

소음저감을 위한 EV용 SRM 구동 시스템의 설계

송현수, 박성준*, 안진우
경성대, *동명대

Design of SRM for Low Noise Drive of EV

H.S. Song, S.J. Park*, and J.W. Ahn
Kyungsung Univ., Tongmyung College.

ABSTRACT

The switched reluctance motor(SRM) drive system provides a good 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 machinery and tools. 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, it has some disadvantage of noise and vibration. It is difficult to adopt to an appliance demanding silency. A noise simulation and design of 6/4 and 12/8 SRM was done in order to compare each other was done.

1. 서론

최근 DC전동기의 대안으로 브러시리스타입의 전동기의 연구가 한창이다. 그 중 스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, 이하 SRM)는 전자기계적 구조가 간단하고 견고하며, 고효율, 고토오크/관성비, 넓은 범위의 가변속운전 등의 장점을 가진 전동기로서 근래 여러 산업분야 및 가전 분야에 그 적용범위를 넓혀가고 있다. SRM은 전자 에너지 변환기구에서 릴럭턴스 토오크를 극대화시킨 전동기구로 전력용 스위칭 전원에 가장 적합한 형태의 전동기구이다.

그러나 SRM의 구동시 발생하는 소음으로 인해 정속을 요하는 응용에는 적용의 어려움이 있었다. 그동안의 개발연구는 주로 토오크, 효율, 신뢰도, 경제성 등에 초점 맞춰져 있었다.

본 논문에서는 SRM의 소음발생 원인을 분석하고, 극수와 형상이 달라짐에 따라 소음 정도를 시뮬레이션을 통해 계산하여, 소음발생이 적은 극수를 선정한다. 극수가 선정되면 소음을 고려하면서, 기계적인 구조를 조정하여 최소 소음발생의 전동기 설계를 할 수 있도록 한다. 소음해석 전용 프로그램인 PC SRDaS를 사용하여 시뮬레이션하고 그 결과를 보여준다. 또한 실제 전동기의 소음을 측정하여 결과를 검증한다.

2. SRM의 기본 구동원리

그림 1은 일반적인 SRM 드라이브 시스템을 보여준다.

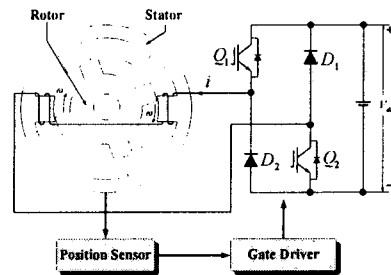


그림 1 SRM 드라이브 시스템

Fig. 1 SRM drive system

$$T_e = \frac{\partial W'_c}{\partial \theta} = \frac{1}{2} i^2 \cdot \frac{dL}{d\theta} \quad (1)$$

발생토오크는 식 (1)로 표현되며, 스위칭 전류의 제곱과 회전자의 위치각에 따른 인덕턴스의

편미분값에 비례한다. 또 실제 발생토크는 인덕턴스의 상승구간에 존재하며 인덕턴스 하강구간에 이르기 까지 전류의 소호가 이루어지지 않으면 부토크가 발생하게 된다. 또한 토크 발생구간에서 맥동이 발생하거나, 한 상에서 다른 상으로의 전류(commutation)작용이 원활하지 못하게 되면, 전동기의 토크-속도특성의 안정도가 낮게 된다. 또한 그것은 진동소음의 원인이 된다.

3. 소음발생 원인분석

진동·소음 발생 원인으로 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 의해 소음이 발생한다. 전자기적인 원인으로서는 상 스위치의 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 발생되는 것으로 보고 되고 있다^[2,3].

고정자 방사방향의 힘의 변동을 살펴보면, SRM의 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].

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

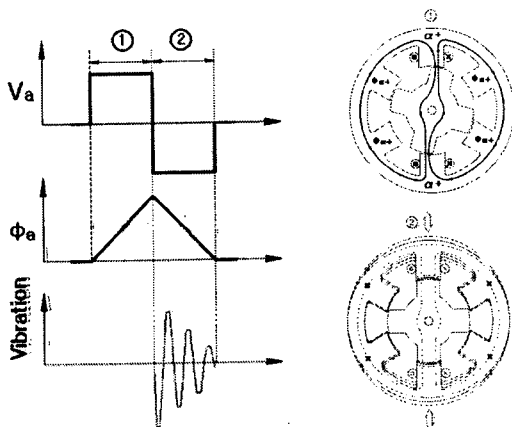


그림 2 스위칭 온-오프 시점에서의 방사방향의 진동
Fig. 2 Radiational vibration at switching on-off

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 가중시킨다. 따라서 전류소호시간을 조절함으로써 상당부분 소음을 줄일 수 있다.

4. 극수에 따른 소음 시뮬레이션 및 검증

SRM의 설계는 전체 체적내에서 효율이나 토크만을 염두에 두고 극호각이나 극의 길이, 요크 두께 등을 조정하며 최적의 결과를 내는 방향으로 수행된다.

본 논문에서는 6/4 와 12/8 SRM의 두가지 전동기를 서로 비교하였다. 6/4 SRM은 12/8 SRM과 같은 3상 전동기로서 12/8 SRM의 2배의 스트로크 횡수를 가지나, 서로의 소음정도는 잘 알려져 있지 않다. 다른 요소들에 앞서 소음을 고려하여, 최적의 극수를 선정할 수 있도록 먼저 시뮬레이션을 수행하였다.

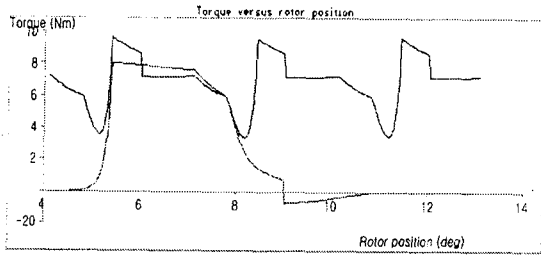
표 1은 시뮬레이션 수행을 위한 설계치이다. 6/4, 12/8 SRM의 2가지이며, 둘다 같은 체적과 같은 출력을 가지도록 설계되었다.

표 1. 시작 전동기의 제원

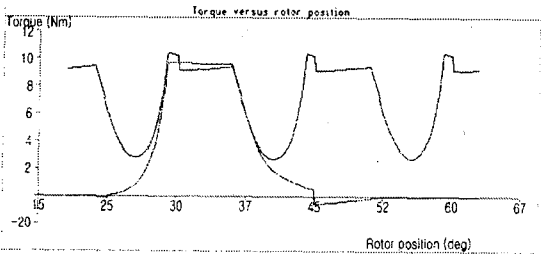
Table 1. The specifications of prototype SRM

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			

토크 리플은 소음과 바로 직결되므로, 토크 리플을 최소화하는 방향으로 설계하였다. 그림 3에 PC-SRD를 이용하여 두 전동기의 토크를 시뮬레이션하였다.



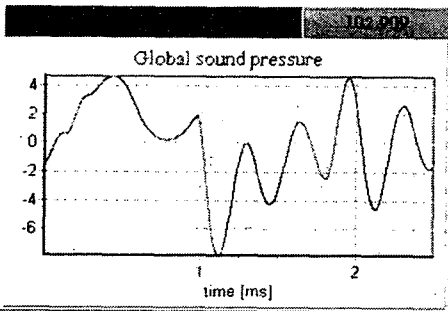
(a) 6/4 SRM



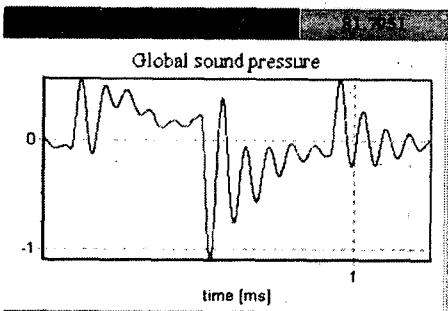
(b) 12/8 SRM

그림 3 시작 전동기의 토크 프로파일
Fig. 3 Torque profile of prototype SRM

각각 토오크 리플을 최소화 하도록 설계하였으나, 시뮬레이션 결과에서 6/4 SRM이 12/8 SRM에 비해 토오크 리플이 더 크다. 따라서 토오크 리플에 의한 소음발생이 더 큰 것을 알 수 있다.

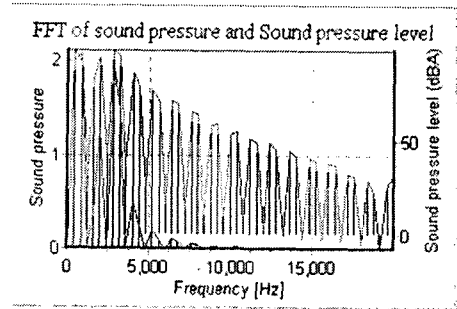


(a) 6/4 SRM

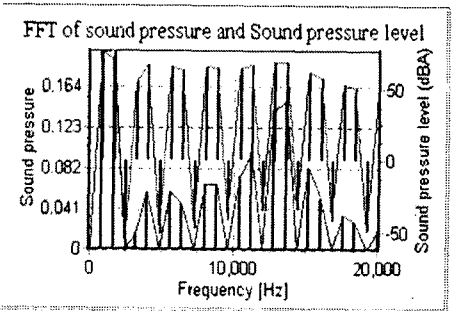


(b) 12/8 SRM

그림 4 시작전동기의 음압
Fig. 4 Global sound pressure of prototype SRM



(a) 6/4 SRM



(b) 12/8 SRM

그림 5 시작전동기의 음압 FFT
Fig. 5 Sound pressure and FFT of prototype SRM

그림 4와 그림 5는 PC SRDaS로 6/4, 12/8 SRM의 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 시뮬레이션 결과에서 6/4 SRM이 12/8 SRM에 비해 많은 소음을 발생하는 것을 알 수 있다.

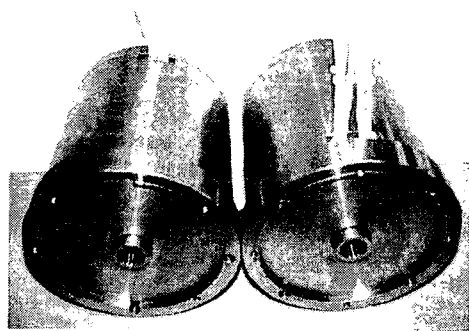


그림 6 시작전동기(좌: 6/4, 우: 12/8)
Fig. 6 Prototype SRM(Left: 6/4, Right: 12/8)

그림 6은 시뮬레이션 결과를 검증하기 위해 실제 제작된 전동기이다. 소음시험에 있어서는 전문적인 소음측정실이 아니므로 소음의 절대적 양보다는 두 전동기의 상대적인 소음만을 측정할 수 있었다. 6/4와 12/8 SRM 두 전동기를 시험하였고, 두 전동기 모두 같은 체적에 같은 출력을 갖도록 설계하였다.

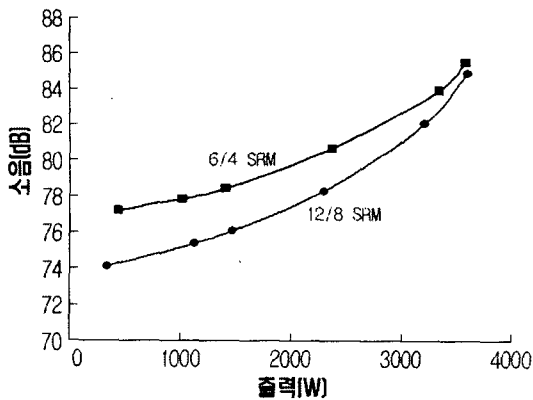


그림 7 6/4 SRM과 12/8 SRM의 소음 실측 파형
 Fig. 7 Measured noise data of 6/4 and 12/8 SRM

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

4. 결 론

본 논문에서는 SRM의 소음의 원인을 분석하고, 그 방안을 소개하였다. 효율, 토크 등에 앞서 소음을 고려한 SRM의 극수를 선정하기 위해서, PC-SRD와 PC SRDaS를 통해서 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 음압과 그 FFT결과를 통해서 소음을 그래프로 보여주었다. 수행된 결과는 6/4 SRM이 12/8 SRM보다 큰 소음을 발생하는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 6/4와 12/8 SRM의 상대적 소음을 예측할 수 있게 되었다. 또한 시뮬레이션 결과를 검증하기 위하여 실제 전동기의 소음을 측정하여 그 결과를 검증하였다. 향후 시작전동기를 전기자동차에 장착하여 구동성능을 평가할 예정이다.

이 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력공학공동 연구소 주관으로 수행된 과제임.

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, Vcl. 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.