

저속 전기자동차용 SRM의 구동특성 향상을 위한 제어시스템

황형진, 이동희*, 안진우
경성대, OTIS-LG*

SR Drive System for LSEV

Hwang Hyung-Jin, Lee Dong-Hee*, Ahn Jin-Woo
Kyungsung Univ., OTIS-LG*

Abstract - SRM (switched reluctance motor) provides an excellent adjustable speed and torque characteristics. SRM has the possibility of maintaining full power over a wide speed range. So, many attempts are being done from home appliances to industrial applications. Especially, a traction drive of an SRM is one of a good application for it's DC-series characteristic.

However, because of the switching mechanism and reluctance torque, it has some disadvantage of noise and vibration. It is difficult to adopt to an appliance demanding silency. Performance and noise tests with 6/4 and 12/8 SRM were executed to compare the characteristics.

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, 이하 SRM)는 전자기적 구조가 간단하고 견고하며, 고효율, 고토크/관성비, 넓은 범위의 가변속운전 등의 장점을 가져 전기자동차 등의 트래션 구동에 있어 뛰어난 성능을 가지고 있다.

본 논문에서는 SRM을 LSEV(Low Speed Electric Vehicle)에 적용하기 위하여 일반적으로 많이 사용되는 3상의 6/4 SRM과 12/8 SRM을 서로 비교하고, 전동기의 설계, 인버터, 제어기의 설계 그리고 걱정 스위칭 온-오프 각의 조정특성 등을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1. 전동기의 설계

표 1. LSEV용 SRM의 설계 사양

table. 1 Specification of SRM for LSEV

항 목	사 양
출 력	3.5(kW)(연속)/9(kW)(2분)
사용전압	72(V)(50~90(V))
토 크	10(Nm)(4000rpm)/22(Nm)(2000rpm)
무 게	16(kg)이하
크 기	직경 180(mm), 길이 190(mm) 이하
효 율	85(%)이상
인버터의 크기	20리터
소비전력	10(kW)
속 도	Golf(20km/h), Street(40km/h)
절 연	H중
냉 각	공냉식
사용/보존 온도	(-20° ~60°)/(-30° ~80°)

표1은 LSEV용 SRM의 설계사양을 나타내었다. 각 전동기의 설계는 설계사양에 근거하여 고정된 제적 내에서 효율이나 토크를 염두에 두고 극호각이나 극의 길이, 요크 두께 등을 조정하며, 최적의 결과를 도출하는 방향으로 표 2와 같이 설계되었다. 두 전동기는 3상의 6/4 극, 12/8극으로 정격출력 3.5(kW), 정격전압 72(V), 정격속도 6000[rpm]이며, 공극과 회전자 및 고정자의 외경은 동일하게 설계하였다.

표 2. 전동기의 설계치수
Table 2. Size of SRM

전동기	6/4극		12/8극	
	고정자	회전자	고정자	회전자
외경 (mm)	138	76	138	76
슬롯깊이 (mm)	14.75	11	16.75	11
요크두께 (mm)	16	11	14	11
극호각 (deg.)	34	36	14	16
극당턴수(turn)	20		11	
속도 (rpm)	6000			
축지름 (mm)	32			
공극 (mm)	0.25			
축방향길이(mm)	100			
철심재질	s18			

2.2. 제어기 및 인버터의 구성

그림 1은 제작된 전동기의 구동을 위한 속도제어기의 구성을 나타낸 것이다. 본 논문에서는 100핀의 LQFP 패키지 타입의 TMS320F2406A를 프로세서로 사용하는 제어시스템을 설계하여 SRM의 속도제어에 적용하였다.

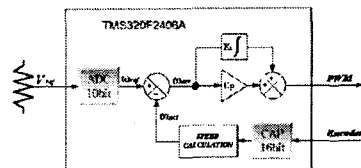


그림 1. 속도 제어기의 구성
Fig. 1. Component of speed controller

SRM의 상전류는 10비트의 AD 컨버터를 통하여 입력되며, 속도지령치도 가변저항형 페달을 이용하여 아날로그 값으로 입력되도록 설계하였다. 속도의 측정을 위해서 하나의 중분형 광학식 엔코더가 사용되었으며, 센서의 신호 A, B, Z 중 Z신호의 펄스간격을 속도정보로 이용하였다. 엔코더는 1024 pulse/r의 해상도로서 4배 배하여 4096 pulse/r의 해상도로 사용된다.

SRM의 고정자 권선의 전류를 단방향으로 제어하기 위해 많은 구동 회로가 제안되어 사용되는데 컨버터의 비용절감과 성능향상을 두 전제로 한다. SRM의 토크는 전류방향에는 무관하고 전류의 제곱에 비례한다. 이에 스위치를 턴 오프할 때는 전류가 완전히 소멸할 때까지 연속성을 유지하기 위한 회로가 구성되어야 하고 유도성 회로특성 또한 고려되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 비대칭 브릿지 컨버터를 채택하였다. 그림 2는 상당 두 개의 스위치와 다이오드를 가지는 비대칭 브릿지 컨버터로서 크게 3단계의 동작모드로 구동된다.

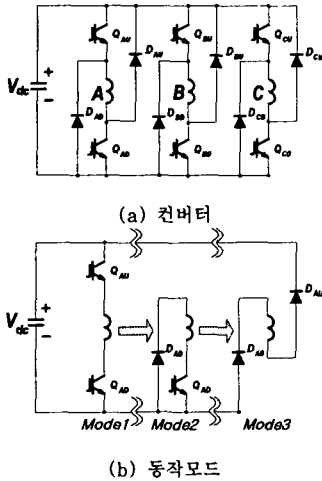


그림 2. 비대칭 브릿지 컨버터와 동작모드
Fig. 2. Asymmetric bridge converter and operation mode

3. 실험 및 결과

그림 3은 제작된 전동기의 Test 장치를 보여주며, 그림 4는 제어기 및 인버터를 포함한 구동 시스템을 나타낸다. 실험세트는 출력 및 효율의 측정을 위하여 부하단에는 직류 타여자 전동기를 장착하였다. 설계된 데이터에 의해 피시험 전동기의 적정 스위칭각을 나타내면 그림 5와 같다.



그림 3. SRM Test 장치
Fig. 3. SRM Test equipment

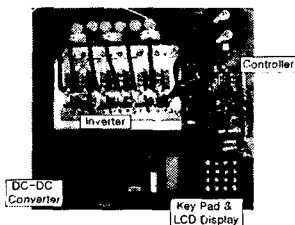


그림 4. 구동 시스템
Fig. 4. Drive system

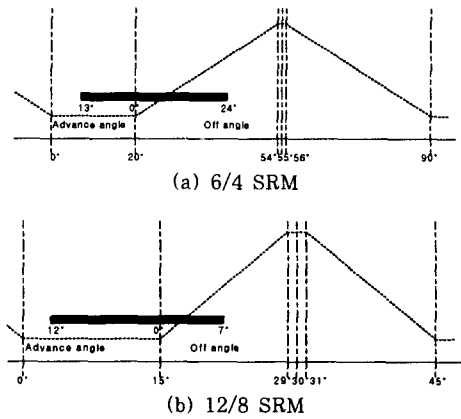


그림 5. 피시험 전동기의 인덕턴스 프로파일과 스위칭 각도 (5000rpm일 때)
Fig. 5. Inductance profiles and switching angle of prototype SRM(at 5000rpm)

3.1. 전동기 특성 시험

제작된 시작기로 실험 시스템을 구성하여 실험을 행하였다. 그림 6은 피시험 전동기를 차량에 장착하기에 앞서 소음을 측정된 결과를 보여준다. 소음계로 1m거리에서 측정된 결과이다. 본 실험에서는 전문적인 소음측정 장치를 갖추지 못해, 6/4 SRM과 12/8 SRM의 상대적인 소음비교에 준한다.

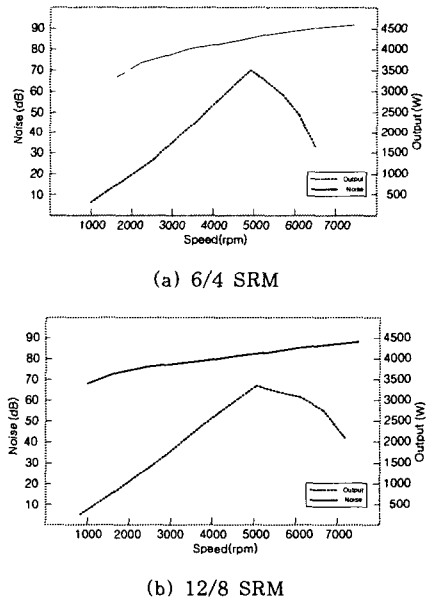
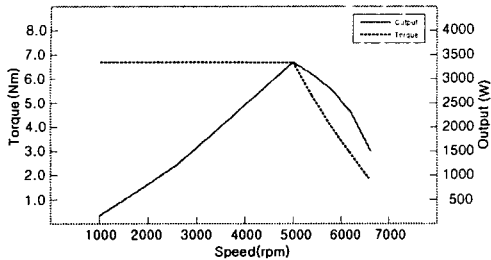


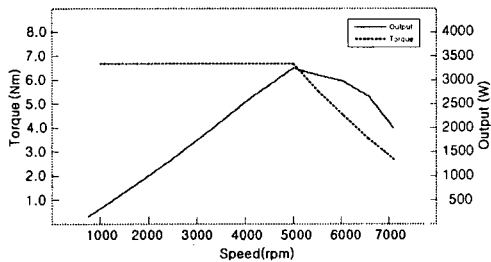
그림 6. 피시험 전동기의 소음측정
Fig. 6. Noise measurement of prototype SRM

그림 6에서 고속영역으로 갈수록 12/8 SRM이 6/4 SRM에 비해서 소음이 다소 작음을 알 수 있다. 시뮬레이션과 소음레벨의 차이가 큰 것은 부하로 사용되는 타여자 DC전동기와 키펴링, 엔코더에서의 소음 및 실내 반사음에 의한 것으로 전동기 자체보다 높은 소음이 발생하였다. 결과는 시뮬레이션과 같이 12/8 SRM이 6/4 SRM보다 소음을 적게 발생하는 것을 보이고 있다.

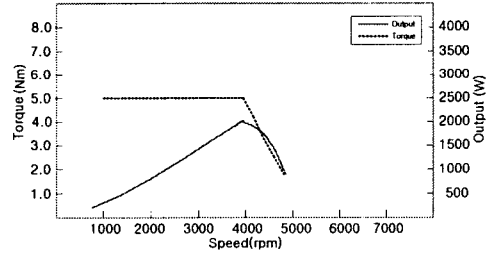
선행 스위치각의 변화에 따른 출력, 토크 등의 변화를 살펴보았다. 그림 7에서 선행각(Advance angle)의 변화에 따른 속도-토크-출력 그래프가 나타나 있다. 그래프에서 선행각이 작아질수록 출력 및 토크가 작아지는 것을 알 수 있으며 기저속도(Base speed) 또한 낮아짐을 알 수 있다.



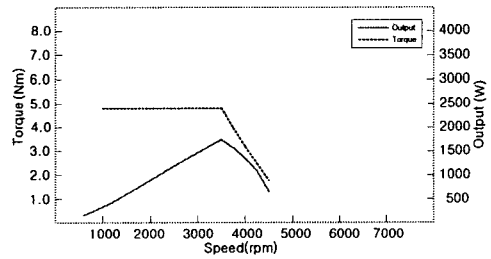
(a) Advance angle 13° (6/4 pole)



(b) Advance angle 12° (12/8 pole)



(c) Advance angle 5° (6/4 pole)



(d) Advance angle 4° (12/8 pole)

그림 7. 선행각 변화에 따른 속도-토크-출력

Fig.7. Speed-torque-output according to changes of advance angle

설계치와 마찬가지로 6/4 SRM과 12/8 SRM이 토크는 비슷하나 6/4 SRM이 12/8 SRM에 비해 다소 출력이 높음을 알 수 있다.

4. 결 론

SRM의 LSEV 적용에 있어서 시뮬레이션 결과의 검증은 위한 실험으로 전동기 자체의 출력, 기동토크, 소음 등을 측정하였다. 선행각 변화에 따른 시험에서 6/4 SRM은 12/8 SRM에 비해 출력이 높음을 알 수 있었다. 하지만 소음측면에서는 12/8 SRM이 6/4 SRM에 비해 유리한 것을 알 수 있었다.

실험을 통해 LSEV의 초기 구동 시 큰 기동토크를 얻기 위해서는 6/4와 12/8 SRM을 각각 설계각인 13°, 12°의 선행각을 적용하여야 한다. 선행각이 작으면 저속영역에서 보다 높은 출력을 발생하므로, 속도가 증가함에 따라서 점차 선행각을 증가시켜 5000 [rpm] 영역부터는 최대 출력과 효율을 위해서 설계치인 13°, 12°를 적용하여야 함을 알 수 있었다.

각 실험결과를 통해 시뮬레이션 결과를 만족함을 알 수 있었으며, 또한 완성된 드라이브 시스템을 실제 자동차에 장착하여 다시 한번 그 결과를 검증, LSEV에 적용 가능함을 보일 것이다.

본 연구는 과학재단 목적기초연구(No. R01-2001-0000300-0) 지원에 의해 수행되었음.

(참 고 문 헌)

- [1] 안진우, "스위치드 릴럭턴스 전동기", 오성미디어, pp1-454, 2004
- [2] D. E. Cameron, J. H. Lang and S. D. Umans : "The Origin and Reduction of Acoustic Noise in Doubly Salient Variable-Reluctance Motors," IEEE Trans, on IA, Vol.28, No.6, pp.1250-1255, 1992.
- [3] C. Pollock, C. Y. Wu, "Acoustic Noise Cancellation Techniques for Switched Reluctance Drives", IEEE IAS. Annual Meeting, Vol.1, pp.448-455, 1995
- [4] C. Pollock, C. Y. Wu, "Analysis Noise Reduction of Acoustic Noise in the Switched Reluctance Drive", IEEE Trans. on IA, Vol.31, No.1, pp.91-98, 1995.
- [5] 안진우 외 2 : "Pallet Truck용 6/4 SRM", 전력전자학술대회 논문집, pp844-847, 2003. 7
- [6] 안진우, 강유정 : "SRM의 4상한 구동을 위한 전류제한방식" 전력전자학회 논문지 8권3호, pp.285-291, 2003. 6