전력전자학술대회 논문집 2003. 7. 14 ~ 7. 17

전기자동차 구동용 SR Drive System

김태형, 안진우, 박성준*
경성대, 동명대*

SR Drive System for Electric Vehicle

T.H. Kim, J.W. Ahn, and S.J. Park*
Kyungsung Univ., *Tongmyoung College

ABSTRACT

The switched reluctance motor (SRM) is gaining much interest as a candidate for electric vehicle for its simple and rugged construction, ability of extremely high-speed operation. This paper is to design and investigate the capabilities of the SRM for low speed electric vehicle(LSEV)

1. 서 론

전기자동차(Electric Vehicle, 이하 EV)는 주로 축전지의 전원을 이용하여 AC 또는 DC전동기를 구동하여 동력을 얻는 자동차로, 최근 가솔린 자동차에 의한 대기오염문제가 심화됨에 따라 그 해법으로 주목 받고 있다. 현재 고성능 전기자동차용 동력원으로는 교류유도전동기, 영구자석 동기전동기등을 중심으로 개발이 활발히 진행되고 있으나 높은 가격과 사용재질에 의한 견고성, 영구자석의 감자현상 등에 많은 취약점을 나타내고 있다.

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motot, 이하 SRM)은 일반적인 전동기에 비하여 전동기구가 간단하고, 고효율, 경제성, 시스템 제어성의 강인성, 우수한 견인특성, 넓은 동작속도영역, 높은 출력/중량비, 토크/관성비, 짧은 End-turn등과 같은 장점을 가지다. 또한 고정자에만 권선이 위치한 집중권 방식으로 인하여 유지보수에도 많은 이점을 가지고 있어 전기자동차에 적용시 그 실용적 가치가 매우 높다. 또한 최근 전력용 반도체 기술의 발전으로 인해 이론적 타당성은 입증되었으나 상용화에 어려움을 겪었던 제어기부분에서도 많은 이점을 가지게 되었다.

본 연구에서는 기존의 저속 전기자동차에 적용되고 있는 직류전동기를 경제적이고 고효율, 견고성, 넓은 법위의 속도제어가 가능한 SRM으로 교체하기 위하여 전기자동차용 SRM을 설계·제작하고 저속 전기자동차에 적합한 제어 시스템을 구현하고 SRM의 구동시 발생하는 진동·소음문제를 해결하여 그 적용성과 효용성을 확인한다.

2. LSEV용 SRM의 개발

표 1은 저속 구동용 전기자동차의 구동부에 대한 제원을 나타내고 있다 저속 구동용 전기자동차는 크기가 일반 차량보다 작고 협소하므로, 표 1에서와 같이 구동용 전동기의 크기가 상당히 작게 되어야 하며, 72[V]의 저전압에서 출력이 5[KW]급 이상이 되는 성능을 발휘하여야 한다. 또한 입력전류가 최대 300[A]급까지 인가될수 있는 전력용 스위칭소자의 선택이 요구되어 진다.

표 1 프로토타입 전동기의 제원
TABLE 1 Specifications of the prototype motor

전동기 종류	고정자 6극 회전자 4극 SRM
정격 전압	72 [V]
허용전압범위	50[V]~90[V]
정격속도	4000 [rpm]
정격출력	5 [KW]
최대출력	13 [KW]
전동기 외경	180 [mm] 이내
전동기 길이	180 [mm] 이내

전동기가 연결될 기어부는 10:1의 기어비를 가지며. 400[rpm]에서 약 40[Km/h]의 속도를 낼 수 있는 차량에 적용되며, 40[Km/h]~50[Km/h]의 속도에서 발생하는 차량의 떨림 및 외부 충격에 전동기가 쉽게 파손되지 않도록 전동기의 설계 및 제작이 이루어 져야 한다.

2.1 SRM 설계

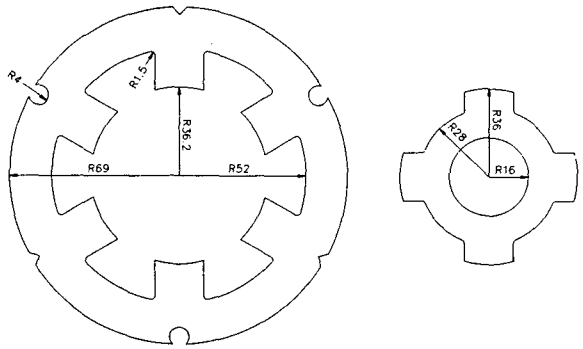


그림 1 저속전기자동차용 SRM의 설계 치수
Fig. 1 Design dimension of the SRM

SRM의 크기는 기존에 직류직권 전동기가 장착되어 있던 공간을 고려하여, 표1에 의한 사항에 적합하도록 설계되었다. 전동기의 축은 표준 생산치수를 사용하여 정하였고, SRM의 제어에 필요한 엔코더의 장착을 위해 전동기의 축에 여유공간을 두도록 하였다.

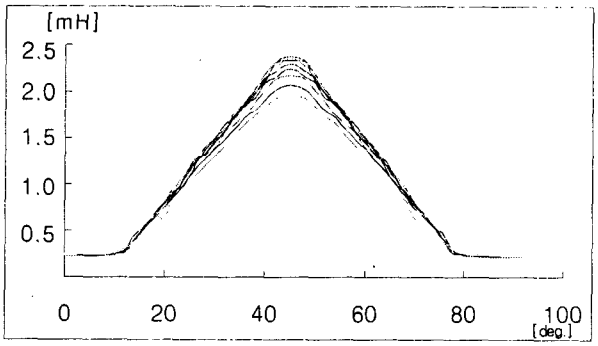


그림 2 측정한 인덕턴스 프로파일
Fig. 2 Measured inductance profiles

그림 2는 피시험 전동기에 30~250[A]에서 20[A]의 일정한 간격으로 전류를 흘렸을 때 회전자 위치각 1°마다 측정한 인덕턴스 프로파일을 나타내고 있다. 이는 설계에 따라 전동기가 양호하게 제작되었음을 나타낸다.

2.2 SRM 드라이버

실험을 위한 제어기는 PIC 16C74A를 사용하여 제작되었으며 그림 3은 이에 대한 전체 시스템의 구성을 나타내고 있다. 회전자의 절대 위치는 제안된 엔코더로부터 4비트의 캡쳐기능을 사용하였고, 속도정보는 최외각 비트에 M/T방식을 적용하여 계산하였다.

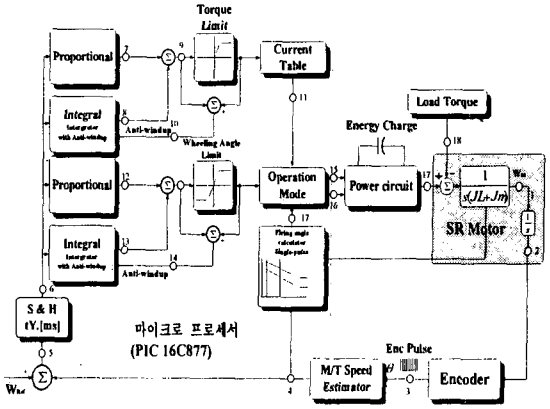
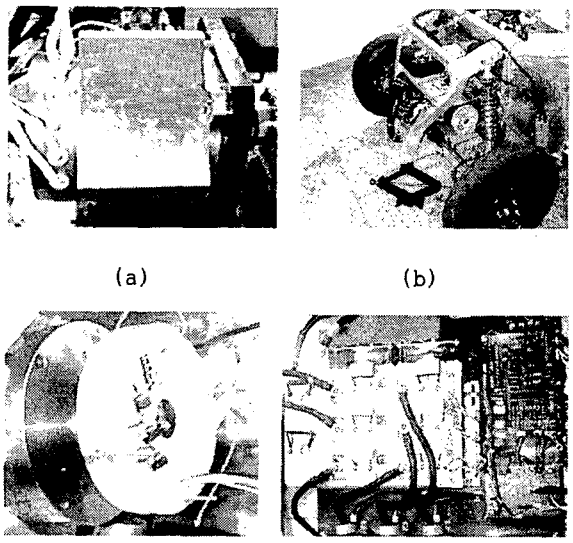


그림 3 시스템 구성도
Fig. 3 Block diagram of the control system

속도 제어기는 지령속도에 대한 PI 제어기를 적용하였고, 기동시의 평활 토크 출력을 위한 기준전류는 테이블 방식으로 인가되도록 하였다. 초기 기동시의 평활 토오크를 위한 전류제어는 PIC의 A/D 컨버터 기능을 사용한 PI 제어기로 제어되도록 설계하였다.

저속 전기 자동차의 구동을 위해 PIC의 제어 블록에서 각 단계별로 모드를 정해서 운전을 하도록 하였다. 부드러운 기동을 위하여 1차 모드에서는 하드쵸핑모드(hard chopping mode)를 고속 운전을 위하여 우선 도통각의 이동시키는 2차 모드인 쉬프트 모드(shift mode), 마지막으로 3차 모드인 고속운전 모드(long dwell mode)로 구분되어 운전된다.



(a) (b) (c) (d)

그림 4 장착된 LSEV 구동 시스템
(a) 장착된 전동기 외형 (b) 차량장착부
(c) SRM 구동용 엔코더 (d) 인버터 및 제어기
Fig. 4 LSEV driving system
(a) prototype SRM (b) drive system
(c) encoder (d) inverter and controller

3. 시스템의 적용 및 특성

그림 4는 실제 제작된 SRM 구동 시스템을 보여주고 있다. 전동기가 장착될 공간을 고려하여 최대한 소형화된 크기로 제작되어졌고, 진동·소음의 감소를 위하여 각형 프레임을 채용하였다. 구동을 위한 인버터의 소자는 300[A]급의 모듈형식의 소자를 적용하였으며, SRM의 운전을 위한 엔코더는 절대치 엔코더와 펄스형 엔코더를 조합한 형식으로 제작하여 적용하였다.

그림 5는 기동시 지령치에 따른 상전류 파형을 나타내고 있다. 지령신호에 각 상의 상전류가 양호하게 접근해감을 알 수 있다.

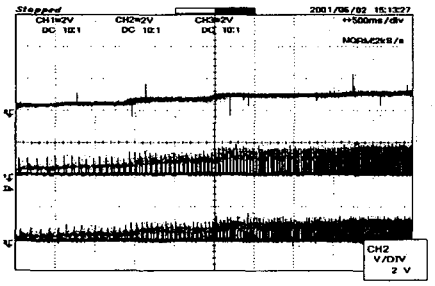
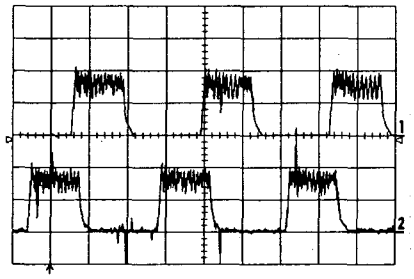
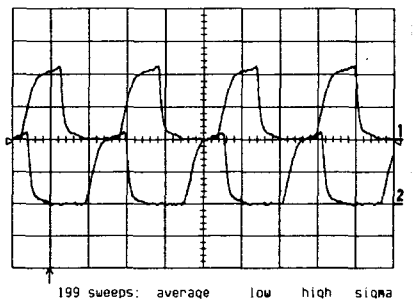


그림 5 기동시의 지령신호(상)와 상전류(중,하)
Fig. 5 Reference(upper trace) and real current(middle, lower trace) at starting



(a)



(b)

그림 6 SRM 운전조건에 따른 상전류
(a) 저속 운전시(2400[rpm]) (b) 고속 운전시(6000[rpm])
Fig. 6 Phase current by SRM driving condition
(a) low speed(2400[rpm]) (b) high speed(6000[rpm])

그림 6은 1차 모오드에서 하드쵸핑에 따른 상전류 파형과 3차 모오드인 고속모오드에서의 상전류 파형을 나타내고 있다. 제어기에서 구성된 각 모드별 운전이 원활하게 이루어짐을 알 수 있다. 운전은 중부하에서 행하여 졌으며 평균 전류가 150[A]급으로 양호한 운전을 할 수 있었다.

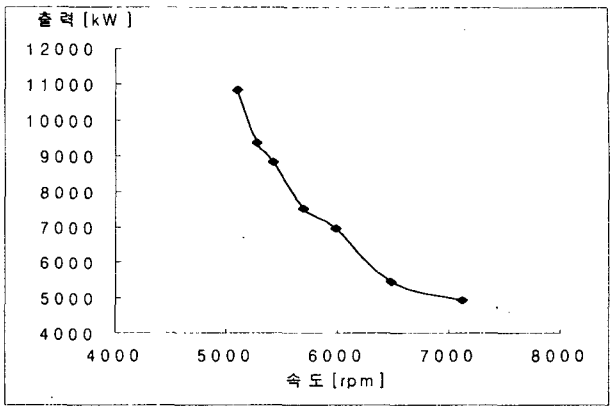


그림 7 속도에 따른 출력 곡선
Fig. 7 Output power vs. speed

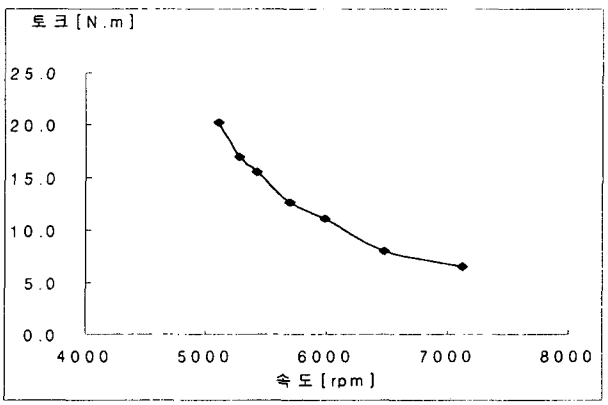


그림 8 속도에 따른 토오크 곡선
Fig. 8 Speed-Torque curve

그림 7은 개발된 SRM의 부하에 따른 속도-출력 특성을 나타내고 있다. 실제 구동에서는 1인 탑승시 약 720[kg]의 중량에서 최대 속도 약 45[km/h]의 출력을 나타내었다.

그림 8은 속도에 대한 토오크 곡선으로 5000[rpm]에서 약 22[N·m]의 높은 성능을 나타냄을 알 수 있다.

운전시 발생하는 소음은 기존 아스팔트 평면 주행시 1차 모오드에서 약 90[dB], 2차 및 3차 모오드 운전시 약 85[dB] 수준의 저소음 구동이 이루어졌다. 이는 기존의 직류전동기 장착시 같은 조건하에서 발생하는 운전소음 수준으로 양호한 특성을 나타냄을 알 수 있다.

4. 결 론

설계된 SRM은 기존 직류 직권 전동기에 비하여 브러시 부분이 없어 전동기의 길이가 짧아지게 되고, 브러시의 마모 등에 의한 보수의 필요성이 없어지게 된다. 그리고 저속 전기자동차의 실차 적용에서 양호한 출력 특성과 운전특성을 얻을 수 있었으며, 기존의 직류 전동기와의 특성 비교 시험에서 제작된 전동기는 기존의 직류 전동기의 특성을 잘 나타내고 있다. 소음 시험측면에서 기존의 직류 전동기 수준의 안정된 특성을 나타내고 있다.

이 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동연구소 주관으로 수행된 과제임.

참 고 문 헌

[1] Euxibie E and Thenaisie P: "A switched reluctance drive for pallet truck applications", Intelligent Motion, Proceedings, pp. 88-100, 1990.

[2] Lawrenson PJ et al: "Variable-speed switched reluctance motors", Proceedings IEE. Vol. 127, Pt. B, pp. 253-265,

[3] C. Wu and C. Pollock, "Analysis and Reduction of Vibration and Acoustic Noise in the Switched Reluctance Drive", IEEE Trans. Industrial Applications, Vol. 31, No. 1, pp. 91-98, 1995.

[4] Byrne, JV et al: "A high-performance variable reluctance motor drive: a new brushless servo", Motorcon proceedings. pp.147-160, 1985.

[5] 김창섭, 안진우, 김명규, 이호길: "소형 지게차용 SRM 및 구동 시스템의 개발", 대한전기학회 하계학술대회, pp. 732-734, 2000.

[6] 김창섭, 오석규, 안진우, 황영문: "LSEV용 SRM의 설계 및 구동특성", 대한전기학회 하계학술대회, pp. 871-873, 2001.