션 파형결과  
Fig 3 Result of simulation waveform on 40Nm load

표 2 정격 부하시 시뮬레이션 결과  
Table 2 Result of simulation on rating load

Parameter	Value
출력	10[kw]
속도	2400[rpm]
부하	40[Nm]
전류	50.2[Arms]

### 2.4 실험결과 및 고찰



그림 4 제어기 성능 실험 구성  
Fig 4 Composition of Controller performance test

그림 4는 제안한 제어기의 실험을 위해 구성된 실험장치 구성도이며, 부하시험을 위해 전원, 컨버터, 전력측정기, 부하측정기로 시험을 수행하였다.

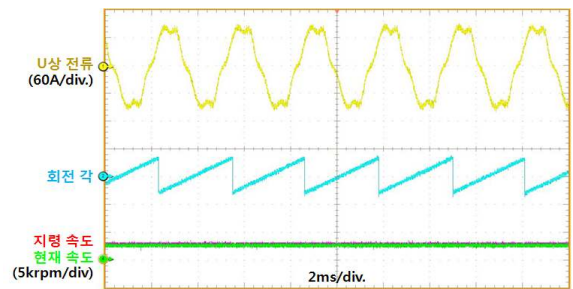


그림 5 40Nm 부하시 전류 파형결과  
Fig 5 Result of current waveform on 20Nm and 40Nm load

그림 5에서는 부하 20Nm과 40Nm의 부하조건에서 상전류 및 모터의 위상각을 나타내었으며, 시뮬레이션 결과와 실제 실험결과를 통해 일치함을 확인하였다.

## 3. 결론

근거리 전기자동차의 다중동력시스템에 적용 가능한 공간 벡터제어기를 개발하였으며, 성능 검증을 위해 PSIM 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 속도제어가 원활히 잘 되고 있음을 확인 하였고, 실제 실험결과와 동일함을 확인 하였다. 본 다중동력 시스템 인버터 제어기의 최종 신뢰성 시험을 통해 향후 실제품 및 차량 시스템에 최적화 될 수 있도록 적용 하고자 한다.

본 논문은 지역전략기획기술개발사업의 “20kW급 다중 동력시스템용 매입식 전동모듈 구동을 위한 고효율 DC-DC 컨버터 및 드라이버 개발” 과제의 지원으로 연구되었음.

## 참고 문헌

- [1] Guillermo A. Magallan, Cristian H. De Angelo, Guillermo Bisheimer and Guillermo Garcia, "Neighborhood Electric Vehicle with Electronic Differential Traction Control", Proceeding of the IEEE, 2008, pp. 2757 - 2763.
- [2] 최옥돈 “전기자동차 추진시스템 개발” 전력전자학회지, vol. 5, no. 2. April, 2000, pp. 27 - 33.
- [3] Texas Instruments, "TMS320F28XX DSP Controllers", Reference Guide, 2005
- [4] 설승기, “전기기기제어론”, 홍릉출판사, 2007