

전기트랙터용 22kW급 IPMSM 구동인버터 개발

김은경*, 김영기*, 김영란*, 홍찬희*, 이문일**
*브이씨텍, **대동공업

Y.K. Kim*, Y.K. Kim*, Y.R. Kim*, C.H. Hong*, M.I. Lee**
*VCTech, **Daedong

ABSTRACT

This paper deals with 22kW IPMSM drive inverter for E Tractor. First it introduces about hardware structure of inverter using developed MOSFET Module. Then it explains motor control algorithm. Also performance of IPMSM drive system is confirmed through experiments.

1. 서론

세계경제의 중심인 유럽, 미국 그리고 일본 등은 2013년부터 배기가스 규제를 법적으로 강화하고 있다. 따라서 이에 대응할 수 없는 회사들은 원천적으로 세계 시장에서 도태될 수밖에 없으며 이로 인해 각국은 한정된 석유 자원에 대한 원천 대응 녹색기술 확보를 위한 연구를 진행하고 있다. 따라서 현재는 위 문제를 해결할 수 있는 HEV나 EV 기술개발에 힘쓰고 있는 실정이며 이에 따라 농기계산업에서도 디젤 엔진 대신 배터리를 이용한 저소음 Zero emission이 구현되는 전기 차량 개발에 많은 관심을 기울이고 있다.

농기계차량 중 대표적인 차량은 트랙터이다. 트랙터는 견인력을 이용해서 각종 작업을 하는 자동차로서 미국에서 최초로 개발되어 농경용으로 발달하였으며, 오늘날에는 전세계적으로 농작업에 없어서는 안 되는 차량중 하나이다.

본 논문에서는 35마력급 전기 트랙터용 22kW IPMSM 구동인버터 개발에 관한 내용을 다루었으며 트랙터용 전동기는 효율이 높고 체적 및 중량에 있어 최적인 영구자석형 전동기를 사용하였다. 먼저, 20kW급 전동기 구동을 위한 인버터 파워 모듈과 모터제어방법에 관하여 기술하였으며 또한 20kW급 영구자석형 동기전동기의 사양과 형상에 관하여 기술하였다. 마지막으로 개발한 제어기와 전동기의 성능을 다이내모 부하시험을 통하여 검증하였다.

2. 인버터

개발된 인버터는 Control Board, DC Link Capacitor Board, FET Power Module로 구성되어 있다. 전기 트랙터의 배터리 전압은 72V의 저전압이므로 인버터 파워 소자는 저전압 대전류에 유리한 MOSFET를 사용하였다. MOSFET소자는 저전압 대전류 사양의 제품이 많이 상용화 되어있으며, 제품의 가격과 크기를 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. FET소자의 병렬연결을 기본으로 하여 1Arm 단위로 설계된 파워모듈은 온도센싱을 위한 NTC가 추가되어 일정 기준 이상의 온도상승 시 인버터의 구동을 제한할 수 있다. 인버터 사이즈의 최소화를 위

해 웨이퍼(Wafer) 타입의 FET로 구성된 파워모듈은 초음파를 이용한 와이어 본딩(Wire Bonding) 방식으로 제작되었다. 파워 모듈의 외부 및 내부의 모습은 다음과 같다.



(a) 파워모듈 외부모습 (b) 파워모듈 내부모습
그림 1 파워모듈 외부, 내부 사진

인버터 스위치 한 상 당 두 개의 파워모듈을 병렬 연결하여 총 6개의 파워모듈로 인버터를 구성하였으며 그 외형은 다음과 같다.



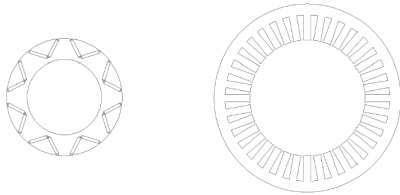
그림 2 개발된 인버터

3. 영구자석형 동기전동기

전기 트랙터용 전동기는 트랙터 운전 특성을 고려하여 작업용과 주행용 2종으로 각각 개발되었다. 출력밀도와 효율 향상을 위하여 영구자석 매입형 동기전동기 형태로 개발하였다.

유한요소해석 및 등가자기회로를 이용하여 전동기를 설계하였으며, 제어기의 스위칭 주파수를 고려하여 8극으로 설계하였다. 산업용 전동기에 일반적으로 많이 사용되는 0.5mm두께의 S18(50PN470) 규소강판을 적용하였으며, 영구자석의 경우 온도 특성이 우수하여 EV용 전동기에 많이 적용되는 38EHNd소결자석을 사용하였다.

다음 그림과 표는 트랙터용 전동기의 정격과 제작된 모터의 외부 모습과 상세사양이다.



(a) 회전자 코어

(b) 고정자 코어



(c) 제작된 전기트랙터용 전동기

그림 3 전기트랙터용 전동기의 설계도면 및 전동기

표 1. 모터의 상세사양

Table 1 Parameters and ratings of Motor

항목	작업기용	구동용	단위	
극수/슬롯수	8극/36슬롯			
코어	고정자 외경	230	mm	
	회전자 외경	140	mm	
	적층길이	115	90	mm
	강판재질	S18 0.5T		
영구자석	길이	21.5	mm	
	두께	3.5	mm	
	재질	Nd38EH		
권선사양	상당직렬턴수	6	EA	
	병렬회로수	4	EA	
	결선방법	Y결선 분포권		

4. 시험 결과

트랙터용 전동기 제어시스템의 구성은 3상 IPMSM을 3상 인버터로 구동하며 Torque Control을 위해 벡터제어 알고리즘을 이용하여 Torque를 제어하였다. 모터의 L_d , L_q 의 인덕턴스 변동이 전류와 위상각의 변화에 따라 변동하게 되므로 보다 정확한 제어를 위하여 인덕턴스의 변동을 반영한 테이블을 사용하였다. 다음 그림4는 전동기 제어 알고리즘의 블록도이다.

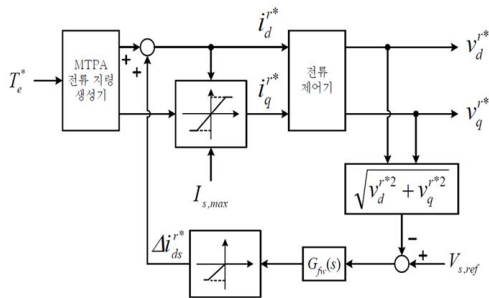
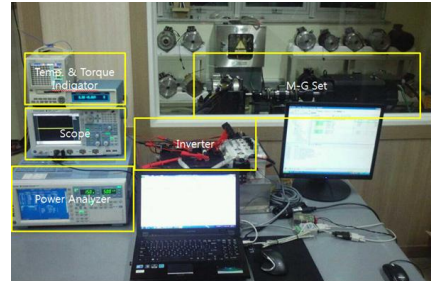


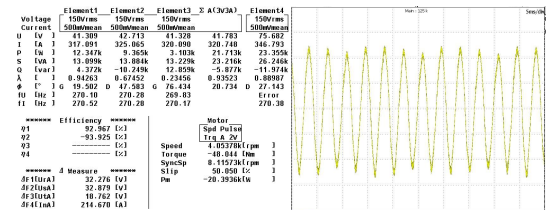
그림 4 전기트랙터용 IPMSM 구동 알고리즘 블록도

테이블은 모터 설계 해석치를 사용하여 구성하였고, 약자속 제어시에는 테이블과 인버터의 출력전압을 피드백하여 d축전류 지령을 추가적으로 더해지도록 PI제어기를 구성하였다.[1]

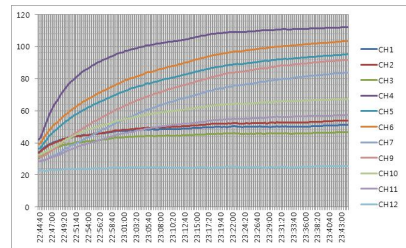
다음 그림5(a)는 개발된 인버터의 성능을 검증하기 위한 시험 사진이다. 전동기 출력 20kW(48Nm@4000rpm) 기준으로 부하시험을 진행하였다. 트랙터 특성상 고출력으로 지속적인 작업이 이루어져야하므로 인버터 온도측정에 포인트를 두고 시험을 진행하였다.



(a) 다이내모장치에서의 성능시험



(b) 모터 20kW 출력시 인버터 Power Analyzer값과 전류 파형



(c) 인버터 온도 측정 데이터

그림 5 전기트랙터용 인버터와 전동기 성능 시험 및 결과

그림 5(b)는 인버터 효율 및 출력을 측정된 Power Analyzer 값과 상전류 파형이다. 인버터 출력과 효율은 각각 22kW, 96%로 측정되었다. 그림 5(c)는 인버터 각 칩부 온도 측정 데이터이다.

5. 결론

본 논문에서는 35마력급 전기 트랙터에 적용 가능한 인버터를 설계 및 제작하였고 제한한 제어 방법으로 IPMSM을 제어하였다. 다이내모 시험을 통해 인버터 및 모터의 성능을 검증하였으며 개발된 인버터를 전기 트랙터에 적용하였다.

이 논문은 2011년도 지식경제부에서 시행한 부품소재기술 개발사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] James Larminie, John Lowry, "Electric Vehicle Technology", A JIN.