

LSEV용 SRM의 설계 및 구동특성

김창섭, 오석규\*, 안진우, 황영문\*\*  
 경성대학교, 진주산업대학교\*, 부산대학교\*\*

The Design and the Characteristics of SRM Drive for Low Speed Vehicle

C.S. Kim, S.G. Oh\*, J.W. Ahn, Y.M. Hwang\*\*  
 Kyungseung Univ., Chinju Nat'l Univ.\*, Pusan Nat'l. Univ.\*\*

**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

SRM은 일반적인 전동기에 비하여 전동기구가 간단하고, 고효율성, 경제성, 시스템 제어성의 강인성, 우수한 견인특성, 우수한 동작속도영역, 짧은 end-turn, 높은 출력/중량비, 토오크/관성비와 같은 장점을 가지고 있기 때문에 그 실용적 가치가 높다. 그러므로 본 연구에서는 기존 저속전기자동차에 적용되고 있는 직류 직권 전동기를 경제적이고 고효율, 견고성, 넓은 범위의 속도제어가 가능한 스위치드 릴럭턴스 전동기 (Switched Reluctance Motor, 이하 SRM이라 함)(1,2)로 교체하기 위해 전기자동차용으로 SRM을 설계·제작하고, 저속 전기자동차에 알맞은 제어 시스템을 구현하고, SRM의 구동시 발생하는 진동·소음 문제를 해결하고(3), 그 적용성 및 효율성을 확인하였다.

2. LSEV용 SRM의 개발

표 1 시작기 SRM의 제원  
 Table. 1 Specification of the prototype SRM

전동기 종류	고정자 6극 회전자 4극 SRM
정격 전압	72 [V]
허용 전압범위	50[V] - 90[V]
정격 속도	4000 [rpm]
정격 출력	5 [kW]
최대 출력	13 [kW]
전동기 외경	180 [mm] 이내
전동기 길이	180 [mm] 이내

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 발휘해야 된다. 또한 입력 전류가 최대 300[A]급까지 인가될 수 있는 소자의 채용이 요구된다(4,5).

전동기가 연결될 기어부는 10:1의 기어비를 가지며, 4000[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 파

손되지 않도록 전동기의 설계 및 제작이 이루어져야 된다.

2.1 SRM 설계

SRM의 크기는 기존에 직류 직권 전동기가 장착되어 있던 공간을 고려하였고, 표 1에 의한 사양에 적합하도록 설계에 적용하였다. 전동기의 축은 표준 생산 치수를 사용하여 정하였고 SRM의 제어에 필요한 엔코더의 장착을 위하여 전동기의 축에 여유 공간을 두도록 하였다.

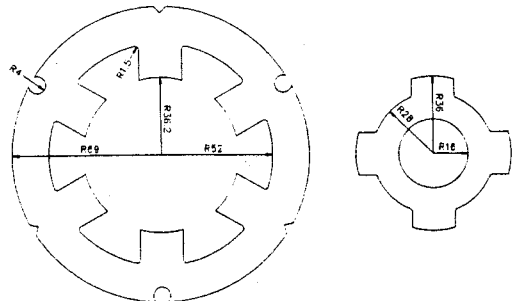


그림 1 지게차용 SRM의 설계 치수  
 Fig. 1 Design dimension of SRM for LSEV

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

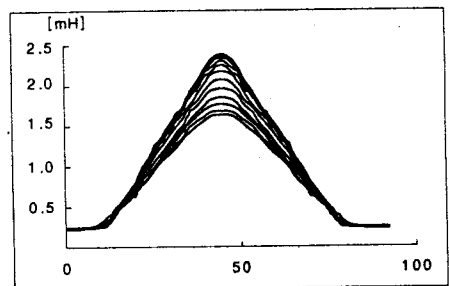


그림 2 측정된 인덕턴스 프로파일  
 Fig. 2 Measured inductance profiles

2.2 SRM 드라이버 설계

실험을 위한 제어기는 PIC 16C74A를 사용하였고, 그림 3은 이에 대한 전체 시스템의 구성을 나타내고 있다. 회전자의 절대위치는 제안된 엔코더로부터 4비트의

캡처기능을 사용하였고, 속도정보는 최외각 비트를 M/T방식을 적용하여 계산하였다.

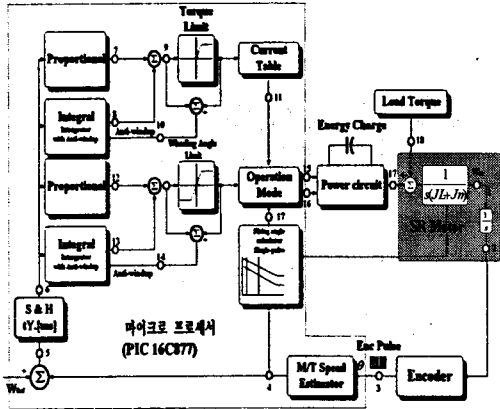


그림 3 시스템 구성도  
Fig. 3 Block diagram of control system

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

지속 전기 자동차의 구동을 위해 PIC의 제어 블록에서 각 단계별로 모드를 정해서 운전을 하도록 하였다. 부드러운 기동을 위하여 1차 모드에서는 하드췌핑모드(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.

### 3. 시스템의 적용 및 특성

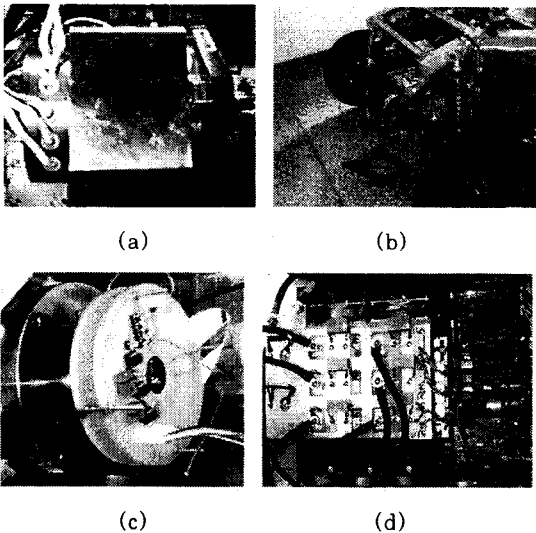


그림 4 장착된 LSEV 구동 시스템  
(a) 장착된 전동기 외형 (b) 차량 장착부  
(c) SRM 구동용 엔코더 (d) 인버터 및 제어기  
Fig. 4 LSEV driving system  
(a) prototype SRM (b) drive system  
(c) encoder (d) inverter and controller

그림 4는 실제 제작된 SRM 구동 시스템을 보여주고 있다. 전동기가 장착될 공간을 고려하여 최대한 소형화된 크기로 제작되어졌고, 진동·소음의 감소를 위하여 각형 프레임에 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.

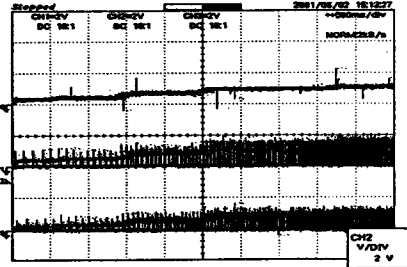


그림 5 기동시의 지령신호와 상전류  
Fig. 5 Reference and real current at starting

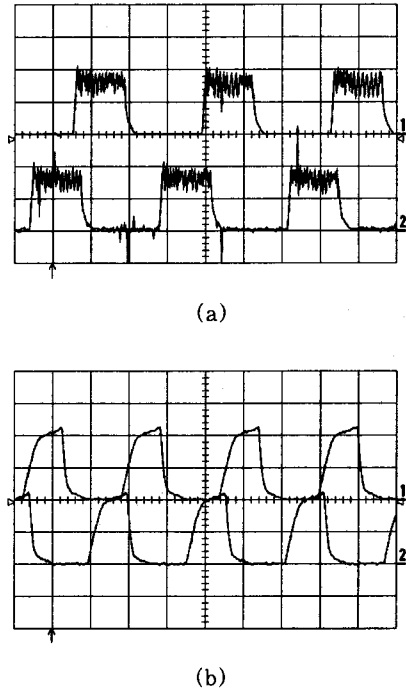


그림 6 SRM 운전에 따른 상전류  
(a) 저속 운전시(2400(rpm)) (b) 고속 운전시(6000rpm)  
Fig. 6 Phase current by SRM driving  
(a) low speed(2400rpm)(b) high speed(6000rpm)

그림 6은 1차 모드에서 하드췌핑에 따른 상전류 파형과 3차 모드인 고속모드에서의 상전류 파형을 나타내고 있다. 제어기에서 구성된 각 모드별 운전이 원활하게 이루어짐을 알 수 있다. 운전은 중 부하에서 행하여졌으며 평균 전류가 150[A]급으로 양호한 운전할 수 있었다.

(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, pp732-734, 2000.

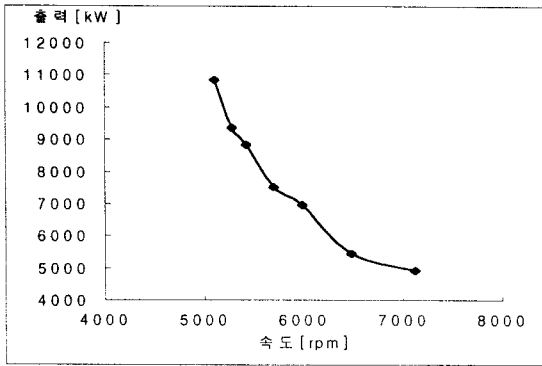


그림 7 속도에 따른 출력 곡선  
Fig. 7 Output power vs. speed

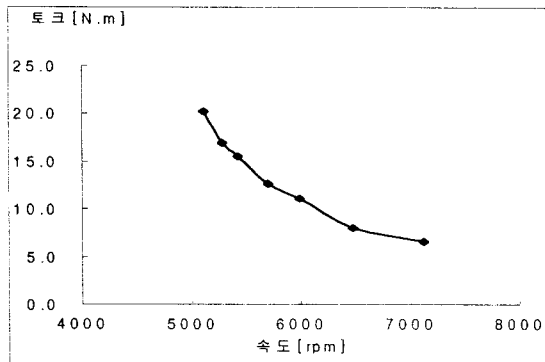


그림 8 속도에 따른 토크 곡선  
Fig. 8 S-T curve

그림 7은 개발된 SRM의 부하에 따른 속도특성을 나타내고 있다. 정격 속도 4000[rpm], 5[kW]로 설계 기준의 출력 특성을 나타냄을 알 수 있다. 실제 구동에서는 1인 탑승시 약 720[kg]의 중량에서 최대 속도 약 45[km/h]의 출력을 나타내었다.

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

운전시 발생하는 소음은 기존 아스팔트 평면 주행시 1차 모드에서 약 90[dB], 2차 및 3차 모드 운전시 약 85[dB] 수준의 저소음 구동이 이루어졌다. 이는 기존의 직류전동기 장착시 같은 조건하에서 발생하는 운전 소음 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 수준에서 안정된 특성을 나타내고 있다.