

# LSEV용 SR Drive System

송현수, 안진우, 안영주\*, 박성준\*\*  
경성대, \*부경대, \*\*전남대

## SR Drive System for LSEV

Hyun-Soo Song, Jin-Woo Ahn, Young-Ju An\*, and Sung-Jun Park\*\*  
Kyungsoong Univ., \*Pukyong Nat'l Univ., \*\*Chonnam Nat'l Univ.

### Abstract

SRM(switched reluctance motor) provides a 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. A performance and noise tests with 6/4 and 12/8 SRM were done to compare the characteristics.

### 1. 서 론

스위칭 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, 이하 SRM)는 전자기적 구조가 간단하고 견고하며, 고효율, 고토오크/관성비, 넓은 범위의 가변속운전 등의 장점을 가져 전기자동차 등의 트랙션 구동에 있어 뛰어난 성능을 가지고 있음이 알려져 있다. 그러나 SRM의 구동시 발생하는 소음으로 인해, 전기자동차용으로의 적용이 어려웠다. 그동안의 개발연구는 주로 토오크, 효율, 신뢰도, 경제성 등에 초점 맞춰져 있었다.

본 논문에서는 SRM을 LSEV에 적용하기 위하여 SRM의 소음발생 원인을 분석하고, 일반적으로 많이 사용되는 3상의 6/4 SRM과 12/8 SRM을 서로 비교한다. 소음발생정도를 소음해석 전용 프로그램인 PC SRDaS를 사용하여 시뮬레이션하고, 실험을 통하여 소음발생정도를 검증한다.

### 2. SRM의 소음해석

그림 1은 일반적인 SRM 드라이브 시스템을 보여준다.

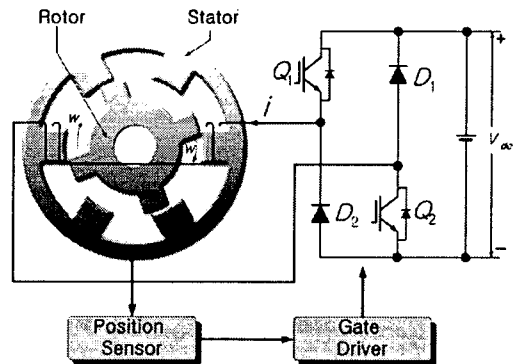


그림 1 SRM 드라이브 시스템  
Fig. 1 SRM drive system

발생토크는 상전류와 인덕턴스로 표현되며, 스위칭 전류의 제곱과 회전자의 위치각에 따른 인덕턴스의 편미분값에 비례한다. 여기서 실제 발생토크는 인덕턴스의 상승구간에 존재하며, 부토크를 방지하기 위해서 인덕턴스 하강구간에 이르기까지 전류의 소호가 이루어져야 한다. 또한 토크 발생구간에서 맥동이 발생하거나, 한 상에서 다른 상으로의 전류(commutation)작용이 원활하지 못하게 되면, 전동기의 토크-속도특성의 안정도가 낮게 된다. 이것은 전동기의 구조적 문제에 의한 진동소음의 원인이다.

진동·소음 발생 원인으로서는 크게 기계적인 원인과 전자기적인 원인이 있다. 기계적인 원인으로서는 공심의 동심도, 직전도, 접촉 마찰, 중량 불균형 제작 등과 같은 제작상의 문제와 베어링과 같은 적용부품에서의 기계적인 진동과 공기와의 마찰 등에 의한 소음이다. 전자기적인 원인으로서는 상 스위칭

의 온, 오프 순간에 발생하는 갑작스런 기자력의 변화에 의한 수축 팽창작용 등이 있다. 이 중 여러 연구보고에 의하면 SRM의 진동, 소음은 주로 고정자의 방사방향의 힘의 변동에 의해 발생하는 것으로 보고 되고 있다[2,3].

고정자 방사방향의 힘  $F_r$ 의 변동을 살펴보면, 전동기의 회전력 발생과정에서, 고정자극과 회전자극 사이에 방사방향의 전자적인 인력이 작용한다. 이것은 여자전류  $i$ 와 고정자극과 회전자극 사이의 공극길이 및 인덕턴스에 의해서 식(2)와 같이 나타낼 수 있다[2].

$$F_r(\theta, g, i) = -\frac{1}{2} i^2 \frac{L(\theta, g)}{g} \quad (1)$$

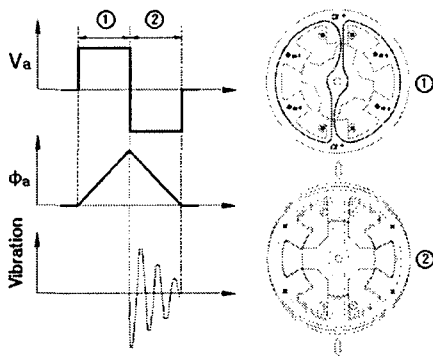


그림 2 스위칭 온-오프 시점에서의 방사방향의 진동  
Fig. 2 Radiational vibration at switching on-off

그림 2는 스위칭 온-오프 시점에서 전동기 고정자의 방사방향으로의 진동을 나타낸다. 스위칭 온 구간보다 스위칭 오프구간에 의해서 진동이 발생한다. 신속하게 상전류를 소호하는 것은 진동-소음을 더욱 가중시키므로 전류소호시간을 조절함으로써 상당부분 소음을 줄일 수 있다.

### 3. 극수에 따른 특성

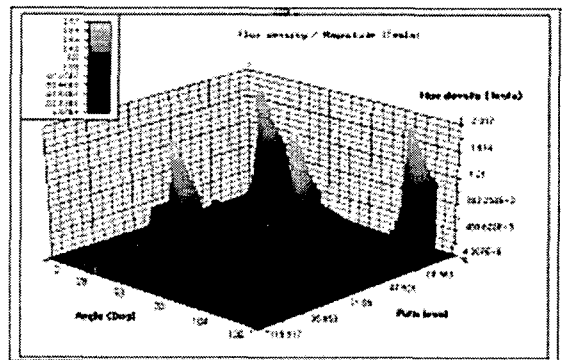
본 논문에서는 6/4 와 12/8 SRM의 두 전동기의 구동특성과 소음 등을 서로 비교하였다. 다른 요소들에 앞서 소음을 고려하여, 최적의 극수를 선정할 수 있도록 시뮬레이션을 수행하고 전동기의 구동특성을 검토하였다.

표 1은 시뮬레이션 수행을 위한 설계값을 보여준다. 설계는 3상 SR전동기로 대표적인 6/4극과 12/8극의 SRM을 선정하였으며, 둘 다 같은 체적과 같은 출력을 가지도록 설계되었다. 또한 토오크 리플은 소음과 바로 직결되므로, 토오크 리플을 최소화하는 방향으로 설계하였다.

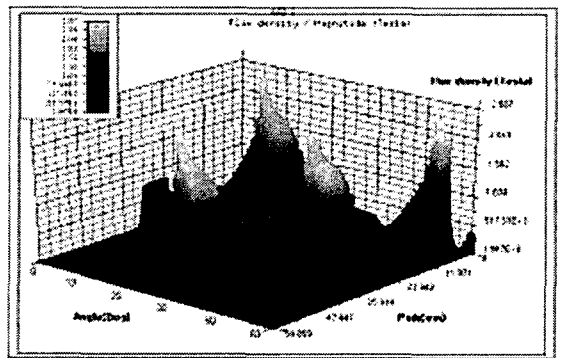
표 1. 시작 전동기의 제원

Table 1. The specifications of prototype SRM

전동기	6/4		12/8	
	고정자	회전자	고정자	회전자
외경(mm)	69	37.75	69	37.75
요오크두께(mm)	16	11	14	11
극호각(deg.)	34	36	14	16
극길이(mm)	15	21.75	17	21.75
적층길이(mm)	100			
공극(mm)	0.25			
축직경(mm)	16			



(a) 6/4극 SRM

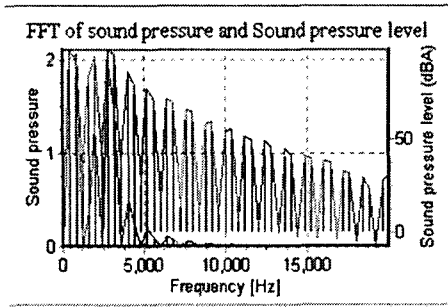


(b) 12/8극 SRM

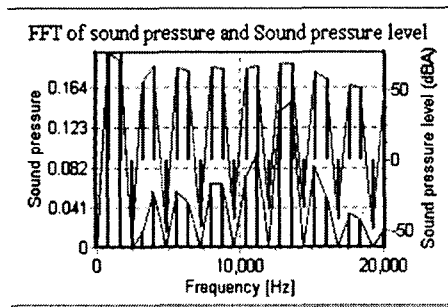
그림 3 공극자속밀도분포

Fig. 3 Air-gap flux density

그림 3은 설계된 전동기의 공극자속밀도의 분포를 검토하였다. X축은 회전자의 위치이고 Y축은 회전자의 이동거리를 나타내며, Z축은 공극 자속밀도의 크기를 의미한다.



(a) 6/4 SRM



(b) 12/8 SRM

그림 4 시작전동기의 음압

Fig. 4 Sound pressure level of prototype SRM

그림 4는 6/4, 12/8 SRM의 소음시뮬레이션을 수행한 결과이다. 시뮬레이션 결과에서 6/4 SRM이 12/8 SRM에 비해, 특히 저주파영역에서 많은 소음을 발생시키는 것을 알 수 있다.

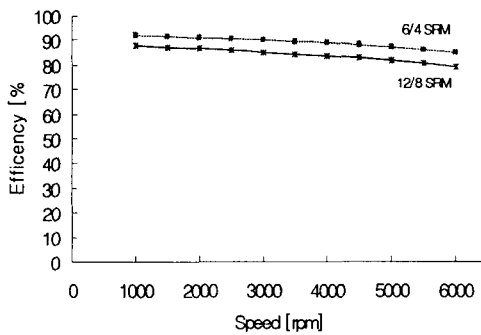


그림 5. 효율 특성

Fig. 5 Comparison of efficiency

그림 5는 시뮬레이션에 의한 효율특성을, 그림 6은 출력특성을 보여주는 것으로 6/4극이 성능면에서는 12/8극에 비해 유리하며 이는 자속포화도와 스위칭손실 등으로 인한 것이다.

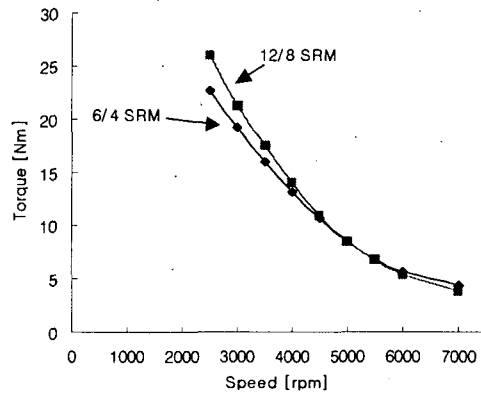


그림 6. 속도-토크 특성

Fig. 6 Speed-torque characteristics

그림 7은 두 전동기의 소음의 실제측정결과이다. 그래프에서 보듯이 12/8극 SRM이 6/4극 SRM에 비하여 소음레벨이 낮으며 이는 시뮬레이션 결과와 일치한다.

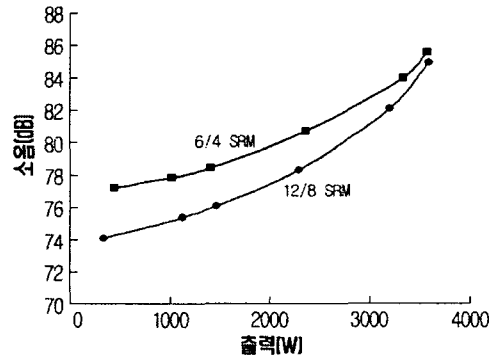


그림 7 6/4 SRM과 12/8 SRM의 소음 실측 파형

Fig. 7 Measured noise data of 6/4 and 12/8 SRM

#### 4. 결 론

본 논문에서는 SRM을 전기자동차에 적용하기 위한 전동기 극수선정과 구동특성을 검토하였다. 효율, 토크 등의 전동기 구동특성과 소음을 고려한 SRM의 극수를 선정하기 위해서 시뮬레이션과 실험을 수행하였다. 수행된 결과 전동기의 구동특성은 6/4극이, 소음특성은 12/8극 전동기가 우수하였다. 향후 시작전동기를 전기자동차에 장착하여 구동성능을 평가할 것이다.

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

## 참 고 문 헌

- [1] 안진우 외 1 , “스위치드 릴럭턴스 전동기의 구동과 응용”, 신지서원, pp. 186-205, 1998.
- [2] Derrick E. Cameron, Jeffrey H. Lang and Stephen 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”, 전력전자 학술대회 논문집, pp. 844-847, 2003. 7.
- [6] 안진우, 강유정 : “SRM의 4상한 구동을 위한 전류제한방식” 전력전자학회 논문지 8권3호, pp. 285-291, 2003. 6