

스위칭 각의 변화에 따른 SRM 전자기적 특성 및 진동 특성 분석

論 文

51B-8-3

Analysis of Vibrating and Electromagnetic Performance According to Switching Angle in SRM

李 旨 榮* · 河 京 鎬** · 李 根 浩** · 趙 載 玉* · 洪 正 杓*** · 姜 道 鉉§
(Ji-Young Lee · Kyung-Ho Ha · Geun-Ho Lee · Jae-Ok Jo
· Jung-Pyo Hong · Do-Hyun Kang)

Abstract - Switched Reluctance Motor (SRM) has been not commonly used because of the severe noise and vibration, although it has many advantages as solidity and economical efficiency. The origin of the acoustic noise and vibration in SRM's can be broadly classified into two types, mechanical and magnetic. Therefore this paper verifies the origin of vibration induced by radial magnetic forces from various experiments, and then studies the relationship between the output and vibration characteristics of SRM according to switch-on and off angles. Acceleration, torque and efficiency is measured by changing switching angles. From the comparison and analysis of the experimental results, a proper switching angle is presented for both satisfying electric performance and reducing vibration.

Key Words : SRM, Switching Angle, Vibration

1. 서 론

스위칭 릴럭턴스 전동기(Switched Reluctance Motor : SRM)는 전동기의 구조가 간단하여 제조가 용이하며, 회전자에 영구자석이 없으므로 영구자석 부착 전동기에 비하여 온도 상승에 따른 문제가 없고, 고속운전이 가능한 견고한 구조를 가진다. 따라서 광범위한 속도 변화를 필요로 하는 응용 분야의 경우 SRM 구동 시스템은 기존의 영구자석형 전동기에 비하여 많은 이점을 가지고 있으나, 토크 리플과 소음 및 진동이 비교적 심하다는 단점으로 인하여 활발한 실용화 단계에 이르지 못하고 있다.

전동기에서 발생하는 소음/진동의 주요 원인은 크게 기계적인 원인과 공기 역학적 원인, 그리고 전자기적인 원인으로 분류할 수 있다. 이러한 세 가지 원인 중에서 돌극 구조로 이루어진 SRM에서는 주로 스위칭 On/Off 시 발생하는 전자기적 원인이 전동기의 고정자 또는 회전자에 작용하여 구조물을 진동시키게 된다[1]-[4]. 진동을 저감시키는 방법은 크게 전동기 구조물의 형상 설계 측면과 전동기의 구동 제어 방식 측면으로 분류할 수 있다. 형상 설계 측면에서는 전자기적 가진원에 대한 전동기의 주요 진동수를 피하거나, 가진원의 크기에 대한 강건 설계를 수행함으로써 진동을 저감할 수 있고, 제어 방식으로는 스위칭 각 조절, 듀티비 조절, 전류형상 변화 등을 통해서 진동을 줄일 수 있다[4]-[8].

본 논문에서는 스위칭에 의한 전자기적 가진원이 SRM의

소음/진동을 일으키는 주요 원인을 실험을 통하여 고찰하였으며, 1펄스 여자에 의한 모달 테스트와 1상 여자 운전에서 측정된 진동 가속도의 주파수 분석으로부터 실험 대상 전동기의 고유 진동수 대역을 제시하고, 진동원을 분석하였다. 이러한 일련의 실험 결과를 바탕으로 SRM의 진동을 저감시키기 위해, 제어 방식 중에서 비교적 쉽게 접근할 수 있는 스위칭 각 조절을 하였다. 즉, 일정한 입력 전압과 속도에 대해 스위칭 On/Off 각의 변화에 따른 전동기의 입력 전류, 토크 및 효율 특성과 진동 특성을 측정하고, 스위칭 각이 전자기적 특성과 진동에 미치는 영향을 분석하여 이로부터 전동기의 출력특성을 크게 저하시키지 않으면서 진동을 저감할 수 있는 스위칭 각을 결정하였다. 실험으로부터 직접적으로 얻을 수 없는 전자기적 가진력의 크기는 회전자의 위치에 따른 인덕턴스의 비선형성을 고려한 유한요소법(Finite Element Method : FEM)에 의한 동특성 해석으로부터 산정하였다.

2. 해석 대상 및 과정

2.1 실험 및 해석 과정

스위칭 각 변화가 SRM 출력 특성과 진동에 미치는 영향을 알아보고, 진동을 저감할 수 있는 스위칭 각을 결정하기 위한 실험 및 해석과정에 대한 흐름도는 그림 1에 나타내었다. 첫째, 스위칭에 의한 전자기적 가진원이 SRM 진동의 주요 원인임을 전원 차단 전후의 진동을 측정하는 실험을 통하여 고찰하였다. 둘째, 1펄스 여자에 의한 모달 테스트와 1상 여자 실험에 의해 측정된 진동 가속도의 주파수 분석을 통해서 전동기의 고유 진동수 대역을 제시하고, 진동원을 분석하였다. 셋째, 이상의 실험 결과로부터 스위칭 각에 따라 전자기적인 가진원의 크기가 영향을 받는다는 것을 확인하였으므로, 이에 따른 진동 양상을 분석하기 위해서 스위칭 각 변화

* 準 會 員 : 昌原大學 電氣工學科 博士課程

** 正 會 員 : 昌原大學 電氣工學科 博士課程

*** 正 會 員 : 昌原大學 電氣工學科 教授 · T.博

§ 正 會 員 : 韓國電氣研究院 Mechatronics研究GROUP長

接受日字 : 2002年 1月 15日

最終完了 : 2002年 5月 31日

에 따른 진동 가속도와 토크를 측정하였다. 실험 결과로부터 진동 레벨과 효율을 계산하고, 토크와 함께 스위칭 각에 따른 값들을 서로 비교, 분석함으로써 전동기의 출력특성을 크게 저하시키지 않으면서 진동을 저감할 수 있는 스위칭 각을 결정하였다. 마지막으로 결정된 스위칭 각에서의 전자기적 가진력의 크기를 FEM 동특성 해석을 통해서 산정하였다.

2.2 해석 대상과 측정 시스템 구성

진동을 측정하고 해석하기 위해 적용된 1kW 6/4 SRM의 주요 치수는 표 1과 같고, 전동기의 진동과 출력특성을 측정하기 위한 부하 시험 장치는 그림 2와 같이 구성하였다.

표 1 6/4 SRM 주요 형상 치수

Table 1. Major dimension of 6/4 SRM

항목	치수	단위	항목	치수	단위
고정자 극호각	30.0	°	회전자 극호각	31.0	°
고정자 외경	139.9	mm	회전자 외경	71.6	mm
적층 길이	97.0	mm	공극 길이	0.3	mm

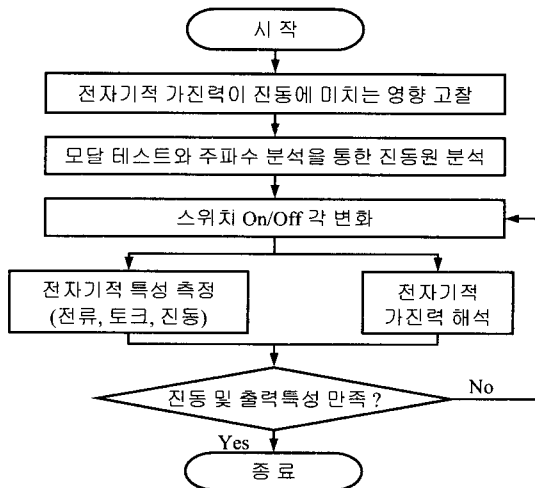


그림 1 해석 과정 흐름도
Fig. 1 Analysis flow chart

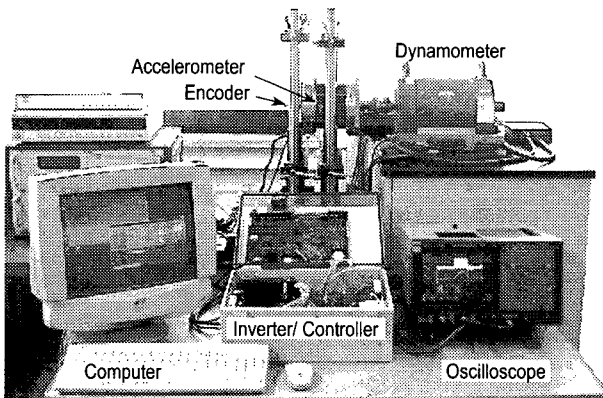


그림 2 부하 시험 장치
Fig. 2 Experimental unit for load test

3. 해석 이론

3.1 진동 크기의 정량화

SRM에서는 스위칭 각에 따라 전류와 그에 의한 전자기적 작용력이 달라지게 되므로, 전자기적 가진력에 의한 진동은 어떻게 바뀌는지 알아보기 위해서 실제 운전 중에 진동 가속도를 측정하였다. 그러나, 일반적으로 소음은 구조물의 속도와 관련되어 있으므로 구조물의 소음을 줄이기 위해서는 구조물의 진동 속도가 최소가 되어야 한다. 따라서 진동 저감을 위한 목적함수로 진동 속도를 의미하는 진동 레벨을 식 (1)과 같이 정의할 수 있다. 즉, 각각의 주파수에 대한 가속도를 속도의 실효치로 계산한다.

$$V_i = \sqrt{\sum_j \left(\frac{a_i^2(f)}{(2\pi f)^2} \right)} \quad (1)$$

여기서, V_i 는 측정점 i 에서의 진동 레벨, a_i 는 측정점 i 에서의 가속도이다. 본 논문에서는 청감보정 곡선을 고려하여 측정된 가속도로부터 5kHz까지 주파수를 분석하고, 이에 대한 실효치의 속도를 계산하였다.

3.2 전자기적 가진력 계산

스위칭 각에 따른 전류의 변화 양상에 영향을 받는 전자기적 가진력을 정확히 추정하기 위하여 FEM 해석과 전압방정식을 결합하여 동특성 해석을 수행하였다. SRM의 자기적 현상은 식 (2)와 같이 벡터 포텐셜 \vec{A} 를 계변수로 하는 지배방정식으로 표현할 수 있다.

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A} \right) = \vec{J}_0 \quad (2)$$

여기서, \vec{J}_0 는 전류밀도를 나타낸다. 또한 스위칭 각에 따른 전류 파형을 얻기 위하여 1상에 대한 전압방정식은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_s = R_m i_m + L_m \frac{di_m}{dt} + E_m \quad (3)$$

여기서, R_m 은 해석 영역의 내부 저항과 외부 저항의 합성 저항이고, L_m 은 코일 끝단부의 누설 인덕턴스, E_m 은 권선에 유기되는 역기전력이다. 식 (2)와 식 (3)에 의한 지배방정식과 전압방정식을 결합하여 시스템 행렬을 구성하고 미분항을 처리하기 위해, 해석하고자 하는 현상의 미분방정식을 시간에 대해 이산화하여 계산하는 시간 차분법을 이용하였다.

회전자의 회전에 따른 매 시간 간격으로 자체 해석을 수행한 후 맥스웰 응력을 이용하여 고정자에 작용하는 가진력을 계산하였다. 자성체 절점에 대한 고정자의 반경방향으로 작용하는 전자기적 가진력의 힘밀도 p_r 은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$p_r = \frac{1}{\mu_0} [(\vec{n} \cdot \vec{B})\vec{B} - \frac{1}{2}(\vec{B} \cdot \vec{B}) \cdot \vec{n}] \quad (4)$$

여기서, \vec{n} 은 고정자 극의 표면에 대한 법선 방향 단위 벡터, \vec{B} 는 공극에서 자속밀도를 나타낸다.

4. 실험 및 해석에 대한 고찰

4.1 진동원인의 실험적 고찰

4.1.1 전자기적 원인에 의한 진동

SRM 진동의 주요 원인인 전자기적 가진력의 영향을 실험적으로 검토해 보기 위해서, 2000rpm으로 회전하고 있는 전동기에 순간적으로 전원을 차단시켜 전원 차단 직전의 진동과 차단 직후의 진동을 측정하여 그림 3에 나타내었다. 실선은 전원 차단 직전의 진동 가속도를, 점선은 전원 차단 직후의 가속도를 각각 나타낸다.

회전하고 있는 전동기의 입력 전원을 순간적으로 차단시키면 전자기적 가진력이 사라지므로 기계적 가진력에 의한 소음/진동만 남는다. 실험 결과 전체적인 양상은 두 파형이 유사하나 주기적으로 발생하는 대부분의 침두치 성분들은 전원을 차단함과 동시에 사라지면서, 진동 레벨이 급격히 줄어들었다. 전원을 차단한 직후의 측정된 진동은 대부분이 저주파 대역에 나타나며 회전자와 베어링 등의 기계적인 원인에 의한 것으로 볼 수 있다. 따라서 진동의 원인 중 전자기적 원인이 지배적임을 알 수 있다.

4.1.2 모달 테스트

일반적으로 모달 테스트는 외부에서 임펄스 충격을 가함으로써 이루어지지만, 정지 상태에서 1상 1펄스 여자로부터 주파수 응답 특성을 측정하여 전동기의 주요 공진 주파수 대역을 제시한 실험도 외부에서 충격 망치(Impact hammer)를 이용한 실험과 동일한 결과를 얻는다.

그림 4는 전동기가 정지된 상태에서 3상 권선 중 1상에 1펄스 전압을 인가하여 전자기적 흡인력에 의한 방사 방향의 진동을 측정된 파형이다. 그림의 상단이 시간 영역에서 방사 방향의 진동이고, 하단은 이를 주파수 영역으로 나타낸 것이다. 1500Hz부근 영역에서 가속도가 가장 크게 나타나는데, 이 주파수 영역이 고유 공진 주파수 대역임을 알 수 있다.

4.1.3 1상 여자 실험에 의한 진동 분석

그림 5는 스위칭 각에 영향을 받는 전자기적 가진원에 의한 진동 양상을 알아보기 위하여 1상만을 여자한 상태에서 1060rpm의 일정 속도로 회전할 때 전류와 진동 가속도를 측정된 파형이다. 스위치 On 구간에서는 기자력 인가에 따른 방사 방향 전자력의 작용으로 수축이 일어나고, 스위치 Off와 동시에 인가되었던 기자력이 소멸됨으로써 방사방향 전자력의 급격한 변화로 인하여 진동이 크게 발생한다. 진동의 원인을 보다 상세히 분석하기 위해서 이 결과를 그림 6에 주파수 영역으로 나타내었다. 6/4 SRM에서 1회전동안 1상에 4번

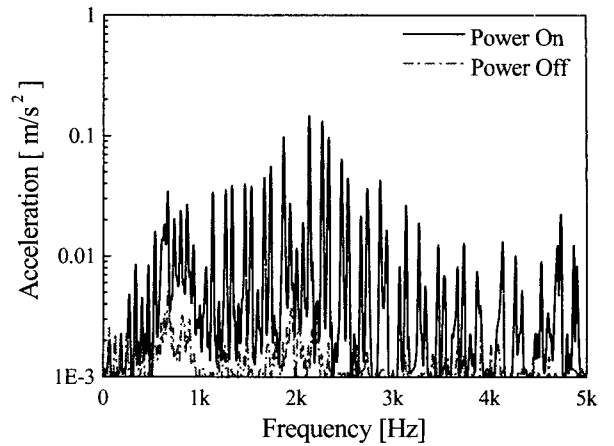


그림 3 전자기 및 기계적 가진원의 분리
Fig. 3 Separation of electromagnetic and mechanical exciting source

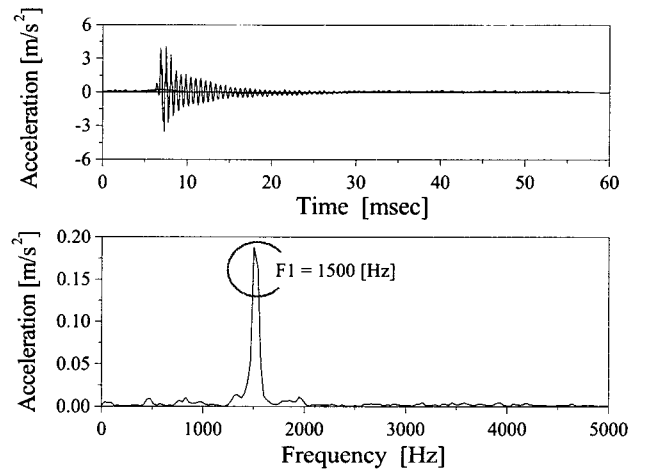


그림 4 1 pulse 여자에 의한 주파수 응답 특성
Fig. 4 Frequency response function under single-pulse excitation

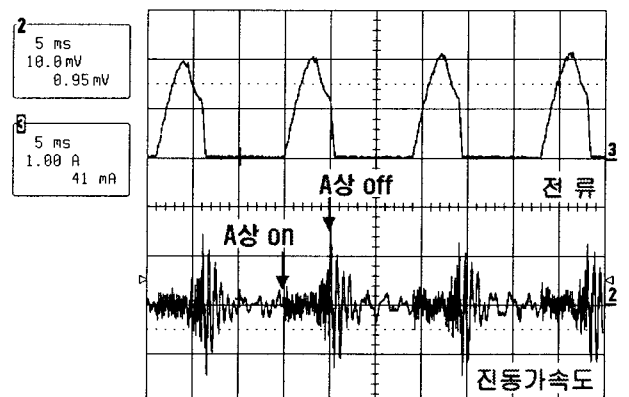


그림 5 1상 여자 운전시 전류 및 진동 가속도
Fig. 5 Current and acceleration under single-phase excitation

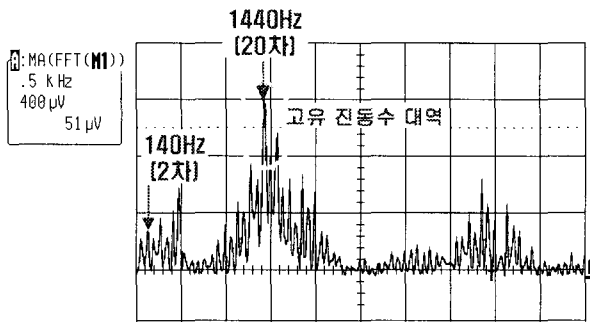


그림 6 1상 여자 운전시 주파수 응답 특성
Fig. 6 Frequency spectrum under single-phase excitation

스위칭이 이루어지므로 1060rpm 회전시, 상전류 파형의 주기는 70.6Hz이다. 따라서, 약 70Hz의 주기를 가지는 고조파 성분이 주기적으로 발생함을 볼 수 있으며, 1440Hz 대역에서 가속도 레벨이 증가하는 것은 모달 테스트 결과로부터 확인한 고정자의 고유진동수 1500Hz 대역 부근이기 때문이다.

4.2 스위칭 각에 따른 진동 및 전자기적 특성 실험

SRM에서 진동은 스위칭 각에 의해서 많은 영향을 받으므로 스위칭 각 변화에 따른 진동 특성과 출력 특성을 알아보기 위한 실험을 수행하여, 전동기의 출력 특성을 크게 저하시키지 않으면서 진동을 저감할 수 있는 스위칭 각을 결정하였다. 그림 7과 그림 8은 PWM을 통해서 전동기에 평균전압 36V의 일정한 전압을 인가하여 각각 1400rpm과 1550rpm의 일정 속도로 운전했을 때, 스위칭 On 각과 Dwell 각 변화에 따른 토크와 진동가속도를 측정하고, 효율을 산정한 그래프이다. 그래프의 각도는 모두 기계각으로 표기되었으며, 기준 각인 0°는 회전자 극과 고정자 극이 비정렬 상태일 때를 나타낸다. Dwell 각은 스위칭 On 각에서 스위칭 Off 각까지의 각도를 나타낸 것이다.

그림 9와 10은 그림 7과 8에서 정리한 실험 결과 중에서 임의의 토크 및 효율 조건을 만족하는 Dwell 각에 대해서 스위칭 On 각 변화에 따른 전동기의 진동 및 출력 특성을 나타낸 것이다. 이 그래프에서 진동 저감을 위한 스위칭 각을 쉽게 결정할 수 있다.

4.2.1 전동기의 출력 특성

그림 7(a)와 8(a)를 비교함으로써 속도와 스위칭 각도에 따른 전동기의 토크 양상을 분석할 수 있다. 스위칭 On 각은 작을수록, Dwell 각은 클수록 동일한 전압에 대해 전동기에 인가되는 전류가 증가하여 토크의 크기가 증가하고 있으며, 32° 이상의 Dwell 각에서는 스위칭 On 각이 증가함에 따라 역토크 구간이 증가하여 실제 토크의 크기는 감소하고 있음을 볼 수 있다. 그림 7(b)와 8(b)는 스위칭의 On/Off에 따른 효율을 나타낸 곡선으로 스위칭 On 각과 Dwell 각이 모두 작을수록 동손의 감소로 인해 그 값이 증가하게 된다.

4.2.2 스위칭 On/Off 각에 따른 진동 특성

그림 7(c)와 8(c)에서의 진동의 레벨은 가속도를 측정하여 실험치의 속도로 변환한 것이다. 전체 진동 레벨은 토크에 비례하여 증감하는 곡선을 가지나, 스위칭 Off 각에 따라 최소값이 존재한다. 이는 진동에 큰 영향을 미치는 전자기적인 가진력의 크기가 전류뿐만 아니라, 스위칭 Off 시점에도 영향을 받기 때문이다.

4.2.3 진동 레벨을 줄일 수 있는 스위칭 각도 결정

1400rpm과 1550rpm 각각의 경우에 있어서 요구사양의 토크 값을 각각 1.1Nm, 0.9Nm라고 효율은 70% 이상으로 설정했을 때, 이들 모두를 만족시키는 값을 가지는 Dwell 각은 각각 30°와 32°로 결정된다. 넓은 범위의 속도 제어에서 속도가 높아질수록 진동/소음을 최소화하기 위해서는 전류 상승 시간을 충분히 확보하여 토크 리플을 줄여야 하므로 스위칭 On 각이 Off 각 보다 빨리 앞당겨지고, 따라서 Dwell 각은 증가하고 스위칭 On 각은 작아지게 된다. 그림 9와 그림 10은 각각의 속도에 대해서 이상의 조건을 만족하는 Dwell 각에서의 스위칭 On 각 변화에 대한 전동기의 전자기적인 출력 특성과 진동 레벨을 비교한 그래프이다. 두 그래프에서 각각의 토크와 효율 값을 만족시키는 스위칭 On 각은 동일하게 12.9°보다 작은 값을 가질 때이다. 그러나 이때의 진동 레벨은 다른 스위칭 On 각에 비해 큰 값을 가지고 있으므로, 진동과 소음 측면을 개선시키기 위해서 효율을 65% 이상이 되도록 설정할 경우 각각의 Dwell 각에 대해 1400rpm에서는 스위칭 On 각이 17°, 1550 rpm에서는 15°일 때 초기 결정했던 운전구간보다 진동이 2배 이상 감소하는 것을 확인할 수 있다.

4.3 전자기적 가진력 계산

측정으로부터 얻은 진동 레벨의 양상을 전자기적 가진력의 관점에서 비교, 분석하였다. 즉, 앞서 진동 레벨의 저감을 위해 결정된 스위칭 각에 대해서 유한요소법을 이용하여 전자기적 가진력을 계산하고 진동 레벨의 양상과 비교하였다.

해석에 의해 산정되는 전자기적 가진력에 대한 타당성을 검토하기 위하여 먼저 전류의 해석치와 실험치를 그림 11에서 비교하였다. 일반적으로 PWM 전압과 그 평균값을 가지는 구형파 전압에 의한 전류는 유사하므로 유한요소 해석시 해석의 편리성과 해석시간을 단축하기 위하여 PWM 전압 파형 대신 구형파 전압을 사용하였다. 두 전류의 양상이 서로 잘 일치하고 있으므로 이 전류로부터 전자기적 가진력을 추정할 수 있다.

그림 12는 진동 레벨의 양상과 비교하기 위하여 그림 9와 그림 10의 실험 결과 중에서 전체 진동 레벨을 저감시킨 스위칭 On 각 17°와 15°에서의 전자기적 가진력을 FEM 동특성 해석으로부터 산정한 것이다. 두 가지 속도의 경우에 있어서 스위칭 Off 각과 전체 진동 레벨이 동일한 값을 가지므로 가진력의 크기 또한 동일한 양상을 가짐을 확인할 수 있다.

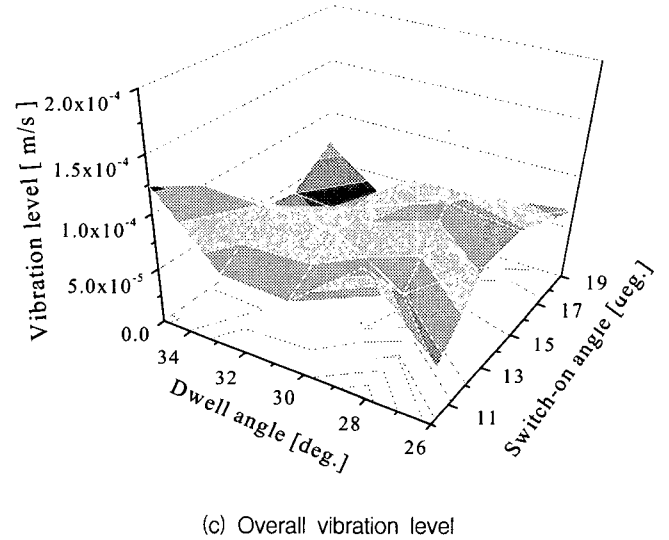
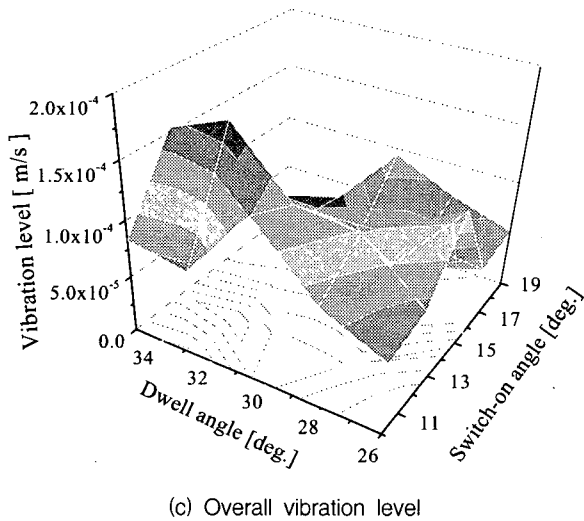
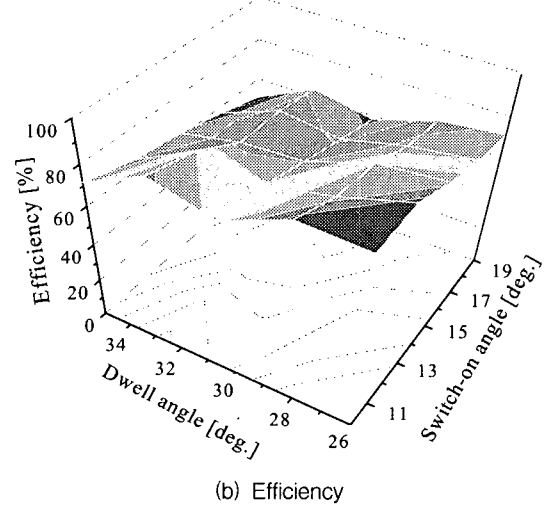
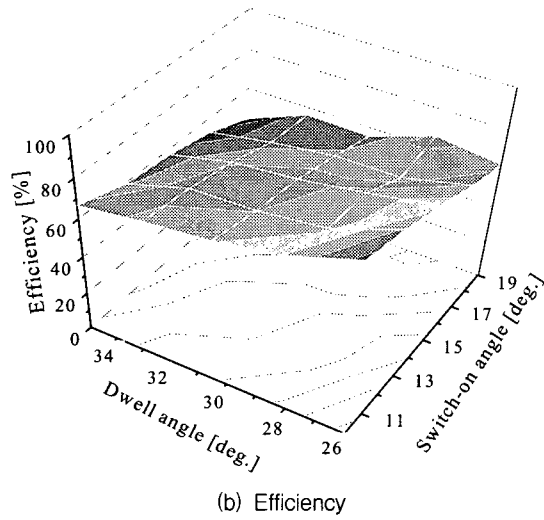
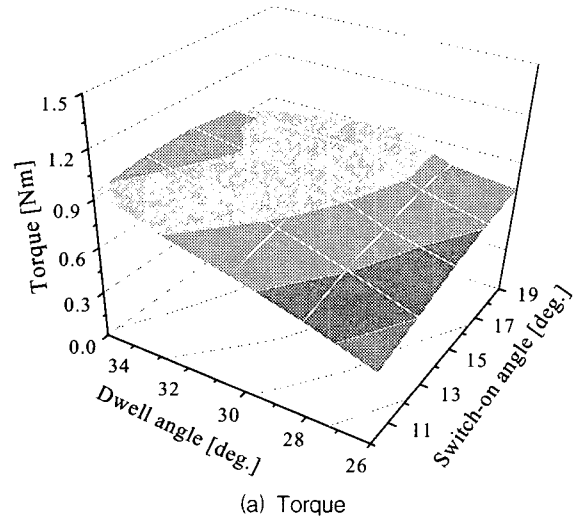
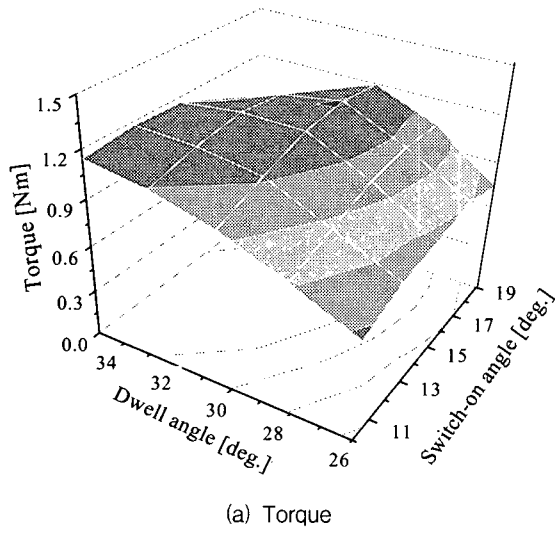


그림 7 1400rpm 운전시 스위칭 각에 따른 전동기의 전자기적 특성 및 진동 특성

Fig. 7 Variation of electromagnetic and vibrating performance with switching angles at 1400rpm

그림 8 1550rpm 운전시 스위칭 각에 따른 전동기의 전자기적 특성 및 진동 특성

Fig. 8 Variation of electromagnetic and vibrating performance with switching angles at 1550rpm

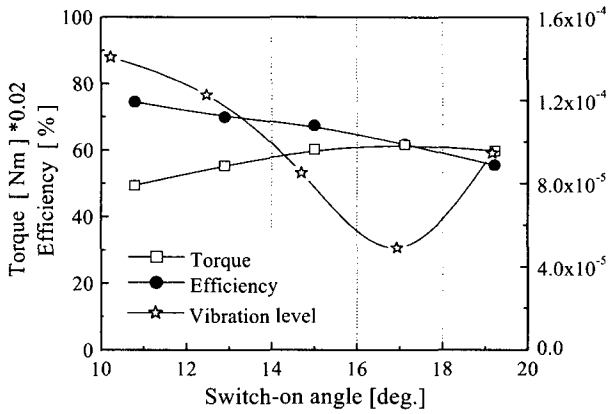


그림 9 1400rpm, Dwell 각 30° 일 때 전동기 토크, 효율, 진동 특성
 Fig. 9 Torque, efficiency and vibration with switch-on angle (1400rpm, Dwell angle 30°)

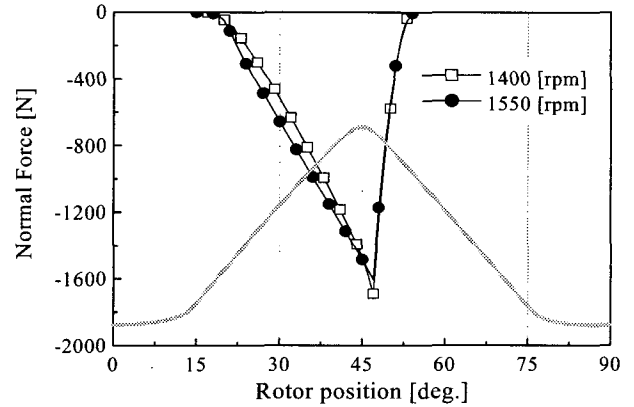


그림 12 속도에 따른 전자기적 가진력 비교
 Fig. 12 Comparison of normal force with respect to speed

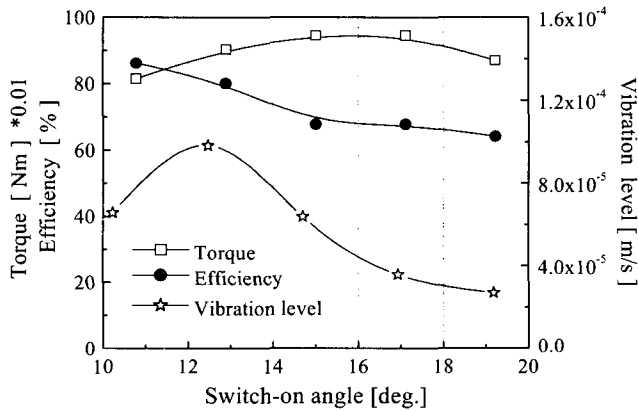


그림 10 1550rpm, Dwell 각 32° 일 때 전동기 토크, 효율, 진동 특성
 Fig. 10 Torque, efficiency and vibration with switch-on angle (1550rpm and Dwell angle 32°)

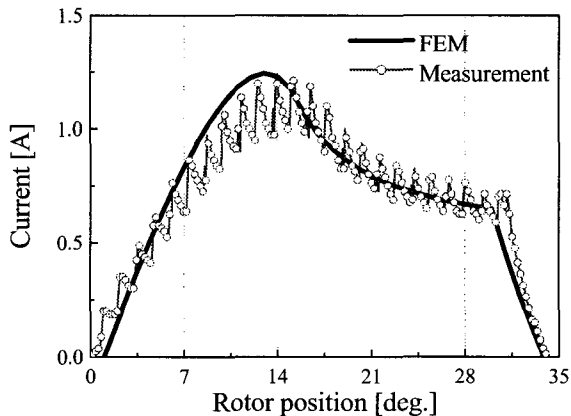


그림 11 측정치와 실험치 전류 파형의 비교 (ON: 0° , OFF: 30°)
 Fig. 11 Comparison of measured and analyzed currents

5. 결 론

본 논문에서는 6/4 SRM을 대상으로 스위칭에 따른 전자기적 가진력의 급격한 변화가 진동을 상승시키는 주요 원인을 제반 실험을 통하여 제시하였고, 일정한 입력 전압에 대해 일정 속도를 유지하면서 스위치 On/Off 각의 변화만으로 전동기의 출력특성을 크게 저하시키지 않으면서 진동을 저감할 수 있는 스위칭 각을 찾았다. 또한 이때의 전자기적 가진력의 크기는 FEM 동특성 해석을 통해 산정하였다. 본 논문에서 고찰된 SRM의 제반 진동 요인 분석과 스위칭 각 제어에 따른 전동기의 특성 및 진동 특성 분석은 운전시 전동기의 성능을 저하시키지 않으면서 진동을 저감할 수 있는 참고 자료로 활용할 수 있으리라 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 스윗치드 릴럭턴스 모터의 기술동향, 릴럭턴스모터 조사 전문 위원회, 제 8호, 1994
- [2] M. Besbes, C. Picod, F. Camus, M. Gabsi, "Influence of stator geometry upon vibratory behaviour and electromagnetic performances of switched reluctance motors," IEE Proceeding Electro Power Application, vol. 145, pp. 462-468, 1998
- [3] C. G. C. Neves, et al, "Vibrational behavior of switched reluctance motors by simulation and experimental procedures," IEEE Transactions on Magnetics, vol. 34, pp. 3158-3161, 1998
- [4] 하경호, 홍정표, 김규탁, "스위칭에 따른 전자기 가진력에 의한 스위치드 릴럭턴스 전동기의 고정자 변위해석," 전기학회 논문지, vol. 49B, pp. 20-26, 2000
- [5] Philip C. Kjaer, Jeremy J. Gribble, Timothy J. E. Miller, "High-grade control of switched reluctance machines," IEEE Transactions On Industry Applications, vol. 33, pp. 1585-1593, 1997
- [6] J. Faiz, J. W. Finch, "Aspects of design optimization

for switched reluctance motors," IEEE Transactions On Energy Conversion, vol. 8, pp. 704-713, 1993

[7] Kyung-Ho Ha, Jung-Pyo Hong, Gyu-Tak Kim, Ki-Chan Chang, Ju Lee, "Orbital Analysis of Rotor Due to Electromagnetic Force for Switched Reluctance Motor," IEEE Transactions on magnetics, vol. 36, pp. 1407-1411, 2000

[8] Jung-Pyo Hong, Kyung-Ho Ha, Ju Lee, "Stator Pole and Yoke Design for Vibration Reduction of Switched Reluctance Motor," IEEE Transactions on magnetics, vol. 38, 2002

[9] Kenneth G. McConnell, Vibration testing, John wiley & Sons

[10] R. S. Colby, F. M. Motier and T. J. E. Miller, "Vibration modes and acoustic noise in a four -phase switched reluctance motor," IEEE Trans. Ind. vol. 32, pp1357-1363, 1996

[11] R. Krishnan, P. Vijayraghavan, "State of the art: acoustic noise in switched reluctance motor drives," Proceedings of the 1998 IEEE IECON. vol. 2, pp. 929-934, 1998

[12] Pragasen Pillay and William Cai, "An investigation into vibration in switched reluctance motors," IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 35, 1999

저 자 소 개



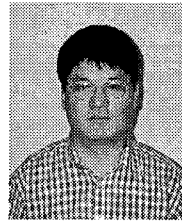
이 지 영 (李 旨 榮)

1977년 5월 26일생. 2000년 창원대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
 Tel: 055-262-5966
 Fax: 055-263-9956
 E-mail: jyecad@korea.com



하 경 호 (河 京 鎬)

1972년 5월 19일생. 1997년 창원대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기전자 제어공학과 졸업 (석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정
 Tel: 055-262-5966
 E-mail: haroom@netian.com



이 근 호 (李 根 浩)

1969년 4월 11일생. 1992년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1994년~2002년 LG-OTIS 선임연구원. 2002년~현재 경남도립 남해전문대학 컴퓨터응용 전기과 전임강사. 2001년~현재 창원대 대학원 전기공학과 박사과정
 Tel: 055-860-5354
 E-mail: motor@nc.namhae.ac.kr



조 재 옥 (趙 載 玉)

1969년 5월 15일생. 1995년 창원대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1998년~현재 (주)동성전기 선임연구원. 2001년 ~현재 창원대 대학원 전기공학과 박사과정
 Tel: 055-342-4403
 E-mail: jojaeok@hanmail.net



홍 정 표 (洪 正 杓)

1959년 4월 17일생. 1983년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1985년~1990년 LG정밀(주) 중앙연구소 주임연구원 1990년~1992년 삼성전기(주) 종합연구소 선임연구원. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년 한양대 산업 과학연구소 선임연구원. 현재 창원대 공대 전기공학과 조교수.
 Tel: 055-279-7517
 E-mail : jphong@sarim.changwon.ac.kr



강 도 현 (姜 道 鉉)

1958년 9월 21일생. 1981년 한양대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1996년 독일 Braunschweig 대 (공학박사). 현재 한국 전기연구원 책임연구원 (Mechatronics 연구 그룹장)
 Tel: 055-280-1480, Fax: 055-280-1547
 E-mail : dhkang@keri.re.kr