

SRM의 진동소음 저감을 위한 2권선 여자방식

최기영, 안진우, 황영문*
경성대학교, *부산대학교

2-phase Excitation Method for Reducing Vibration and Noise of an SRM

Gi-Young Choi, Jin-Woo Ahn, Young-Moon Hwang*
Kyungseung University, *Pusan Nat'l University

Abstract - In this paper, the 2-phase excitation method is proposed to reduce vibration and noise. This excitation method produces reluctance torque by mutual action between two phases as well as conventional self-reluctance torque due to two phases excitation at a time.

The vibration and acoustic noise is reduced thought the sequential phase excitation. This is because that the scheme reduces abrupt change of excitation level by distributed, balanced excitation.

1. 서 론

스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor, SRM)는 전자기적인 구조가 간단 견고하며, 고효율, 고토오크/관성비, 넓은 범위의 가변속운전 등의 장점을 가진 전동기구조로서 여러 산업분야 및 가전분야에 그 적용범위를 넓혀가고 있다[1]. 반면에 진동과 소음의 발생이라는 큰 단점을 가지고 있고, 현재 이를 저감하려는 연구가 이루어지고 있다. 본 논문에서는 SRM의 진동과 소음의 발생원인을 살펴보고, 권선방식과 여자방식을 바꾸어 진동과 소음을 저감하는 2권선 여자방식을 소개한다. 그리고 기존의 여자방식과 2권선 여자방식에 대해서 진동과 소음을 측정하여 2권선 여자방식이 진동과 소음이 저감됨을 보이고자 한다.

2. SRM의 진동과 소음

SRM은 돌극형의 구조와 운전 메카니즘의 특성상 전동기 구동시 타 전동기 보다 높은 진동과 소음을 수반한다. SRM의 진동과 소음의 발생원인으로는 전자기적인 원인과 기계적인 원인으로 나누어 볼 수 있다. 전자기적인 원인으로는 방사방향의 전자력의 변화와 토오크 리플을 들 수 있고, 기계적인 원인으로는 회전자의 비대칭적인 제작과 베어링, 공극의 불균형을 들 수 있다. 이 중 방사방향의 전자력의 변화에 따른 고정자의 진동이 SRM의 진동과 소음에 큰 영향을 준다고 알려져 있다. [2][3][4]

2.1 2권선 여자방식에서의 발생토오크

그림 1은 2권선 여자방식에 의한 6/4극 SRM 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 각 자극의 권선방향은 기존의 여자방식과는 달리 맞은편의 동일상의 권선과는 반대방향으로 감겨져 있으며, 각 상권선의 한쪽 단자는 공통으로 묶여서 Y결선으로 되어있다. 2권선 여자방식의 SRM은 마주보는 두 상권선의 여자방향을 바꾸어 반대

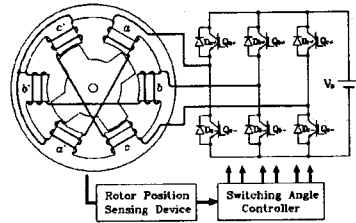


그림 1. 2권선 여자방식의 SRM 드라이브 시스템
Fig. 1. SRM Drive System with 2 winding- phase excitation method

방향으로 여자 함으로써 정방향의 토오크를 발생시키는 데, 자기인덕턴스 및 상호인덕턴스의 변화율을 동시에 이용하게 된다. 이러한 2권선 여자방식의 토오크는 식 (1)과 같이 상전류와 인덕턴스의 변화율의 곱의 형태로 된다.

$$T = \frac{1}{2} i_a^2 \frac{dL_a}{d\theta} + \frac{1}{2} i_b^2 \frac{dL_b}{d\theta} + \frac{1}{2} i_c^2 \frac{dL_c}{d\theta} + i_a \cdot i_b \frac{dM_{ab}}{d\theta} + i_b \cdot i_c \frac{dM_{bc}}{d\theta} + i_c \cdot i_a \frac{dM_{ca}}{d\theta} \quad (1)$$

여기서 T는 토오크, I는 전류, L은 자기 인덕턴스, M은 상호 인덕턴스, θ 는 회전자위치각이다.

그림2는 이상적인 자기 인덕턴스와 상호 인덕턴스, 그리고 전류형상에 따른 발생토오크를 시뮬레이션 한 파형이다. 여기서 드웰각은 각 상의 자기 인덕턴스가 최대 로 되는 점을 기준으로 한 값이다. 토오크는 이상적인 인덕턴스와 전류를 가지고, 식(1)에 의해 결정된다. 그림2(b)에서 보이는 것처럼 발생된 토오크는 적절한 상 여자에 의해 토오크 리플 없이 일정하게 된다.

2.2 2권선 여자방식의 진동과 소음 저감

SRM은 스위치 오프시 자속의 순간적인 변화율의 크기에 비례하여 진동이 발생한다. 또한 자속의 변화율은 오프시 인가전압의 변화에 비례하게 된다.

그림3은 기존의 여자방식에 의해 6/4극 SRM의 스위치 온, 오프시 발생되는 진동을 나타내고 있다. 그림 3(a)에서 회전자가 a상의 고정자극에 일치되기 전에 스위치 온 되어있는 경우의 자속경로를 보이고 있고, 그림 3(b)에서는 회전자가 고정자 극에 일치될 때 스위치 오프를 할 때 고정자 프레임에서 발생하는 진동을 보이고 있다. 그리고 그림4는 2권선 여자방식의 스위치 온, 오프시 자속의 변화 및 진동의 발생을 보이고 있다.

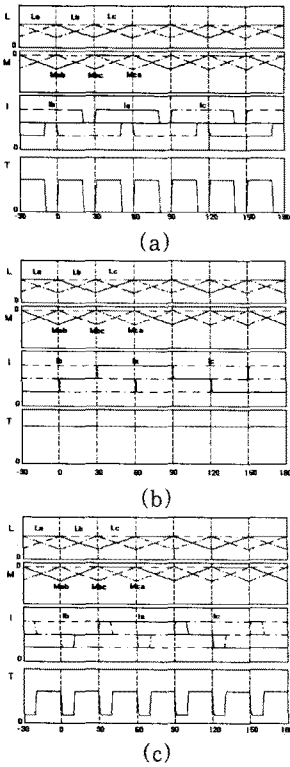


그림 2. 여자전류에 의한 발생토크. (a) 드웰각 50° (b) 드웰각 60° (c) 드웰각 70°
Fig. 2. Torque developed by excitation current. (a) Dwell angle 50° (b) Dwell angle 60° (c) Dwell angle 70°

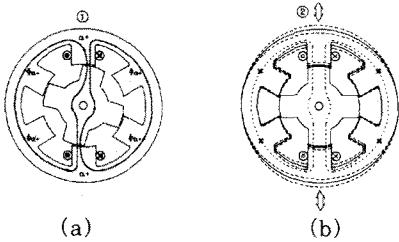


그림 3. 기존여자방식의 온, 오프시 자속의 변화 및 진동의 발생
 (a) a상: 온 구간, (b) a상: 오프 구간
Fig. 3. Flux variation and vibration produce of conventional excitation method at on and off (a) ph.a: on, (b) ph.a: off

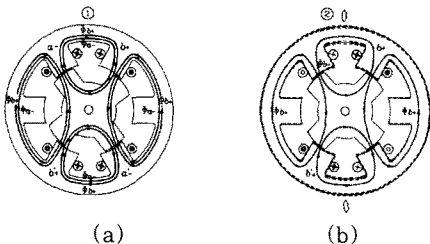


그림 4. 2권선여자방식의 온, 오프시 자속의 변화 및 진동의 발생
 (a) a상(-), b상(+): 온 구간 (b) a상(-): 오프, b상(+): 온 구간
Fig. 4. Flux variation and vibration produce of 2 phase excitation method at on and off (a) ph.a(-), ph.b(+): on, (b) ph.a(-): off, ph.b(+): on

그림4(a)는 a상과 b상을 동시에 온 하여 a상과 b상을 여자하여 발생한 각각의 자속경로를 보이고 있고, 그림4(b)에서 a상을 오프하고 b상은 여전히 스위치 온 하여 고정자 프레임에서 발생하는 진동을 보이고 있다. 그림3(b)과 그림4(b)를 살펴보면 2권선 여자방식일 때 a상이 오프 될 때 b상은 여전히 여자되고 있어서 고정자 프레임에서 발생하는 진동을 기존방식일 때보다 억제시켜주게 된다. 따라서 기존 여자방식에 비해 2권선 여자방식이 상 오프시 진동이 줄어들게 된다.

2.3 실험 및 결과

실험에 사용된 스위치드 릴럭턴스 전동기는 3상 12/8극으로써 750[W]급이다. 고정자의 극호각이 17°, 회전자의 극호각은 16°이며, 고정자극피치는 30°이다. 그리고 고정자권선의 극당 턴수가 150[Turn], 공극길이는 0.3[mm]이고, 적층길이는 60mm이다. 2권선 여자방식은 기존방식에서 상 여자방향만 바꾸면 구현이 가능하고, 2권선 여자방식에서 사용되는 인버터는 대칭형 인버터로 모듈화되어 있고, 가격이 저렴하며, 기존 AC전동기용 인버터의 사용이 가능하다. 기존여자방식에서는 클래식 인버터로 비대칭형 인버터를 사용하였다.

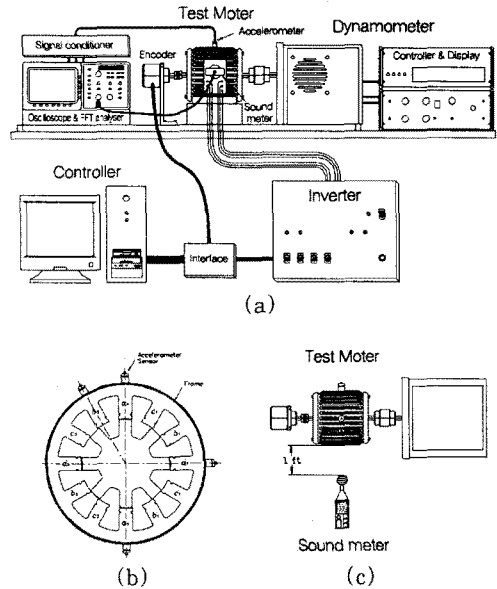


그림 5. 진동·소음실험 시스템의 구성 (a) 전체시스템 (b) 진동센서의 부착위치 (c) 소음계의 위치
Fig. 5. Configuration of test system (a) test set-up (b) position of accelerometer (c) position of sound level meter

그림5는 진동·소음특성을 측정하고 해석하기 위해 적용된 시작전동기와 측정시스템의 구성도를 보여주고 있다. 시작전동기의 고정자에서 발생하는 진동특성을 고찰하기 위해 그림5(b)와 같이 고정자 각 상의 방사방향 후면에 가속도 센서를 설치하였다. 가속도센서는 압전소자를 사용한 Piezotronics社의 M353B65 Mini High Sensitive Accelerometer를 사용하였으며 측정주파수 범위가 5~10,000[Hz]이고 출력가속도 $g(=9.8m/s^2)$ 에 대한 출력전압이 99.5[mV/g]이다. 소음측정기는 CEL社의 디지털 사운드메터를 사용하여 음압(Sound Pressure Level: SPL)을 측정하였다.

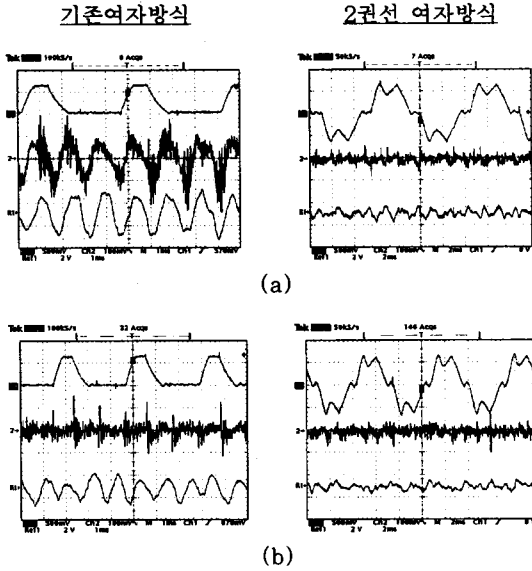


그림 6 진동, 소음 특성 (상단: 상전류, 중간: 진동 가속도, 하단: 소음)
 (a) 1680(rpm) 기존 여자 방식과 2권선 여자 방식
 (b) 2300(rpm) 기존 여자 방식과 2권선 여자 방식

그림 6 Vibration and noise, (top: phase current, mid: vibration acceleration, low: noise)
 (a) 1680(rpm) conventional and 2-phase excitation
 (b) 2300(rpm) conventional and 2-phase excitation

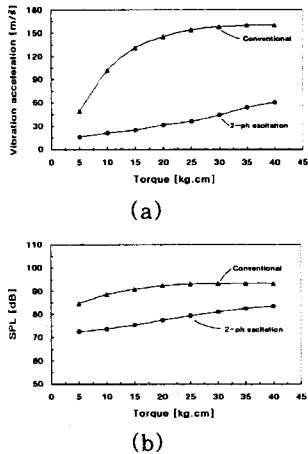


그림 7 일정속도(1670(rpm)) 운전시 부하토크에 따른 진동과 소음
 (a) 진동 가속도, (b) 소음
 Fig. 7 Vibration and acoustic noise according to torque at constant speed(1670rpm) (a) vibration acceleration, (b) acoustic noise

소음 측정기에 있어 시작전동기의 회전축에서 방사방향으로 1[ft] 떨어진 곳에 위치한 소음 측정기의 평균 소음치를 측정하고, 소음 측정기에서 출력되는 아날로그 출력 신호를 측정하여 주파수 분석을 통하여 해석하였다. 그림 6은 1상, 2상 여자 방식의 상전류, 진동 및 소음을 측정 한 파형이다. 회전속도 1670(rpm)과 2300[rpm]에서 두 방식을 비교하였다. 기존 방식에서 상 오프시 진동이 두께 발생함을 볼 수 있고, 2상 여자 방식은 진동 소음이 크게 작아짐을 확인할 수 있다. 그림 7은 일정속도(1670rpm)에서 부하토크의 변화에 따른 진동 및 소음을 보이고 있다. 그림 7(a)은 기존 여자 방식과 2권선 여자 방식에 대한 진동 가속도를 나타내

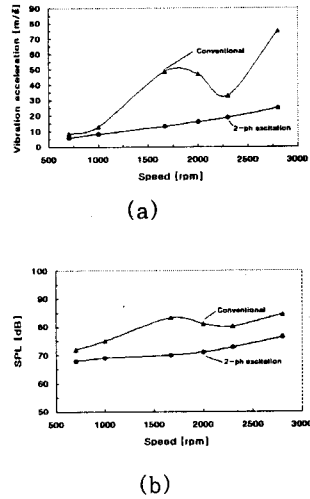


그림 8 일정토크(5(kg.cm)) 운전시 속도에 따른 진동 및 소음
 (a) 진동 가속도, (b) 소음
 Fig. 8 Vibration and acoustic noise according to speed at constant torque(5[kg.cm]) (a) vibration acceleration, (b) acoustic noise

고, 그림 7(b)은 측정 한 소음을 나타내고 있다. 그림 8은 일정토크(5(kg.cm)) 운전시 속도에 따른 진동 및 소음을 보이고 있다. 그림 7과 그림 8에서 보는 것처럼 기존 여자 방식에 비해 2권선 여자 방식에서 진동 및 소음이 현저히 줄어들음을 알 수가 있다.

3. 결 론

SRM은 구동시 스위치 온, 오프하는 과정에서 발생하는 급격한 방사 방향의 전자력의 변화로 고정자 프레임에 진동·소음이 발생한다. 본 논문에서는 스위치드 릴럭턴스 전동기의 진동과 소음을 저감하기 위해 2권선 여자 방식을 제시하였고, 이 방식은 자기 인덕턴스와 상호 인덕턴스의 변화에 의해 토크가 발생하게 된다. 그리고 기존 여자 방식과 2권선 여자 방식에 대하여 해석을 통해 진동과 소음의 발생을 알아보았고, 실험을 통하여 2권선 여자 방식이 기존 여자 방식에 비해 진동과 소음이 줄어들음을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] 안진우, 황영문, 스위치드 릴럭턴스 전동기의 구동과 응용, 신지서원, 1998
- [2] D.E.Cameron, J.H.Lang, S.D.Umans, "The Origin of Acoustic Noise in Variable Reluctance Motors", IEEE IAS Annual Meeting, San diego, California, pp. 108-115, 1989.
- [3] D.E. Cameron, J.H.Lang, S.D. Umans, "The Origin and Reluctance of Acoustic Noise in Doubly Salient Variable Reluctance Motors", IEEE Trans, on IA, Vol.28, No.6, pp.1250-1255, 1992
- [4] C. Pollock and C. Y. Wu, "Analysis and Reduction of Acoustic Noise in the Switched Reluctance Drive," IEEE Trans. on IA, Vol.31, NO.1, pp. 91-98, 1995.